

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ ΒΙΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ

ΚΑΤΣΟΥΛΗ ΜΑΡΙΑ ΙΩΑΝΝΑ

ΑΜ 7632

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΡΩΜΑΙΟΣ



ΠΑΤΡΑ 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην Κάλυψη Ενεργειακών Απαιτήσεων Συνεταιρισμού Βιοπαραγωγών με Χρήση ΑΠΕ. Στην εποχή μας παρατηρείται μεγάλη ανάγκη για κατανάλωση ενέργειας , γι αυτό και είναι χρέος μας να στρέφουμε σε έναν πιο βιώσιμο τρόπο παράγωγης της.

Πιο συγκεκριμένα στην αρχή θα μελετηθεί η μετατροπή του βιοαερίου που προκύπτει από τα απόβλητα του συνεταιρισμού ,σε ηλεκτρισμό και θερμότητα μέσω μονάδας ΣΗΘ. Όπου θα παρατεθούν τρία διαφορετικά σενάρια με βάση τις ώρες λειτουργίας της μονάδας , με σκοπό να επιλεγεί το πιο ενεργειακά και οικονομικά κατάλληλο.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί με ακόμα ξεχωριστή πρόταση στον συνεταιρισμό για αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας μέσω ενός κατακόρυφου εναλλάκτη, για την πιο φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία των πολυαρίθμων μονάδων συντήρησης των προϊόντων τους.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Αλεξανδρο Ρωμαιο , Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε όπως και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον κ. Κωνσταντίνο Θεοφύλακτο , για το υλικό και τις γνώσεις που μου έδωσε πάνω στον τομέα της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) .

Τέλος οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στην εταιρία Bio Net West Hellas για την πολύτιμη βοήθεια και τις πληροφορίες που μας παρείχαν.

Πάτρα Μάιος 2023

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής Κατσούλη Μαρία Ιωάννα
(Ονοματεπώνυμο)



(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται σε προτάσεις εξοικονόμησης και παράγωγης ενεργείας του Αγροτικός Συνεταιρισμός Βιοπαραγωγών Δυτικής Ελλάδας Bio Net West Hellas, με ενασχόληση την παράγωγή και συσκευασία αγροτικών προϊόντων.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα παρατεθούν δυο προτάσεις βασισμένες στις ανανεώσιμες μορφές ενεργείας, που στόχο έχουν την αξιοποίηση απόβλητων με συστήματα φιλικά προς το περιβάλλον και την αξιοποίηση της σταθερής θερμοκρασίας του υπεδάφους.

Στην εισαγωγή αναλύεται ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, από την ιστορική ανάδρομη έως τους τομείς εφαρμογής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ταξινομούνται τα είδη των συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην τριπαραγωγή και στα είδη της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνική περιγραφή και η μελέτη της μονάδας συμπαραγωγής που ασχολούμαστε στην περίπτωση μας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στην γεωθερμική ενεργεία, όπου αποτελεί την δεύτερη πρόταση που θα παρατεθεί στον συνεταιρισμό.

Στο έκτο κεφαλαίο αναλύεται σύντομα η αρχή λειτουργίας, ο βαθμός απόδοσης και τα κυρία μέρη των αντλιών θερμότητας, όπου είναι και τα συστήματα ψύξης

Στο έβδομο κεφαλαίο γίνεται διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Και στο όγδοο κεφάλαιο παρατίθεται η τεχνοοικονομική μελέτη της εγκατάστασης του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Και τέλος αναφέρονται συμπεράσματα για όλο το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας.

ABSTRACT

The present thesis refers to proposals for energy saving and energy production of the Agricultural Cooperative of Organic Producers of Western Greece Bio Net West Hellas, dealing with the production and packaging of agricultural products.

In the following chapters two proposals based on renewable energy sources will be presented, aiming at the utilization of waste with environmentally friendly systems and the utilization of the constant temperature of the subsoil.

In the introduction, the purpose of the thesis is explained.

The first chapter discusses cogeneration systems , from historical retrospect to their fields of application.

The second chapter classifies the types of cogeneration systems .

In the third chapter a reference is made to the tri-generation and its species.

The fourth chapter presents the technical description and the study of the cogeneration plant we are dealing with in our case.

Chapter five introduces geothermal energy , where it is the second proposal to be presented in the co-op.

In the sixth chapter the principle of operation, the efficiency and the main parts of the heat pumps are briefly discussed, where the cooling systems

In the seventh chapter the dimensioning of the geothermal heat exchanger is done.

And in the eighth chapter the techno-economic study of the installation of the geothermal heat exchanger is given.

And finally conclusions are mentioned for the whole content of the thesis .

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1) Προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας.....11
1.2) Ποιος είναι ο συνεταιρισμός της BioNet Eest Hellas.....12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

- 1.1) Εισαγωγή στην συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.....14
1.2) Τομείς εφαρμογής των μονάδων ΣΗΘ.....16
1.3) Ιστορική ανασκόπηση.....16
1.4) Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συμπαραγωγής.....17
1.5) Ταξινόμηση μονάδων ΣΗΘ.....18
1.6) Χαρακτηριστικά εκπομπών από τη χρήση ΣΗΘ.....19
1.7) Θόρυβος και κραδασμοί κατά την λειτουργία των ΣΗΘ.....19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΕΙΔΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

- 2.1) Ειδή μονάδων συμπαραγωγής.....21
2.2) Συστήματα ατμοστρόβιλου.....22
2.3) Συστήματα αεριοστρόβιλου.....27
2.4) Μικροαντλιοστροβιλοι.....29
2.5) Συστήματα παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης.....30
2.6) Συστήματα ΣΗΘ συνδυασμένου κύκλου.....37
2.7) Κυψέλες καύσιμου38
2.8) Μηχανές stirling.....40
2.9) Τυποποιημένες μονάδες παράγωγης.....41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ

- 3.1) Έννοια της Τριπαράγωγης.....43
3.2) Βασικές αρχές ψύξης με απορρόφηση.....43
3.3) Ψύξη με προσρόφηση.....46

3.4) Ψυκτικά ρευστά.....	48
--------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο :

4.1)Ενεργειακή συμπεριφορά συστημάτων συμπαραγωγής.....	50
4.2) Σύσταση και ιδιότητες βιοαερίου.....	53
4.3) Νομοθετικό πλαίσιο.....	55
4.4) Τεχνική περιγραφή εγκατάστασης.....	56
4.5)Επιλογή μονάδας συμπαραγωγής.....	58
4.6)Μελέτη τριών βασικών σεναρίων.....	63
4.7)Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.....	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

5.1) Γεωθερμική ενέργεια	70
5.2)Σύντομο ιστορικό.....	71
5.3)Κατηγορίες γεωθερμιών πεδίων.....	73
5.4)Τεχνολογία εντοπισμού και εξαγωγής.....	75
5.5)Ιδιότητες που επηρεάζουν την λειτουργία των συστημάτων.....	76
5.6) Γεωθερμικό σύστημα.....	76
5.7)Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της γεωθερμίας.....	77
5.8) Αβαθής γεωθερμία.....	78
5.9) Συστήματα ανοιχτού και κλειστού τύπου.....	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

6.1) Αρχή λειτουργίας.....	88
6.2)Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας	91
6.3) Κυρία μέρη αντλιών θερμότητας.....	94
6.4) Ελληνική νομοθεσία.....	95
6.5) Αρχή λειτουργίας συστημάτων ψύξης προϊόντων.....	96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

7.1) Υπολογισμός βάθους γεωτρήσεων.....	99
7.2) Πτώση πίεσης στο υδραυλικό δίκτυο.....	111

7.3) Δοχείο διαστολής.....	112
7.4) Κόστος συστήματος γεωθερμίας.....	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

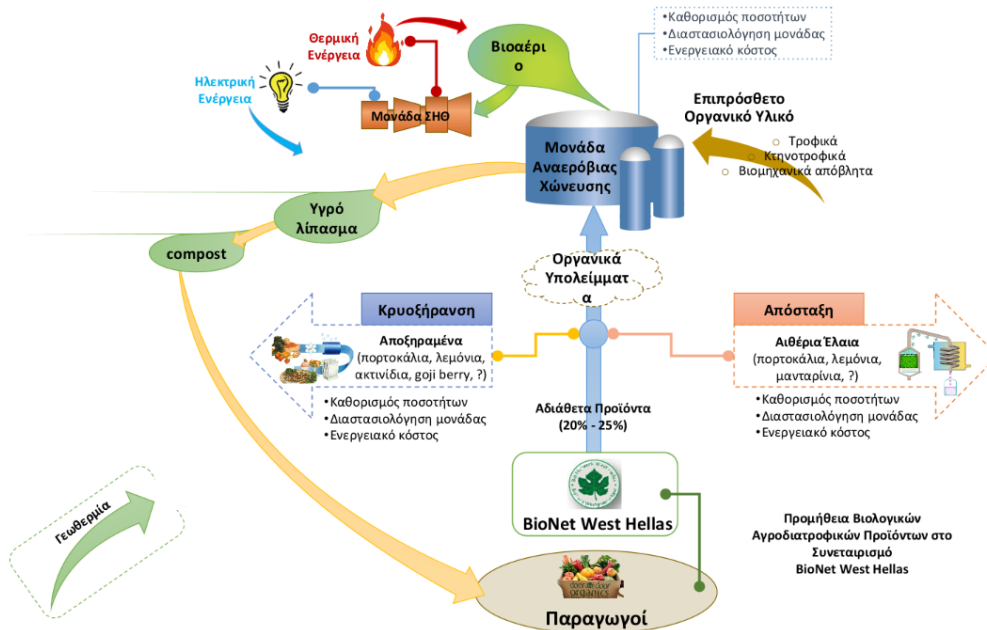
8.1) Αύξηση ενεργειακής αποδοτικότητας.....	116
---	-----

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1) ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Εικόνα 1: Απεικόνιση των προτεινόμενων διεργασιών

Τις τελευταίες δεκαετίες με την αύξηση της κατανάλωσης ξεκινώντας από τα βασικά αγαθά έως και την ενέργεια, γίνεται μια προσπάθεια αξιοποίησης και βελτίωσης των συστημάτων που παράγουν ενέργεια μέσα από ανανεώσιμες πηγές .

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εκπονήθηκε με αφορμή τις προτάσεις που θα παραθέσει μια ομάδα φοιτητών στον Αγροτικό Συνεταιρισμό Bio Net West Hellas, με τεχνολογικές λύσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση των εγκαταστάσεων της, με αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του συνεταιρισμού σε ενέργεια.

Η BioNet West Hellas δραστηριοποιείται στην παράγωγη και συσκευασία αγροτικών προϊόντων, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό όμως της τάξης των 10.000 τόνων το χρόνο, αυτών των προϊόντων δεν μπορεί να αξιοποιηθεί με αποτέλεσμα να γίνεται απόρριμμα.

Η μια πρόταση που θα παρατεθεί στην βιομηχανία αφορά την αξιοποίηση αυτού των τόνων απόβλητων με σκοπό όχι μόνο την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και το κέρδος του συνεταιρισμού. Αυτό θα επιτύχει αξιοποιώντας ένα ποσοστό των απορριμμάτων αυτών για την παράγωγη αιθέριων ελαίων , κυρίως από τα εσπεριδοειδή. Ακόμα ένα ποσοστό των μη αξιοποιήσιμων αγροτικών προϊόντων θα επεξεργαστεί με την διαδικασία της κρυοξήρανσης και στην συνέχεια θα διοχετεύει στην αγορά ως αποξηραμένα φρούτα. Τα απόβλητα που θα προκύψουν από τις

παραπάνω διεργασίες θα εισάγονται σε ένα βιοαντιδραστήρα και μέσω αναερόβιας χώνευσης θα παράγουν βιοαέριο , το οποίο θα εισάγεται σε μια μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας , με σκοπό την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης και αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας από τον συνεταιρισμό στις διεργασίες παράγωγης των προϊόντων όπως πχ στην διαδικασία της ζήρασης των προϊόντων ,σε θερμοκήπια ή σε άλλες διεργασίες.

Τέλος μετά από την αναερόβια χώνευση των αγροτικών απόβλητων παράγεται ένα υψηλής ποιότητας βιολογικό εδαφοβελτιωτικό το οποίο μπορεί να αξιοποιήσει ο συνεταιρισμός στις καλλιέργειες του ή ακόμα και να πουλήσει στην αγορά .

Μια δεύτερη ανεξάρτητη πρόταση που θα παρατεθεί στη Bio Net West Hellas αφορά την φιλικότερη προς το περιβάλλον λειτουργία των πολυαρίθμων ψυγείων συντήρησης των προϊόντων του συνεταιρισμού με την χρήση της γεωθερμικής ενέργειας. Αυτό θα επιτευχθεί με την τροποποίηση του συστήματος, αντικαθιστώντας τους αερόψυκτους συμπυκνωτές με υδρόψυκτους για να συνδεθούν με το γεωθερμικό εναλλάκτη , με στόχο την μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας και την αύξηση του βαθμού απόδοσης , έτσι ώστε να καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια και η μετάδοση θερμότητας από το ψυκτικού ρευστού να γίνεται σε ένα περιβάλλον σταθερά χαμηλής θερμοκρασίας όπως είναι το υπέδαφος .

Από τις προτάσεις που παρατέθηκαν νωρίτερα η συγκεκριμένη πτυχιακή θα εμβαθύνει και θα μελετήσει την μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας και την μελέτη και διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη.

1.2)ΠΟΙΟΣ ΕΙΝΑΙ Ο ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ BIO NET WEST HELLAS



Εικόνα 1: Σήμα Συνεταιρισμού

(Πηγή: BioNet West Hellas)

Η Bio Net West Hellas, ο Αγροτικός Συνεταιρισμός Βιοπαραγωγών Δυτικής Ελλάδας, είναι η μεγαλύτερη και ισχυρότερη ομάδα παραγωγών βιολογικών προϊόντων στην Ελλάδα. Μέσα σε ένα πλούσιο φυσικό οικοσύστημα, σε μια περιοχή που ονομάζεται «Το Φυσικό Πάρκο της Ελλάδας», οι βιοκαλλιεργητές του Αγρο-Περιβαλλοντικού Ομίλου, συνδυάζουν τη γεωργία με την εκτροφή ζώων.

Ο Αγροτικός Συνεταιρισμός Βιοπαραγωγών Δυτικής Ελλάδας έχει έδρα την Γαστούνη Ηλείας αποτελείται από 29 βιοκαλλιεργητές βιολογικών οπωροκηπευτικών. Έχει κατασκευάσει και λειτουργεί από το 2007 σύγχρονο συσκευαστήριο βιολογικών φρούτων, 2.000 τμ, στην Γαστούνη Ηλείας, ενώ βρίσκεται στο στάδιο κατασκευής δύο ακόμη συσκευαστηρίων, το ένα στην Αχαΐα και το άλλο στην Αιτωλοακαρνανία για την διαλογή, τυποποίηση & συσκευασία διάφορων οπωροκηπευτικών.



Εικόνα 2: Εγκαταστάσεις Συνεταιρισμού

(Πηγή BioNet West Hellas)

Περισσότεροι από 200 βιοκαλλιεργητές της Bio Net West Hellas καλλιεργούν εκεί με σεβασμό στη φύση και με βαθιά οικολογική συνείδηση, παράγουν ποιοτικά προϊόντα απαλλαγμένα από χημικά. Τα κύρια βιολογικά προϊόντα είναι: Εσπεριδοειδή, Ακτινίδια, Κρασί & διάφορα άλλα βιολογικά φρούτα και λαχανικά. Τα βιολογικά προϊόντα επεξεργάζονται, τυποποιούνται και συσκευάζονται σε σύγχρονες εγκαταστάσεις που εξασφαλίζουν άριστη ποιότητα.

ΚΥΡΙΩΣ ΚΕΙΜΕΝΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1.1)ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΗΘ (COGENERATION HEAT AND POWER)

Η κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, γίνεται με τον συμβατικό τρόπο της αγοράς ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και με την καύση καυσίμων σε κάποιο λέβητα για την παραγωγή θερμότητας. Με την χρήση όμως των μονάδων ΣΗΘ μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση καυσίμου.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημάνουμε πως με την εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας, εκτός από θερμότητα μπορεί να παραχθεί ψύξη και κλιματισμός, αυτή η μετατροπή της θερμότητας σε ψύξη επιτυγχάνεται με μηχανές απορρόφησης που χρησιμοποιούν ατμό ή θερμό νερό.

Στους συμβατικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς η θερμότητα που παράγεται μέσα από την καύση του εκάστοτε καυσίμου ή μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων χάνεται στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα το σύστημα να έχει πολύ μικρή απόδοση της τάξης του 30-45% και εστί να επιβαρύνεται το οικοσύστημα με την έκθεση τόσο μεγάλης ποσότητας θερμότητας. Υπάρχει δυνατότητα το μεγαλύτερο ποσό αυτής της θερμότητας να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί ως ωφέλιμη θερμότητα. Έτσι και στις μονάδες ΣΗΘ με την αξιοποίηση της θερμότητας η απόδοση του συστήματος αγγίζει το 80-85% , σε συνδυασμό με την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων αποτελεί μια βιώσιμη λύση.

Μια μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση της εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι και μια οικονομικά βιώσιμη λύση που δίνει κίνητρο για επενδύσεις, έτσι ώστε να αυξηθεί η χρήση της σε όλους τους τομείς.



Εικόνα 1.1: Σύγκριση βαθμού απόδοσης συμπαραγωγής με συμβατικό σύστημα παράγωγης ενέργειας

(Πηγή: ο "Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας", που εκδόθηκε το Νοέμβριο του 1994, από το Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, ΕΛΚΕΠΑ)

Τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα μηχανών που χρησιμοποιούν το ίδιο καύσιμο και παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Το πλεονέκτημα της είναι ότι σε σχέση με την συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οι μονάδες συμπαραγωγής μπορούν να εκμεταλλευτούν και την θερμότητα που παράγεται, διοχετεύοντας την στις βιομηχανίες και τα κτίρια για θέρμαστή και ψύξη, που σε άλλες περιπτώσεις θα εκλυόταν στο περιβάλλον.

Η απόδοση αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι των μεμονωμένων, έχοντας μικρότερη κατανάλωση καυστικού και μειωμένες εκπομπές ρύπων. Η συνολική απόδοση των μονάδων συμπαραγωγής εξαρτάται από την αλληλεπίδραση του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής και του συστήματος ανάκτησης θερμότητας. Τα αποδοτικότερα συστήματα είναι αυτά που ανταποκρίνονται σε μεγάλη θερμική ζήτηση και μικρότερη σχετικά παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Από το γεγονός ότι από τα συστήματα ΣΗΘ προκύπτουν δυο ή περισσότερες αξιοποιήσιμες μορφές ενέργειας, ο υπολογισμός την απόδοσης είναι σύνθετος. Το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ως δυο ξεχωριστά συστήματα, που είναι τα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος όπου συνήθως είναι μια μηχανή η ένας στρόβιλος και το σύστημα παραγωγής θερμικής ενέργειας που είναι ένας λέβητας.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι επειδή η μεταφορά ηλεκτρισμού σε μεγάλες αποστάσεις είναι ευκολότερη και φθηνότερη από την μεταφορά θερμότητας , οι εγκαταστάσεις των μονάδων αυτών είναι κοντά στον χώρο που θα καταναλωθεί η θερμότητα.

1.2)ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘ

-Στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς: για την τροφοδοσία με ρεύμα της χώρας.

-Στις βιομηχανίες : είναι η πιο ευρεία χρήση των μονάδων αυτών, όπου χρησιμοποιούνται κυρίως αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι με παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης.

-Στον αγροτικό τομέα: με αξιοποίηση των διαφόρων μορφών βιομάζας όπου καλύπτονται οι ανάγκες θέρμανσής των θερμοκηπίων, οι ανάγκες ψύξης των προϊόντων καθώς και ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια.

-Στον τομέα των κτιρίων : κυρίως είναι μεγάλης διάστασης κτίρια όπως νοσοκομεία ξενοδοχεία σχολεία και εμπορικά κέντρα για της ανάγκες θέρμανσής , ψύξης και ηλεκτρισμού, όπου χρησιμοποιούνται κύριος μηχανές εσωτερικής καύσης , αλλά και συστήματα απορρόφησης για την μετατροπή των θερμικών φορτίων σε ψυκτικά.

-Στον τομέα των μεταφορών: οι κινητήρες των αυτοκίνητων και των πλοίων παράγουν μηχανικό έργο, ηλεκτρισμό και θερμότητα η οποία δημιουργείτε από τα καυσαέρια ή τα ψυκτικά κυκλώματα.

1.3) ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας εμφανίστηκαν για πρώτη φορά λίγο μετά το 1880 στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη, ήδη στις αρχές του 20^{ου} αιώνα οι ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο και λέβητα είχαν βρει μεγάλη εφαρμογή στις βιομηχανίες της τότε εποχής. Ευρεία ανάπτυξη των μονάδων αώτων στην Ευρώπη έλαβε παρατηρήθηκε σε χώρες όπως η Δανία Φινλανδία και η Ολλανδία στις αρχές του 1900, στις οποίες εκτός από μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν και σε νοσοκομεία, βιομηχανίες ξενοδοχεία κα. Αξίζει

να σημειωθεί ότι στην Ευρώπη το 1900 το ποσοστό της παραγομένης ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή ήταν στο 60%, με την πάροδο των χρόνων όμως αυτό άλλαξε οπότε το 1950 εκτιμάται στο 15% και στις αρχές του 1900 άγγιξε το 5%. Πολλοί παράγοντες συντέλεσαν σε αυτή την μείωση στην χρήση ΣΗΘ όπως οι νομοί που εφαρμόστηκαν για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Παρόλα αυτά η κατάσταση άλλαξε το 1973 με την πετρελαϊκή κρίση, όπου τέτοια συστήματα με δυνατότητα χρήσης εναλλακτικών καυσίμων αυξήθηκαν. Για αυτόν τον λόγο και για την προστασία του περιβάλλοντος από την εκπομπή ρύπων οι κυβερνήσεις της Ευρώπης, των Η.Π.Α. και της Ιαπωνίας, αποφάσισαν να στηρίξουν την ανάπτυξη αυτών των μονάδων με τα τόσα πλεονεκτήματα.

Οι πρώτες σύγχρονες μονάδες ΣΗΘ στην Ελλάδα εγκαταστάθηκαν με μεγάλες βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του '70. Ακόμα έγιναν και τροποποιήσεις σε μονάδες της ΔΕΗ για να γίνει διανομή θερμότητάς με τηλεθέρμανση σε αστικές περιοχές κοντά στις μονάδες αυτές, όπως ήταν της Κοζάνης της Πτολεμαΐδας και της Μεγαλόπολης. Οι πρώτες ελληνικές βιομηχανισμέ που εγκατέστησαν συστήματα ΣΗΘ ήταν χαλυβουργίας, ζάχαρης και πετρελαίου. Μετά την δεκαετία του 1990 με την αύξηση της χρήσης του φυσικού αερίου αναδείχτηκαν οι δυνατότητες των ΣΗΘ και έως και σήμερα λειτουργούν μονάδες ΣΗΘ σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, μεγάλα κτίρια και αξιοποιώντας βιομάζα σε εγκαταστάσεις απαγωγής ενέργειας μέσω αντιδραστήρων.

1.4) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

- Πλεονεκτήματα

- Έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τα συμβατικά συστήματα
- Ελαχιστοποιεί τα παραγόμενα καυσαέρια ιδιαίτερα των σωματιδίων του CO₂ που συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Με αποτέλεσμα την προστασία του περιβάλλοντος.
- Υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης του βιοαερίου που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση αγροτικών προϊόντων.
- Στις βιομηχανίες έχουμε τεράστια εξοικονόμηση και αξιοποίηση της παραγόμενης θερμικής ενέργειας σε συστήματα τηλεθέρμανσης, θέρμανσης θερμοκηπίων κ.α.

- Εξασφαλίζει το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από πιθανές διακοπές ρεύματος .
- Επιτυγχάνεται με την αξιοποίηση της Σ.Η.Θ μείωση της κατανάλωσης των καυσίμων.
- Περιορίζει τις απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, διότι τα συστήματα συμπαραγωγής βρίσκονται πιο κοντά στους καταναλωτές απ' ότι οι κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής.
- Δυνατότητα ανεξαρτητοποίησης από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα με τεράστιες επιπτώσεις στην Εθνική οικονομία και στο περιβάλλον.
- Η συμπαραγωγή μειώνει τη χρήση εισαγόμενων καυσίμων, επιδρώντας θετικά στην εθνική οικονομία.

- Μειονεκτήματα

- Το υψηλό κόστος των μονάδων αυτών είναι ένας αποτρεπτικός παράγοντας για την αγορά και την αξιοποίηση τους.
- Μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα αστάθειας του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά αποφεύγονται όταν το σύστημα συμπαραγωγής και η σύνδεση του με το δίκτυο πληρούν ορισμένες προδιαγραφές.
- Η διακίνηση των καυσίμων και η απομάκρυνση των στερεών καταλοίπων της καύσης μπορεί να προκαλέσει ρύπανση του εδάφους και των υδάτων της περιοχής.
- Ο θόρυβος που δημιουργείται από το σύστημα συμπαραγωγής αυξάνει την ηχητική ρύπανση.

1.5) ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘ

Οι περισσότερες μονάδες ΣΗΘ χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

-Συστήματα “Κορυφής”: γίνεται παραγωγή ηλεκτρισμού με την χρήση νερού υψηλής θερμοκρασίας, και η περίσσια θερμότητα αξιοποιείται για θέρμανση χώρων ή και για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρισμού.

-Συστήματα “Βάσης” : στο πρώτο στάδιο παράγεται θερμότητά πχ μέσα από φούρνους εργοστασίων για την παραγωγή υλακών κ.α. και τα παραγόμενα αέρια υψηλής θερμότητας ή διοχετεύονται σε λέβητα για να παραχθούν ατμοί και να κινηθεί ατμοστροβιλογεννήτρια, ή διοχετεύονται σε αντλιοστρόβιλο που κινεί ηλεκτρογεννήτρια για την παραγωγή ρεύματος.

1.6)ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΗΘ

Τα κυριότερα αέρια από τη χρήση των μονάδων ΣΗΘ είναι τα εξής:

1) **Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)**: Απαρτίζει το μεγαλύτερο ποσοστό των προϊόντων της καύσης. Η αύξηση του στην ατμόσφαιρα, αποτελεί τη βασική αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής. Η παραγωγή του είναι ανάλογη προς την ποσότητα του καυσίμου που καίγεται και έτσι η υψηλής αποδοτικότητας ΣΗΘ οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών του. Επίσης η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση του καυσίμου, το φυσικό αέριο για παράδειγμα παράγει κατά την καύση που λιγότερους ρύπου σε σχέση με τον λιγνίτη, δηλαδή είναι πιο φιλικό στο περιβάλλον.

2) **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**: Είναι ένα δηλητηριώδες αέριο που παράγεται μέσω της ατελούς καύσης και μπορεί να περιοριστεί σε αμελητέα επίπεδα, εάν υπάρξει ικανοποιητικός έλεγχος του αέρα και του καυσίμου κατά τη διάρκεια της καύσης.

3) **Διοξείδιο του θείου (SO₂)**: παράγεται κατά την καύση του θείου και χαρακτηρίζεται ως όξινο αέριο. Θείο περιέχεται σε πολλά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας, το βιοαέριο. Το SO₂ με την παρουσία υγρασίας μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H₂SO₄) το οποίο, εάν συμπυκνωθεί, προκαλεί τη διάβρωση των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην ανάκτηση της θερμότητας ή στα συστήματα εξάτμισης. Επιπλέον, είναι η αιτία της όξινης βροχής με τις γνωστές καταστρεπτικές συνέπειες. Στις μονάδες ΣΗΘ, η ποσότητες SO₂ μπορούν να μειωθούν μόνο μέσω εγκατάστασης μονάδας αποθείωσης.

4) **Οξειδία του αζώτου(NO_x)**: Αποτελεί μίγμα οξειδίων του αζώτου που παράγονται από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου στον αέρα. Η σύστασή του επηρεάζεται από τις συνθήκες της καύσης, όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος παραμονής και η αναλογία “αέρα/καυσίμου”. Στην ατμόσφαιρα, το NO_x υπόκειται σε διάφορες χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στο σχηματισμό του όζοντος και της αιθαλομίχλης. Το NO_x θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους αστικούς ρύπους, έχοντας ως βασική πηγή την κυκλοφορία των οχημάτων και τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.7) ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΣΗΘ

Ισχύει η νομοθεσία που καθορίζει τα μέγιστα επίπεδα για τις εκπομπές θορύβου κατά την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την προστασία των εργαζόμενων και των κατοίκων ν σε περιοχές κοντά σε εγκαταστάσεις. Επομένως,

όλες οι μονάδες ΣΗΘ, ανεξαρτήτως ισχύος, πρέπει να συμμορφωθούν με τους κανονισμούς αυτούς.

Ο θόρυβος κατά τη λειτουργία των μηχανών ΣΗΘ είναι συνήθως άνω των 95 dB (A). Στις μονάδες ΣΗΘ που τοποθετούνται σε υπόγεια των κτηρίων ή σε μηχανοστάσια δεν απαιτείται η εγκατάσταση ακουστικού περιβλήματος, αφού εφαρμόζονται οι ίδιες τεχνικές μείωσης του θορύβου με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις υποδομών, που απαιτούν: ακουστικό αποσβεστήρα στους αγωγούς εισαγωγής-εξαγωγής αέρα στον χώρο καύσης, χρήση ηχομονωτικών υλικών στους τοίχους, αντικραδασμικά ελάσματα έδρασης αντικραδασμικούς συνδέσμους με τα δίκτυα σωληνώσεων.

Έτσι, συχνά απαιτείται, για την αντιμετώπιση του θορύβου και των κραδασμών, η τοποθέτηση της μονάδας ΣΗΘ και των συστημάτων ελέγχου σε μονωμένο κιβώτιο (container) με σιγαστήρες στους αγωγούς εισαγωγής και εξαγωγής αέρα και στους εξαεριστήρες. Η εγκατάσταση αυτή, με τις διπλές ηχομονωτικές πόρτες και χωρίς άλλα ανοίγματα, μειώνει το επίπεδο θορύβου της μονάδας συμπαραγωγής σε 30 dB (A) σε απόσταση 60 m από το μονωμένο κιβώτιο.

ΚΕΦΑΚΑΙΟ 2ο

2.1)ΕΙΔΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι μονάδες συμπαραγωγής χωρίζονται σε κάποιες βασικές κατηγορίες ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα κυκλώματά ισχύος:

- Συστήματα Ατμοστρόβιλου
- Συστήματα Αεριοστρόβιλου
- Συστήματα Παλινδρομικών Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ)
- Συνδυασμένου Κύκλου
- Μικροαντιλοστρόβιλος
- Κυψελίδες Καύσιμου
- Μηχανές Sterling

Όλες οι ανωτέρω τεχνολογίες χαρακτηρίζονται ως "θερμικές μηχανές". Πιο συγκεκριμένα, η θερμική μηχανή ορίζεται ως: "μία συσκευή που μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια" Επιπλέον, η λειτουργία μιας θερμικής μηχανής μπορεί να παρασταθεί καλύτερα από ένα θερμοδυναμικό κύκλο. Μερικά παραδείγματα είναι οι κύκλοι Otto, Diesel, Brayton, Stirling και Rankine

Τύπος μονάδας	Μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας		Συνδυασμένες μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας		
Τύπος μονάδας	Μονάδα Σ.Η.Θ. με ατμοστρόβιλο	Μονάδα Σ.Η.Θ. συνδυασμένου κύκλου με αεριοστρόβιλο	Θερμική μονάδα με αεριοστρόβιλο	Θερμική μονάδα με βιομηχανικό κινητήρα	Μικρής κλίμακας Σ.Η.Θ.
Σύστημα κίνησης	Ατμοστρόβιλος	Ατμοστρόβιλος – αεριοστρόβιλος	Αεριοστρόβιλος	Βιομηχανικός κινητήρας Otto ή κινητήρας Diesel με καταλυτικό μετατροπέα	
Καύσιμο	Κάρβουνο, μαζούτ, ντίζελ, φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο, υγραέριο, κηροζίνη, αεριοποιημένος άνθρακας (μελλοντικά)		Φυσικό αέριο, υγραέριο, βιοαέριο, κηροζίνη, βιοκαύσιμα	
Θερμοκρασία	Έως 500°C	Έως 300°C	Έως 550°C	Έως 100°C	Έως 100°C
Εφαρμογή	Τηλεθέρμανση	Τηλεθέρμανση	Θερμότητα διεργασιών για βιομηχανία και νοσοκομεία (ατμός, ζεστό νερό)	Τοπικά δίκτυα θέρμανσης, μεμονωμένα κτήρια (νοσοκομεία, μεγάλα κτήρια)	Ανεξάρτητα συγκροτήματα κατοικιών, μεμονωμένα κτήρια (σχολεία ξενοδοχεία, εμπορικές επιχειρήσεις)
Δυναμικότητα	0,5 – 1.000MW _e	20 – 100MW _e	1 – 10MW _e	20 – 1.000kW _e	5 – 15kW _e
Δείκτης συμπαραγωγής (1)	0,30 – 0,60	0,80 – 1,20	0,40 – 0,60	0,55 – 0,65	0,35 – 0,45
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	0,25 – 0,35 0,30 – 0,40	0,40 – 0,50	0,20 – 0,35	0,30 – 0,40	0,25 – 0,30
Συνολική απόδοση	0,45 – 0,85	0,55 – 0,85	0,75 – 0,85	0,85 – 0,90	0,85 – 0,90
Πλεονεκτήματα	Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας σε μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	Μικρό κόστος επένδυσης, μεγάλος συντελεστής συμπαραγωγής	Θερμότητα διεργασιών υψηλής θερμοκρασίας	Μικρές διαστάσεις, ολοκληρωμένη κατασκευή, υψηλός συνολικός βαθμός απόδοσης	

(1): Δείκτης συμπαραγωγής = ηλεκτρική / θερμική ενέργεια.

Πίνακας 1.1: (Πηγή« Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

Σύστημα ΣΗΘ	Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ	Χρόνος εκκίνησης
Παλινδρομικές μηχανές	0.5 - 2	10 δευτερόλεπτα
Αεριοστρόβιλοι και μονάδες συνδυασμένου κύκλου	0.6 – 1.1	10 λεπτά - 1 ώρα
Ατμοστρόβιλοι	0.07 – 0.3	1 ώρα - 1 μέρα
Μικροστρόβιλοι	0.2 – 0.5	60 δευτερόλεπτα
ORC-Stirling	0.1 – 0.4	20 λεπτά – 1 ώρα
Κυψέλλες καυσίμου	1-2	3 ώρες - 2 μέρες

Πίνακας 1.2: Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών ΣΗΘ

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

- Συστήματα Που Αποτελούν Τις Μονάδες Συμπαραγωγής

Ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται από τις ακόλουθες διακριτές συνιστώσες:

- **Κύκλωμα θέρμανσης:** Είναι το σύστημα ανάκτησης θερμότητας όπου δεσμεύει την απορριπτόμενη θερμότητα και την κάνει ωφέλιμη για να αξιοποιηθεί σε θερμικές διεργασίες. Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από την αντλία θερμότητας, τον λέβητα, η ανάκτηση θερμότητας κτλ.
- **Κύκλωμα ψύξης:** Είναι το σύστημα που έχει σκοπό την ψύξη των μονάδων ισχύος. Το κύκλωμα αυτό αποτελείται κυρίως από ψύκτες απορρόφησης, πύργους ψύξης, αντλίες θερμότητάς, συμπιεστές κτλ.
- **Κύκλωμα ισχύος:** Το κύκλωμα ισχύος αποτελείται από το βασικό σύστημα παραγωγής ισχύος, που αποτελείται από ατμοστρόβιλους, αεριοστρόβιλους, ντιζελογεννήτριες κ.α.

2.2)ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Τα συστήματα ατμοστρόβιλου έχουν εφαρμοστεί στις περισσότερες μονάδες συμπαραγωγής, μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο, ακόμα και με στερεά απόβλητα καίγονται σε ιδιόκτους λέβητες, με συστήματα αφαίρεσης ρύπων και βλαβερών ουσιών. Είναι κατάλληλα για ισχύ 500Kw-100MW, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής από 25 έως 35 έτη και η απόδοση τους κυμαίνεται από 60-85%.Ομως είναι εξερχόμενα από μια πηγή ενέργειας και δεν γίνεται αμέσως η μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή χρειάζονται μια πηγή ατμού υψηλής πίεσεως που παράγεται σε λέβητα η σε σύστημα ανάκτησης θερμότητάς παραγωγής ατμού. Οι βαθμίδες που αποτελείται ο ατμοστρόβιλος είναι πολλές, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να οριστεί με ανάλυση της εκτόνωσης του ατμού από μια υψηλότερη σε μια χαμηλότερη πίεση.

Ο συνηθισμένος κύκλος που χρησιμοποιείται στους ατμοστροβίλους είναι ο κύκλος Ranken, ο οποίος είναι ο βασικός κύκλος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, όπου ένας λέβητας μετατρέπει το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης. Ο ατμός μπορεί να είναι υγρός, ξηρός κορεσμένος ή υπέρθερμος και διέρχεται μέσα από τον στρόβιλο και παράγει μηχανική ισχύ. Όταν εξέρχεται από τον στρόβιλο συμπυκνώνεται και επιστρέφει στο λέβητα για να επαναληφθεί η διαδικασία, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

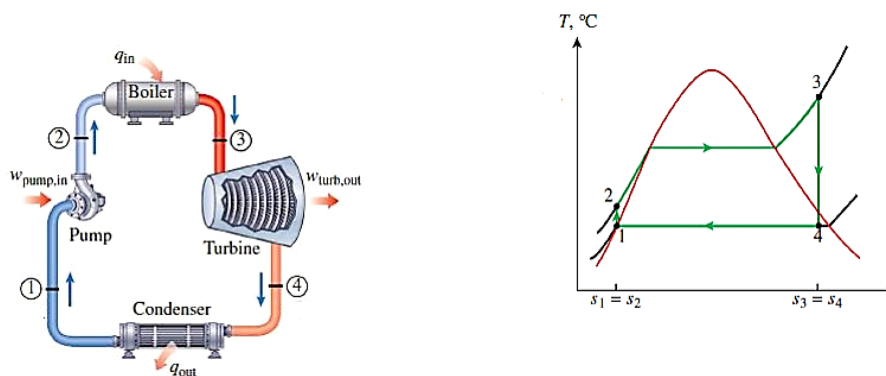
Οι ατμοστροβίλοι χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες :

- α) ατμοστροβίλος αντίθληψης ,
- β) ατμοστροβίλος απομάστευσης
- γ) ατμοστροβίλος με κύκλο βάσης
- δ) κύκλος βάσης Ranken με οργανικά ρευστά.

Κύκλος Ranken

Ο κύκλος Rankine χαρακτηρίζεται από την υπερθέρμανση του ατμού στον λέβητα και την πλήρη συμπύκνωση του. Η συμπίεση πραγματοποιείται μόνο στην υγρή φάση με κατανάλωση μικρού ποσού ενέργειας . Η εκτόνωση ξεκινάει με υπέρθερμο ατμό, για να είναι καλής ποιότητας στις βαθμίδες του ατμοστροβίλου και για την βελτίωση του βαθμού απόδοσης του κύκλου , σε σχέση με την χρήση κορεσμένου ατμού, επειδή αυξάνει την μέση θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η εισαγωγή της θερμότητάς.

Τα στάδια του κύκλου Rankine είναι τα παρακάτω:



Εικόνα 2.2: Απλός ιδανικός κύκλος Rankine

(Πηγή: <https://www.researchgate.net>)

Τα στάδια του κύκλου Rankine είναι τα παρακάτω:

- 1-2 Ισεντροπική (αδιαβατική) συμπίεση σε αντλία

2-3 Προσθήκη θερμότητα στο λέβητα σε σταθερή πίεση (ισοβαρής)

3-4 Ισεντροπική (αδιαβατική) εκτόνωση στον στρόβιλο

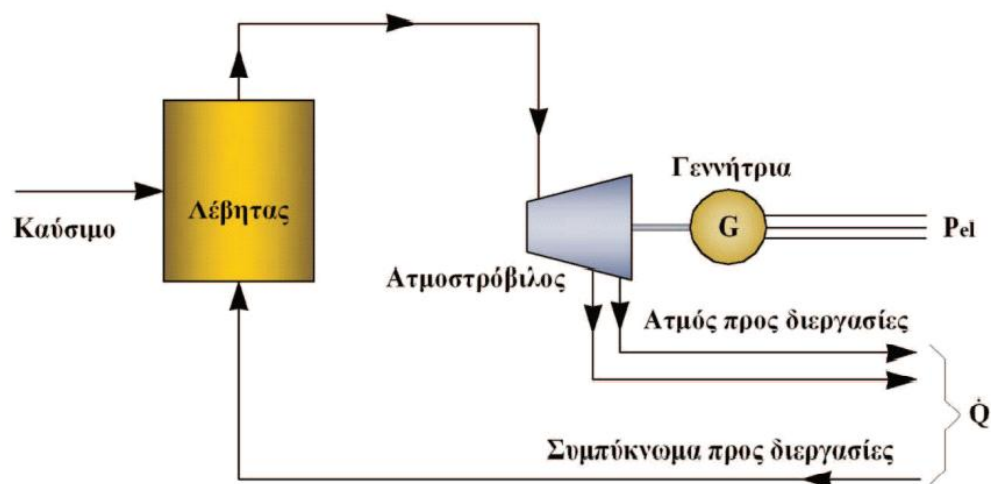
4-1 Απόρριψη θερμότητας στο συμπιεστή με σταθερή πίεση (ισοβαρής)

ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΝΤΙΛΙΨΗΣ

Μέσα σε λέβητα παράγεται ατμός υψηλής πίεσεως από 20 έως 100 bar και θερμοκρασίας από 480 έως 540 βαθμούς κελσίου, ο οποίος εκτονώνεται μέσα από ατμοστρόβιλο και έτσι παράγει ηλεκτρική ενέργεια και η περίσσια θερμότητα εξέρχεται από ατμοστρόβιλο και αξιοποιείται σε θερμικές διεργασίες .

Ο λόγος που χρησιμοποιείται ο όρος « αντίθλιψη » είναι επειδή η πίεση της θερμότητας που αξιοποιείται σε θερμικές διεργασίες είναι ανώτερη από την ατμοσφαιρική, και κυμαίνεται από 3 έως 20 bar.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του ατμοστρόβιλος αντίληψης σε σχέση με τον ατμοστρόβιλος απομάστευσης (θα αναλυθεί παρακάτω), αρχικά έχει ανώτερο βαθμό απόδοση, που κυμαίνεται στο 85%, λόγο της μειωμένης διαρροής θερμότητας μέσω των ψυκτων, επίσης έχει χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης ,κατασκευής και πιο απλή μορφή. Όμως το μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να παραχθεί ενέργεια χωρίς την απαιτούμενη θερμότητα, συνεπώς για να γίνει παραγωγή θερμικής ισχύος απαιτείται και η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Για τον λόγο αυτό βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλα θερμοηλεκτρικά, όπου υπάρχει συνέχεις παροχή ηλεκτρικής ισχύος στο δίκτυο.



Εικόνα 2.3:Σύστημα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο αντίθλιψης

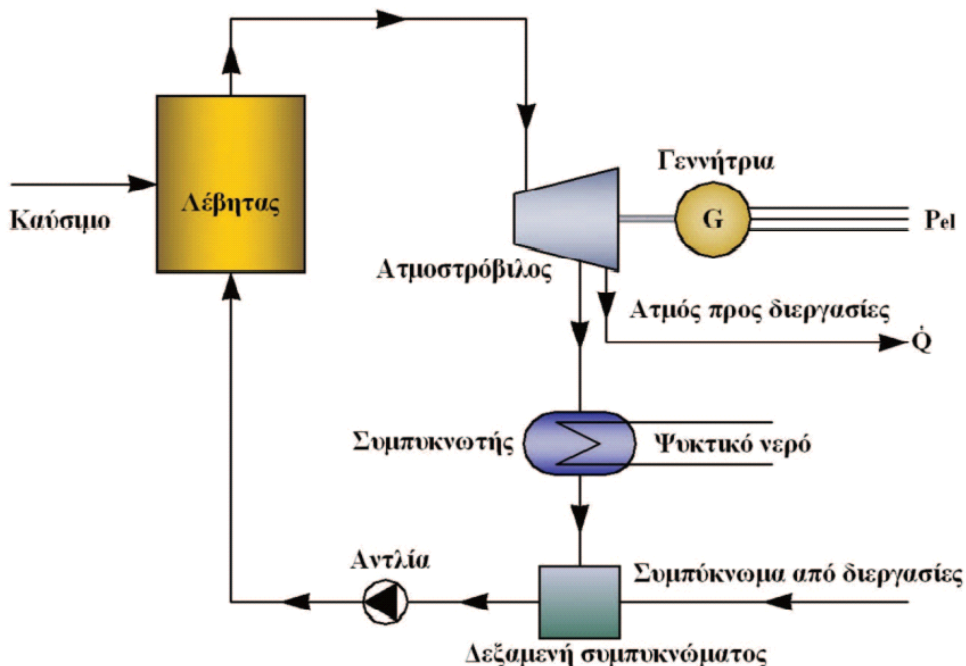
(Πηγή: «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ

Η μέθοδο της απομάστευσης σε μονάδες ΣΗΘ είναι κατασκευασμένες για ισχύ από 0,5 έως 100Με, παρουσιάζει ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης από 25 έως 30% και θερμικό από 40 έως 60%, με συνέπεια ο ολικός βαθμός απόδοσης να κυμαίνεται από 65 έως 90%. Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής γύρο στα 30 έτη και ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια είναι από 0,1 έως 0,3

Η μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ατμοστρόβιλο απομάστευσης είναι πανομοιότυπη με τον ατμοστρόβιλο αντίληψης, η διαφορά τους είναι ότι με την μέθοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ατμοστρόβιλο απομάστευσης ποσότητα του ατμού απομαστεύεται, δηλαδή εξάγεται από μια ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου, όπου ο λόγος ύπαρξης της είναι η προθέρμανση του νερού που τροφοδοτείται και ταυτόχρονα παρέχεται θερμική ισχύς στον εναλλαχτή. Ο περίσσιος ατμός εκτονώνεται μέχρι να φτάσει την πίεση του συμπυκνωτή, που είναι από 0,05 έως 0,10 bar.

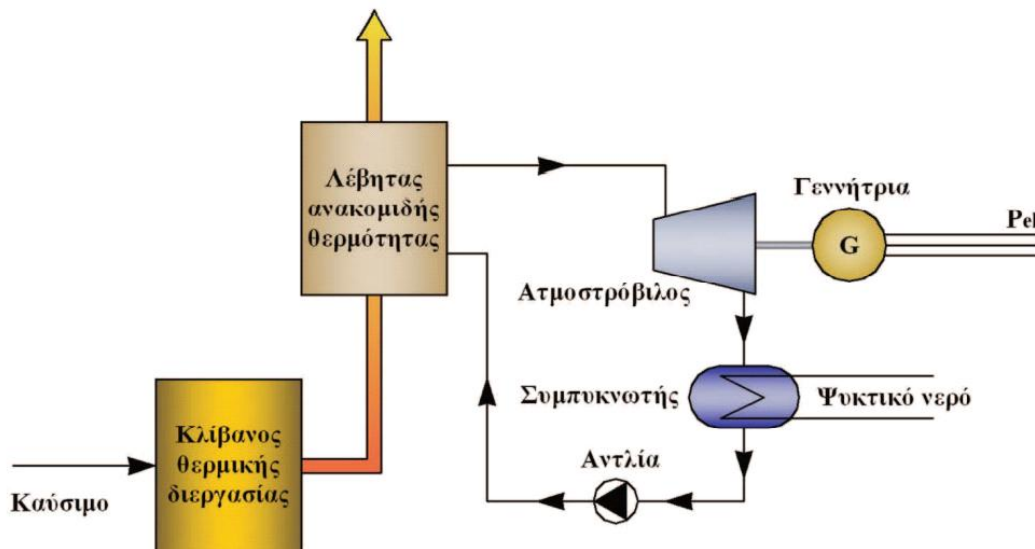
Τα συστήματα απομάστευσης είναι πιο κοστοβόρα και έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης (γύρο στο 80%) από αυτόν των συστημάτων αντίληψης, λόγω της αποβολής θερμότητάς στον συμπυκνωτή ατμού. Όμως στα συστήματα υπάρχει δυνατότητα για ρύθμιση της αναλογίας θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με της εκάστοτε ανάγκες, συνεπώς έχουν μεταβλητή τιμή του λογου ηλεκτρισμού προς θερμότητας. Αυτό γίνεται όταν ρυθμιστεί η ολική παροχή ατμού.



Εικόνα 2.4: Σύστημα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο απομαστεύσεως (Πηγή«Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΕ ΚΥΚΛΟ ΒΑΣΗΣ

Τα συστήματα του κύκλου βάσης εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλες βιομηχανίες όπως εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου και αλουμίνιου, χαλυβουργεία, διυλιστήρια κ.α. Μέσα από τις διεργασίες τους παράγονται αέρια υψηλής θερμοκρασίας, τα οποία για να αξιοποιηθούν μεταβαίνουν σε εάν λέβητα ανακομιδής θερμότητας, στην συνέχεια παράγεται ατμός που κινεί μια ατμοστροβιλογεννήτρια. Με αυτόν το τρόπο μετατρέπεται μια μονάδα σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης.



Εικόνα 2.5: Σύστημα με κύκλο βάσης ατμού.

(Πηγή «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κ.α. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

ΚΥΚΛΟΙ ΒΑΣΕΩΣ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση της περίσσειας θερμότητάς με χαμηλές θερμοκρασίες από 80 έως 300°C αν για εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιηθεί κάποιο οργανικό ρευστό όπως τολουένη αντί για νερό. Τα οργιά ρευστά έχουν θερμοκρασία βρασμού χαμηλότερη από του νεύρου. Συνεπώς με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης ως πηγή θερμότητας η ηλιακή ακτινοβολία, η γεωθερμική ενέργεια, τα καυσαέρια, τα βιομηχανικά απόβλητα και η θερμότητα ψύξης θερμικών μηχανών.

Η ισχύς των κύκλων βιάσης αυτών κυμαίνεται από 2kW έως 10MW και ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρικής ενέργεια είναι αρκετά χαμηλός και εξαρτάται από την θερμοκρασία της διεργασίας, δηλαδή από θερμοκρασίες 75 έως 425°C ο βαθμός απόδοσης για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 5 έως 30%. Επίσης

πολύ σημαντική είναι και η σωστή χρήση των υλικών όπου θα πρέπει να επιλέγουν αντιδιαβρωτικά για να μπορούν να αντέξουν το οργανικό ρευστό και να επιτυγχάνεται σωστή στέγνωση για να μην εκρέει το οργανικό ρευστό στο περιβάλλον.

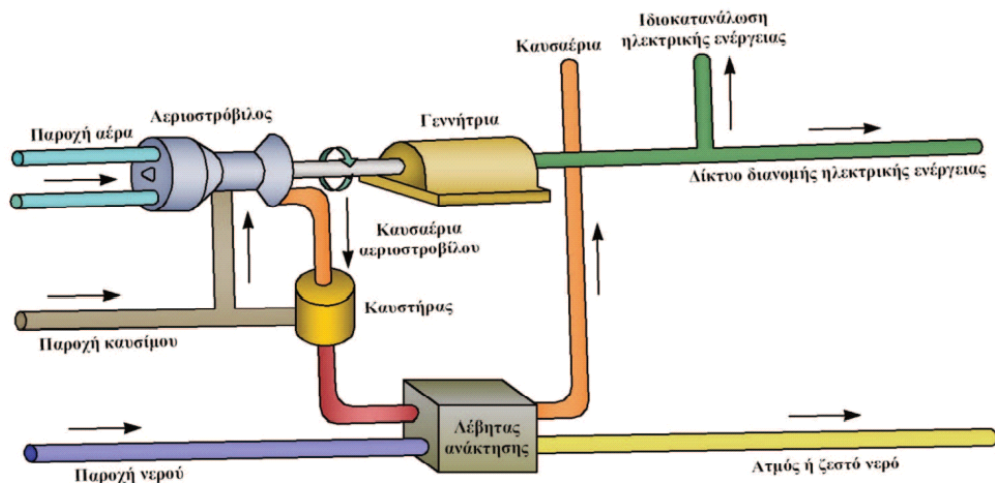
2.3) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Τα συστήματα αεριοστρόβιλου χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες , α) του ανοικτού κύκλου και β) του κλειστού κύκλου .

- **Ανοιχτού Κύκλου:** Χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις μονάδας συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο και έχει 15 με 20 χρόνια διάρκεια ζωής. Η Αρχή λειτουργίας του είναι η εξής, δεσμεύεται ατμοσφαιρικός αέρας, οποίος συμπιέζεται και έπειτα οδηγείται σε θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια που περιέχονται αποτμώνονται στον αεριοστρόβιλο και κινείται μια γεννήτρια, έπειτα τα καυσαέρια αυτά εξέρχονται από τον λέβητα σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 300-600οC. Ένα τέτοιο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής χωρίς την αξιοποίηση της περίσσιας θερμότητας έχει πολύ μικρό βαθμό απόδοσης της τάξης του 25-35%, λόγο της υψηλής ισχύος που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και της υψηλής θερμοκρασίας εξόδου. Αν εφαρμοστεί ο συνδυασμός της παραγωγής ενεργειακή και αξιοποίηση της θερμότητας ο βαθμός απόδοσης εκτοξεύεται στο 60 έως 80%. Η ισχύς των αεριοστρόβιλων αυτών είναι από 100kW έως 100MW χρησιμοποιούν κύριος φυσικό αέριο ή Deasel

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων:

- Με απευθείας χρήση της περίσσιας θερμότητας για θέρμανση, ξήρανση, κ.α..
- Με διοχέτευση των απορριπτέων αέριων σε λέβητα καυσαερίων όπου εκεί παράγεται ατμός που είναι για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση αεριοστρόβιλου . Και στους δύο τρόπους είναι δυνατή η αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, όταν απαιτείται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου των καυσαερίων. Καυστήρες τοποθετημένοι μετά τον αεριοστρόβιλο χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για την καύση πρόσθετου καυσίμου.

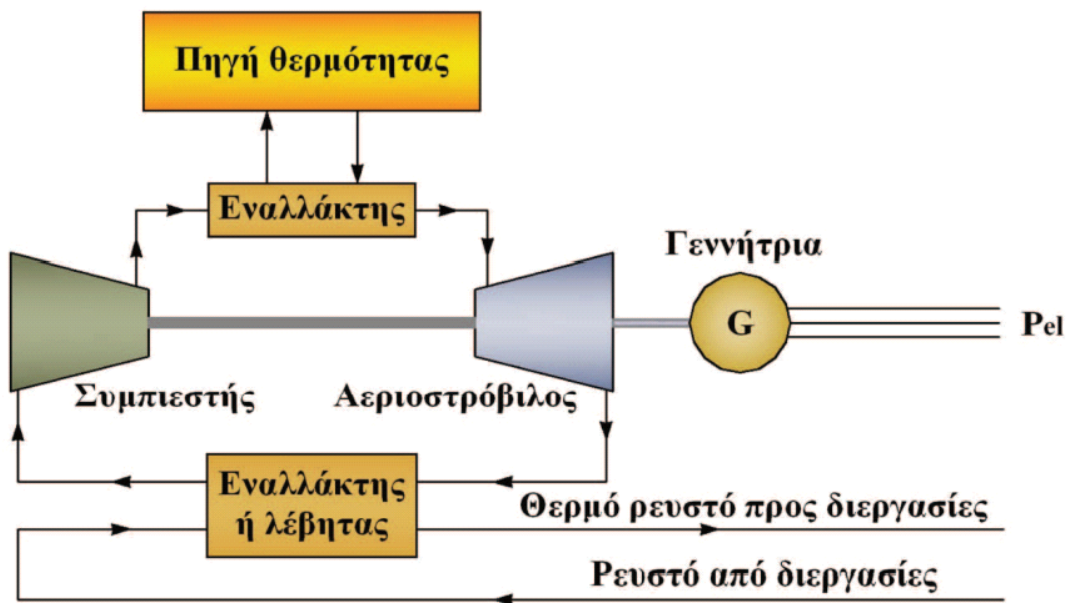


Εικόνα 2.6 : Σύστημα ΣΗΘ με αεριοστρόβιλου ανοιχτού κύκλου.

(Πηγή «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

• **Κλειστού Κύκλου:** Σε κλειστό κύκλωμα κυκλοφορεί ρευστό συνήθως ήλιον ή αέρας , όπου θερμαίνεται μέχρι μια κατάλληλη θερμοκρασία, με εναλλάκτη θερμότητας πριν εισέλθει στον αεριοστρόβιλο και ψύχεται μετά την έξοδο του από αυτόν. Η ισχύς των μονάδων αυτόν κυμαίνεται από 2 έως 50MW. Το πλεονέκτημά αυτής της διεργασίας είναι πως αφού το ρευστό δεν εμπλέκεται στην καύση , παραμένει καθαρό και έτσι δεν υπάρχει χημική και μηχανική διάβρωση του αεριοστροβίλου . Ένα επιπλέον πλεονέκτημά της είναι ότι λόγω της εξωτερικής καύσης είναι δυνατή η χρήση οποιουδήποτε καυσίμου, όπως υγρά η αέρια καύσιμα , βιομάζα , απόβλητα βιομηχανιών κ.α. Επίσης η πυρηνική ή η ηλιακή ενέργεια μπορούν να αποτελέσουν την πηγή θερμότητας. Γενικά δεν έχει παρατηρηθεί ευρεία χρήση των μονάδων αυτών, όμως φαίνεται πως η αξιοπιστία τους φτάνει εκείνη των συστημάτων ανοιχτού κύκλου .

Συστήμα ΣΗΘ με αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου.



Εικόνα2.7: Σύστημα ΣΗΘ με αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου.

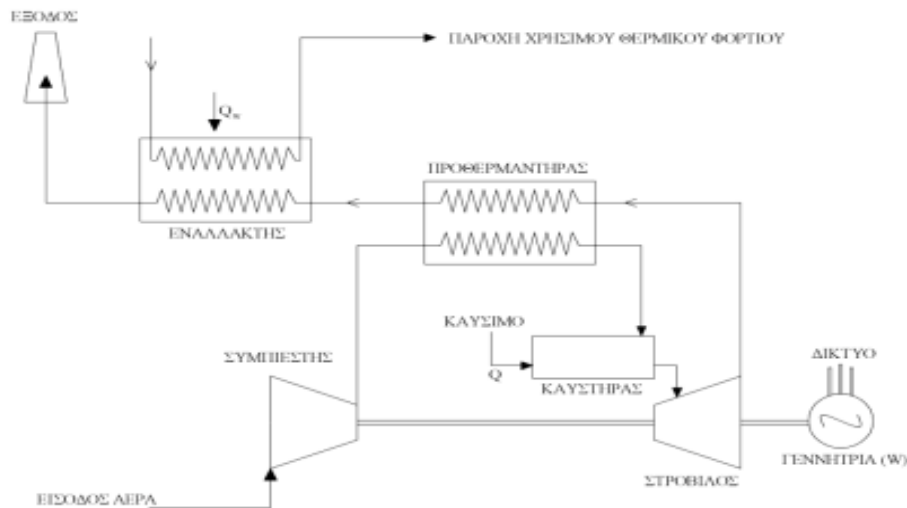
(Πηγή «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

2.4) ΜΙΚΡΟΑΝΤΛΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Οι μικροστρόβιλοι στην πραγματικότητα είναι πολύ μικροί αεριοστρόβιλοι. Αρχικά βασίζονταν στην τεχνολογία στροβιλοσυμπιεστών φορτηγών που αξιοποιούν την ενέργεια των καυσαερίων για να συμπιέσουν τον αναρροφώμενο αέρα της μηχανής. Τα συστήματα μικροστρόβιλων για μονάδες ΣΗΘ έχουν κλίμακα ισχύος που κυμαίνεται μεταξύ 30-250 kW για συστήματα απλού στροβίλου, ενώ μπορούν να φτάσουν και τα 1000 kW για συστήματα πολλαπλών στροβίλων. Το σύστημα ΣΗΘ με μικροστρόβιλο είναι κατά κανόνα μονάδα μικρού μεγέθους, υψηλής ταχύτητας και συμπεριλαμβάνει το στρόβιλο (turbine), το συμπιεστή (compressor), τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούν οι μικροστρόβιλοι είναι κατά βάση διάφοροι τύποι φυσικού αερίου, βιοαέριο, προπάνιο, πετρέλαιο (diesel) και κηροζίνη. Κατά τη λειτουργία της μηχανής, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή και μετά από τη συμπίεσή του στα 3-5 bar διέρχεται από τον προθερμαντήρα, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται από τα καυσαέρια. Στη συνέχεια, ο αέρας εισέρχεται στον καυστήρα και αναμειγνύεται με το καύσιμο, για να γίνει η καύση του. Τα καυσαέρια μετά την καύση εισέρχονται στο στρόβιλο σε θερμοκρασία 900-950 °C όπου και εκτονώνονται μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Τα αέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο εισέρχονται στον προθερμαντήρα και στη συνέχεια στον εναλλάκτη θερμότητας για να αξιοποιηθούν για ΖΝΧ και άλλες θερμικές διεργασίες.

Τα συστήματα ΣΗΘ με μικροστροβίλους είναι κατασκευασμένα για ισχύ 30 έως 300 kW έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 20-30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40- 65% και ολικό βαθμό απόδοσης 70-80%. Επίσης ο λόγος της ηλεκτρικής προς τη θερμική ενέργεια C είναι 0.2-0.5 . Τέλος ο μέσος χρόνος ζωής των μικροστροβίλων είναι περίπου 15 έτη.



Εικόνα2.8: Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστροβίλου

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

2.5)ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ (ΜΕΚ)

Στις μηχανές εσωτερικής καύσης, η καύση πραγματοποιείται είτε μέσα στον κύλινδρο του κινητήρα, είτε τα προϊόντα της καύσης εισέρχονται στον κύλινδρο ως εργαζόμενο μέσο. Στους παλινδρομικούς κινητήρες που έχουν κύλινδρο με έμβολο, η καύση γίνεται μέσα στον κύλινδρο και μπορούν να ονομαστούν **παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης**.

οι παλινδρομικές ΜΕΚ είναι γνωστές κυρίως λόγω της χρήσης τους ως κινητήριες μηχανές σε οχήματα και συνήθως αυτές οι μηχανές είναι εμβολοφόρες. Ο μηχανισμός των παλινδρομικών μηχανών αποτελείται από έμβολο το οποίο κινείται μέσα σε κύλινδρο, διαμορφώνοντας ένα κινητό αεροστεγές θάλαμο. Μέσω της διάταξης διωστήρα-στροφάλου η παλινδρομική κίνηση του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση της στροφαλοφόρου ατράκτου.

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ΜΕΚ που μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

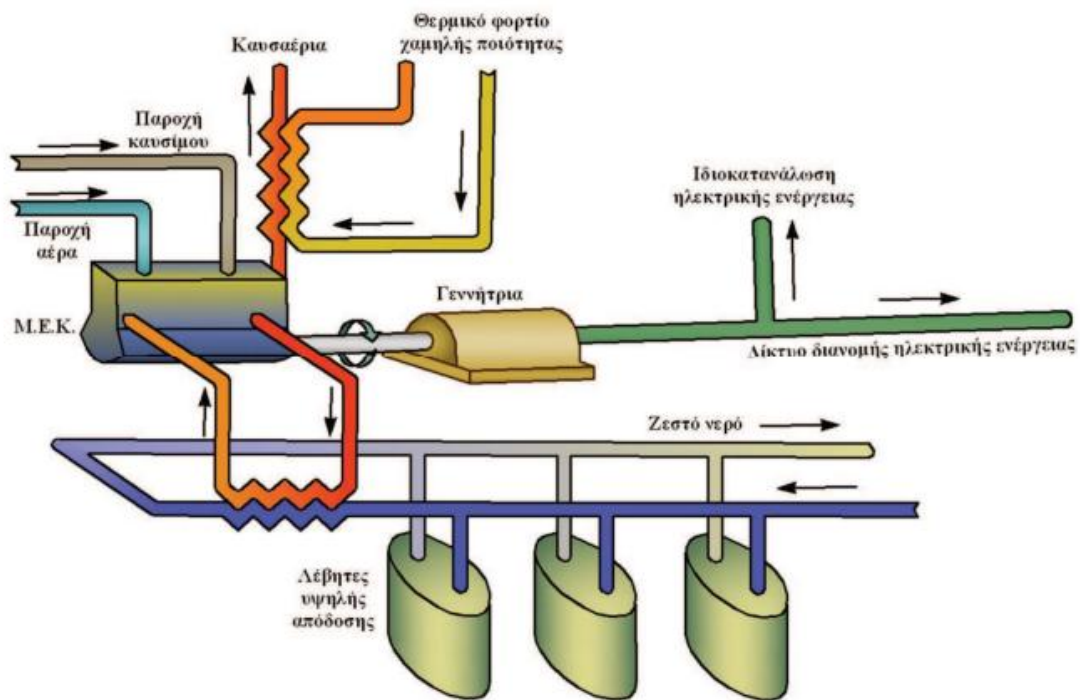
Θερμοδυναμικοί Κύκλοι

- Κύκλος Otto (παρέχεται θερμότητα υπό σταθερό όγκο)
- Κύκλος diesel (παρέχεται θερμότητα υπό σταθερή πίεση)
- Διπλός Κύκλος (εν μέρει σταθερός όγκος και εν μέρει σταθερή πίεση που παρέχει θερμότητα)
- Κύκλος Joule ή Brayton

Χωρίζονται σε δύο κύκλους λειτουργίας :

- Τετράχρονος κύκλος-φυσική αναρρόφηση, υπερπλήρωση και στρόβιλο-υπερπλήρωσης.
- Δίχρονος κύκλος-απόπλυση στροφαλοθαλάμου, υπερπλήρωση και στρόβιλο-υπερπλήρωσης

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένες για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας , και εφαρμόζονται στις περισσότερες περιπτώσεις στον βιομηχανικό και κτιριακό τομέα, λόγω της μεγάλης τους απόδοσης και επειδή είναι οικονομικά βιώσιμες. Έχουν ποίκιλα μεγέθη από συσκευές χειρός μέχρι μεγάλο μεγέθους κινητήρες πλοίων. Μέσα στα χρονιά έχει εξελιχθεί στην πιο αξιόπιστη και φθηνή μέθοδο σε συνδυασμό με την υψηλή παραγωγή ισχύος. Πλέον παρέχουν υψηλό βαθμό απόδοσης με μειωμένη εκπομπή καυσαερίων.



Εικόνα 2.9: Σύστημα Σ.Η.Θ. με εμβολοφόρο ΜΕΚ.

(Πηγή «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

Οι μηχανές ΜΕΚ χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, οι οποίες είναι οι τετράχρονοι μηχανές με σπινθηριστή (κύκλος Otto) και οι μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση (κύκλος Diesel), όπου έχουν τα ίδια μηχανικά μέρη. Χρησιμοποιούν ένα κυλινδρικό θάλαμο καύσης κατά μήκος του οποίου κινείται ένα έμβολο, το έμβολο αυτό συνδέεται με στροφαλοφόρο άξονα που μετασχηματίζει τη γραμμική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο σε περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο. Οι περισσότερες μηχανές διαθέτουν πολλαπλούς κυλίνδρους που κινούν ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Τόσο οι μηχανές κύκλου Otto όσο και οι τετράχρονοι μηχανές Diesel ολοκληρώνουν έναν κύκλο λειτουργίας σε τέσσερις κινήσεις του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο.

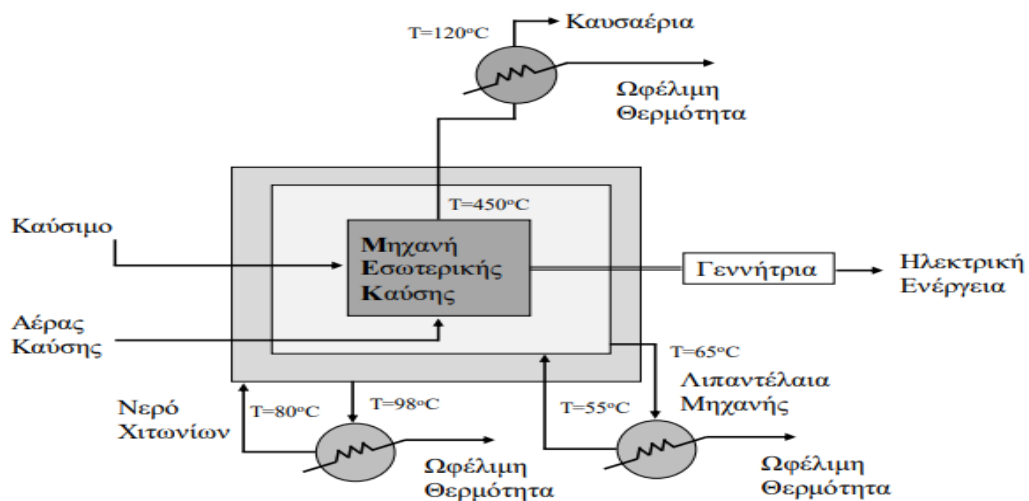
Οι κινήσεις αυτές είναι:

1. Εισαγωγή του αέρα (ή του μίγματος αέρα-καυσίμου) στον κύλινδρο,
2. Συμπύεση με καύση του καυσίμου,
3. Επιτάχυνση του εμβόλου από τη δύναμη της καύσης

4. Αποβολή των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο.

Η διαφορά μεταξύ των κύκλων Otto και Diesel είναι η μέθοδος της καύσης του καυσίμου. Στον κύκλο Otto χρησιμοποιείται ένας σπινθηριστής για την ανάφλεξη ενός έτοιμου μίγματος αέρα καυσίμου, ενώ στις μηχανές Diesel συμπιέζεται ο αέρας που εισάγεται στον κύλινδρο σε υψηλή πίεση και έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία..

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΡΟΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΜΕΚ



Εικόνα 2.10: Διάγραμμα ροής μονάδας συμπαραγωγής με ΜΕΚ

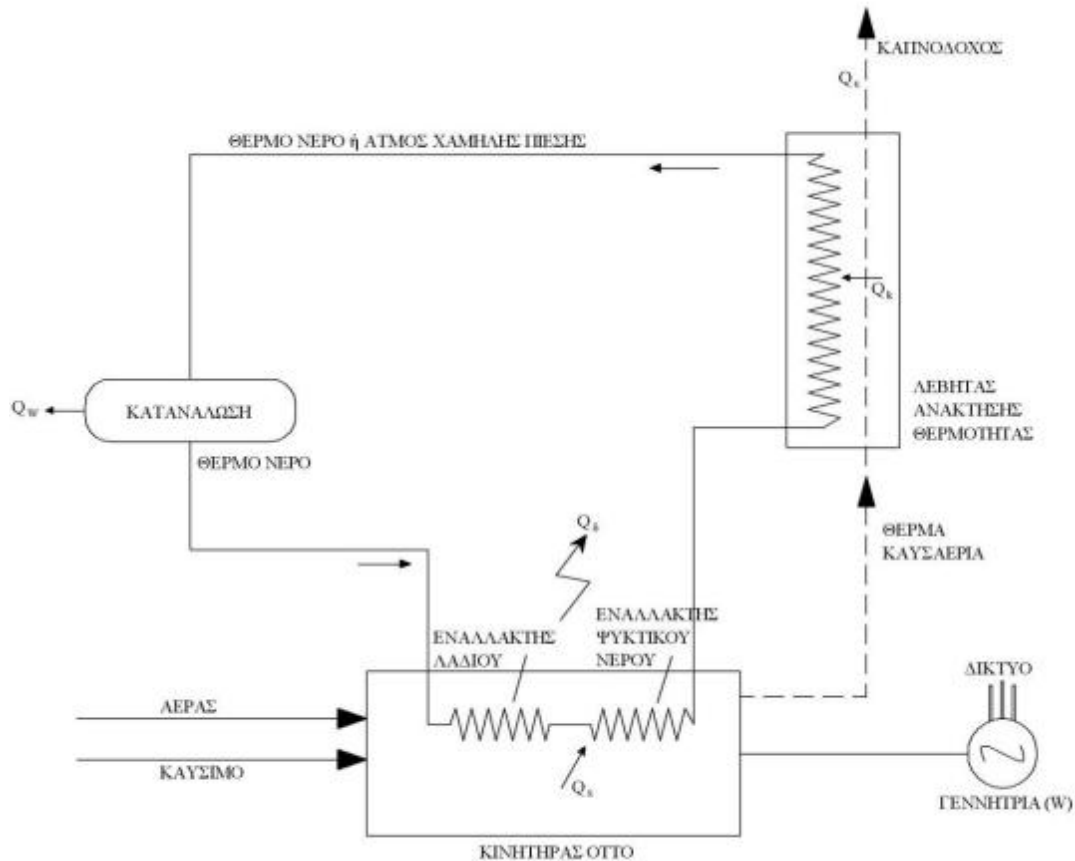
(Πηγή: Διδακτορική Διατριβή Καλλιόπη Ταταράκη)

Απεικονίζεται ένα διάγραμμα ροής συμπαραγωγής, ενδεικτικά για ένα σύστημα που αξιοποιεί μηχανή ΜΕΚ. Ο κινητήρας ΜΕΚ με την καύση του καυσίμου, παράγει μηχανική ενέργεια και κινεί τη γεννήτρια, η οποία μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια η θερμότητα που παράγεται, συλλέγεται από ένα σύστημα ανάκτησης, που αποτελείται από μία σειρά εναλλακτών .

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΟΤΤΟ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας και συγχρόνως παράγεται θερμότητα μέσω ανάκτησης στον εναλλάκτη αέρα-νερού και από τα καυσαέρια , όπου η θερμότητα αυτή αξιοποιείται για παροχή ΖΝΧ ή ατμού χαμηλής πίεσης στην εγκατάσταση . Τα καύσιμα που χρησιμοποιούν είναι φυσικό αέριο, βιοαέριο υγραέριο κ.α.

Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα Otto, κατασκευάζονται για ισχύ από 1 έως 5000 kW, με ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32-35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45 % και ολικό βαθμό απόδοσης 75 - 80%, ακόμα ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια C είναι 0.5 – 0,2 και ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 με 15 έτη.



Εικόνα2.11: Σύστημα ΣΗΘ με μηχανή Otto με εναλλάκτη λαδιού και ψυκτικού νερού και λέβητα ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων για παροχή ΖΝΧ ή ατμού χαμηλής πίεσης .

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΚΑΙ ΛΕΒΗΤΑΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΖΝΧ Η ΑΤΜΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Οι DIESEL μηχανές κινούν την ηλεκτρογεννήτρια και συγχρόνως διατίθεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από την ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια μέσω του λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Το καύσιμο που χρησιμοποιούν είναι τις περισσότερες φορές πετρέλαιο.

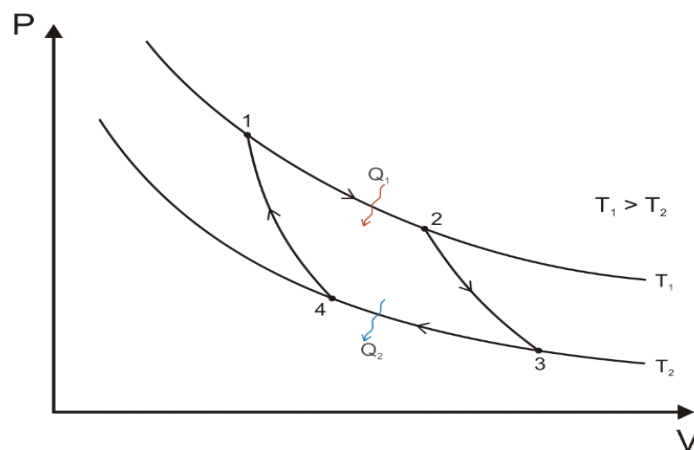
Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα Diesel είναι κατασκευαζόμενα για ισχύ από 100 έως και 20000 kW, με ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-40%, θερμικό βαθμό απόδοσης

40- 45% και ολικό βαθμό απόδοσης 70 - 80%. Ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια C είναι 0,7 – 0,2 και ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 - 20 έτη.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΟΙ ΚΥΚΛΟΙ

Κύκλος Carnot

Η μηχανή είναι μια ιδανική μηχανή που λειτουργεί με έναν κύλινδρο στον οποίο κινείται έμβολο χωρίς τριβές, επίσης το υλικό του πυθμένα είναι ιδανικός αγωγός της θερμότητας και η επιφάνεια του εμβόλου και του κυλίνδρου είναι αποτελεείται από αδιαβατικά τοιχώματα.



Διάγραμμα 1: Κύκλος Carnot

(Πηγή: <https://el.wikipedia.org>)

1-2 Ισεντροπική (αδιαβατική) συμπίεση

2-3 Ισοθερμική εκτόνωση

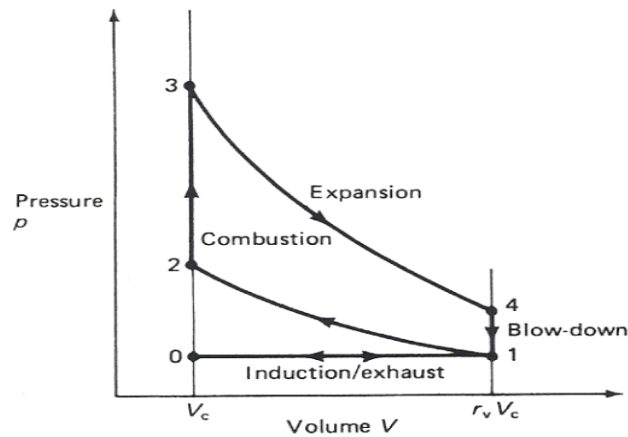
3-2 Ισεντροπική (αδιαβατική) εκτόνωση

4-3 Ισόθερμη συμπίεση

Κύκλος Otto

Ο κύκλος Otto πραγματοποιείται σε μια ισεντροπική διάταξη κυλίνδρου - εμβόλου που διαθέτει τουλάχιστον μια βαθμίδα εισαγωγής και μια εξαγωγής και έναν αναφλεκτήρα, σε αυτόν κύκλο στηρίζουν την λειτουργία τους οι βενζινοκινητήρες.

Μέσα στον κύλινδρο βρίσκεται ποσότητα ιδανικού αερίου, το οποίο έρχεται σε επαφή με μια θερμή ή μια ψυχρή δεξαμενή και άλλοτε διατηρείται θερμικά μονωμένο.



Διαγραμμα 2: Εξιδανικευμένος πραγματικός κύκλος Otto

(Πηγή: Κύκλοι ΜΕΚ , ΤΕΙ Χαλκίδας , Επικ. Καθηγ. Δρ. Μηχ. Α. Φατσής)

Οι μεταβολές του κύκλου Otto αναφέρονται παρακάτω:

1-2 Ισεντροπική (αδιαβατική) συμπίεση

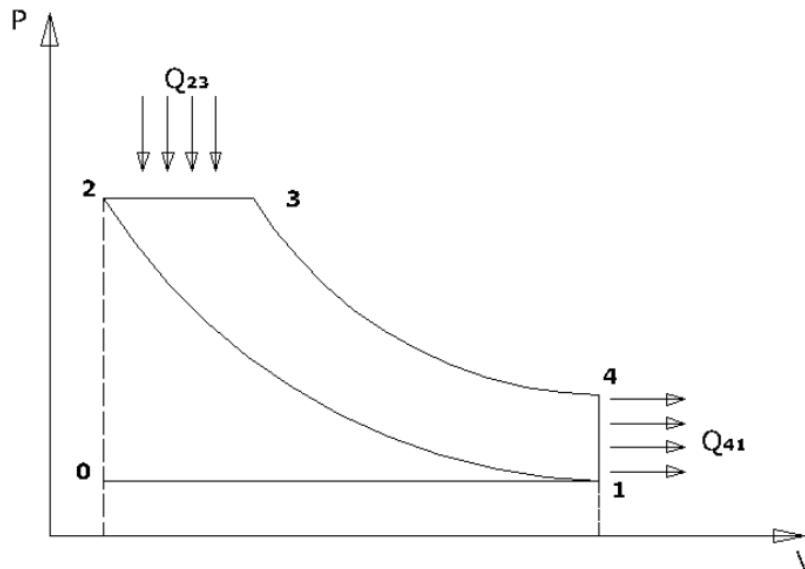
2-3 Ισόχωρη θέρμανση

3-4 Ισεντροπική (αδιαβατική) εκτόνωση

4-1 Ισόχωρη ψύξη

Κύκλος Diesel

Ο κύκλος Diesel πραγματοποιείται σε μια αδιαβατική διάταξη κυλίνδρου – εμβόλου με μια τουλάχιστον βαθμίδα εισαγωγής και μια εξαγωγής χωρίς αναφλεκτήρα .Ο αέρας συμπιέζεται σε υψηλή πίεση και μετά γίνεται έγχυση πετρελαίου σε αυτόν ,δηλαδή η ανάφλεξη είναι αυτοπυροδοτούμενη. Στον κύκλο Diesel στηρίζουν την λειτουργία τους οι πετρελαιοκινητήρες.



Διαγραμμα 3: Ιδανικός πρότυπος κύκλος Diesel

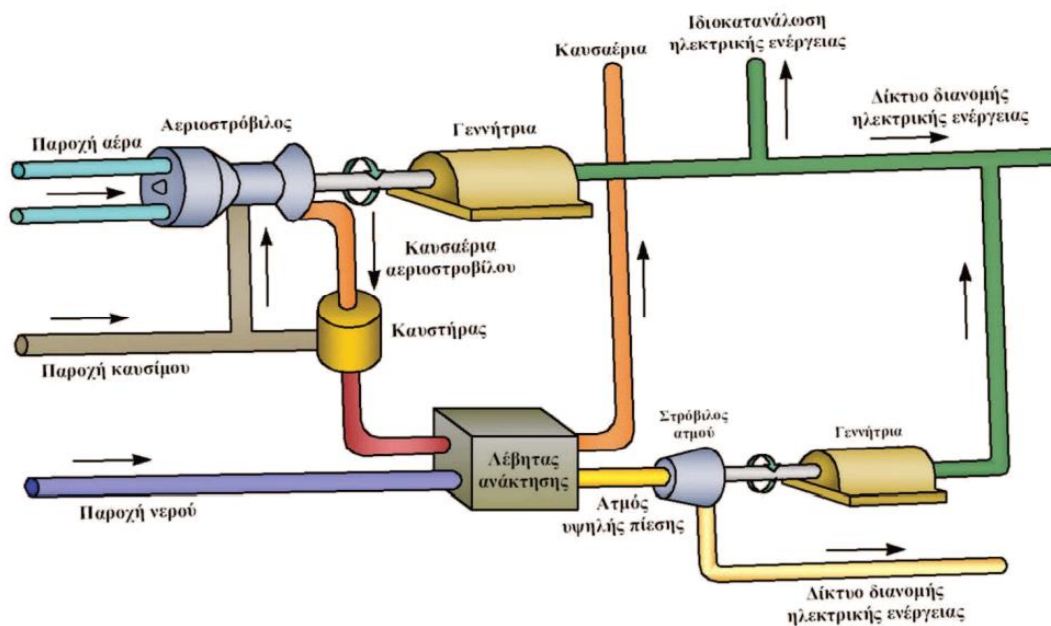
Οι μεταβολές του κύκλου Diesel αναφέρονται παρακάτω:

- 1-2 Ισεντροπική (αδιαβατική) συμπίεση
- 2-3 Ισοβαρής θέρμανση
- 3-4 Ισεντροπική (διαβατική) εκτόνωση
- 4-1 Ισόχωρη ψύξη

2.6) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Σύστημα συνδυασμένου κύκλου σημαίνει πως συνδிகάζονται δυο διαφορετικοί θερμοδυναμικοί κύκλοι με διαφορετικές θερμοκρασίες αλλά το ίδιο εργαζόμενο μέσο. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής με αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης. Συνήθως αξιοποιούνται συστήματα με συνδυασμό αεριοστροβίλου - ατμοστροβίλου (κύκλοι Joule - Rankine). Η παραγωγή ατμού σε δύο ή και τρεις διαφορετικές πιέσεις αυξάνει τον βαθμό απόδοσης αλλά κάνει την εγκατάσταση πιο περιπλοκή και συχνά εφαρμόζεται σε μεγάλες μονάδες. Στα συστήματα συνδυασμένου κύκλου υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια του αεριοστροβίλου όπου κυμαίνεται

γύρο στο 17% , και επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο. Η ισχύς αυτών των συστημάτων κυμαίνεται συνήθως από 20-400 MW, ενώ κατασκευάζονται και μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11 MW. Η ισχύς ανά μονάδα όγκου είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση ισχύος των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστροβίλου (Joule) ή ατμοστροβίλου (Rankine). Ο οικονομικός χρόνος ζωής τους είναι 15-25 έτη. Τέλος υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού κύκλου Diesel με κύκλο Rankine.



Εικόνα 2.12: Σύστημα Σ.Η.Θ. με συνδυασμένο κύκλο

(Πηγή «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

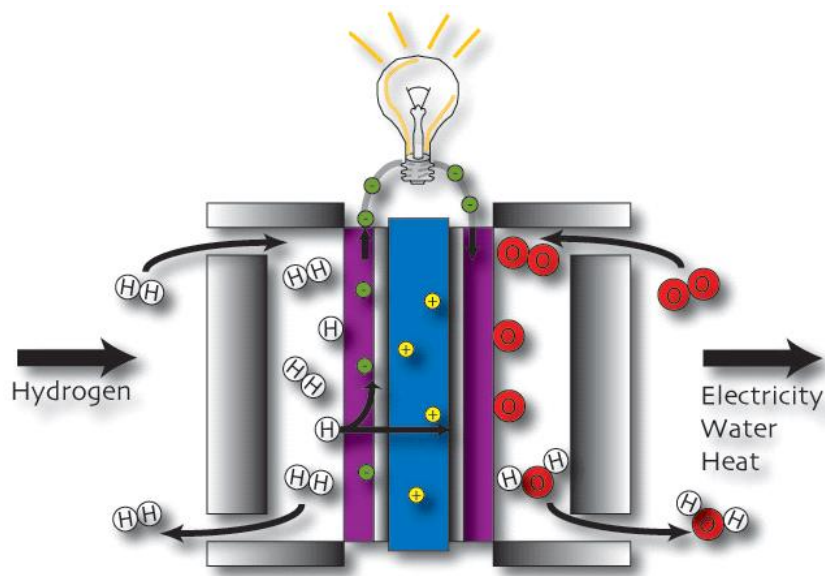
2.7) ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELLS)

Οι περισσότερες τεχνικές κυψελίδων καυσίμου που έχουν αναπτυχθεί είναι ακόμα σε στάδιο που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν για ηλεκτροπαραγωγή, μόνο οι κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC είναι εμπορικά διαθέσιμες. Η αρχή λειτουργίας αυτής της μεθόδου είναι να μετατρέπει την χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική, σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία της τάξης των

200οC και χωρίς την μεσολάβηση της καύσης και την παρεμβολή θερμοδυναμικών κύκλου. Πιο συγκεκριμένα το υδρογόνο και το οξυγόνο αντιδρούν όταν έρθουν σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Επειδή η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα όποια μπορεί να αξιοποιηθεί.

Οι κυψέλες καυσίμου αξιοποιούνται στον βιομηχανικό και εμπορικό- κτιριακό τομέα συνήθως με καύσιμο το φυσικό αέριο, διότι το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως μεθάνιο (CH_4), από το οποίο αποτελείται και το φυσικό αέριο.

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι 37-45% ενώ ο ολικός είναι 85-90%. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η αρθρωτή δομή που επιτυγχάνει την επιλογή της απαιτούμενης ισχύς που χρειάζεται από 3kWe και άνω , ο υψηλός βαθμός απόδοσης, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου. Το κύριο μειονέκτημα της είναι ο μικρός χρόνος ζωής γύρο στα 5 έτη σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος κατασκευής της.

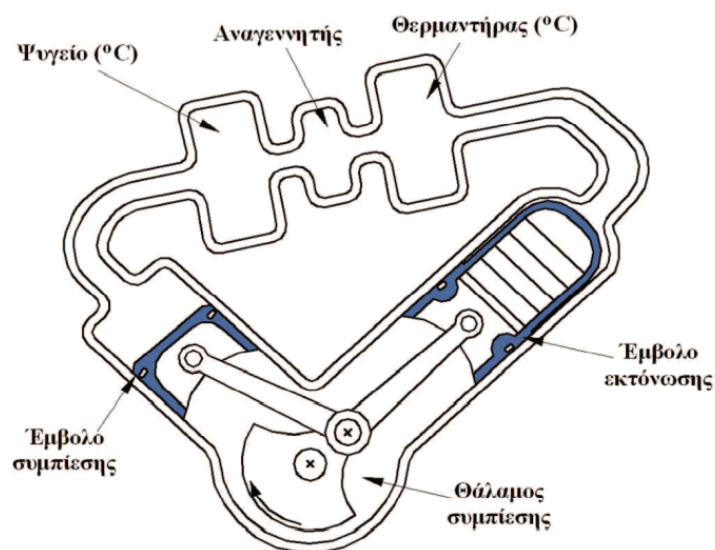


Εικόνα 2.13: Σύστημα κυψελών καυσίμου

(Πηγή: <https://physicsgg.me/>)

2.8) ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING

Οι μηχανές Stirling τα τελευταία χρόνια γίνονται ευρέως γνωστές για την συμπαραγωγή, κυρίως επειδή ο κύκλος λειτουργίας τους είναι πιο κοντινός από κάθε άλλη διάταξη στον κύκλο Carnot. Ο κινητήρας Stirling είναι μια μηχανή εξωτερικής καύσης που λειτουργεί με εργαζόμενο μέσο αέριο που δεν συμμετέχει στην καύση και είναι συνήθως υδρογόνου ή ήλιο και θερμαίνεται σε εναλλαχτεί θερμότητας. Το εργαζόμενο μέσο αυτό συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κύλινδρο. Λόγω της εξωτερικής καύσης στις μηχανές Stirling επιτρέπει η χρήση διαφόρων καυσίμων: υγρά ή αέρια καύσιμα, από άνθρακα, βιομάζα, ή και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, είναι δυνατή η αλλαγή καυσίμου χωρίς διακοπή της λειτουργίας ή μετατροπή των ρυθμίσεων του κινητήρα. Τα πλεονεκτήματά αυτής μεθόδου είναι ο υψηλότερος βαθμός απόδοσης, η ευελιξία καυσίμου, η καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και χαμηλή στάθμη θορύβου. Γι' αυτούς τους λόγους ο κινητήρας Stirling μπορούν να αποτελέσουν στοιχεία ηλιακών ή πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ή συμπαραγωγής.



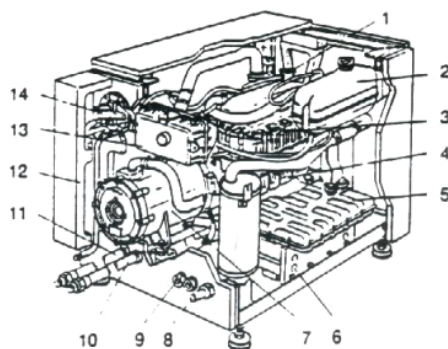
Εικόνα2.14: Απλοποιημένη λειτουργική διάταξη κινητήρα Stirling

(Πηγή «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

2.9) ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΠΑΚΕΤΑ)

Στα τελεί της δεκαετίας του 1990 όπου υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη στη χρήση των μονάδων συμπαραγωγής, πολλοί κατασκευαστές επιχείρησαν για λογούς εμπορικής ευελιξίας να κατασκευάσουν τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής για εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος, οι οποίες έχουν ηλεκτρική ισχύ από 10 έως 1000Kw.

Τα θετικά της επιλογής μιας τυποποιημένης μονάδας είναι το χαμηλό κόστος, η εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση που απαιτεί μόνο την σύνδεση της μονάδας με το υδραυλικό και ηλεκτρικό δικτιού και η περιορισμένη ανάγκη επίβλεψης λόγω της αυτοματοποιημένης λειτουργίας τους. Επίσης λόγω της αρθρωτής μορφής τους μπορούν να εγκατασταθούν ως μεμονωμένες μονάδες ή και ως συστοιχία πολλαπλών μονάδων, όπου σε πολλές περιπτώσεις ένα σύστημα πολλαπλών μονάδων μπορεί να έχει μεγαλύτερη απόδοση από ένα μεμονωμένο σύστημα. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κινητήρες Diesel, ή και αεριοστρόβιλοι σε περίπτωση ισχύς μικρότερης των 100 kw. Η λειτουργία του μπορεί να γίνει και με υγρά και αέρια καύσιμα, όπου καταλληλότερο είναι το φυσικό αέριο λόγω της καθαρότητας και την έλλειψη ανάγκης αποθήκευσης του. Στο σχήμα 1 απεικονίζεται μια μονάδα μικρής ισχύος ενώ στο σχήμα 2 είναι η απεικόνιση μεγαλύτερης μονάδας.



- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. Κινητήρας Fiat 127 | 2. Δοχείο νερού |
| 3. Εναλλάκτης καυσαερίων/νερού | 4. Εναλλάκτης λαδιού/νερού |
| 5. Ελαιολεκάνη | 6. Εναλλάκτης νερού/νερού |
| 7. Ηλεκτρογεννήτρια | 8. Εξαγωγή καυσαερίου |
| 9. Ηλεκτρική σύνδεση | 10. Εξαγωγή θερμού νερού |
| 11. Εισαγωγή κρύου νερού | 12. Θερμική και ηχητική μόνωση |
| 13. Εισαγωγή αέρα | 14. Εισαγωγή φυσικού αερίου |

Εικόνα 2.15: Τυποποιημένη μονάδα συμπαραγωγής

(Πηγή «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

Εικόνα 2.16: Τυποποιημένης μονάδας συμπαραγωγής με εμβολοφόρο ΜΕΚ (Πηγή «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993»)

Τα έτοιμα μοντέλα συμπαραγωγής με κινητήρα Diesel είναι μια αρκετά νέα μέθοδος που δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για την αξιοπιστία της. Όμως θεωρείται κατάλληλη για εφαρμογές στον εμπορικό και κτιριακό τομέα, λόγω του αυτόματου ελέγχου, όπου μικροεπεξεργαστές ελέγχουν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και δίνουν χρήσιμες πληροφορίες, έχει την δυνατότητα να ενημερώσει την ομάδα συντήρησης για επερχόμενη βλάβη. Ο βαθμός απόδοσης τέτοιων μονάδων κυμαίνεται από 27-35% ηλεκτρικής ενέργειας και 50-55% θερμότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

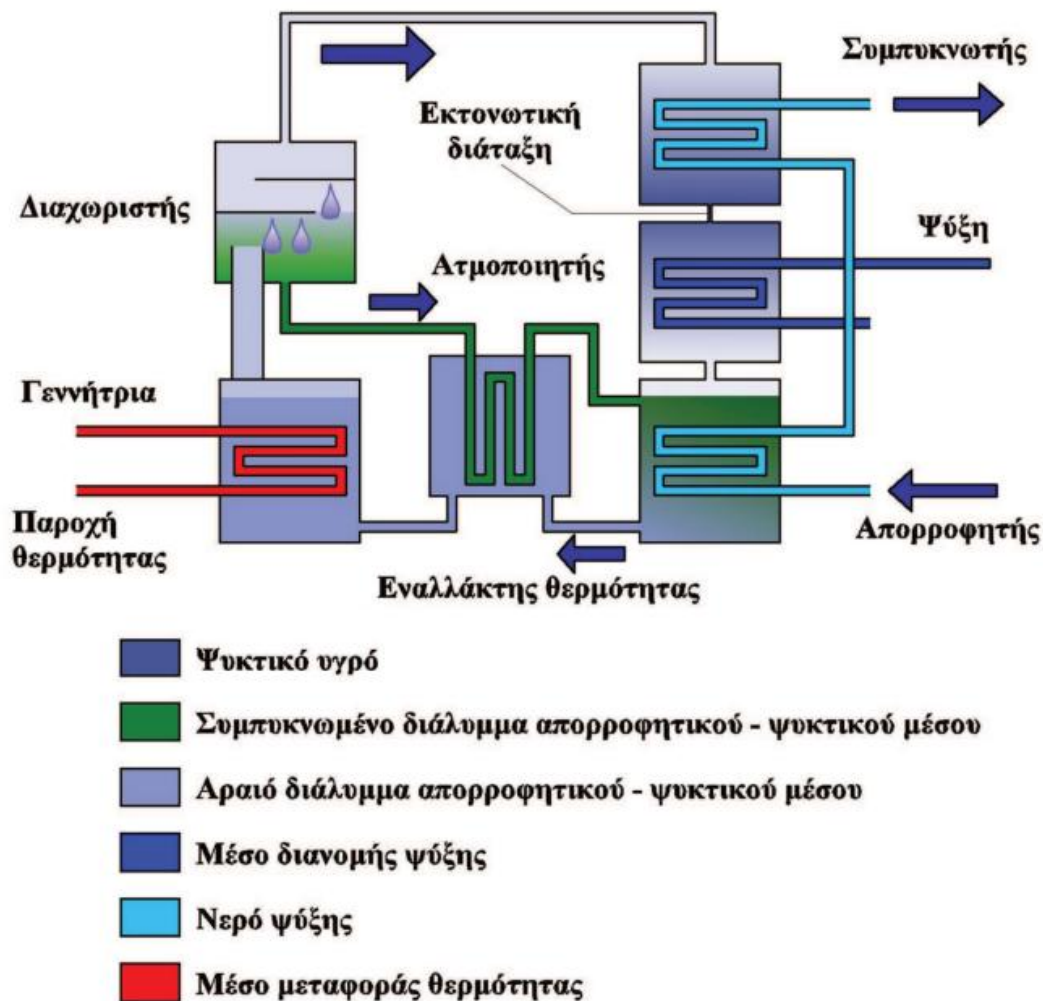
3.1) ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ (TRIGENERATION)

Με τον ορό τριπαραγωγή χαρακτηρίζουμε τα συστήματα που εκτός από παράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας έχουμε ταυτόχρονη παραγωγή και ψύξης από ένα και μοναδικό καύσιμο. Η ΣΗΘ εφαρμόζεται στη βιομηχανία και σε κτίρια όπου υπάρχει ταυτόχρονη απαίτηση σε ηλεκτρισμό και θερμότητα και συνήθως όταν οι ετήσιες ώρες λειτουργίας υπερβαίνουν τις 4000.

Στον τριτογενή τομέα υπάρχει σημαντική ανάγκη για ψύξη και κλιματισμό όπου σε αυτές τις περιπτώσεις αξιοποιούν συστήματα τριπαραγωγής . Η θερμότητα σε μια εγκατάσταση συμπαραγωγής, στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψύξης μέσω κύκλων απορρόφησης. Αυτή η «διευρυμένη» διαδικασία συμπαραγωγής είναι γνωστή ως τριπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας και Ψύξης (ΣΗΘΨ - Combined Heat Cooling and Power Generation, CHCP). Τέτοιες διατάξεις , αποτελούνται από συστήματα ΣΗΘ σε συνδυασμό με ψύκτες απορρόφησης.

3.2) ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Οι ψέκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν για την παραγωγή ψύξης τις διεργασίες της συμπύκνωσης-εξατμίσσης,. Διαθέτουν εξατμιστή και συμπυκνωτή, όπου εκτονώνεται το ψυκτικό μέσο, επίσης οι ψέκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν θερμότητα, ως ενεργειακή πηγή όπως στις μονάδες ΣΗΘ. Οι μηχανές απορρόφησης, τροφοδοτούνται με ατμό, ζεστό νερό ή τα αέρια καύση. Πια απλή μορφή μηχανής απορρόφησης αποτελείται από εξατμιστή, συμπυκνωτή, απορροφητή, γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος.



Εικόνα3.1: Αρχή λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης.

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

Συμφώνα με την αρχή λειτουργίας των ψυκτών απορρόφησης, αρχικά ο ατμός του ψυκτικού μέσου που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται σε ένα απορροφητικό υγρό μέσα στον απορροφητή. Το υγρό αυτό διοχετεύεται μέσω αντλιών στη γεννήτρια όπου το ψυκτικό μέσο αποδεσμεύεται ως ατμός. Ο ατμός αυτός συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή. Το αναγεννημένο απορροφητικό οδηγείται ξανά στον απορροφητή για να συλλέξει εκ νέου ψυκτικό ατμό. Η θερμότητα που παρέχεται στη γεννήτρια είναι σε υψηλή θερμοκρασία και απορρίπτεται από τον απορροφητή σε χαμηλό επίπεδο.

Οι ροές θερμότητας στο βασικό κύκλο είναι οι εξής:

- παροχή θερμότητας και παραγωγή ψύξης, σε χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο,
- απόρριψη θερμότητας στο συμπυκνωτή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο,

- απόρριψη θερμότητας από τον απορροφητή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο,
- παροχή θερμότητας στη γεννήτρια, σε υψηλό θερμοκρασιακό επίπεδο.

Τα μέσα τα οποία κυρίως χρησιμοποιούνται είναι:

A) **Διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (Li-Br):** ως απορροφητικό, με νερό ως ψυκτικό μέσο. Όπου χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ψύξης αέρα, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 0 ο C. Επίσης η πηγή θερμότητας πρέπει να είναι σε ελάχιστη θερμοκρασία των 70-90ο C για συστήματα μονού σταδίου

B) **Αμμωνία (NH₃):** ως ψυκτικό με νερό ως απορροφητικό. Στα συστήματα αυτά η θερμική ενέργεια παρέχεται σε θερμοκρασία 100-120 οC για την περίπτωση του μόνου σταδίου μονού σταδίου, όπου χρησιμοποιείται σε εφαρμογές κατάψυξης, με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, μικρότερες των 0 ο C.

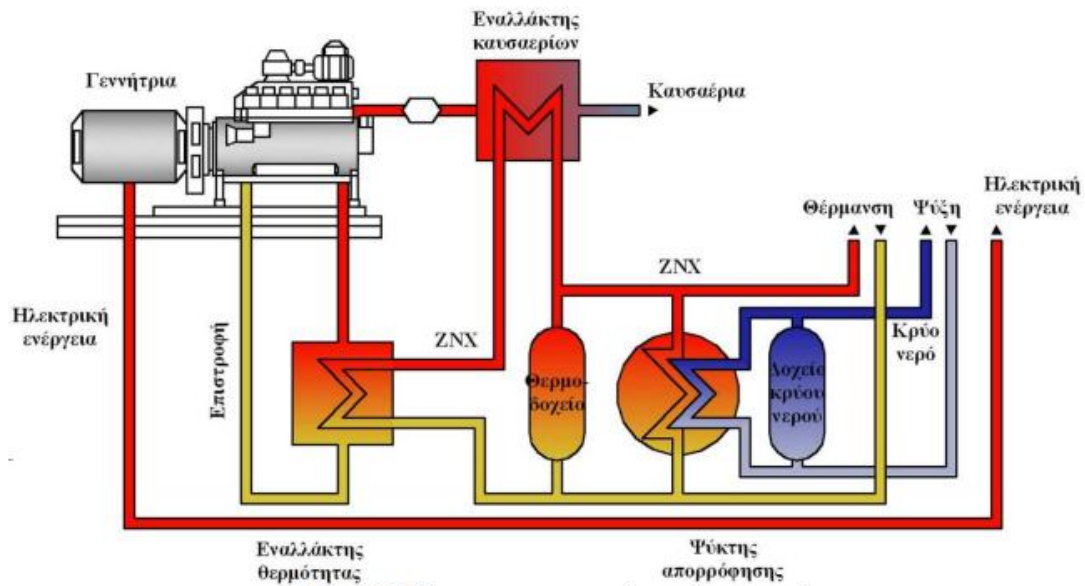
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΨΥΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Τα πλεονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης είναι :

- Πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Χαμηλό κόστος συντήρησης
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών
- μηδενικές εκπομπές ρύπων

Τα μειονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης είναι:

- Μονάδες μεγάλης ισχύος με μεγάλο βάρος
- Υψηλό αρχικό κόστος
- Κατανάλωση νερού σε πύργους ψύξης
- Χαμηλός συντελεστής συμπεριφοράς.



Σχήμα 4.27: Σύστημα συμπαραγωγής με ψύκτη απορρόφησης.

Εικόνα 3.2: Σύστημα ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

3.3) ΨΥΞΗ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ

Στην ψύξη με προσρόφηση περιλαμβάνονται η κατανομή μορίων μίας στερεής και μίας αέριας ή υγρής, δηλαδή μεταξύ δύο φάσεων. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις επεξεργασίας νερού και καθαρισμού υγρών και αερίων ουσιών. Η εφαρμογή της σε κύκλους ψύξης άρχισε να διερευνάται μόλις το 1990 .

Οι ψύκτες προσρόφησης τροφοδοτούνται με υψηλότερης θερμοκρασίας θερμότητα από του ψύκτες απορρόφησης και παράγουν ψύξη. Για αυτό το εφαρμόζονται σε περιπτώσεις εκμετάλλευσης απορριπτόμενης θερμότητας και σε εφαρμογές ηλιακής ψύξης.

Ιδιαίτερη σημασία έχει ότι μπορούν να ενσωματωθούν και στα συστήματα συμπαραγωγής καθιστώντας τα σε συστήματα τριπαραγωγής. Η ψύξη με προσρόφηση παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα από αυτή με την απορρόφηση, διότι είναι πιο απλά συστήματα , καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για τη χρήση ανορθωτή σύστασης. Επιπλέον, η ψύξη με προσρόφηση αξιοποιεί και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες , μικρότερες των 70 °C. Σε σύγκριση με τη συμβατική τεχνολογία ψύξης συμπίεσης ατμού, τα συστήματα με προσρόφηση δίνουν τη δυνατότητα αξιοποίησης απορριπτόμενης θερμότητας ή ηλιακής ενέργειας, έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας, δεν έχουν κινούμενα μέρη και δεν παρουσιάζουν ταλαντώσεις κατά τη λειτουργία τους.

Οι ψύκτες προσρόφησης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη φύση των επιφανειακών δυνάμεων τους:

- 1) φυσικής προσρόφησης
- 2) χημικής προσρόφησης.
- 3) σύνθετοι προσροφητές

Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την απόδοση των ψυκτών προσρόφησης είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP). Στην περίπτωση των ψυκτών προσρόφησης ο COP ορίζεται ως το ποσό της παραγόμενης ψύξης διαιρούμενο με το ποσό της προδιδόμενης στον ψύκτη θερμότητα.

• ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΕΣ

A) Φυσικοί Προσροφητές:

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι φυσικοί προσροφητές είναι ο ενεργός άνθρακας, ο ζεόλιθος και το silicagel.

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από υλικά όπως το ξύλο, ο άνθρακας, το ορυκτέλαιο κλπ. Ο ενεργός άνθρακας αποτελεί ανταγωνιστική λύση, λόγω της μεγάλης επιφάνειας του και του μικρού του κόστους.

Ο ζεόλιθος είναι ένας αργιλοπυριτικός κρύσταλλος με τρισδιάστατη δομή αποτελούμενη από AlO_4 και SiO_4 . Μειονέκτημα τους είναι ότι απαιτούν θερμοκρασία αναγέννηση $350\text{ }^\circ\text{C}$

Το silicagel είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς προσροφητές. Η ευρεία χρήση του οφείλεται στη μεγάλη ψυκτική ικανότητα, το μικρό κόστος και την ευκολία αναγέννηση στους $150\text{ }^\circ\text{C}$. Για αυτό το λόγο, είναι ο καταλληλότερος προσροφητής για εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας.

B) Χημικοί Προσροφητές

Λογά της μεγάλης προσροφητικής ικανότητας και της χαμηλής θερμοκρασίας ατμοποίησης οι χημικοί προσροφητές είναι ευρέως διαδεδομένοι. Τα μειονεκτήματά τους είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα όπου οδηγεί σε χαμηλές ταχύτητες αντίδρασης.

Το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) είναι χημικός προσροφητής με πολύ μεγάλη προσροφητική ικανότητα σε στερεή κατάσταση, καθώς μπορεί να απορροφήσει υγρασία που φτάνει το 90 % του βάρους του σε συνθήκες περιβάλλοντος. Το μειονέκτημα του CaCl_2 είναι η εμφάνιση συσσωματώσεων στην επιφάνειά του, που

οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του ψυκτικού κύκλου. Κάποιοι ακόμα χημικοί προσροφητές είναι το χλωριούχο λίθιο και τα οξειδία μετάλλων.

3.4) ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

τα κυριότερα ψυκτικά ρευστά είναι το νερό, η αμμωνία, η μεθανόλη και η αιθανόλη, που επιλέγονται ανάλογα με το είδος του. Το νερό, λόγω της διαθεσιμότητάς του είναι το πρώτο ψυκτικό που χρησιμοποιήθηκε και του χαμηλού κόστους και επειδή είναι φιλικό στο περιβάλλον. Δεν μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί κάτω των 0 °C διότι μετατρέπεται σε πάγο.

Η αμμωνία χρησιμοποιείται ως ψυκτικό ρευστό , κυρίως με χλωριούχα μέταλλα. Τα πλεονεκτήματά της είναι η υψηλή ενθαλπία ατμοποίησης, καθώς και το ότι δεν καταστρέφει το όζον άρα δεν επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η χαμηλή θερμοκρασία τήξης της.

Η αιθανόλη είναι επίσης ένα ψυκτικό υγρό που παγώνει θερμοκρασία -114 °C, δεν είναι τοξική και έχει καλή θερμότητα ατμοποίησης.

Η μεθανόλη, επίσης δεν είναι τοξική και έχει υψηλή θερμότητα ατμοποίησης. Όμως , ένα μειονέκτημά της είναι ότι έχει διαβρωτική συμπεριφορά.

Με βάση τους προσροφητές και τα ψυκτικά ρευστά, προκύπτουν διάφοροι συνδυασμοί ζευγών λειτουργίας.

Ζεύγος λειτουργίας	COP	Ειδική ψυκτική ισχύς (W/kg)	Θερμοκρασία ψύξης (°C)	Θερμοκρασία αναγέννησης (°C)
<u>Φυσικοί προσροφητές</u>				
EA/αμμωνία	0.61	2000	-5	100
EA/μεθανόλη	0.78	16	15	90
EA/αιθανόλη	0.8		3	80
Τζελ πυριτίου/νερό	0.61	208	12	82
Ζεόλιθος/νερό	0.4	600	6.5	350
<u>Χημικοί προσροφητές</u>				
Χλωριούχο μέταλλο/αμμωνία	0.6		-10	52
Χλωριούχο/μέταλλο/υδρογόνο	0.83	300	-50	85
Μεταλλικά οξειδία/νερό		78	100	200

Πίνακας 3.1: Σύγκριση ζευγών λειτουργίας προσρόφησης

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο:

4.1) ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

W : Ηλεκτρική ισχύς

Q : Θερμική ισχύς

Ενέργεια καυσίμου, FC:

Το σύνολο της ενέργειας καυσίμου (ή καυσίμων) που καταναλώθηκε από τη μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας ECHP και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας, HCHP. Η ενέργεια αυτή υπολογίζεται με βάση την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα (ΚΘΙ) του καυσίμου.

Ισχύς καύσιμου $H_{fσ}$:

Η ισχύς καύσιμου που καταναλίσκεται από το σύστημα συμπαραγωγής

$$H_{fσ} = m_{fσ} * H_u \quad (4.1)$$

$m_{fσ}$: Παροχή καύσιμου

H_u : Κατώτερα θερμογόνο δύναμη καύσιμου

Ολική ισχύς καύσιμου για χωριστή παράγωγη W και Q (χωρίς συμπαραγωγή)

$$H_{F_x} = H_{fW} + H_{fQ} = (m_f * H_u) W + (m_{fσ} * H_u) Q \quad (4.2)$$

H_{fW} : Ισχύς καύσιμου για χωριστή παράγωγη W Ηλεκτρικής ισχύος

H_{fQ} : Ισχύς καύσιμου για χωριστή παράγωγη Q Θερμικής ισχύος

Ροή ενέργειας καυσίμου E_f

$$E_f = m_f * \epsilon_f \quad (4.3)$$

m_f : παροχή καυσίμου

ϵ_f : ειδική εξέργεια καυσίμου

Ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή, E_{CHP} :

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο μιας διεργασίας συνδεδεμένης με την παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργειας

Χρήσιμη θερμική ενέργεια, H_{CHP} :

Η θερμική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο διεργασίας συμπαραγωγής, προκειμένου να ικανοποιήσει μια οικονομικά δικαιολογημένη ζήτηση για θέρμανση ή ψύξη, η οποία καθορίζεται ως η ζήτηση που δεν υπερβαίνει τις ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης και η οποία διαφορετικά θα ικανοποιούνταν από διαδικασίες παραγωγής χρήσιμων μορφών ενέργειας διαφορετικές από τη συμπαραγωγή.

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, η_e :

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που της μονάδας ΣΗΘ προς την ενέργεια καυσίμου FC, που καταναλώθηκε από τη μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, E_{CHP} και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας, H_{CHP} .

$$\eta_e = \frac{E_{CHP}}{HF\Sigma} \quad (4.4)$$

Θερμικός βαθμός απόδοσης η_h :

Ο λόγος της χρήσιμης θερμικής ενέργειας, προς την ενέργεια καυσίμου, F_c , που καταναλώθηκε από τη μονάδα, για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, E_{CHP} , και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας, H_{CHP}

$$\eta_h = \frac{H_{CHP}}{HF\Sigma} = (W * Q) / HF\Sigma \quad (4.5)$$

Ολικός βαθμός απόδοσης η :

Το άθροισμα του ηλεκτρικού και του θερμικού βαθμού απόδοσης.

$$\eta = \eta_e + \eta_h \quad (4.6)$$

Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια, C (Power-to-HeatRatio PHR ή σ):

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή προς τη χρήσιμη θερμική ενέργεια, υπό κατάσταση λειτουργίας πλήρους συμπαραγωγής, όπως υπολογίζεται με χρήση των λειτουργικών δεδομένων της συγκεκριμένης μονάδας.

$$C = W / Q \quad (4.7)$$

Τύπος μονάδας	Πρότυπος λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια (C) (μέσες τιμές)
Παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης	0,75
Ατμοστρόβιλος συμπύκνωσης - απομάστευσης	0,30
Ατμοστρόβιλος αντίθληψης	0,45
Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	0,55

Πίνακας 4.1 : Ενδεικτικές τιμές του λόγου ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας

Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (primary energy savings) που οφείλεται στη μονάδα συμπαραγωγής είναι

$$PES = F_E + F_H - F_C \quad (4.8)$$

Οπού:

F_E : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής

F_H : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από συμβατικό λέβητα.

F_C : Ενέργεια καυσίμου για ΣΗΘ

Λόγος εξοικονόμησης εναργείας καύσιμου

$$FESR = (H_{F_x} - H_{f_{\Sigma}}) / H_{F_x} \quad (4.9)$$

Όπως προκύπτει από τους ορισμούς τους, τα μεγέθη η_e και PHR συνδέονται με τη σχέση

$$\eta = \eta_e (1 + 1/PHR)$$

που επίσης γράφεται:

$$PHR = \eta_e / (\eta - \eta_e) = \eta_e / \eta_h \quad (4.10)$$

Οι σχέσεις αυτές βοηθούν στον προσδιορισμό αποδεκτών τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα PHR, όταν η τιμή του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης η_e είναι γνωστή, δεδομένου ότι ο ολικός βαθμός απόδοσης δεν ξεπερνά το 85-88%.

Τέλος, όταν το ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας από τη χρήση συστήματος ΣΗΘ είναι μεγαλύτερο (ή ίσο) με 10%, τότε η μονάδα χαρακτηρίζεται ως «Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας», ΣΗΘΥΑ, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή και την Ελληνική Νομοθεσία και δύναται να λάβει ενίσχυση ανά παραγόμενη MWh.

4.2) ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο παράγεται μέσω της αναερόβιας χώνευσης σε κατάλληλους χωνευτές (digesters) από κτηνοτροφικά, αγροτοβιομηχανικά λυμάτα, βιολογικών καθαρισμών, καθώς και από την αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος απορριμμάτων στις (ΧΥΤΑ). Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) περιεκτικότητας 55-70% και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) με περιεκτικότητα 30-45%. Επίσης αποτελείται και από μικρές ποσότητες αζώτου, υδρογόνου, αμμωνίας και υδρόθειου και η κατώτερη θερμογόνος ικανότητά του βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 20 έως 25 MJ/m³.

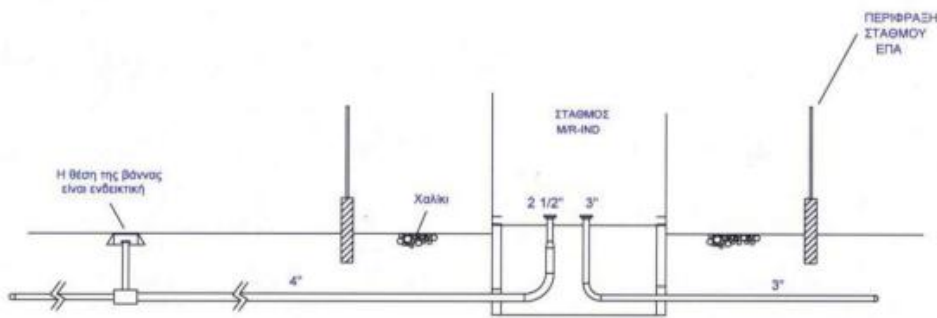
Μετά την αναερόβια χώνευση, το βιοαέριο υφίσταται καθαρισμό (που συνίσταται σε απομάκρυνση των σωματιδίων H_2S , NH_3 , H_2O , αναβάθμιση (δηλ. απομάκρυνση CO_2 και προσθήκη προπανίου) και, τέλος, απόσπηση. Το παραγόμενο αέριο ονομάζεται βιομεθάνιο και διακρίνεται σε βιομεθάνιο ποιότητας L (89% CH_4), ή ποιότητας H (96% CH_4). Το βιομεθάνιο που προέρχεται από την τεχνολογία της ΑΧ ανήκει στα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, ενώ αυτό που προέρχεται από την αεριοποίηση θεωρείται βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς και η κατώτερη θερμογόνος ικανότητά του είναι γύρω στα 40 MJ/m³. Η σύσταση και οι ελάχιστες ποιοτικές προδιαγραφές και απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το βιομεθάνιο για χρήση του ως καύσιμο μεταφορών ή για έγχυση στο δίκτυο του ΦΑ παρουσιάζονται ακολούθως

Συστατικό	Σύμβολο	Βιοαέριο	Βιομεθάνιο	Αέριο σύνθεσης (Με αέρα)	Αέριο σύνθεσης (Με ατμό)
Μεθάνιο	CH ₄	55-70%	>97%	3-7%	4-14%
Διοξείδιο άνθρακα	CO ₂	30-45%	<1%	11-19%%	15-30%
Υδρογόνο	H ₂	-	-	6-19%	26-55%
Αζωτο	N ₂	<2%	<2%	42-60%	0%
Οξυγόνο	O ₂	<0,5%	<0,5%	-	-
Υδρόθειο	H ₂ S	<500 ppm	<0,5 mg/Nm ³	-	-
Υδρογονάνθρακες	C _n H _m	<100 ppm	<10 ppm	0,5-2,%	0,5-2,%
Νερό	H ₂ O	κορεσμένο	< 0,03 g/m ³	-	-

Πίνακας 4.2: Σύσταση και ιδιότητες βιοαερίου

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

Για την τροφοδότηση της μονάδας ΣΗΘ από το δίκτυο της μέσης πίεσης 19 bar απαιτείται η εγκατάσταση από το Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Φυσικού Αερίου ενός ρυθμιστικού σταθμού υποβιβασμού της πίεσης των 19 bar στην πίεση του εσωτερικού δικτύου του καταναλωτή (συνήθως 1 ή 2 bar). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με το μήκος του εσωτερικού δικτύου και την πίεση λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘ, ενδέχεται να απαιτηθεί η εγκατάσταση και δεύτερης ρυθμιστικής διάταξης υποβιβασμού της πίεσης στο εσωτερικό δίκτυο.



Εικόνα 4.1 : Διάγραμμα σύνδεσης του καταναλωτή με “βιομηχανικού τύπου σταθμό” με το δίκτυο μέσης τάσης των 19 bar, όπως απαιτείται για την τροφοδοσία μονάδων ΣΗΘ

(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017)

- **Αναβάθμιση Του Βιοαερίου (Παράγωγή Βιομεθανίου)**

Το βιοαέριο λόγω της περιοδικότητας του σε μεθάνιο μπορεί να διανεμηθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου, μπορεί ακόμα να συμπιέσει και να γίνει καύσιμο για οχήματα, ή να αξιοποιηθεί σε μονάδες ΣΗΘ. Όποια χρήση και αν έχει θα πρέπει να υποστεί μία διαδικασία αναβάθμισης για να αφαιρεθούν οι μολυσματικοί παράγοντες και το διοξείδιο του άνθρακα, και έτσι το περιεχόμενό του σε μεθάνιο κυμαίνεται από 50-75% έως και 95%. Το αναβαθμισμένο βιοαέριο ονομάζεται βιομεθάνιο. Ένας λόγος που ακολουθητέοι αυτή η διαδικασία είναι διότι οι μολυσματικοί παράγοντες αυτοί δημιουργούν βλάβες και διαβρώσεις στις μηχανές και στο δίκτυο φυσικού αερίου.

Το συνολικό κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου αποτελείται από το κόστος της επένδυσης, καθώς και από τη λειτουργία της μονάδας και τη συντήρηση του εξοπλισμού. Το συνολικό κόστος επένδυσης αυξάνεται με την αύξηση της δυναμικότητας, αλλά το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές (οικονομία κλίμακας).

4.3) ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το νομοθετικό πλαίσιο είναι με βάση το ΦΕΚ με Αριθμ. Δ5-ΗΛΓ/Φ1/οικ.1183 Η διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ) με χρήση συμβατικών καυσίμων. Διαδικασία υποβολής αίτησης για λήψη άδειας εγκατάστασης αναφέρεται στο Άρθρο 7 «Υποβολή αίτησης για λήψη Άδειας Εγκατάστασης Ο κάτοχος της Άδειας Παραγωγής υποβάλλει αίτημα για έκδοση της Άδειας Εγκατάστασης στην αρμόδια Αρχή. Η αίτηση υποβάλλεται με χρήση του εντύπου ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ (ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ) 3825 του Παραρτήματος πλήρως συμπληρωμένου: α) Αντίγραφο της Άδειας Παραγωγής και της Έγκρισης Ειδικών Λειτουργικών Όρων από τη ΡΑΕ στη περίπτωση Κατανεμόμενων Μονάδων ΣΗΘΥΑ. β) Τεχνοοικονομική μελέτη του υπό εγκατάσταση σταθμού, υπογεγραμμένη από το μελετητή που την εκπόνησε, η οποία εκτός των τοπογραφικών διαγραμμάτων θα πρέπει να περιλαμβάνει και τα ακόλουθα: 1. Τεχνική περιγραφή του έργου 2. Προϋπολογισμό του έργου 3. Ενεργειακή ανάλυση 4. Σχεδιαγράμματα (διάγραμμα κάλυψης, κατόψεις, τομές, τοπογραφικά) των εγκαταστάσεων της μονάδας 5. Γενικό μονογραμμικό διάγραμμα της μονάδας 6. Τα απαιτούμενα παραστατικά πληρωμής

τελών, κρατήσεων, αμοιβών και φόρων, που προβλέπονται από τις κείμενες διατάξεις.

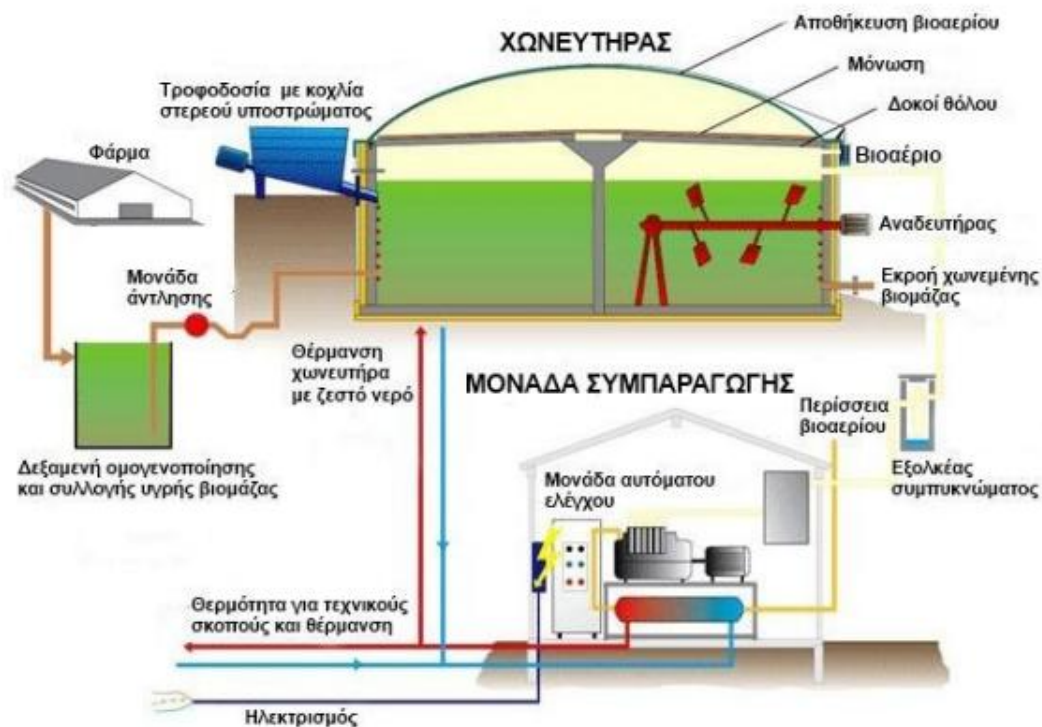
4.4) ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ , ΙΣΧΥΟΣ 600-800 KW

Η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας έχει ως καύσιμη ύλη βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση αγροτικών προϊόντων . Τα προϊόντα που θα παράγονται από τη μονάδα ΣΗΘ και θα αξιοποιούνται είναι είναι τα παρακάτω:

- Ηλεκτρική ενέργεια ίση με ισχύ 600-800 kW = 0,6-0,8 MW

-Θερμική ενέργεια ίση με ισχύ 613-803 kW = 0,6-0,8 MW

Ως κύρια ύλη παραγωγής του βιοαερίου θα χρησιμοποιηθούν 10.000tn αγροτικά προϊόντα του συνεταιρισμού όπως εσπεριδοειδή, πατάτες, καρότα , καρπούζια κ.α. Επίσης για να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη παράγωγη βιοαερίου , η βιομάζα που θα χρησιμοποιείται θα αποτελείται και από ελαιουργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα της γύρο περιοχής . Παρ'όλα αυτά και πάλι οι ποσότητες βιοαερίου που παράγει η μονάδα δεν είναι αρκετές για την βιώσιμη λειτουργία της , γι αυτό θα αγοράζεται φυσικό αέριο με σκοπό να καλυφθούν οι ανάγκες να να έχει ο συνεταιρισμός ένα αξιόλογο κέρδος.



Εικόνα 4.2 : (Πηγή: Γρομπιτσάρης Αλέξανδρος Π.Ε.)

Το βιοαέριο θα παράγεται από την χώνευση των οργανικών αποβλήτων μέσα σε διατάξεις που ονομάζονται χωνευτήρες.

Για την συνεχή παροχή ύλης στο χωνευτήρι, θα χρησιμοποιηθούν δεξαμενές με ανάμεικτη, για να ομογενοποιεί την υλη της βιομάζας. Από τις δεξαμενές αντλούνται στον αντιδραστήρα και εκεί παίρνει μέρος η αναερόβια διεργασία και παράγεται το βιοαέριο.

Τα μέρη του χωνευτήρα αποτελούνται από μια ανοικτή κυλινδρική δεξαμενή, η οποία καλύπτεται με σύνθετο υλικό από μεμβράνες πολυεστέρα, όπου εκεί αποθηκεύεται το βιοαέριο. Επίσης στο εσωτερικό του έχει αναδευτήρες με μόνιμη λειτουργία για να επιτυγχάνεται ο ίσος καταμερισμός των βακτηριδίων της αναερόβιας χώνευσης.

Για να επιτευχθεί σωστά και σε σύντομο χρονικό διάστημα η αναερόβια χώνευση είναι απαραίτητη η θέρμανση του χωνευτήρι, έτσι εφαρμόζονται ανοξειδωτοι σωλήνες στο εσωτερικό του τοιχώματος του αντιδραστήρα, όπου μέσα τους θερμαίνεται νερό. Το νερό αυτό αντλεί την θερμότητα του από την ίδια τη μονάδα λόγω της συμπαραγωγής.

Ο χωνευτής λειτουργεί με μεσόφιλη διεργασία σε θερμοκρασία 35°C, διότι η μεθανοποίηση σε αυτή την θερμοκρασία είναι πολύ σταθερή. Στο τέλος αυτής της διεργασίας αυτό που προκύπτει είναι ένα μίγμα υγρού λιπάσματος το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί στις καλλιέργειες ή και να διανεμηθεί στην αγορά ως βιολογικό εδαφοβελτιωτικό.



Εικόνα 4.3: Απεικόνιση μονάδας επεξεργασίας βιομάζας για παράγωγή βιοαερίου

(Πηγή: <https://energy-industry.gr>)

Από την αποθήκευση του βιοαερίου στην μεμβράνη, θα πηγαίνει μέσω φυσητήρων στην μονάδα συμπαραγωγής. Η μονάδα αποτελείται από μια ηλεκτρική γεννήτρια που κινείται από μια μηχανή αερίου, το καύσιμο της οποίας είναι το παραγόμενο βιοαέριο. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα διατίθεται στο δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας. Από την θερμική ενέργεια που παράγεται το σύστημα θα παράγει ζεστό νερό 70-90°C που θα χρησιμοποιείται για την θέρμανση του χωνευτήρα με εναλλακτική θερμότητας.

4.5)ΕΠΙΛΙΓΗ ΜΟΝΑΔΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Έχουν μελετηθεί και συγκριθεί δυο μονάδες συμπαραγωγής η Quanto 600 με 0,6 kW ονομαστική ηλεκτρική ισχύ και η Quanto 800 με 0,8 kW ονομαστική ηλεκτρική ισχύ, όπου έχουν παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης Otto της εταιρίας

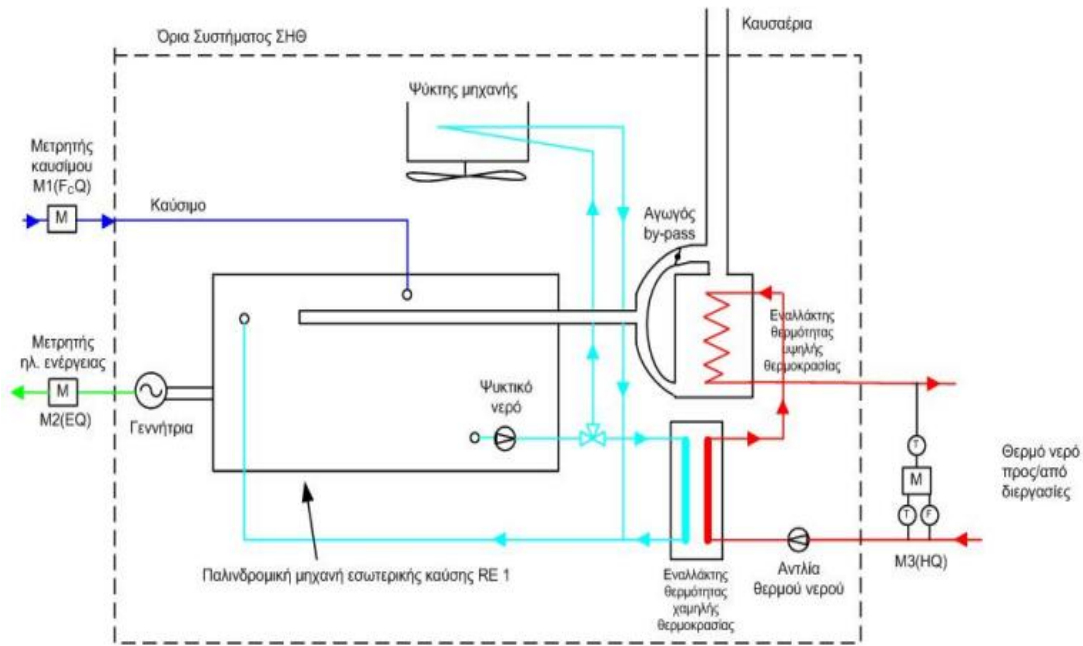
TEDOM. Τα πλεονεκτήματά τους και ο λόγος που τις επιλέξαμε είναι η υψηλή ηλεκτρική και θερμική απόδοση, η στιβαρή, ευέλικτη σχεδίαση με υψηλή αξιοπιστία σε δύσκολα αέρια όπως είναι το βιοαέριο. Η ουσιαστική διάφορα τους είναι στην ονομαστική ηλεκτρική ισχύ.

Πολύ σημαντικό ρόλο για την επιλογή της έπαιξαν τα μεγάλα διαστήματα σέρβις, ο φιλικός προς τη συντήρηση σχεδιασμός του κινητήρα και η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου όπου εξασφαλίζουν μέγιστη απόδοση στον κινητήρα. Ακόμα διαθέτει βελτιστοποιημένα εξαρτήματα κινητήρα που παρατείνουν τη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 4.4: Μηχανή ΣΗΘ της εταιρίας TEDOM

(Πηγή: <https://www.tedom.com/en/chp-units/quanto/>)



Εικόνα 4.5: Μονογραμμικό Διάγραμμα μονάδας ΣΗΘ με Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, με δυνατότητα απόρριψης θερμότητας και συνδυασμένο σύστημα ανάκτησης θερμότητας με καύσιμο βιοαέριο

(Πηγή: Τεχνικό Εγχειρίδιο Εγκαταστάσεων Συμπαράγωγής ΔΣΜΚ)

ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΙΝΑΙ :

Πινάκας 4.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά Quanto 600

Τα Στοιχεία του Συστήματος ΣΗΘ Quanto 600	
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)	42,7%
Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)	43,6%
Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	86,3%
Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς (MW)	0,600
Ονομαστική θερμική ισχύς (MWth)	0,613
Προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου (MWth)	1,41
Κόστος επένδυσης (€)	805.000
Ετήσια έξοδα συντήρησης μονάδας ΣΗΘ(€)	7000
Συχνότητα (Hz)	50
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη Μεθανίου (MJ/m ³)	39,8

Πινάκας 4.4: Κόστος Quanto 600

Στοιχεία	Κόστος (€)	Ποσοστό
Μηχανή Otto	570.000	72%
Άλλος εξοπλισμός	100.000	11%
Μεταφορά και	75.000	8%
Λοιπά έξοδα	10.000	1%
Μελέτη και επίβλεψη	50.000	6%
Σύνολο	805.000	

Πινάκας 4.5 : Τεχνικά χαρακτηριστικά Quanto 800

Τα Στοιχεία του Συστήματος ΣΗΘ Quanto 800	
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)	43,1%
Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)	43,3%
Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	86,4%
Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς (MW)	0,800
Ονομαστική θερμική ισχύς (MWth)	0,803
Προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου (MWth)	1,86
Κόστος επένδυσης (€)	995.000
Ετήσια έξοδα συντήρησης μονάδας ΣΗΘ(€)	7000
Συχνότητα (Hz)	50
Κατώτερη θερμογόνο δύναμη Μεθανίου (MJ/m ³)	39,8

Πινάκας 4.4: Κόστος Quanto 800

Στοιχεία	Κόστος (€)	Ποσοστό
Μηχανή Otto	760.000	72%
Άλλος εξοπλισμός	100.000	11%
Μεταφορά και	75.000	8%
Λοιπά έξοδα	10.000	1%
Μελέτη και επίβλεψη	50.000	6%
Σύνολο	995.000	€

4.6) ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΙΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ Quanto 600

Για την αποδοτικότερη και συμφέρουσα λειτουργία της μονάδας έχουμε κάνει τρία σενάρια για κάθε μια μονάδα για 4.500 ώρες λειτουργίας , για 5.000 και 5.500 ώρες λειτουργίας, με σκοπό να επιλέξουμε το πιο αποδοτικό σενάριο.

1^ο ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ:

- Για 4.000 ώρες λειτουργίας
- Με βάση τα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενέργειας από βιομάζα 176 €/MWh

2^ο ΣΕΝΑΡΙΟ :

- Για 5.000 ώρες λειτουργίας
- Με βάση τα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενέργειας από βιομάζα 176 €/MWh

3^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

- Για 5.500 ώρες λειτουργίας
- Με βάση τα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενέργειας από βιομάζα 176 €/MWh

Άρθρο 5

Τροποποίηση Τ.Α., τροποποίηση Επιτοκίου

Αναγωγής και έναρξη ισχύος των Τ.Α. των λοιπών κατηγοριών σταθμών του Πίνακα 1 της περίπτωσης β' της παρ. 1 του άρθρου 4 του ν. 4414/2016

1. Τροποποιούνται οι Τ.Α. που ισχύουν για τις λοιπές κατηγορίες σταθμών του Πίνακα 1 της περίπτωσης β' της παρ. 1 του άρθρου 4 του ν. 4414/2016 σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα ΣΤ1:

Πίνακας ΣΤ1: Τροποποίηση των Τ.Α. των λοιπών κατηγοριών σταθμών του Πίνακα 1 της περίπτωσης β' της παρ. 1 του άρθρου 4 του ν. 4414/2016

α/α	Κατηγορία σταθμών	Τ.Α. (€/MWh)
2	Αιολική Ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις εγκατεστημένης ισχύος ή μέγιστης ισχύος παραγωγής μεγαλύτερης των 60 kW και μικρότερης ή ίσης των 6MW, που ανήκουν σε Ενεργειακές Κοινότητες του ν.4513/2018	75
3	Υδραυλική Ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤3MWe	90
4	Υδραυλική Ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ από 3MWe έως και 15 MWe	87
5	Βιομάζα (ή βιορευστά) που αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, πυρόλυση) εκτός αεριοποίησης, από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤1MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	176
6	Βιομάζα (ή βιορευστά) που αξιοποιείται μέσω διεργασίας αεριοποίησης από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤1MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	185
7	Βιομάζα (ή βιορευστά) που αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση), από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ από 1MW έως και ≤5MW(εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	153
8	Βιομάζα (ή βιορευστά) που αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση), από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ>5 MW(εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	133

Πίνακας 4.5: Απόσπασμα του ΦΕΚ με Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/30971/1190

(Πηγή: ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ)

Πινάκας 4.6: Μελέτη τριών σεναρίων για την μονάδα Quanto 600

Quanto 600	1ο Σενάριο	2ο Σενάριο	3ο Σενάριο
Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς (MW)	0,600	0,600	0,600
Τιμή πώλησης συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα στο δίκτυο (€ / MWh)	176	176	176
Λειτουργία (h)	4.500	5.000	5.500
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (MWh/y)	2.330	2.586	2.848
Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας (MWh/y)	2.381	2.645	2.910
Μέση ετήσια καταναλώση συνεταιρισμού (MWh/y)	105	105	105
Τελική Ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση (MWh/y)	2.225	2.484	2.743
ΕΣΟΔΑ			
Κέρδος από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (€)	391.554	437.121	482.687
ΕΞΟΔΑ			
Κόστος αγοράς Φ.Α (€/y)	33.798	39.431	45.064
Κόστος επένδυσης (€)	805.000	805.000	805.000
Ετήσια έξοδα συντήρησης μονάδας ΣΗΘ(€/y)	7.000	7.000	7.000
ΚΕΡΔΟΣ			
Συνολικό κέρδος το χρόνο(€)	350.756	390.690	430.623
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ			
Απόσβεση σε έτη	2,3	2,1	1,9
Διάρκεια ζωής σε έτη	15	15	15

Πινάκας 4.7: Υπολογισμός αιτουμένου Φ.Α. για την μονάδα Quanto 600

Αγορά Φυσικού Αερίου	1ο Σενάριο	2ο Σενάριο	3ο Σενάριο
Προδιδόμενη ισχύς καυσίμου (MW)	1,41	1,41	1,41
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη Φ.Α (kWh/m ³)	10,12	10,12	10,12
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη Φ.Α (MWh/m ³)	0,01	0,01	0,01
Ώρες λειτουργίας που καλύπτει ο συνεταιρισμός	1.500	1.500	1.500
Ώρες λειτουργίας που χρειαζόμαστε Φ.Α.	3.000	3.500	4.000
Απαίτηση ενέργειας (MWh)	4.215	4.918	5.620
Κόστος Φ.Α. (€/MWh)	8,02	8,02	8,02
Κόστος από την αγορά Φ.Α. (€)	33.798	39.431	45.064

Με βάση τις ώρες λειτουργίας, τον ολικό βαθμό απόδοσης και την ονομαστική ηλεκτρική ισχύ έχει υπολογιστεί η παράγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας σε MWh/y , από την οποία έχει αφαιρεθεί η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του συνεταιρισμού (MWh/y), διότι θα ανεξαρτητοποιηθεί από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και τελικά προκύπτει η τελική Ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση (MWh/y).

Από την Τιμή πώλησης συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα στο δίκτυο (€ / MWh) και την τελική Ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση υπολογίζετε το κέρδος της ηλεκτρικής ενέργειας το χρόνο. Όμως επειδή το βιοαέριο που παράγει ο συνεταιρισμός μπορεί να καλύψει το 1/3 των ωρών του βασικού σεναρίου , οι υπόλοιπες ώρες θα καλυφτούν με φυσικό αύριο που θα αγοράζεται από το δίκτυο .

Έχει υπολογιστεί η ποσότητα φυσικού αερίου που απαιτείται με βάση τις ώρες λειτουργίας και την προδιδόμενη ισχύς καυσίμου σε (MW) από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής ΣΗΘ.

Το Συνολικό κέρδος το χρόνο προκύπτει αφαιρώντας τα ετήσια έξοδα που είναι η αγορά του φυσικού αερίου και το κόστος συντήρησης της μονάδας , από τα έσοδα. Τέλος υπολογίζονται τα έτη απόσβεσης, όπου σε σχέση με τα χρόνια ζωής της μονάδας που είναι περίπου 15 , η απόσβεση γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η ίδια διαδικασία έχει εκτελεστεί και για τα Τρώα σενάρια όπου παρατηρείται πως με την αύξηση των ωρών λειτουργίας αυξάνεται και η παραγόμενη ενεργεία άρα και το κέρδος του συνεταιρισμού.

- **Μελέτη Τριών Βασικών Σεναρίων Με Βάση Τις Ώρες Λειτουργίας Της Μονάδας ΣΗΘ Quanto 800**

1^ο ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ:

- Για 4.000 ώρες λειτουργίας
- Με βάση τα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενεργείας από βιομάζα 176 €/MWh

2^ο ΣΕΝΑΡΙΟ :

- Για 5.000 ώρες λειτουργίας
- Με βάση τα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενεργείας από βιομάζα 176 €/MWh

3^ο ΣΕΝΑΡΙΟ

- Για 5.500 ώρες λειτουργίας
- Με βάση τα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενεργείας από βιομάζα 176 €/MWh

Πινάκας 4.8: Μελέτη τριών σεναρίων για την μονάδα Quanto 800

Quanto 800	1ο Σενάριο	2ο Σενάριο	3ο Σενάριο
Όνομαστική ηλεκτρική ισχύς (MW) (W)	0,800	0,800	0,800
Τιμή πώλησης συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα στο δίκτυο (€/ MWh)	176	176	176
Λειτουργία (h)	4.500	5.000	5.500
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (MWh/y)	3.110	3.456	3.802
Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας (MWh/y)	3.122	3.469	3.816
Μεσή ετήσια καταναλώση συνεταιρισμού (MWh/y)	105	105	105
Τελική Ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση (MWh/y)	3.005	3.351	3.696
ΕΣΟΔΑ			
Κέρδος από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (€)	547.430	608.256	669.082
ΕΞΟΔΑ			
Κόστος επένδυσης (€)	995.000	995.000	995.000
Κόστος αγοράς Φ.Α (€/y)	33.798	39.431	45.064
Ετήσια έξοδα συντήρησης μονάδας ΣΗΘ(€)	7.000	7.000	7.000
ΚΕΡΔΟΣ			
Συνολικό κέρδος το χρόνο	506.632	561.825	617.018
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ			
Απόσβεση σε έτη	2,0	1,8	1,6
Διάρκεια ζωής σε έτη	15	15	15

Πινάκας 4.9: Υπολογισμός αιτουμένου Φ.Α. για την μονάδα Quanto 800

Αγορά Φυσικού Αερίου	1ο Σενάριο	2ο Σενάριο	3ο Σενάριο
Προδιδόμενη ισχύς καυσίμου (MW)	1,41	1,41	1,41
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη Φ.Α (kWh/m ³)	10,12	10,12	10,12
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη Φ.Α (MWh/m ³)	0,01	0,01	0,01
Ώρες λειτουργίας που καλύπτει ο συνεταιρισμός	1.500	1.500	1.500
Ώρες λειτουργίας που χρειαζόμαστε Φ.Α.	3.000	3.500	4.000
Απαίτηση ενέργειας (MWh)	4.215	4.918	5.620
Κόστος Φ.Α. (€/MWh)	8,02	8,02	8,02
Κόστος από την αγορά Φ.Α. (€)	33.798	39.431	45.064

Έχει διενεργηθεί η ίδια διαδικασία και για την μονάδα Quanto 800, όπου όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα η κυρία διάφορα με την μονάδα Quanto 600 είναι η υψηλότερη ονομαστική ηλεκτρική ισχύς, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μονάδα Quanto 800 στις ίδιες ώρες λειτουργίας να παράγει παρειαχτεί ενεργεία άρα θα έχει μεγαλύτερο κέρδος από την πώληση της σε σχέση με την Quanto 600.

4.7)ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προκύπτει επειδή ο συνεταιρισμός θα ανεξαρτητοποιηθεί από το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας, και θα παράγει μονός του την ενεργεία που θα καταναλώνει. Συνεπώς με βάση τη μέση ετήσια κατανάλωση του συνεταιρισμού, που είναι 105 MWh/y έχει υπολογίσει η μείωση των πομπών διοξειδίου του άνθρακα :

Πινάκας 4.10: Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	
Συντελεστής εκπομπής-ηλεκτρικής ενέργειας (tCO ₂ /Mwhe)	0,407
Συντελεστής εκπομπών-βιομάζα (tCO ₂ /MWh)fuel	0,000
Μείωση των εκπομπών CO₂ (tCO₂/y)	43



Εικόνα 4.6: Μείωση εκπομπών του θερμοκηπίου

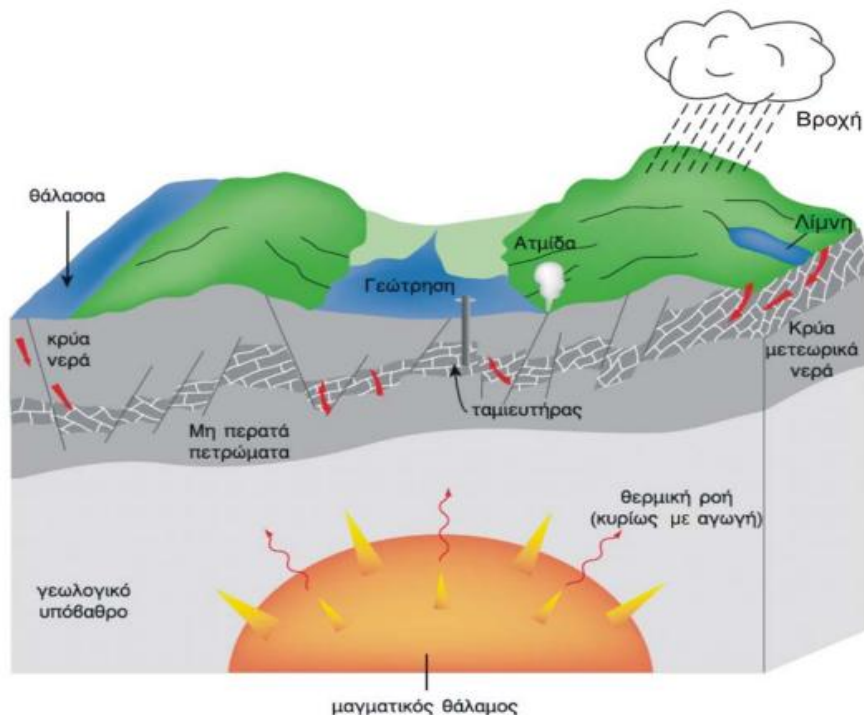
(Πηγή: <https://www.mononews.gr/society/klimatiki-allagi-miosi-ekpompon-dioxidiou-tou-anthraka-os-to-2030-zitisan-8-chores-tis-ee>)

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:

2^η ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

5.1)ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, κάτω από τη σταθερή επιφάνεια της γης. Όμως ορός γεωθερμική ενέργεια ή γεωθερμία μπορεί να δημιουργήσει σύγχυση, επιστημονικά είναι η ενέργεια που περιέχεται στην γη σε μορφή ατμού, νερού, ή θέρμων πετρωμάτων από 25°C έως 350°C και είναι μια ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο γεωθερμική ενέργεια εννοούμε τα πρώτα τρία περίπου χιλιόμετρα από την εξωτερική επιφάνεια της γης, με θερμοκρασία μικρότερη των 25°C όπου προέρχεται κυρίως λόγω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης και παραμένει σχετικά σταθερή κατά την διάρκεια του έτους. Το βάθος εκμετάλλευσης φτάνει έως τα 150 μέτρα και έτσι αποκαλείται αβαθής γεωθερμία.



Εικόνα 5.1: Μοντέλο δημιουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου, που παράγει ατμό.

(Πηγή: Μύθοι και πραγματικότητα για τη γεώθερμα, υπουργείο ανάπτυξης, ινστιτούτο γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών Απ. Αρβανίτης, Γεωλόγος - Δρ Γεωθερμίας)

Η ενέργεια αυτή της γης αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για την θέρμασή και ψύξη κατοικιών ακόμη και για αγροτικές εργασίες και στις ιχθυοκαλλιέργειες.

5.2)ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Δεν υπήρχε πάντα η γνώση για την ύπαρξη της αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας εν στην επιφάνεια της γης , ακόμα και σήμερα δεν είναι ευρέως γνωστό πως η ενέργεια αυτή είναι αποθηκευμένη με την μορφή θερμότητας και πως η θερμότητα αυτή παραμένει σχεδόν σταθερή σε όλα τα σημεία της γης . Η παρατήρηση όμως των ηφαιστειακών φαινομένων και των θέρμων πηγών οδήγησε τους προγόνους μας στο συμπέρασμα πως το εσωτερικό της γης είναι θερμό. Όμως, μόνο όταν κατασκευάστηκαν τα πρώτα μεταλλεία σε βάθος αρκετών εκατοντάδων μέτρων κάτω από το έδαφος , κατά την περίοδο μεταξύ του 16ου και 17ου αιώνα οι άνθρωποι με τη βοήθεια απλών φυσικών παρατηρήσεων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος.

Οι πρώτες μετρήσεις με θερμομέτρο έγιναν γύρο στο 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας. Ήδη από το 1870, για τη μελέτη του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, αλλά το θερμικό ισοζύγιο που διέπει τη Γη κατανοήθηκε καλύτερα στην διάρκεια του 20ου αιώνα, με την ανακάλυψη της ραδιενεργής θερμότητας και τον ρόλο που παίζει στη θερμοκρασία του εσωτερικού της γης. Σήμερα όλα τα σύγχρονα μοντέλα που εξετάζουν τη θερμική κατάσταση στο εσωτερικό του πλανήτη μας υπολογίζουν τη θερμότητα που παράγεται συνεχώς από τη διάσπαση των μακράς διάρκειας ζωής ραδιενεργών ισοτόπων που είναι το ουρανί ,το θόριο και το κάλιο.

Υπάρχει επίσης και η αρχέγονη ενέργεια από την εποχή της δημιουργίας του πλανήτη που δρα αθροιστικά, σε μη προσδιορισμένες όμως ποσότητες. Μέχρι και τη δεκαετία του 1980 οι θεωρίες αυτές δεν ήταν βάσιμες. Εκείνη την περίοδο όμως αποδείχθηκε ότι δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ της ραδιενεργής θερμότητας και της θερμότητας που διαφεύγει από τη γη προς το διάστημα. Έγινε γνωστό ακόμα ότι η Γη ψύχεται με αργό ρυθμό και στο εσωτερικό της. Έτσι η θερμοκρασία του μανδύα δεν έχει μειωθεί περισσότερο από 300-350°C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια και παραμένει περίπου στους 4000°C στη βάση του. Έχει υπολογιστεί ότι το συνολικό θερμικό περιεχόμενο της γης (για θερμοκρασίες πάνω από τη μέση επιφανειακή των 15°C) είναι της τάξης των 12,6 x 10²⁴ MJ και του φλοιού 5,4 x 10²¹ MJ (Armstead, H.C.H., 1983).



Εικόνα 5.2 : Ιταλία 1904, η πρώτη προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρήση φυσικών ατμών

(Πηγές: Geothermal Education Office, (www.geothermal.marin.org) και International Geothermal Association (iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php))

Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε πως η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη και ανεξάντλητη, όμως μόνο ένα μικρό ποσοστό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Είναι γεγονός πως και στις μέρες μας η εκμετάλλευση της γεωθερμίας είναι περιορισμένη σε μέρη όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα φορέα θερμότητας, δηλαδή το νερό σε υγρή ή αέρια φάση, να μεταδώσει τη θερμότητα.

Στις αρχές του 19ου αιώνα στην Τοσκάνη της Ιταλίας, λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέος από τα βοριούχα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές. Η παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών σε σιδερένιους λέβητες οι οποίοι χρησιμοποιούσαν για καύσιμη ξύλα. Το 1827, ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής, αντί να καταναλώνει ξύλα, εγκατέστησε ένα σύστημα που χρησιμοποιούσε την θερμότητα των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης.

Μεταξύ του 1910 και του 1940, πάλι στην Τοσκάνη της Ιταλίας, άρχισε να χρησιμοποιείται χαμηλής πίεσης ατμός για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Τα επόμενα χρόνια υπήρξε ένας αυξανόμενος αριθμός χωρών που άρχισε να χρησιμοποιεί την ενεργεία που προσφέρει η γη κυρίως για τις βιομηχανίες. Το 1892, ήταν γεγονός το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης στο Αινταχο των Η.Π.Α.. Το 1928, στην Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών για τη θέρμανση κατοικιών.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για πρώτη φορά έγινε το 1904 και πάλι στο Larderello της Ιταλίας. Η επίτευξη αυτού του γεγονότος σηματοδότησε την έναρξη της

εκμετάλλευσης ενός νέου φυσικού πόρου, που επρόκειτο να εξέλθει σημαντικά τα επόμενα χρόνια. Το 1942, η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς σε σταθμούς που χρησιμοποιούσαν τη γεωθερμία ανερχόταν στα 127,65 MWe.. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Βερρυ της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959 κ.α.

Ακόμα παλαιότερα και οι αρχαίοι Έλληνες φαίνεται πως γνώριζαν για την ύπαρξη αυτής της ενέργειας αξιοποιώντας τα θερμά νερά και τις θερμές πηγές θεωρώντας πως ήταν θεραπευτικές. Αυτό έχει διαπιστωθεί και από τα πρώτα κείμενα της αρχαίας Ελλάδας όπως του Πλουτάρχου, του Αριστοτέλη κ.α.

Και σε άλλους λαούς ήταν γνωστά τα φυσικά θερμά ρευστά , όπως την Κίνα , την Ιαπωνία όπως αναφέρει η μυθολογία . Οι Ρωμαίοι και οι Ετρούσκοι μάλιστα τα χρησιμοποιούσαν και για θέρμαστή κατοικιών. Όμως η πρώτη συστηματική αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας άρχισε την δεκαετία του 1920 στην Ισλανδία.

Σήμερα σε ολόκληρη την έκταση της χρησιμοποιούν σχεδόν αποκλειστικά γεωθερμία για αθέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

5.3)ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

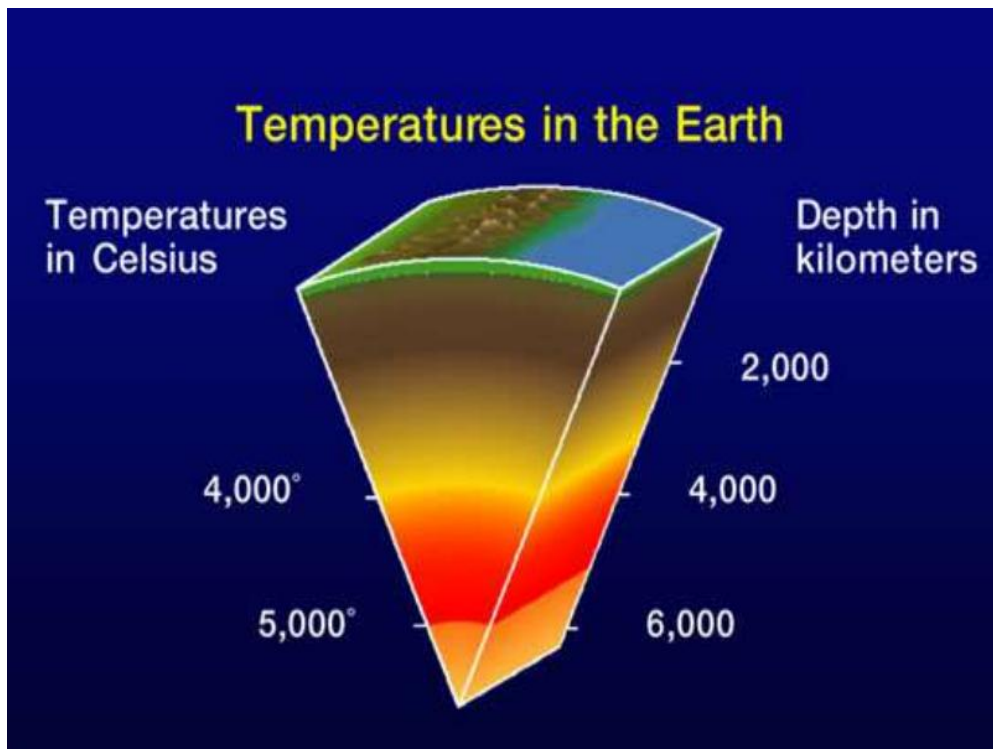
Η κατανομή των γεωθερμικών πεδίων ανάλογα με την θερμοκρασία είναι η εξής:

A) Υψηλής ενθαλπία γεωθερμικά πεδία : κυμαίνονται από 150°C έως 280°C όπου ο ατμός δεν επεξεργάζεται και οδηγείται σε στροβίλους για παραγωγή ηλεκτρισμού.

B) Μέσης ενθαλπίας γεωθερμικά πεδία : κυμαίνονται από 90°C έως 150°C όπου ο ατμός θερμαίνει πτητικά ρευστά (υδροφθοράνθρακας, ισιβουτάνιο) και οδηγούνται ως ατμός σε στροβίλους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεσολάβηση των πτητικών ρευστών είναι απαραίτητη διότι οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών δεν επαρκούν για την άμεση μετατροπή του ατμού σε ηλεκτρισμό.

Γ) Χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικά πεδία: κυμαίνονται από 60°C έως 90°C όπου χρησιμοποιούνται για θέρμαστή και ψύξη κατοικιών , βιομηχανιών και αγροτικών εργασιών.

Δ) Πολύ χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικά πεδία: κυμαίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 25°C



Εικόνα 5.3: Οι θερμοκρασίες του εσωτερικού της γης.

(Πηγή: Γεωθερμική Ενέργεια Νίκος Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών)

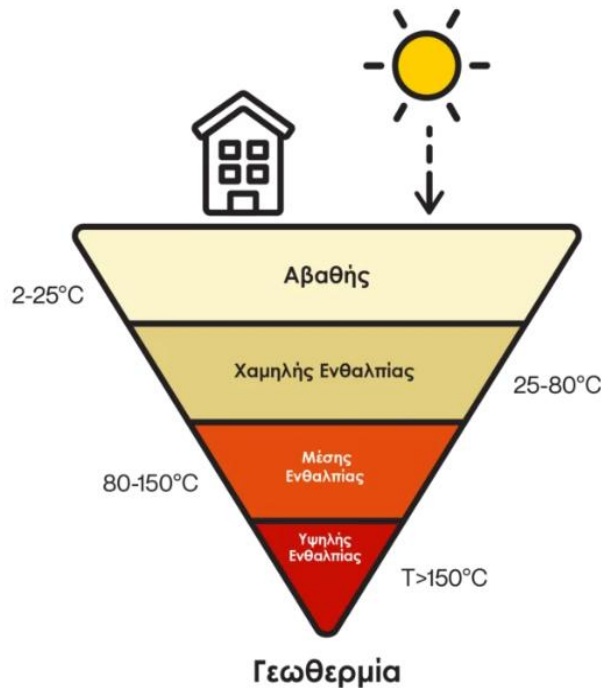
Τα ρευστά που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης θερμαίνονται και έχουν την τάση να κινούνται προς την επιφάνεια, αυτό βεβαίως είναι πιο σύνηθες σε περιοχές που παρατηρείται πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η θερμότητα αυτή πολλές φορές έρχεται σε επαφή με υπόγεια νερά, με αποτέλεσμα να αγγίζουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες και διερχόμενα από τα πετρώματα, εμπλουτίζονται με άλατα και φτάνουν μέχρι και την επιφάνεια της γης. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου τα υπόγεια νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και η θερμοκρασία τους μπορεί να ξεπεράσει τους 350 °C

Η θερμική ροή εμφανίζεται: Κατά τη βύθιση λιθοσφαιρών πλακών

- Στα ηπειρωτικά βυθίσματα.
- Στις ηπειρωτικές περιοχές διόγκωσης

Τα γεωθερμικά πεδία παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες, αυτό απαιτεί εξειδικευμένες μελέτες και επιλογή σωστών τεχνικών και από οικονομικής άποψης για την εκμετάλλευσή τους. Είναι γεγονός ότι η τεχνολογία δεν είναι ακόμα σε σημείο να δώσει λύσεις και να εκμεταλλευτεί σε μεγάλο βαθμό την ενέργεια που προσφέρει η γη. Παρ'όλα αυτά είναι εφικτό να εξασφαλιστούν μερικές εκατοντάδες MWe από γεωθερμικό δυναμικό υψηλής ενθαλπίας, και ειδικά σε νησιώτικες περιοχές όπου η παράγωγή και η διάθεση ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με ανανεώσιμη μορφή ενέργειας και χαμηλό κόστος.

Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετά γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας, με εγκατεστημένες γεωτρήσεις με μεγάλο δυναμικό. Δίστιχος από το δυναμικό αυτό ένα μικρό μέρος αξιοποιείται σήμερα για θέρμανση χώρων και θερμοκηπίων, ιαματικά λούρα και ιχθυοκαλλιέργειες.



Εικόνα 5.4 : Γεωθερμικά πεδία

(Πηγή : <http://www.helveenergy.gr>)

5.4) ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Η τεχνολογία εντοπισμού και εξαγωγής είναι παρόμοια με εκείνη των πετρελαϊκών κοιτασμάτων. Γίνονται δοκιμαστικές γεωτρήσεις και γεωφυσικές σεισμικές έρευνες με χρήση γεωφώνου για τον προσδιορισμό του μεγέθους του πεδίου, σε σημεία που έχει κριθεί κατάλληλη η θερμοκρασία και το είδος των πετρωμάτων. Γίνεται εξορυκτική πρόβλεψη με την βοήθεια της μοντελοποίησης πάνω σε μαθηματικά μοντέλα και έτσι αναλύονται τα ρευστά.

Στην συνέχεια κατασκευάζονται οι γεωτρήσεις οι οποίες είναι αναπόσπαστο κομμάτι για την αποπεράτωση της έρευνας και της αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας διότι με τη χρήση τους καθορίζεται ο εντοπισμός και τα όρια του γεωθερμικού πεδίου και η αποτίμηση του δυναμικού του.

Οι κατηγορίες των γεωτρήσεων είναι οι παρακάτω:

- **Ερευνητικές γεωτρήσεις:** Όπου είναι δειγματοληπτικές και εκτελούνται στην αρχή της έρευνας
- **Πιεζομετρικές :** Για την χαρτογράφηση της μέτρησης της στάθμης-πίεσης του γεωθερμικού ταμιευτήρα

• **Γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου:** Με στοχο την τελική αποτίμηση του γεωθερμικού πεδίου

• **Παραγωγικές**

• **Γεωτρήσεις επαναεισαγωγής**

5.5) ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Οι πιο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία των ΓΑΘ είναι οι ιδιότητες του εδάφους, όπου αναφέρονται παρακάτω:

- **Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους(k):** Είναι η ικανότητα του πετρώματος να μεταφέρει θερμότητα με αγωγή. Μονάδα μέτρησης θεωρείται το (W/m*K).
- **Η ειδική θερμότητα(c):** Είναι η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια από το έδαφος. Μέσα από την οποία φαίνεται η αύξηση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας για κάθε μοναδιαία αύξηση της απόλυτης θερμοκρασίας. Μονάδα μέτρησης θεωρείται το (J/kgK).
- **Η θερμική διαχυτότητα (α):** Υποδηλώνει την ταχύτητα διάχυσης της θερμότητας μέσα στο έδαφος. Πρακτικά είναι το πηλίκο της αγόμενης θερμότητας προς την αποθηκευμένη θερμότητα.
- **Η θερμοχωρητικότητα του εδάφους:** Ορίζεται ως η ικανότητα συγκεκριμένου όγκου υλικού του εδάφους και μαλακού πετρώματος να αποθηκεύει εσωτερική ενέργεια, δηλαδή είναι το γινόμενο της ειδικής θερμότητας και του φαινομένου βάρους. Μονάδα μέτρησης είναι το (MJ/m³ *K).

5.6) ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Γεωθερμικό σύστημα είναι εκεί που υπάρχει γεωθερμική ενεργεία μέσα στη γη, η οποία είναι περιορισμένη μέσα στον φλοιό της. Τα συστήματα αυτά, συνήθως υπάρχουν σε περιοχές με κανονική ή λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα και κυρίως γύρω από τα όρια των τεκτονικών πλακών, όπου εκεί η βαθμίδα είναι πολύ πιο υψηλή της μέσης τιμής. Με χαμηλές θερμοκρασίες που δεν ξεπερνούν τους 100 °C συνήθως απαντώνται τα γεωθερμικά συστήματα σε περιοχές κανονικής γεωθερμικής βαθμίδας, από την άλλη στα γεωθερμικά συστήματα πιο υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτου ένα μεγαλύτερο φάσμα θερμοκρασιών από αρκετά χαμηλές μέχρι και μεγαλύτερες θερμοκρασίες, της τάξεως των 400 °C. Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία, τα οποία είναι :

α) η εστία θερμότητας,

β) ο ταμιευτήρας και

γ) το γεωθερμικό ρευστό

Η εστία θερμότητας παρατηρείται σε δύο καταστάσεις, είτε πολύ υψηλής θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 600 °C με μαγματική διείσδυση, που φτάνει σε μικρό βάθος 5- 10 K, είτε σε συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, όπου όσο αυξάνεται το βάθος αυξάνεται και η θερμοκρασία του υπεδάφους. Ο σχηματισμός θέρμων πετρωμάτων όπου παίρνει το νερό, ονομάζεται ταμιευτήρας. Τα ρευστά περνώντας μέσα από τα πετρώματα αντλούν θερμότητα. Στην πάω πλευρά του ταμιευτήρα παραιτείται συχνά ένα κάλυμμα αδιαπέραστων πετρωμάτων. Τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και αντλούνται μέσω γεωτρήσεων ή με μορφή θερμών πηγών , αντικαθιστούνται από βρόχινο νερό το οποίο έχει βρει μια περιοχή τροφοδοσίας και εισέρχεται στον ταμιευτήρα . Και τέλος το γεωθερμικό ρευστό που είναι νερό συνήθως εμπλουτισμένο με CO₂, H₂S , λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν έχει και την ανάλογη φάση, υγρή ή αέρια.

• ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα συστήματα που αποτελούν ένα γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας είναι τέσσερα και αναλύονται παρακάτω:

1) Γεωθερμική αντλία θερμότητας αέρος-νερού: προσάγει ζεστό ή κρύο νερό μέσω του εναλλάκτη στην εσωτερική εγκατάσταση ζήρασης-ψύξης/δροσίσου όπως είναι ενδοδαπέδια θέρμανση, μονάδες fan coil κ.α.

2) Ο γεωθερμικός εναλλάκτης: Όπου είναι συνδεδεμένος ανάλογα με την περίπτωση σε κλειστό ή ανοιχτό σύστημα, αξιοποιεί τη σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους και δεσμεύει θεότητα μέσω του διαλύματος νερού-γλυκόλης που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις.

3) Η εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης/δροσίμου : Είναι η εγκατάσταση που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι. Μία γενικευμένη περιγραφή της λειτουργίας της εγκατάστασης είναι ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα το ρευστό που ρέει στον γεωεναλλάκτη απορροφά την θερμότητα του υπεδάφους και την μεταφέρει στην αντλία θερμότητας, η οποία με την σειρά της μεταφέρει την θερμότητα μέσα στο κτίριο. Αντίστοιχα, κατά τη θερινή περίοδο η θερμότητα που εισέρχεται ή παράγεται στο κτίριο απάγεται και μεταφέρεται μέσω της αντλίας θερμότητας στον γεωεναλλάκτη ο οποίος αποθέτει αυτή τη θερμότητα στο υπέδαφος.

5.7) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

- Η γεωθερμική ενέργεια είναι ανεξάντλητη διότι παρέχεται 24 ώρες τη μέρα και 365 μέρες το χρόνο.
- Δεν απαιτείται δεξαμενή καύσιμων και καμινάδα , άρα γίνεται μικρή δέσμευση χώρου.

- Παρέχει μεγαλύτερη απόδοση και αποδέσμευση από τα συστήματα που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα.
- Συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος διότι το 70-80% της ενέργειας παρέχεται από το περιβάλλον έτσι κατατάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δεν εκπέμπει ρύπους.
- Μείωση του κόστους λειτουργίας πάνω από 70% , διότι Αντλείται δωρεάν ενέργεια από το υπέδαφος, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες
- Είναι ασφαλή συστήματα , διότι δεν εκπέμπουν ρύπους και δεν γίνεται καύση.
- Υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού των συστημάτων της γεωθερμίας με παλιά εγκατεστημένα συστήματα , όπως λέβητας ή και με άλλες ανανεώσιμες πηγές, όπως για παράδειγμα τα ηλιοθερμικά συστήματα και τους λέβητες βιομάζας.
- Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Χαμηλότερο κόστος συντήρησης του εξοπλισμού και αθόρυβη λειτουργία.
- Δίνει μεγάλη προστιθέμενη αξία στο κτίριο και βελτιώνει την ενεργειακή του κλάση.
- Δημιουργία θέσεων εργασίας σε φορείς, Δήμους κ.α.

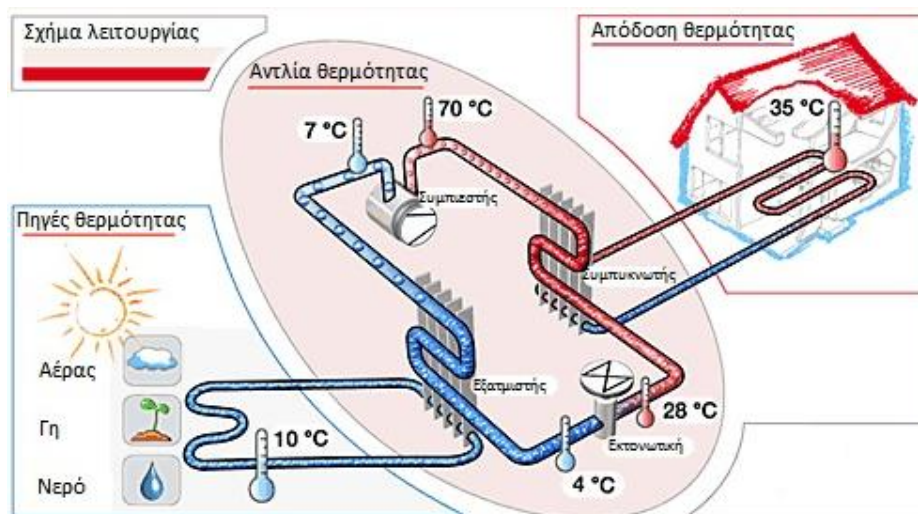
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

- Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των συστημάτων αντλιών θερμότητας είναι αρκετά υψηλότερο συγκριτικά με άλλα συστήματα θέρμανσης.
- Σε περιπτώσεις μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ πηγής και αποδέκτη, κύριος σε ακραίες καιρικές συνθήκες η απόδοση των ΓΑΘ μειώνεται. Βέβαια, στις περισσότερες περιοχές στην Ελλάδα δεν εμφανίζονται ακραίες θερμοκρασίες σε όλη τη διάρκεια του έτους, άρα οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με έναν καλό βαθμό απόδοσης.
- Σε κλειστά συστήματα σε περίπτωση διαρροής υπάρχει δυσκολία επισκευής.
- Για συστήματα ανοιχτού κυκλώματος είναι απαραίτητη η μεγάλη παροχή καθαρού νερού.

5.8) ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η αβαθής γεωθερμία είναι η πιο διαδομένη μέθοδος για την αξιοποίηση του εδάφους σε συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού. Για τον σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος είναι απαραίτητη η μελέτη των γεωλογικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Όπως είναι το ειδικό βάρος, το βάρος ανά μονάδα όγκου, η ύπαρξη πορώδους εδάφους, η υγρασία και η ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό . Επίσης

σημαντική είναι και η ειδική θερμότητα , η ειδική θερμική αγωγιμότητα και η ειδική θερμική διαλυτότητα .

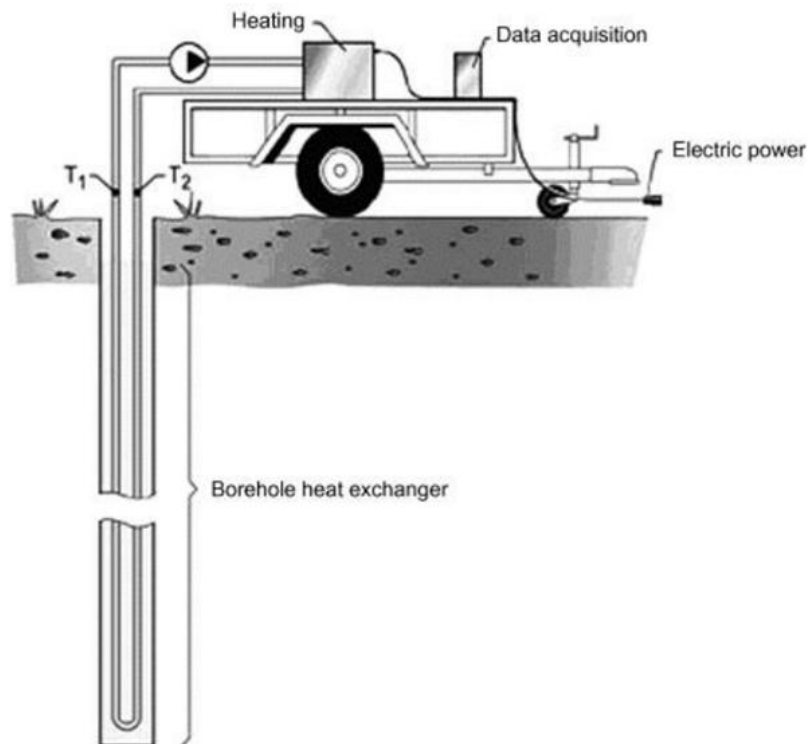


Εικόνα 5.7 : Κύκλος λειτουργίας αντλίας θερμότητας

(Πηγή: <https://engineeringissues.wordpress.com>)

Για την αποφυγή την υπέρ ή υπό διαστασιολόγησης εφαρμόζεται μια διαδικασία η οποία ονομάζεται έλεγχος θερμικής απόκρισης (Thermal Response Test) και βοηθάει έτσι

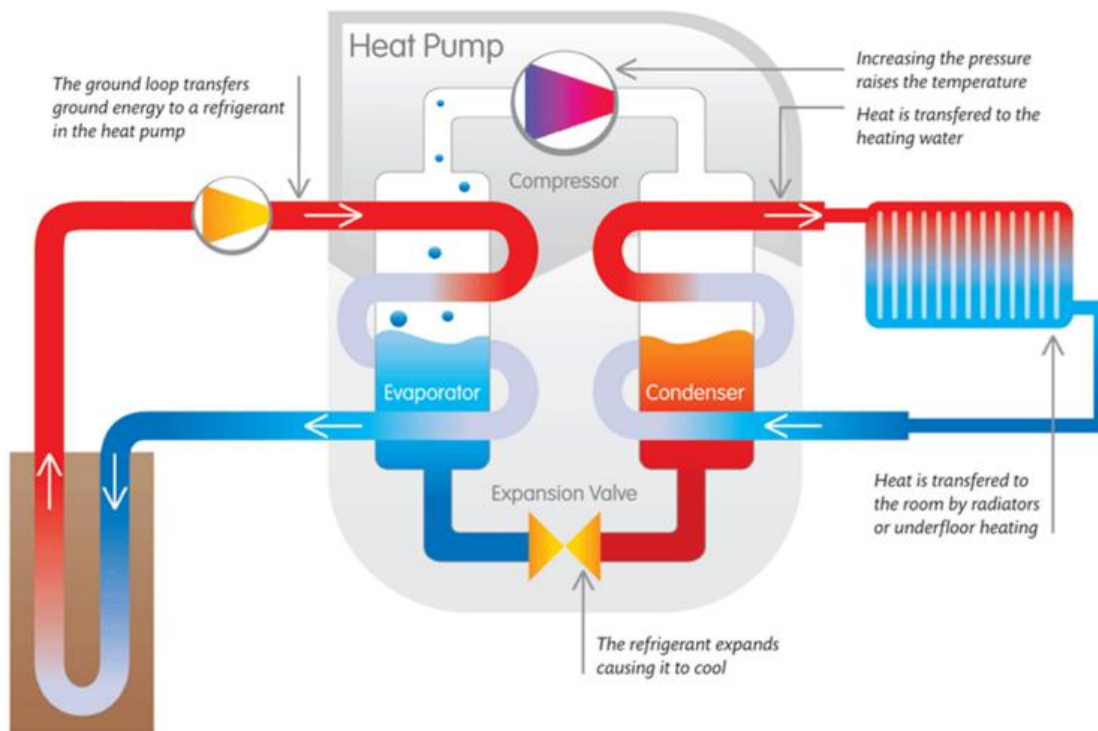
ώστε τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των γεωθερμικών συστημάτων να μην έχουν σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Για να μην υπάρξουν αστοχίες στον σχεδιασμό θα πρέπει να υπολογιστούμε με ακρίβεια η θερμική αντίσταση και η θερμική θερμοπερατότητα. Για να ελεγχθούν ορθά αυτές οι τιμές γίνεται χρήση μιας ειδικής συσκευής που δημιουργήθηκε στην Σουηδία και ονομάζεται TED, η οποία αποτελείται από μια θερμάστρα με ηλεκτρική αντίσταση, ηλεκτρονικά όργανα και μια δεξαμενή 85 λίτρων. Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός της σταθερής θερμοκρασίας του υπεδάφους, μετρώντας την θερμοκρασία με θερμοζεύγη, όπου η κυκλοφορία του νερού γίνεται χωρίς να θερμαίνεται. Το δεύτερο βήμα αφορά θέρμανση και την κυκλοφορία του νερού. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται στο σημείο της εισόδου και της εξόδου από τον γεωθερμικού εναλλαχτώ. Έτσι προσδιορίζεται η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους , που λόγω της θερμοκρασιακής πτώσης καταλήγει στην απώλεια θερμότητας. Για την ακρίβεια του υπολογισμού απαιτείται η λειτουργία της θερμάστρας για 70 ώρες. Η παραπάνω διαδικασία είναι πολύ σημαντική και εφαρμόζεται κύριος σε μεγάλης ισχύος γεωθερμικά συστήματα.



Σχήμα 5.8: Συσσκευή ελέγχου θερμικής απόκρισης TED

(Πηγή: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Ανάπτυξης μεθοδολογίας βέλτιστης επιλογής τεχνολογίας κάλυψης θερμικών φορτίων κτηρίων μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (ΑΡΤΣΑΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ))

Λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του εδάφους η σχετική σταθερότητα της θερμοκρασίας του για όλη τη διάρκεια του έτους, κάτω από ορισμένο βάθος παραμένει σταθερή. Αυτό συμβαίνει γιατί στη διάρκεια της θερινής περιόδου, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αποθηκεύεται στο έδαφος ως θερμότητα, ενώ κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου σε μικρά βάθη αφαιρείται θερμότητα από το έδαφος. Ο μηχανισμός αυτός της αποθήκευσης και αποβολής θερμότητας γίνεται σε μεγάλο χρονικό διάστημα και παρατηρείται χρονική υστέρηση. Σε μικρά βάθη έως 2 μέτρων, παρατηρείται μικρή χρονική υστέρηση και μία σημαντική διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους, όσο όμως μεγαλώνει το βάθος μεγαλώνει και η χρονική υστέρηση και η διακύμανση αυτή γίνεται όλο και μικρότερη ενώ φτάνει στο σημείο να μηδενίζεται σε βάθος κάτω από τα 5-10 m. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του υπεδάφους, σε βάθος περίπου από 10 έως 100 μέτρα να παραμένει ουσιαστικά σταθερή περίπου στους 18-22°C , ανάλογα με τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Αυτή την σταθερή θερμοκρασία εκμεταλλεύονται τα συστήματα γεωθερμίας που λειτουργούν ως μεταλλάκτης ανάμεσα στην θερμοκρασία της γης και τη εξωτερική. Η αβαθής γεωθερμία κατατάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που είναι διαθέσιμη παντού.



Εικόνα 5.9: Εφαρμογές Α.Γ

(Πηγή: Ψυγεία και αντλίες θερμότητας ΑΠΕ ΙΙ τμ. Μηχανολόγων Μηχ. Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, κ Αλέξανδρος Ρωμαίος)

5.9) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

• Συστήματα Ανοικτού Τύπου

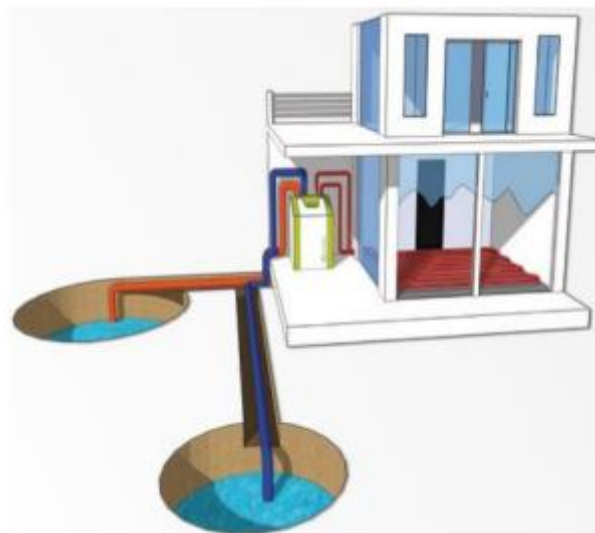
Ανοικτού τύπου χαρακτηρίζουμε τα συστήματα που συνδέονται απευθείας με υπόγεια ύδατα, έτσι το νερό που προέρχεται συνήθως από λίμνες, ποτάμια ή πηγάδια εισέρχεται στο κτίριο για την θέρμανση και την ψύξη του. Για να μπορέσει να εφαρμοστεί ένα τέτοιο σύστημα ανοικτού τύπου θα πρέπει η ροή της γεώτρησης να είναι αρκετή, έτσι ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις του κτιρίου. Το κυριότερο μειονέκτημα των συστημάτων ανοικτού τύπου είναι πως το νερό που εισέρχεται από την γεώτρηση έχει πολλά μέταλλα, και ακαθαρσίες με αποτέλεσμα την φθορά του συστήματος σωληνώσεων. Τα συστήματα ανοικτού τύπου διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες.

- 1) Κύκλωμα με πηγάδια απορρόφησης – αποβολής
- 2) Κύκλωμα κάθετης στήλης
- 3) Κύκλωμα λίμνης

1) Σύστημα με πηγάδια απορρόφησης-αποβολής: Δημιουργούνται δυο ξεχωριστές γεωτρήσεις, μια για την απορρόφηση του νερού και μια για την

επιστροφή του στο γεωθερμικό πεδίο . Οι γεωτρήσεις του συγκεκριμένου τύπου δεν έχουν μεγαλύτερο βάθος από μερικές δεκάδες μέτρα , αντίθετος έχουν αρκετά υψηλές τιμές ροής. Είναι αναγκαίο για να μπορέσουν να επιτευχθούν αυτές οι υψηλές τιμές στη ροή στον υδροφόρο ορίζοντα να μην περιέχονται μεγάλες ποσότητες από άμμο, βράχους και πυλό, ενώ το πιο ιδανικό είναι το χώμα.

Ο τρόπος απορρόφησης του νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα είναι μέσα από μεμβράνες , οι οποίες αποτελούνται από σωλήνες που έχουν τρυπηθεί και περαστεί με σύρμα , σε συγκεκριμένες αποστάσεις . Με την χρήση των μεμβρανών επιτυγχάνονται οι ροές που απαιτούνται και παραμένουν και οι σωληνώσεις καθαρές. Οι μεμβράνες αποβολής του νερού πρέπει να είναι οι διπλάσιες από της μεμβράνες απορρόφησης , για να υπερνικηθεί η αντίσταση που προβάλλει το πεδίο στην πρόσληψη του νερού . Μερικά από τα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπιστούν σε ανοιχτό συστήματα γεωθερμίας είναι : 1) Αλλαγές στην ποιότητα του νερού από ανθρωπινά ή φυσικά αίτια, 2) φθορά των μεμβρανών από τα σωματίδια 3) εισαγωγή χώματος από την μεμβράνη. Με αξιόπιστη εγκατάσταση και την απαιτούμενη συντήρηση ο χρόνος ζωής υπολογίζεται στα 50 έτη.

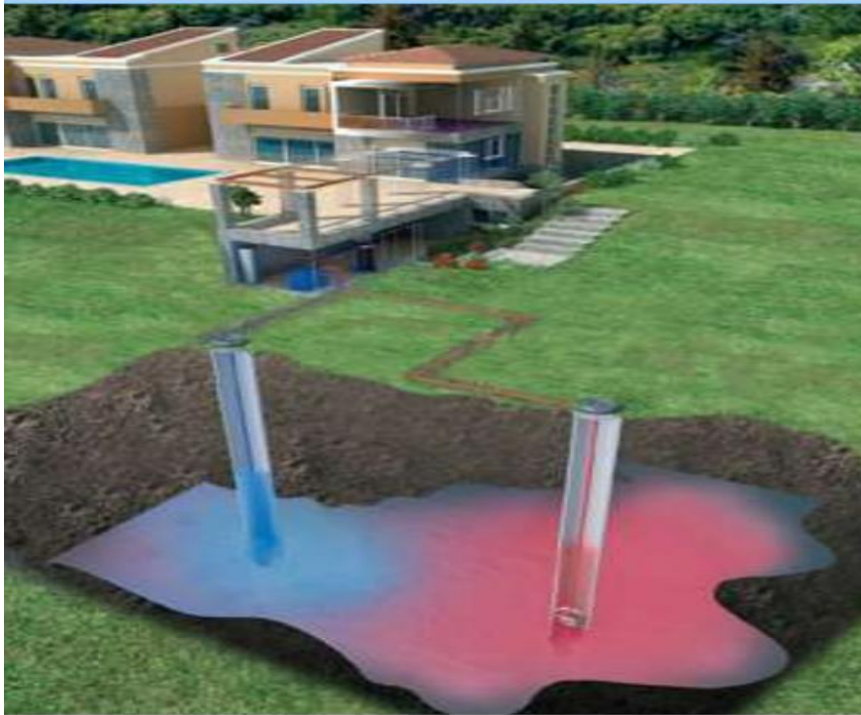


Εικόνα 5.10 : Ανοιχτού τύπου κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης

(Πηγή: Αναστάσιος Ν. Στάθης Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Υπεύθυνος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

2)Σύστημα κάθετης στήλης: Απαρτίζεται από μια κάθετη στήλη βάθους ίσο με το κατώτερο σημείο του υδροφόρου ορίζοντα , όπου στο εσωτερικό της στήλης έχει τοποθετηθεί κεντρικός σωλήνας για να επιτευχθεί η απορρόφηση του νερού και ένας μικρότερης διάστασης για την αποβολή του νερού .Στο σύστημα αυτό , οι γεωτρήσεις απορρόφησης και αποβολής συμψηφίζονται σε μια και δεν εξαρτώνται από την ροή του νερού στον ορυζώνα. Στην πράξη, είναι η καλύτερη μέση λύση ανάμεσα από ένα ανοιχτό σύστημα με πηγάδια και ένα κλειστό σύστημα. Ακόμα έχει εύκολο υπολογισμό απόδοσης και σχεδιασμό . Το μεγαλύτερο αρχικό κόστος τους,

σε σχέση με ένα κλειστό κάθετο σύστημα, έρχεται σε ισορροπία με την μεγαλύτερη θερμική απόδοση που έχει, που είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη.



Εικόνα 5.11 : Γεωθερμικό κύκλωμα κάθετης στήλης

(Πηγή: <https://www.bigsolar.gr>)

3)Ανοιχτό σύστημα λίμνης: Τα συστήματα άπου αξιοποιούν νερό λίμνης είναι απαραίτητο να έχουν εγκατασταθεί σύστημα φιλτραρίσματος και δευτερεύοντες ανάλλαχτες για την αποφυγή εισαγωγής ακαθαρσιών στο σύστημα. Για την αποφυγή πάγου μέσα στις σωλήνες θα πρέπει η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού να μην είναι μικτότερη από 4 οC.

- **Συστήματα Κλειστού Τύπου**

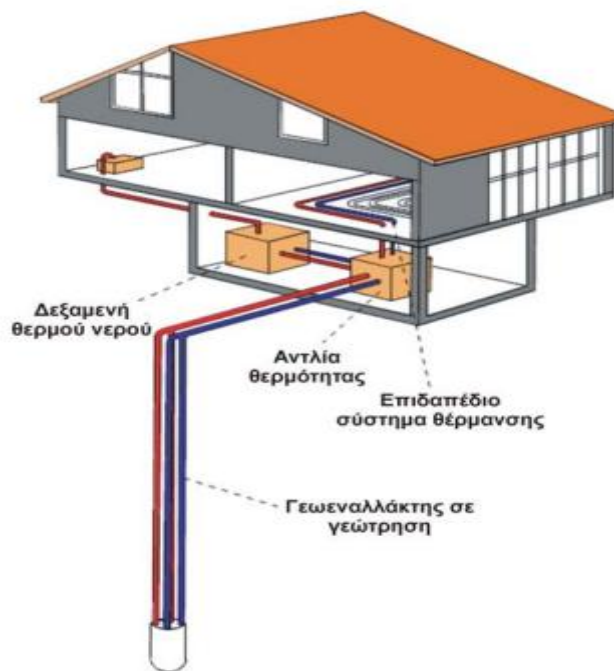
Σε αυτούς τους τύπους γεωθερμίας την θέση των υδρογεώτρησης παίρνουν οι γεωεναλλάκτες που είναι τοποθετημένοι σε ορίζοντα ή κάθετη διάταξη. Ο κάθε τύπος επιλέγεται ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους της εκάστοτε περιοχής, την διαθέσιμη έκταση και τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι και τύποι εγκατάστασης των συστημάτων κλειστού τύπου, σε όλες τις περιπτώσεις όμως γίνεται χρήση συνεχούς κυκλώματος στο οποίο επιτυγχάνεται η κυκλοφορία της θερμικής ροής. Τα γεωθερμικά κύκλωμα αυτά, συνήθως κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) που επιτρέπει στην γεωθερμική ενεργεία του εδάφους να μεταφερθεί προς και από

την αντλία θερμότητας μέσω ενός διαλύματος νερού /γλυκούλης που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες . Το πολυαιθυλένιο είναι ένα πολύ σκληρό πλαστικό που χαρακτηρίζεται από εξαιρετική ανθεκτικότητα καθώς έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Αλλά μπορεί να γίνεται και εφαρμογή μεταλλικού κυκλώματος σωληνώσεων.

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στα κατακόρυφα συστήματα, ζεύγη από σωληνώσεις τύπου U τοποθετούνται μέσα σε γεωτρήσεις βάθους 20 έως το πολύ 120m. Οι γεωτρήσεις αυτές γίνονται είτε στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου σε απόσταση 2m από αυτό , είτε πριν τα θεμέλια σε νεόδμητο κτίριο, ενώ η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων πρέπει να μην είναι μικρότερη των 5m. Οι γεωτρήσεις στη συνέχεια πληρώνονται με ειδικό θερμοαγώγιμο μίγμα, πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται μπετονίτης, με σκοπό τη μέγιστη μετάδοση θερμότητας από το έδαφος στο σύστημα και αντίστροφα.



Εικόνα 5.12: Απεικόνιση κατάκορφου γεωθερμικού εναλλάκτη

(Πηγή: ΜΥΘΟΙ ΚΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ Απ. Αρβανίτης, Γεωλόγος - Δρ Γεωθερμίας)

Η απόδοση του κατακόρφου γεωεναλλάκτη επηρεάζεται κυρίως από:

- Την σύσταση του εδάφους και δηλαδή από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά.
- Την θερμοκρασία του υπεδάφους.
- Την υγρασία του υπεδάφους.

- Την σύσταση και σωστή εφαρμογή του μπετονίτη.

Τα ζεύγη σωληνώσεων που τοποθετούνται στη γεώτρηση είναι 2 και αντιστοιχούν στο μήκος της γεώτρησης, στο κάτω άκρο τους φέρουν ακροσωλήνιο. Το υλικό των σωληνώσεων είναι το πολυαιθυλένιο PE 100 ME Φ23x3,0.

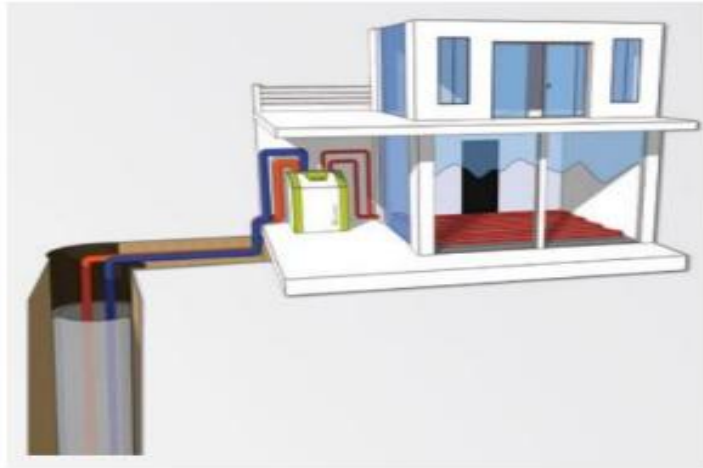
Για την σωστότερη λειτουργία του συστήματος η διάταξη των σωληνώσεων γεμίζεται με μείγμα νερού – γλυκόλης, για να εξασφαλίζεται η αρτιότερη εναλλαγή θερμότητας με το υπέδαφος και να μην παρατηρούνται φαινόμενα αλλαγής φάσης του νερού.

Επίσης κάθε 10m τοποθετείται αποστάτης, ο οποίος διασφαλίζει την παραλληλότητα των σωλήνων και της ασφαλέστερη τοποθέτησή τους. Βαρίδιο χρησιμοποιείται για την προσαρμογή του ακροσωλήνιου και ταυτόχρονα η διάταξη των σωληνώσεων, κατεβαίνει στη γεώτρηση και ο κεντρικός σωλήνας που απαιτείται για το γέμισμα του μπετονίτη. Η πλήρωση της γεώτρησης αποτρέπει την εισχώρηση μολυσματικών και διαβρωτικών υλικών.

Η σύνδεση των ζευγών των σωληνώσεων γίνεται παράλληλα με τον συλλέκτη, ο οποίος συνδέεται στη συνέχεια με την γεωθερμική αντλία. Το δίκτυο δοκιμάζεται σε πίεση 1,5 φορές της πίεσης λειτουργίας του συστήματος.

Σημαντικά στάδια κατά την διαδικασία εγκατάστασης κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη:

- Η τοποθέτηση των σωληνώσεων να γίνει όσο το δυνατό γρηγορότερα μετά το πέρας της διάτρησης, για την αποφυγή καταπτώσεων.
- Θα πρέπει να γίνεται δοκιμή των σωληνώσεων με πίεση αέρα ή αζώτου ή νερού για να διασφαλισθεί ότι δεν έχουν υποστεί κάποια φθορά κατά την τοποθέτησή τους. Σε περίπτωση που έχουν υποστεί φθορά αντικαθίστώνται.
- Η σωστή πλήρωση του θερμοαγωγίμου μίγματος(μπετονίτη), με την κατάλληλη σύσταση με βάση το είδος του εδάφους
- Θα πρέπει να τοποθετείται μόνωση τις σωληνώσεις κοντά στον συλλέκτη.
- Θα πρέπει η απόσταση των κατακόρυφων και οριζόντιων σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη να είναι τουλάχιστον 1 m από το κεντρικό δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης της κατοικίας.
- Απαιτείται άδεια εγκατάστασης.

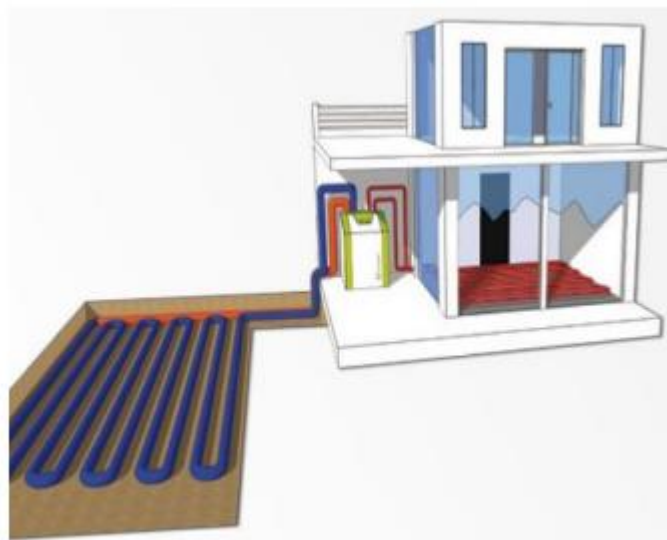


Εικόνα 5.13: Κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης

(Πηγή: Αναστάσιος Ν. Στάθης Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Υπεύθυνος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)

ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ

Τα οριζόντια συστήματα εφαρμόζονται κυρίως σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλος διαθέσιμος περιβάλλοντας χώρος.



Εικόνα 5.14 : Οριζόντιος γεωθερμικός εναλλάκτης

(Πηγή: Αναστάσιος Ν. Στάθης Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Υπεύθυνος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)

Υπάρχουν κάποιοι διαφορετικοί τρόποι εγκατάστασης των οριζοντίων γεωθερμικών εναλλακτών:

• **Σωλήνες σε παράλληλη διάταξη:** Σε βάθος από 1,2 έως 1,5 m από την επιφάνεια τοποθετούνται παράλληλα μήκη σωλήνωσης το ένα δίπλα στο άλλο, με απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 60 cm, με τον τρόπο αυτό αποδίδεται 30 – 40 W/m εδάφους.

• **Σωλήνες μία πάνω από την άλλη:** Η πρώτη σωλήνωση τοποθετείται στα 2m ενώ δεύτερη στα 40-50 cm πάνω από την πρώτη, με την μέθοδος αυτή αποδίδεται περίπου 50 - 60W/m² εδάφους.

• **Με πλέγμα:** Σε αυτή την μέθοδο τοποθετείται σε βάθη 2m από την επιφάνεια προκατασκευασμένα πλέγματα που αποτελούνται από λεπτές σωλήνες Φ8 ή Φ10, έτσι αποδίδονται 80W/m² εδάφους. Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως (εκτός από το πλέγμα) είναι από πολυαιθυλένιο τρίτης γενιάς HDPE 32 40. Το υλικό αυτό μπορεί να ενωθεί με την μέθοδο της θερμοκόλλησης, επίσης είναι εύκαμπτο, διευκολύνοντας εγκατάσταση του.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να κατασκευαστούν τάφροι μέσα στους οποίους θα τοποθετηθούν οι σωλήνες. Για αυτή την διαδικασία συνήθως χρησιμοποιούνται εκσκαφείς και μπουλντόζες η επιλογή των μηχανημάτων εξαρτάται από το βάθος εγκατάστασης και από τις συνθήκες του εδάφους.

Σημαντικά στάδια κατά την διαδικασία εγκατάστασης οριζοντίου γεωθερμικού εναλλάκτη

- Ελέγχονται οι σωλήνες για εκδορές και σφάλματα.
- Γίνονται οι απαραίτητες ενώσεις και δοκιμάζονται κατά πόσο είναι μηχανικά ισχυρές.
- Δοκιμάζονται οι σωλήνες σε πίεση αέρα 3 bar.
- Αφαιρούνται όλοι οι βράχοι από την τάφρο.
- Τοποθετείται στην τάφρο άμμος με σκοπό την κάλυψη και την προστασία των σωληνώσεων.
- Υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης της επιφάνειας πάνω από τον γεωεναλλάκτη ως κήπος ή χώρος στάθμευσης.

Αν υπάρχει λίμνη κοντά στην εγκατάσταση, μπορεί να τοποθετηθεί οριζόντιος γεωεναλλάκτης μέσα σε αυτήν. Έτσι αποφεύγεται η κατασκευή των τάφρων καθώς επίσης και οι χωματοργικές εργασίες, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος της εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή, το μόνο που απαιτείται είναι αγκύρωση των σωληνώσεων στον πυθμένα της λίμνης.

Να σημειωθεί ότι με οριζόντιο γεωεναλλάκτη, μια οικιακή εφαρμογή των 20kW χρειάζεται από 350 m ως 500 m , ενώ μια εμπορική εφαρμογή 100kW χρειάζεται από 1200 m ως 1700 m διαθέσιμου χώρου.

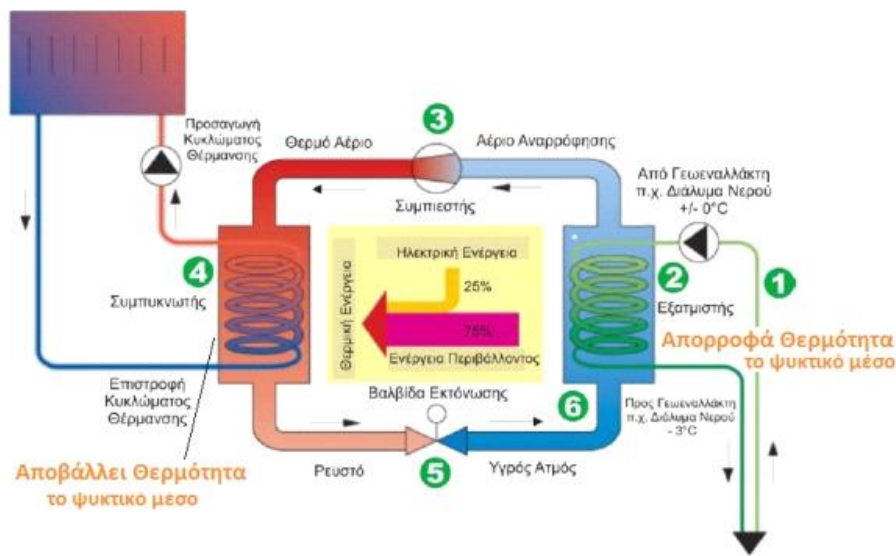
6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

6.1) Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η αρχή λειτουργίας μίας αντλίας θερμότητας είναι βασισμένη στον θεωρητικό κύκλο της μηχανής Carnot. Κατά την λειτουργία της μηχανής Carnot παράγεται μηχανικό έργο, η λειτουργία της αντλίας θερμότητας αποτυπώνεται με την αντιστροφή του κύκλου Carnot, όπου στην οποία, με την κατανάλωση μηχανικού έργου δίνεται η δυνατότητα για πρόσδοση ή απαγωγή θερμότητας. Δηλαδή μια αντλία θερμότητας δεν παράγει θερμότητα, αλλά την μεταφέρει. Η άντληση της θερμότητας από την πηγή χαμηλής θερμοκρασίας στον αποδέκτη υψηλής θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με διάφορους θερμοδυναμικούς κύκλους, όπως αυτούς της συμπίεσης ατμών και τον κύκλο απορρόφησης.

Στις κτιριακές αλλά και σε άλλες εφαρμογές, η πλειοψηφία των αντλιών θερμότητας λειτουργεί με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές, τότε τα ψυκτικά ρευστά έχουν αρκετά χαμηλή θερμοκρασία ζέσεως από -25°C μέχρι -40°C σε ατμοσφαιρική πίεση.

Θα αναλύσουμε τα τέσσερα στάδια του θερμοδυναμικών κύκλου συμπίεσης των αντλιών αυτών:



Εικόνα 6.1: Αρχή λειτουργίας αντλιών θερμότητας

(Πηγή: <http://hottowel.gr/antlies-thermotitas/>)

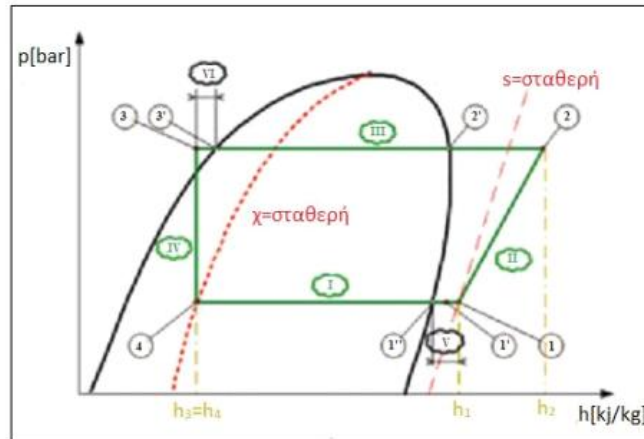
•**Εξάτμιση** : Στην διεργασία αυτή το ψυκτικό ρευστό αντλεί θερμότητα από την πηγή χαμηλής θερμοκρασίας Το και εξατμίζεται υπό χαμηλή πίεση p_0 .

•**Συμπίεση**: Συμπιέζεται ο ατμός του ψυκτικού ρευστού σε υψηλότερη πίεση p αυξάνοντας τη θερμοκρασία.

•**Συμπύκνωση**: συμπυκνώνεται υπό υψηλή θερμοκρασία T ο ατμός του ψυκτικού ρευστού και εκλύεται θερμότητας.

•**Εκτόνωση:** όπου το υγρό ψυκτικό ρευστό εκτονώνεται απότομα από την υψηλή p στη χαμηλή πίεση p_0 , με συνεπεία την απότομη πτώση της θερμοκρασίας.

Κατά την διαδικασία λειτουργίας λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω μεταβολές:



Εικόνα 6.2: Απεικόνιση του θερμοδυναμικού κύκλου συμπίεσης ατμών μιας ΑΘ σε λογαριθμικό διάγραμμα $p-h$

(Πηγή: Διπλωματική εργασία Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΠΕΡΙΟΧΩΝ Συγγραφέας Αναστασίου Αθανάσιος)

1-2: Ισεντροπική συμπίεση καταναλώνοντας μηχανικό έργο W , που μετατρέπεται σε θερμότητα και αυξάνει την ενθαλπία του ψυκτικού ρευστού.

2-2': Ψύξη του υπέρθερμου ατμού του ψυκτικού ρευστού μέχρι τη γραμμή συμπύκνωσης.

2'-3': Ψύξη του υπέρθερμου ατμού υπό σταθερή πίεση στον συμπυκνωτή.

3'-3: Υπόψυξη του ψυκτικού ρευστού που βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού προκειμένου να φτάσει σε κατάσταση υπόψυκτου υγρού.

3-4: Εκτόνωση του ψυκτικού υγρού με σταθερή ενθαλπία, στην εκτονωτική βαλβίδα, για να φθάσει στην κατάσταση υγρού ατμού.

4-1': Εξάτμιση του υγρού ατμού, με απορρόφηση θερμότητας, υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία.

1'-1': Υπερθέρμανση με σταθερή πίεση για την αποφυγή σχηματισμού σταγόνων υγρού ψυκτικού μέσου μέσα στον συμπιεστή.

1'-1: Υπερθέρμανση στη γραμμή αναρρόφησης.

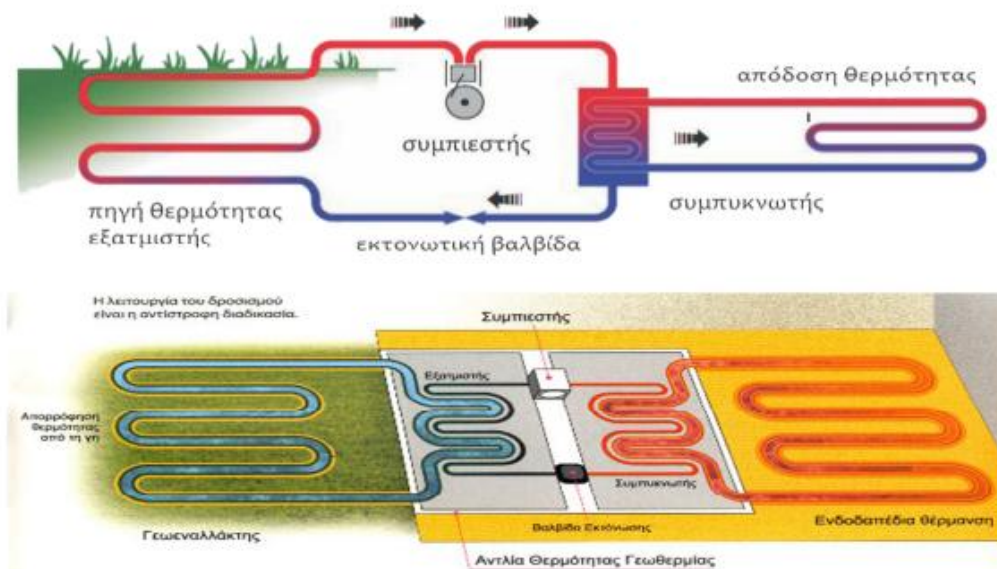
Στην απεικόνιση του θερμοδυναμικών κύκλου διακρίνεται η υπερθέρμανση η, η υπόψυξη και οι θερμοκρασίες εξόδου το ψυκτικού ρευστού από τον συμπιεστή. Διότι μια πολύ χαμηλή θερμοκρασία εξόδου οδηγεί σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης ακόμα και σε έλλειψη ψυκτικού ρευστού ή και να υποστεί φθορές ο συμπιεστής. Αντίστροφα η μη επαρκής υπερθέρμανση δημιουργεί την εισαγωγή του υγρού στον συμπιεστή με αποτέλεσμα την μείωση του COP και την πιθανή εμφάνιση βλάβης στον συμπιεστή. Στην πολύ χαμηλή υπόψυξη θα δημιουργηθεί έλλειψη του ψυκτικού ρευστού με αποτέλεσμα πάλι να μειωθεί το COP της απόδοσης της αντλίας.

Οι διακυμάνσεις της ενθαλπίας είναι οι εξής:

h_2-h_1 : Κατανάλωση ενέργειας στον συμπιεστή σε kJ/kg.

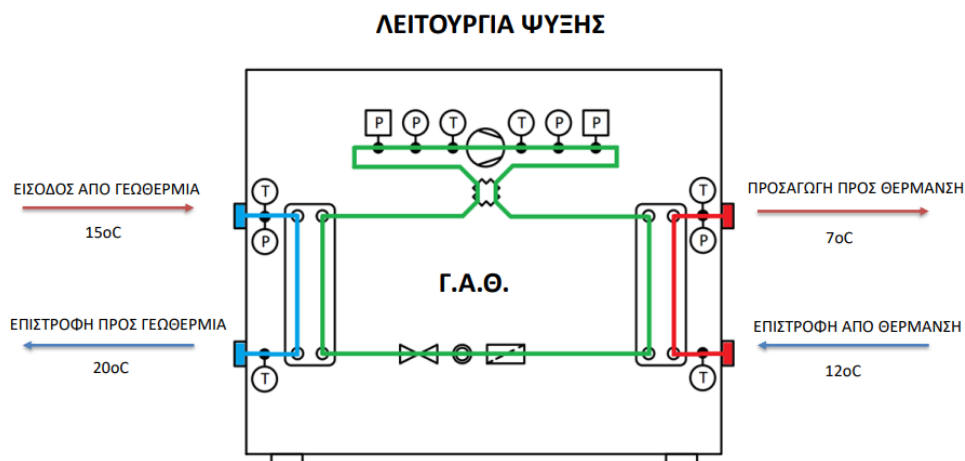
h_2-h_3 : Θερμότητα που εκλύεται από το ψυκτικό ρευστό στον συμπυκνωτή σε kJ/kg.

h_1-h_4 : Θερμότητα που προσλαμβάνει το ψυκτικό ρευστό στον εξάτμιση σε kJ/kg



Εικόνα 6.3: Λειτουργία αντλίας θερμότητας

(Πηγή : Τεχνικοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας και ενδεικτική μελέτη εγκατάστασης για κλιματισμό σχολικού κτιρίου με αβαθή γεώθερμα Τσατσάκης Ιωάννης)

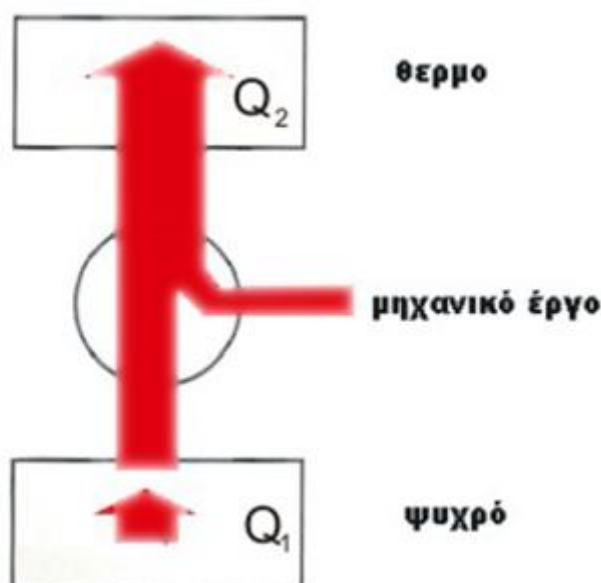


Εικόνα 6.4: Λειτουργεί ψύξης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

(Πηγή: Αναστάσιος Ν. Στάθης Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Υπεύθυνος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)

6.2)ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ροή θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης μια αντλίας θερμότητας



Εικόνα 6.5: Ροή ενέργειας αντλίας θερμότητας

(Πηγή: <https://www.aenaos-sa.gr>)

Πιο συγκεκριμένα η διεργασία που λαμβάνεται είναι η εξής , μια ποσότητα θεότητας (Q_1) αντλείται από τα ψυχρό περιβάλλον , η θερμότητα αυτή προσθέτει μηχανικό έργο στον συμπιεστή όπου αποδίδει θερμότητα (Q_2) στον ψυχρό χώρο .

Στην περίπτωση λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης το θερμό είναι ο χώρος που θέλουμε να ζεστάνουμε και το ψυχρό είναι το εξωτερικό περιβάλλον, με ζητούμενο το ποσό θερμότητας (Q_2). Όταν η αντλία λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης , το ψυχρό είναι ο χώρος που θέλουμε να ψύξουμε και το θερμό είναι το εξωτερικό περιβάλλον με ζητούμενο είναι το ποσό θερμότητας (Q_1).

$$Q_2=Q_1+W$$

Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ονομάζεται συντελεστής απόδοσης της αντλίας (COP, Coefficient of Performance).

$$\text{COP} = Q_2 / W = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1)$$

Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία ψύξης

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ονομάζεται λόγος ενεργειακής απόδοσης της αντλίας (EER, Energy Efficiency Ratio).

$$\text{EER} = Q_1 / W = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$$

Το COP και το EER εξαρτώνται:

- από τη θερμοκρασία της πηγής (TQ1)
- από τη θερμοκρασία του αποδέκτη (TQ2),
- από τις ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου.
- από τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας,

Το COP και το EER μεταβάλλονται συνεχώς, λόγω της θερμοκρασίας του ψυχρού περιβάλλοντος στη θέρμανση και του θερμού χώρου στην ψύξη, αλλά και η θερμοκρασία ψυχρού χώρου για τη θέρμανση και θερμού περιβάλλοντος στην ψύξη, όπου δεν είναι σταθερές, αλλά διαρκώς μεταβάλλονται.

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

Στη θέρμανση:

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

Στη ψύξη:

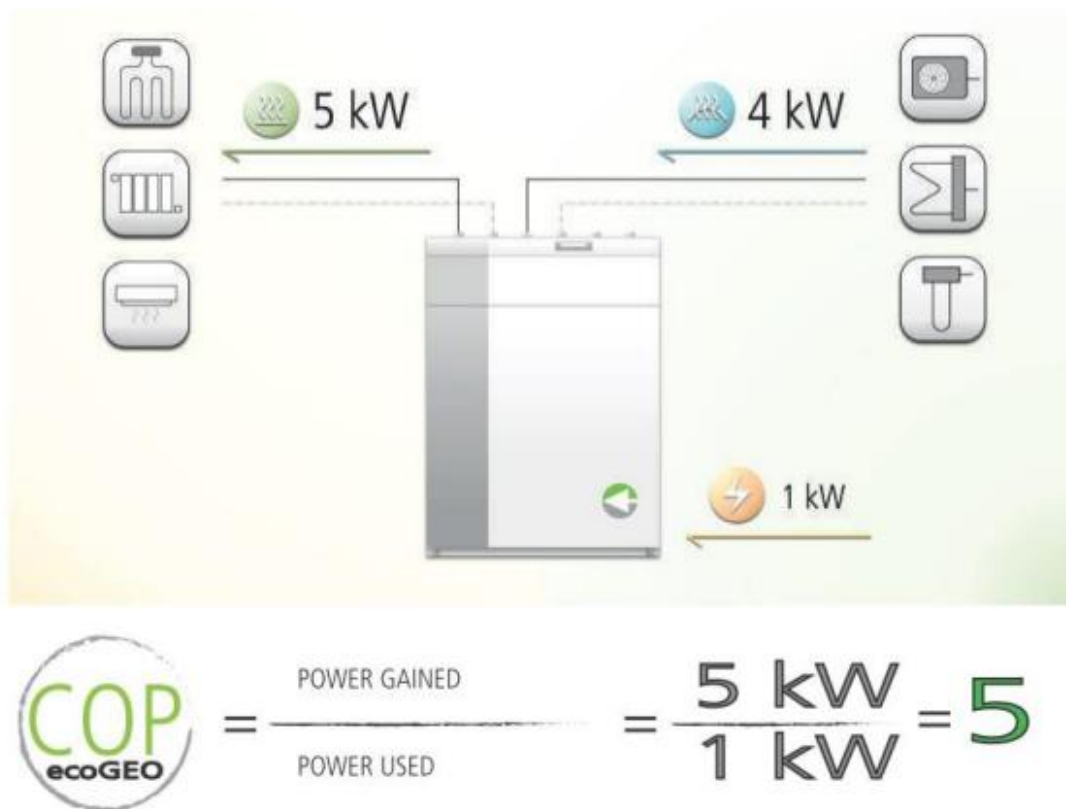
- Θερμοκρασία ψυχρού = 27 °C/ 19 °C WB
- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35 °C

Το COP και το EER σε συνθήκες Eurovent χαρακτηρίζουν την ποιότητα κατασκευής της αντλίας θερμότητας, αφού ο υπολογισμός τους αναφέρεται στις ίδιες συνθήκες για όλες τις αντλίες. Επειδή όμως, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας οι θερμοκρασίες δεν ισούνται με τις θερμοκρασίες που καθορίζονται στο πρότυπο Eurovent, ορίζεται και ο μέσος ή ετήσιος ειδικό βαθμός απόδοσης SCOP (για την θέρμανση) και το μέσο ή ετήσιο βαθμό ενεργειακής απόδοσης SEER (για

λειτουργία ψύξης) οι οποίοι είναι στην οι μέσοι βαθμοί απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας σε ετήσια λειτουργία.

Οι βαθμοί ετήσιας απόδοσης SCOP και SEER αποδίδουν την πραγματική κατανάλωση ενέργειας μιας αντλίας θερμότητας, με βάση την ενεργειακή της απόδοση για ένα έτος, δηλαδή μετρούν την ετήσια κατανάλωση ενέργειας και την απόδοση κατά την καθημερινή χρήση.

Σε βάθος χρόνου λαμβάνουν υπ' όψιν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τις περιόδους αδράνειας και δίνουν μια πιο αξιόπιστη τιμή για την τυπική ενεργειακή απόδοση την περίοδο θέρμανσης ή ψύξης. Στις σύγχρονες αντλίες θερμότητας συναντώνται τιμές COP και EER μεγαλύτερες του 3.0, με αποτέλεσμα να κατατάσσονται στις συσκευές αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 6.6 : Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας

(Πηγή: Αναστάσιος Ν. Στάθης Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Υπεύθυνος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)

6.3) ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Για τη λειτουργία μίας ΑΘ όπως περιγράφηκε παραπάνω, απαιτούνται κάποια βασικά λειτουργικά μέρη, τα οποία για μία ΑΘ εδάφους-νερού απεικονίζονται στην εικόνα 3.4.

• **Ψυκτικό Ρευστό:** Είναι το μέσο που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις του συστήματος και απορροφά θερμότητα μέσω της εξάτμισης σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση στον εξατμιστή. Στην συνέχεια εκλύει θερμότητα μέσω της συμπύκνωσης σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση στον συμπυκνωτή. Η διεργασία αυτή επιτυγχάνεται με την αλλαγή φάσης του ψυκτικού μέσου από υγρό σε αέριο στον εξατμιστή και από αέριο σε υγρό στον συμπυκνωτή. Τα ψυκτικά ρευστά ταξινομούνται σε κάποιες κατηγορίες ανάλογα με την χημική τους σύσταση. Ένα ψυκτικό μέσο που έχει ευρεία χρήση σε συστήματα αντλιών θερμότητας είναι το R407c, το σημείο βρασμού του σε πίεση μιας ατμόσφαιρας είναι -43,9 βαθμοί celsius. Για να μπορέσει να αξιοποιηθεί ένα ψυκτικό υγρό θα πρέπει να έχει καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες, δηλαδή να έχει μικρό ειδικό όγκο, υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, χαμηλή θερμοκρασία βρασμού, θετική πίεση εξάτμισης, σχετικά χαμηλή πίεση συμπύκνωσης και να είναι ασφαλές δηλαδή να μην είναι εύφλεκτο, τοξικό και ερεθιστικό.

• **Εξατμιστής:** Είναι η συσκευή που απορροφά την θερμότητα, δηλαδή είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, μέσω του οποίου μεταφέρεται θερμότητα στο ψυκτικό ρευστό από την πηγή θερμότητας (έδαφος, υπόγεια νερά, επιφανειακά νερά κ.λπ), έτσι το ψυχρό ψυκτικό έρχεται σε κατάσταση βρασμού. Η θερμοκρασία και η πίεση στη διαδικασία της εξάτμισης παραμένουν σταθερές. Στην περίπτωση του γεωεναλλάκτη το νερό κυκλοφορεί στο σύστημα της πηγής θερμότητας και μεταφέροντας την θερμότητα στον εξατμιστή. Το αέριο ψυκτικό ρευστό στην έξοδο του εξατμιστή πρέπει να είναι σε υπέρθερμη κατάσταση, για να μην υπάρχει κίνδυνος να εισαχθεί ψυκτικό ρευστό σε υγρή μορφή στο εσωτερικό του συμπιεστή.

• **Συμπιεστής:** Στον συμπιεστή εισέρχεται το ψυκτικό ρευστό μετά την έξοδο του από τον εξατμιστή ως υπέρθερμος ατμός όπου συμπιέζεται και αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεση του. Οι συμπιεστές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους χωρίζονται σε κατηγορίες: α)περιστροφικούς (rotary), β)παλινδρομικούς (reciprocating), γ)σπειροειδείς (scroll) δ)φυγοκεντρικούς (centrifugal) και ε)κοχλιωτούς (screw). Λόγω των λιγότερων κινούμενων μερών τους στις περισσότερες εφαρμογές κατοικιών χρησιμοποιούνται οι περιστροφικοί και σπειροειδείς συμπιεστές, επίσης δεν παρουσιάζεται πρόβλημα από την εισροή σταγόνων υγρού ψυκτικού ρευστού στην αναρρόφηση του

• **Συμπυκνωτής:** Στον συμπυκνωτή εισέρχεται το ψυκτικό ρευστό ως θερμό αέριο μετά την έξοδο από τον συμπιεστή. Σκοπός του συμπυκνωτή είναι η μεταφορά της θερμότητας από το ψυκτικό ρευστό στον αποδέκτη θερμότητας, για να γίνει αυτό θα πρέπει η θερμοκρασία συμπύκνωσης να είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του αποδέκτη θερμότητας. Στο συμπυκνωτή, το αέριο αποβάλλει θερμότητα,

συμπυκνώνεται σε υγρό ενώ η πίεση παραμένει σταθερή. Ο συμπυκνωτής χωρίζεται σε τρεις ζώνες: αυτές είναι 1η) την ψύξη του υπέρθερμου ατμού στην θερμοκρασία συμπύκνωσης, 2η) τη συμπύκνωση 3η) την υπόψυξη, όπου το ψυκτικό ρευστό ψύχεται περαιτέρω προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση φυσαλίδων πριν την βαλβίδα εκτόνωσης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το συνολικό ποσό θερμότητας που μεταφέρεται από τον συμπυκνωτή στον αποδέκτη θερμότητας είναι αριθμητικά ίσο με το άθροισμα του ποσού θερμότητας που απορροφά ο εξατμιστής από την πηγή θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ο συμπιεστής. $Q = Q_s = Q_e + W$

- **Βαλβίδα Εκτίμησης:** Είναι ουσιαστικά μια βαλβίδα στραγγαλισμού που εκεί εισέρχεται το ψυκτικό ρευστό ως υγρό μετά τον συμπυκνωτή, και έχει σκοπό να διατηρήσει τη διαφορά πίεσης μεταξύ των περιοχών υψηλής και χαμηλής πίεσης του ψυκτικού κύκλου, δηλαδή ρυθμίζει τη ροή του ψυκτικού ρευστού από τον συμπυκνωτή στον εξατμιστή. Στη βαλβίδα εκτόνωσης, η πίεση του ψυκτικού μέσου μειώνεται και ένα μέρος του γίνεται αέριο. Προκειμένου αυτό το αέριο να εξατμιστεί, παίρνει θερμότητα από το υπολειπόμενο υγρό με αποτέλεσμα την απότομη πτώση της θερμοκρασίας και της πίεσης του ρευστού (υγρού και αερίου). Στις περισσότερες αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται θερμοστατικές βαλβίδες εκτόνωσης, οι οποίες έχουν καλές ιδιότητες ελέγχου.

- **Πρεσοστάτης χαμηλής ίεσης:** Εξασφαλίζει ότι η πίεση στην πλευρά χαμηλής πίεσης του κυκλώματος δεν μειώνεται κάτω από τα επιθυμητά όρια. Επίσης λειτουργεί και ως μέσο παύσης λειτουργίας της λειτουργίας της ΑΘ.

- **Πρεσοστάτης υψηλής πίεσης:** αποτρέπει την ύπαρξη υπερβολικών πιέσεων στην πλευρά υψηλής πίεσης του κυκλώματος.

- **Ξηραντήρας:** Συμβάλει στην κατακράτηση της υγρασίας από το ψυκτικό ρευστό, ενώ η χρήση του δείκτη ροής βοηθά στον έλεγχο της πλήρους συμπύκνωσης του ψυκτικού ρευστού που οδηγείται στην βαλβίδα εκτόνωσης.

- **Τετράοδη βαλβίδα :** Αντιστρέφει την κατεύθυνση του ψυκτικού ρευστού με αναστροφή του κύκλου από θέρμανση σε ψύξη ή αντίστροφα ώστε να χρησιμοποιείται είτε για θέρμανση είτε για ψύξη.

6.4) ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Γενικά Για τις εφαρμογές των γεωθερμικών συστημάτων στη χώρα μας ισχύει ο ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 4602 « Έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού της Χώρας, σύσταση Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, ιδιοκτησιακός διαχωρισμός δικτύων διανομής φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις» . «Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων ψύξης μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό» η απόφαση αυτή ισχύει για τα κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κλειστού

κυκλώματος και καθορίζει τους απαιτούμενους όρους, προϋποθέσεις και δικαιολογητικά για την εγκατάστασή τους.

6.5) ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΨΥΞΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Τα συστήματα ψύξης προϊόντων δηλαδή τα κοινά σε όλους ψυγεία δεν είναι παρά μια αντίο θερμότητας όπως είναι και τα κλιματικά, και όπως όλες οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με βάση τον ψυκτικό κύκλο.

Η λειτουργία του ψυγείου είναι βασισμένη στην κυκλοφορία του ψυκτικού ρευστού μέσα σε ένα κλειστό κύκλωμα. Το ψυκτικό σε μορφή υγρού περνάει από την βαλβίδα εκτόνωσης και «ψεκάζεται» με δύναμη προς τις εσωτερικές σωληνώσεις, έτσι μειώνεται η πίεση του, αυξάνοντας τον όγκο και ελαττώνοντας τη θερμοκρασία του .

Στο εσωτερικό του ψυγείου, η διαδρομή του γίνεται στους σωλήνες που βρίσκονται μέσα στα τοιχώματα του ψυγείου. Εκεί, η θερμότητα μεταφέρεται από τα θερμότερα σώματα στα ψυχρότερα, το ψυκτικό υγρό απορροφά ενέργεια από τα τρόφιμα και η θερμοκρασία του αυξάνεται και έτσι γίνεται αέριο. Φυσικά, τα τρόφιμα αφού χάνουν θερμότητα, ψύχονται!

Στη συνέχεια, το ψυκτικό φθάνει στον συμπιεστή ο οποίος το συμπιέζει, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεσή του, μετατρέποντάς το σε υψηλής πίεσης αέριο.

Έπειτα το ψυκτικό αέριο περνά από λεπτές σωληνώσεις που βρίσκονται στο εξωτερικό μέρος της πλάτης του ψυγείου. Λόγω του φαινομένου Joule, εκπέμπεται θερμότητα προς το περιβάλλον και έτσι μειώνεται η θερμοκρασία του και γίνεται πάλι υγρό.

Τέλος το ψυκτικό που είναι υγρό φθάνει πάλι στην βαλβίδα εκτόνωσης κλείνοντας έτσι τον κύκλο και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.



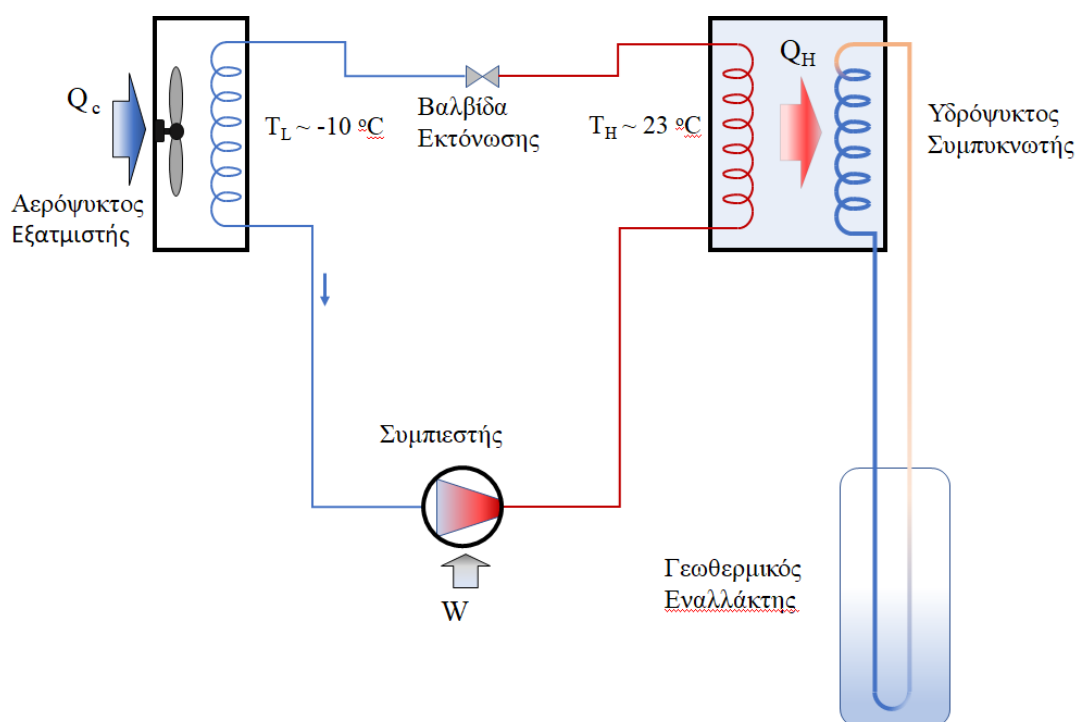
Εικόνα 6.7 : Απεικόνιση κυκλώματος ψύξης

(Πηγή: <https://engineerx.decorexpro.com/el/tech/xolodilniki/termoregulyator-dlya-xolodilnika.html>)

Η συγκεκριμένη ενεργειακή παρέμβαση, αφορά στην τροποποίηση του συστήματος ψύξης των προϊόντων της παραγωγικής μονάδας του συνεταιρισμού, με στόχο τη μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό, θα γίνει εφαρμογή κλειστού συστήματος αβαθούς γεωθερμίας, για απόρριψη θερμότητας στο υπέδαφος, αντί στον αέρα που γίνεται σήμερα.

Βασική επιδίωξη της παρέμβασης, είναι η μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας λειτουργίας του ψυκτικού συστήματος με ταυτόχρονη αύξηση του συντελεστή ψυκτικής ικανότητας EER, με άμεση επίδραση στην καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Στο υφιστάμενο σύστημα οι συνθήκες λειτουργίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του ψυκτικού συγκροτήματος, είναι θερμοκρασία εξάτμισης $T_c = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ και συμπύκνωσης $T_H = +45\text{ }^{\circ}\text{C}$, αποδίδοντας συντελεστή ψυκτικής ικανότητας $EER=2$



Σχήμα6.1: Λειτουργία του νέου συστήματος ψύξης με γεωθερμία

Η τροποποίηση θα γίνει αντικαθιστώντας τους αερόψυκτους συμπυκνωτές με υδροψυκτους για να μπορέσει το σύστημα να συνδεθεί με τον γεωεναλλάκτη, έτσι

ώστε ο χώρος απόρριψης θερμότητας να είναι το υπέδαφος με σχετικά σταθερή χαμηλή θερμοκρασία που κυμαίνεται από 15-20 βαθμούς κελσίου.

Διασφαλίζοντας σταθερά χαμηλή θερμοκρασία απόρριψης θερμότητας, υπάρχει η δυνατότητα:

- Μείωση θερμοκρασίας λειτουργίας του συμπυκνωτή
- Χαμηλότερη συμπίεση
- Μείωση χρόνου λειτουργίας των συμπιεστών, με το ίδιο ψυκτικό αποτέλεσμα
- Αύξηση ψυκτικής ικανότητας, EER

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο “ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ”

7.1) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Στην βιομηχανία έχουμε αποφασίσει να εγκαταστήσουμε έναν κάθετο εναλλάκτη, διότι σε μεγάλα βάθη η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή για όλη την διάρκεια του χρόνου και ισούται με την μέση τιμή των χειμερινών και θερινών μέσων θερμοκρασιών στην ατμοσφαίρα. Επίσης παρόλο που οι οριζόντιοι ανάλλακτες έχουν πιο εύκολη εγκατάσταση, έχουν παραίτηση μεγάλης επιφάνειας έκτασης όπου στην περίπτωση μας στις εγκαταστάσεις της βιομηχανίας δεν έχουμε μεγάλη επιφάνεια χώρου που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, ενώ για την εγκατάσταση κάθετου γεωεναλλάκτη δεν χρειάζεται μεγάλη επιφάνειά.

Η μελέτη για την κάλυψη των αναγκών της βιομηχανίας σε θερμαστή και ψύξη με γεωθερμική αντλία θερμότητάς απαιτεί τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης, την ισχύ της αντλίας θερμότητάς, την διάμετρο και τα υλικά των σωληνώσεων.

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ASHRAE (American Society of Heating , Refrigerating and Air Conditioning Engineers)

- **Μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος (Q_a):**

$$Q_a = \frac{C_{fc} * Q_{lc} * EFL_{hoursc}}{T_a} \quad (7.1)$$

Όπου:

- Q_{lc} είναι το ονομαστικό ψυκτικό (με αρνητικό πρόσημο) φορτίο της βιομηχανίας σε Btu/h
- EFL_{hoursc} είναι οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης
- C_{fc} είναι διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με το COP ψύξης
- T_a είναι το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες δηλαδή 8.760h

- **Ισοδύναμες ώρες ψύξης (EFL_{hoursc}):**

Είναι ο αριθμός των ωρών που θα λειτουργούσε σε πλήρες φορτίο λειτουργίας, για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης για ένα έτος.

$$EFL_{\text{hoursc}} = \frac{Ec}{Q_{lc}} = \frac{73.752}{150} = 491,68 \text{ h} \quad (7.2)$$

Όπου:

- Q_{lc} είναι το ονομαστικό ψυκτικό (με αρνητικό πρόσημο) φορτίο της βιομηχανίας σε Btu/h
- Ec είναι οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας ψύξης.

Όπως αναφέραμε και νωρίτερα οι διορθωτικοί συντελεστές επιλέγονται με βάση τους συντελεστές COP και προκύπτουν από το παρακάτω πίνακάκι:

Πίνακας 7.1: Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας	
EER (ψύξη)	C _{fc}
3	1,31
3,5	1,26
4	1,23
4,5	1,2

Τα δεδομένα από την βιομηχανία είναι τα παρακάτω:

$$Q_{lc} = -150 \text{ k W} = -511.821,00 \text{ Btu/h}$$

$$EFL_{\text{hoursc}} = 73.752 \text{ kWh} / 150 \text{ k W} = 491,68 \text{ h}$$

$$C_{fc} = 1,31$$

Από την σχέση (1) προκύπτει:

$$Q_a = \frac{1,31 * (-511.821 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}) * 491,68 \text{ h}}{8.760 \text{ h}} \Leftrightarrow Q_a = -37.168 \text{ Btu/h} = -11,183 \text{ k W}$$

$$Q_{lc} = \dot{m} C_v (t_{wi} - t_{wo}) \quad (7.3)$$

Όπου:

- \dot{m} είναι η παροχή μάζας του νερού μέσα στους σωλήνες
- $C_v = 4,184 \text{ KJoule}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού
- T_{wi} είναι η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εναλλάκτη
- T_{wo} είναι η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον εναλλάκτη.
- $|t_{wi} - t_{wo}|$ η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας

$$\text{Άρα } Q_{lc} = \dot{m} C_v (t_{wi} - t_{wo}) \Leftrightarrow \dot{m} = \frac{Q_{lc}}{C_v * (t_{wi} - t_{wo})} \Leftrightarrow \dot{m} = 7,17 \text{ kg/sec}$$

Για να βρούμε την διάμετρο της σωλήνωσης του εναλλάκτη θα χρειαστεί να υπολογίσουμε και την παροχή όγκου με βάση την παροχή μάζας από τον τύπο :

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (7.4)$$

$$(6) \Leftrightarrow V = \frac{7,17 \text{ kg/sec}}{1.000 \text{ kg/m}^3} \Leftrightarrow V = 0,0071 \text{ m}^3/\text{sec} = 0,71 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}$$

•Παροχή όγκου ανά γεώτρηση = παροχή όγκου / (αριθμός γεωτρήσεων)

$$= \frac{0,71 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{s}}{25} = 0,00028 \text{ m}^3 / \text{s}$$

•Έχουμε επιλέξουμε 2 βρόγχους σε κάθε γεώτρηση άρα η συνολική παροχή θα μοιραστεί σε 4 εναλλάκτες, 2 προσαγωγή του ρευστού και 2 επιστροφή:

Παροχή όγκου σε κάθε βρόγχο= παροχή όγκου / (αριθμός γεωτρήσεων*2) = $0,71 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec} / (25 \cdot 2) = 0,00014 \text{ m}^3 / \text{s}$

•Παροχή μάζας ανά γεώτρηση = Παροχή μάζας / αριθμός γεωτρήσεων = $7,17 \text{ kg/sec} / 25 = 0,287 \text{ kg/s}$

•Παροχή μάζας σε κάθε βρόγχο = παροχή μάζας / (αριθμός γεωτρήσεων *2) = $7,17 \text{ kg/sec} / 50 = 0,143 \text{ kg/sec}$

Από την παρακάτω σχέση επιλέγεται η Διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής στην κάθε γεώτρηση να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec. Η συνολική παροχή όγκου θα διαμοιραστεί στις γεωτρήσεις που θα διανοιχτούν και στους βρόγχους που θα εγκατασταθούν σε κάθε γεώτρηση.

$$V = u A \Leftrightarrow V = u \frac{\pi D^2}{4} \Leftrightarrow u = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (7.5)$$

Πίνακας 7.2: διάμετροι σωλήνωσης

Τύπος	Υλικό	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	Θερμική αγωγιμότητα (W/(m.K))	Θερμική αντίσταση ((K.m)/W)
PE DN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,0	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32,0	2,0	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40,0	2,3	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50,0	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20,0	2,0	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32,0	3,0	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40,0	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50,0	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4"	Πολυαιθυλένιο	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1"	Πολυαιθυλένιο	33,4	3,0	0,42	0,075
SDR-11 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2"	Πολυαιθυλένιο	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13 1"	Πολυαιθυλένιο	28,6	2,2	0,22	0,121
SDR-13 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54,0	4,0	0,22	0,116

Έστω ότι επιλεγούμε σωλήνωση τύπου PEDN40 PN12 η διάμετρο $D_i=32\text{mm}$, άρα η εσωτερική διάμετρος θα είναι :

$$D_i=32\text{mm} - 2 \cdot 3 = 26\text{mm} = 0,026 \text{ m} = 0,085 \text{ ft}$$

Άρα υπολογίζουμε και την ολική ταχύτητα ροής:

$$u = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,71 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}}{\pi \cdot 0,026^2} \Leftrightarrow u = 13,4 \text{ m/sec}$$

και ο υπολογισμός της ταχύτητας ροής σε κάθε γεώτρηση είναι:

$$u = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 * 0,0003 \text{ m}^3 / \text{s}}{\pi * 0,026^2} \Leftrightarrow u = 0,56 \text{ m /sec}$$

•Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη

Υπολογίζεται με την παρακρατώ εξίσωση:

$$L_c = \frac{Qa * R_{ga} + (C_{fc} * q_{lc}) * (R_b + PLF_m * R_{gm} + R_{gd} * F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p} \quad (7.6)$$

Όπου:

- R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} είναι οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλτό αντίστοιχα (σε hft°F/Btu)
- R_b συμβολίζει την θερμική αντίσταση των σωληνώσεων της γεώτρησης σε hft°F/Btu
- PLF_m είναι ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου
- F_{sc} συμβολίζει τον συντελεστή θερμικών απωλειών των σωληνώσεων
- t_g θερμοκρασία εδάφους σε βαθμούς °F
- t_{wi} είναι η θερμοκρασία που εισέρχεται το υγρό στη γεωθερμική αντλία σε βαθμούς °F
- t_{wo} : η θερμοκρασία που εξέρχεται το υγρό από τη γεωθερμική αντλία σε βαθμούς °F
- t_p συμβολίζει τον διορθωτικό συντελεστή της θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων σε βαθμούς °F

•Υπολογισμός των θερμικών αντιστάσεων του εδάφους:

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{kg} \quad (7.7)$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{kg} \quad (7.8)$$

$$Rgd = \frac{G_2}{kg} \quad (7.9)$$

Όπου:

- k_g θερμική αγωγιμότητα εδάφους σε Btu/(h*ft*°F)
- G_1, G_2, G_f είναι συντελεστές που προκύπτουν από την παρακάτω σχέση :

$$G_i = 0,0769 * \ln(F_{oi}) + 0,0901 \quad (7.10)$$

Όπου $F_{oi}, i=1,2,f$ αδιάστατοι αριθμοί Fourier

Έχει αποδειχθεί ότι ο αδιάστατος αριθμός Fourier σχετίζεται με τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους :

$$F_o = \frac{4 * a_g * \tau}{d^2} \quad (7.11)$$

- a_g είναι η θερμική διαχυτότητα του εδάφους σε $ft^2/ημέρα$
- τ είναι κλίμακα χρόνου που επιδρά η θερμοκρασία του εδάφους από τον εναλλάκτη σε ημέρες
- d εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης σε ft.

Συμφώνα με τον παρακάτω πίνακα της ASHRAE επιλεγούμε την θερμική αγωγιμότητα k_g και διαχυτότητα a_g του εδάφους.

Πίνακας 7.2: Θερμική Αγωγιμότητα K_g Και Διαχυτότητα A_g Του Εδάφους

Rock Type	% ¹ Occurrence in Earth's Crust	k - All ² Ther. Con. Btu/h·ft ² ·°F	K - 80% ³ Ther. Con. Btu/h ft ² ·°F	c _p Spec. Heat Btu/lb·°F	ρ Density lb/ft ³	α (k/ρ c _p) Ther. Diff. ft ² /day
Igneous Rocks						
Granite (10% Quartz)	10.4	1.1—3.0	1.3-4.9	0.21	165	0.9-4.3
Granite (25% Quartz)			1.5-2.1			1.0-1.4
Amphibolite	42.8	1.1-2.7	1.5-2.2	0.12	175-195	1.1-4.7
Andesite		0.8-2.8	0.9-4.4			
Basalt		1.2-1.4		0.17-0.21	180	0.7-0.9
Gabbro (Cen. Plains)		0.9-1.6		0.18	185	0.65-1.15
Gabbro (Rocky Mtns.)	11.2	1.2-2.1		0.22	180	0.85-1.5
Diorites		1.2-1.9	1.2-4.7			
Grandiorites		1.2-2.0		0.21	170	0.8-4.3
Sedimentary Rocks						
Claystone		1.1-4.7				
Dolomite		0.9-3.6	1.6-3.6	0.21	170-475	1.1-2.3
Limestone		0.8-3.6	1.4-2.2	0.22	150-475	1.0-4.4
Rock Salt		3.7		0.20	130-435	
Sandstone	1.7	1.2-2.0		0.24	160-470	0.7-4.2
Siltstone		0.8-1.4				
Wet Shale (25% Qtz.)	4.2	0.6-2.3	1.0-4.8	0.21	130-165	0.9-1.2
Wet Shale (No Qtz.)			0.6-0.9			0.5-0.6
Dry Shale (25% Qtz.)			0.8-4.4			0.7-1.0
Dry Shale (No Qtz.)			0.5-0.8			0.45-0.55
Metamorphic Rocks						
Gneiss	21.4	1.0-3.3	1.3-2.0	0.22	160-175	0.9-1.2
Marble	0.9	1.2-3.2	1.2-1.9	0.22	170	0.8-1.2
Quartzite		3.0-4.0		0.20	160	2.2-3.0
Schist	5.1	1.2-2.6	1.4-2.2		170-200	
Slate		0.9-4.5		0.22	170-475	0.6-0.9

Με βάση τα δεδομένα του εδάφους στην περιοχή της βιομηχανίας επιλεγούμε $a_g = 1 \text{ ft}^2/\text{ημέρα}$ και $k_g = 1,2 \text{ Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft} \cdot \text{°F})$

•Είναι γεγονός πως υπάρχουν επιπτώσεις στην θερμοκρασία του εδάφους λόγω της ύπαρξης του γεωεναλλάκτη, αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να είναι μακροπρόθεσμες, ετήσιας επίδρασης και βραχυπρόθεσμης επίδρασης. Πρέπει να ληφθούν υπόψη και να υπολογιστούν αυτές οι τρεις χρονικές επιδράσεις για να υπολογιστεί σωστά το απαραίτητο μήκος σωληνώσεων.

- Επιλεγούμε ένα δεκαετή παλμό των 3.650 ημερών, με $\tau_1 = 3.650$ ημέρες
- Ένα μηνιαίο παλμό των 30 ημερών, με $\tau_2 = 3.650 + 30 = 3.680$ ημέρες
- Και ένα ημερήσιο παλμό του 25% της ημέρας (6 ώρες), με $\tau_f = 3.650 + 30 + 0,25 = 3.680,25$ ημέρες

Υπολογίζουμε τον αριθμό Fourier για τις τρεις περιπτώσεις :

$$F_{o1} = \frac{4 \cdot a_g \cdot (\tau_f - \tau_1)}{d^2} = \frac{4 \cdot a_g \cdot (\tau_f - \tau_1)}{d^2} = \frac{4 \cdot 1 \cdot (3.680,25 - 3.650)}{0,085^2 \text{ ft}} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 30,25}{0,085^2 \text{ ft}} = 16.747$$

$$F_{o2} = \frac{4 \cdot a_g \cdot (\tau_f - \tau_2)}{d^2} = \frac{4 \cdot 1 \cdot (3.680,25 - 3.680)}{0,085^2 \text{ ft}} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 0,25}{0,085^2 \text{ ft}} = 138$$

$$F_{of} = \frac{4 * a_g * \tau f}{d^2} = \frac{4 * 1 * 3.680,25}{0,085^2 ft} = 2.189.321$$

Υπολογίζουμε τα G_1, G_2, G_f και τα R_{ga}, R_{gm}, R_{gd}

Από την σχέση $G_i = 0,0769 * \ln(F_{oi}) + 0,0901$ (7.12)
προκύπτουν:

$$G_1 = 0,84$$

$$G_2 = 0,46$$

$$G_f = 1,21$$

Και από τις σχέσεις :

$$(9) \Rightarrow R_{ga} = \frac{1,2 - 0,84}{1,2 \text{ Btu}/(\text{h} * \text{ft} * ^\circ\text{F})} = 0,30 (\text{h} * \text{ft} * ^\circ\text{F}) / \text{Btu}$$

$$(10) \Rightarrow R_{gm} = \frac{0,84 - 0,46}{1,2 \text{ Btu}/(\text{h} * \text{ft} * ^\circ\text{F})} = 0,32 (\text{h} * \text{ft} * ^\circ\text{F}) / \text{Btu}$$

$$(11) \Rightarrow R_{gd} = \frac{0,46}{1,2 \text{ Btu}/(\text{h} * \text{ft} * ^\circ\text{F})} = 0,38 (\text{h} * \text{ft} * ^\circ\text{F}) / \text{Btu}$$

•Επειδή στην βιομηχανία χρησιμοποιούνται ψυγεία που είναι σε λειτουργεί όλη την διάρκεια της ημέρας για την διατήρηση των αγροτικών προϊόντων , θεωρούμε ότι ο συμπιεστής λειτουργεί στο 40% του χρόνου και επτά ημέρες την εβδομάδα.

Άρα ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου είναι:

$$PLF_m = 0,40 * (7/7) = 0,4$$

•Υπολογισμός θερμικής αντίστασης σωλήνωσης – γεώτρησης R_b :

Με βάση τους παρακάτω πίνακες της ASHRAE θα βρούμε την θερμική αντίσταση της σωλήνωσης η οποία προκύπτει από το είδος του υλικού και το πάχος της σωληνώσεις και του είδους του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης . Και ορίζεται ως η αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το ρευστό που βρίσκεται εντός του εναλλάκτη προς το έδαφος δια μέσω της σωλήνωσης και της γεώτρησης:

Μετατροπές μονάδων :

$$1 \text{ gallon} = 3,785 \text{ lt}$$

$$1 \text{ gpm} (\text{gallon per minute}) = 3,785 * 10^{-3} / 60 \text{ sec}$$

$$1 \text{ gpm} = 0,0631 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

Πίνακας 7.3: Θερμικοί αντίσταση σωλήνωσης σε $\text{hft}^\circ\text{F}/\text{Btu}$

Διάμετρος σωλήνωσης τύπου U	SDR	Παροχή νερού άνω των 2 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 3 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 5 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 10 gpm
3/4 in	SDR 11	0,09	0,12	-	-
	SDR 9	0,11	0,15	-	-
	SDR 40	0,10	0,14	-	-
1 in	SDR 11	0,09	0,14	0,10	-
	SDR 9	0,11	0,15	0,12	-
	SDR 40	0,10	0,16	0,11	-
1-1/4 in	SDR 11	0,09	0,15	0,12	0,09
	SDR 9	0,11	0,17	0,15	0,11
	SDR 40	0,09	0,15	0,12	0,09
1-1/2 in	SDR 11	0,09	0,16	0,15	0,09
	SDR 9	0,11	0,18	0,17	0,11
	SDR 40	0,08	0,14	0,14	0,08

Πίνακας 7.4: Διόρθωση θερμικής αντίστασης
(με κίτρινο δεν συνίσταται)

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

Πίνακας 7.5: Θερμική αγωγιμότητα υλικών πλήρωσης γεωτρήσεων με βάση την ASHRAE

Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h·ft·°F))	Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (W/(m·K))
20% μπετονίτης	0,42	Αμμοχάλικο ξηρό	0,4
30% μπετονίτης	0,43	Νερό στάσιμο	0,6
Τσιμέντο	0,40 - 0,45	Μπετονίτης 10%, νερό	0,7
Σκυρόδεμα 130/150 lb/ft ³	0,60 - 0,80	Μπετονίτης/ τσιμέντο/ άμμος 9/9/20%, νερό	0,7 - 0,8
Σκυρόδεμα 50% χαλαζιακή άμμος	1,10 -1,70	Υγρή άμμος	1,0
20% μπετονίτης - 40% χαλαζίτης	0,85	Παγωμένος μπετονίτης 10%	1,4
30% μπετονίτης - 30% χαλαζίτης	0,70 - 0,75	Μπετονίτης/ χαλαζίτης 12/50%, νερό	1,5
30% μπετονίτης - 30% σιδηρομετάλλευμα	0,45	Χαλίκι, νερό	1,8
60% χαλαζίτης - τέφρα - άμμος	1,07	Πάγος	2,3
		Τσιμέντο/ άμμος 27%/58%, νερό	2,4
		Χαλαζίτης, νερό	2,4- 2,7
		Τσιμέντο/ γραφίτης	2,0

Σύμφωνα με τον πίνακα και για την σωλήνωση που έχουμε επιλέξει PEDN40 PN12 και για την παροχή νερού επιλέγεται θερμική αντίσταση 0,09 (h * ft * °F)/ Btu.

Επίσης από τον πίνακα για αγωγιμότητα εδάφους 1,3 Btu/(h * ft * °F) και αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης 0,42 Btu/(h * ft * °F) που είναι 20% μπετονίτης επιλέγεται διόρθωση θερμικής αντίστασης 0,09 (h * ft * °F)/ Btu.

Άρα από το άθροισμα των παραπάνω θερμικών αντιστάσεων προκύπτει:

$$R_b = 0,12(h * ft * °F) / Btu.$$

•Θερμική αγωγιμότητα υλικών πλήρωσης γεώτρησης

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc} των σωληνώσεων που υποδηλώνει την θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση , τον υπολογίζουμε με βάση τον παρακάτω πίνακα της ASHRAE:

Πίνακας 7.6: Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}

Παροχή ανα σωλήνωση	Αριθμός βρόγχων ανά γεώτρηση(Fsc)		
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

Συμφώνα με το πινακάκι για παροχή όγκου που έχουμε και για δυο βρόγχους ανά γεώτρηση έχουμε Fsc ίσο με 1,03

•Θερμοκρασία εδάφους:

Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία του εδάφους εξαρτάται από τη γεωγραφική περιοχή της Μελέτης. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 5m, και έχουν μηδενική επίδραση κάτω των 31m.

Στα 2m βάθους η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια του χρόνου. Για όλα αυτά παίζουν ρολό και οι θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους.

Από τη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται για το υπέδαφος της Ελλάδας μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με $67^{\circ}\text{F} = 19,4^{\circ}\text{C}$.

(Μετατροπές μονάδων : $\Theta(^{\circ}\text{C}) = [\Theta(^{\circ}\text{F}) - 32] \cdot 5/9$.)

Για την περιοχή της μελέτης μας έχουμε επιλέξει $65^{\circ}\text{F} = 18,33^{\circ}\text{C}$

•Θερμοκρασία εισόδου-εξόδου υγρού:

Με την τροποποιεί του συστήματος ψύξης των προϊόντων έχουμε πτυχή η θερμοκρασία συμπύκνωσης από 40°C να μειωθεί, και να είναι 5°C βαθμούς πάνω από την θερμοκρασία του εδάφους δήλωση 23°C . Σύμφωνα με τον κατασκευαστή η θερμοκρασίας εξάτμισης είναι στου -10°C οπότε η διάφορα θερμοκρασίας έχει μειωθεί από τους 50°C στους 33°C .

•Υπολογισμός συντελεστή tr :

Για τον σωστό υπολογισμό του βάθους της γεώτρησης δίνεται μεγάλη προσοχή στην εκτίμηση του συντελεστή tr. Ο συντελεστής αυτός μας δείχνει την μακροπρόθεσμη

αλλαγή θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Πίνακας 7.7: Συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας εδάφους με βάση την ASCRAEI

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

Τα συμπεράσματα από τον πίνακα είναι τα εξής:

Για θερμική αγωγιμότητα $K_g = 1,2$ Btu/ (h *ft*°F) , $t_g = 65^\circ\text{F}$, ισοδύναμες ώρες θέρμανσης & ψύξης 0 & 2.000 και απόσταση γεωτρήσεων 20ft, επιλέγεται συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας εδάφους $t_p = 10,4^\circ\text{F}$.

Έχοντας υπολογίσει όλες τις τιμές που χρειαζόμαστε υπολογίζουμε την εξίσωση να βρούμε το απαιτούμενο βάθος του κάθετου εναλλάκτη :

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

$$L_c = \frac{-11.183 * 0,30 - 1,31 * 511.821 * (0,12 + 0,4 * 0,32 + 0,38 * 1,03)}{65 - \frac{104 - 73,2}{2} - 10,4} \Leftrightarrow$$

$$L_c = 14.206 \text{ ft} = 4.330 \text{ m}$$

Επειδή έχουμε επιλέξει διπλό βρόγχο σε κάθε γεώτρηση το συνολικό βάθος θα μειωθεί στα 2.165 m.

Διότι η κάθε γεώτρηση μπορεί να είναι το πολύ μέχρι 100 m έχουμε επιλέξει να γίνουν 25 γεωτρήσεις:

$$\text{Βάθος κάθε γεώτρησης: } \frac{2.165}{25} = 86,6 \text{ m}$$

7.2) Πτώση πίεσης στο υδραυλικό δίκτυο:

Στο σημείο αυτό πρέπει να επιλέξουμε την κατάλληλη αντλία νερού και να υπολογίσουμε τις απώλειες πίεσης του γεωεναλλάκτη.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυόμενης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των ιδιοτήτων του στις μεταφορά θερμότητας.

Για τον υπολογισμό των συνολικών απωλειών αθροίζουμε τα παρακάτω:

- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή 0,05bar
- Τοπικές απώλειες πίεσης του συστήματος ψύξης με τυπική τιμή 0,3bar
- Τοπικές απώλειες λόγω λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2 bar
- Γραμμικές απώλειες πίεσης γεωεναλλάκτη: 2,1bar

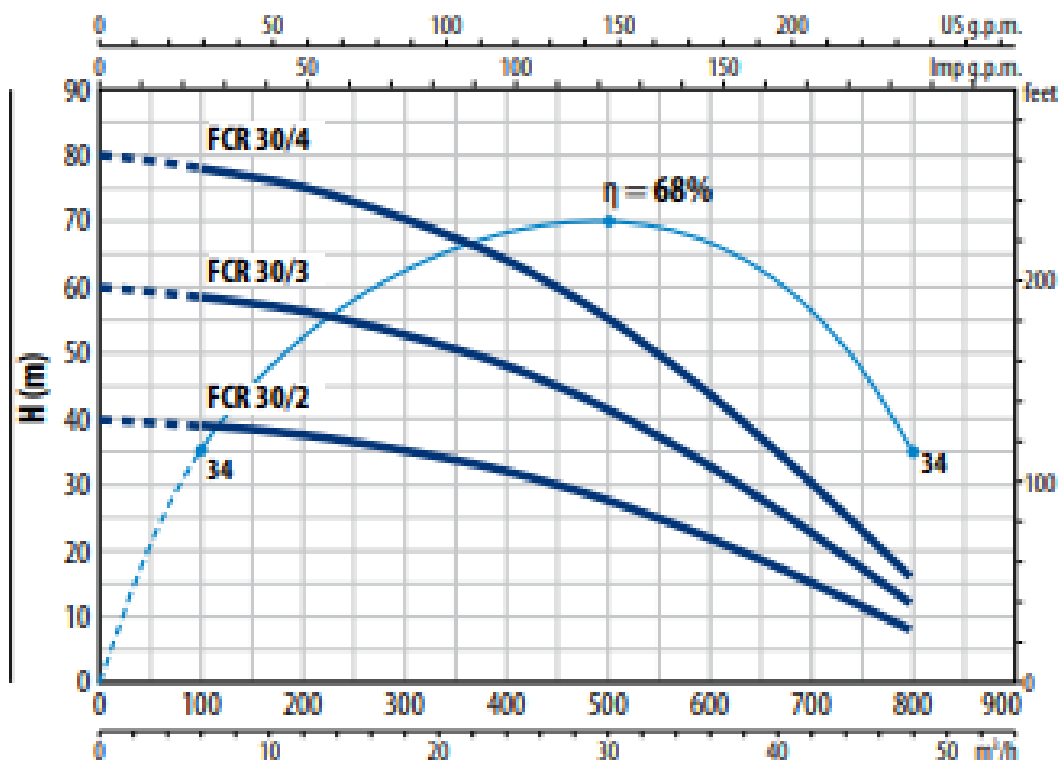
Οι συνολικές απώλειες πίεση στο δίκτυο είναι :
2,65 bar = 27 m H₂O

Οι απώλειες πίεσης ανά 100 μέτρα σωλήνωσης ,όσον αφορά το τμήμα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας για παροχή ρευστού: 0,17 kg/sec και $d_{in}=0,026\text{mm}$ θα είναι: $\Delta P/100\text{m}=0,1\text{bar}$.

Επειδή οι σωληνώσεις στις 25 γεωτρήσεις είναι παράλληλες ,η πτώση πίεσης υπολογίζεται για το σύνολο των γεωτρήσεων. Το μήκος του κάθε εναλλάκτη θα είναι $4.330/2=2.165 \text{ m}$. Το διπλάσιο του βάθους γεώτρησης.

Έτσι οι γραμμικές απώλειες πτώσης πίεσης θα είναι: $0,1*2.165 /100=2,1\text{bar}$.

Άρα για παροχή $Q = 25,8 \text{ m}^3/\text{h}$ και για απώλειες πίεσης $2,65 \text{ bar} = 27 \text{ mH}_2\text{O}$ επιλεγούμε την αντλία FCR30 με ισχύ 4 kW



Εικόνα 7.1: Διάγραμμα παροχής- πτώσης πίεσης
(Πηγή: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας FCR30 εταιρίας Pedrollo)

7.3) Δοχείο διαστολής

Όλα τα κλειστά συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιούν δοχείο διαστολής. Το δοχείο διαστολής είναι ένα μικρό δοχείο που σκοπό έχει να απορροφά την αύξηση πίεσης του νερού και έτσι να διατηρεί την πίεση του δικτύου σε αποδεκτά όρια. Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη για να μην δημιουργούνται υπό πίεσεις με συνέπεια την δημιουργία ατμών, επίσης αναπληρώνει νερό που χάνεται λόγω μικροδιαρροών και έτσι αποτρέπει η σπυλαίωση στην αναρρόφηση των κυκλοφορητών.

όγκος του δοχείου διαστολής προκύπτει από :

$$V_t = V_s * \frac{\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma} - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)} \quad (7.13)$$

Όπου :

- $V_t (m^3)$ είναι ο όγκος του δοχείου διαστολής
- $V_s (m^3)$ είναι ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση
- $t_1=0$ ο C είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου
- $t_2= 50$ ο C είναι η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου
- P_1 (kPa) είναι η χαμηλότερη πίεση του δικτύου
- P_2 (kPa) είναι η υψηλότερη πίεση του δικτύου
- $v_1 (m^3/kg)$ είναι ο ειδικός όγκος του νερού στην χαμηλότερη θερμοκρασία
- $v_2 (m^3/kg)$ είναι ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία

Ο υπολογισμός του όγκου του νερού της εγκατάστασης γίνεται αθροίζοντας τον όγκο των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλαχτεί και τον όγκο στις σωληνώσεις του οριζοντίου συστήματος. Με βάση ότι οι σωληνώσεις είναι απλοί κύλινδροι υπολογίζουμε:

$$V_{\gamma.\epsilon\nu} = 4 * L_{\gamma.\epsilon\nu} * \frac{\pi * d_{in}^2}{4} = 4 * 2.165 * \frac{\pi * 0,026^2}{4} = 5 \text{ m}^3$$

$$V_{\epsilon\nu.\delta} = L_{\epsilon\nu.\delta} * \frac{\pi * d_{in}^2}{4} = 100 * \frac{\pi * 0,026^2}{4} = 0,5 \text{ m}^3$$

$$V_s = V_{\gamma.\epsilon\nu} + V_{\epsilon\nu.\delta} = 5 \text{ m}^3 + 0,5 \text{ m}^3 = 5,5 \text{ m}^3$$

Είναι γνωστό ότι ο ειδικός όγκος του νερού στους 0 ο C είναι $v_1 = 0,0010002 \text{ m}^3 / \text{kg}$ και στους 50 ο C είναι $v_2 = 0,0010121 \text{ m}^3 / \text{kg}$

Για την χαμηλότερη πίεση του δικτύου P_1 θεωρείται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη με 0,7 bar , για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα παρουσίασης σπηλαίωσης , ατμοποίησης και υποπίεσης. Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα θέρμανσης λαμβάνεται 2m δηλαδή 2 bar :

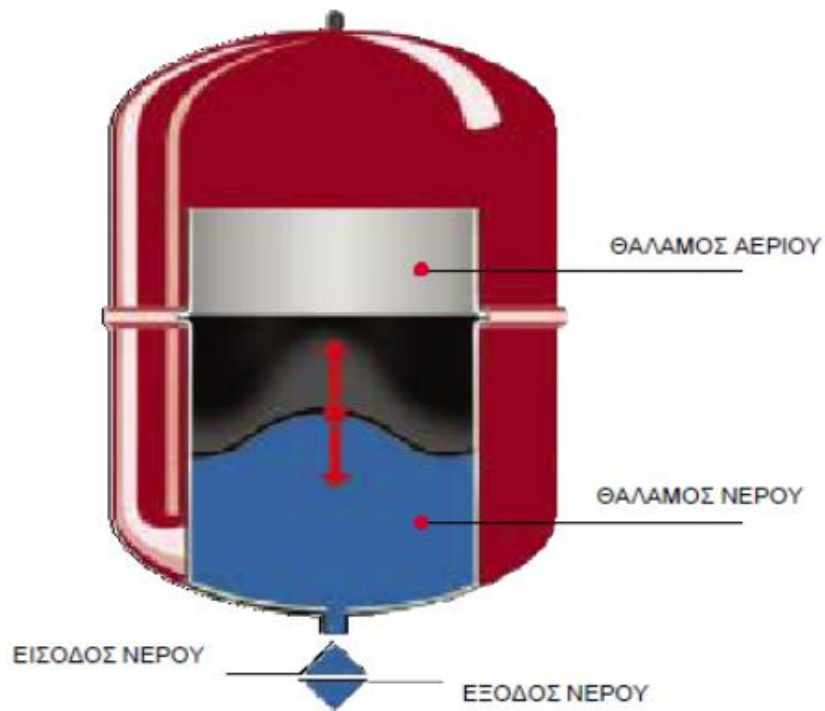
$$P_1 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ bar} = 90 \text{ kPa}$$

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές η υψηλότερη πίεση ισούται με το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφάλειας.

$$P_2 = P_1 + 1,3 \text{ bar} = 2,2 \text{ bar} = 220 \text{ kPa}$$

Άρα :

$$V_t = V_s * \frac{\left(\frac{v_2}{v_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)} = 0,220 \text{ m}^3 = 220 \text{ Lt}$$



Εικόνα 7.2: Δοχείο διαστολής

(Πηγή: <https://docplayer.gr/>)

7.4) ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Ο συνολικό κόστος της επένδυσης αναφέρεται αναλυτικά παρακάτω. Το μεγαλύτερο έξοδο αποτελεί το κόστος των γεωτρήσεων , που με βάση την βιογραφεί είναι 20€/m.

Πίνακας 7.8: Κόστος Γεωτρήσεων

Αριθμός γεωτρήσεων	Βάθος της κάθε γεώτρησης (m)	Τιμή ανά μέτρο γεώτρησης	Κόστος γεωτρήσεων (€)
25	86,8	20	43.400

Επίσης έχει υπολογιστεί και το κόστος των σωληνώσεων πολυαιθυλενίου με 1,35€/m.

Πίνακας 7.9: Κόστος Σωληνώσεων

Συνολικό μήκος γεωτρήσεων(m)	Τιμή πολυαιθυλενίου (€/m)	Τιμή Σωληνώσεων
4.330	1,35	5.846

Το συνολικό κόστος της επένδυσης απεικονίζεται παρακάτω:

Πίνακας 7.10: Κόστος Επένδυσης

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	
Κόστος γεωτρήσεων (€)	43.400
Δοχείο Διαστολής (€)	300
Μελέτη σκοπιμότητας (€)	700
Αδειοδότηση (€)	1.000
Σωληνώσεις (€)	5.846
Αντλιές (€)	5.000
Εσωτερική εγκατάσταση (€)	5.000
Συντήρηση/παρακολούθηση (€)	500
ΣΥΝΟΛΟ (€)	61.746

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

8.1) ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Σύμφωνα με τα στοιχεία κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της εταιρείας για το 2022, προκύπτει ότι το σύνολο της ενέργειας είναι

$$W_{\text{total}} = 105.360 \text{ kWh}$$

Με αρκετά ασφαλή εκτίμηση, τα ψυκτικά φορτία αντιστοιχούν στο 70% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Επομένως, η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη αντιστοιχεί σε

$$W_{\text{ψύξης}} = 73.752 \text{ kWh}$$

Από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, για τους συγκεκριμένους συμπιεστές του συγκροτήματος και τις συνθήκες λειτουργίας, ο συντελεστής απόδοσης για ψύξη είναι

$$EER=2$$

με ψυκτικό αποτέλεσμα

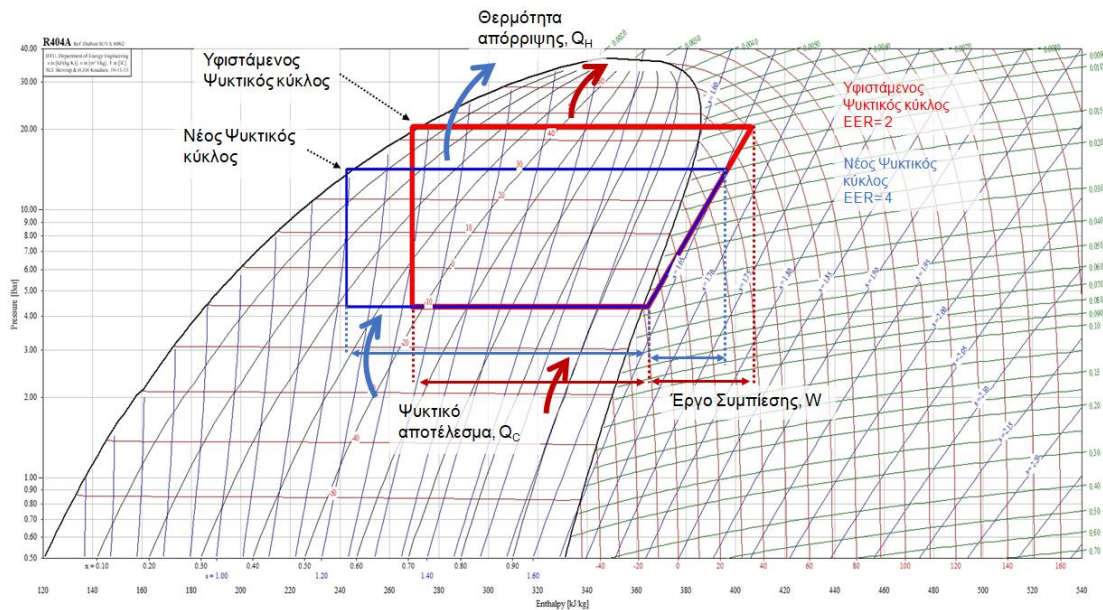
$$Q_c = 147.504 \text{ kWh}$$

Με την εγκατάσταση του συστήματος της γεωθερμίας και διασφαλίζοντας σταθερή θερμοκρασία απόρριψης θερμότητας, η θερμοκρασία συμπύκνωσης του ψυκτικού συγκροτήματος, μπορεί να μειωθεί ακόμη και κάτω από τους 30 °C. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού ψυκτικής ικανότητας από 2.24 κατ' ελάχιστο σε:

EER=4 Η συγκεκριμένη απόδοση προκύπτει από τους πίνακες λειτουργίας των συμπιεστών του κατασκευαστή.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, για ζήτηση του ίδιου ψυκτικού φορτίου, το καταναλισκόμενο έργο των συμπιεστών είναι πλέον:

$$W_{\text{ψύξης,G}} = 147.504 / 4 = 36.876 \text{ kWh}$$



Σχήμα 8.1: Διάγραμμα Πίεσης –Ειδικής Ενθαλπίας με τον υφιστάμενο και τον νέο κύκλο ψύξης

Για την κυκλοφορία του διαλύματος νερού – γλυκόλης στις γεωτρήσεις ως μέσο ανταλλαγής θερμότητας, θα χρησιμοποιηθούν αντλίες με συνολική ισχύ $P=4 \text{ kW}$.Με βάση τον τρόπο ετήσιας λειτουργίας της μονάδας, εκτιμήθηκαν οι πραγματικές ωφέλιμες ώρες λειτουργίας του ψυκτικού συγκροτήματος σε 491,68 hr/year. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας των αντλιών που προέκυψε είναι:

$$W_P = 1.966,72 \text{ kWh}$$

Επομένως, η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει με την εγκατάσταση της γεωθερμίας είναι:

ή

$$W_G = W_{\psi\upsilon\chi\eta\varsigma} - W_{\psi\upsilon\chi\eta\varsigma,G} - W_P = 73.752 \text{ kWh} - 36.876 \text{ kWh} - 1.966,72 \text{ kWh} = 34.909,28 \text{ kWh} \text{ ή } 47,3\%$$

Η εκτίμηση αυτή για την εξοικονόμηση, στη πραγματικότητα μπορεί να είναι και μεγαλύτερη, καθώς οι θερμοκρασία συμπίκνωσης που μπορεί να επιτευχθεί λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του νερού των γεωτρήσεων σε συνδυασμό με τη μεγάλη θερμοχωρητικότητά του, είναι πιο χαμηλά από τους $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Επίσης, η χαμηλή θερμοκρασία συμπίκνωσης θα μειώσει το χρόνο λειτουργίας των συμπιεστών, αφού θα μπορούν να δώσουν μεγαλύτερο ψυκτικό αποτέλεσμα.

Στο γράφημα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι δύο ψυκτικοί κύκλοι για το R404A, στις συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες λειτουργίας του ψυκτικού συγκροτήματος.

Το όφελος που προκύπτει από την συγκεκριμένη παρέμβαση είναι:

Ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh_e)	34.909,28 kWh
Ετήσια σχετική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας	47,3%

ΕΤΑΙΡΕΙΑ: BioNet
 ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ: Επεμβάσεις ΕΞΕ
 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: Εγκατάσταση γεωθέρσεων

Περιγραφή	Ποσότητα	Τιμή	Κόστος / Κέρδος
Επεμβάσεις Ηλεκτρικής Ενέργειας	74,0 (MWh _{ηλ}) 47,30% 35,00 (MWh _{ηλ})	300,0 (€/MWh _{ηλ})	22.200 € 47% 10.501 €
Επεμβάσεις Θερμικής Ενέργειας	0 (MWh _{θηλ}) 0,00% 0 (MWh _{θηλ})	0,0 (€/MWh _{θηλ})	0 € 0% 0 €
Επιπλέον έσοδο CDM	0 (tCO ₂)	0 (€/ton)	0 €
Άλλο επιπλέον έσοδο: αύξηση παραγωγικότητας	0,0	0	0 €
Συνολική Ετήσια ΕΞΕ:			10.501 €
Κόστος επένδυσης:	1	61.746 €	61.746 €
Επιπλέον κόστος Λ&Σ:	1	0 €	0 €

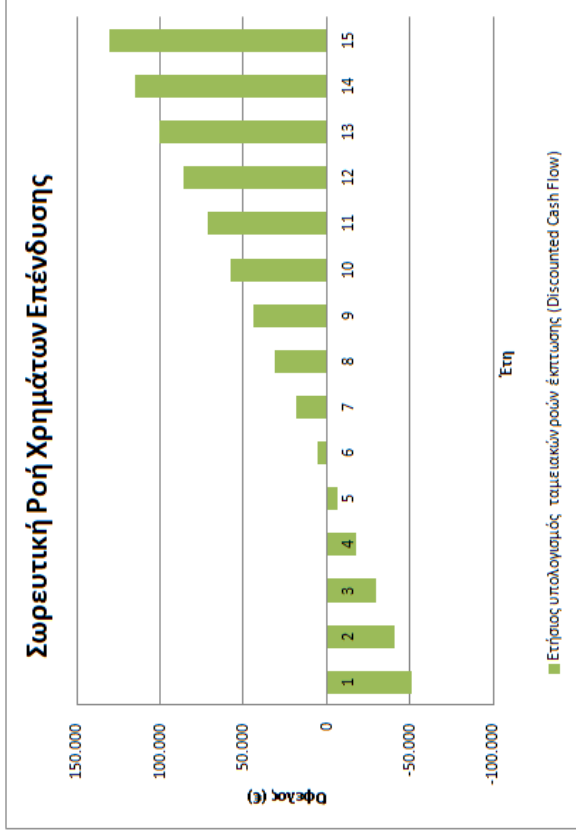
Ετήσια αύξηση κόστους ηλεκτρικής kWh 2,80% (% ανά έτος)
 Ετήσια αύξηση κόστους θερμικής kWh 2,80% (% ανά έτος)
 Διάρκεια ζωής έργου 15 (έτη)
 Ποσοστό φόρου 0% (%)
 Προεξοφλητικό Επιτόκιο 5,00% (%)
 Ύψος συμμετοχή 100% (%)

Ετήσιος υπολογισμός ταμειακών ροών έκπτωσης (Discounted Cash Flow)

Έτος Λειτουργίας Επένδυσης	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Συνολική Εξοικονόμηση Ενέργειας	10.501	10.795	11.097	11.408	11.727	12.055	12.393	12.740	13.097	13.463	13.840	14.228	14.626	15.036	15.457	
Επιπλέον Έσοδα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Κόστη Λ&Σ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ακαθάριστα Έσοδα	10.501	10.795	11.097	11.408	11.727	12.055	12.393	12.740	13.097	13.463	13.840	14.228	14.626	15.036	15.457	
Φόρος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Καθαρό κέρδος πριν την απόσβεση	10.501	10.795	11.097	11.408	11.727	12.055	12.393	12.740	13.097	13.463	13.840	14.228	14.626	15.036	15.457	
Καθαρή ροή χρημάτων	-61.746	10.501	10.795	11.097	11.408	11.727	12.055	12.393	12.740	13.097	13.463	13.840	14.228	14.626	15.036	15.457
Ταμειακή ροή έκπτωσης	192.462	10.501	10.795	11.097	11.408	11.727	12.055	12.393	12.740	13.097	13.463	13.840	14.228	14.626	15.036	15.457
Συνολική Ταμειακή ροή έκπτωσης	-51.245	-40.451	-29.354	-17.946	-6.219	5.836	18.229	30.969	44.065	57.529	71.369	85.597	100.223	115.259	130.716	

Αποτελέσματα

Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)	130.716	€
Χρόνος Απόσβεσης: επένδυσης	5,52	έτη
Ανάλυση Παροχών-Κόστους (BCR)	3,12	-
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR)	17,52%	%



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε μια προσπάθεια ενεργειακής αναβάθμισης του συνεταιρισμού BioNet West Hellas με προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ.

Αρχικά προτείνεται η αξιοποίηση των απόβλητων του συνεταιρισμού μέσω της αναερόβιας χώνευσης που θα παράγει βιοαέριο. Το βιοαέριο αυτό θα εισέρχεται σε μια μονάδα συμπαραγωγής για παράγωγή ηλεκτρισμού , θερμότητας. Ένα ποσό του ηλεκτρισμού θα καταναλώνεται από τον ίδιο τον συνεταιρισμό για τις ανάγκες του, με αποτέλεσμα να ανεξαρτητοποιηθεί από το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας και να έχει μηδενικό αποτύπωμα εκπομπών του θερμοκηπίου, η υπόλοιπο ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας θα πωλείτε στο δίκτυο με σκοπό το κέρδος του συνεταιρισμού.

Επίσης από την παράγωγή της θερμικής ενέργειας ένα ποσό του 20% θα το αξιοποιεί ο συνεταιρισμός για τις ανάγκες του. Πάνω σε αυτό έχω να κάνω μια πρόταση για περεταίρω μελέτη, επειδή η υπόλοιπη θερμική ενέργεια θα περισσεύει , θα μπορούσε να αξιοποιηθεί με ένα σύστημα τριπαράγωγη, όπου από την παραγόμενη θερμότητα θα προκύπτει ψύξη που θα αξιοποιείται στα συστήματα ψύξης των προϊόντων του συνεταιρισμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω συστημάτων απορρόφησης Αμμωνίας –Νερού.

Με τη μελέτη που έχει γίνει πάνω στα τρία σενάρια με βάση τις ώρες λειτουργίας της μονάς συμπαραγωγής συμπεραίνεται πως με την αξιοποίηση των προϊόντων που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν και που υπό άλλες συνθήκες θα κατέληγαν στις ΧΥΤΑ , μπορεί ο συνεταιρισμός με βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο να αξιοποιήσει τα απόβλητα του και να βγάλει κέρδος.

Μια ακόμα πρόταση που μελετήθηκε για την ενεργειακή αναβάθμιση των εγκαταστάσεων , και πιο συγκεκριμένα των συστημάτων ψύξης των προϊόντων είναι η εφαρμογή κατακόρυφου συστήματος γεωθερμίας, που στόχο έχει την μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος , με αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό θα επιτευχθεί με την αλλαγή των αερόψυκτων συμπυκνωτών σε υδρόψυκτους για την σύνδεση του συστήματος με τον γεωθερμικό εναλλάκτη , έτσι ώστε η μετάδοση της θερμότητας από το ψυκτικό ρευστό να γίνεται σε ένα σταθερά χαμηλό περιβάλλον , όπως είναι το υπέδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση θερμοκρασίας λειτουργίας του συμπυκνωτή τη μείωση του χρόνου λειτουργίας των συμπιεστών, με το ίδιο ψυκτικό αποτέλεσμα και την αύξηση της ψυκτικής ικανότητας, EER,

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<https://unicertstudies.gr/dypa/psifiakes-kai-prasines-dexiotites-gia-ergazomenous/ananeuwsimes-phges-energeias-ape> (εικόνα εξωφύλλου)

www.thermomap.eu

www.geothermal-energy.org

https://www.novatech.gr/symparagwgi_ilektrismoy_thermotitas-article-313.html

<http://8ermikoi-kukloi.weebly.com.html>

<https://physicsgg.me/>

<https://www.turboden.com>

https://www.researchgate.net/figure/Rankine-Cycle-Schematic-a-Rankine-Cycle-T-s-Diagram-b-The-working-system-of-the-ORC_fig1_337896875

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AE_%CE%9A%CE%B1%CF%81%CE%BD%CF%8C

<https://www.buildingservicesindex.co.uk/entry/36677/SAV-Systems/LoadTracker-modulating-mini-CHP-system/>

<https://www.buildingservicesindex.co.uk/entry/112029/Hoval/PowerBloc-CHP-systems/>

<https://www.capstonegreenenergy.com/products/energy-generation-technologies/capstone-microturbines/c800s>

https://www.ecpower.eu/files/ec-power/customer/EN/Downloads_EN/Information_Material/EC_POWER_EN_technical_data_XRGI20.pdf

<https://www.art-klima.pl/mchp-xrgi-20-kw>

<https://www.clarke-energy.com/>

<https://anadrasi.com/geothermia.php>

<https://www.rehau.com/gr-el/geothermia>

<https://www.mgavrielatos.gr/HPgeothermB.html>

<https://www.dapeep.gr/eta-ianouariou-2023>

<https://www.aenaos-sa.gr/antlies-thermotitas-alpha-omega>

<https://engineeringissues.wordpress.com>

<http://hottowel.gr/>

<https://www.aenaos-sa.gr>

<https://www.skroutz.gr/s/25222961/Zilmet-Cal-Pro-250-%CE%94%CE%BF%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF-%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%AE%CF%82-%CE%98%CE%AD%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%9A%CE%AC%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%BF-250lt.html>

<http://www.agroenergy.gr/>

<https://www.tedom.com>

https://ilektroytomatismoι.blogspot.com/2017/10/blog-post_10.html

<https://engineerx.decorexpro.com/el/tech/xolodilniki/termoregulyator-dlya-xolodilnika.html>

ΠΗΓΕΣ

[1] Steve Kavanaugh and Kevin Rafferty Ground Source heat pumps-Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings Atlanta 1997

[2] Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Χρίστος Φραγκόπουλος κα. ΕΛΚΕΠΑ, 1993

[3] H.N. Gupta « Μηχανές Εσωτερικής Καύσης » Δεύτερη Έκδοση

[4] ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ, ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ & ΨΥΞΗΣ: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

[5] Συστήματα Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης σε Θερμοκήπια: Έλεγχος Βιωσιμότητας και Σχεδιασμός ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ Καλλιόπη Ταταράκη

[6] Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz «ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ» στα πλαίσια του έργου BiG>East (EIE/07/214/ SI2.467620)

[7] Τεχνικό Εγχειρίδιο Εγκαταστάσεων Συμπαράγωγής ΔΣΜΚ v.1.1 Φεβρουάριος 2010

[8] 17ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ «ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ» ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΙΣΧΥΡΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΘΗΝΑ, 30-31 Οκτώβρη 2012 Κώστας Γρ. Θεοφύλακτος

[9] Κύκλοι ΜΕΚ , ΤΕΙ Χαλκίδας , Επικ. Καθηγ. Δρ. Μηχ. Α. Φατσής

- [10] «Ενεργεία Περιβάλλον και Ανάπτυξη» Απόστολος Πολυζάκης
- [11] Γεωθερμική Ενέργεια Νίκος Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
- [12] Ψυγεία και αντήλεις θερμότητας ΑΠΕ ΙΙ τμ. Μηχανολόγων Μηχ. Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Αλέξανδρος Ρωμαίος
- [13] Μύθοι και πραγματικότητα για τη γεώθερμα, υπουργείο ανάπτυξης, ινστιτούτο γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών Απ. Αρβανίτης, Γεωλόγος - Δρ Γεωθερμίας
- [14] Geothermal Education Office και International Geothermal Association
- [15] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία (Πόρισμα Ομάδας Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ όπως εγκρίθηκε με την απόφαση της Διοικούσας Επιτροπής
- [16] Γεωθερμική Ενέργεια Νίκος Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
- [17] *Αναστάσιος Ν. Στάθης Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Υπεύθυνος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας «ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ» Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας*
- [18] Μύθοι και πραγματικότητα για τη γεώθερμα υπουργείο ανάπτυξης ινστιτούτο γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών διεύθυνση γεωθερμίας και θερμομεταλλικών υδάτων. Απ. Αρβανίτης, Γεωλόγος - Δρ Γεωθερμίας
- [19] Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη , πρόγραμμα δια βίου μάθησης, Καινοτόμες τεχνολογίες εφαρμογών Α.Π.Ε και Εξοικονόμησης ενέργειας ,Συνδιοργάνωση Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.Ι Κρήτης , Πειραιά και Αθήνας.
- [20] ΦΕΚ Τεύχος Α' 45/09.03.2019
- [21] ΦΕΚ Αριθμ. Δ5-ΗΛ/Γ/Φ1/οικ.1183
- [22] Γρομισάρης Αλέξανδρος «Αξιοποίηση της Βιομάζας για την παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμικής Ενέργειας (Σ.Η.Θ.Ε)»
- [23] Οικονομική Ανάλυση μονάδας Συμπαράγωγής της εταιρίας Agritex
- [24] SIMULATION AND OPTIMISATION OF POWER PRODUCTION IN BIOMASS-FUELLED SMALL-SCALE CHP PLANTS Licentiate Thesis Tuula Savola
- [25] Διερεύνηση ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου της Παιδαγωγικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Βαλκάνος Ραφαήλ Πανάγος Κωνσταντίνος

[26] Παπαμιχος Ορέστης, «Παραμετρική ανάλυση των συντελεστών απόδοσης σε θέρμανση και ψύξη και εκτίμηση των εποχιακών βαθμών απόδοσης για θέρμανση σε αντλίες θερμότητας εδάφους νερού για τις 4 κλιματικές ζώνες της Ελλάδας»

[27] Παπαδοπούλου Σοφία , «Συμπαγωγή Με Βιομάζα» 2005