

Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια και μονάδες παραγωγής

ΜΠΑΦΑΚΗΣ ΝΙΚΗΤΑΣ

Επιβλέπων καθηγητής
Παπαευθυμίου Σπυρίδων

Χανιά, 2023

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική αναφέρεται, σε πρώτη φάση στα ηλιακά συστήματα ψύξης και θέρμανσης σε ένα κτήριο γραφείων και σε δεύτερη φάση με την γεωθερμική εγκατάσταση ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πρώτη φάση, γίνεται μια αναφορά στην ηλιακή ενέργεια και στην χρήση της την σημερινή εποχή. Στην συνέχεια, με την βοήθεια του λογισμικού του Pistache πραγματοποιείται ο προσχεδιασμός του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με τον υπολογισμό των βασικών δεδομένων του συστήματος βάση των απαιτήσεων του υπό μελέτη κτηρίου (είδος ψύκτη, ισχύς ψύκτη, τύπος ηλιακού συλλέκτη, κλίση και προσανατολισμός του συλλέκτη, χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης του ζεστού/κρύου νερού, η μέθοδος απόρριψης της θερμότητας του συστήματος, επιλογή των backups systems, η θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί στο σύστημα) και μετά την υλοποίηση της προσομοίωσης που ακολουθεί γίνεται εξαγωγή των αποτελεσμάτων της παραγόμενης ψύξης και θέρμανσης του κτηρίου και η ανάλυση μια σημαντικής αναφοράς του προγράμματος σχετικά με το πόσο είναι εφικτή η λειτουργία και ο προσχεδιασμός του συστήματος. Στην δεύτερη φάση, παρουσιάζεται μια γενική εισαγωγή στην γεωθερμία σε εγχώριο αλλά και παγκόσμιο επίπεδο, μια περιγραφή της λειτουργίας ενός γεωθερμικού συστήματος (γεωθερμικός εναλλάκτης, γεωθερμική αντλία θερμότητας), μια περιγραφή των βασικών σταθμών (θερμοηλεκτρικοί, υδροηλεκτρικοί) και των μονάδων παραγωγής (ατμοστρόβιλος, υδροστρόβιλος) της ηλεκτρικής ενέργειας και μια ανάλυση των βασικών μορφών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία (dry steam, flash steam, binary cycle). Έπειτα, παρουσιάζεται η λειτουργία του λογισμικού RETScreen Expert και η αναλυτική περιγραφή δύο αξιολογών παραδειγμάτων ανάλυσης σκοπιμότητας από το αρχείο των πρότυπων- μελετών περιπτώσεων του λογισμικού. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται δύο νέα παραδείγματα γεωθερμικής εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Μήλο και στην Κίμωλο. Μετά από την προσομοίωση αυτών των παραδειγμάτων γίνεται η εξαγωγή αποτελεσμάτων και η αξιολόγηση των γεωθερμικών εγκαταστάσεων με σκοπό την κατανόηση της συνεισφοράς της γεωθερμικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή αλλά και την οικονομική βιωσιμότητα τέτοιου είδους εγκαταστάσεων. Τέλος, γίνεται μια συνολική αποτίμηση της εργασίας και των αποτελεσμάτων αυτής, με την εξαγωγή ορισμένων χρήσιμων συμπερασμάτων για τα δύο σκέλη της εργασίας που μελετήθηκαν.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Παπαευθυμίου Σπυρίδων που μου έδωσε την ευκαιρία να πραγματοποιήσω αυτήν την εργασία, όπως επίσης και τον κ. Αρναουτάκη Νεκτάριο, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και την σωστή τους καθοδήγηση ώστε να αποπερατωθεί αυτή η εργασία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που με στήριξε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Ευχαριστίες	2
Περιεχόμενα	3
Κεφάλαιο 1: Αξιολόγηση συστήματος θέρμανσης και ψύξης κτηρίου	5
1.1. Ηλιακή Ενέργεια	5
1.2. Λογισμικό Pistache	6
1.2.1 Ανάλυση .mgrp αρχείων	7
1.2.2 Προσχεδιασμός του συστήματος ψύξης-θέρμανσης	8
1.2.3 Αποτελέσματα του συστήματος ψύξης-θέρμανσης	11
1.2.4 Report analysis του συστήματος	14
Κεφάλαιο 2 ^ο : Μελέτη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμίας με το λογισμικό RETScreen Expert	16
2.1. Γεωθερμική Ενέργεια	16
2.1.1. Η Γεωθερμία στην Ελλάδα	17
2.1.2. Γεωθερμικές εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο	18
2.2. Γεωθερμικός εναλλάκτης και γεωθερμική αντλία θερμότητας	22
2.2.1. Γεωθερμικός εναλλάκτης	22
2.2.2. Γεωθερμική αντλία θερμότητας	23
2.3. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	24
2.4. Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	26
2.4.1. Ατμοστρόβιλος	26
2.4.2. Αεριοστρόβιλος	27
2.4.3. Συνδυασμένος κύκλος	29
2.5 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία	29
2.5.1. Διάταξη ξηρού ατμού(dry steam)	30
2.5.2. Διάταξη στιγμιαίας ατμοποίησης εργαζόμενου μέσου (flash steam)	31
2.5.3. Διάταξη με ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα (binary cycle)	32
2.5.4. Κύκλος Rankine	33
2.6 Λογισμικό RETScreen Expert	34
2.6.1. Η ανάλυση του χαρτοφυλακίου του λογισμικού	35

2.6.2. Ροή εργασιών του λογισμικού	36
2.6.2.1. Το σημείο αναφοράς.....	38
2.6.2.2 Η ανάλυση σκοπιμότητας	39
2.6.2.3. Οι επιδόσεις	44
2.7. Παραδείγματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία με την χρήση του λογισμικού RETScreen Expert	46
2.7.1. Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 60000 KW στην περιοχή Skútustaðahreppur, Ισλανδία	46
2.7.2. Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 4200 KW στην περιοχή Mexicali, Baja California, Μεξικό.....	49
Κεφάλαιο 3 ^ο : Παραδείγματα γεωθερμικής εγκατάστασης μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Μήλο και στην Κίμωλο με τη χρήση του λογισμικού RETScreen Expert.....	53
3.1 Η γεωθερμία στο νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου-Κιμώλου-Πολυαίγου	53
3.2 Παράδειγμα γεωθερμικής εγκατάστασης 2MW στην Μήλο μέσω του προγράμματος RETScreen Expert	55
3.3 Παράδειγμα γεωθερμικής εγκατάστασης 2MW στην Κίμωλο μέσω του προγράμματος RETScreen Expert	58
Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφία	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Κεφάλαιο 1: Αξιολόγηση συστήματος θέρμανσης και ψύξης κτηρίου

Κατά την διάρκεια των χρόνων, ο άνθρωπος προσπαθούσε με διάφορες μορφές ενέργειας να καλύψει τις ανάγκες του όσο αφορά την μετακίνηση αλλά και την θέρμανση του χώρου που ζει. Έτσι από τους πετρέλαιο και τους υδρογονάνθρακες, στις μέρες μας παρατηρείται μια στροφή του ανθρώπου στην αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ως βασική πηγή ενέργειας. Ο άνθρωπος πλέον έχει αποδεχτεί ότι πρέπει να αξιοποιήσει άλλες πηγές ενέργειας πέρα του πετρελαίου, που θα προέρχονται από φυσικές διαδικασίες και θα επιβαρύνουν [1] όσο το δυνατόν λιγότερο το περιβάλλον. Οι βασικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι:

- Ηλιακή Ενέργεια
- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική Ενέργεια
- Υδραυλική Ενέργεια
- Ενέργεια από τη θάλασσα
- Ωσμωτική Ενέργεια

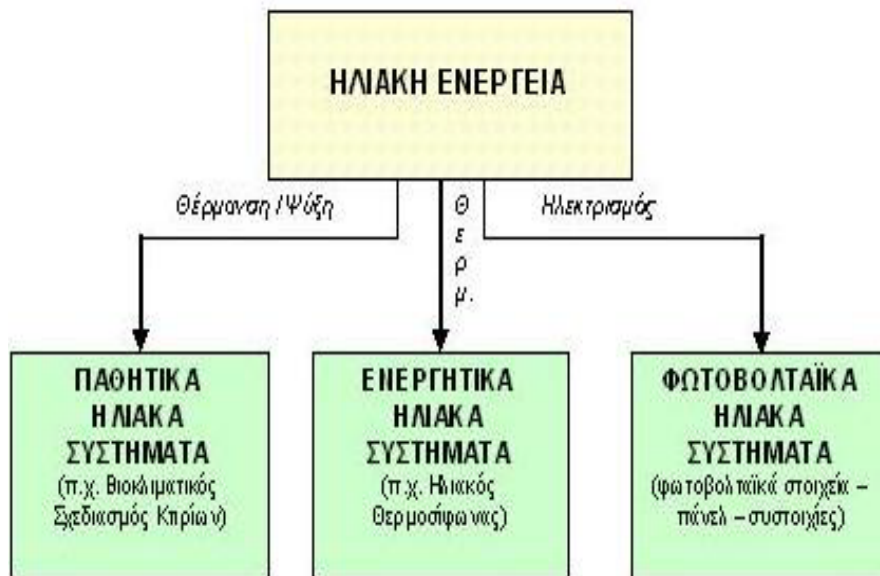
Στην συνέχεια, θα μας απασχολήσει η ηλιακή ενέργεια κυρίως και οι εφαρμογές της από τον άνθρωπο.

1.1. Ηλιακή Ενέργεια

Η Ηλιακή Ενέργεια [2] έχει ως πηγή την ηλιακή ακτινοβολία που προσφέρεται απλόχερα από τον ήλιο καθημερινά με εξαίρεση ορισμένες μέρες του χρόνου. Πλέον ο άνθρωπος έχει όλη την απαραίτητη τεχνογνωσία και την εμπειρία να αξιοποιήσει την ενέργεια του ήλιου ως βασική πηγή ενέργειας. Τα συστήματα που έχει αναπτύξει ο άνθρωπος του επιτρέπουν να χρησιμοποιήσει την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση και ψύξη των κτηρίων αλλά και για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης των κτηρίων αυτών.

Η ηλιακή ενέργεια χωρίζεται σε 3 βασικές κατηγορίες εφαρμογών:

- Παθητικά ηλιακά συστήματα
- Ενεργειακά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα
- Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα



Εικόνα 1.1 Βασικές κατηγορίες εφαρμογής ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια παρατηρείται πως χρησιμοποιείται περισσότερο σε θερμικές εφαρμογές και λιγότερο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [2].

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα εστιάσουμε κυρίως στην θερμική εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας και στην αξιολόγηση του συστήματος θέρμανσης και ψύξης ενός κτηρίου.

1.2. Λογισμικό Pistache

Η προσομοίωση του συστήματος θέρμανσης και ψύξης του υπό μελέτη κτηρίου γραφείων πραγματοποιείται με την χρήση του λογισμικού Pistache. Το περιβάλλον του προγράμματος είναι εύκολα διαχειρίσιμο από τον χρήστη, ο οποίος μπορεί να επέμβει ανά πάσα στιγμή στην λειτουργία του.



Εικόνα 1.2 Πρόγραμμα Pistache

Το Pistache παρέχει στον χρήστη προκαθορισμένες τιμές για τις παραμέτρους και κάνει αυτόματη προσαρμογή των συνιστωσών του προγράμματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του

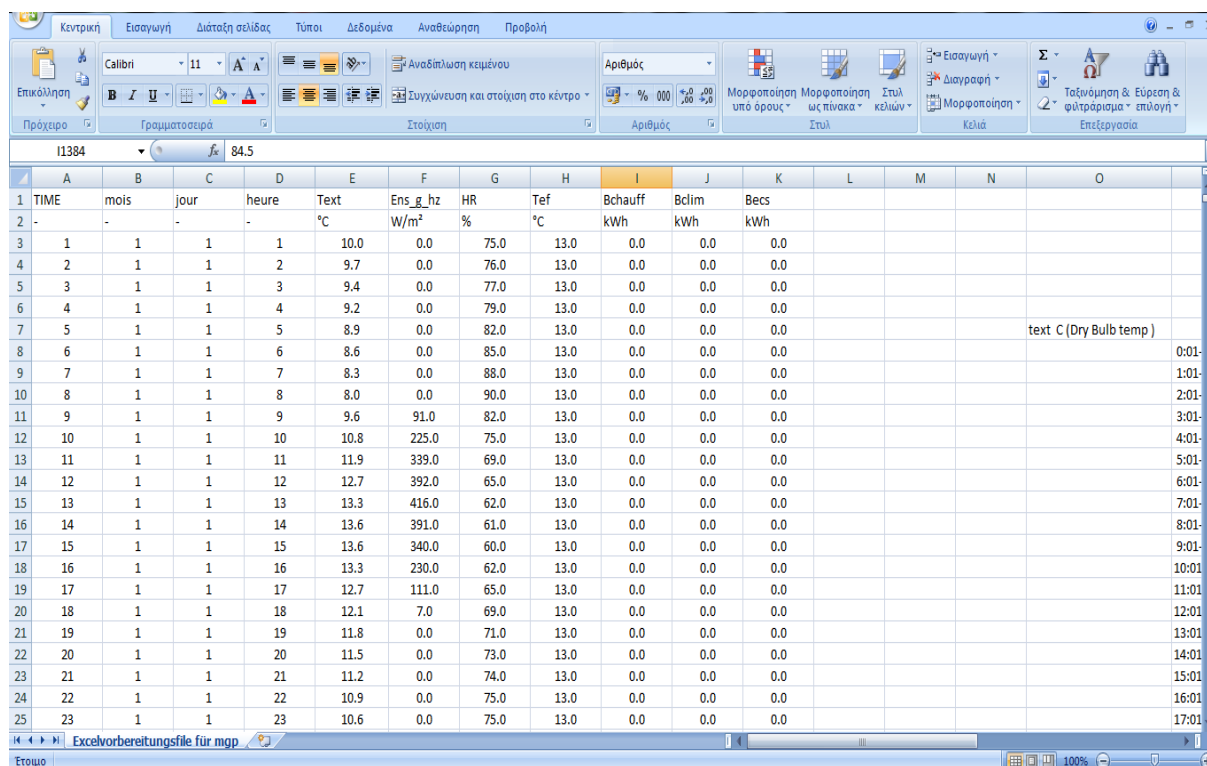
υπό μελέτη κτηρίου. Επίσης περιέχει μια βάση δεδομένων με μια γκάμα ψυκτών απορρόφησης-προσρόφησης, ηλιακών συλλεκτών και συστημάτων απόρριψης θερμότητας. Στο πρόγραμμα γίνεται ενεργειακό ισοζύγιο και υπολογισμός δεικτών απόδοσης αλλά και υπερδιαστασιολόγησης.

Το λογισμικό Pistache χρησιμοποιείται για εφαρμογές συστημάτων ηλιακής ψύξης και θέρμανσης με την βοήθεια ηλιακών συλλεκτών, διαφόρων τύπου ψύκτη (απορρόφησης-προσρόφησης) και back up συστημάτων.

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα Pistache είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση του .mgrp αρχείου.

1.2.1 Ανάλυση .mgrp αρχείων

Τα .mgrp αρχεία περιέχουν ουσιαστικά τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται το κτήριο που εξετάζεται και τα ετήσια ωριαία θερμικά/ψυκτικά φορτία του υπό μελέτη κτηρίου υπολογισμένα σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.



TIME	mois	jour	heure	Text	Ens_g_hz	HR	Tef	Bchauff	Bclim	Becs					
				°C	W/m²	%	°C	kWh	kWh	kWh					
1	1	1	1	10.0	0.0	75.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
2	2	1	1	9.7	0.0	76.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
3	3	1	1	9.4	0.0	77.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
4	4	1	1	9.2	0.0	79.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
5	5	1	1	8.9	0.0	82.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
6	6	1	1	8.6	0.0	85.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
7	7	1	1	8.3	0.0	88.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
8	8	1	1	8.0	0.0	90.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
9	9	1	1	9.6	91.0	82.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
10	10	1	1	10.8	225.0	75.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
11	11	1	1	11.9	339.0	69.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
12	12	1	1	12.7	392.0	65.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
13	13	1	1	13.3	416.0	62.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
14	14	1	1	13.6	391.0	61.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
15	15	1	1	13.6	340.0	60.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
16	16	1	1	13.3	230.0	62.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
17	17	1	1	12.7	111.0	65.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
18	18	1	1	12.1	7.0	69.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
19	19	1	1	11.8	0.0	71.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
20	20	1	1	11.5	0.0	73.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
21	21	1	1	11.2	0.0	74.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
22	22	1	1	10.9	0.0	75.0	13.0	0.0	0.0	0.0					
23	23	1	1	10.6	0.0	75.0	13.0	0.0	0.0	0.0					

Εικόνα 1.3 Αρχείο .mgrp σε μορφή Excell

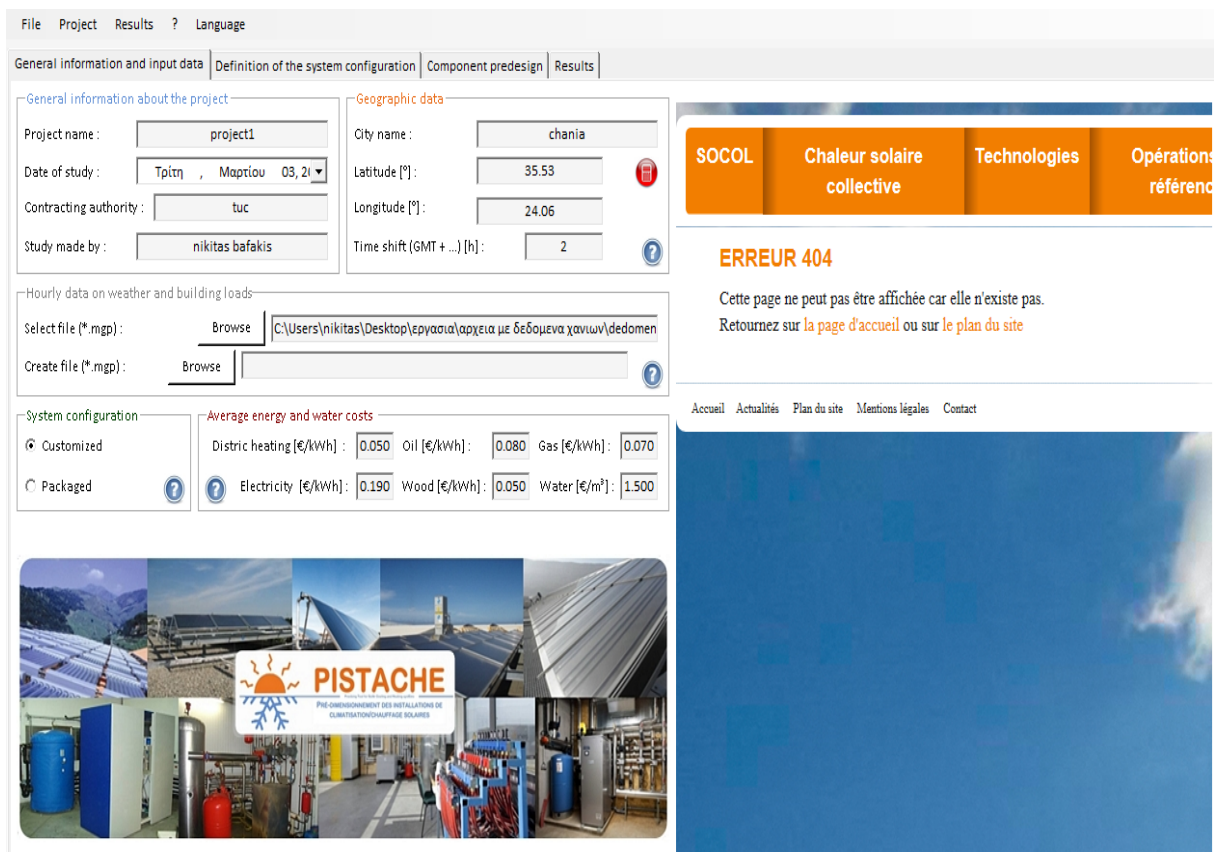
Τα μετεωρολογικά δεδομένα περιέχουν βασικές μεταβλητές όπως η σχετική αισθητή υγρασία(relative humidity HR {%) , η θερμοκρασία (dry-bulb temperature) και η ολική οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία (Global Horizontal Solar Radiation). Επίσης περιέχουν και χρονικές μεταβλητές όπως η ώρα, η ημέρα και ο μήνας.

Το κάθε .mgrp αρχείο έχει συνολικά 8760 τιμές μεταβλητών σε μορφή επεξεργάσιμη για τον χρήστη.

Αρχικά χρησιμοποιείται ως οδηγός το αρχείο .mgr της περιοχής της Αλμερίας όπου υπήρχε ήδη έτοιμο από παλαιότερη μελέτη και περιείχε μετεωρολογικά δεδομένα παρόμοια με την περιοχή των Χανίων. Το κτήριο που εξετάζεται, είναι το κτήριο του μηχανογραφικού κέντρου της σχολής ΜΗΠΕΡ του Πολυτεχνείου Κρήτης. Όμως το υπό εξέταση κτήριο δεν είχε τα ίδια χαρακτηριστικά (Εμβαδόν, Θερμικές/ψυκτικές απαιτήσεις) με αυτό της Αλμερίας. Έτσι αναγκαστικά έπρεπε να υποστεί τροποποίηση το αρχείο .mgr της Αλμερίας.

Επομένως, στο υπάρχον αρχείο της Αλμερίας γίνεται εισαγωγή αρχικά των μετεωρολογικών δεδομένων των Χανίων και στην συνέχεια των θερμικών/ψυκτικών φορτίων που αντιστοιχούν σ' αυτά. Τα θερμικά/ψυκτικά φορτία του υπό μελέτη κτηρίου προέκυψαν από παλαιότερη διπλωματική εργασία φοιτητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Στην συνέχεια το νέο .mgr αρχείο που δημιουργήθηκε με τα δεδομένα του υπό μελέτη κτηρίου μας, τοποθετείται στο πρόγραμμα Pistache:



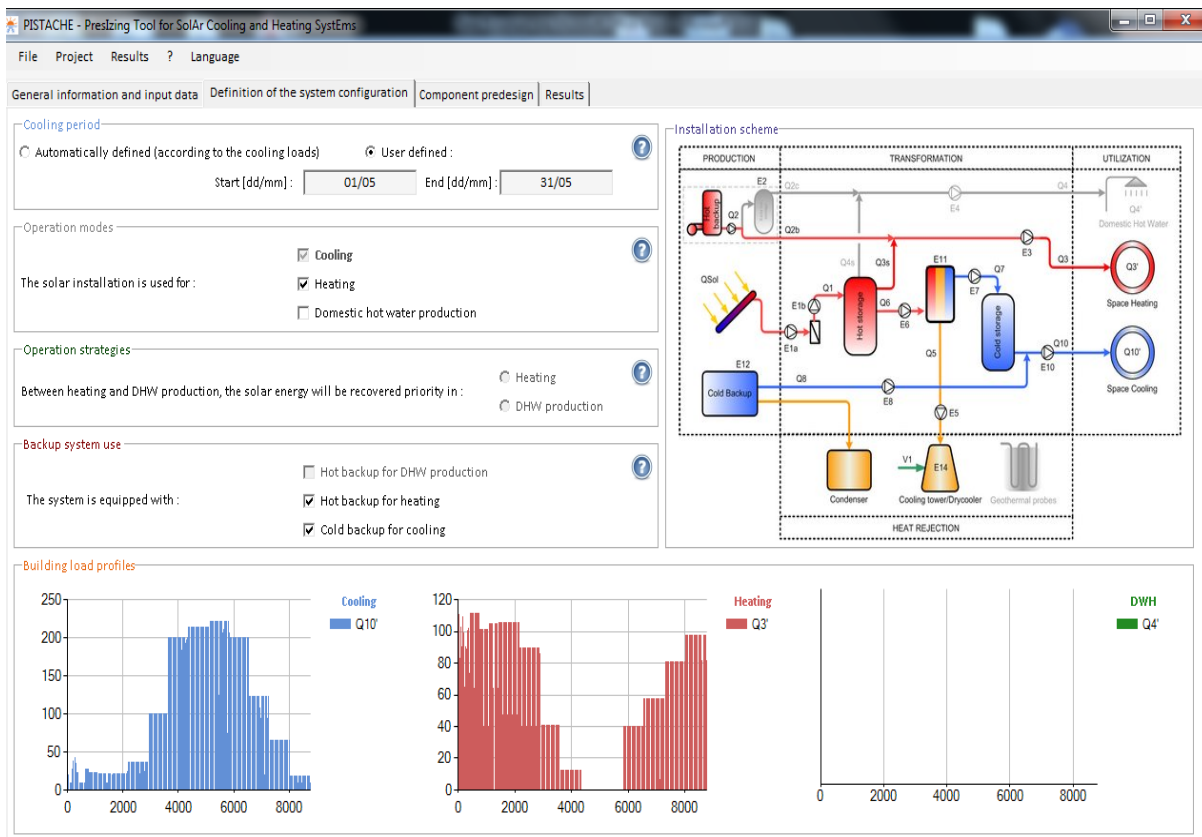
Εικόνα 1.4 Εισαγωγή του .mgr αρχείου στο πρόγραμμα

1.2.2 Προσχεδιασμός του συστήματος ψύξης-θέρμανσης

Σ' αυτό το στάδιο γίνεται ο προσχεδιασμός του συστήματος που θέλουμε να εγκαταστήσουμε στο κτήριο μας (θέρμανση-ψύξη-ZNX) και παρουσιάζονται σε διάγραμμα τα θερμικά/ψυκτικά φορτία σύμφωνα με .mgr αρχείο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης επιλέγονται και τα βοηθητικά υποσυστήματα(back-up systems) που χρησιμοποιούνται στο

σύστημά μας. Το πρόγραμμα ζητάει να δοθεί από τον χρήστη και η περίοδος ψύξης του κτηρίου κατά την διάρκεια ενός έτους ώστε να το λάβει υπόψιν στους υπολογισμούς του.

Στο δικό μας σύστημα έχει επιλεγθεί να γίνεται θέρμανση και ψύξη στο υπό μελέτη κτήριο λόγω ότι πρόκειται για κτήριο γραφείων και δεν είναι απαραίτητη η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.



Εικόνα 1.4 Προβολή θερμικών/ ψυκτικών φορτίων και διάταξης του συστήματος

Το σύστημα μας απαρτίζεται ουσιαστικά από ένα ψύκτη προσρόφησης, τους ηλιακούς συλλέκτες, τις δεξαμενές αποθήκευσης κρύου και ζεστού νερού, το σύστημα απόρριψης θερμότητας και τα βοηθητικά συστήματα ψύξης- θέρμανσης.

Στην συνέχεια γίνεται η εισαγωγή των τιμών στις μεταβλητές και τους παραμέτρους του συστήματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του υπό μελέτη κτηρίου.

Η τιμή του της εγκατεστημένης ισχύς του ψύκτη (**cooling capacity = 202.1 Kw**) και του θερμικού συντελεστή COP (**COP=2.7**) έχουν ληφθεί από την μελέτη ενεργειακής απόδοσης(ενεργειακό πιστοποιητικό) του κτηρίου μέσω του προγράμματος KENAK. Ο ψύκτης που χρησιμοποιείται στον προσχεδιασμό είναι ψύκτης προσρόφησης διότι αποδεικνύεται πως είναι πιο αποδοτικός και οικονομικός από αυτόν της απορρόφησης.

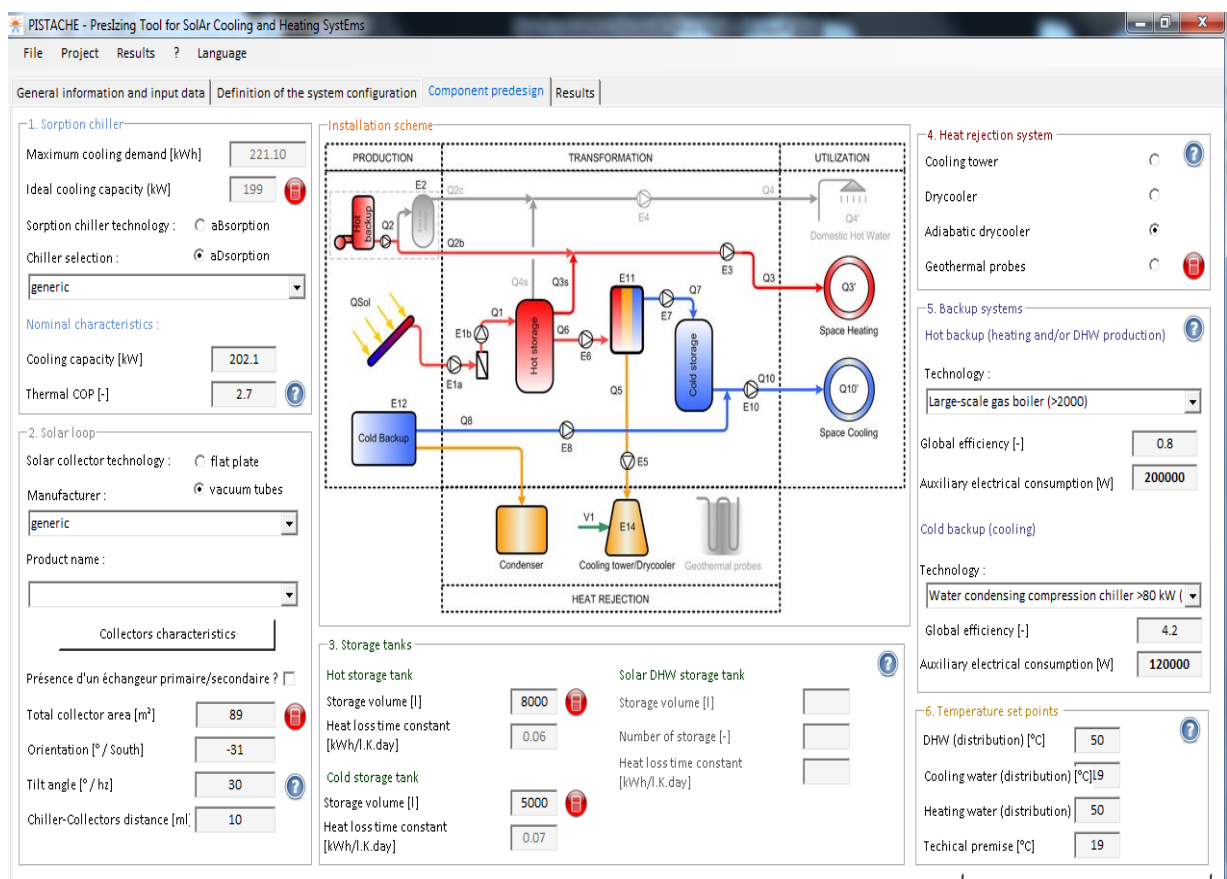
Οι ηλιακοί συλλέκτες που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα είναι με σωλήνες κενού. Η κλίση των συλλεκτών έχει υπολογιστεί με βάση το γεωγραφικό πλάτος του υπό μελέτη κτηρίου. Με

βάση τον τύπο $(\text{γεωγραφικό πλάτος} \cdot 0,76) + 3,1$ υπολογίζεται η κλίση των συλλεκτών. Ο προσανατολισμός των συλλεκτών είναι νότιος και η συνολική τους επιφάνεια υπολογίζεται με την βοήθεια του συστήματος προσχεδιασμού του προγράμματος στις 89μ².

Οι δεξαμενές του ζεστού και κρύου νερού είναι αντίστοιχα 8 m³ και 5 m³ ώστε να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του κτηρίου.

Το σύστημα απόρριψης θερμότητας όπως και τα βοηθητικά συστήματα επιλέχθηκαν με βάση τις διάφορες δοκιμές που έγιναν στον προσχεδιασμό ώστε να είναι πιο αποδοτικό το σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Το υποσύστημα θέρμανσης και ψύξης έχουν βοηθητική ισχύ 200 KW και 120 KW αντίστοιχα. Επίσης για την επιλογή τους λήφθηκε υπόψιν και η ισχύς του ψύκτη, ειδικά για την επιλογή του υποσυστήματος ψύξης.

Η θερμοκρασία του κρύου νερού είναι συνήθως όσο και το νερό του δικτύου (19 C°), όπως επίσης του ζεστού νερού χρήσης είναι όσο του ζεστού νερού (50 C°) που παράγεται από το σύστημα.



Εικόνα 1.5 Εισαγωγή τιμών στις μεταβλητές του συστήματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές του υπό μελέτη κτηρίου

Επομένως το πρόγραμμά μας είναι έτοιμο σ' αυτό το στάδιο να πραγματοποιήσει την προσομοίωση εφόσον έχουν προκαθοριστεί και εισαχθεί όλες οι απαραίτητες τιμές στις παραμέτρους της εγκατάστασης όπως φαίνεται και στο παρακάτω πίνακα 1.1:

Πίνακας 1.1 Βασικοί παράμετροι της εγκατάστασης του συστήματος θέρμανσης και ψύξης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	
Εγκατεστημένη ισχύς ψύκτη (cooling capacity)	202,1 Kw
Θερμικός συντελεστής COP	2,7
Επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών κενού	89 m ²
Προσανατολισμός συλλεκτών	Νότιος (-31 ⁰)
Κλίση συλλεκτών	30 ⁰
Χωρητικότητα δεξαμενής κρύου νερού	8 m ³
Χωρητικότητα δεξαμενής ζεστού νερού	5 m ³
Ισχύς βοηθητικού συστήματος ψύξης	120 Kw
Ισχύς βοηθητικού συστήματος θέρμανσης	200 Kw
Θερμοκρασία ζεστού νερού	50 C ⁰
Θερμοκρασία κρύου νερού	19 C ⁰

1.2.3 Αποτελέσματα του συστήματος ψύξης-θέρμανσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος του υπό μελέτη κτηρίου παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (εικόνα 1.7 και εικόνα 1.8). Στην εικόνα 1.7 παρουσιάζονται οι βασικές μεταβλητές λειτουργίας του συστήματος όπως είναι οι συντελεστές απόδοσης ενώ στην εικόνα 1.8 παρουσιάζονται οι αναλυτικές τιμές των μεταβλητών και παραμέτρων του συστήματος ανά μήνα.

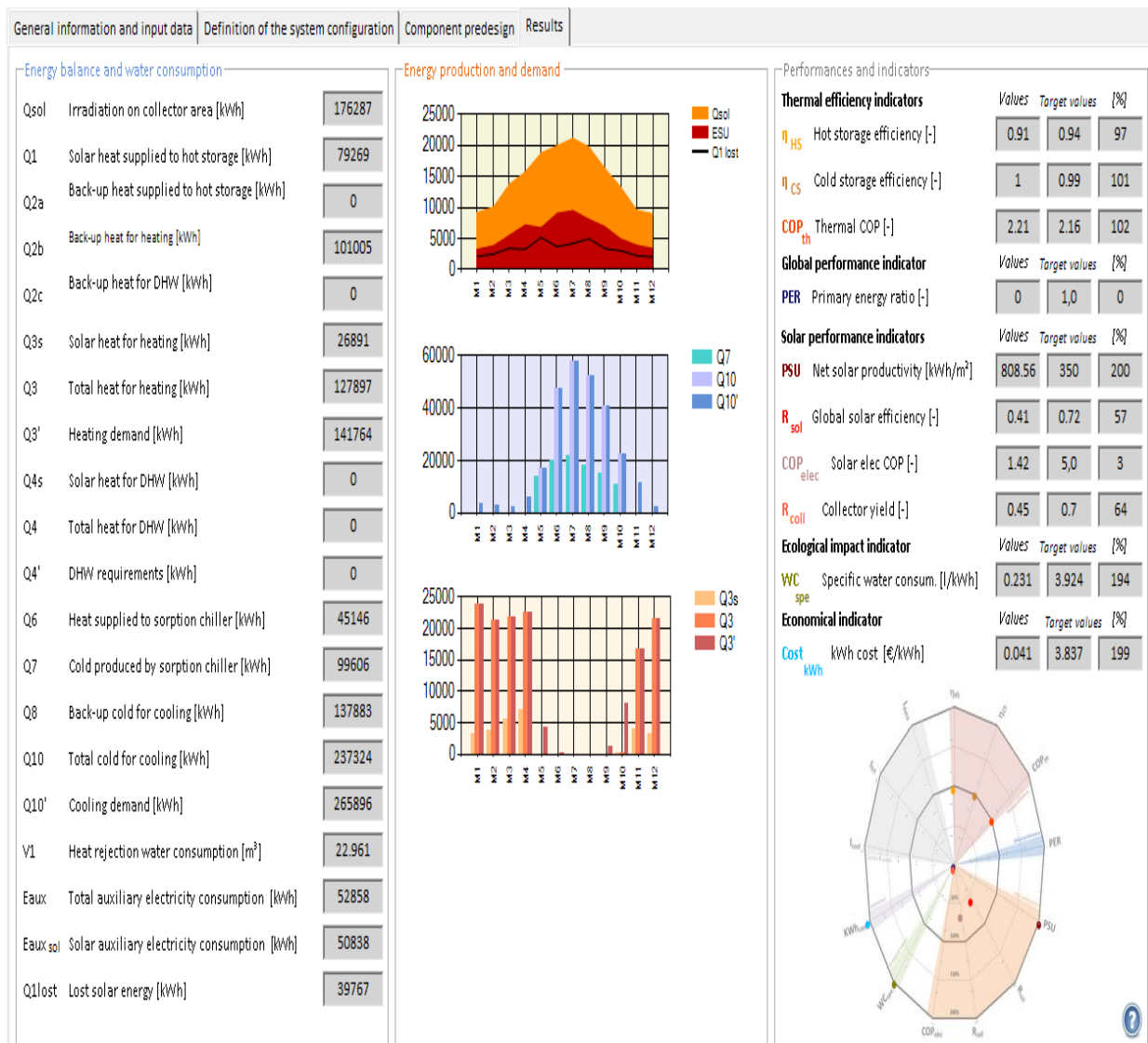
Στον πίνακα 1.2 αναγράφονται όλοι οι σημαντικοί παράμετροι λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και ψύξης, όπως αυτά υπολογίστηκαν από την προσομοίωση του προγράμματος:

Πίνακας 1.2 Αποτελέσματα της εγκατάστασης του συστήματος θέρμανσης και ψύξης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	
Συνολική παραγόμενη ενέργεια μέσω ηλιακής ακτινοβολίας (Qsol)	176.287 KWh
Ηλιακή ενέργεια για την θέρμανση	26.891 KWh
Συνολική ενέργεια για την θέρμανση	127.897 KWh
Συνολική ενέργεια για την ψύξη	237.324 KWh
Ηλιακή ενέργεια στην δεξαμενή αποθήκευσης	79.269 KWh
Συνολική ενέργεια στο εφεδρικό σύστημα θέρμανσης	101.005 KWh
Συνολική ενέργεια στο εφεδρικό σύστημα ψύξης	137.883 KWh
Θερμότητα που παρέχεται από τον ψύκτη	45.146 KWh
Ψύξη που παρέχεται από τον ψύκτη	99.606 KWh
Συνολική ζήτηση θέρμανσης	141.764 KWh
Συνολική ζήτηση ψύξης	265.896 KWh
Συνολική ανεκμετάλλευτη ενέργεια (Q1lost)	39.767 KWh
Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας βοηθητικών συστημάτων	52.858 KWh
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας βοηθητικών συστημάτων παραγωγής ηλιακής ενέργειας	50.838 KWh
Κατανάλωση νερού για την απορρίψη θερμότητας	22.961 m ³
Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	0,041 \$/KWh
Συντελεστής θερμικής απόδοσης (COP)	2,21
Ηλεκτρικός συντελεστής ηλιακής ενέργειας (Solar elec COP)	1,42
Ειδικός συντελεστής κατανάλωσης νερού (WC _{spe})	0,231 L/KWh
Συντελεστής κάλυψης πεδίου ηλιακών συλλεκτών	0,45

Οι πιο σημαντικές μεταβλητές είναι αυτή του Qsol και Q1lost , όπου η πρώτη αναφέρεται στην συνολική παραγόμενη ενέργεια από τους ηλιακούς συλλέκτες μέσω την ηλιακής

ακτινοβολίας κατά την διάρκεια ενός έτους 176287 KWh και η δεύτερη 39767 KWh όπου αναφέρεται στην συνολική ηλιακή ενέργεια που έμεινε ανεκμετάλλευτη αντίστοιχα.



Εικόνα 1.6 Υπολογισμός συνιστωσών και παραμέτρων του προγράμματος

Σημαντική παρατήρηση που προκύπτει από την προσομοίωση είναι ότι μένει ανεκμετάλλευτη μεγάλη ποσότητα παραγόμενης ηλιακής ενέργειας κατά την διάρκεια του έτους. Επίσης, η ποσότητα του νερού που χάνεται από την απόρριψη της θερμότητας είναι σημαντική αλλά ικανοποιητική σύμφωνα με το report analysis του προγράμματος.

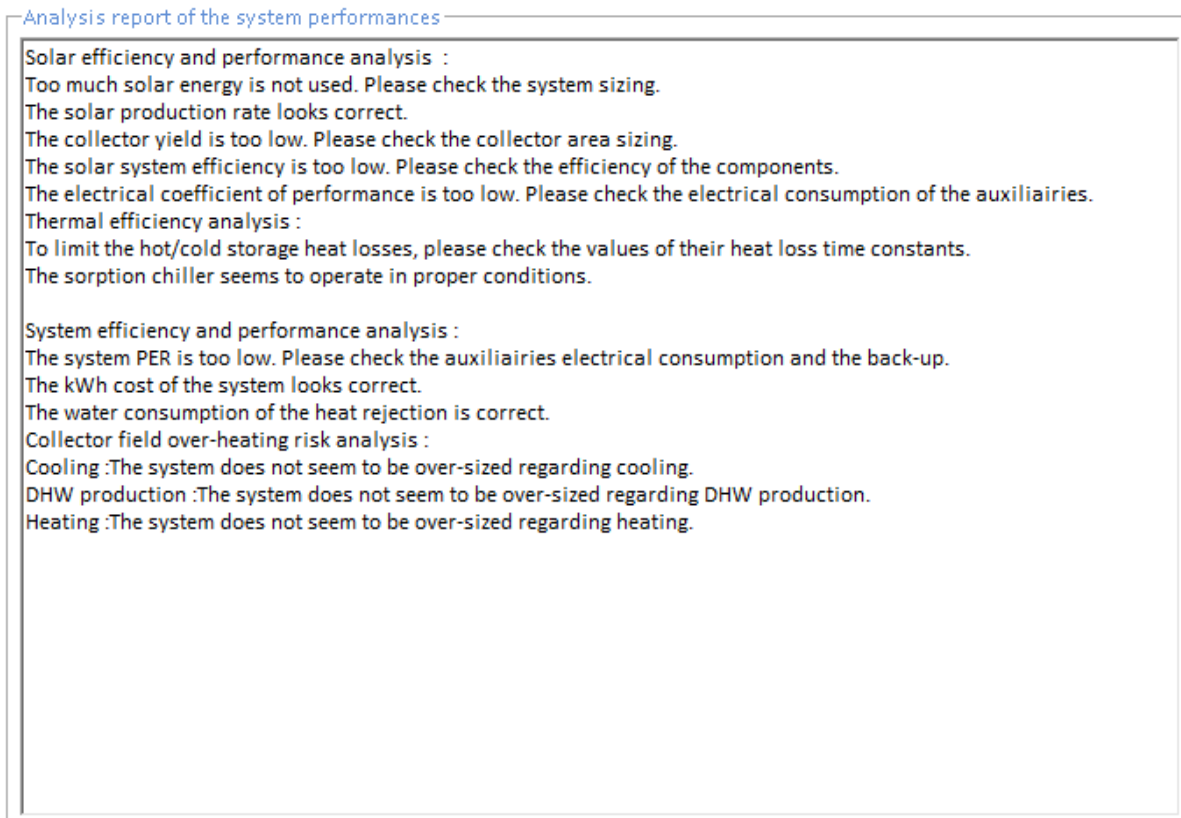
Energy balance and water consumption		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	Total
Qsol	Irradiation on collector area [kWh]	9188.8	10021.9	13707.1	15705.8	18772.5	19936.4	21142.2	19761.8	16281.7	13272.3	9540.6	8955.9	176286.9
Q1	Solar heat supplied to hot storage [kWh]	3933.7	4177.9	5929.9	7602.8	7570.6	9757.7	10278.1	8840	7567.5	5627.8	4190.4	3792.7	79269
Q2a	Back-up heat supplied to hot storage [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q2b	Back-up heat for heating [kWh]	20487.3	17515.3	16422	15496.2	0	0	0	0	0	0	12856.6	18227.9	101005.3
Q2c	Back-up heat for DHW [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q3s	Solar heat for heating [kWh]	3222.9	3791.2	5466.3	7161.6	0	0	0	0	0	6.6	3890.9	3351.9	26891.4
Q3	Total heat for heating [kWh]	23710.2	21306.5	21888.3	22657.8	0	0	0	0	0	6.6	16747.5	21579.8	127896.7
Q3'	Heating demand [kWh]	23710.2	21306.5	21888.3	22657.8	4184	275	0	0	1293.6	8121	16747.5	21579.8	141763.7
Q4s	Solar heat for DHW [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q4	Total heat for DHW [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q4'	DHW requirements [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q6	Heat supplied to sorption chiller [kWh]	0	0	0	0	6765.3	9028.7	9481.1	8070.7	6885.8	4914.4	0	0	45145.9
Q7	Cold produced by sorption chiller [kWh]	0	0	0	0	14172.6	20012.4	21608.5	17956.7	15093.7	10762.5	0	0	99606.2
Q8	Back-up cold for cooling [kWh]	0	0	0	0	2795.1	27538.9	36162.9	34337.5	25535.3	11513.6	0	0	137883.3
Q10	Total cold for cooling [kWh]	0	0	0	0	16864	47551.5	57771.4	52294.2	40616.4	22226.4	0	0	237323.9
Q10'	Cooling demand [kWh]	3683.3	2912	2389.8	5737.6	16864	47551.5	57771.4	52294.2	40616.4	22226.4	11270.7	2578.4	265895.7
V1	Heat rejection water consumption [m ³]	0	0	0	0	0	0	17.595	5.366	0	0	0	0	22.961
Eaux	Total auxiliary electricity consumption [kWh]	456.5	393.5	383	373.2	9617.7	9103.1	9617	8299.7	7959.4	5932.5	306.5	415.6	52857.8
Eaux _{sol}	Solar auxiliary electricity consumption [kWh]	46.8	43.2	54.6	63.3	9617.7	9103.1	9617	8299.7	7959.4	5932.5	49.4	51	50837.7
Q1lost	Lost solar energy [kWh]	2100.1	2471.3	3397.6	3240.4	5159.3	3663.1	4213.7	4926.2	3361.2	2990.7	2224.1	2019.8	39767.3

Εικόνα 1.7 Μηνιαία ανάλυση μεταβλητών και παραμέτρων του προγράμματος

1.2.4 Report analysis του συστήματος

Τέλος παρουσιάζεται το report analysis του συστήματος, το οποίο είναι το πιο σημαντικό στάδιο του προγράμματος διότι σύμφωνα μ' αυτό παρατηρούνται τα όποια λάθη υπάρχουν στην λειτουργία του συστήματος του υπό μελέτη κτηρίου.

Στο report analysis παρουσιάζεται η αξιολόγηση του συστήματος όσο αφορά την λειτουργία και την απόδοση των παραμέτρων του και επισημαίνονται από το πρόγραμμα οι παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν ξανά κατά τον προσχεδιασμό του ώστε να γίνει όσο το δυνατόν βέλτιστο.



Εικόνα 1.8 Report analysis συστήματος

Σύμφωνα με το παρών report analysis, οι βασικές παρατηρήσεις είναι οι εξής:

- μεγάλο μέρος της συνολικής παραγόμενης ενέργειας του συστήματος μένει ανεκμετάλλευτο όπως αναφέραμε και παραπάνω, παρόλο που ο ρυθμός παραγωγής της είναι ικανοποιητικός.
- το πεδίο των ηλιακών συλλεκτών είναι μικρό για να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Αυτό ίσως διορθωθεί με την προσθήκη επιπλέον συλλεκτών ,με τρόπο που να μην επιβαρύνει το σύστημα.
- ο ηλεκτρικός συντελεστής απόδοσης είναι χαμηλός , όπως και ο συντελεστής PER (primary energy ratio).
- Οι δεξαμενές αποθήκευσης του κρύου και ζεστού νερού έχουν απώλειες θερμότητας και αυτό ίσως οφείλεται στο μέγεθος και την χωρητικότητά τους.
- η αποδοτικότητα του συστήματος συνολικά είναι χαμηλή, το οποίο ίσως να οφείλεται και στις μεγάλες διαστάσεις του κτηρίου, που σημαίνει ότι όσο πιο μεγάλο είναι τόσο πιο μεγάλη απώλεια σε ηλιακή ενέργεια και θα έχει μειωμένη απόδοση. Το κόστος παραγωγής της παραγόμενης ενέργειας όμως είναι ικανοποιητικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κεφάλαιο 2^ο: Μελέτη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμίας με το λογισμικό RETScreen Expert

Όπως αναφέρεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πλέον αναγκαίες για τον άνθρωπο. Η πιο ήπια και περισσότερο φίλια στο περιβάλλον, λόγω της μορφής της, είναι η Γεωθερμική Ενέργεια [3].

2.1. Γεωθερμική Ενέργεια



Εικόνα 2.1 Γεωθερμική εφαρμογή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [3]

Η Γεωθερμική Ενέργεια είναι η φυσική θερμική ενέργεια που βρίσκεται μέσα στο εσωτερικό της γης και είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της γης, αποτελώντας ουσιαστικά μια σταθερή και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επίσης, δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αφού από την φύση του δεν παράγει ρύπους [3].

Όλα τα παραπάνω την καθιστούν την πιο ήπια και αποδοτική Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας. Η βασική μεταβλητή που επηρεάζει την γεωθερμία και ουσιαστικά την χωρίζει σε διάφορες κατηγορίες είναι η θερμοκρασία του υπεδάφους της γης.

Με βάση την θερμοκρασία της γης, η γεωθερμική ενέργεια χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες [3]:

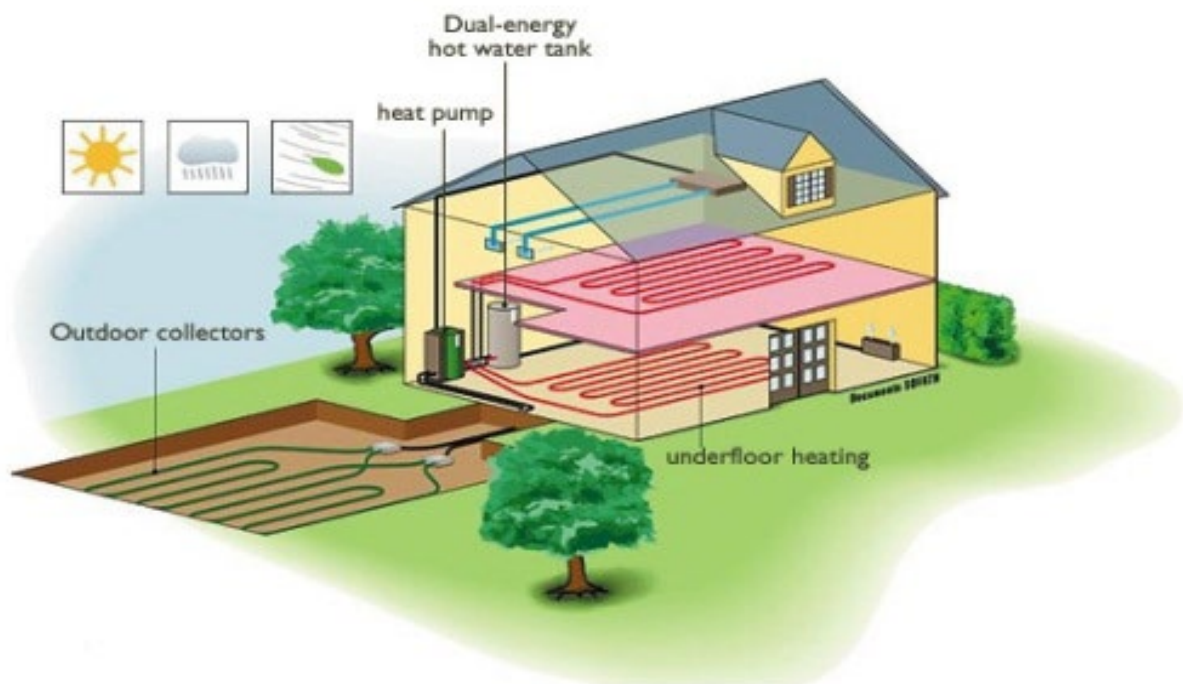
- Υψηλής Ενθαλπίας ($T > 150^{\circ}\text{C}$)
- Μέσης Ενθαλπίας ($80^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$)
- Χαμηλής Ενθαλπίας ($25^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$)
- Πολύ χαμηλής ενθαλπίας ή αβαθής ($0^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$)
- Πάρα πολύ χαμηλής ενθαλπίας, Permafrost ($T < 0^{\circ}\text{C}$)

Οι βασικές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι κυρίως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Υψηλής ενθαλπίας) και η θέρμανση-ψύξη χώρων (Χαμηλής ενθαλπίας, Αβαθής). Όμως χρησιμοποιείται και για άλλες εφαρμογές όπως η θέρμανση ή ξήρανση ξυλείας και γεωργικών προϊόντων (Μέσης ενθαλπίας) [4].

2.1.1. Η Γεωθερμία στην Ελλάδα

Στον Ελλαδικό χώρο μπορούν να αναπτυχθούν εφαρμογές για όλες τις παραπάνω κατηγορίες γεωθερμίας λόγω του ιδιαίτερου γεωθερμικού πεδίου που υπάρχει [5].

Σε ολόκληρη την έκταση της χώρας υπάρχουν πεδία αβαθής και χαμηλής γεωθερμίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά πάσα στιγμή για θέρμανση και ψύξη χώρων. Στην βόρεια και κεντρική Ελλάδα βρίσκονται πεδία μέσης ενθαλπίας που μπορούν να ευδοκιμήσουν θερμικές εφαρμογές. Στις περιοχές της Μήλου, Κιμώλου και Νισύρου παρατηρούνται ιδιαίτερα σημαντικά πεδία υψηλής ενθαλπίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [6], [7], [8].



Εικόνα 2.2 Γεωθερμικό σύστημα ψύξης – θέρμανσης οικιακής χρήσης [5]

Η αβαθής ή πάρα πολύ χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμία είναι η πιο διαδεδομένη στην Ελλάδα για την θέρμανση και ψύξη χώρων [9].

Η περιοχή της Κρήτης που μας ενδιαφέρει άμεσα στην παρούσα εργασία εντάσσεται στην παραπάνω κατηγορία γεωθερμίας διότι δεν υπάρχουν αξιόλογα ευρήματα στο υπεδάφός της.

Παράλληλα, έχουν γίνει έρευνες σε περιοχές γύρω από το ηφαιστειακό τόξο της Ελλάδας (Μήλο, Νίσυρο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό πεδίο της Μήλου είναι το πιο αξιόλογο, στο οποίο είχε κατασκευαστεί στο παρελθόν εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που όμως έκλεισε λόγω διαρροής τοξικών αερίων υδρόθειου [7], [8].



Εικόνα 2.3 Γεωθερμικό πεδίο Νισύρου [3]

Αυτό που συμπεραίνεται είναι ότι η Ελλάδα παρόλο είναι τόσο πλούσια σε γεωθερμικά πεδία, δεν έχει καταφέρει να αξιοποιήσει προς όφελος της την γεωθερμική ενέργεια [7], [8].

2.1.2. Γεωθερμικές εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο

Η πρώτη γεωθερμική εφαρμογή στον κόσμο είχε γίνει στην Ιταλία το 1904 όπου μια ομάδα ανθρώπων προσπάθησε να αξιοποιήσει την ενέργεια του υπεδάφους για να θέσει σε λειτουργία μια γεννήτρια και με την βοήθεια ενός στροβίλου [10].

Από εκεί και έπειτα η γεωθερμική ενέργεια έγινε ευρέως γνωστή σε όλο τον κόσμο και άρχισε να διαδίδεται και σε άλλες χώρες , όπως ο Καναδάς, οι ΗΠΑ, η Ισλανδία, η Ρωσία ,το Μεξικό κ.α [10].

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι χώρες που βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο στις γεωθερμικές εφαρμογές στην ηλεκτροπαραγωγή σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα είναι η Ιταλία (εικόνα 2.4) και η Ισλανδία (εικόνα 2.5) , λόγω κυρίως της έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας στις περιοχές αυτές. Στην Ισλανδία το 70% της χώρας εκμεταλλεύεται τις γεωθερμικές πηγές και τους θερμικούς πίδακες νερού για την θέρμανση των κτηρίων τους [11].



Εικόνα 2.4 Η μονάδα παραγωγής στο Larderello της Ιταλίας [3]

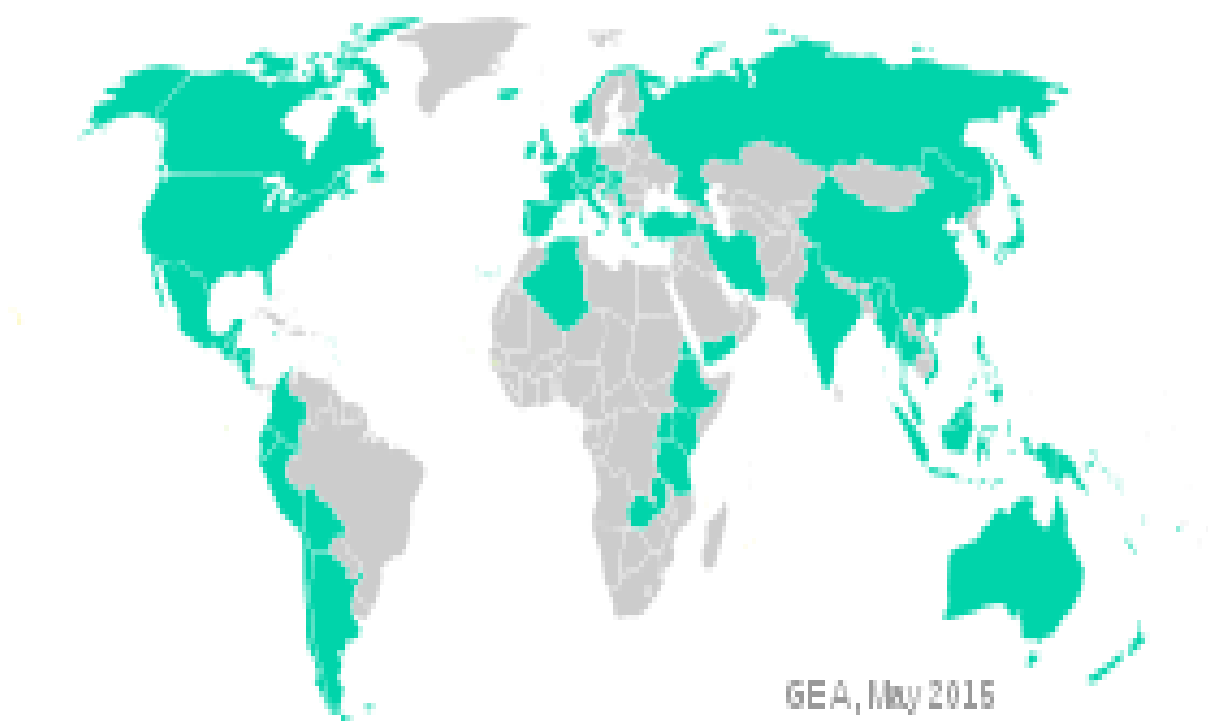
Επίσης χώρες όπως η Σουηδία ,η Ολλανδία και η Γαλλία έχουν αξιόλογες γεωθερμικές πηγές, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην θέρμανση και ψύξη κτηρίων [10].

Στον υπόλοιπο κόσμο, η χώρα που πρωτοστατεί στην αξιοποίηση του γεωθερμικού τους δυναμικού, είναι οι ΗΠΑ που διαθέτουν ένα εξαιρετικά προχωρημένο δίκτυο γεωθερμικών εγκαταστάσεων όπως αυτό της GEYSER της Καλιφόρνια. Η Τουρκία φαίνεται πως έχει αρχίσει να εκμεταλλεύεται ενεργά τα γεωθερμικά της πεδία την τελευταία δεκαετία, τα οποία κατατάσσονται στα πιο υψηλά παγκοσμίως [10].

Παρακάτω παρατίθενται στην εικόνα 2.6 η κατανομή των εγκατεστημένων ή αναπτυσσόμενων προγραμμάτων γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως και στον πίνακα 2.7 η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς παγκοσμίως [11].



Εικόνα 2.5 Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Νότια Ισλανδία [3]



Εικόνα 2.6 Χώρες με εγκατεστημένα ή αναπτυσσόμενα προγράμματα γεωθερμικής ενέργειας [3]

Πίνακας 2.1 Η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς παγκοσμίως

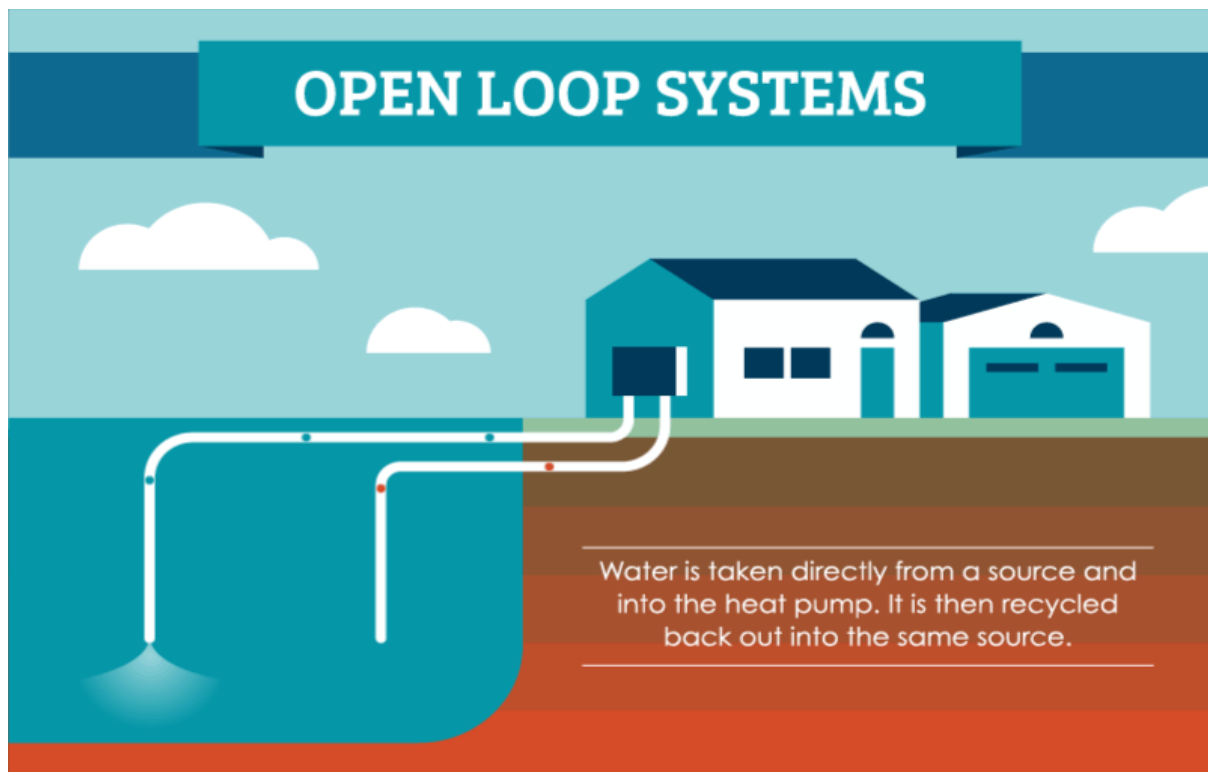
Country	Capacity (MW) 2007 ^[10]	Capacity (MW) 2010 ^[39]	Capacity (MW) 2013 ^[40]	Capacity (MW) 2015 ^[41]	Capacity (MW) 2018 ^[42]	Capacity (MW) 2019 ^[4]	Share of national generation (%)
USA	2687	3086	3389	3450	3591	3676	0.3
Turkey	38	82	163	397	1200	1526	0.3
Thailand	0.3	0.3	0.3	0.3			
Russia	79	79	82	82			
Portugal	23	29	28	29			
Philippines	1969.7	1904	1894	1870	1868	1918	27.0
Papua New Guinea	56	56	56	50			
Nicaragua	79	82	97	82			9.9
New Zealand	471.6	628	895	1005	1005	1005	14.5 ^[43]
Mexico	953	958	980	1017	951	962.7	3.0
Kenya	128.8	167	215	594	676	861	51.0 ^[44]
Japan	535.2	536	537	519	542	601	0.1
Italy	810.5	843	901	916	944	944	1.5
Indonesia	992	1197	1333	1340	1948	2133	3.7
Iceland	421.2	575	664	665	755	755	30.0
Guatemala	53	52	42	52			
Germany	8.4	6.6	13	27			
France	14.7	16	15	16			
Ethiopia	7.3	7.3	8	7.3			
El Salvador	204.4	204	204	204			25.0 ^{[45][46]}
Costa Rica	162.5	166	208	207			14.0
China	27.8	24	27	27			
Austria	1.1	1.4	1	1.2			
Australia	0.2	1.1	1	1.1			
Total	9,731.9	10,709.7	11,765	12,635.9	14,369	15,406	–

Σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα 2.1 είναι εμφανής η συνεχώς αυξανόμενη αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας από τις χώρες παγκοσμίως τα τελευταία 15 χρόνια περίπου [11].

2.2. Γεωθερμικός εναλλάκτης και γεωθερμική αντλία θερμότητας

2.2.1. Γεωθερμικός εναλλάκτης

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης είναι το βασικό εργαλείο ενός γεωθερμικού συστήματος, διότι σ' αυτόν πραγματοποιείται η εναλλαγή θερμότητας του εργαζόμενου μέσου. Οι βασικές κατηγορίες που διαχωρίζεται είναι: κλειστού κυκλώματος και ανοιχτού κυκλώματος.



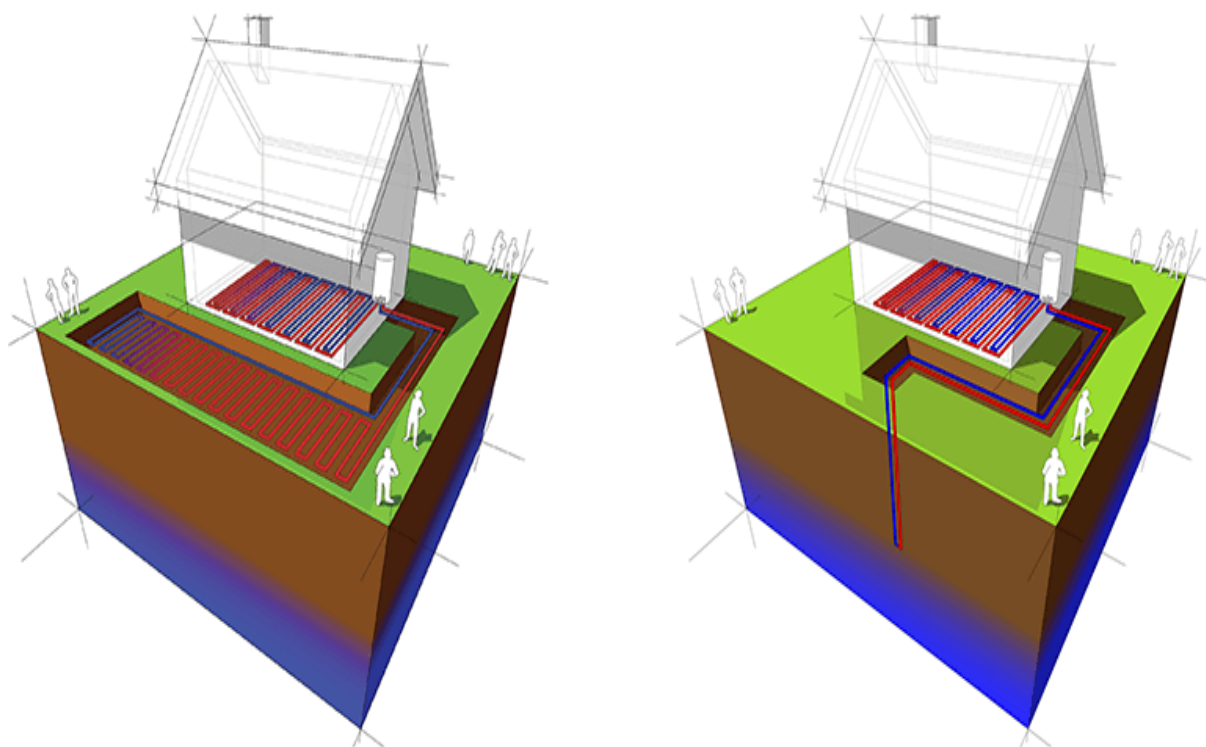
Εικόνα 2.7 Γεωθερμικός εναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος [11]

Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται στην αξιοποίηση του υδροφόρου ορίζοντα όπως λίμνες ή ποταμοί (υπόγειοι ή υπέργειοι) [3]. Ουσιαστικά, πραγματοποιείται μια εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του υδροφόρου ορίζοντα και της γεωθερμικής αντλίας μέσω του νερού ανάλογα με την ζήτηση του γεωθερμικού συστήματος, άλλοτε θα απορροφά θερμότητα από την αντλία και άλλοτε θα απορρίπτει επιστρέφοντας πίσω στον υδροφόρο ορίζοντα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7.

Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται σε ένα σύστημα αγωγών, στους οποίους κινείται το εργαζόμενο μέσο (συνήθως νερό), το οποίο εναλλάσσει θερμότητα με το υπέδαφος [3].

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος [3] (εικόνα 2.8) επίσης διαχωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες :

- κάθετος εναλλάκτης θερμότητας και
- οριζόντιος εναλλάκτης θερμότητας.



Εικόνα 2.8 Γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος [11]

Ο κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται να ανοιχτούν κάθετες γεωτρήσεις στο υπέδαφος σε μεγάλο βάθος, ενώ ο οριζόντιος γεωθερμικός εναλλάκτης χρησιμοποιείται σε μικρά βάθη με τοποθέτηση αγωγών παράλληλα με το έδαφος σε διάφορες στρώσεις [3].

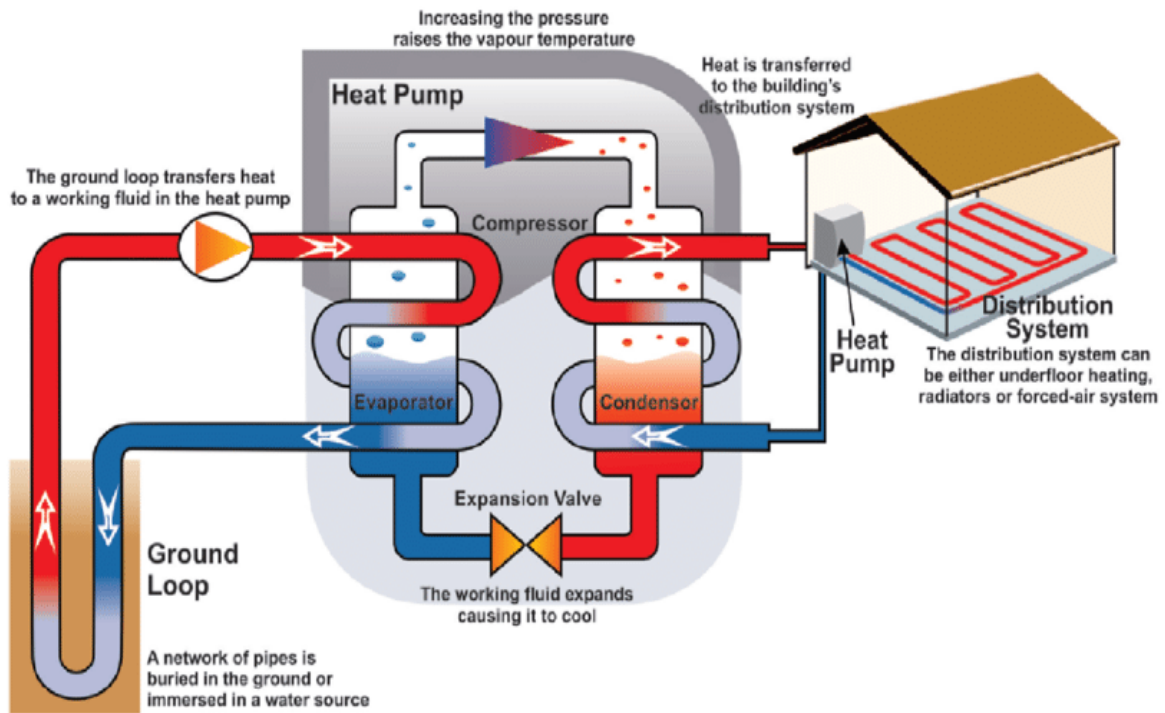
Η βασική διαφορά τους παρατηρείται στην ευαισθησία του οριζόντιου εναλλάκτη στις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια του εδάφους λόγω του μικρού βάθους του. Ο κάθετος εναλλάκτης εξαιτίας του μεγάλου βάθους του από την επιφάνεια έχει μεγάλη θερμοκρασιακή σταθερότητα.

2.2.2. Γεωθερμική αντλία θερμότητας

Η φυσική ροή της θερμότητας είναι η εναλλαγή θερμότητας από το θερμό σημείο στο πιο ψυχρό, όμως η γεωθερμική αντλία θερμότητας έχει ως βασική λειτουργία την μεταφορά θερμότητας από το ψυχρότερο σημείο στο θερμότερο ή ενδυναμώνει την φυσική ροή από το θερμό στο ψυχρό αν αυτό καθίσταται αναγκαίο [3].

Επομένως, η γεωθερμική αντλία θερμότητας [5] (εικόνα 2.9) εκμεταλλεύεται στο έπακρο την θερμική ενέργεια που λαμβάνει από το νερό του υπεδάφους.

Η βασική αρχή λειτουργίας της είναι μεταβολή της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου αναλογικά με την πίεση του, όσο ο όγκος του διατηρείται σταθερός. Ουσιαστικά ο όγκος του υγρού παραμένει σταθερός καθ' όλη την διεργασία του κύκλου [5].



Εικόνα 2.9 Γεωθερμική αντλία θερμότητας [5]

Αρχικά λοιπόν, το εργαζόμενο μέσο υπόκειται μια συμπίεση με αποτέλεσμα την εναλλαγής θερμότητας από θερμό στο κρύο με την βοήθεια μιας γεννήτριας που μεταβάλλει την πίεση του υγρού. Στην συνέχεια, το υγρό υπόκειται εκτόνωση μετά από απότομη πτώση της πίεσης του ώστε να γίνει ατμός και οδηγείται ξανά σε μορφή ατμού στον συμπιεστή, για να αρχίσει ο κύκλος του υγρού ξανά από την αρχή [5].

2.3. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι κατηγορίες των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ουσιαστικά τρεις [9]:

- Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί
- Σταθμοί που χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες ΑΠΕ για την λειτουργία τους (αιολική ενέργεια, γεωθερμική κ.α)

Ο διαχωρισμός των σταθμών πραγματοποιείται με βάση την αρχική μορφή ενέργειας που μετατρέπεται ώστε να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια τελικά [4].

Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί μετατρέπουν την θερμική ενέργεια από διάφορες μορφές ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια. Μερικές απ' αυτές τις μορφές είναι το φυσικό αέριο, ο λιγνίτης, το πετρέλαιο κ.α. Επίσης σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν και οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (βλέπε εικόνα 2.10) [12].



Εικόνα 2.10 Θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας [12]

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (βλέπε εικόνα 2.11) μετατρέπουν την δυναμική ενέργεια που προσδίδεται στο νερό από την υδατόπτωση μεγάλου ύψους λόγω της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του υδροστροβίλου και της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού (τεχνητά φράγματα) [12].



Εικόνα 2.11 Υδροηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας [12]

Η τελευταία κατηγορία βασίζεται στην αξιοποίηση κυρίως όλων των μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν ιδιαίτερη πρόοδο και εξέλιξη, καθώς επίσης συμμετέχουν σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο παγκοσμίως όσο αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αιολικά πάρκα, οι σταθμοί βιομάζας και οι γεωθερμικοί σταθμοί είναι ενδεικτικά παραδείγματα αυτών των σταθμών [13].

Οι γεωθερμικοί σταθμοί παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των αξιολογών γεωθερμικών πεδίων παγκοσμίως και αναλύονται στην συνέχεια της παρούσας εργασία εκτενέστερα [14].

2.4. Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι μονάδες παραγωγής είναι υπεύθυνες για την μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε μια άλλη μορφή, στην προκειμένη φάση σε κινητική ενέργεια. Αυτές οι μονάδες παραγωγής χωρίζονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες [15], [1], [16]:

- Θερμικές μηχανές (θερμική ενέργεια ορυκτών καυσίμων)
- Υδροστρόβιλος (δυναμική ενέργεια)
- Ανεμογεννήτριες (αιολική ενέργεια)
- Φωτοβολταϊκά (ηλιακή ενέργεια)

Οι θερμικές μηχανές οι οποίες θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία, μετατρέπουν την θερμική ενέργεια του ορυκτού καυσίμου που χρησιμοποιούν σε ηλεκτρική ενέργεια με την βοήθεια μιας γεννήτριας που παράγει μηχανικό έργο. Επίσης σ' αυτές τις μηχανές εφαρμόζεται πάντα κάποιος θερμοδυναμικός κύκλος, όπως του Rankine. Οι θερμικές μηχανές με την σειρά τους χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες [5]:

- Ατμοστρόβιλοι
- Αεριοστρόβιλοι
- Συνδυασμένου κύκλου εφαρμογές των παραπάνω τύπων

2.4.1. Ατμοστρόβιλος

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ατμοστρόβιλο πραγματοποιείται μέσω της εκτόνωσης υπέρθερμου ατμού υψηλής ενθαλπίας στον στρόβιλο. Το 1884 ο Βρετανός Sir Charles Parsons (1854-1931) εφηύρε την σύγχρονη αυτή μορφή του. Οι ατμοστρόβιλοι είναι οι πιο διαδεδομένοι παγκοσμίως, εφόσον ξεπερνά το 85% η εφαρμογή τους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [16].

Ο ατμοστρόβιλος, ουσιαστικά αποτελείται από διάφορους στρόβιλους που είναι εν σειρά συνδεδεμένοι σε κοινό άξονα περιστροφής μεταξύ τους αλλά και με την επαγωγική γεννήτρια. Οι στρόβιλοι μεταξύ τους χωρίζονται σε διάφορες βαθμίδες πίεσης, περνώντας από υψηλότερη βαθμίδα πίεσης, στην μεσαία βαθμίδα και στην χαμηλότερη βαθμίδα πίεσης 2 στρόβιλων πριν την επαγωγική γεννήτρια [16]. (βλέπε εικόνα 2.10)

Όσο ο ατμός ρέει στις βαθμίδες αυτές, η πίεση και η θερμική ενέργειά του μειώνονται διαδοχικά ενώ διογκώνεται, με συνέπεια οι στρόβιλοι να αυξάνουν αναγκαία την διάμετρο

αλλά και το μήκος των πτερυγίων τους για την απορρόφηση όσο περισσότερης μηχανικής ισχύος [16].



Εικόνα 2.12 Ρότορας ενός σύγχρονου ατμοστροβίλου [16]

Το παραπάνω φαινόμενο είναι η εξήγηση του μεγάλου μεγέθους των ατμοστροβίλων και της συνεχής περιστροφικής τους κίνησης ,ακόμα και σε χαμηλές στροφές, για την αποφυγή στρεβλώσεων και φθορών.

Εξαιτίας όμως του μεγάλου μεγέθους τους το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό και η εγκατάστασή τους καθίσταται δύσκολη. Ο βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός στο 30% περίπου, λόγω και των μεγάλων απωλειών που παρουσιάζουν.

2.4.2. Αεριοστρόβιλος

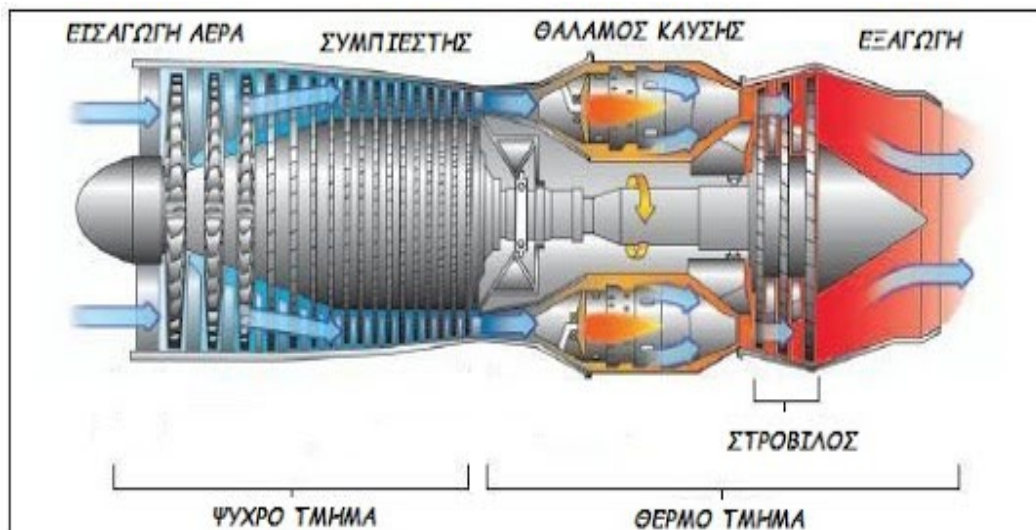
Ένας κοινός αεριοστρόβιλος (βλέπε εικόνα 2.13) αποτελείται από τρία βασικά τμήματα: το συμπιεστή, το θάλαμο καύσης και το στρόβιλο. Ανήκει στην κατηγορία των μηχανών εσωτερικής καύσης, το οποίο σημαίνει ότι όλες οι διεργασίες για την παραγωγή μηχανικού έργου πραγματοποιούνται στο εσωτερικό της μηχανής. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται αεριοστρόβιλοι αξονικής ροής κυρίως [16].

Ο αεριοστρόβιλος περιλαμβάνει τον κύριο άξονα , όπου στην μία άκρη έχει μια ή δύο βαθμίδες συμπίεστή και στην άλλη άκρη έχει μια ή δύο βαθμίδες στροβίλων . Κάθε βαθμίδα απαρτίζεται μια σειρά σταθερών πτερυγίων που ακολουθούνται από μια σειρά κινητών πτερυγίων [16].

Καθώς περιστρέφεται εισέρχεται αέρας στο εσωτερικό του , που στην συνέχεια οδηγείται στον θάλαμο καύσης αφού συμπίεστεί. Στον θάλαμο καύσης πραγματοποιείται ψεκασμός καυσίμου όπου αναμινύεται με τον αέρα υψηλής πίεσης και αναφλέγεται.

Τα καυσαέρια που δημιουργούνται είναι υψηλής ενθαλπίας και καθώς εισέρχονται στις βαθμίδες του στροβίλου εκτονώνονται με αποτέλεσμα να παράγουν μηχανική ισχύ στην έξοδό τους.

Ένα μικρό τμήμα αυτή της μηχανικής ισχύς ,όπως είναι φυσικό, καταναλώνεται για την κίνηση του στροβίλου και του συμπίεστή, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [16].



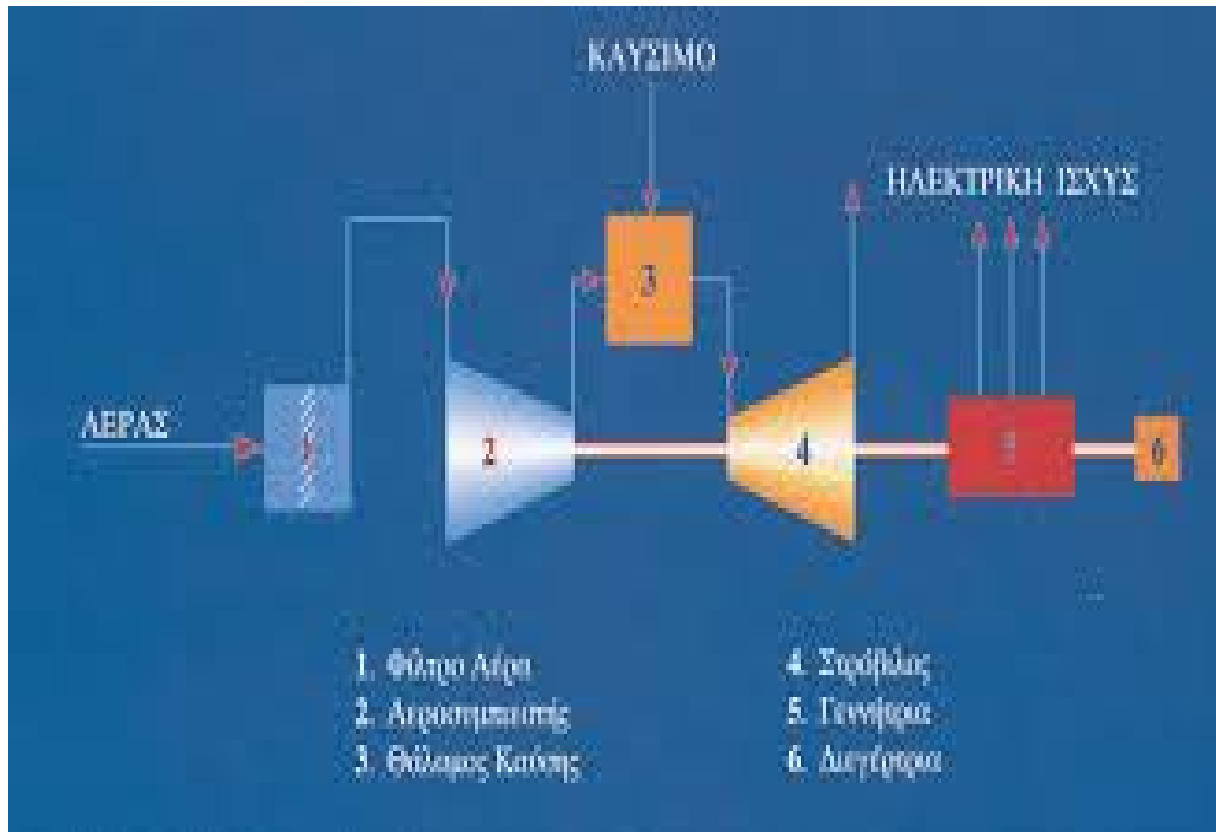
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΕΡΑ - Air Inlet
ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ - Compression
ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ - Combustion Chamber
ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ - Turbine
ΕΞΑΓΩΓΗ - Exhaust
ΨΥΧΡΟ ΤΜΗΜΑ - Cold Section
ΘΕΡΜΟ ΤΜΗΜΑ - Hot Section

Εικόνα 2.13 Βασικά τμήματα ενός αεριοστρόβιλου [16]

Σε αντίθεση με τους ατμοστρόβιλους, είναι πιο οικονομικοί λόγω του μικρού αναλογικά μεγέθους που έχουν και πιο ευέλικτοι όσο αφορά την λειτουργία τους και την εκκίνησή τους. Η εγκατάστασή τους είναι εύκολη και γρήγορη σχετικά. Όμως, με βάση των βαθμό απόδοσης τους κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα της τάξεως του 30 – 35 % [16].

2.4.3. Συνδυασμένος κύκλος

Ο συνδυασμένος κύκλος των παραπάνω βασικών τύπων θερμικών μηχανών, δεν είναι τίποτα άλλο εκτός από τον συνδυασμό των λειτουργιών του ατμοστρόβιλου και του αεριοστρόβιλου [15], [1], [16].



Εικόνα 2.14 παράδειγμα ενός συνδυασμένου κύκλου παραγωγής ενέργειας [16]

Αυτός ο συνδυασμός αποφέρει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης στις μονάδες παραγωγής αλλά και στο συνολικό σύστημα. Στους συνδυασμένους κύκλους, το βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι στο τέλος της διάταξης βρίσκεται πάντα μια μονάδα ατμοστρόβιλου. Στην αρχή μπορεί να βρίσκεται οποιαδήποτε βασική μονάδα ,είτε αεριοστρόβιλος είτε ατμοστρόβιλος. Ο βαθμός απόδοσης ενός συνδυασμένου κύκλου μπορεί να ξεπεράσει το 50 – 55% [15], [1], [16].

2.5 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία

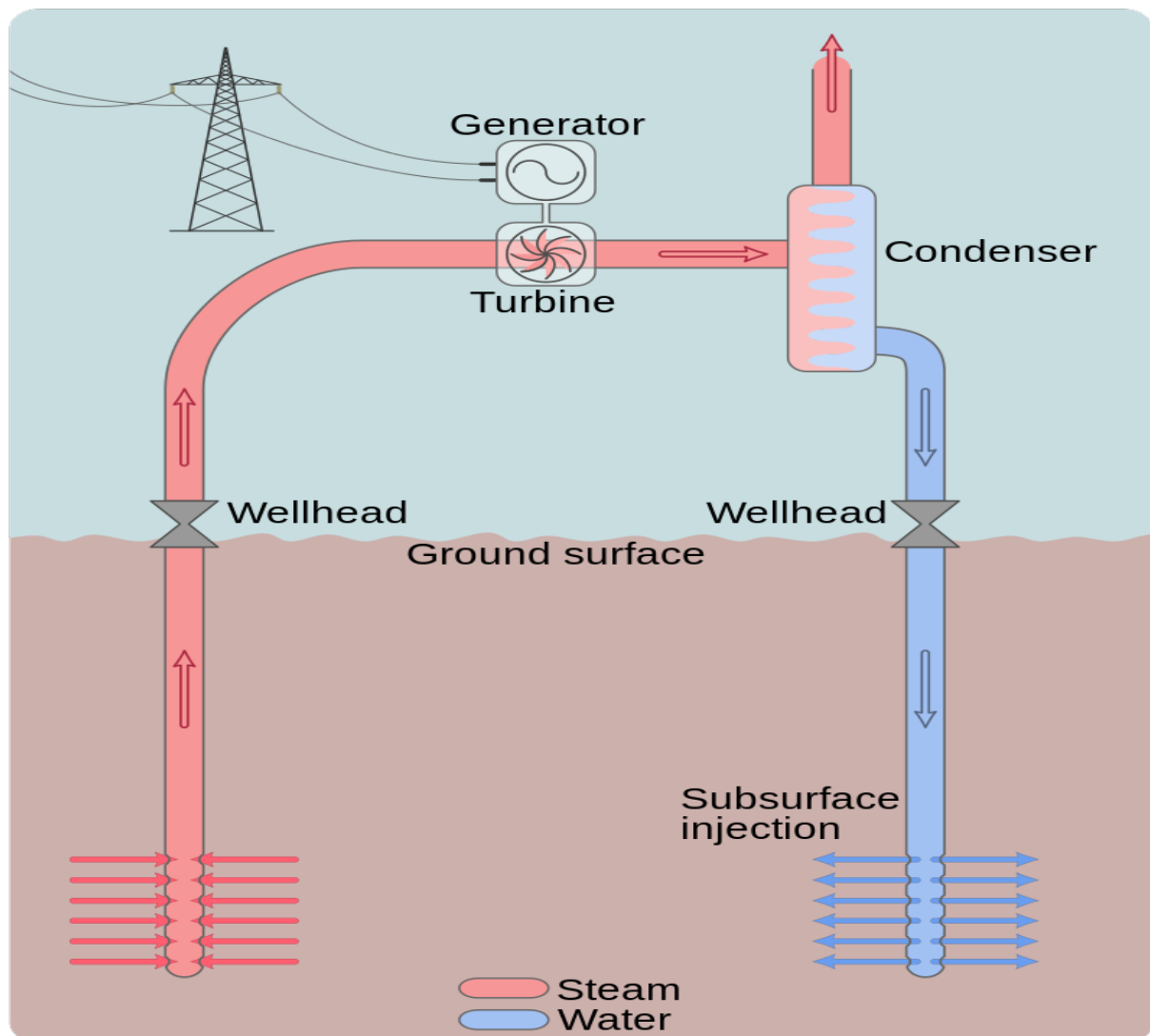
Η γεωθερμική ενέργεια από μόνη της είναι χρήσιμη εξαιρετικά, όμως για να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό πραγματοποιείται με τους εξής παρακάτω τρόπους [5]:

- Διάταξη ξηρού ατμού (dry steam)
- Διάταξη στιγμιαίας ατμοποίησης εργαζόμενου μέσου (flash steam)
- Διάταξη με ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα (binary cycle)

2.5.1. Διάταξη ξηρού ατμού(dry steam)

Η διάταξη ξηρού ατμού είναι από τις πιο αποτελεσματικές αλλά και πιο παλιές που υπάρχουν. Σ' αυτή την διάταξη, το κινητήριο μέσο είναι ο ατμός ο οποίος οδηγείται μέσω σωληνώσεων από το υπέδαφος σ' ένα ατμοστρόβιλο, που με την σειρά του κινεί την γεννήτρια που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια. Μετά το πέρασμα του από τον ατμοστρόβιλο, μεταβαίνει στον συμπυκνωτή όπου εκτονώνεται και υγροποιείται ο ατμός. Στο τέλος αφού πάρει υγρή μορφή θα επιστρέψει μέσω αγωγών στην αρχική δεξαμενή, ώστε να χρησιμοποιηθεί ξανά. Η εκτόνωση του μπορεί να γίνει και με απευθείας έκκλιση του ατμού στην ατμόσφαιρα [5].

Εξαιτίας της πολυπλοκότητας και της περίπλοκης κατασκευής του καθίσταται υψηλό το οικονομικό του κόστος. Όμως λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του ατμού (150° C και πάνω) δεν απαιτούνται αρκετά καύσιμα για την λειτουργία του ατμοστρόβιλου και αυτό σημαίνει ότι θα έχει μικρότερο περιβαλλοντικό και ενεργειακό κόστος [3].

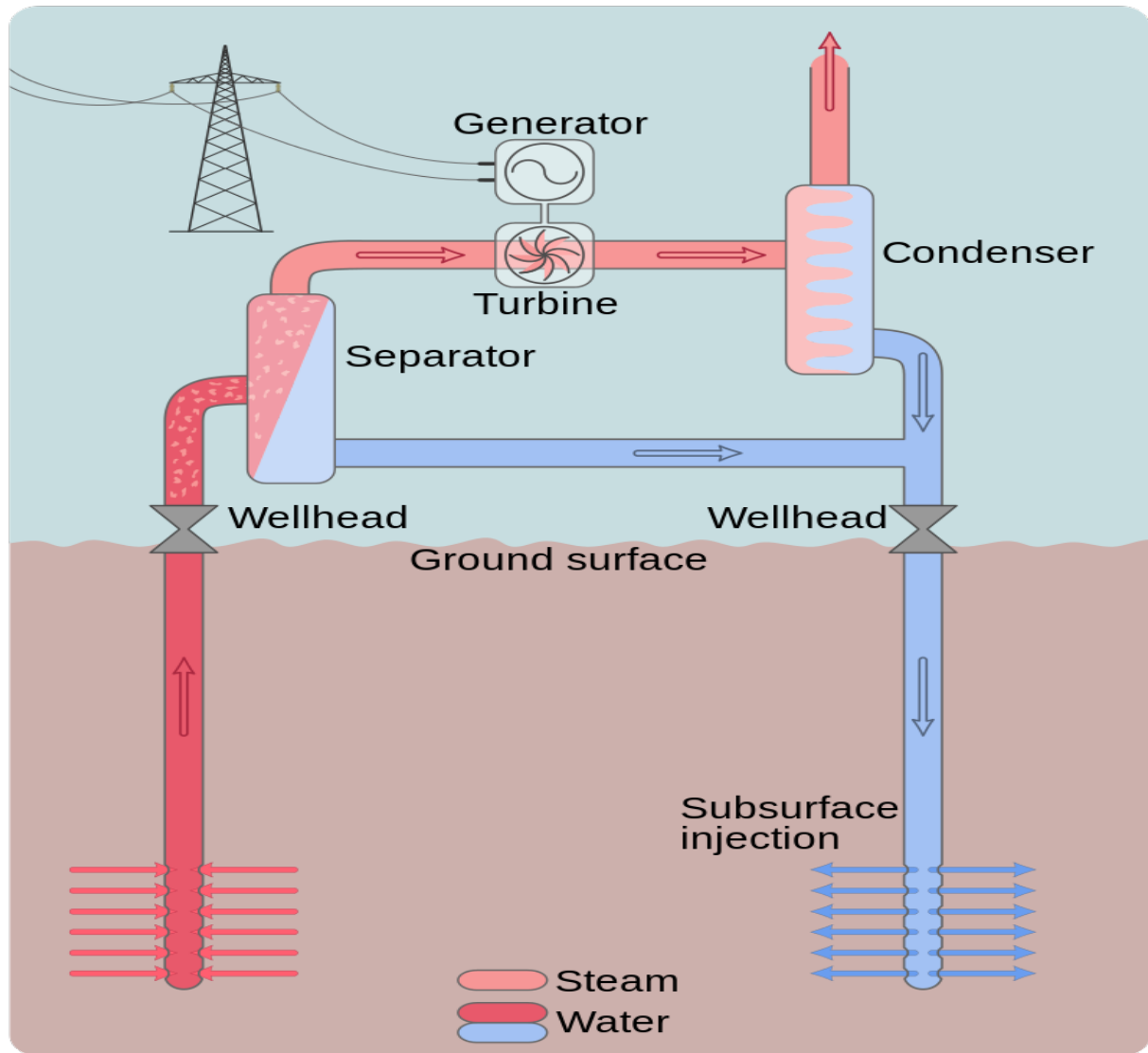


Εικόνα 2.15 Διάταξη ξηρού ατμού (dry steam) [5]

2.5.2. Διάταξη στιγμιαίας ατμοποίησης εργαζόμενου μέσου (flash steam)

Σ' αυτή την διάταξη το εργαζόμενο μέσο είναι υπέρθερμο νερό υψηλής πίεσης το οποίο οδηγείται σε μια δεξαμενή με πολύ χαμηλή πίεση με αποτέλεσμα να παραχθεί ατμός για την λειτουργία της γεννήτριας.

Το ζεστό (υπέρθερμο) νερό που αντλείται μέσα από το υπέδαφος έχει θερμοκρασία πάνω από 180° C και κινείται στους αγωγούς προς τα πάνω με φυσική ροή, ώσπου να εγχυθεί στην δεξαμενή χαμηλής πίεσης όπου ένα μέρος θα γίνει ατμός και ένα άλλο μέρος του νερό λόγω της εκτόνωσης στην οποία υπόκεινται [12].



Εικόνα 2.16 Διάταξη στιγμιαίας ατμοποίησης εργαζόμενου μέσου (flash steam) [5]

Ουσιαστικά αυτή η δεξαμενή λειτουργεί σαν ένας διαχωριστής πριν τον ατμοστρόβιλο, όπου διαχωρίζεται ο ατμός από το ζεστό νερό που δεν ατμοποιήθηκε με την εκτόνωση.

Στην συνέχεια ο ατμός διαχωρίζεται και οδηγείται στον ατμοστρόβιλο ο οποίος κινεί την γεννήτρια του συστήματος, ενώ το μη χρησιμοποιημένο υπέρθερμο νερό και ένα ποσοστό

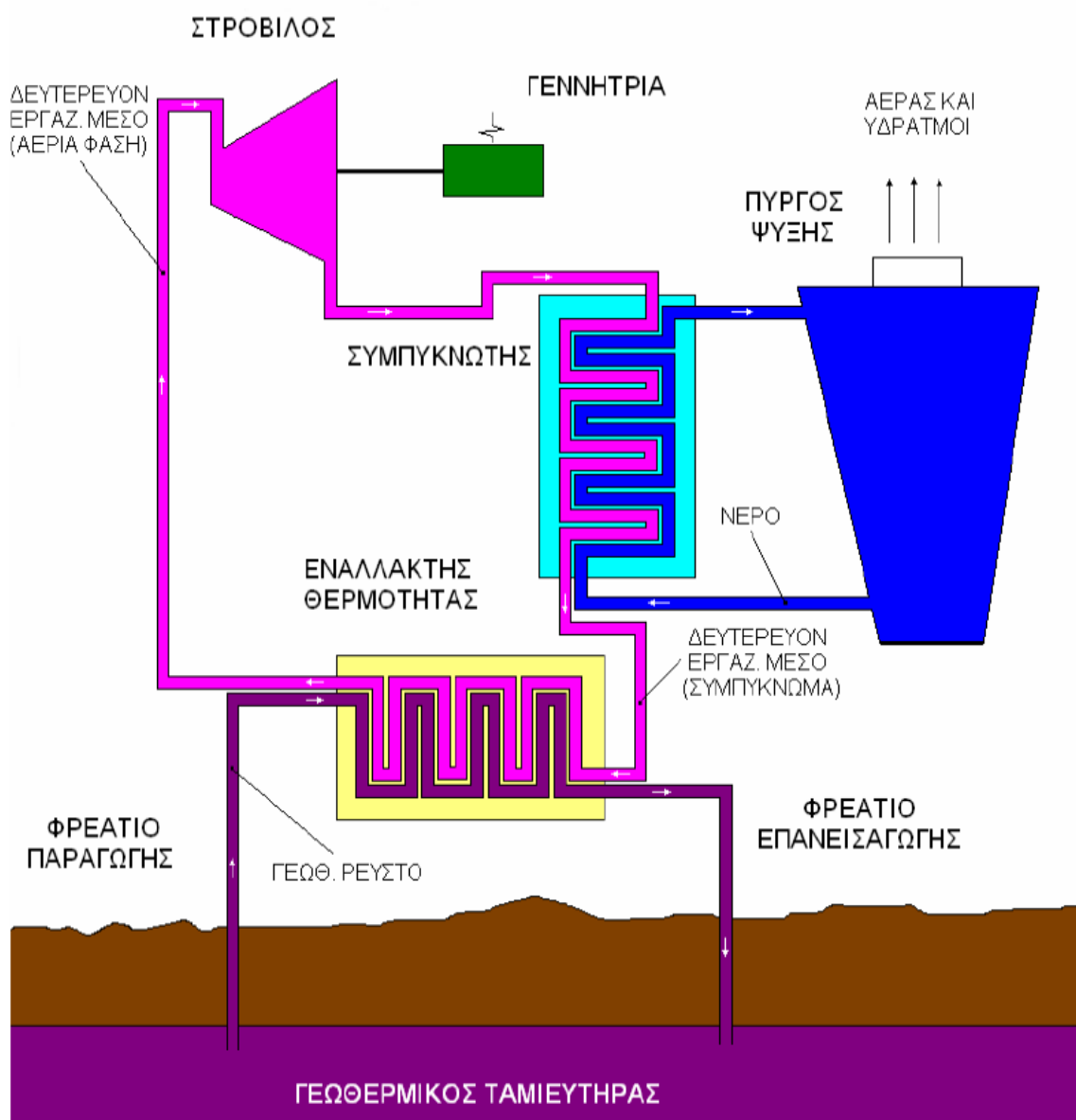
του ατμού επιστρέφει πίσω στο υπέδαφος από τους αγωγούς ώστε να χρησιμοποιηθεί ξανά (Μαύρος, n.d..

Επίσης, όσο υπέρθερμο νερό παραμένει στην δεξαμενή μπορεί να μεταφερθεί σε μια δεύτερη δεξαμενή με την ίδια διαδικασία ώστε να αποκτήσει μεγαλύτερη ενέργεια.

Αυτή η διάταξη είναι από τις πιο συνηθισμένες και πιο αποδοτικές οι οποίες χρησιμοποιούνται στις μέρες μας για την παραγωγή ενέργειας μέσω γεωθερμικών πεδίων [12].

2.5.3. Διάταξη με ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα (binary cycle)

Η διάταξη αυτή είναι από τις πιο εξελισσόμενες και χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές όπου τα γεωθερμικά πεδία είναι πολύ χαμηλά και χρειάζεται ο συνδυασμός δύο ρευστών για την παραγωγή ενέργειας [12].



Εικόνα 2.16 Διάταξη με ξεχωριστά εργαζόμενα μέσα (binary cycle) [12]

Σ' αυτή την περίπτωση, έχουμε το πρωτεύων εργαζόμενο μέσο που είναι ο ατμός ή το ζεστό νερό από το υπέδαφος της γης και το δευτερεύων που είναι ένα ρευστό χαμηλότερης πίεσης και σημείου βρασμού από του νερό ώστε να ατμοποιείται πρώτο. Αυτή η ατμοποίησή του δευτερεύοντος ρευστού, ουσιαστικά θα εκκινήσει τον ατμοστρόβιλο και κατ' επέκταση την γεννήτρια [12].

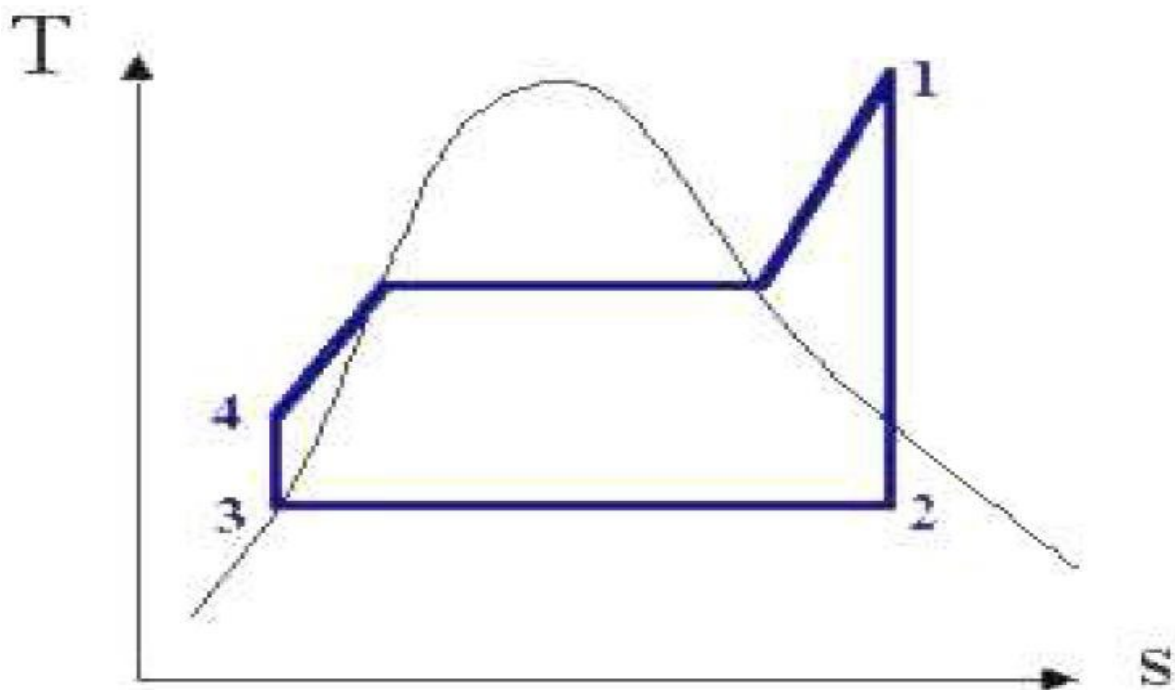
Τα δύο ρευστά αυτά θα εισέλθουν σε ένα εναλλάκτη θερμότητας όπου αντιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα το πιο θερμό ρευστό (πρωτεύων) να οδηγήσει το άλλο (δευτερεύων) σε ατμοποίηση. Η ατμοποίηση αυτή του δευτερεύοντος ρευστού κινεί τον ατμοστρόβιλο και αυτός με την σειρά δίνει ενέργεια στην γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην συνέχεια, το δευτερεύων ρευστό μετά από την εκτόνωση που υπόκειται στον ατμοστρόβιλο οδηγείται στον συμπυκνωτή όπου και υγροποιείται ξανά και μεταφέρεται πίσω στον γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας δημιουργώντας ένα κλειστό θερμοδυναμικό κύκλο. Επομένως, παρατηρείται ότι τίποτα δεν εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα σ' αυτή την διάταξη.

Αυτή του είδους η διάταξη ακολουθεί τον θερμοδυναμικό κύκλο του Rankine ο οποίος αναλύεται παρακάτω [12].

2.5.4. Κύκλος Rankine

Ο θερμοδυναμικός κύκλος του Rankine (βλέπε εικόνα 2.18) αναφέρεται σε όλες τις μεταβολές που υφίσταται ένα ρευστό που διακινείται μέσα στα επιμέρους τμήματα μιας εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2.18 Διάγραμμα θερμοκρασίας- εντροπίας του κύκλου Rankine [12]

Στην αρχή το ρευστό αποκτά όση θερμότητα χρειάζεται να ατμοποιηθεί και να βρεθεί σε υπέρθερμη κατάσταση από τον ατμοπαραγωγό (σημείο 1). Στην συνέχεια, το ρευστό

οδηγείται στο ατμοστρόβιλο όπου εκτονώνεται με σταθερή εντροπία μέχρι να αποκτήσει την πίεση εξόδου (σημείο 2). Στο επόμενο στάδιο, το ρευστό θα υποστεί συμπύκνωση (ψύξη) με την βοήθεια ενός πύργου ψύξης με σταθερή θερμοκρασία και πίεση (σημείο 3). Στο τέλος, το υγρό ρευστό οδηγείται μέσω μιας αντλίας στον ατμοπαραγωγό με παράλληλη αύξηση της πίεσης του (σημείο 4) [12].

Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία, ουσιαστικά ο ατμοπαραγωγός δεν υφίσταται διότι το ρευστό έχει ήδη την απαιτούμενη ενέργεια για να ολοκληρωθεί ένας θερμοδυναμικός κύκλος Rankine από μόνο του λόγω της υψηλής ενθαλπίας που βρίσκεται [14].

2.6 Λογισμικό RETScreen Expert



Εικόνα 2.19 Το κεντρικό μενού του λογισμικού RETScreen Expert [17]

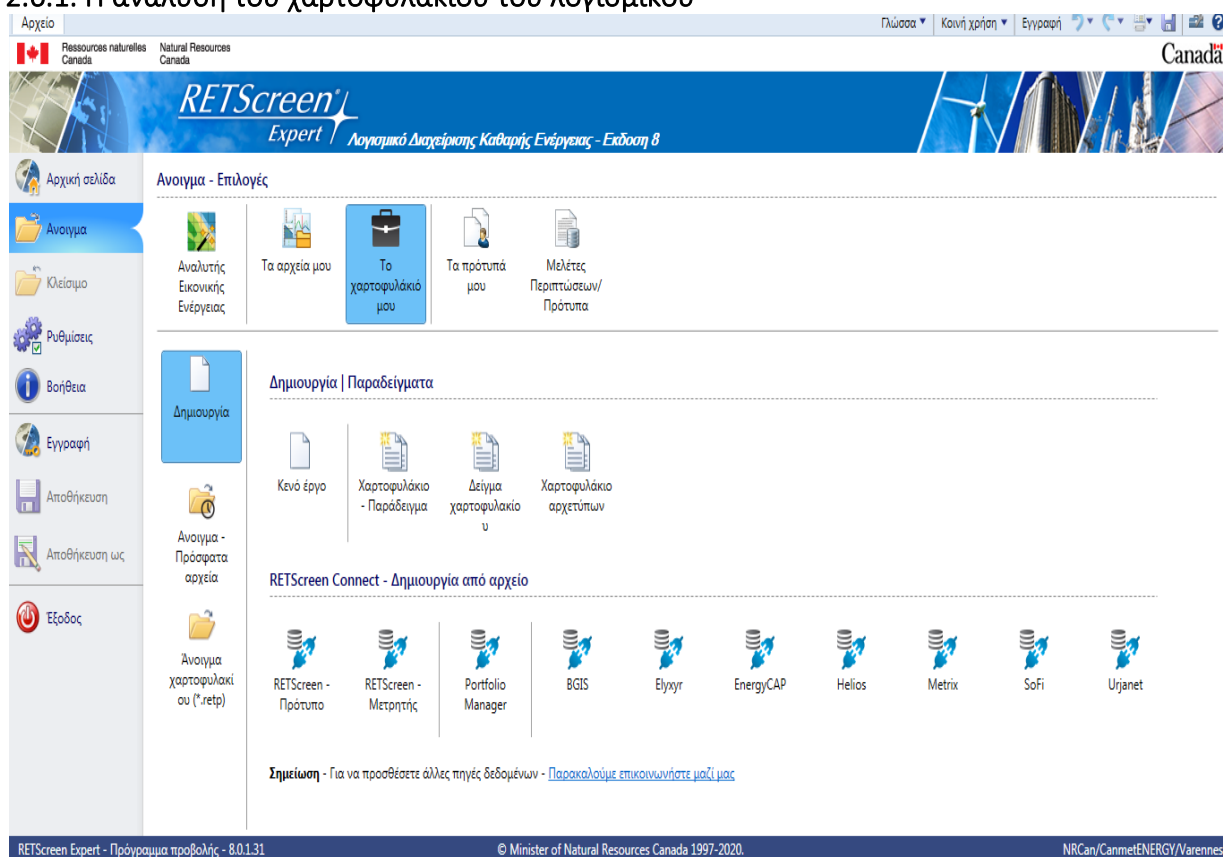
Η μελέτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία, υλοποιείται με την χρήση του λογισμικού RETScreen Expert [17]. Στην ουσία, αποτελεί ένα λογισμικό διαχείρισης καθαρής ενέργειας, το οποίο δημιουργήθηκε από την κυβέρνηση του Καναδά.

Το πρόγραμμα πραγματοποιεί μια προσομοίωση σχετικά με την αξιολόγηση και βελτιστοποίηση διαφόρων τύπου εφαρμογών-έργων που μπορούν να κατασκευαστούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και παρουσιάζει τον αναλυτικό σχεδιασμό τους, την

ενεργειακή τους απόδοση, την οικονομική τους βιωσιμότητα, τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο και την ανάλυση της σκοπιμότητας τους, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα βάσης [17].

Στη βάση δεδομένων του λογισμικού περιλαμβάνονται, μια βάση δεδομένων κλιματολογικών και μετεωρολογικών συνθηκών από διάφορους επίγειους σταθμούς παγκοσμίως αλλά και από το δορυφορικό σύστημα της NASA, μια βάση δεδομένων αναφοράς, μια βάση δεδομένων κόστους, μια βάση δεδομένων εφαρμογών-έργων και μια βάση δεδομένων προϊόντων [17].

2.6.1. Η ανάλυση του χαρτοφυλακίου του λογισμικού



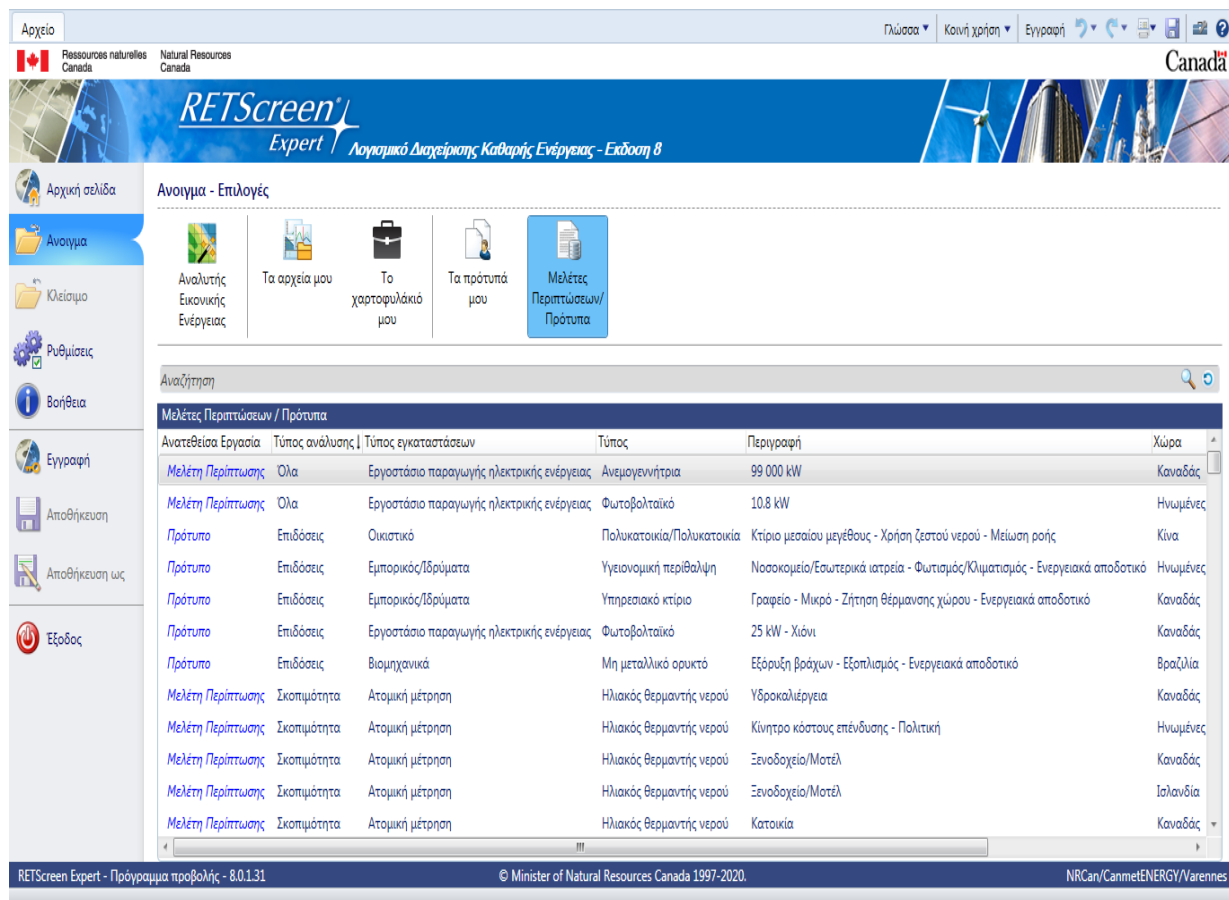
Εικόνα 2.20 Το χαρτοφυλάκιο ενός χρήστη του λογισμικού [17]

Στο χαρτοφυλάκιο του λογισμικού, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει μέσα από μια μεγάλη γκάμα εγκαταστάσεων αυτή που θέλει να αξιολογήσει και τον ενδιαφέρει σαν ενεργειακή επένδυση [17].

Οι εγκαταστάσεις αυτές μπορεί να αναφέρονται σε ένα οικιακό απλό κτήριο, μια πολυκατοικία, μια βιομηχανία, ένα εμπορικό κέντρο ή ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.

Επίσης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει από την αρχή ένα δικό του αρχείο εγκατάστασης σε οποιοδήποτε σημείο της Γης επιθυμεί να επενδύσει ή να χρησιμοποιήσει ένα αρχείο επιλέγοντας ένα από τα υπάρχοντα πρότυπα και μελέτες περιπτώσεων του λογισμικού. Το

λογισμικό διαθέτει μεγάλο αριθμό από πρότυπα και μελέτες περιπτώσεων, που αφορούν οποιαδήποτε μορφή παραγωγής ενέργειας [17].



Εικόνα 2.21 Επιλογή μελέτης περιπτώσεων- πρότυπου από το αρχείο [17]

Τα πρότυπα και οι μελέτες περιπτώσεων ,είναι αρχεία από έργα που έχουν δημιουργηθεί παγκοσμίως και με βάση αυτά μπορεί ο χρήστης να υλοποιήσει την δική του εγκατάσταση, είτε χρησιμοποιώντας τα όπως έχουν προσαρμόζοντας τα δεδομένα του σε αυτά, είτε παίρνοντας πληροφορίες για να δημιουργήσει από την αρχή ένα καινούργιο αρχείο εγκατάστασης [17].

Έτσι, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα ιδιαίτερο οργανωμένο χαρτοφυλάκιο με όλα τα αρχεία εγκαταστάσεων που έχει υλοποιήσει.

Το λογισμικό προσδίδει στο χρήστη την δυνατότητα να εγκαταστήσει οποιοδήποτε τύπο εγκατάστασης σε οποιαδήποτε γεωγραφική περιοχή παρέχοντας σ' αυτόν όλα τα απαραίτητα εργαλεία απεικόνισης και εγκατάστασης. Τα εργαλεία αυτά περιλαμβάνουν όλους τους τύπους ανάλυσης προσφέρονται στο περιβάλλον του προγράμματος στον χρήστη, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω [17].

2.6.2. Ροή εργασιών του λογισμικού

Το βασικό εργαλείο του λογισμικού είναι η Μηχανή Αποφάσεων , το οποίο δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να αξιολογούν και να βελτιστοποιούν την τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα των έργων, ενώ παράλληλα τους επιτρέπει να επαληθεύουν την ενεργειακή

απόδοση των έργων σε πραγματικό χρόνο και να την βελτιώνουν χρησιμοποιώντας άλλους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας ή παραγωγής [17].



Εικόνα 2.22 Η Μηχανή Αποφάσεων του λογισμικού RETScreen Expert [17]

Η Μηχανή αποφάσεων απαρτίζεται από 4 βασικούς δείκτες [17]:

- τον αναλυτή εικονικής ενέργειας,
- τον αναγνωριστή έξυπνου έργου,
- τον εκτιμητή χρηματοοικονομικού κινδύνου
- τον ανιχνευτή απόδοσης.

Ο αναλυτής εικονικής ενέργειας αναφέρεται στην αξιολόγηση του δυναμικού παραγωγής και εξοικονόμησης ενέργειας σε οποιαδήποτε τοποθεσία του κόσμου οποιαδήποτε χρονική στιγμή, χωρίς να απαιτείται αυτοψία στον χώρο δια ζώσης.

Ο αναγνωριστής έξυπνου έργου προσδιορίζει την καλύτερη δυνατή εφαρμογή που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια εγκατάσταση και προβλέπει τις όποιες βελτιώσεις χρειάζονται με την δημιουργία μιας ανάλυσης προ-σκοπιμότητας [17].

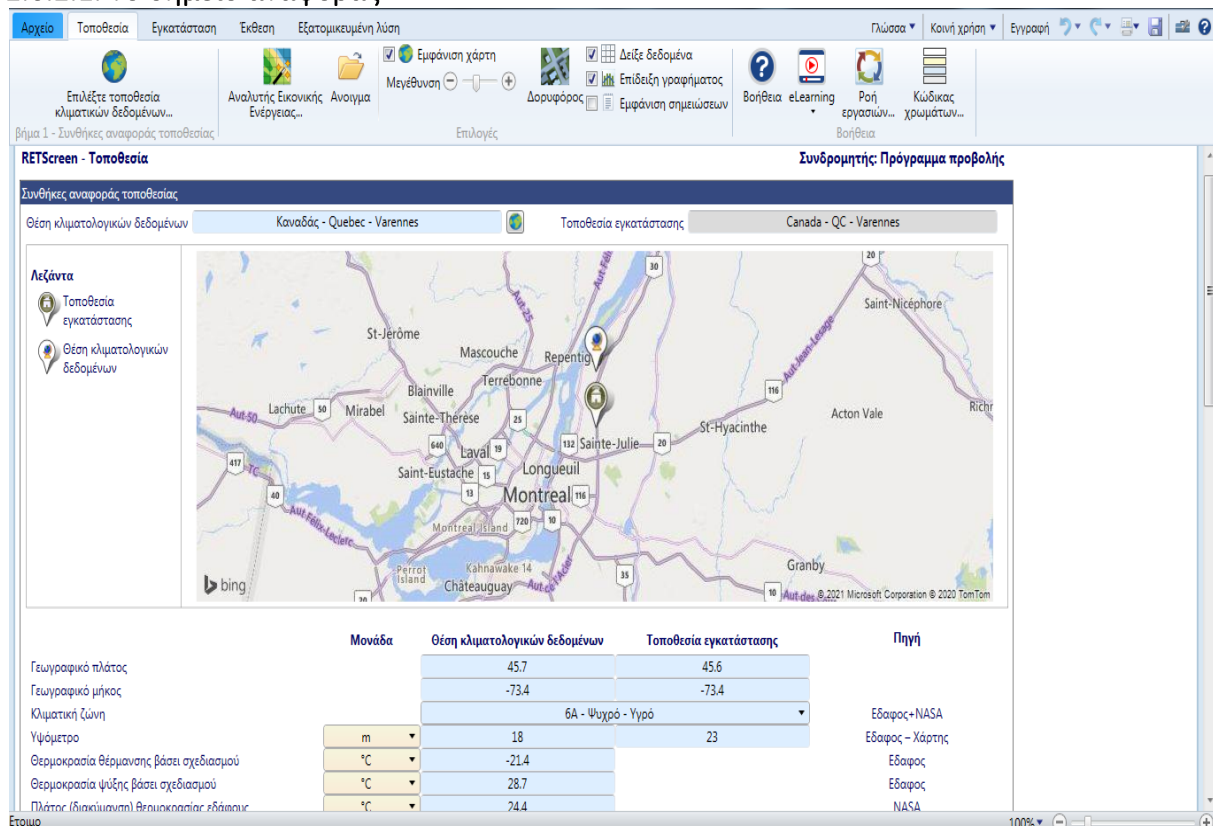
Ο εκτιμητής χρηματοοικονομικού κινδύνου αξιολογεί τον οικονομικό κίνδυνο μια επένδυσης και αποτυπώνει την ανάλυση ευαισθησίας των βασικών παραμέτρων που αφορούν την βιωσιμότητα της επένδυσης.

Ο ανιχνευτής απόδοσης μετράει και επαληθεύει την πραγματική ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης ,ενώ ερευνά για τυχόν ενεργειακές βελτιώσεις μπορούν να γίνουν στην εγκατάσταση.

Η ροή των εργασιών του λογισμικού RETScreen Expert περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω και είναι η γενικότερη κατηγορία που στηρίζεται στην μηχανή αποφάσεων. Η ροή των εργασιών χωρίζεται σε 3 βασικούς τύπους αποφάσεων:

- το σημείο αναφοράς,
- τη σκοπιμότητα,
- τις επιδόσεις.

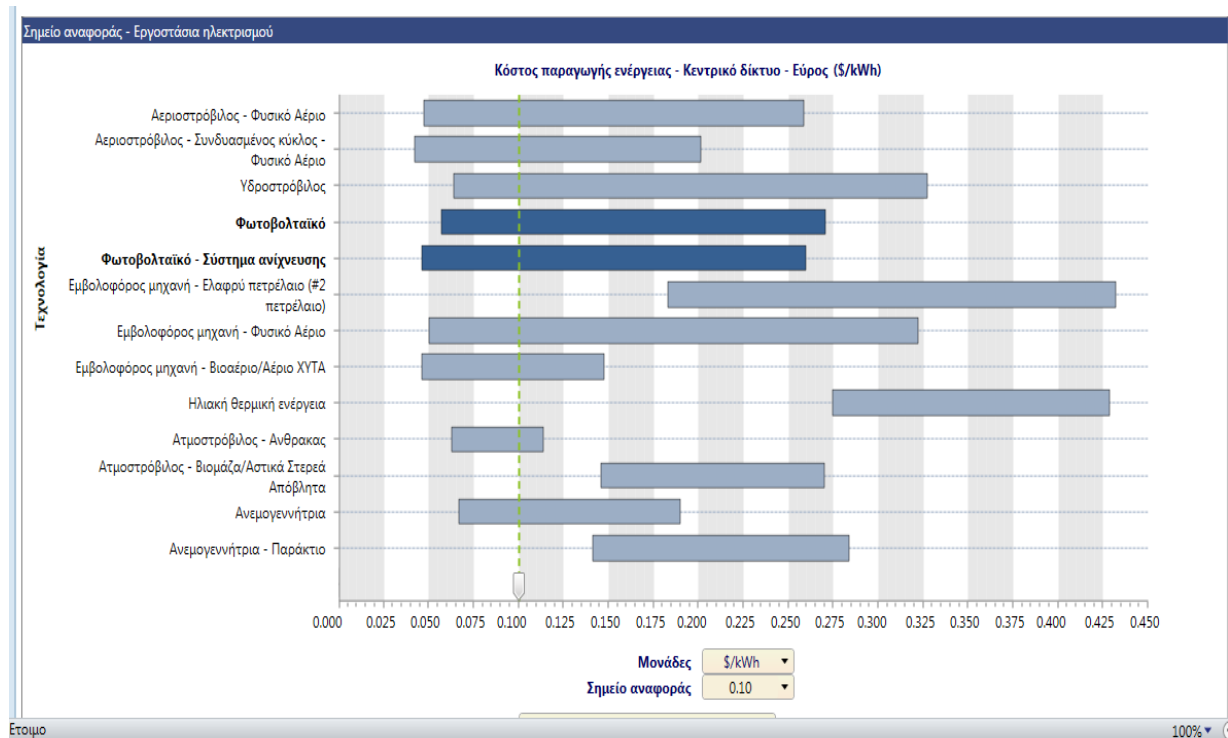
2.6.2.1. Το σημείο αναφοράς



Εικόνα 2.23 παράδειγμα τυχαίου σημείου αναφοράς από υπάρχον πρότυπο [17]

Το σημείο αναφοράς δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να επιλέξει μια οποιαδήποτε τοποθεσία εγκατάστασης οπουδήποτε στην γη, τις κλιματικές συνθήκες αναφοράς με βάση αυτή την τοποθεσία και πραγματοποιεί μια σύγκριση ενεργειακής απόδοσης μεταξύ διαφόρων τύπων εγκαταστάσεων αναφοράς με την προσομοιωμένη πραγματική ετήσια ενέργεια κατανάλωσης μιας εγκατάστασης [17].

Αυτή η σύγκριση οδηγεί τον χρήστη να παρατηρήσει την ενεργειακή απόδοση της πιθανής εγκατάστασης που τον ενδιαφέρει σε σχέση με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις αναφοράς του λογισμικού.



Εικόνα 2.24 Σύγκριση διαφόρων τύπου τεχνολογιών σε σχέση με το σημείο αναφοράς [17]

2.6.2.2 Η ανάλυση σκοπιμότητας

Η ανάλυση σκοπιμότητας [18] του λογισμικού απαρτίζεται από 5 βασικές παραμέτρους που συντελούν στην μοντελοποίηση και προσομοίωση ενός έργου καθαρής ενέργειας. Όλες οι αναλύσεις γίνονται σύμφωνα με μια εξαιρετικά οργανωμένη βάση δεδομένων και ένα μεγάλο σε ποικιλία αρχείο από διάφορα πρότυπα και μελέτες περιπτώσεων έργων καθαρής ενέργειας. Αυτές οι παράμετροι είναι οι εξής:

- η ανάλυση ενεργειακού μοντέλου, όπου επιλέγουμε την τεχνολογία ενέργειας παραγωγής που θέλουμε να εγκαταστήσουμε στο έργο και παραθέτουμε όλα τις επιμέρους μονάδες λειτουργίας της εγκατάστασης.

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 4 200 kW - Υδροστρόβιλος/Γεωθερμική ενέργεια - Πολλαπλές τεχνολογίες

Καύσιμα & προγράμματα

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

Ηλεκτρισμός

Γεωθερμική ενέργεια

Υδροστρόβιλος

Περιήληψη

Να συμπληρωθεί το σύστημα;

Σύγκριση

	Ισχύς	Ηλεκτρική ενέργεια	Αρχικά κόστη	Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	Κόστος καυσίμου	Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	Απλή αποπληρω μή έτος	Να συμπληρ ωθεί το σύστημα;
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	<div>kW</div>	<div>MWh</div>	USD	USD	USD	USD		<input checked="" type="checkbox"/>
Ηλεκτρισμός								
Γεωθερμική ενέργεια	3 167	26 273	2 201 132	1 103 480	0	0	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>
Υδροστρόβιλος	1 000	8 760	300 000	367 920	0	0	0.8	<input checked="" type="checkbox"/>
Σύνολο	4 167	35 033	2 501 132	1 471 400	0	0	1.7	

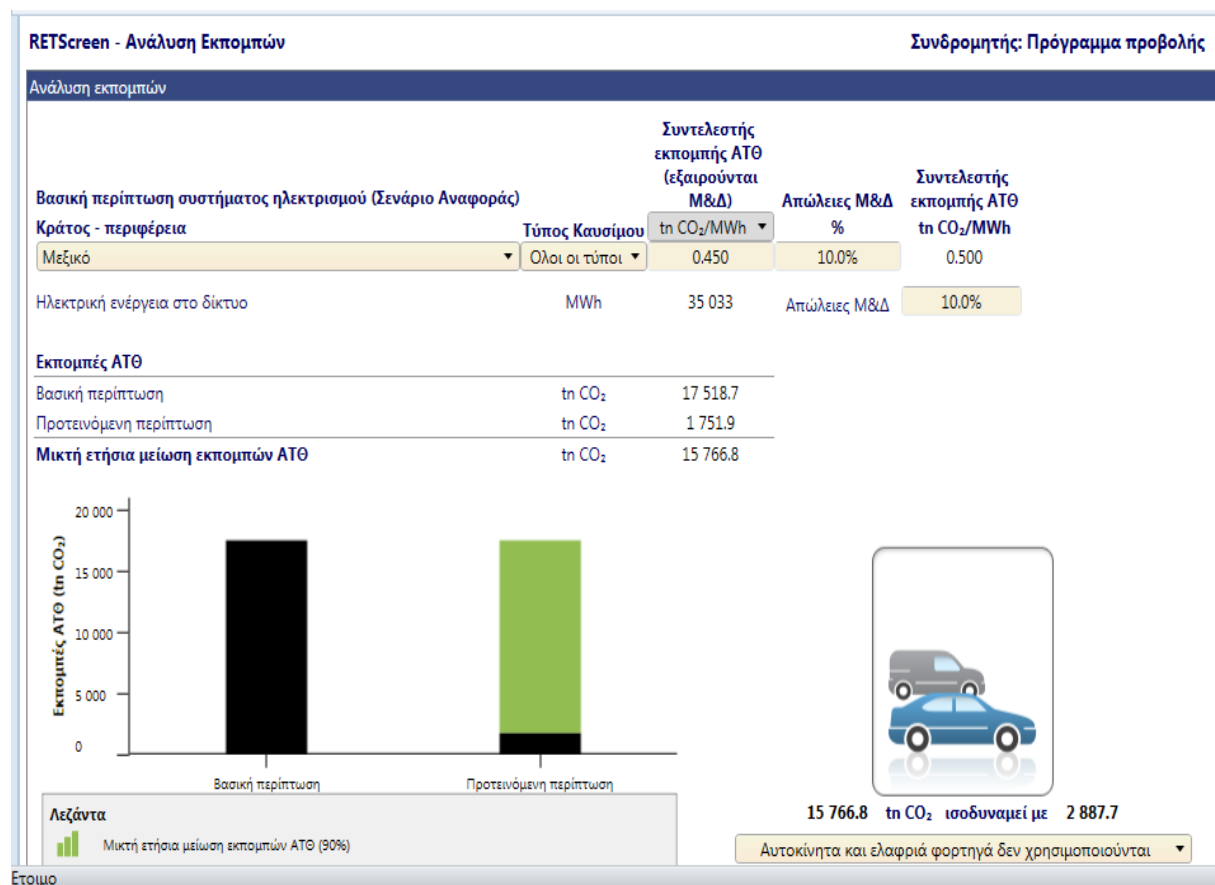
Εικόνα 2.25 Παράδειγμα ενεργειακού μοντέλου με γεωθερμική ενέργεια και υδροστρόβιλο στο Μεξικό [17]

- την ανάλυση κόστους, όπου παραθέτονται από τον χρήστη τα βασικά κόστη του συστήματος, όπως τα αρχικά κόστη της επένδυσης και τα κόστη της λειτουργίας και συντήρησης (ετήσια κόστη) σε διάφορα επίπεδα ανάλυσης. Αυτή η ανάλυση είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι η οικονομική βιωσιμότητα μιας επένδυσης βασίζεται σ' αυτήν κατά κύριο λόγο [18].

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Αρχικό κόστος			USD	2 501 132
Δείξε δεδομένα				
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	1	USD 190 711	USD 190 711
+				
Συνολικά αρχικά κόστη			USD	2 691 843
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	έργο		USD	-
Δείξε δεδομένα				
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	1	USD 175 770	USD 175 770
+				
Συνολικά ετήσια κόστη			USD	175 770
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		USD	-
+				
Συνολική ετήσια εξοικονόμηση			USD	-

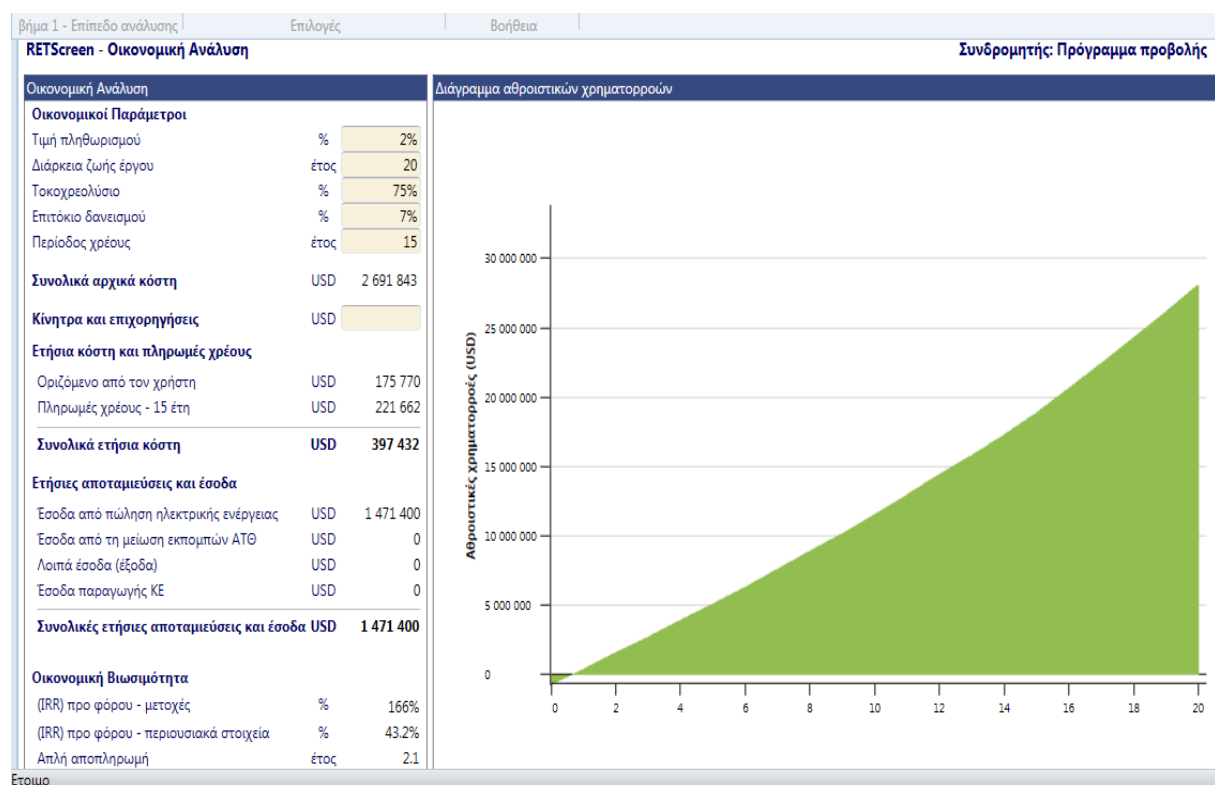
Εικόνα 2.26 Η ανάλυση κόστους μιας επένδυσης [17]

- την ανάλυση εκπομπών αερίων, στην οποία ο χρήστης στο βασικό σενάριο αναφοράς καλείται να επιλέξει την τοποθεσία όπου βρίσκεται η εγκατάσταση, το καύσιμο το οποίο καταναλώνεται για την λειτουργία των μονάδων παραγωγής και να συμπληρώσει τις απώλειες μεταφοράς και διανομής του καυσίμου μέσα στην εγκατάσταση, ώστε να υπολογιστεί ο συντελεστής αερίων του θερμοκηπίου αυτόματα από μια υπάρχουσα βάση δεδομένων σε συνάρτηση με τα παραπάνω. Επίσης ο χρήστης εκπονεί μια προτεινόμενη περίπτωση σαν εφεδρικό σενάριο με χρήση ενός διαφορετικού τύπου καυσίμου για την επιλεγμένη τοποθεσία [18].



Εικόνα 2.27 Ανάλυση εκπομπής αερίων μιας επένδυσης [17]

- Την χρηματοοικονομική ανάλυση, από την οποία προκύπτει η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης [18].



Εικόνα 2.28 Χρηματοοικονομική ανάλυση μιας επένδυσης [17]

Οι βασικοί οικονομικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνται από τον χρήστη για τον προσδιορισμό της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου είναι οι αποταμιεύσεις και τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας, η διάρκεια ζωής του έργου, η περίοδος της αποπληρωμής του χρέους και το επιτόκιο του δανεισμού και τέλος τα αρχικά κεφάλαια της επένδυσης για την εγγύηση του έργου. Όλα τα παραπάνω υπολογίζονται σε ετήσια βάση [18].

- Την ανάλυση επικινδυνότητας και κινδύνου, όπου παραθέτεται και μια ανάλυση ευαισθησίας(βλέπε εικόνα 2.29) για την αξιολόγηση των βασικών οικονομικών παραμέτρων του έργου και την επίπτωση των μεταβολών τους στην τελική απόδοση της επένδυσης [18].

RETScreen - Ανάλυση Επικινδυνότητας και Κινδύνου **Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής**

Ανάλυση ευαισθησίας

Εκτέλεση ανάλυσης σε: Αποπληρωμή Μετοχών

Εύρος ευαισθησίας: 25%

Κατώφλι: 7 yr

- Κατάργηση ανάλυσης

Τμή πωλούμενου ηλεκτρισμού: Αρχικά κόστη USD - +

		2 018 882	2 355 363	2 691 843	3 028 323	3 364 804
USD/MWh		-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%	25.0%
31.50	-25.0%	1.0	1.3	1.5	1.8	2.1
36.75	-12.5%	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
42.00	0.0%	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3
47.25	12.5%	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1
52.50	25.0%	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

- +

- Κατάργηση ανάλυσης

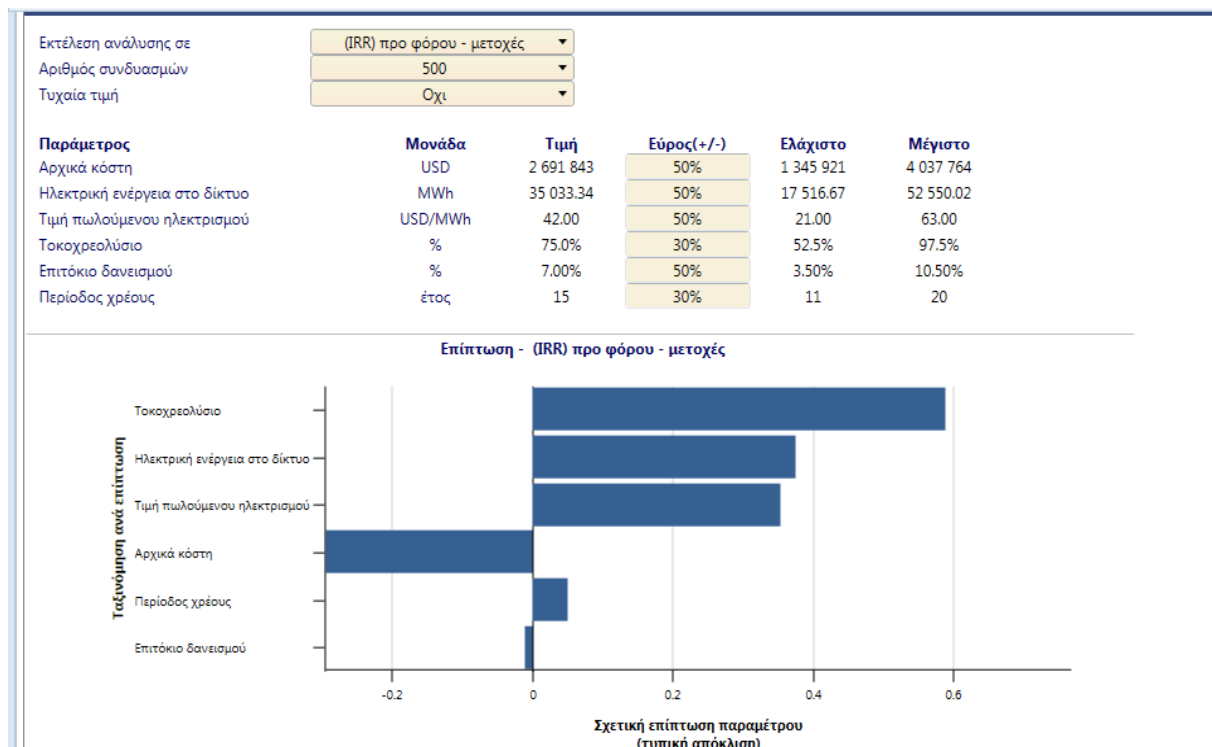
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο: Αρχικά κόστη USD - +

		2 018 882	2 355 363	2 691 843	3 028 323	3 364 804
MWh		-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%	25.0%
26 275.01	-25.0%	1.0	1.3	1.5	1.8	2.1
30 654.18	-12.5%	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
35 033.34	0.0%	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3
39 412.51	12.5%	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1
43 791.68	25.0%	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

- +

Ετοιμο

Εικόνα 2.29 Ανάλυση ευαισθησίας μιας επένδυσης [17]



Εικόνα 2.30 Ανάλυση επικινδυνότητας μιας επένδυσης [17]

2.6.2.3. Οι επιδόσεις

Οι επιδόσεις αναλύουν την ενεργειακή απόδοση μιας εγκατάστασης, με βάση όλες τις επιμέρους παραμέτρους και μεταβλητές που χρειάζεται να έχει στην διάθεση του ο χρήστης [18].

Αρχείο Τοποθεσία Εγκατάσταση Ενέργεια Κόστος Εκπομπή Χρηματοοικονομικά Κίνδυνος Δεδομένα Αναλυτική Έκθεση Εξατομικευμένη λύση Πλώσσα Κοινή χρήση Εγγραφή Βοήθεια

Κατανάλωση Παραγωγή ηλεκτρισμού Καίρος Επίπεδο παραγωγής... Κατάληψη... Εισαγάγετε δεδομένα Βαθμό-ημέρες... Ηλιακό - κεκλιμένο επίπεδο... Συγχώνευση... Φίλτρο... CO₂ kWh Ανιχνευτής απόδοσης... Επiloges Βοήθεια eLearning

βήμα 1 - Κατανάλωση | Παραγωγή βήμα 2 - Καθοριστικός παράγοντας βήμα 3 - Επεξεργασία δεδομένων βήμα 4 - Περιήληψη | Χαρτοφυλάκιο

RETScreen - Δεδομένα

Δεδομένα
 Παραγωγή ηλεκτρισμού
 Καίρος

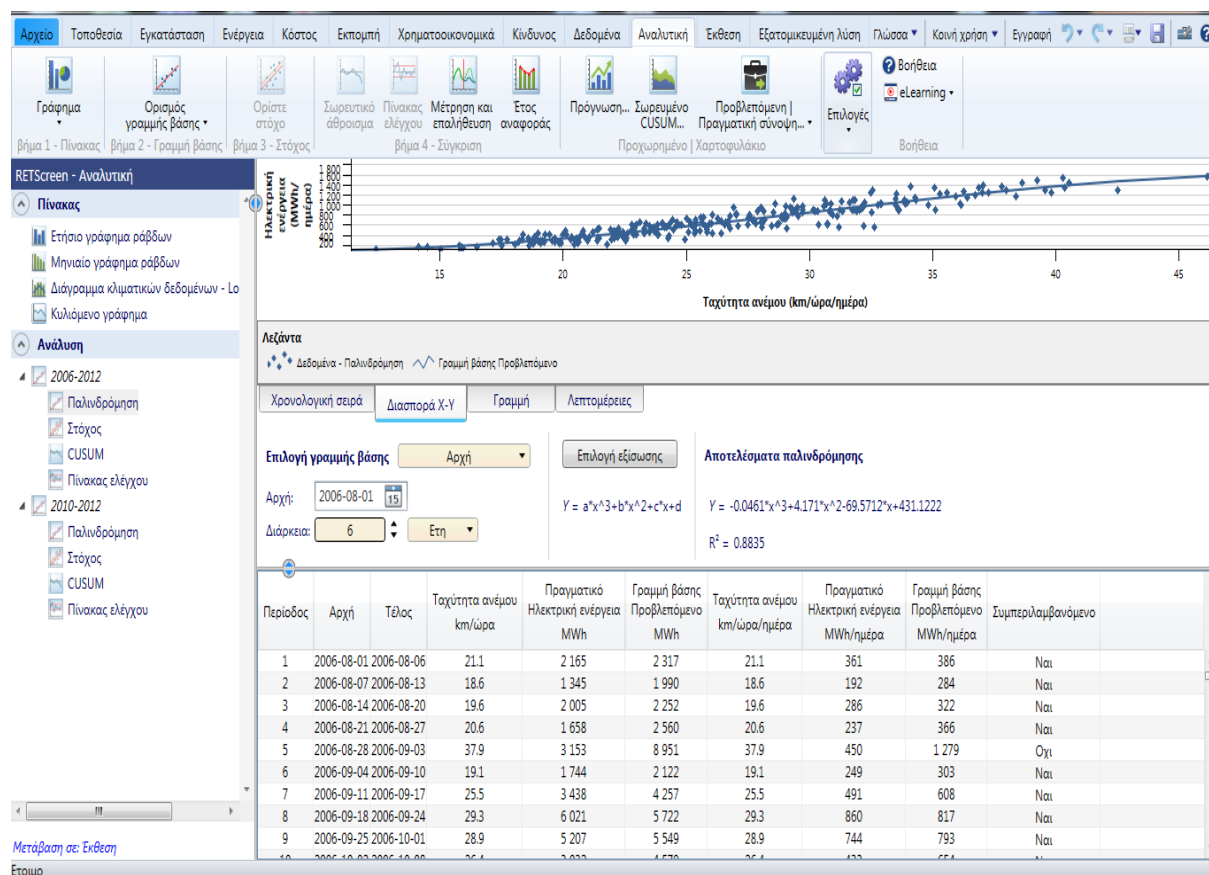
Περιήληψη

Περίοδος	Αρχή	Τέλος	Διάρκεια Ημέρες	Ηλεκτρική ενέργεια MWh	Ταχύτητα ανέμου km/ώρα
1	2006-08-01	2006-08-01	1	755	26.3
2	2006-08-02	2006-08-02	1	901	31.0
3	2006-08-03	2006-08-03	1	39	19.0
4	2006-08-04	2006-08-04	1	281	23.8
5	2006-08-05	2006-08-05	1	50	11.4
6	2006-08-06	2006-08-06	1	139	15.0
7	2006-08-07	2006-08-07	1	313	25.4
8	2006-08-08	2006-08-08	1	188	19.6
9	2006-08-09	2006-08-09	1	7	9.2
10	2006-08-10	2006-08-10	1	177	18.5
11	2006-08-11	2006-08-11	1	434	33.3
12	2006-08-12	2006-08-12	1	212	13.3
13	2006-08-13	2006-08-13	1	14	11.0
14	2006-08-14	2006-08-14	1	798	30.6
15	2006-08-15	2006-08-15	1	309	20.5
16	2006-08-16	2006-08-16	1	156	12.5
17	2006-08-17	2006-08-17	1	132	15.8
18	2006-08-18	2006-08-18	1	27	16.5
19	2006-08-19	2006-08-19	1	37	14.1
20	2006-08-20	2006-08-20	1	546	27.0
21	2006-08-21	2006-08-21	1	244	18.1
22	2006-08-22	2006-08-22	1	281	22.0
23	2006-08-23	2006-08-23	1	134	13.9
24	2006-08-24	2006-08-24	1	100	14.0
25	2006-08-25	2006-08-25	1	277	22.9
26	2006-08-26	2006-08-26	1	514	33.0
27	2006-08-27	2006-08-27	1	108	20.5
28	2006-08-28	2006-08-28	1	107	22.2
29	2006-08-29	2006-08-29	1	0	45.2

Μετάβαση σε: Αναλυτική
 Έτοιμο

Εικόνα 2.31 Η καρτέλα των δεδομένων μιας επένδυσης [17]

Ουσιαστικά, παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα και η αναλυτική αναφορά της λειτουργίας μιας εγκατάστασης.

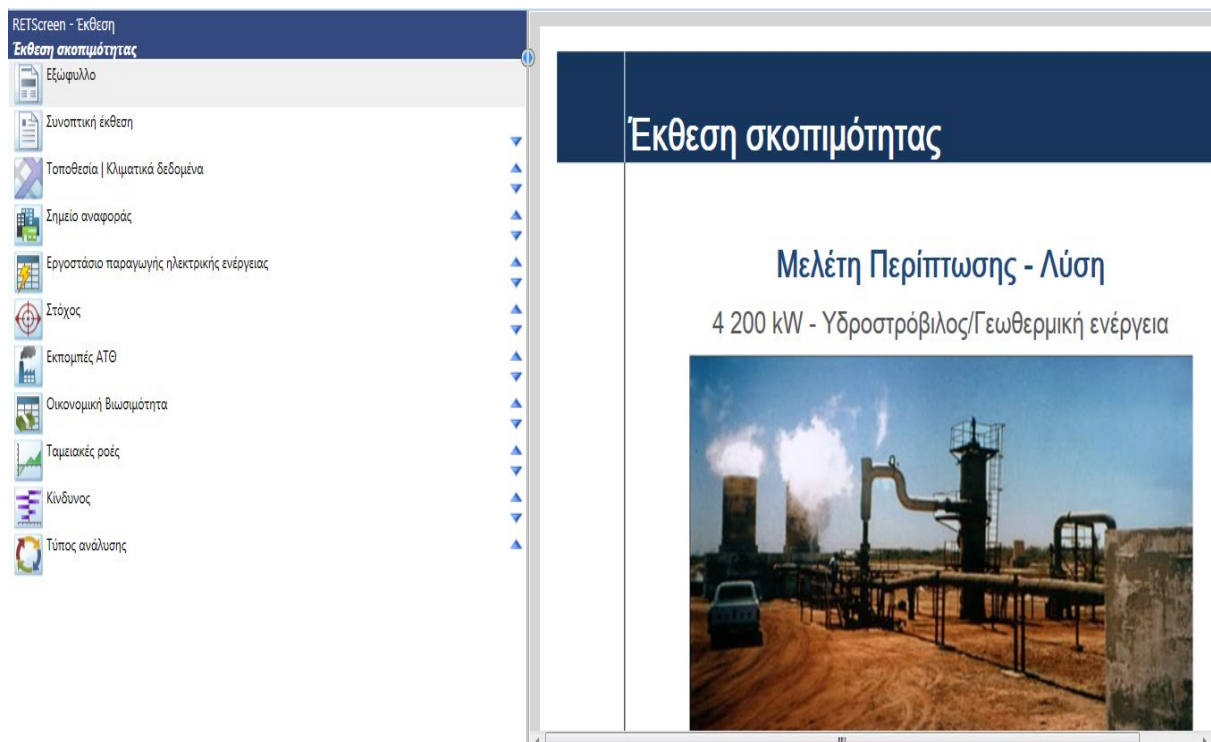


Εικόνα 2.32 Η αναλυτική αναφορά των επιδόσεων μιας επένδυσης [17]

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται μέτρηση και επαλήθευση της ενεργειακής απόδοσης ενός έργου και δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα εύρεσης ορισμένων τρόπων βελτίωσης της απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας του έργου.

Επιπλέον, το λογισμικό με την χρήση της βάσης δεδομένων του καιρού σε παγκόσμια κλίμακα από τους δορυφόρους της NASA ,πραγματοποιεί μια σύγκριση μεταξύ της πραγματικής ενεργειακής απόδοσης ενός έργου και της προβλεπόμενης απόδοσης του με βάση τα δεδομένα που εισάγονται από τον χρήστη [18].

Τέλος, σε όλες τις μορφές ανάλυσης της ροής εργασιών παρουσιάζεται μια έκθεση που περιέχει όλες τις εργασίες-βασικά στάδια, που πραγματοποιήθηκαν από τον χρήστη στο λογισμικό για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του έργου [18].



Εικόνα 2.33 Η έκθεση ανάλυσης σκοπιμότητας μιας επένδυσης

2.7. Παραδείγματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία με την χρήση του λογισμικού RETScreen Expert

2.7.1. Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 60000 KW στην περιοχή Skútustaðahreppur, Ισλανδία

RETScreen - Τοποθεσία Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής

Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας

Θέση κλιματολογικών δεδομένων: Ισλανδία - Reykjavik (Notam) Τοποθεσία εγκατάστασης: Iceland - Norðurland Eystra - Skútustaðahreppur

Λεζάντα

- Τοποθεσία εγκατάστασης
- Θέση κλιματολογικών δεδομένων

	Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία εγκατάστασης	Πηγή
Γεωγραφικό πλάτος		64.1	65.7	Εδαφος+NASA
Γεωγραφικό μήκος		-21.9	-16.8	
Κλιματική ζώνη		6A - Ψυχρό - Υγρό		
Υψόμετρο	m	61	497	Εδαφος - Χάρτης
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	-8.1		Εδαφος
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	14.9		Εδαφος
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	12.9		NASA

Εικόνα 2.34 Η θέση της τοποθεσίας εγκατάστασης και η θέση κλιματολογικών δεδομένων

Στο παράδειγμα αυτό [17], ο χρήστης χρησιμοποιεί την μέθοδο της ανάλυσης σκοπιμότητας σε ένα πρότυπο αρχείο για την εγκατάσταση ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 60000 KW στην περιοχή Skútustaðahreppur της Ισλανδίας. Η Ισλανδία είναι ευρέως γνωστή για τα υψηλά γεωθερμικά της πεδία, λόγω του ηφαιστειογενούς της εδάφους.

Στην αρχή, επιλέγονται τα κλιματολογικά δεδομένα και την θέση εγκατάστασης για να προσδιορίσει τις συνθήκες του σημείου αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο το λογισμικό προσδίδει στον χρήστη διάφορες πληροφορίες, μέσω της ανάλυσης βασικών κλιματικών παραμέτρων σε ετήσια βάση, για τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή εγκατάστασης.

Στην συνέχεια, ο χρήστης συμπληρώνει τα στοιχεία της εγκατάστασης του έργου, όπως είναι οι πληροφορίες της τοποθεσίας του έργου, ο τύπος εγκατάστασης, ο τύπος του καυσίμου που χρησιμοποιείται και ο συντάκτης της αναφοράς [17].

Έπειτα, συμπληρώνεται από τον χρήστη το ενεργειακό μοντέλο της εγκατάστασης και τα επιμέρους τμήματα του. Στο συγκεκριμένο έργο η κύρια πηγή καυσίμου είναι το φυσικό αέριο για την λειτουργία των μονάδων της εγκατάστασης και η ηλεκτρική ενέργεια το αποτέλεσμα της παραγωγής.

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 60 000 kW - Γεωθερμική ενέργεια

Καύσιμα & προγράμματα

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

Ηλεκτρισμός

Γεωθερμική ενέργεια

Περίληψη

Να συμπληρωθεί το σύστημα;

Σύγκριση

Γεωθερμική ενέργεια

Περιγραφή: Γεωθερμική ενέργεια

Σημείωση:

Γεωθερμική ενέργεια

Παροχή ατμού	kg/ώρα	400 000
Διαθεσιμότητα	%	97%
Κατασκευαστής		
Μοντέλο και ισχύς		
Αριθμός μονάδων		
Πίεση λειτουργίας	kPa	770
Θερμοκρασία κορεσμού	°C	169
Θερμοκρασία ατμού	°C	180
Αντίθληψη	kPa	8
Βαθμός απόδοσης ατμοστρόβιλου (ΑΤΜ/Σ)	%	77%
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού (ΠΡΠΑ)	kg/kWh	6.8
Ηλεκτρική ισχύς	kW	58 813
Συντελεστής ισχύος	%	97%
Αρχικά κόστη	\$/kW	3 000
	\$	176 438 965
Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$/MWh	20
	\$	9 994 915
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	\$/MWh	60
		Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσιο
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	499 746
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	\$	29 984 744

Εικόνα 2.35 Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ενέργειας

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 60 000 kW - Γεωθερμική ενέργεια								
Καύσιμα & προγράμματα	Ισχύς	Ηλεκτρική ενέργεια	Αρχικά κόστη	Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	Κόστος καυσίμου	Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	Απλή αποπληρωμή	Να συμπεριληφθεί το σύστημα;
Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα								
Τεχνολογία								
Ηλεκτρισμός								
Γεωθερμική ενέργεια								
Περίληψη								
Να συμπεριληφθεί το σύστημα								
Σύγκριση								
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kW	MWh	\$	\$	\$	\$	έτος	<input checked="" type="checkbox"/>
Ηλεκτρισμός								
Γεωθερμική ενέργεια	58 813	499 746	176 438 965	29 984 744	0	9 994 915	8.8	<input checked="" type="checkbox"/>
Σύνολο	58 813	499 746	176 438 965	29 984 744	0	9 994 915	8.8	

Εικόνα 2.36 Το ενεργειακό μοντέλο της εγκατάστασης

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία που παρέθεσε ο χρήστης το πρόγραμμα υλοποιεί μια προσομοίωση, από την οποία προκύπτουν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.1 Οι βασικοί παράμετροι με τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές τους για την Ισλανδία

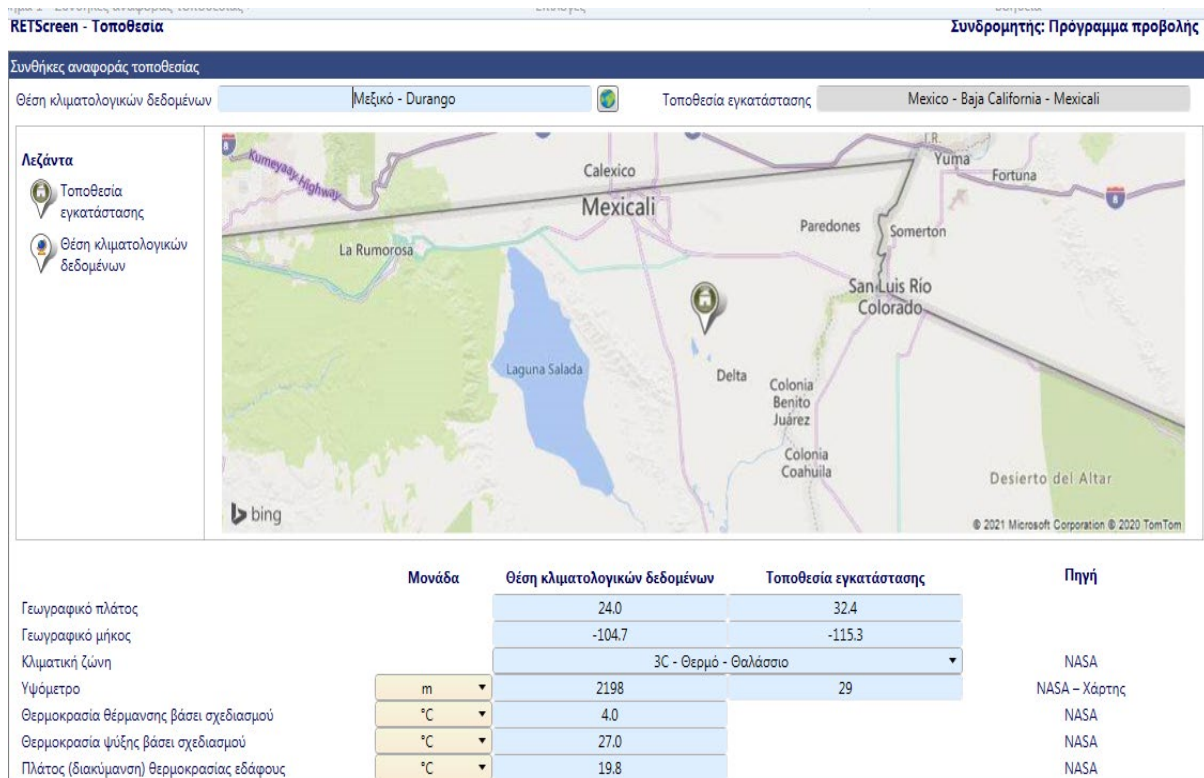
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Παροχή ατμού	400.000 Kg/h
Πίεση λειτουργίας	770 Kpa
Θερμοκρασία κορεσμού (εξαγωγής)	169°C
Θερμοκρασία ατμού	180°C
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού	6,8 Kg/Kwh
Ηλεκτρική ισχύς	58.813 Kw
Αρχικά κόστη εγκατάστασης	3000/Kwh
Κόστη λειτουργίας και συντήρησης (εξοικονόμηση)	20\$/Mwh
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού (ετήσιο)	60 \$/Mwh
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο (παραγόμενη)	499.746 Mwh/ έτος
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	29.984.744 \$/ έτος
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	427.703,3 tnCO ₂ (93%)
Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή	8.331.616 \$
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	92.159.274\$

Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	8.970.447 \$/έτος
Κόστος μείωσης εκπομπής αερίων ΑΤΘ	-20,97 \$/tnCO ₂
Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	55.53 \$/Mwh

2.7.2. Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 4200 KW στην περιοχή Mexicali, Baja California, Μεξικό

Σε αυτό το παράδειγμα, ο χρήστης εκπονεί μια μελέτη περιπτώσεων του λογισμικού υλοποιώντας μια ανάλυση σκοπιμότητας για την εγκατάσταση ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πολλαπλές τεχνολογίες στην περιοχή του Mexicali, Μεξικό [17].

Αρχικά, για να προσδιοριστούν οι συνθήκες αναφοράς όπως στο προηγούμενο παράδειγμα επιλέγεται η θέση των κλιματολογικών και η θέση της τοποθεσίας εγκατάστασης του έργου.



Εικόνα 2.37 Η θέση της τοποθεσίας εγκατάστασης και η θέση κλιματολογικών δεδομένων

Στην συνέχεια, συμπληρώνονται οι βασικές πληροφορίες της εγκατάστασης και το ενεργειακό μοντέλο ,στο οποίο περιλαμβάνονται τα επιμέρους τμήματα της εγκατάστασης που οδηγούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρούσα εγκατάσταση χρησιμοποιεί σαν καύσιμο το φυσικό αέριο για την λειτουργία των μονάδων της και για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας τον συνδυασμό της απόδοσης του υδροστροβίλου και της γεωθερμίας [17].

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 4 200 kW - Υδροστρόβιλος/Γεωθερμική ενέργεια - Πολλαπλές τεχνολογίες

Καύσιμα & προγράμματα

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

Ηλεκτρισμός

Γεωθερμική ενέργεια

Υδροστρόβιλος

Περίληψη

Να συμπληρωθεί το σύστημα;

Σύγκριση

Υδροστρόβιλος

Περιγραφή: Υδροστρόβιλος

Σημείωση:

Επίπεδο 1

Επίπεδο 2

eLearning

Υδροστρόβιλος - Επίπεδο 1

Ηλεκτρική ισχύς	kW	1 000
Κατασκευαστής		
Μοντέλο		
Αριθμός στροβίλων		
Συντελεστής ισχύος	%	100%
Αρχικά κόστη	USD/kW	300
	USD	300 000
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	USD	
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού		Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσι
	USD/MWh	42
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	8 760
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	USD	367 920

Εικόνα 2.38 Τα τεχνικά χαρακτηριστικά υδροστροβίλου

Ο υδροστρόβιλος του έργου είναι τύπου Kaplan και η ισχύς του είναι 1000 KW, το αρχικό κόστος εγκατάστασής του είναι 300 USD/KWh και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο από την χρήση του είναι 8760 MWh. Η ετήσια τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στα 42 USD/MWh [17].

Το λογισμικό στην παρούσα φάση κάνει μια αντιστοιχία όπου για το δολάριο των ΗΠΑ (USD) ισχύει: 1 \$= 1 USD.

Καύσιμα & προγράμματα

- Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμο

Τεχνολογία

- Ηλεκτρισμός
 - Γεωθερμική ενέργεια**
 - Υδροστρόβιλος

Περιληψη

- Να συμπεριληφθεί το σύστημα:
- Σύγκριση

Γεωθερμική ενέργεια	
Περιγραφή	Γεωθερμική ενέργεια
Σημείωση	
Γεωθερμική ενέργεια	
Παροχή ατμού	kg/ώρα ▼ 72 000
Διαθεσιμότητα	ώρα ▼ 8 300
Κατασκευαστής	
Μοντέλο και ισχύς	
Αριθμός μονάδων	
Πίεση λειτουργίας	kPa ▼ 2 900
Θερμοκρασία κορεσμού	°C ▼ 232
Θερμοκρασία ατμού	°C 233
Αντίθληψη	kPa ▼ 900
Βαθμός απόδοσης ατμοστρόβιλου (ATM/Z)	% 72%
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού (ΠΡΠΑ)	kg/kWh ▼ 22.7
Ηλεκτρική ισχύς	kW ▼ 3 167
Συντελεστής ισχύος	% 94.7%
Αρχικά κόστη	USD/kW ▼ 695
	USD 2 201 132
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	USD ▼
Τμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσιο ▼
	USD/MWh 42
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh ▼ 26 273
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	USD 1 103 480

RETScreen - Ενεργειακό Μοντέλο

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 4 200 kW - Υδροστρόβιλος/Γεωθερμική ενέργεια - Πολλαπλές τεχνολογίες

Κύσμα & προγράμματα

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

Ηλεκτρισμός

Γεωθερμική ενέργεια

Υδροστρόβιλος

Περιήληψη

Να συμπεριληφθεί το σύστημα;

Σύγκριση

Ισχύς

Ηλεκτρική ενέργεια

Αρχικά κόστη

Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας

Κόστος καυσίμου

Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)

Απλή αποπληρωμή

Να συμπεριληφθεί το σύστημα;

kW

MWh

USD

USD

USD

USD

έτος

Ηλεκτρισμός

Γεωθερμική ενέργεια

Υδροστρόβιλος

Σύνολο

4 167

35 033

2 501 132

1 471 400

0

0

1.7

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία που παρέθεσε ο χρήστης το πρόγραμμα υλοποιεί μια προσομοίωση ,από την οποία προκύπτουν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.2 Οι βασικοί παράμετροι με τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές τους για το Μεξικό

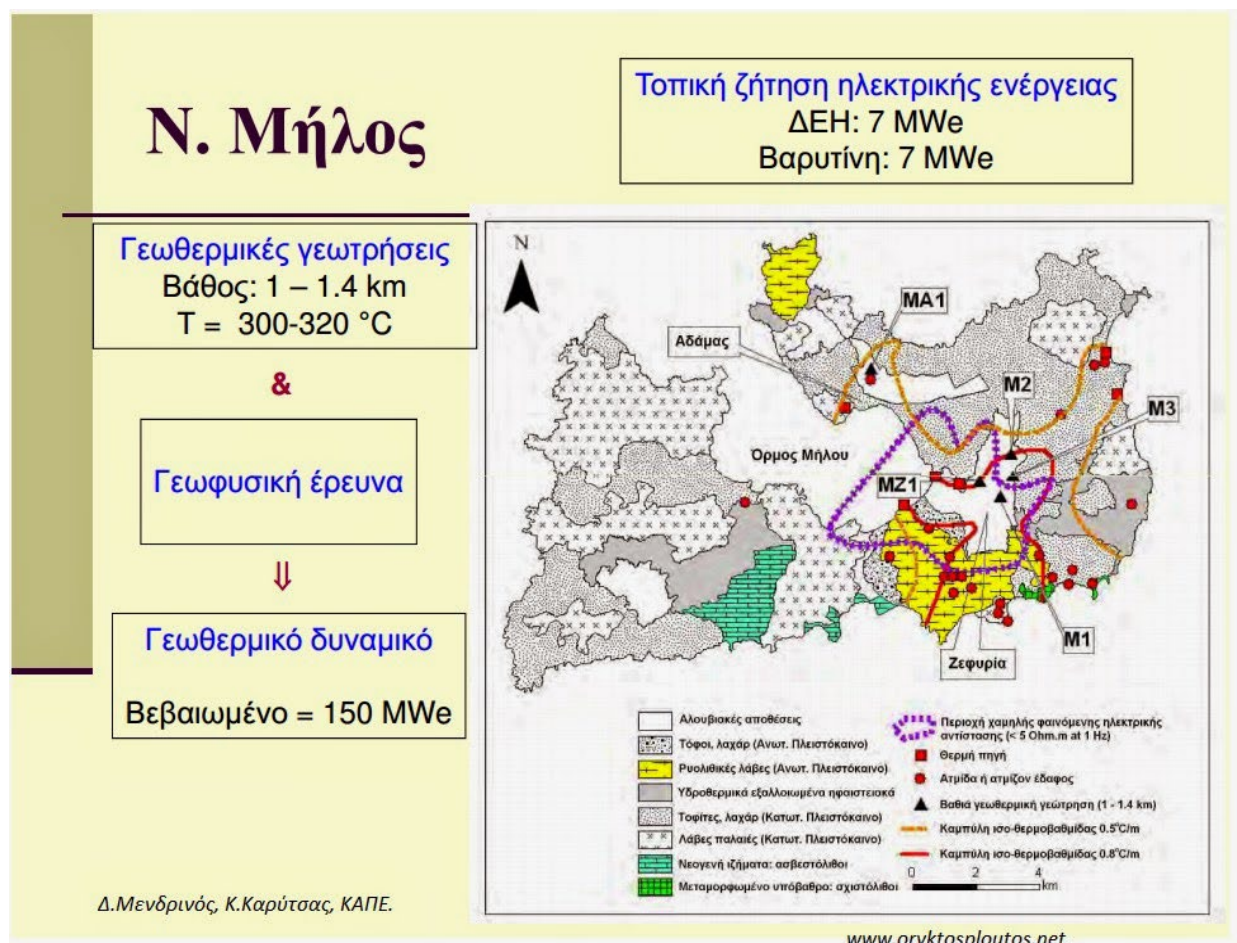
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Παροχή ατμού	72.000 Kg/h
Πίεση λειτουργίας	2900 Kpa
Θερμοκρασία κορεσμού (εξαγωγής)	232°C
Θερμοκρασία ατμού	233°C
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού	22,7 Kg/Kwh
Ηλεκτρική ισχύς (γ/θ & υδροστρόβιλος)	3167Kw +1000Kw = 4.167 Kw
Αρχικά κόστη εγκατάστασης (γ/θ & υδροστρόβιλος)	695/Kwh & 300/ Kwh αντίστοιχα
Κόστη λειτουργίας και συντήρησης (εξοικονόμηση)	0 \$/Mwh
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού (ετήσιο)	42\$/Mwh
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο (παραγόμενη)	35.047 Mwh/ έτος
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	1.471.970 \$/ έτος
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	15772,9 tnCO ₂ (93%)
Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή	1.074.537 \$
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	6.382.673 \$
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	749.706 \$/έτος
Κόστος μείωσης εκπομπής αερίων ΑΤΘ	-40,53 \$/tnCO ₂
Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	16,53 \$/Mwh

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Κεφάλαιο 3^ο: Παραδείγματα γεωθερμικής εγκατάστασης μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Μήλο και στην Κίμωλο με τη χρήση του λογισμικού RETScreen Expert

3.1 Η γεωθερμία στο νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου-Κιμώλου-Πολυαίγου

Το σημαντικότερο γεωθερμικό πεδίο της Ελλάδας [14] βρίσκεται κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγίου και πιο συγκεκριμένα στο νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου- Κιμώλου- Πολυαίγου [7], [8]. Η ΔΕΗ δημιούργησε πάνω από 8 ερευνητικές γεωτρήσεις σε όλη την έκταση του γεωθερμικού πεδίου για την παρακολούθηση του από το 1985 κι έπειτα, με βάση υπουργικής απόφασης.



Εικόνα 3.1 Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις και το γεωθερμικό δυναμικό της νήσου της Μήλου [7]

Στην Μήλο [7], κατά την χρονική διάρκεια 1974-1981, δημιουργήθηκαν από την ΔΕΗ συνολικά 5 παραγωγικές γεωτρήσεις σε βάθος που ξεπερνούσε τα 1000μ, με αποτέλεσμα την εύρεση γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας (300 - 320°C). Ορισμένες από τις γεωτρήσεις μπορούσαν να εξαγάγουν υγρό ατμό με απόδοση 40-120 t/h και με θερμοκρασία εξόδου στην γεώτρηση 180 - 240°C. Επίσης, εκτιμάται ότι η συνολική απόδοση του γεωθερμικού δυναμικού είναι 120MW με 150MW.

Η ΔΕΗ πρώτη εγκατέστησε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία 2MW στην περιοχή της Ζεφυρίας το 1986 με την βοήθεια της Mitsubishi Heavy Industries. Η μονάδα αυτή λειτούργησε για 3 χρόνια συνολικά καλύπτοντας πλήρως τις ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι συνεχείς διαμαρτυρίες των κατοίκων του νησιού για την διαρροή υδρόθειου στην ατμόσφαιρα οδήγησαν το 1989 στο κλείσιμο της μονάδας αυτής. Το 1993 υπήρξε διαρροή γεωθερμικού ρευστού στην ατμόσφαιρα από την γεώτρηση M2 για μερικές μέρες που είχε σαν αποτέλεσμα την καταστροφή τμήματος των εγκαταστάσεων της μονάδας. Έτσι για αρκετό καιρό εγκαταλείφθηκαν οι προσπάθειες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία σε αυτήν την περιοχή [7].

Όμως το 2009-2010 πραγματοποιήθηκαν εκ νέου ερευνητικές γεωφυσικές μετρήσεις στην Μήλο και την Κίμωλο που οδήγησαν στην χαρτογράφηση καινούργιων τοποθεσιών για την δημιουργία γεωθερμικών γεωτρήσεων σε απομακρυσμένες περιοχές μακριά από ανθρώπους. Στην Μήλο, η πιο πιθανή τοποθεσία εγκατάστασης γεωθερμοηλεκτρικού σταθμού βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νησιού στην περιοχή της σημερινής χωματερής [8].

Στην Κίμωλο, η ΔΕΗ δημιούργησε 8 ερευνητικές γεωτρήσεις γεωβαθμίδας σε βάθος έως 100μ, ενώ το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) πραγματοποίησε 2 γεωτρήσεις με σκοπό την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με την χρήση της γεωθερμίας για την κάλυψη των αναγκών του νησιού σε νερό. Το έδαφος της Κιμώλου απαρτίζεται κατά κύριο λόγο από ηφαιστειακά πετρώματα, όπως ο μπεντονίτης, ο καολίνης και ο περλίτης [8].

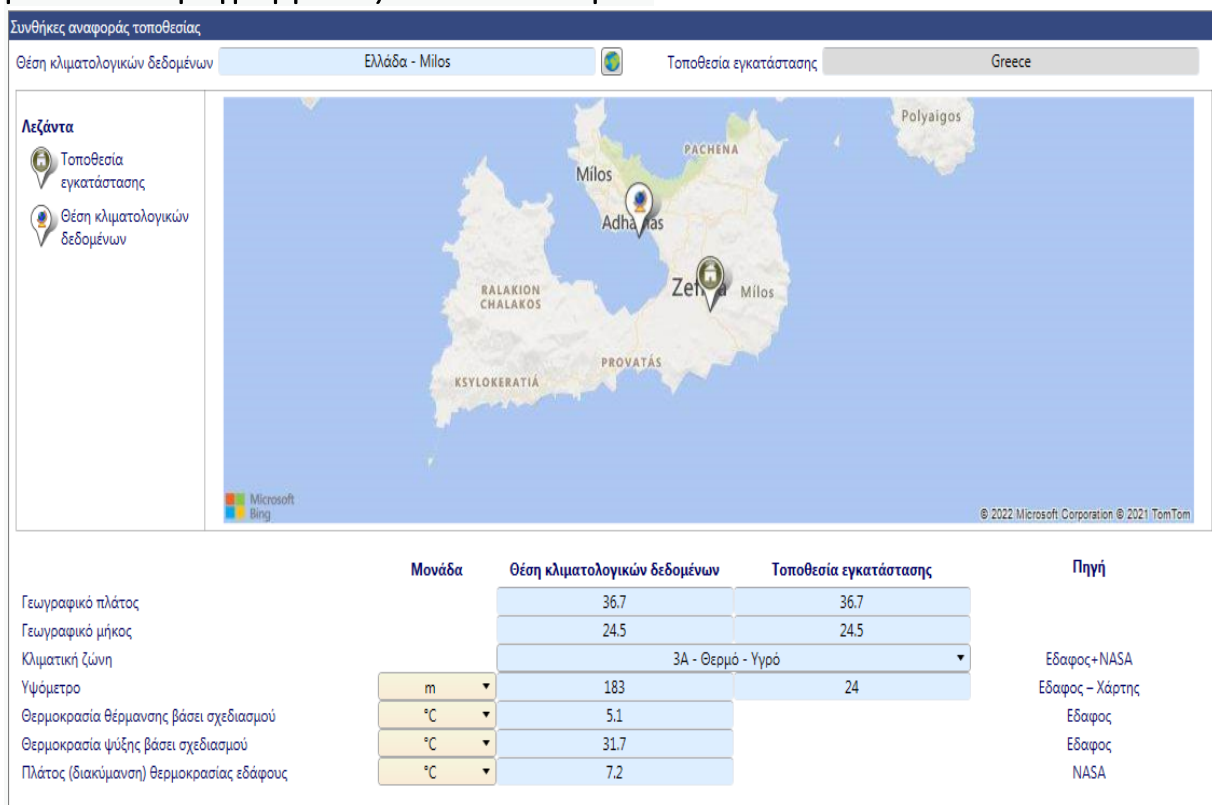
Το βορειοανατολικό τμήμα του νησιού και συγκεκριμένα η περιοχή των Πρασσών ευδοκμεί σύμφωνα με τις πρόσφατες γεωφυσικές μετρήσεις για την εγκατάσταση ενός γεωθερμοηλεκτρικού σταθμού, η οποία σήμερα χρησιμοποιείται για την παραγωγή μπεντονίτη [8].

Το 2011 η ΔΕΗ Ανανεώσιμες κατέθεσε αίτηση για άδεια παραγωγής με σκοπό την εγκατάσταση ενός τέτοιου σταθμού 5MW. Γι' αυτήν την περιοχή έχει εκπονηθεί περιβαλλοντική μελέτη για την διάνοιξη γεωθερμικών γεωτρήσεων, όμως δεν έχει πάρει καμία έγκριση μέχρι στιγμής από τις αρμόδιες αρχές [8].



Εικόνα 3.2 Γεωθερμικές γεωτρήσεις στην νήσο της Κιμώλου [8]





3.2 Παράδειγμα γεωθερμικής εγκατάστασης 2MW στην Μήλο μέσω του προγράμματος RETScreen Expert



Εικόνα 3.3 Θέση κλιματολογικών δεδομένων και τοποθεσίας της εγκατάστασης της Μήλου

Το παράδειγμα στην περιοχή της Μήλου προσομοιώνει μια γεωθερμική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 2MW με την βοήθεια του λογισμικού που έχουμε στην διάθεσή μας [7], [8].

Αρχικά, επιλέγεται η ακριβής τοποθεσία στον χάρτη και τα κλιματολογικά δεδομένα της εγκατάστασης στο πρόγραμμα ώστε να καθοριστούν οι συνθήκες αναφοράς της τοποθεσίας της Μήλου.

Εργαστήριο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 2000 kW - Γεωθερμική ενέργεια										
Καύσιμα & προγράμματα										
	Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα	Ισχύς	Ηλεκτρική ενέργεια	Αρχικά κόσθη	Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	Κόστος καυσίμου	Κόσθη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	Απλή αποπληρωμή έτος	Να συμπεριληφθεί το σύστημα;	
Τεχνολογία										
	Ηλεκτρισμός	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	<div><div>kW</div><div>MWh</div></div>	\$	\$	\$	\$	έτος	<input checked="" type="checkbox"/>	
Γεωθερμική ενέργεια										
Περίληψη										
	Να συμπεριληφθεί το σύστημα									
	Σύγκριση									
		Ηλεκτρισμός								
		Γεωθερμική ενέργεια	2 064	17 537	10 319 211	2 104 426	0	526 106	6.5	<input checked="" type="checkbox"/>
		Σύνολο	2 064	17 537	10 319 211	2 104 426	0	526 106	6.5	

Εικόνα 3.4 Ενεργειακό μοντέλο της γεωθερμικής εγκατάστασης της Μήλου

Στην συνέχεια, συμπληρώνονται τα ακριβή αναλυτικά στοιχεία της εγκατάστασης και το ενεργειακό μοντέλο της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν αναφερθεί νωρίτερα σε προηγούμενη παράγραφο [7], [8].

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 2000 kW - Γεωθερμική ενέργεια

Καύσιμα & προγράμματα

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

Ηλεκτρισμός

Γεωθερμική ενέργεια

Περίληψη

Να συμπεριληφθεί το σύστημα;

Σύγκριση

Γεωθερμική ενέργεια

Περιγραφή: Γεωθερμική ενέργεια

Σημείωση:

Γεωθερμική ενέργεια

Παροχή ατμού	kg/ώρα	12 000
Διαθεσιμότητα	%	97%
Κατασκευαστής		
Μοντέλο και ισχύς		
Αριθμός μονάδων		
Πίεση λειτουργίας	kPa	1 000
Θερμοκρασία κορεσμού	°C	180
Θερμοκρασία ατμού	°C	280
Αντίθληψη	kPa	8
Βαθμός απόδοσης ατμοστροβίλου (ΑΤΜ/Σ)	%	77%
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού (ΠΡΠΑ)	kg/kWh	5.8
Ηλεκτρική ισχύς	kW	2 064
Συντελεστής ισχύος	%	97%
Αρχικά κόστη	\$/kW	5 000
	\$	10 319 211
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$/MWh	30
	\$	526 106
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	\$/MWh	120
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	17 537
Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	\$	2 104 426

Εικόνα 3.5 Ενεργειακά δεδομένα λειτουργίας της γεωθερμικής εγκατάστασης της Μήλου

Με βάση αυτά τα στοιχεία το πρόγραμμα [17] υλοποιεί μια προσομοίωση ,από την οποία προκύπτουν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.1 Οι βασικοί παράμετροι με τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές τους για την Μήλο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Παροχή ατμού	12.000 Kg/h
Πίεση λειτουργίας	1.000 Kpa
Θερμοκρασία κορεσμού (εξαγωγής)	180°C
Θερμοκρασία ατμού	280°C
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού	5,8 Kg/Kwh
Ηλεκτρική ισχύς	2.064 Kw
Αρχικά κόστη εγκατάστασης	5.000/Kwh

Κόστη λειτουργίας και συντήρησης (εξοικονόμηση)	30\$/Mwh
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού (ετήσιο)	120\$/Mwh
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο (παραγόμενη)	17.537 Mwh/ έτος
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	2.104.426/ έτος
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	12.631 tnCO ₂
Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή	896.477 \$
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	10.538.535\$
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	1.025.783 \$/έτος
Κόστος μείωσης εκπομπής αερίων ΑΤΘ	-81,21 \$/tnCO ₂
Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	88,47 \$/Mwh


3.3 Παράδειγμα γεωθερμικής εγκατάστασης 2MW στην Κίμωλο μέσω του προγράμματος RETScreen Expert

Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας

Θέση κλιματολογικών δεδομένων: Ελλάδα - Κίμωλος | Τοποθεσία εγκατάστασης: Greece

Λεζάντα

- Τοποθεσία εγκατάστασης
- Θέση κλιματολογικών δεδομένων



© 2022 Microsoft Corporation © 2021 TomTom

	Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία εγκατάστασης	Πηγή
Γεωγραφικό πλάτος		36.7	36.8	Εδαφος+NASA Εδαφος - Χάρτης Εδαφος NASA
Γεωγραφικό μήκος		24.5	24.6	
Κλιματική ζώνη		3A - Θερμό - Υγρό		
Υψόμετρο	m	183	14	
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	5.1		
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	31.7		
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	7.2		

Εικόνα 3.6 Θέση κλιματολογικών δεδομένων και τοποθεσίας της εγκατάστασης της Κιμώλου

Με βάση το προηγούμενο παράδειγμα της Μήλου, με τον ίδιο τρόπο θα πραγματοποιηθεί μια προσομοίωση ενός γεωθερμικού σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας 2MW στην Κίμωλο [7], [8]. Όπως παρατηρείται επιλέγεται το σημείο της εγκατάστασης και τα πλησιέστερα κλιματολογικά δεδομένα για την νήσο Κίμωλο για τον προσδιορισμό των συνθηκών αναφοράς της εγκατάστασης. Όμως, σε αυτό το παράδειγμα δεν υπάρχουν κλιματολογικά δεδομένα για την Κίμωλο, οπότε χρησιμοποιούνται τα πλησιέστερα που μπορεί να αντλήσει το πρόγραμμα ,δηλαδή τα δεδομένα της Μήλου [7], [8].

Στην συνέχεια, συμπληρώνονται τα ακριβή αναλυτικά στοιχεία της εγκατάστασης και το ενεργειακό μοντέλο της γεωθερμικής εγκατάστασης όπως και προηγουμένως στο παράδειγμα της Μήλου [7], [8].

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 2000 kW - Γεωθερμική ενέργεια

Καύσιμα & προγράμματα

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

Ηλεκτρισμός

Γεωθερμική ενέργεια

Περίληψη

Να συμπληρωθεί το σύστημα

Σύγκριση

Γεωθερμική ενέργεια

Περιγραφή Γεωθερμική ενέργεια

Σημείωση

Γεωθερμική ενέργεια

Παροχή ατμού	kg/ώρα	14 000
Διαθεσιμότητα	%	97%
Κατασκευαστής		
Μοντέλο και ισχύς		
Αριθμός μονάδων		
Πίεση λειτουργίας	kPa	700
Θερμοκρασία κορεσμού	°C	165
Θερμοκρασία ατμού	°C	170
Αντίθληψη	kPa	8
Βαθμός απόδοσης ατμοστρόβιλου (ΑΤΜ/Σ)	%	77%
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού (ΠΡΠΑ)	kg/kWh	7
Ηλεκτρική ισχύς	kW	2 002
Συντελεστής ισχύος	%	97%
Αρχικά κόστη	\$/kW	4 700
	\$	9 408 801
Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	\$/MWh	30
	\$	510 309
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού		Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσιο
	\$/MWh	120
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	17 010
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	\$	2 041 237

Εικόνα 3.7 Ενεργειακά δεδομένα λειτουργίας της γεωθερμικής εγκατάστασης της Κιμώλου

Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - 2000 kW - Γεωθερμική ενέργεια								
Καύσιμα & προγράμματα								
Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα								
Τεχνολογία								
Ηλεκτρισμός								
Γεωθερμική ενέργεια								
Περίληψη								
Να συμπεριληφθεί το σύστημα								
Σύγκριση								
	Ισχύς	Ηλεκτρική ενέργεια	Αρχικά κόστη	Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	Κόστος καυσίμου	Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	Απλή αποπληρωμή	Να συμπεριληφθεί το σύστημα
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	kW	MWh	\$	\$	\$	\$	έτος	<input checked="" type="checkbox"/>
Ηλεκτρισμός								
Γεωθερμική ενέργεια	2 002	17 010	9 408 801	2 041 237	0	510 309	6.1	<input checked="" type="checkbox"/>
Σύνολο	2 002	17 010	9 408 801	2 041 237	0	510 309	6.1	

Εικόνα 3.8 Ενεργειακό μοντέλο της γεωθερμικής εγκατάστασης της Κιμώλου

Με βάση αυτά τα στοιχεία το πρόγραμμα πραγματοποιεί την προσομοίωση ,από την οποία προκύπτουν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.2 Οι βασικοί παράμετροι με τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές τους για την Κίμωλο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Παροχή ατμού	14.000 Kg/h
Πίεση λειτουργίας	700 Kpa
Θερμοκρασία κορεσμού (εξαγωγής)	165°C
Θερμοκρασία ατμού	170°C
Πραγματικός ρυθμός παραγωγής ατμού	7 Kg/Kwh
Ηλεκτρική ισχύς	2.002 Kw
Αρχικά κόστη εγκατάστασης	4.700/Kwh
Κόστη λειτουργίας και συντήρησης (εξοικονόμηση)	30\$/Mwh
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού (ετήσιο)	120\$/Mwh
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο (παραγόμενη)	17.010 Mwh/ έτος
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	2.041.237/ έτος
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	12.251,7 tnCO ₂
Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή	909.241 \$
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	10.764.511\$

Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	1.047.778 \$/έτος
Κόστος μείωσης εκπομπής αερίων ΑΤΘ	-85,52 \$/tnCO ₂
Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	85,37 \$/Mwh

Στο ενεργειακό μοντέλο της Κιμώλου, ο υπολογισμός των παραμέτρων έγινε με βάση την γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας σε μικρό βάθος γεωτρήσεων, γι' αυτό τον λόγο η θερμοκρασία του ατμού κυμαίνεται λίγο πάνω από τους 150°C (170°C). Αυτό το γεγονός επηρέασε και τα αρχικά κόστη της εγκατάστασης που είναι το ελάχιστο δυνατό σύμφωνα με το πρόγραμμα, όπως και την πίεση λειτουργίας της γεωθερμικής μονάδας που βρίσκεται κάτω από το όριο που προτείνει το πρόγραμμα [7], [8].

Επίσης, παρατηρείται αύξηση της παροχής ατμού σε σχέση με το προηγούμενο παράδειγμα της Μήλου, γεγονός που μας δείχνει την χρήση μεγαλύτερου γεωθερμικού πεδίου όσο πλησιάζουμε στην επιφάνεια της γης για την λειτουργία της γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, υπάρχει μια μικρή μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην γεωθερμική εγκατάσταση της Κιμώλου (88,47 \$/Mwh) σε σχέση με αυτή της Μήλου (85,37 \$/Mwh).

Συμπεράσματα

Αρχικά, στο πρώτο σκέλος της εργασίας με την χρήση του λογισμικού Pistache πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του συστήματος ψύξης και θέρμανσης του υπό μελέτη κτηρίου γραφείων με στόχο την αξιολόγησή του και την εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων σχετικά με την χρήση της ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ενός οποιοδήποτε κτηρίου σε θέρμανση και σε ψύξη. Ουσιαστικά, το λογισμικό έκανε μια προδιαστασιολόγηση του συστήματος για την δημιουργία ενός όσο το δυνατόν πιο αποδοτικού μοντέλου της εγκατάστασης.

Με την προσομοίωση, προέκυψαν συγκεκριμένα συμπεράσματα όσο αφορά την λειτουργία και την διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης και ψύξης τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω.

Το μέγεθος του υπό μελέτη κτηρίου έπαιξε σημαντικό ρόλο στην διαστασιολόγηση, λόγω της μεγάλης έκτασής του προέκυψε από τα αποτελέσματα ότι οι απώλειες σε θερμικά και ψυκτικά φορτία ήταν αξιοσημείωτες και επηρέασαν άμεσα στην απόδοση του κτηρίου.

Το ίδιο σημαντικός παράγοντας για την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου είναι το πεδίο των ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε εγκατάσταση για την κάλυψη των αναγκών της. Στην προκειμένη περίπτωση, το πεδίο των ηλιακών συλλεκτών είναι αλληλοεξαρτώμενο με αυτό του μεγέθους του κτηρίου διότι όσο πιο μεγάλη είναι η εγκατάσταση του ηλιακού συστήματος θέρμανσης και ψύξης, τόσο πιο μεγάλο πεδίο ηλιακών συλλεκτών ζητείται για τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου.

Εξίσου σημαντικοί παράγοντες είναι ο προσανατολισμός και η κλίση των ηλιακών συλλεκτών που καθορίζουν την απόδοση τους ,η οποία όπως προκύπτει από τις δοκιμές του

προγράμματος παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του υπό μελέτη κυρίου. Αυτοί οι δύο παράγοντες είναι άμεσα συνδεδεμένοι με την θέση και τον προσανατολισμό του κτηρίου, όπως προκύπτει και παραπάνω όπου για τον υπολογισμό της κλίσης των ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιείται το γεωγραφικό πλάτος της εγκατάστασης του κτηρίου.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι απώλειες που δίνουν οι δεξαμενές αποθήκευσης του ζεστού και κρύου νερού επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Παρόλο που όπως φαίνεται από τα στοιχεία της προσομοίωσης η κατανάλωση του νερού για την απόρριψη της θερμότητας και ο ειδικός συντελεστής κατανάλωσης του νερού κυμαίνονται σε ικανοποιητικά επίπεδα, οι απώλειες των δεξαμενών είναι μεγάλες που ίσως οφείλεται στον όγκο που καταλαμβάνουν.

Η πιο σημαντική παρατήρηση που προκύπτει είναι ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια μέσω ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή η ενέργεια που ανακτάται από τους ηλιακούς συλλέκτες κατά την διάρκεια ενός έτους, καλύπτει τις απαιτήσεις του κτηρίου και αυτό φαίνεται από τον ρυθμό παραγωγής της ενέργειας που σύμφωνα με το πρόγραμμα είναι ικανοποιητικός. Όμως, στο παρών κτήριο η συνολική ανεκμετάλλευτη ενέργεια κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, γεγονός που οδηγεί στην μείωση της απόδοσης του κτηρίου και του ηλιακού συστήματος ψύξης και θέρμανσης. Αυτό ίσως οφείλεται στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνει η εγκατάσταση του κτηρίου που έχει σαν αποτέλεσμα την χρήση περισσότερων σωληνώσεων και άλλων εξαρτημάτων που αυξάνουν τις απώλειες του συστήματος.

Η λειτουργία του ψύκτη βρίσκεται σε φυσιολογικά επίπεδα. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα ο ψύκτης δεν είναι υπερδιαστασιοποιημένος, γεγονός που είναι καλό να αποφεύγεται διότι μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες απώλειες και πτώση της απόδοσης στο σύστημα.

Το κόστος της παραγωγής της ενέργειας κυμαίνεται σε ικανοποιητικό επίπεδο, οπότε η εγκατάσταση του κτηρίου δεν είναι ασύμφορη οικονομικά, παρόλη την μεγάλη έκταση του κτηρίου.

Στην συνέχεια, στο δεύτερο σκέλος της εργασίας πραγματοποιήθηκε η ανάλυση της λειτουργίας ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση της γεωθερμίας και με την βοήθεια του λογισμικού RETScreen Expert υλοποιήθηκε μια ανάλυση σκοπιμότητας σε έτοιμα παραδείγματα (Ισλανδία και Μεξικό) εγκαταστάσεων σε διάφορα μέρη του πλανήτη με σκοπό την κατανόηση της συνεισφοράς της γεωθερμικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή. Επίσης, εκπονήθηκαν δύο νέα παραδείγματα γεωθερμικής εγκατάστασης ηλεκτρικής ενέργειας στην Μήλο και στην Κίμωλο που επέφεραν ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα για τις περιοχές αυτές.

Όλα τα παραδείγματα υλοποιήθηκαν σε περιοχές όπου η γεωθερμία είναι υψηλής ενθαλπίας και μπορεί ο χρήστης να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα για την λειτουργία μιας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τα στοιχεία είναι φανερό ότι η ηλεκτρική ισχύς της γεωθερμικής εγκατάστασης είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την οικονομική και παραγωγική λειτουργία της. Αυτός ο παράγοντας επηρεάζει όλους τους

οικονομικούς και παραγωγικούς παραμέτρους στην εγκατάσταση που θα αναφερθούν στην συνέχεια.

Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα 4 παραδείγματα που είναι υπό εξέταση γενικό συμπέρασμα είναι, ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο είναι το βασικό ζητούμενο κάθε γεωθερμικής εγκατάστασης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ισχύς της γεωθερμικής μονάδας είναι συνδεδεμένη άμεσα με την παροχή ατμού, την πίεση λειτουργίας της μονάδας, τις θερμοκρασίες ατμού και εξαγωγής, τον πραγματικό ρυθμό παραγωγής ατμού, την ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο και το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο πιο μεγάλη είναι η ηλεκτρική ισχύς της εγκατάστασης, τόσο μεγαλώνει η απόδοση των παραμέτρων αυτών.

Η πίεση λειτουργίας της μονάδας επηρεάζει άμεσα τις θερμοκρασίες εξαγωγής και του ατμού όπως φαίνεται από τις δοκιμές στα παραδείγματα που υλοποιήθηκαν. Όσο αυξάνεται η πίεση της λειτουργίας τόσο αυξάνονται και οι θερμοκρασίες αυτές, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ανάλογα με την ενθαλπία της γεωθερμικής εγκατάστασης επιλέγεται η κατάλληλη πίεση λειτουργίας της. Όμως η πίεση λειτουργίας είναι δυσανάλογη με την παροχή του ατμού διότι όσο μικραίνει η πίεση για να διατηρηθεί η ισορροπία στην ηλεκτρική ισχύ της εγκατάστασης πρέπει να αυξηθεί η παροχή ατμού. Αυτό γίνεται φανερό στο παράδειγμα της Κιμώλου, όπου η πίεση λειτουργίας είναι σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με το παράδειγμα της Μήλου όμως η παροχή ατμού είναι πιο υψηλή οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι στην Κίμωλο χρειάζεται μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο για την κάλυψη της ηλεκτρικής ισχύς που απαιτείται.

Τα αρχικά κόστη λειτουργίας της εγκατάστασης, τα κόστη της λειτουργίας και συντήρησης, η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας και η τιμή της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο επηρεάζουν την οικονομική βιωσιμότητα της γεωθερμικής μονάδας. Αυτοί οι παράγοντες ουσιαστικά καθορίζουν τους οικονομικούς παραμέτρους της εγκατάστασης, όπως φαίνεται και στους πίνακες με τα αποτελέσματα. Έτσι, συμπεραίνεται ότι η εγκατάσταση γίνεται πιο βιώσιμη όταν περιορίζονται τα κόστη και αυξάνονται τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται.

Στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια γεωθερμική εγκατάσταση μας βοηθάει ο συντελεστής της μείωσης των εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ο δείκτης αυτός κυμαίνεται σε όλες οι εγκαταστάσεις στο 90% περίπου και άνω. Αυτό σημαίνει ότι, η γεωθερμική μονάδα παραγωγής ενέργειας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον αλλά βοηθά στην σημαντική μείωση των ΑΤΘ στον πλανήτη μας. Το κόστος της μείωσης εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου εμφανίζεται ικανοποιητικά σε όλα τα παραδείγματα.

Το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται σε αξιολογικά επίπεδα, διότι σε σύγκριση με άλλους τρόπους λειτουργίας εγκαταστάσεων με συμβατικά καύσιμα π.χ πετρέλαιο, θα ήταν πολύ πιο μεγάλο το κόστος και οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν λιγότερο βιώσιμες.

Βιβλιογραφία

- [1] “Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - Βικιπαίδεια.” https://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες_πηγές_ενέργειας (accessed Jul. 25, 2022).
- [2] “Ηλιακή ενέργεια - Βικιπαίδεια.” https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια (accessed Jul. 25, 2022).
- [3] “Ground source heat pump - Wikipedia.” https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_source_heat_pump (accessed Jul. 25, 2022).
- [4] Η. Πετσάνας and Δ. Πωλήσεων, “ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ”.
- [5] “Geothermal Heat Pumps - HeatSmart CNY.” <https://heatsmartcny.org/heat-pumps/geothermal/> (accessed Jul. 25, 2022).
- [6] “ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ - Γεωθερμία.” <https://www.geothermia.gr/el/geothermal> (accessed Jul. 25, 2022).
- [7] “Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗ ΜΗΛΟ - Μήλος και Γεωθερμία.” <https://www.milos-geothermia.com/Άρθρα/Η-ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ-ΣΤΗ-ΜΗΛΟ> (accessed Jul. 25, 2022).
- [8] “Το ιστορικό της γεωθερμίας στη Μήλο-Κίμωλο - Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος.” https://www.oryktosploutos.net/2014/12/blog-post_25-19/ (accessed Jul. 25, 2022).
- [9] “Γεωθερμική ενέργεια - Ένας αόρατος ενεργειακός θησαυρός | Επιστήμη.” <https://www.maxmag.gr/science/geothermiki-energeia-enas-aoratos-energeiakos-thisayros/> (accessed Jul. 25, 2022).
- [10] “Geothermal power - Wikipedia.” https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_power (accessed Jul. 25, 2022).
- [11] “Geothermal heat pump schematic (in heating mode). | Download Scientific Diagram.” https://www.researchgate.net/figure/Geothermal-heat-pump-schematic-in-heating-mode_fig2_316919670 (accessed Jul. 25, 2022).
- [12] Κ. Μαύρος, “Η γεωθερμία ως ενέργεια βάσης”.
- [13] “ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ”.
- [14] “Ανάπτυξη γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, Νοέμβριος 2013”.
- [15] “Υδροηλεκτρική ενέργεια - Βικιπαίδεια.” https://el.wikipedia.org/wiki/Υδροηλεκτρική_ενέργεια (accessed Jul. 25, 2022).
- [16] “Στρόβιλος - Βικιπαίδεια.” <https://el.wikipedia.org/wiki/Στρόβιλος> (accessed Jul. 25, 2022).
- [17] “RETScreen | Natural Resources Canada.” <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465> (accessed May 03, 2020).
- [18] “Ενότητα 3: Ανάλυση ευαισθησίας Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων “ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ””, Accessed: Jul. 25, 2022. [Online]. Available: <http://vasilis-ismyrlis.webnode.gr/>