



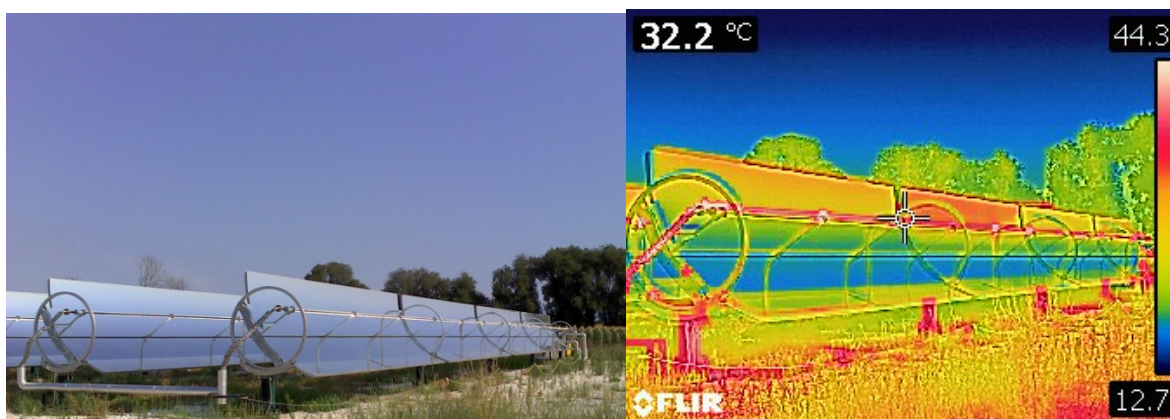
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας Υλικών, Διεργασιών και Μηχανολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

Μελέτη και ανάλυση λειτουργίας ηλιακού θερμικού πάρκου συγκεντρωτικών κατόπτρων με χρήση θερμογραφίας



Διπλωματική εργασία

Τσεμπερλίδου Διονυσία

A.M.: 91108

Ξάνθη, Μάρτιος 2017



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας Υλικών, Διεργασιών και Μηχανολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

Μελέτη και ανάλυση λειτουργίας ηλιακού θερμικού πάρκου συγκεντρωτικών κατόπτρων με χρήση θερμογραφίας

Τσεμπερλίδου Διονυσία

A.M.: 91108

Copyright © Τσεμπερλίδου Διονυσία, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

Πρόλογος

Η ανάγκη για εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) για την παραγωγή οποιαδήποτε μορφής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας έχει φτάσει σε ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα καθώς η συνεχής έρευνα για μια εναλλακτική πηγή ενέργειας, λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης έλλειψης ορυκτών καυσίμων, αποτελεί κινητήρια δύναμη. Η γη δέχεται σε μόλις 1 ώρα, περισσότερη ενέργεια από τον ήλιο από ό, τι καταναλώνει ο άνθρωπος σε ολόκληρο τον κόσμο για 1 χρόνο. Έτσι ηλιακές εφαρμογές έχουν αποδειχθεί πως είναι πιο οικονομικές, όπως τα περισσότερα συστήματα σε επιμέρους χρήσεις, απαιτώντας μόνο μερικά κιλοβάτ ενέργειας. Τα παραβολικά ηλιακά κάτοπτρα (Parabolic trough concentrators - PTCs) αποτελούν έναν από τους πιο διαδεδομένους τύπους ηλιακής παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιώντας καθρέπτες για την συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως προμηθεύουν θερμική ενέργεια σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών (έως περίπου 310°C), και έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία εφαρμογών που κυμαίνονται από ηλεκτρικές εγκαταστάσεις έως και σε βιομηχανική χρήση ζεστού νερού και ατμού. Η λειτουργικότητα και η διαθεσιμότητα τους ανά πάσα στιγμή, σε κάθε είδους εφαρμογή είναι καταλυτικής σημασίας. Οι παραβολικοί συλλέκτες αντιμετωπίζουν διάφορα τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με την δομική ακεραιότητα και την επιθεώρηση των κρίσιμων εξαρτημάτων, όπως οι ηλιακοί δέκτες και οι μονωμένες σωληνώσεις του συστήματος. Η επιθεώρηση του σωλήνα απορρόφησης καθίσταται πολύ δύσκολη διότι καλύπτεται από μία επικάλυψη κεραμομετάλλου και τοποθετείται μέσα σε ένα γυάλινο περίβλημα κενού.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και ανάλυση του συστήματος παραβολικών κατόπτρων και η επιθεώρηση τους με τη βοήθεια της υπέρυθρης απεικόνισης (infrared (IR) thermal imaging) καθώς και η διερεύνηση και αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της υπέρυθρης θερμογράφησης ως μεθόδου μελέτης και ανάλυσης της λειτουργίας ενός ηλιοθερμικού πάρκου σε σύγκρισή της με τις υφιστάμενες παραδοσιακές μεθόδους ελέγχου και ανάλυσης.

Στο 1^ο Κεφάλαιο αποσαφηνίζονται βασικές έννοιες και γίνεται μια πρώτη αναφορά στους όρους ενέργεια και ενεργειακός πόρος μέσα από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και των ιδιαίτερων διεργασιών τους. Γίνεται ο διαχωρισμός των ΑΠΕ σε ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, βιομάζα, γεωθερμία κ.λπ. και στα διάφορα πάρκα εφαρμογής τους. Επιπλέον, αναλύονται θέματα εξοπλισμού κάθε κατηγοριοποίησης πάρκου μέσα από προσεγγίσεις, παραμέτρων, συνθηκών και εφαρμογών του καθένα ξεχωριστά.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται μια πιο λεπτομερής αναφορά στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, αναλύοντας τις διάφορες τεχνολογίες και εφαρμογές τους στην παραγωγή ενέργειας. Συνεχίζοντας, γίνεται η πρώτη αναφορά στο έργο «ENERGEIA» μία συνεργασία μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας, στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Εδαφικής Συνεργασίας, «Ελλάδα Βουλγαρία, 2007 – 2013» στο οποίο συμμετείχε το Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού. Τέλος, γίνεται η περιγραφή και ανάλυση λειτουργίας κάθε επιμέρους κομματιού ενός τυπικού ηλιοθερμικού πάρκου παραβολικών κατόπτρων με βάση έργο «ENERGEIA».

Στο 3^ο Κεφάλαιο ξεκινά η εκτενής περιγραφή λειτουργίας του υβριδικού σταθμού παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας «ENERGEIA». Παρουσιάζονται και αναλύονται τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας από την πρώτη στιγμή ζήτησης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο 4^ο Κεφάλαιο το οποίο αποτελεί το εφαρμοσμένο μέρος της παρούσας μελέτης παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο ηλιακό πεδίο του υβριδικού πάρκου. Παρουσιάζεται ένας πλήρης θερμογραφικός έλεγχος του ηλιακού πεδίου των παραβολικών κατόπτρων. Στο πλαίσιο του θερμογραφικού ελέγχου έγιναν μετρήσεις αρχικά σε όλους τους δέκτες που εμπεριέχονται στα παραβολικά κάτοπτρα, καθώς επίσης και στην είσοδο και έξοδο του θερμικού ελαίου, κάθε μίας από τις έξι σειρές των κατόπτρων. Τέλος, οι μετρήσεις αυτές αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με τις αναμενόμενες τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας του πάρκου.

Σε συνέχεια των Κεφαλαίων αυτών, υπάρχει σύντομη ενότητα στην οποία παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία. Στόχο έχει την εξέταση του επίπεδου επίτευξης του σκοπού και των βασικών στόχων που είχαν τεθεί αρχικά. Τέλος, γίνονται προτάσεις για μελλοντική αναζήτηση και έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Τσεμπερλίδου Διονυσία

Ευχαριστίες

Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

Τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Παντελή Ν. Μπότσαρη, Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης της Πολυτεχνικής Σχολής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης και Αναπληρωτή Πρύτανη Έρευνας και Καινοτομίας του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, για τη συνεργασία του, καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας.

Τον κ. Κωνσταντίνο Λυμπερόπουλο, MSc Μηχανολόγο Μηχανικό και ΥΔ του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, για τη βοήθειά του με την χορήγηση της θερμοκάμερας του FLIR E50.

Τον κ. Αλέξανδρο Πεχτελίδη, Μηχανικό Περιβάλλοντος και επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Μηχανολογικού Σχεδιασμού, για την βοήθεια του.

Την οικογένεια μου, τους γονείς μου Σταύρο και Αναστασία και την αδερφή μου Αργυρώ για την αμέριστη αγάπη και υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	i
Ευχαριστίες	iii
Περιεχόμενα	v
Πίνακας Σχημάτων	vii
Κατάλογος Πινάκων	ix
Περίληψη	x
Abstract	xii

Κεφάλαιο 1: Πάρκα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	2
1.3 Πάρκα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	4
1.3.1 Χαρακτηριστικά πάρκων ΑΠΕ	4
1.4 Ηλιακή Ενέργεια	4
1.4.1 Τα Ηλιοθερμικά Συστήματα	5
1.4.1.1 Εφαρμογές Ηλιοθερμικών Συστημάτων	6
1.4.2 Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα	7
1.4.2.1 Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	8
1.5 Αιολική Ενέργεια	9
1.5.1 Βασικά τμήματα μιας ανεμογεννήτριας	10
1.5.2 Αιολικά Πάρκα	11
1.5.3 Διαχωρισμός αιολικών πάρκων	11
1.5.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Αιολικών Πάρκων	11
1.6 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	12
1.6.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικών Σταθμών	15
1.7 Γεωθερμική Ενέργεια	15
1.7.1 Ενεργειακές βαθμίδες γεωθερμικής ενέργειας	16
1.7.2 Εφαρμογές γεωθερμικής ενέργειας	16
1.8 Βιομάζα	19
1.8.1 Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας	20
1.8.2 Ενεργειακά προϊόντα από την επεξεργασία της βιομάζας	20
1.8.3 Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας- Εφαρμογές	21
1.9 Σύνοψη	22
Αναφορές	22

Κεφάλαιο 2: Ηλιακό Πάρκο

2.1 Εισαγωγή	24
2.2 Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα	25
2.2.1 Παραβολικοί Συλλέκτες	26
2.2.2 Ηλιακοί Πύργοι Ισχύος	27
2.2.3 Συστήματα Παραβολικού Δίσκου	28
2.2.4 Συλλέκτης Fresnel	29
2.3 Περιγραφή του έργου «ENERGEIA»	30
2.3.1 Ανάλυση του σκοπού του πιλοτικού έργου	32
2.4 Τυπικό Ηλιοθερμικό πάρκο παραβολικών κατόπτρων	33

2.4.1 Ηλιακό Πεδίο - Παραβολικά Κάτοπτρα	33
2.4.1.1 Ο δέκτης.....	34
2.4.1.2 Προσανατολισμός και παρακολούθηση.....	36
2.4.2 Σύστημα μεταφοράς θερμότητας.....	36
2.4.2.1 Υγρό μεταφοράς θερμότητας (HTF).....	36
2.4.2.2 Σύστημα κυκλοφορίας του μέσου μεταφοράς της θερμότητας.....	37
2.5 Σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας (TES).....	38
2.5.1 Είδη συστημάτων θερμικής αποθήκευσης ενέργειας.....	39
2.5.2 Πλεονεκτήματα συστήματος θερμικής αποθήκευσης ενέργειας.....	41
2.6 Σύστημα Μετατροπής της ενέργειας – Γεννήτρια ORC.....	42
2.6.1 Οργανικός Κυκλος Rankine.....	44
2.7 Σύνοψη.....	46
2.8 Αναφορές.....	47
Κεφάλαιο 3:Ανάλυση λειτουργίας ηλιακού πάρκου	
3.1 Εισαγωγή.....	48
3.2 Γενική περιγραφή λειτουργίας.....	48
3.3 Ηλιοθερμικό Πεδίο.....	49
3.4 Γεννήτρια ORC.....	51
3.5 Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (Thermal Energy Storage – TES.....	52
3.6 Λειτουργία του ηλιοθερμικού σταθμού.....	52
3.7 Σύνοψη.....	55
3.8 Αναφορές.....	55
Κεφάλαιο 4:Ανάλυση λειτουργίας ηλιακού πάρκου με χρήση θερμογραφίας	
4.1 Εισαγωγή.....	56
4.2 Υπέρυθρη Θερμογράφιση.....	57
4.2.1 Εξοπλισμός Μετρήσεων.....	57
4.3 Ρύθμιση Παραμέτρων Μέτρησης.....	58
4.3.1 Αντιστάθμιση της Ατμόσφαιρας.....	58
4.3.2 Αντιστάθμιση Φόντου.....	59
4.3.3 Συντελεστής Ικανότητας Εκπομπής.....	59
4.4 Συνθήκες Θερμογράφισης.....	59
4.5 Συλλέκτες παραβολικών κατόπτρων.....	60
4.6 Ανάλυση Θερμοκρασίας θερμικού ελαίου.....	64
4.7 Σύνοψη.....	74
4.8 Αναφορές.....	75
Συμπεράσματα	76
Συμπεράσματα για τους σωλήνες/δέκτες.....	76
Συμπεράσματα για τις εισόδους και εξόδους του θερμικού ελαίου.....	77
Γενικά Συμπεράσματα.....	77
Προτάσεις.....	77
Παράρτημα.....	78

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Διάγραμμα Ροής Ενέργειας Στη Γη.....	2
Σχήμα 1.2: Ηλιοθερμικό σύστημα για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.....	5
Σχήμα 1.3: Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	7
Σχήμα 1.4: Αιολικό Πάρκο.....	9
Σχήμα 1.5: Τυπική ανεμογεννήτρια.....	10
Σχήμα 1.6: Υδροηλεκτρικό φράγμα.....	12
Σχήμα 1.7: Σταθμός φράγματος.....	13
Σχήμα 1.8: Σταθμός ποτάμιας στάθμης.....	14
Σχήμα 1.9: Σταθμός αντλιών.....	14
Σχήμα 1.10: Εγκατάσταση εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας.....	15
Σχήμα 1.11: Εγκατάσταση εκμετάλλευσης βιομάζας.....	19
Σχήμα 2.1: Παραβολικοί Συλλέκτες.....	26
Σχήμα 2.2: Ηλιακός πύργος 260 MW στη Χιλή.....	27
Σχήμα 2.3: Ηλιοθερμικό παραβολικό πιάτο με κάτοπτρα.....	28
Σχήμα 2.4: Ηλιακό πεδίο Fresnel.....	29
Σχήμα 2.5: Πιλοτικό έργο «ENERGEIA».....	31
Σχήμα 2.6: Παραβολικό συγκεντρωτικό κάτοπτρο.....	34
Σχήμα 2.7: Διατομή του υποσυστήματος δέκτη.....	35
Σχήμα 2.8: Συστήματα θερμικής αποθήκευσης με μία και δύο δεξαμενές.....	40
Σχήμα 2.9: Σύστημα θερμικής αποθήκευσης τηγμένου άλατος.....	41
Σχήμα 2.10: Διάγραμμα T - S ιδανικού κύκλου Rankine.....	42
Σχήμα 2.11: Ατμοστρόβιλος Rankine.....	43
Σχήμα 2.12: Σχηματική παράσταση μιας μηχανής ORC.....	45
Σχήμα 2.13: T-s διάγραμμα για ιδανικό και πραγματικό κύκλο ORC.....	45
Σχήμα 2.14: Σχήμα του οργανικού κύκλου Rankine.....	46
Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση παραβολικού ηλιακού συλλέκτη.....	49
Σχήμα 3.2: Δέκτης – Απορροφητικός σωλήνας.....	50
Σχήμα 3.3: Γεννήτρια ORC.....	51
Σχήμα 3.4: Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.....	52
Σχήμα 3.5: Μονογραμμικό λειτουργικό διάγραμμα πιλοτικού έργου.....	53
Σχήμα 3.6: Αεροφωτογραφία πιλοτικού έργου.....	54
Σχήμα 4.1: Θερμοκάμερα Flir E50.....	58
Σχήμα 4.2: Κάτοψη ηλιακού πεδίου.....	61
Σχήμα 4.3: Θερμογραφηση τμήματος σωλήνα δέκτη.....	62
Σχήμα 4.4: Θερμογράφιση τμήματος εισόδου θερμικού ελαίου στο παραβολικό κάτοπτρο.....	65
Σχήμα 4.5: Περιοχή δικτύου τοποθέτησης αισθητήρων θερμότητας.....	68
Σχήμα 4.6: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Cold Temperature.....	69
Σχήμα 4.7: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Hot Temperature.....	70
Σχήμα 4.8: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Cold Temperature.....	70
Σχήμα 4.9: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Hot Temperature.....	71
Σχήμα 4.10: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Cold Temperature.....	72

Σχήμα 4.11: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Hot Temperature.....	72
Σχήμα 4.12: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Cold Temperature.....	73
Σχήμα 4.13: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Hot Temperature.....	73

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1: Θερμοκρασίες στην επιφάνεια του δέκτη.....	63
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα πρώτης μέρας μετρήσεων.....	67
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα πρώτης μέρας μετρήσεων.....	68
Πίνακας Π.1: Φύλλο τεχνικών προδιαγραφών Θερμοκάμερας E50.....	78
Πίνακας Π.2: Φύλλο τεχνικών προδιαγραφών αισθητήρα θερμότητας T001.....	78
Πίνακας Π.3: Φύλλο τεχνικών προδιαγραφών αισθητήρα θερμότητας T002.....	79

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και ανάλυση του συστήματος παραβολικών κατόπτρων και η επιθεώρηση τους με τη βοήθεια της υπέρυθρης απεικόνισης (infrared (IR) thermal imaging) καθώς και η διερεύνηση και αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της υπέρυθρης θερμογράφησης ως μεθόδου μελέτης και ανάλυσης της λειτουργίας ενός ηλιοθερμικού πάρκου. Χρησιμοποιώντας την θερμική εικόνα, γίνεται προσπάθεια για την αξιολόγηση της θερμικής κατάστασης των δεκτών των παραβολικών κατόπτρων του ηλιακού πεδίου, ενώ εξετάζεται η θερμική απόδοση του θερμικού ελαίου που κυκλοφορεί στους δέκτες.

Αρχικά με τη βοήθεια σχετικής βιβλιογραφίας παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάζεται για να γίνει κατανοητό το περιεχόμενο της παρούσας μελέτης. Πριν την διαδικασία μελέτης και ανάλυσης του υβριδικού ηλιακού πάρκου παραβολικών κατόπτρων, αναλύεται και περιγράφεται ένα τυπικό ηλιοθερμικό πάρκο.

Η μελέτη με την βοήθεια μετρήσεων της υπέρυθρης απεικόνισης χωρίστηκε σε δύο επιμέρους περιοχές ενδιαφέροντος οι οποίες σχετίζονται αποκλειστικά με το ηλιακό πεδίο παραβολικών κατόπτρων του υβριδικού πάρκου. Αρχικά, ήταν οι δέκτες των παραβολικών κατόπτρων όπου η ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων αποσκοπεί στην μελέτη της θερμικής τους κατάστασης και στον εντοπισμό κάποιας αστοχίας τους που ίσως υπάρχει. Ενώ, έπειτα, μετρήσεις έγιναν στην είσοδο και έξοδο του θερμικού ελαίου, κάθε μίας από τις έξι σειρές των κατόπτρων που αποτελούν το ηλιακό πεδίο του πάρκου με τα αποτελέσματα να αποσκοπούν στην σύγκριση της θερμικής εικόνας με την πραγματική θερμοκρασία ροής του ελαίου στις σωληνώσεις.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αρχικά για τους δέκτες έδειξαν ότι όλοι οι δέκτες του υβριδικού πάρκου λειτουργούν κανονικά, στοιχείο αναμενόμενο μιας και το πάρκο ξεκίνησε την λειτουργία του τον Σεπτέμβριο του 2015, και δεν φέρουν κάποια αστοχία που να εμποδίζει την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Όσον αφορά για τις μετρήσεις στην είσοδο και έξοδο του θερμικού ελαίου στα κάτοπτρα, παρόλο που η θερμική απεικόνιση αποτελεί έναν εξαιρετικό και γρήγορο τρόπο εποπτείας μη καταστροφικού έλεγχου οι μετρήσεις πεδίου όμως κατέδειξαν την ανάγκη προσαρμογής και ιδιαίτερης προετοιμασίας του θερμογραφικού εξοπλισμού για την λήψη αξιόπιστων και έγκυρων μετρήσεων.

Design and function analysis of a solar thermal park using IR thermography

Abstract

The scope of this diploma thesis is the study and analysis of Parabolic Trough Collectors and their inspection with thermal imaging (infrared thermography). Beside this, to explore and assess the effectiveness of infrared thermography as a study and analysis method of an operating solar thermal park.

The study was split into two areas of interest which are related exclusively to the solar field of the hybrid park. First area of interest was the receivers of the parabolic mirrors whereas the second area was the inlet and outlet of the thermal oil to each of the six rows of mirrors constituting the solar field.

From the results of the study, it was concluded that all receivers of the hybrid park running normally and not have some failure that prevents the production of thermal energy. Regarding to the measurements at the entrance and exit of the thermal oil to the mirrors, this study shows that although thermal imaging is an excellent and quick way of supervision, in this case there is a need for adaptation and specific preparation of the thermography equipment to obtain reliable and valid measurements.

Key words: Thermography, Parabolic Trough Collectors, Testing, Renewable energy

Κεφάλαιο 1

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Πάρκα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

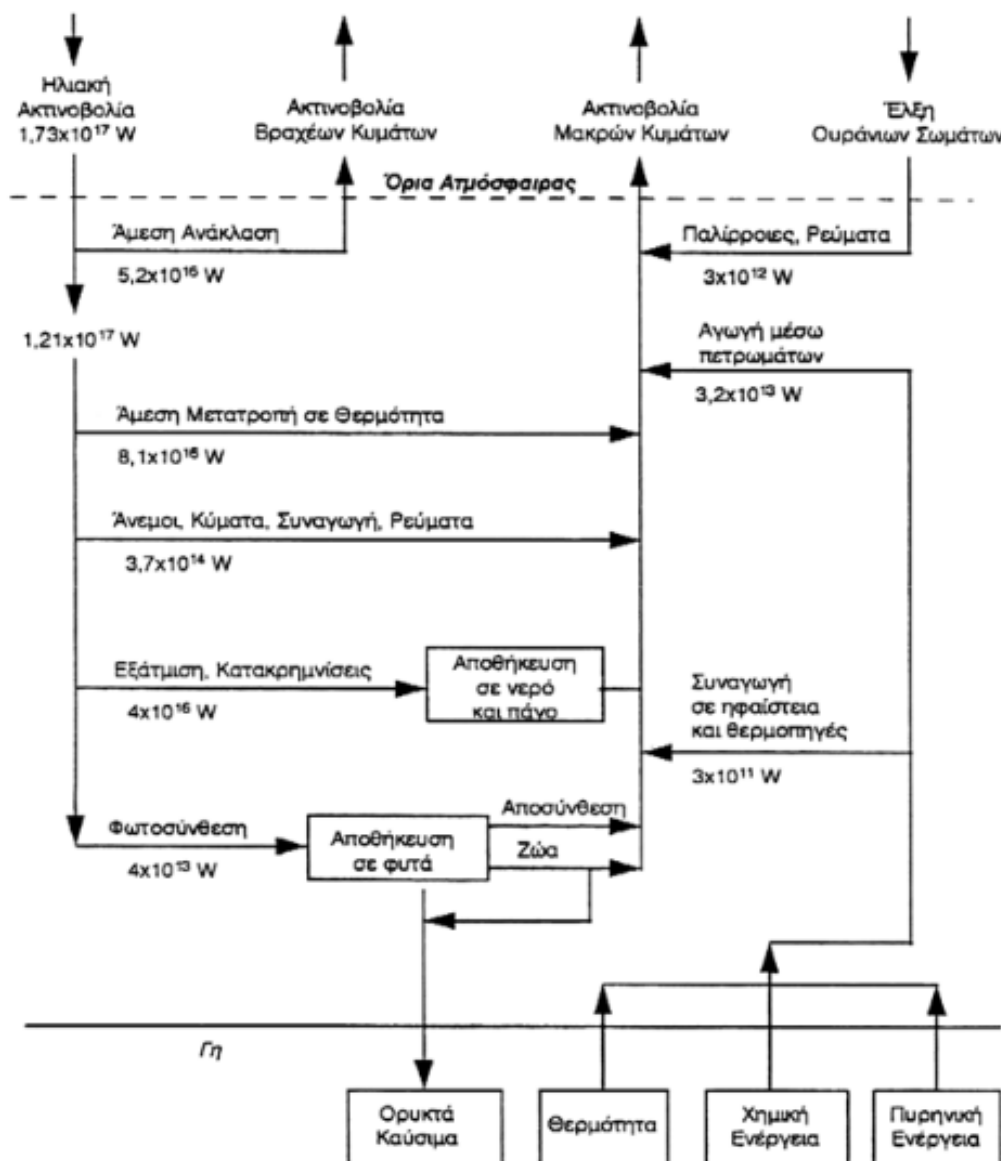
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	2
1.3 Πάρκα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	4
1.3.1 Χαρακτηριστικά πάρκων ΑΠΕ.....	4
1.4 Ηλιακή Ενέργεια.....	4
1.4.1 Τα Ηλιοθερμικά Συστήματα.....	5
1.4.1.1 Εφαρμογές Ηλιοθερμικών Συστημάτων.....	6
1.4.2 Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	7
1.4.2.1 Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	8
1.5 Αιολική Ενέργεια.....	9
1.5.1 Βασικά τμήματα μιας ανεμογεννήτριας.....	10
1.5.2 Αιολικά Πάρκα.....	11
1.5.3 Διαχωρισμός αιολικών πάρκων.....	11
1.5.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Αιολικών Πάρκων.....	11
1.6 Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	12
1.6.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικών Σταθμών.....	15
1.7 Γεωθερμική Ενέργεια.....	15
1.7.1 Ενεργειακές βαθμίδες γεωθερμικής ενέργειας.....	16
1.7.2 Εφαρμογές γεωθερμικής ενέργειας.....	16
1.8 Βιομάζα.....	19
1.8.1 Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας.....	20
1.8.2 Ενεργειακά προϊόντα από την επεξεργασία της βιομάζας.....	20
1.8.3 Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας- Εφαρμογές.....	21
1.9 Σύνοψη.....	22
Αναφορές.....	22

1.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην έννοια της ενέργειας και του ενεργειακού πόρου μέσω των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και των διεργασιών από όπου προέρχονται. Επιπλέον, δίνεται ο ορισμός ενός πάρκου ΑΠΕ και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του. Γίνεται κατηγοριοποίηση των ΑΠΕ και αναφέρονται οι λεπτομέρειες τους σε ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, βιομάζα, γεωθερμία κ.λπ. Τέλος, αναλύονται θέματα εξοπλισμού του κάθε πάρκου και διακρίνονται με βάση την ισχύ, την θέση, το είδος ενέργειας το οποίο προσφέρουν, την χρήση τους κ.ά.

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η γη αποτελεί μια τεράστια αποθήκη ενέργειας, για αυτό μπορεί να εξεταστεί σαν ένα αυτόνομο ενεργειακό σύστημα που έχει την δυνατότητα να αντλεί αλλά και να παράγει ενέργεια. Οι διεργασίες μετατροπής ενέργειας μπορούν να θεωρηθούν μη αντιστρεπτές, παρόλο που μια αντιστρεπτή διεργασία είναι θεωρητικά πιθανή. Όροι όπως «χρήση ενέργειας», «καταναλισκόμενη ενέργεια», «χρησιμοποιούμενοι ενεργειακοί πόροι» κλπ, αποτελούν κατά μια έννοια ανακριβείς εκφράσεις, μεταφορικού περιεχομένου, οι οποίες περιγράφουν διεργασίες μετατροπής ενέργειας και τις περισσότερες φορές σχετίζονται με μια αύξηση της εντροπίας. Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής ενέργειας στη γη. Η μετατροπή ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη μπορεί αρχικά να μην συνοδεύεται από αλλαγή εντροπίας, όμως πάντα κάποιο τμήμα της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Οι ενεργειακές διεργασίες μπορεί να αποτελούνται από μία σειρά διαδοχικών μετατροπών και συνήθως τελειώνουν με τη μετατροπή όλης της ενέργειας σε θερμότητα η οποία ακτινοβολείται στο διάστημα ή απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 1.1 : Διάγραμμα Ροής Ενέργειας Στη Γη

«Μη – ανανεώσιμος ενεργειακός πόρος» θεωρείται οποιαδήποτε αποθηκευμένη μορφή ενέργειας η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα και τελικά χάνεται στο διάστημα, ενώ με τον όρο «ανανεώσιμος ενεργειακός πόρος» χαρακτηρίζονται ροές οι οποίες αναπληρώνονται την ίδια ώρα που χρησιμοποιούνται.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την κύρια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καθώς τα ποσά ενέργειας τα οποία δέχεται η γη από τον ήλιο είναι τεράστια. Βέβαια, ίδιο ποσό ενέργειας εκπέμπει η γη, (το μέρος που δε βλέπει τον ήλιο) προς το διάστημα. Το 30% της προσπίπτουσας από τον ήλιο ακτινοβολίας χωρίς να αλλάξει μήκος κύματος, ανακλάται από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας προς το διάστημα. Το 47% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και από την επιφάνεια της γης. Είναι ακριβώς αυτό το ποσοστό ενέργειας που προκαλεί την ανύψωση της θερμοκρασίας και στη συνέχεια ακτινοβολείται πάλι στο διάστημα. Το υπόλοιπο 23% γίνεται κινητήρια δύναμη των ανέμων, των ρευμάτων, των κυμάτων, συντελεί στη διαμόρφωση του κλίματος και προκαλεί τον υδρολογικό κύκλο. Τέλος και αυτή η ενέργεια ακτινοβολείται πάλι στο διάστημα. Ως εκ τούτου η χρήση της ηλιακής ενέργειας σημαίνει την μετατροπή της σε θερμότητα με κατάλληλο τρόπο για τον άνθρωπο. Τέτοια χρήση μπορεί να περιλαμβάνει καθυστέρηση στην επιστροφή θερμότητας, είτε λόγω ανθρώπινης ανάμειξης είτε λόγω φυσικής διεργασίας. Για αυτό το λόγο αποθήκες ενέργειας, τμήμα φυσικής διεργασίας μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε επανακτινοβολία θερμότητας θεωρούνται επίσης «ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι».

Οι ανανεώσιμες ή ήπιες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμετάλλευσης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διεργασίες.

Συγκεκριμένα προέρχονται από την εκμετάλλευση:

1) Της ηλιακής ενέργειας

- Σε πρωτογενή μορφή (ηλιακή ακτινοβολία)
- Σε κινητική μορφή (άνεμος, υδατοπτώσεις, θαλάσσια κύματα)
- Σε μορφή βιομάζας

2) Της βαρυτικής επίδρασης της Σελήνης (παλίρροιες)

3) Της θερμότητας που εκλύεται από το εσωτερικό της Γης (γεωθερμική ενέργεια)

Έτσι ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η βιομάζα, η γεωθερμία και η ενέργεια της ωκεανών (παλιρροιακά κύματα).

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Αρχικά για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση όπως με τις ήδη χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Έπειτα, αποτελούν «καθαρές» μορφές ενέργειας, η χρήση των οποίων δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης, καθώς δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Γενικά ανανεώσιμες πηγές θεωρούνται οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (πχ του πετρελαίου ή του άνθρακα) που από τη φύση τους ανανεώνονται και είναι διαρκώς διαθέσιμες. Παρόλα αυτά ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, καθώς ορισμένες από αυτές όπως η γεωθερμική δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών.

1.3 Πάρκα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Ένα πάρκο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ή «ενεργειακό πάρκο» αποτελεί μια εξελισσόμενη έννοια και ο ορισμός εξακολουθεί να ποικίλει, όμως ως επί το πλείστον, αφορά μια περιοχή η οποία χρησιμοποιείται και είναι προγραμματισμένη για το σκοπό της ανάπτυξης καθαρής πράσινης ενέργειας. Μια τέτοια υποδομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να χρησιμεύσει ως ένα έξυπνο και βιώσιμο χαρακτηριστικό σε περιοχές με πλεόνασμα βιομηχανικής ιδιοκτησίας. Τα πάρκα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχουν όχι μόνο μια αξιόπιστη τοπική παραγωγή ενέργειας, αλλά επίσης συμβάλλουν στον οίκο-τουρισμό και εξυπηρετούν ως εκπαιδευτικός πόρος για τα σχολεία, τα πανεπιστήμια και τους επιχειρηματικούς ομίλους. Στο παρελθόν, τα ενεργειακά πάρκα είχαν μονοδιάστατο χαρακτήρα, για παράδειγμα αποτελούνταν κυρίως από εργοστάσια άνθρακα ή φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ σήμερα είναι γνωστό πως μπορούν να ενσωματώσουν μια ποικιλία τεχνολογίας και εφαρμογών καθώς χρησιμοποιούν πόρους όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, η βιομάζα, η γεωθερμία κτλ.

1.3.1 Χαρακτηριστικά πάρκων ΑΠΕ

Τα ενεργειακά πάρκα προσφέρουν ένα κεντρικό σημείο, ένα τόπο συγκέντρωσης της "ενεργειακής" πληροφορίας, όπου προβάλλονται οι ενεργειακές τεχνολογίες, οι εναλλακτικές δυνατότητες και πηγές ενέργειας, ο εξοπλισμός "πράσινης" ενέργειας καθώς και οι φορείς και τα σημεία εφαρμογής κάθε τεχνολογίας προς τους ενδιαφερόμενους ιδιοκτήτες κατοικιών, αγρότες, μελετητές και την βιομηχανία.

Υπό τις σημερινές συνθήκες ένα ενεργειακό πάρκο είναι σκόπιμο :

- Να προβάλλει τα εφαρμοσμένα ενεργειακά συστήματα και τις επιπτώσεις τους
- Να προβάλλει και να προωθεί την ανάπτυξη νέων ενεργειακών συστημάτων με έμφαση στις ΑΠΕ και την αειφόρο διαχείριση
- Να αποτελεί τόπο συνάντησης για τους ειδικούς επιστήμονες και επιχειρηματίες του ενεργειακού τομέα
- Να δημιουργεί μια κοιτίδα δημιουργίας και διάδοσης καινοτόμων ενεργειακών λύσεων και προϊόντων
- Να παρέχει κύκλους εκπαίδευσης – κατάρτισης – ενημέρωσης όλων των επιπέδων, γενικής ή εξειδικευμένης, προς ομάδες ή μεμονωμένα στελέχη της δημόσιας διοίκησης και της βιομηχανίας, προς σπουδαστές, μαθητές, ομάδες πολιτών, επαγγελματικές ομάδες κλπ.

Ως αποτέλεσμα το ενεργειακό πάρκο μπορεί να προσφέρει έναν ενδιαφέροντα τουριστικό προορισμό και να δημιουργεί επιχειρηματικότητα και νέες θέσεις εργασίας.

1.4 Ηλιακή Ενέργεια

Ηλιακή Ενέργεια χαρακτηρίζεται ως το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Αυτές τις μορφές αποτελούν το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Για την εκμετάλλευσή της ηλιακής ενέργειας δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου, καθώς στο σύνολο της προέρχεται από τον ήλιο και είναι πρακτικά ανεξάντλητη. Τα κυριότερα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι:

- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται με την βοήθεια του φαινομένου

του θερμοκηπίου, το οποίο δημιουργείται από την κατάλληλη αρχιτεκτονική διάταξη ενός κτιρίου. Στη συνέχεια, αποθηκεύεται και μεταφέρεται με φυσική ροή, μέσω κατάλληλης διαμόρφωσης των δομικών στοιχείων του κτιρίου. (βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου)

- Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή Ηλιοθερμικά συστήματα, στα οποία η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται με ειδικές διατάξεις και στη συνέχεια μεταφέρεται υπό μορφή θερμότητας με αέρα, νερό ή άλλο ρευστό, εκμεταλλευόμενα και αυτά τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας
- Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

1.4.1 Τα Ηλιοθερμικά Συστήματα



Σχήμα 1.2: Ηλιοθερμικό σύστημα για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Κύριο χαρακτηριστικό των ηλιοθερμικών συστημάτων είναι η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων που ονομάζονται συλλέκτες. Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ένας ειδικής μορφής εναλλάκτη θερμότητας, που μετατρέπει την ακτινοβολία του ήλιου σε θερμότητα. Η ιδιορρυθμία του έγκειται κυρίως στο ότι μεταφέρει ενέργεια μορφής ακτινοβολίας από πολύ μακρινή πηγή (ήλιος) σε ένα ρευστό, σε αντίθεση με τους συμβατικούς εναλλάκτες θερμότητας, όπου η μεταφορά γίνεται από ρευστό σε ρευστό, χωρίς να είναι σημαντικός ο ρόλος της ακτινοβολίας. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιοθερμικών συστημάτων και διαφέρουν μεταξύ τους στο βαθμό θερμότητας που μπορούν να παράξουν δηλαδή ως χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες. Η χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας συλλέκτες είναι επίπεδες πλάκες που παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου, για να ζεστάνουν νερό μέσα στο πλαίσιο, συνήθως για οικιακή ή βιομηχανική χρήση. Αντίθετα, η υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με κάτοπτρα ή φακούς σε ένα δοχείο νερού μετατρέποντας το σε ατμό, ο οποίος στην συνέχεια κινεί ατμογεννήτρια παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Για να λειτουργήσουν αποδοτικά, τα ηλιοθερμικά συστήματα χρειάζονται άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες ή κάτοπτρα.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα ενός ηλιοθερμικού συστήματος είναι η δυνατότητά του να καλύψει μέχρι και το 100% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει εξοικονόμηση ενέργειας σε συστήματα θέρμανσης έως και 60%, πετυχαίνοντας έτσι σημαντική μείωση της κατανάλωσης σε πετρέλαιο. Άλλα σημαντικά οφέλη είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), συμβάλλοντας έτσι στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς και η δυνατότητα συνδυασμού με σύστημα γεωθερμίας ή αντλία θερμότητας Αέρα - Νερού.

1.4.1.1 Εφαρμογές Ηλιοθερμικών Συστημάτων

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας ηλεκτροπαραγωγός σταθμός που παράγει ηλεκτρισμό μέσω ηλιοθερμικών συστημάτων, παράγει πρωτίστως θερμότητα, την οποία μετατρέπει σε ηλεκτρισμό με τη χρήση ατμοστρόβιλου οργανικού κύκλου Rankine. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: είτε με την παραγωγή υπέρθερμου κορεσμένου ατμού μέσω εναλλάκτη θερμότητας χρησιμοποιώντας τη θερμική ενέργεια του εργαζόμενου μέσου που θερμαίνεται στους συλλέκτες (συνήθως θερμικό λάδι), είτε με την άμεση παραγωγή ατμού στους συλλέκτες (το εργαζόμενο μέσο είναι το νερό).

- Παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση

Η θερμοκρασία που απαιτείται για κάθε εφαρμογή είναι αυτή που ορίζει την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας συλλέκτη. Για θερμοκρασίες μικρότερες των 120 °C, μη-συγκεντρωτικοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες, καθώς και άλλες τεχνολογίες που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με υψηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης το είδος της διεργασίας έχει ιδιαίτερη σημασία, παραδείγματος χάρι αν το ζεστό νερό χρειάζεται για καθαρισμό μετά την επεξεργασία τροφίμων, το ηλιακό σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί για να ζεσταίνει το νερό, ενώ αν χρειάζεται ατμός για την λειτουργία ενός αποστειρωτή, το σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί κατάλληλα για την παραγωγή του ατμού.

Οι πιο σημαντικοί τομείς της βιομηχανίας που χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή θερμότητας είναι η βιομηχανία τροφίμων, η κλωστοϋφαντουργία, η βιομηχανία μέσων μεταφοράς και η επεξεργασία μετάλλων, πλαστικών και χημικών προϊόντων.

- Παραγωγή ζεστού νερού και θέρμανση χώρων

Η παραγωγή ζεστού νερού αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές των ηλιακών θερμικών συστημάτων. Λόγω του ότι οι θερμοκρασίες που απαιτούνται είναι μικρότερες από 100 °C και οι συλλέκτες που επιλέγονται συνήθως είναι μη-συγκεντρωτικοί, όμως σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού, χρειάζεται εγκατάσταση πολύ μεγάλης συλλεκτικής επιφάνειας. Έτσι η χρήση συλλεκτών παραβολικών κατόπτρων έχει ενδιαφέρον, αφού παρέχουν θερμική ενέργεια σε υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που απαιτούνται και επομένως μπορούν να εξυπηρετηθούν μεγαλύτερες ανάγκες αν αναμειχθεί το ζεστό εργαζόμενο μέσο με ψυχρότερο.

Παραδείγματα εφαρμογών με υψηλή κατανάλωση ζεστού νερού είναι η τηλεθέρμανση οικισμών, τα συστήματα θέρμανσης μεγάλων κολυμβητηρίων και τα συστήματα ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης για μεγάλα κτίρια όπως εργοστάσια, νοσοκομεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, αθλητικές εγκαταστάσεις, αεροδρόμια, σταθμοί τρένων, κ.τ.λ.

1.4.2 Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα



Σχήμα 1.3: Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Κύριο χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η απ' ευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, ως αποτέλεσμα του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αποτελεί τη βασική φυσική διεργασία μέσω της οποίας ένα ηλιακό στοιχείο μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό. Το ηλιακό φως αποτελείται από φωτόνια ή σωματίδια ηλιακής ενέργειας. Τα φωτόνια περιέχουν διάφορες ποσότητες ενέργειας που αντιστοιχούν στα διάφορα μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος. Όταν φωτόνια προσκρούουν σε ένα ηλιακό στοιχείο, μπορεί να ανακλαστούν, να απορροφηθούν από ένα στοιχείο ή απλώς να το διαπεράσουν. Μόνο τα απορροφθέντα ηλεκτρόνια μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό. Όταν λοιπόν συμβεί αυτό, η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρόνιο, που ανήκει σε ένα άτομο του ηλιακού στοιχείου (που είναι στην ουσία ένας ημιαγωγός). Το ηλεκτρόνιο, με τη νεοαποκτηθείσα ενέργειά του, έχει τη δυνατότητα να διαφύγει από τη φυσιολογική του κατάσταση, που σχετίζεται με αυτό το άτομο και να γίνει μέρος του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Αφήνοντας την κανονική του θέση στο άτομο που ανήκει, το ηλεκτρόνιο προκαλεί τη δημιουργία μιας «οπής».

Η κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι πολύ δαπανηρή και απαιτεί τη χρήση τοξικών ουσιών. Ωστόσο, μετά την κατασκευή τους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν προκαλούν ρύπανση, είναι ανθεκτικά και χρειάζονται λίγη συντήρηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά τα καθιστούν ιδανικά για χρήση σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου είναι δύσκολη η συντήρηση ή δεν διατίθεται ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από ένα ή περισσότερα πλαίσια (πάνελ) φωτοβολταϊκών στοιχείων (κυψελών), και τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και τον έλεγχο και διαχείρισή της. Έτσι ανάλογα με το βαθμό πολυπλοκότητας της κατασκευής και τη λειτουργία, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να καταταχθούν σε 3 κυρίως κατηγορίες.

1) Τις απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά στοιχεία (κύτταρα ή κυψέλες) είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της μέρας.

2) Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλιακή ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό στοιχείο μέχρι 50 % περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία ανά μονάδα εμβαδού της επιφανείας του.

3) Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Για την αποφυγή υπερθέρμανσης στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των ηλιακών στοιχείων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

1.4.2.1 Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να εξυπηρετήσει ανθρώπους από τις πιο απομακρυσμένες περιοχές στον πλανήτη έως και στα κέντρα των πόλεων. Οι παρακάτω κατηγορίες αντιπροσωπεύουν τις κύριες εφαρμογές των Φωτοβολταϊκών συστημάτων:

- Απλό ή ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό σύστημα.
Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.
- Φωτοβολταϊκό σύστημα με αποθήκευση σε μπαταρίες.
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με μπαταρίες είναι μία πολύ αξιόπιστη λύση για την ηλεκτροδότηση ενός χώρου ή μηχανήματος 24 ώρες το 24ωρο, με βροχή ή λιακάδα. Χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο για να μας δίνουν φως, να προμηθεύουν ηλεκτρικό τις οικιακές συσκευές, διακόπτες, τηλέφωνα, ακόμα και μηχανολογικό εξοπλισμό βαρέως τύπου. Κατά την διάρκεια της ημέρας τα στοιχεία συλλέγουν ηλιακό φως, το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα και το αποθηκεύουν στις μπαταρίες. Αυτές με την σειρά τους μας προμηθεύουν με ηλεκτρισμό όταν ζητηθεί.
- Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στον οργανισμό κοινής ωφελείας.
Σε μέρη όπου ήδη υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα είναι εφικτή η σύνδεσή του με το φωτοβολταϊκό μας σύστημα, συμπληρώνοντας έτσι τις ανάγκες μας σε ενέργεια και αντικαθιστώντας την χρήση των μπαταριών.
- Φωτοβολταϊκό σύστημα σε επίπεδο εργοστασίου παραγωγής ενέργειας.
Αυτά τα συστήματα αποτελούν σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kWp έως μερικά MWp, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.
- Μικτά / Υβριδικά συστήματα
Συνδυάζουν ηλεκτρικό ρεύμα που προέρχεται από πετρελαιογεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν, αξιοποιώντας τα γεωγραφικά πλεονεκτήματα της περιοχής. Είναι ιδανικά συστήματα για εφαρμογές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπως τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και αναμεταδότες, στρατιωτικές εγκαταστάσεις και παραμεθόρια χωριά.

Η ενέργεια παράγεται όπου και όταν χρειάζεται και το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι απλό σε όλα του τα στάδια - από την καλωδίωση, την αποθήκευση του έως και τα κέντρα ελέγχου του. Τα μικρά συστήματα (έως 500W) έχουν χαμηλό βάρος και είναι πολύ εύκολα στην μεταφορά και στην εγκατάστασή τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η εγκατάσταση ενός συστήματος διαρκεί μερικές ώρες. Παράδειγμα αποτελούν οι αντλίες νερού που απαιτούν συχνή συντήρηση, ενώ το φωτοβολταϊκό σύστημα που τις τροφοδοτεί με ηλεκτρικό απαιτούν μόνο ένα περιοδικό έλεγχο της κατάστασής τους και καθαρίσμα.

1.5 Αιολική Ενέργεια



Σχήμα 1.4: Αιολικό Πάρκο

Αιολική ενέργεια είναι αυτή που προέρχεται από την ενέργεια του πνέοντος ανέμου, δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μία περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Δεν αποτελεί νέα ιδέα η χρήση του ανέμου ως πηγής ενέργειας. Τα πρώτα ιστιοφόρα κατασκευάστηκαν πριν από χιλιάδες χρόνια και ανεμόμυλοι που χρησιμοποιούσαν την ενέργεια του ανέμου για να αλέσουν σπόρους δημητριακών ήταν εξίσου συνηθισμένοι σε αρκετές περιοχές. Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά, μέσω της πτερωτής, γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και έπειτα, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

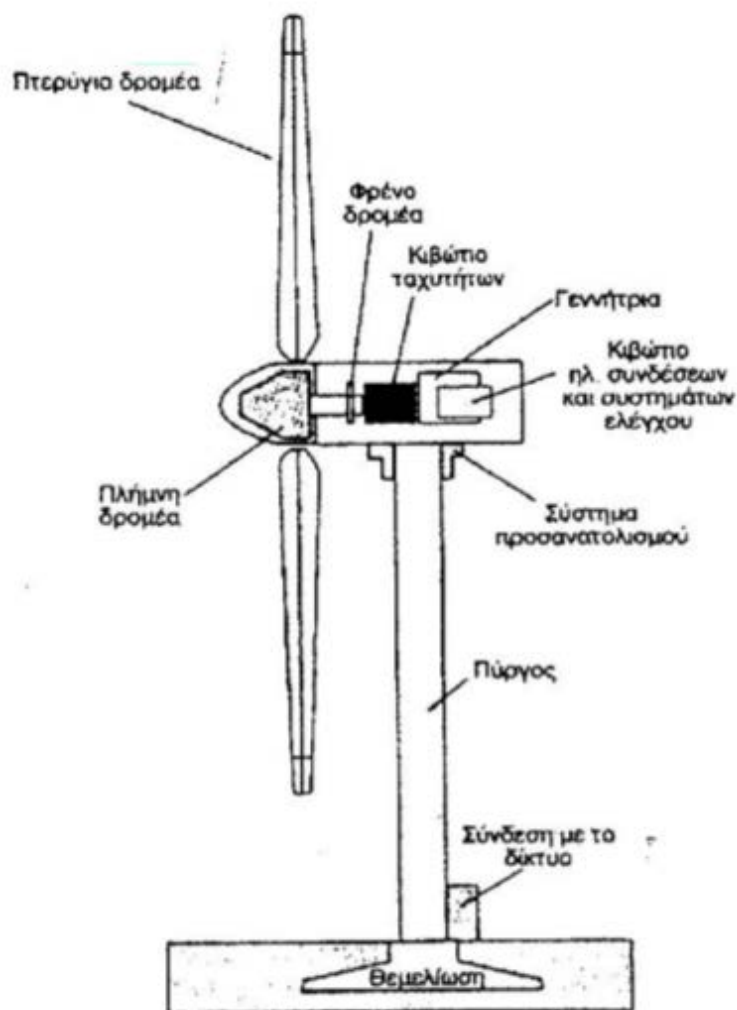
Η Αιολική ενέργεια αποτελεί μια ιδιαίτερα αραιή μορφή ενέργειας. Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τον άνεμο είναι η διεύθυνση και η ταχύτητά του. Η ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, έτσι καθώς η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου μεταβάλλεται συνεχώς, μεταβάλλει και την παραγόμενη ισχύ. Αν αυτή δεν είναι επαρκής, δεν παράγεται ηλεκτρισμός. Αυτό αποτελεί το βασικό πρόβλημα κατά τη λειτουργία σε σύνδεση με δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί οι μηχανές καλούνται να μεταβάλουν την παραγωγή τους ανάλογα με τις διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας της αιολικής ενέργειας. Συνεπώς, η διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας δεν είναι σταθερή και οι ανεμογεννήτριες δεν αποτελούν την πλέον αξιόπιστη πηγή ηλεκτρισμού.

1.5.1 Βασικά τμήματα μιας ανεμογεννήτριας

Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας αποτελούν η πτερωτή ή δρομέας ή ρότορας, ο χώρος των μηχανισμών και ο πύργος ή πυλώνας στήριξης. Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται ανάλογα με τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι, διακρίνονται ανεμογεννήτριες οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα περιστροφής των πτερυγίων. Παράλληλα διακρίνονται και σε αργόστροφες ή πολύστροφες και τέλος, υπάρχουν ανεμογεννήτριες μικρής και μεγάλης στιβαρότητας. Ο όρος στιβαρότητα εκφράζει το λόγο της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς τη μετωπική επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής.

Οριζόντιος ή κατακόρυφος άξονας:

- στις ανεμογεννήτριες με *οριζόντιο άξονα*, ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο
- στις ανεμογεννήτριες με *κατακόρυφο άξονα* που παραμένει σταθερός. Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα σε ποσοστό 90%. Η ισχύς τους μπορεί να ξεπερνά τα 500 kW και μπορούν να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας. Έτσι μια συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, μπορεί να λειτουργήσει σαν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.5: Τυπική ανεμογεννήτρια

1.5.2 Αιολικά Πάρκα

Αιολικό πάρκο ή Αιολικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΣΠΗΕ) ονομάζεται η χερσαία ή θαλάσσια έκταση, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό αιολικό δυναμικό, και στην οποία έχει τοποθετηθεί μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών με σκοπό τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική και τη διοχέτευση της στο ηλεκτρικό σύστημα. Παράλληλα υπάρχει και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται ή για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την πλήρη κάλυψη είτε για τη συμπλήρωση ενεργειακών αναγκών. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καταναλωθεί επιτόπου ή να διοχετευθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο και να καταναλωθεί αλλού. Όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συνήθως αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή.

1.5.3 Διαχωρισμός αιολικών πάρκων

Ανάλογα με τον τόπο εγκατάστασης τα αιολικά πάρκα διακρίνονται σε χερσαία και υπεράκτια. Χερσαία είναι αυτά οποία εγκαθίστανται στη στεριά ενώ υπεράκτια αυτά τα οποία εγκαθίστανται στις θάλασσες. Η χωροθέτηση μίας ανεμογεννήτριας έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς δεν πρέπει να επηρεάζεται από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Όταν η ροή του ανέμου είναι κάθετη σε κάποιο εμπόδιο, όπως για παράδειγμα ένα βουνό, τότε σύμφωνα με τους νόμους της ρευστομηχανικής επιταχύνεται και αντίστοιχα, επιβραδύνεται μετά την προσπέλαση του εμποδίου. Έτσι οι κορυφογραμμές φυσικών εμποδίων και ιδιαίτερα μικρών λόφων δημιουργούν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες για την εγκατάσταση χερσαίων αιολικών πάρκων.

Σε σχέση με τα χερσαία έργα αιολικής ενέργειας, η κατασκευή υπεράκτιων ανεμογεννητριών απαιτεί σημαντική εφαρμοσμένη μηχανική όσον αφορά την υποδομή, τοποθέτηση, ηλεκτρική σύνδεση και την χρήση υλικών, τα οποία αντέχουν στο διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον. Καθώς οι επιφάνειες των θαλασσών και των λιμνών είναι προφανώς πολύ ομαλές, η τραχύτητα είναι πολύ χαμηλή (με τις σταθερές ταχύτητες αέρα). Όταν αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα, μερική από την ενέργειά του χρησιμοποιείται στη δημιουργία κυμάτων και έτσι παρατηρείται μια αύξηση της τραχύτητας λόγω της ανομοιογένειας που επικρατεί στην επιφάνεια του νερού. Μόλις τα κύματα ενισχυθούν θα επικρατήσει μια σχετική ομοιογένεια λόγω των πολλαπλών κυματισμών, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της τραχύτητας και έτσι τη δημιουργία μιας επιφάνειας με ποικίλη τραχύτητα. Γενικά, παρόλα αυτά, η τραχύτητα της επιφάνειας ύδατος είναι πολύ χαμηλή, και τα εμπόδια στον αέρα είναι λίγα. Στους υπολογισμούς του ανέμου πρέπει να συμπεριληφθούν και τα νησιά, οι φάροι κλπ. Σημαντικό είναι ακόμη, να λαμβάνονται υπόψη η ναυσιπλοΐα, η αλιεία και οι διάδρομοι του θαλάσσιου εμπορίου καθώς ανάλογα με το μέγεθος του αιολικού πάρκου, είναι πιθανόν να επηρεάζονται τα δρομολόγια των εμπορικών πλοίων. Ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο ενδέχεται να έχει επιπτώσεις και στο οικοσύστημα. Συνεπώς, θα πρέπει να εξετάζεται η κατάσταση όσον αφορά τα ψάρια, τα θαλάσσια θηλαστικά και πτηνά στην περιοχή

1.5.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Αιολικών Πάρκων

Παρόλο που η αιολική ενέργεια είναι ήπια μορφή ενέργειας δεν είναι απαλλαγμένη από περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένα αιολικό πάρκο ενδέχεται να έχει επιπτώσεις και στο οικοσύστημα. Συνεπώς, θα πρέπει να εξετάζεται η κατάσταση όσον αφορά τα ψάρια, τα θαλάσσια θηλαστικά και πτηνά στην περιοχή. Η αιολική ενέργεια έχει μια σειρά χαρακτηριστικών τα οποία είναι τα εξής:

- Περισσότερες της μιας ανεμογεννήτριες απαιτούνται για μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες κυρίως σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές λόγω της εκεί ύπαρξης αέρα
- Οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές από μεγάλες αποστάσεις
- Η κίνηση των πτερυγίων αποσπά την προσοχή καθώς δημιουργεί αντανάκλασεις

Εκτός από τις οπτικές επιπτώσεις η αιολική ενέργεια σχετίζεται και με άλλα περιβαλλοντικά θέματα όπως ο θόρυβος, η χρήση γης και οι επιπτώσεις κατά τη διάρκεια κατασκευής. Ενώ ορισμένες επιπτώσεις όπως αυτές πάνω στην βιωσιμότητα των πτηνών και η απόσπαση της προσοχής μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Άλλες όπως η οπτική παρείσφρηση και ο θόρυβος απαιτούν πιο υποκειμενικά και ποιοτικά κριτήρια.

1.6 Υδροηλεκτρική Ενέργεια



Σχήμα 1.6: Υδροηλεκτρικό φράγμα

Ο όρος υδροηλεκτρική ενέργεια συνήθως περιορίζεται στην παραγωγή ενέργειας από την πτώση του νερού. Η ισχύς χρησιμοποιείται στη συνέχεια για άμεσους μηχανικούς σκοπούς ή, πιο συχνά, για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια από τις πιο καθιερωμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και εμπορικών επενδύσεων. Η πρώτη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία ξεκίνησε περίπου από το 1880 συχνά προέρχεται από υδροηλεκτρικούς - στροβίλους, και η δημιουργία των συνολικών παγκόσμιων εγκαταστάσεων αυξάνεται κατά περίπου 5% ετησίως από τότε. Η Υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει σήμερα περίπου το 20% της ηλεκτρικής παραγωγής παγκοσμίως. Η ενέργεια που παράγεται εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις και το έδαφος

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής του στροβίλου, γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Οι Υδροηλεκτρικές μονάδες περιλαμβάνουν την κατασκευή φράγματος εγκάρσια στο ρεύμα ενός ποταμού, στο τέλος μιας κοιλάδας, για τη δημιουργία υδροταμιευτήρα. Επειδή ο υδροταμιευτήρας εξασφαλίζει σταθερή ροή νερού, οι υδροηλεκτρικές μονάδες είναι πολύ αξιόπιστες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Η δέσμευση/αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

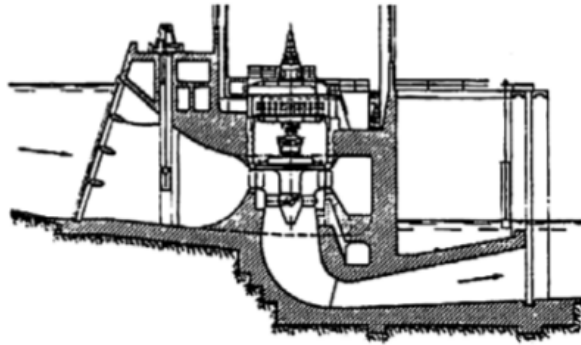
Κατάταξη Υδροηλεκτρικών Σταθμών:

- Ανάλογα με τον τύπο του φράγματος
 - Σταθμοί φράγματος, που περιλαμβάνουν το ανάντη φράγμα, τη διώρυγα τροφοδοσίας και τον αγωγό πίεσης.



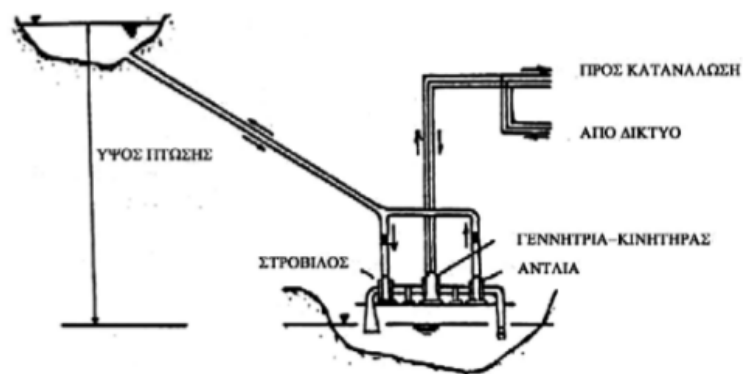
Σχήμα 1.7: Σταθμός φράγματος

- Σταθμοί ποτάμιας στάθμης, που χαρακτηρίζονται από μικρά ύψη και μεγάλες παροχές, ενώ το φράγμα που απαιτείται δεν είναι σημαντικό.



Σχήμα 1.8: Σταθμός ποτάμιας στάθμης

- Σταθμοί αντλιών, που λειτουργούν ως εξής: Στην περίοδο που η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρή, η γεννήτρια λειτουργεί σαν κινητήρας και οι αντλίες ανεβάζουν το νερό στην ανάντη λίμνη. Στις εγκαταστάσεις αυτές είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν αντιστρεπτές μηχανές που λειτουργούν σαν αντλίες ή στρόβιλοι ανάλογα με τη ρύθμιση των πτερυγίων τους.



Σχήμα 1.9: Σταθμός αντλιών

- Ανάλογα με το δυναμικό
 - Μικροσταθμοί με ισχύ μέχρι 100 kW
 - Μικρού δυναμικού, με ισχύ 100 – 1.000 kW
 - Μέσου δυναμικού με ισχύ 1.000 – 10.000 kW
 - Μεγάλου δυναμικού με ισχύ > 10.000 kW
- Ανάλογα με το ύψος πτώσης
 - Μικρής πτώσης, $H < 15$ m
 - Μέσης πτώσης, $15 \text{ m} < H < 50$ m
 - Μεγάλης πτώσης, $H > 50$ m

Ο βαθμός απόδοσης του εργοστασίου παραγωγής είναι 90 % (με 95 % β.α. των υδροστροβίλων και 95 % των ηλεκτρογεννητριών). Ο συνολικός βαθμός απόδοσης όλης της εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες στον αγωγό τροφοδοσίας, είναι 75 – 85 %.

1.6.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικών Σταθμών

Οι σταθμοί υδροηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται κυρίως σε ορεινές περιοχές. Φράσσοντας το ποτάμι, πλημμυρίζει η κοιλάδα. Αυτό σημαίνει ότι καταστρέφονται σπίτια και χωριά, αλλά και βιότοποι. Επιπλέον οι μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι δαπανηρές και χρειάζονται πολύ χρόνο για να κατασκευαστούν. Ωστόσο οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας, ενώ η ζωή τους διαρκεί πολλά χρόνια και μπορούν να παράγουν σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος όταν κατασκευαστούν, οι υδροηλεκτρικές μονάδες αποτελούν φθηνή και αξιόπιστη πηγή ηλεκτρισμού και ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υδροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.

1.7 Γεωθερμική Ενέργεια



Σχήμα 1.10: Εγκατάσταση εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας

Ο όρος Γεωθερμία αναφέρεται στην ενέργεια που προέρχεται από τα επιφανειακά ή βαθύτερα στρώματα των Γεωλογικών σχηματισμών και του υπογείου ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα της γης. Συγκεκριμένα ο όρος αυτός αναφέρεται στη θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η ενέργεια αυτή χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, η πρώτη είναι η ενέργεια που προέρχεται από τα επιφανειακά στρώματα της γης και ονομάζεται «αβαθής γεωθερμία» και η δεύτερη είναι η ενέργεια που προέρχεται από τα έγκατα της και ονομάζεται «γεωθερμικό δυναμικό». Γεωθερμικό δυναμικό είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους είκοσι πέντε βαθμούς Κελσίου (25°C). Η γεωθερμική ενέργεια είναι υπό ορισμένες συνθήκες εντελώς ανανεώσιμη, δημιουργεί λίγα έως μηδαμινά τεχνικά (διάβρωσης και επικαθίσεων) και περιβαλλοντικά προβλήματα και αποτελεί γενικά μια ήπια και ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Με τον ατμό συνήθως παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το ζεστό νερό και το συμπύκνωμα του ατμού μετά το στρόβιλο μπορεί να τύχει πολλαπλών χρήσεων. Τα βασικά στοιχεία που καθορίζουν και τις χρήσεις της γεωθερμίας είναι το ενεργειακό

περιεχόμενο του ρευστού (ενθαλπία), η σύστασή του, ο ευρύτερος χώρος που βρίσκεται το γεωθερμικό πεδίο, η ευκολία μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας ή διακίνησης των προϊόντων που παράγονται, καθώς και οικονομικοί παράγοντες.

1.7.1 Ενεργειακές βαθμίδες γεωθερμικής ενέργειας

Ανάλογα με το ενεργειακό περιεχόμενο του γεωθερμικού ρευστού (ενθαλπία – θερμοκρασία και πίεση) διακρίνονται τρεις κύριες βαθμίδες γεωθερμικής ενέργειας.

- Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας: Σαν υψηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C, που τις περισσότερες φορές είναι είτε υπέρθερμοι (ξηροί) ατμοί, είτε υγροί ατμοί (μίγμα ατμών και νερού). Χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Γεωθερμία μέσης ενθαλπίας: Σαν μέσης ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά θερμοκρασίας μεταξύ 80 και 150 °C. Χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση ή και ξύραση ξυλείας και γεωργικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού με την χρησιμοποίηση ενδιάμεσου κλειστού κυκλώματος με εργαζόμενο μέσο, ουσία που σε κανονικές συνθήκες έχει χαμηλό σημείο ζέσης, π.χ. φρέον ή ισοβουτάνιο.
- Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας: Σαν χαμηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία από 25 έως 80 °C. Είναι άφθονα σε πολλές περιοχές της γης και σε οικονομικά βάθη, αρκεί να υπάρχει ικανοποιητικός υπόγειος υδροφορέας σε κατάλληλο βάθος. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Επιπλέον υπάρχει η Περιβαλλοντική (ή πολύ χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετησίων του αέρα περιβάλλοντος συνήθως μικρότερες των 25 °C, κανονική, ομαλή ή αβαθής), που χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού.

1.7.2 Εφαρμογές γεωθερμικής ενέργειας

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στις άμεσες και στις ηλεκτροπαραγωγικές. Στην πρώτη περιλαμβάνονται οι εφαρμογές στις οποίες ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται τη θερμότητα του γεωθερμικού ρευστού άμεσα και χωρίς περίπλοκες διεργασίες και διατάξεις, αξιοποιώντας τη για διάφορες χρήσεις. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τη γεωθερμία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με χρήση διαφόρων ειδών διατάξεων. Ο τρόπος εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας και οι δυνατότητες αξιοποίησης της εξαρτώνται άμεσα από το θερμικό περιεχόμενο του γεωθερμικού ρευστού. Αυτό σημαίνει πως κάθε εφαρμογή αξιοποίησης της γεωθερμίας αντιστοιχεί με ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, για το οποίο η εφαρμογή αυτή καθίσταται τεχνικά εφικτή και οικονομικά συμφέρουσα.

Έτσι λοιπόν τα πεδία υψηλής ενθαλπίας είναι ιδανικά για την εκμετάλλευση τόσο του ατμού, όσο και των διάφορων αερίων, είτε απευθείας, είτε αφού διαχωριστούν από την υγρή φάση, με την οποία συνυπάρχουν. Και στις δυο περιπτώσεις οδηγούνται σε ειδικούς στροβίλους χαμηλής πίεσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ρευστά μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιούνται είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού (σε κύκλο Rankine, με δευτερεύον οργανικό ρευστό), είτε σε άλλες χρήσεις. Τα γεωθερμικά ρευστά διέρχονται από εναλλάκτη θερμότητας, θερμαίνουν ένα δευτερεύον οργανικό ρευστό χαμηλού σημείου ζέσης (π.χ. φρέον,

ισοβουτάνιο, πεντάνιο), οι ατμοί του οποίου κινούν ένα στρόβιλο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμαίνουν κανονικό νερό, που χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές, τηλεθερμάνσεις οικισμών κλπ.

Στα πεδία χαμηλής ενθαλπίας το υπόγειο νερό θερμαίνεται από την κανονική γήινη θερμική ροή και τέτοια πεδία απαντώνται σε εκτεταμένες περιοχές της γης. Τα ρευστά θερμοκρασίας 20 – 100 °C χρησιμοποιούνται είτε απευθείας, είτε με τη μεσολάβηση εναλλακτών θερμότητας ή ακόμα και αντλιών θερμότητας, έτσι ώστε να αυξηθεί το φάσμα χρήσεων, οι οποίες συνήθως επιβάλλεται να είναι διαδοχικές ή ετεροχρονισμένες. Αυτό οδηγεί σε αυξημένο συντελεστή χρήσης και γρηγορότερη απόσβεση των εγκαταστάσεων. Η επαναδιοχέτευση των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, μετατρέπει την εκμετάλλευση αυτή σε ένα κλειστό σχεδόν κύκλωμα, ενώ αποφεύγεται έτσι οποιαδήποτε αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον.

Μερικές από τις άμεσες χρήσεις είναι οι εξής:

1) Άμεση θέρμανση χώρων

Η άμεση θέρμανση χώρων είναι η παλαιότερη μορφή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας και η πλέον διαδεδομένη στην Ευρώπη. Περιλαμβάνει επίσης την παραγωγή ζεστού νερού για οικιακές χρήσεις. Η τεχνολογία που υιοθετείται είναι απλή, το γεωθερμικό ρευστό από μία ή δύο γεωτρήσεις αποδίδει θερμότητα στο σύστημα θέρμανσης του ενεργειακού χρήστη, είτε άμεσα, είτε μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Γι' αυτή την εφαρμογή απαιτούνται γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 45 °C.

2) Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Πρόκειται για συσκευές που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (όπως είναι το υπόγειο ή επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας και το υπέδαφος) προμηθεύοντας τη θερμότητα αυτή σε ένα θερμότερο μέσο, όπως είναι για παράδειγμα ένα σπίτι. Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας είναι τα ίδια με τα κοινά κλιματιστικά και περιλαμβάνουν τον συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξατμιστήρα, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια μια πηγή ενέργειας.

3) Τηλεθέρμανση

Η περιφερειακή θέρμανση οργανωμένων οικισμών και πόλεων με χρήση της γεωθερμίας εφαρμόζεται συστηματικά σε αρκετές χώρες (Γαλλία, Ισλανδία, Ιταλία κλπ). Όταν σε ένα σύστημα τηλεθέρμανσης αξιοποιείται σε σημαντικό βαθμό η γεωθερμική ενέργεια (τα συμβατικά καύσιμα χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των φορτίων αιχμής), τα συστήματα γεωθερμικής τηλεθέρμανσης, δύναται να δημιουργήσουν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης καθώς η παραγωγή θερμικής ενέργειας εξασφαλίζεται από εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και λειτουργίας. Οι θερμικές απαιτήσεις εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες, ενώ οι θερμοκρασίες σχεδιασμού από τη χρήση (κατοικίες 18-20 °C, γραφεία 17-18 °C κ.λπ.) Για να γίνει συνδυασμός τηλεθέρμανσης και κάλυψης αναγκών σε ζεστό νερό πρέπει η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού να είναι τουλάχιστον 65 °C. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα μια εκμετάλλευση τηλεθέρμανσης με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί στο 50-60% του κόστους πετρελαίου.

4) Θέρμανση θερμοκηπίων

Η εκτός εποχής καλλιέργεια κηπουρικών, οπωρικών και ανθοκομικών προϊόντων ή η ανάπτυξη τους σε περιοχές με μη ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες, μπορεί σήμερα να βασιστεί σε μια ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία. Οι χρήσεις και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εξαρτώνται από τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια, από τις κλιματολογικές συνθήκες, από τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων και από το είδος της καλλιέργειας. Οι απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας όμως, είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα η γεωθερμία να αποτελεί την ιδανική μορφή ενέργειας για αγροτικές εφαρμογές, λόγω του μικρού κόστους της. Τα θερμοκήπια απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30 °C. Μια πάρα πολύ κοινή περίπτωση, για τα δεδομένα του ελλαδικού χώρου είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο γεωθερμικά ρευστά 40-55 °C.

5)Υδατοκαλλιέργειες – Ιχθυοκαλλιέργειες

Η θερμοκρασία του νερού στις υδατοκαλλιέργειες είναι ένας από τους πιο σημαντικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες που παίζει καθοριστικό ρόλο στη ζωή ενός υδρόβιου οργανισμού. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία μέχρι τη βέλτιστη τιμή για κάθε εκτρεφόμενο οργανισμό, επιτυγχάνεται αύξηση των ρυθμών ανάπτυξης έως ένα μέγιστο επιθυμητό επίπεδο. Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει με οικονομικό τρόπο θέρμανσης του νερού. Η θέρμανση πραγματοποιείται είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού. Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού απαιτείται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (πχ βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κλπ.). Οι υδατοκαλλιέργειες απαιτούν την παρουσία γεωθερμικού ρευστού σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 20 °C. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων εξαρτάται από την αρχική θερμοκρασία των ρευστών, τη θερμοκρασία που απαιτείται στις δεξαμενές εκτροφής καθώς και από τις θερμικές απώλειές τους. Η απαραίτητη θερμοκρασία στο νερό της δεξαμενής της ιχθυοκαλλιέργειας κυμαίνεται από 14 έως 30 °C ανάλογα με το είδος της.

6) Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Η γεωθερμική αφαλάτωση έχει το μεγαλύτερο συντελεστή εκμετάλλευσης σε σύγκριση με όλες τις άλλες εφαρμογές και είναι οικονομικότερη σε σχέση με την ηλιακή και αιολική αφαλάτωση. Η αφαλάτωση αποτελεί πράγματι μια διεργασία με υψηλή ενεργειακή συμμετοχή, που ξεπερνά το 50 % του κόστους παραγωγής του νερού. Έτσι, η εξασφάλιση φθηνής ενέργειας, όπως είναι συνήθως η γεωθερμική, έχει πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενώ (MES) και μπορεί να γίνει εύκολα χωρίς ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα, με τη χρήση γεωθερμικού νερού θερμοκρασίας 60 - 100 °C. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μια εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους αφαλάτωσης με πετρέλαιο.

1.8 Βιομάζα



Σχήμα 1.11: Εγκατάσταση εκμετάλλευσης βιομάζας

Ως βιομάζα θεωρούνται: τα προϊόντα, τα παραπροϊόντα και τα κατάλοιπα της γεωργικής, δασικής και ζωικής παραγωγής, τα παραπροϊόντα, από τη βιομηχανική επεξεργασία των παραπάνω προϊόντων, τα αστικά λύματα και σκουπίδια και οι οργανικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα π.χ. αυτοφυή φυτά, δάση, τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου.

Συγκεκριμένα ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτή οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ κ.λπ.)

Με τον όρο βιοενέργεια χαρακτηρίζεται η χημική ενέργεια που αποθηκεύεται σε φυτά και ζώα (τα οποία τρέφονται με φυτά ή άλλα ζώα) ή στα απόβλητα που αυτά παράγουν. Κατά τη διάρκεια διαδικασιών μετατροπής όπως η καύση, η βιομάζα απελευθερώνει την ενέργειά της, υπό τη μορφή θερμότητας, ενώ παράγεται διοξείδιο του άνθρακα που έρχεται να αντικαταστήσει το διοξείδιο του άνθρακα που απορροφούσε το φυτό όσο αναπτυσσόταν. Σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να αναφερθεί, ότι η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας είναι η αντιστροφή της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης.

1.8.1 Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας

Οι μέθοδοι με τις οποίες η αρχικά λαμβανόμενη βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε βιοκαύσιμο είναι βασικά τρεις, κάθε μία από τις οποίες συνδέεται με το είδος της πρώτης ύλης και την περιεκτικότητα της σε νερό. Οι βασικές μέθοδοι με τις επί μέρους τεχνολογίες είναι οι εξής:

- Θερμοχημικές μέθοδοι (ξηρές μέθοδοι):
 - Άμεση καύση, δηλαδή τη μετατροπή χημικής ενέργειας της βιομάζας σε θερμότητα και έπειτα χρήση της άμεσα (Θέρμανση, Ξήρανση) ή έμμεσα (ατμός για την κίνηση στροβίλου) με σύγχρονη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.
 - Αεριοποίηση, δηλαδή ατελής καύση βιομάζας - μερική οξειδωση βιομάζας με σκοπό την παραγωγή αερίου σύνθεσης (πτωχό αέριο) και εν συνεχεία παρουσία καταλυτών την μετατροπή του σε υποκατάστατο φυσικού αερίου ή σε μεθανόλη ή σε αμμωνία.
 - Πυρόλυση, εσώθερμη θερμοχημική διαδικασία – θέρμανση βιομάζας σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο από την οποία λαμβάνονται στερεά, υγρά ή αέρια προϊόντα με μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο.
 - Υδρογονοδιάσπαση, δηλαδή εμπλουτισμός βιομάζας με υδρογόνο για την παραγωγή καυσίμου με μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, συγκρινόμενο με τα πυρολυτικά έλαια.
- Χημικές μέθοδοι (υγρές μέθοδοι):
 - Εστεροποίηση, χημική μετατροπή φυτικών ελαίων σε ελαιοεστέρες και στη συνέχεια με την παρουσία καταλύτη (υδροξειδίου του νατρίου ή του καλίου) και αιθυλίου μετατρέπονται αντίστοιχα σε αιθυλεστέρες ή μεθυλεστέρες (βιοντήζελ), οι οποίοι χρησιμοποιούνται σαν βιοκαύσιμο στις μηχανές.
- Βιολογικές μέθοδοι (υγρές μέθοδοι):
 - Αναερόβια χώνευση, δηλαδή τη μετατροπή βιομάζας με τη βοήθεια μικροοργανισμών κάτω από ορισμένες συνθήκες, σε βιοαέριο το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας.
 - Υδρόλυση, προεργασία βιομάζας (κυτταρινές και ημικυτταρινές) για ζύμωση και έπειτα παραγωγή βιοενέργειας.
 - Ζύμωση, παραγωγή αιθανόλης από άμυλο, ξύλο, άχυρο κλπ , διάσπαση υδατανθράκων σε σάκχαρα (γλυκόζη), τα οποία μέσω της ζύμωσης και της απόσταξης να παράξουν αιθανόλη.

Το βασικό σκεπτικό για την επιλογή μεθόδου επεξεργασίας της βιομάζας είναι η περιεκτικότητα της σε νερό. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται βρίσκονται συνεχώς σε φάση βελτίωσης γι αυτό και η περιγραφή τους αναφέρεται στις βασικές αρχές λειτουργίας τους και δεν συγκεκριμενοποιούνται για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

1.8.2 Ενεργειακά προϊόντα από την επεξεργασία της βιομάζας

Από την επεξεργασία της βιομάζας παράγεται μια σειρά βιοενεργειακών προϊόντων. Αυτά ταξινομούνται ως εξής:

- Βιοκαύσιμα (βιοαιθανόλη, ETBE, διεστέρες, gasohol, βιομεθανόλη, πυρολυτικά έλαια κ.λπ.) και
- Θερμότητα και ηλεκτρισμός

1) Βιοαιθανόλη

Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνη της σαν καύσιμο, ή σε ανάμιξη με βενζίνη και ισοβουτάνιο. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης καθαρής βιοαιθανόλης θα πρέπει να γίνουν τροποποιήσεις στις μηχανές όπου χρησιμοποιηται. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την μορφή του MTBE (Methyl - Tertiary Butyl Ether) σαν πρόσθετο σε αμόλυβδο καύσιμο για την αύξηση των οκτανίων του.

2) Αιθυλεστέρες (ETBE [Ethyl-Tertiary-Butyl Ether])

Το ETBE προέρχεται από την αντίδραση ίσων μερών αιθανόλης και υδατανθρακικού, το οποίο έχει ανώτερες φυσικοχημικές ιδιότητες σε σχέση με την αιθανόλη όσον αφορά την αύξηση των οκτανίων της βενζίνης.

3) Μεθυλεστέρες (Βονήζελ)

Ο πλέον ενδιαφέρον μεθυλεστέρας, προερχόμενος από τα φυτικά έλαια (π.χ. ηλιόσποροι κ.λπ.) είναι RME (rape methyl ester). Αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο σε πετρελαιομηχανές, σε αναλογία μεγαλύτερη από 50%.

4) Βιομεθανόλη

Η βιομεθανόλη που προέρχεται από την επεξεργασία της βιομάζας μπορεί να αντικαταστήσει την συνθετική μεθανόλη που προέρχεται από επεξεργασία φυσικού αερίου ή άνθρακα και χρησιμοποιείται ευρέως στην χημική βιομηχανία

5) Πυρολυτικά έλαια

Προέρχονται από πυρόλυση της βιομάζας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Αυτό αναμένεται να γίνει δυνατόν όταν θα αναβαθμιστεί το καύσιμο, με βελτιώσεις της τεχνολογίας παραγωγής του, ώστε να μειωθεί το κόστος του.

6) Θερμότητα και Ηλεκτρισμός

Η βιομάζα παριστά αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί την απαιτούμενη στιγμή για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Η θερμότητα και ο ηλεκτρισμός μπορούν να παραχθούν από την άμεση καύση της βιομάζας ή του παραγόμενου από την αεριοποίηση «αερίου σύνθεσης» ή τη χρήση πυρολυτικών ελαίων ή RME, σε καυστήρες.

Αξιοποιούμενη λοιπόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Για την παραγωγή θερμότητας (περιφερειακά συστήματα θέρμανσης, ομαδικές θερμάνσεις κατοικιών και βιομηχανικών χώρων, θέρμανση νερού κ.λπ.)
- Για βιομηχανική συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού και
- Για επί πλέον παροχή ενέργειας σε υπάρχοντες συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος.

1.8.3 Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας- Εφαρμογές

Έτσι λοιπόν οι εφαρμογές και χρήσεις της ενέργειας που προέρχεται από την βιομάζα συνοψίζονται ως εξής:

- Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης ή/και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες
 - Συμπαραγωγή (θερμική και ηλεκτρική ενέργεια)
- Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών

- Προμήθεια θέρμανσης χώρων και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών
- Θέρμανση θερμοκηπίων
 - Σε περιοχές με μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων
- Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή βιομάζας
 - Βιοαιθανόλη (σακχαρούχα, κυταρινούχα κι αμυλούχα φυτά όπως σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.)
- Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή βιομάζας
 - Αστραπιαία πυρόλυση για παραγωγή υγρού καυσίμου – υποκατάστατου του πετρελαίου και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
 - Αεριοποίηση για αέριο καύσιμο – καυστήρες αερίου για παραγωγή ενέργειας
- Ενεργειακές καλλιέργειες
 - Καλάμι, αγριαγκινάρα, μικροφύκια, σόργο, ιτιά κλπ.
- Παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων από πτηνοτροφικά απόβλητα

1.9 Σύνοψη

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η έννοια της ενέργειας και του ενεργειακού πόρου μέσω των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και μιας σύντομης αναφοράς στην ροή ενέργειας πάνω στη γη. Έγινε αναφορά στην έννοια ενός πάρκου ΑΠΕ και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του. Τέλος, έγινε ανάλυση του πλήρους φάσματος των ΑΠΕ στο σύγχρονο κόσμο και αναλύθηκαν οι ΑΠΕ καθώς και τα πάρκα ΑΠΕ με βάση την προέλευση τους, το είδος, την ισχύ, την χρήση αλλά και τις εφαρμογές τους. Καθώς, οι ΑΠΕ αναγνωρίζονται ως ζωτικής σημασίας για την βιωσιμότητα, η ανάπτυξή τους είναι σημαντική.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά ηλιοθερμικών συστημάτων και των διάφορων τεχνολογιών τους για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Επίσης, γίνεται η πρώτη αναφορά στο έργο «ENERGEIA» και στη σκοπιμότητα του καθώς αναλύεται και ένα τυπικό ηλιοθερμικό πάρκο.

Αναφορές

[1] Αβραμίδου Νίκη, «Γεωθερμία» ,Πτυχιακή Εργασία, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2011

[2] Γιαννακούρας Ιωάννης, Ζαραβέλα Δέσποινα, Μανδρίκας Αχιλλέας, «Ανανεώσιμες – Ήπιες πηγές ενέργειας», Προγράμματα Ανοικτών Περιβαλλοντικών Τάξεων «ΚΑΛΛΙΣΤΩ»

[3] Δάφλος Δημήτριος, «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Συγκεντρωμένη Ηλιακή Ενέργεια. Σχεδιασμός Εγκατάστασης Συλλεκτών Παραβολικής Σκάφης για την υβριδοποίηση του ΑΗΣ της περιοχής Σορωνής Ρόδου», Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Συστήματα Αυτοματισμού», Αθήνα, 2012

[4] Ζούφιους Ιωάννης, «Μελέτη γεωθερμικού συστήματος, ανάλυση της μεθόδου Thermal Response Test (TRT) και εύρεση των δυο βασικών παραμέτρων σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων με χρήση κατάλληλου μοντέλου πάνω σε πραγματικά δεδομένα», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ

[5] Ηρώ Λιώκη, Μαργαρίτα Ασημακοπούλου, «ΑΙΟΛΙΚΗ και άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας BIOMAZA - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΥΔΑΤΟΠΤΩΣ, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2008

[6] Καλογεροπούλου Τζαννέτα, «Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών

[7] Καλυβά Βασιλική, «Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των άλλων ΑΠΕ για την ενεργειακή ζήτηση το 2050», Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών επιστήμων, Τμήμα Γεωλογίας, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές επιστήμες, Πάτρα 2015

[8] Καραλιβάνος Κωνσταντίνος, Κουτσιάλης Χρήστος «Βιοκλιματικός ανασχεδιασμός υπάρχοντος κτιρίου γραφείων στην Αττική μέσω του λογισμικού energy plus», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Δομοστατικής, Αθήνα, Ιούλιος 2013

[9] Κατσουλάκος Ν., «Ενεργειακή Αξιοποίηση Δασικής Βιομάζας: Η περίπτωση του Μετσόβου Ελ. Μπουτέτσιου», Διαχείριση Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Μηχανολόγος Μηχανικός, Υπ. Δρ. Ε.Μ.Π., ΜΔΕ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη»

[10] Κυριακούλης Στρατάκος, «Βέλτιστη προσαρμογή φορτίου με φωτοβολταϊκή γεννήτρια», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας Πάτρα Οκτώβριος 2009

[11] Μαρκίδης Παναγιώτης, «Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά», Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Οικονομικών Σπουδών

[12] Πασχαλίδου Πασχαλίνα, «Συγκριτική μελέτη των διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

[13] Χασικίδη Ειρήνη – Φωτεινή, «Αιολική ενεργεία σε Ελλάδα και Ευρώπη», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Νέες Αρχές στη Διοίκηση Επιχειρήσεων MBA

[14] Χριστόφης Ι. Κορωναίος, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό - Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Αθήνα, Μάρτιος 2012

[15] Jhon Twidell and Tony Weir, «Renewable Energy Resources», Second Edition 2006, Taylor& Francis

Κεφάλαιο 2

Ηλιακό Πάρκο

Περιεχόμενα

2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα.....	25
2.2.1 Παραβολικοί Συλλέκτες.....	26
2.2.2 Ηλιακοί Πύργοι Ισχύος.....	27
2.2.3 Συστήματα Παραβολικού Δίσκου.....	28
2.2.4 Συλλέκτης Fresnel.....	29
2.3 Περιγραφή του έργου «ENERGEIA».....	30
2.3.1 Ανάλυση του σκοπού του πιλοτικού έργου.....	32
2.4 Τυπικό Ηλιοθερμικό πάρκο παραβολικών κατόπτρων.....	33
2.4.1 Ηλιακό Πεδίο - Παραβολικά Κάτοπτρα	33
2.4.1.1 Ο δέκτης.....	34
2.4.1.2 Προσανατολισμός και παρακολούθηση.....	36
2.4.2 Σύστημα μεταφοράς θερμότητας.....	36
2.4.2.1 Υγρό μεταφοράς θερμότητας (HTF).....	36
2.4.2.2 Σύστημα κυκλοφορίας του μέσου μεταφοράς της θερμότητας.....	37
2.5 Σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας (TES).....	38
2.5.1 Είδη συστημάτων θερμικής αποθήκευσης ενέργειας.....	39
2.5.2 Πλεονεκτήματα συστήματος θερμικής αποθήκευσης ενέργειας.....	41
2.6 Σύστημα Μετατροπής της ενέργειας – Γεννήτρια ORC.....	42
2.6.1 Οργανικός Κυκλος Rankine.....	44
2.7 Σύνοψη.....	46
2.8 Αναφορές.....	47

2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ενέργειας μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι με τη χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ο δεύτερος είναι τα συγκεντρωτικά ηλιακά θερμικά συστήματα. Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα και αναλύονται οι διάφορες εφαρμογές και τεχνολογίες τους. Στη συνέχεια, γίνεται μια πρώτη αναφορά στο έργο «ENERGEIA» μία συνεργασία μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας, στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Εδαφικής Συνεργασίας, «Ελλάδα Βουλγαρία, 2007 – 2013» στο οποίο συμμετείχε το Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού. Τέλος περιγράφεται αναλυτικά ένα τυπικό ηλιοθερμικό πάρκο παραβολικών κατόπτρων από την αρχή λειτουργίας του και την συγκέντρωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας έως και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2 Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα συνδυάζουν διάφορες τεχνολογίες και προσφέρουν ενέργεια για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, που περιλαμβάνει όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο μεταξύ άλλων τη θέρμανση νερού χρήσης, θέρμανση χώρων, θερμότητα για βιομηχανικές διεργασίες, κλιματισμό, παραγωγή ατμού για βιομηχανικές εφαρμογές, ζήρανση.

Βασική τους ιδέα καθώς και βασική αρχή λειτουργίας τους, είναι η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σ' ένα σημείο ή μια γραμμή εστίασης. Ο ηλιακός συλλέκτης αποτελεί έναν ειδικής μορφής εναλλάκτη θερμότητας που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Ένας ηλιακός συλλέκτης διαφέρει σε πολλά πράγματα από τους περισσότερους συμβατικούς εναλλάκτες. Στους τελευταίους η μεταφορά θερμότητας γίνεται από ρευστό σε ρευστό ενώ ο ρόλος της ακτινοβολίας δεν είναι σημαντικός. Αντίθετα σε έναν ηλιακό συλλέκτη η ενέργεια μεταφέρεται με την μορφή ακτινοβολίας από μια πολύ μακρινή πηγή (ήλιος), σε ένα ρευστό που ρέει μέσω του συλλέκτη και καθιστά το εργαζόμενο μέσο σε υψηλές θερμοκρασίες ώστε μέσω ενός θερμοδυναμικού κύκλου να παράγει έργο.

Πολλοί τύποι τέτοιων συστημάτων είναι εφικτοί, οι οποίοι πολύ συχνά συνδυάζονται με άλλες ανανεώσιμες ή μη τεχνολογίες δημιουργώντας έτσι τα υβριδικά συστήματα. Παρόλα αυτά, οι εξής τέσσερις θεωρούνται πολλά υποσχόμενες αρχιτεκτονικές θερμικής ηλιακής ηλεκτροπαραγωγής :

- οι παραβολικοί συλλέκτες
- οι ηλιακοί πύργοι ισχύος
- τα συστήματα παραβολικού δίσκου
- ο συλλέκτης Fresnel,

Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των συστημάτων, είναι το γεγονός ότι αποτελούνται από συγκεκριμένα τμήματα όπως είναι οι ηλιακοί συλλέκτες, ο ηλιακός δέκτης, το σύστημα μεταφοράς του εργαζόμενου μέσου, το σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και το σύστημα μετατροπής ενέργειας. Καθώς επίσης περιλαμβάνουν έναν κοινό αριθμό βασικών σταδίων ο οποίος είναι η συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω ενός συστήματος συλλεκτών, η συγκέντρωση (ή εστίαση) της ακτινοβολίας σε έναν δέκτη, έπειτα η μετατροπή από το δέκτη σε θερμική ενέργεια και η μεταφορά της στο σύστημα ενεργειακής μετατροπής και τέλος η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό.

Βασικό χαρακτηριστικό των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι ο λόγος συγκέντρωσης. Ορίζεται ως το πηλίκο της επιφάνειας 'ανοίγματος' ή 'παραθύρου' από την οποία εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία προς την επιφάνεια του δέκτη, δηλαδή την επιφάνεια που απορροφά τη συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία.

$$C = A_a / A_r \quad (2.1)$$

Στην πράξη ο λόγος συγκέντρωσης κυμαίνεται από 1.5 έως 10000. Όσο αυξάνεται ο λόγος συγκέντρωσης αυξάνεται η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, καθώς και η ακρίβεια κατασκευής και η ποιότητα του οπτικού συστήματος και επομένως το κόστος. Στις ανώτατες τιμές του λόγου συγκέντρωσης, οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες είναι πλέον εργαστηριακά όργανα για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών. Από τη σκοπιά του μηχανικού ενδιαφέρουν οι χαμηλές και οι μέσες συγκεντρώσεις.

2.2.1 Παραβολικοί Συλλέκτες



Σχήμα 2.1: Παραβολικοί Συλλέκτες

Η πιο διαδεδομένη τεχνολογία συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων είναι με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες. Έχουν τομή σχήματος παραβολής και ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτών με είδωλο. Πρόκειται για σειρές παραβολικών κατόπτρων όπου συγκεντρώνεται η ηλιακή ακτινοβολία μέσω ανάκλασης στην εστιακή γραμμή τους. Στην εστιακή γραμμή είναι τοποθετημένος ο δέκτης ο οποίος διαρρέεται από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας, το οποίο θερμαίνεται από την άμεση ακτινοβολία του ήλιου. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί στον δέκτη, αποκτά θερμική ενέργεια και καταλήγει σε μία σειρά εναλλακτών θερμότητας (γεννήτριες ατμού) θερμαίνοντας νερό για παραγωγή υπέρθερμου ατμού (~400°C). Ο ατμός τροφοδοτεί έναν ατμοστρόβιλο και εκτελώντας έναν θερμοδυναμικό κύκλο παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Ο λόγος συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας κυμαίνεται σε τιμές από 8 ως 80, ενώ ο ετήσιος βαθμός απόδοσης είναι περίπου στο 15%. Τα συγκεκριμένα συστήματα είναι δύο διαστάσεων, οι συλλέκτες περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα προσανατολισμένο με κατεύθυνση ανατολή-δύση, παρακολουθώντας τον ήλιο από το βορρά στο νότο ή το αντίθετο. Με αυτό το σύστημα δε χρειάζεται ιδιαίτερη ρύθμιση του συλλέκτη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε διάστημα ενός χρόνου, ο προσανατολισμός βορρά-νότου είναι πιο αποδοτικός σε σύγκριση με τον ανατολής-δύσης. Με τον πρώτο συλλέγεται περισσότερη ενέργεια το καλοκαίρι, ενώ με τον δεύτερο το χειμώνα. Η επιλογή του κατάλληλου προσανατολισμού εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή (αν η ενέργεια χρειάζεται το χειμώνα ή το καλοκαίρι). Οι περισσότερες υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι υβριδικές, αφού διαθέτουν εφεδρικό λέβητα που λειτουργεί με ορυκτά καύσιμα για τη θέρμανση του νερού σε περιόδους με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, είναι δυνατή και η χρήση θερμοκλινών για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα των παραβολικών συλλεκτών είναι τα εξής:

- Εμπορικά Ώριμη τεχνολογία
- Απόδοση 14% (Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια)
- Εμπορικά αποδεδειγμένο κόστος επένδυσης και λειτουργίας
- Συναρμολογησιμότητα
- Καλύτερη εκμετάλλευση γης
- Χαμηλότερη απαίτηση σε υλικά
- Δυνατότητα εφαρμογής υβριδικής τεχνολογίας
- Δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας

2.2.2 Ηλιακοί Πύργοι Ισχύος



Σχήμα 2.2: Ηλιακός πύργος 260 MW στη Χιλή

Ο Πύργος Ηλιακής Ισχύος αποτελεί το πιο περίπλοκο σύστημα συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων. Ο συγκεντρωτής είναι μη συνεχής, δηλαδή αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κατόπτρων ή αλλιώς ηλιοστάτες, τα οποία ανακλούν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία προς έναν κεντρικό δέκτη τοποθετημένο σε πύργο. Το ύψος του κεντρικού πύργου μπορεί να προσεγγίσει ακόμη και τα 200m ανάλογα με το μέγεθος του σταθμού. Το ηλιοστατικό πεδίο βρίσκεται γύρω ή βόρεια του πύργου και αποτελείται από εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες κάτοπτρα τα οποία κατά την εγκατάστασή τους διατάσσονται στο χώρο με τέτοιο τρόπο ώστε να μη σκιάζονται μεταξύ τους, ούτε να παρεμβάλλονται στην πορεία της ανακλώμενης ακτινοβολίας εμποδίζοντάς τη να φτάσει στον δέκτη. Κάθε κάτοπτρο μπορεί να είναι επίπεδο ή ελαφρώς κυρτό και διαθέτει σύστημα δύο αξόνων παρακολούθησης του ήλιου, ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη συγκέντρωση ακτινοβολίας στον κεντρικό δέκτη που είναι εγκαταστημένος στην κορυφή του πύργου. Ο δέκτης είναι σχεδιασμένος ώστε να απορροφά την προσπίπτουσα ακτινοβολία, αναπτύσσοντας υψηλές θερμοκρασίες. Εκεί η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική, καθώς θερμαίνεται ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Το τελευταίο μετατρέπεται σε ατμό ή θερμαίνει ένα εργαζόμενο μέσο με εναλλάκτη θερμότητας και εισέρχεται σε ατμοστρόβιλο ο οποίος κινεί μία γεννήτρια και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτώντας το δίκτυο.

Στην τεχνολογία ηλιακού πύργου μπορούν να επιτευχθούν πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης ακτινοβολίας. Αυτού του είδους οι μονάδες είναι πιο κατάλληλες για μονάδες της τάξης των 30 - 400MWe. Οι πύργοι ηλιακής ισχύος για να είναι οικονομικοί πρέπει να είναι μεγάλοι σε ισχύ άρα και έκταση. Δεν γίνεται να δημιουργηθούν σε μικρότερη κλίμακα όπως τα υπόλοιπα είδη ηλιοθερμικών συστημάτων και να παραμείνουν οικονομικά αποδοτικοί. Κατάλληλες περιοχές είναι αυτές με άφθονη ηλιακή ακτινοβολία και φθινό κόστος γης.

Τα κύρια πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν αυτές οι εγκαταστάσεις είναι τα εξής:

- Συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια οπτικά και τη μεταφέρουν σε ένα ενιαίο δέκτη ελαχιστοποιώντας έτσι τις απαιτήσεις μεταφοράς της θερμικής ενέργειας.
- Πετυχαίνουν λόγους συγκέντρωσης της τάξης 300-1500 και επομένως είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη συλλογή ενέργειας και τη μετατροπή της σε ηλεκτρισμό.
- Μπορούν εύκολα να αποθηκεύσουν θερμική ενέργεια.
- Πρόκειται γενικά για μεγάλες εγκαταστάσεις (>10 MWe) και επωφελούνται από τις οικονομίες κλίμακας. Συνήθως είναι της τάξης των 30-400 MWe.

2.2.3 Συστήματα Παραβολικού Δίσκου



Σχήμα 2.3: Ηλιοθερμικό παραβολικό πιάτο με κάτοπτρα

Τα συστήματα παραβολικού δίσκου ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτών με είδωλο. Χρησιμοποιούν ένα κοίλο κάτοπτρο και αξιοποιώντας μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, την συγκεντρώνουν σε ένα εστιακό σημείο, τον δέκτη ο οποίος μπορεί να είναι σφαιρικός, επίπεδος ή κοίλος. Ο δέκτης απορροφώντας την ακτινοβολία του ήλιου την μετατρέπει σε θερμική ενέργεια του κυκλοφορούντος μέσου το οποίο μπορεί να είναι υγρό ή αέριο. Τα συστήματα είναι αποδοτικά στη συλλογή ηλιακής ενέργειας σε υψηλές θερμοκρασίες. Διαθέτουν δύο άξονες κίνησης για την ανάκλαση της δέσμης φωτός ενώ για την επίτευξη του βέλτιστου

προσανατολισμού θα πρέπει το κέντρο της επιφάνειας του δίσκου να είναι πάντα κάθετο στην ευθεία με το κέντρο του ήλιου. Εξασφαλίζουν έτσι, μεγάλους λόγους συγκέντρωσης (1000 – 4000) με επακόλουθο πολύ μεγάλους βαθμούς απόδοσης, έως και 29,4%, αναφορά η οποία αποτελεί το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από όλα τα συστήματα μετατροπής ενέργειας.

Η κύρια χρήση αυτού του τύπου συγκεντρωτή είναι η παραγωγή θερμικής ενέργειας για μετατροπή της σε ηλεκτρική, χρησιμοποιώντας μια διάταξη μηχανής – γεννήτριας συνδεδεμένη απευθείας στο δέκτη, που συνήθως είναι μια μηχανή Stirling ή ένας αεριοστρόβιλος. Πολύ σημαντικό παράγοντα αποτελεί η κατασκευή του, η οποία μπορεί να αποτελείται από πολλαπλά κάτοπτρα, και αυτό καθιστά τέτοια συστήματα ικανά για αυτόνομες απομακρυσμένες εφαρμογές αλλά και την ομαδοποίηση τους για χρήση σε απομονωμένα σημεία του δικτύου. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα υβριδικής λειτουργίας με χρήση συμβατικών καυσίμων. Ο μεγάλος βαθμός απόδοσής τους είναι ο λόγος για τον οποίο έχουν το δυναμικό να καταστούν μια από τις λιγότερο ακριβές πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Παρόλα αυτά, η χρήση τους είναι πολύ περιορισμένη και χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας ως και 25kW. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της εξέλιξης, καθώς το κόστος είναι απαγορευτικό για τη μαζική παραγωγή τους.

Τα κύρια πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν αυτά τα συστήματα είναι τα εξής:

- Πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης περίπου 30%
- Συναρμολογησιμότητα
- Δυνατότητα εφαρμογής υβριδικής τεχνολογίας

2.2.4 Συλλέκτης Fresnel

Ο συλλέκτης Fresnel ανήκει στην τεχνολογία ηλιοθερμικών συστημάτων που εφαρμόζουν γραμμική εστίαση και μπορεί να θεωρηθεί ως ένας σπασμένος ανακλαστής παραβολικού κατόπτρου. Αποτελείται από πολλές παράλληλες σειρές ανακλαστήρων που συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα δέκτη τοποθετημένο κατά μήκος των σειρών αυτών και αρκετά μέτρα ψηλότερα. Οι ανακλαστήρες αυτοί είναι γνωστοί ως πρωτοβάθμιοι για να μη συγχέονται με ένα δευτεροβάθμιο ανακλαστήρα που είναι τοποθετημένος στο επάνω μέρος του δέκτη και κατευθύνει όλες τις εισερχόμενες ακτίνες στο σωλήνα απορρόφησης. Ο δεύτερος που είναι τοποθετημένος πάνω από το δέκτη, έχει στόχο όχι μόνο να αυξήσει το στόχο για τους ανακλαστήρες Fresnel, αλλά να λειτουργήσει και ως μόνωση για τον απορροφητήρα. Στο πίσω μέρος διαθέτει αδιαφανή μόνωση και στο μπροστινό μέρος έναν υαλοπίνακα, ο οποίος περιορίζει τις απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής.



Σχήμα 2.4: Ηλιακό πεδίο Fresnel

Το σύστημα των συλλεκτών Fresnel είναι πανομοιότυπο με αυτό των παραβολικών κοίλων συλλεκτών καθώς χρησιμοποιεί σωληνωτό δέκτη που είναι τοποθετημένος κατά μήκος της εστιακής γραμμής του συλλέκτη.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου συστήματος είναι το αρκετά χαμηλότερο κόστος της κατασκευής αλλά και του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου, αφού τα κάτοπτρα τοποθετούνται με τρόπο που επιτρέπει στις σειρές να συζευχθούν και να κινούνται από μία μόνο μηχανή. Όσον αφορά την απλότητα της κατασκευής, ο δέκτης είναι τοποθετημένος σε σταθερή θέση και έτσι δεν απαιτούνται υδραυλικές συμπλέξεις ενώ παράλληλα τα κάτοπτρα δεν χρειάζεται να στηρίζουν το δέκτη. Επίσης, πλεονεκτεί έναντι των παραβολικών κοίλων συστημάτων ως προς τη χωροθέτηση, αφού είναι δυνατή η τοποθέτηση των συλλεκτών σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Η πιο βασική διαφορά όμως βρίσκεται στην λειτουργία του. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας στο δέκτη είναι νερό, αφού η παραγωγή του ατμού γίνεται απευθείας στον σωλήνα απορρόφησης. Αυτό, αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα, αφού το σύστημα δεν απαιτεί γεννήτρια ατμού. Συνεπώς, τα συστήματα γραμμικών ανακλαστήρων Fresnel θεωρούνται μια οικονομική λύση αλλά με αμφισβητήσιμη αξιοπιστία, λόγω χαμηλότερων βαθμών απόδοσης και ανεπάρκειας στην απόδοση μεγάλης ισχύος.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των γραμμικών συλλεκτών Fresnel είναι τα εξής:

- Χρησιμοποιούνται οικονομικά επίπεδα κάτοπτρα και απλό σύστημα παρακολούθησης του ήλιου.
- Δε χρειάζεται τεχνολογία κενού, ούτε υάλινο κάλυμμα.
- Διαθέτουν σταθερό σωλήνα απορρόφησης, χωρίς να χρειάζονται εύκαμπτες συνδέσεις υψηλής πίεσης.
- Λόγω της επιπεδότητας του ανακλαστήρα, τα φορτία του ανέμου είναι περιορισμένα.
- Λόγω της άμεσης παραγωγής ατμού, δε χρειάζεται η χρήση εναλλάκτη θερμότητας.
- Αποτελεσματική χωροθέτησή τους, αφού μπορούν να τοποθετηθούν ο ένας δίπλα στον άλλο.

2.3 Περιγραφή του έργου «ENERGEIA»

Αποτελεί έργο Στρατηγικού Χαρακτήρα το οποίο υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Ευρωπαϊκής Εδαφικής Συνεργασίας Ελλάδα-Βουλγαρία 2007-2013 με τίτλο: «Κοινά πρότυπα αξιοποίησης χαμηλών γεωθερμικών πεδίων για την προώθηση καινοτόμων ενεργειακά επενδύσεων στην διασυνοριακή περιοχή - πιλοτική εφαρμογή», “Fostering the use of low temperature geothermal sources through the development of operational exploitation guidelines and green energy solutions of enterprising” με διακριτικό τίτλο “ENERGEIA”. Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται μία αεροφωτογραφία του πιλοτικού έργου όπου ξεχωρίζουν τα κύρια μέρη του: ο Οικίσκος Ελέγχου, το Ηλιακό Πεδίο, η Γεννήτρια ORC, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας TES, ο Κομποστοποιητής και τα Θερμοκήπια.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το συνδυασμό ενεργειακών πηγών και ιδιαίτερα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), αποτελεί μια ταχύτατα εξελισσόμενη ερευνητική περιοχή. Κύριος στόχος της υβριδοποίησης των ΑΠΕ αποτελεί η συμπληρωματική λειτουργία των πρωτογενών πηγών ενέργειας για την επίτευξη της αδιάλειπτης λειτουργίας του εκάστοτε σταθμού παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 2.5: Πιλοτικό έργο «ENERGEIA»

Βασική ιδέα του έργου είναι η εξής: «Το ρευστό του γεωθερμικού πεδίου αντλείται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και, μέσω εναλλάκτη, αποδίδει την θερμότητά του στο μέσο μεταφοράς θερμότητας (HeatTransferFluid - HTF). Το HTF διέρχεται μέσα από το ηλιοθερμικό πεδίο και καθώς κυκλοφορεί μέσα στους συλλέκτες, αυξάνεται η θερμοκρασία του. Η θερμότητα αυτή στη συνέχεια μέσω εναλλάκτη μεταφέρεται στο οργανικό εργαζόμενο μέσο της μηχανής οργανικού κύκλου Rankine (ORC) όπου παράγεται μηχανικό έργο και ηλεκτρική ενέργεια μέσω της συζευγμένης γεννήτριας».

Το έργο “ENERGEIA” εστιάζει στην ενίσχυση της έρευνας και στην ανάλυση γεωθερμικών συστημάτων, μέσω πιλοτικών εφαρμογών και μέσω της ανάπτυξης κατευθυντηρίων γραμμών λειτουργικής εφαρμογής και αποδοτικών τεχνοοικονομικών μελετών ενέργειας, τόσο σε δημόσιο, όσο και σε εμπορικό επίπεδο.

Το πιλοτικό έργο αποσκοπεί:

- i. Αφενός στη μελέτη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση μηχανής οργανικού κύκλου Rankine, η οποία θα τροφοδοτείται από την συνδυασμένη λειτουργία ηλιοθερμικού και γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας
- ii. Αφετέρου στη δυνατότητα ταυτόχρονης εκμετάλλευσης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας μέσω της συνδυασμένης λειτουργίας μέσω της υβριδοποίησης του ηλιακού και γεωθερμικού συστήματος για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων ενέργειας δικτύου τηλεθέρμανσης και θερμοκηπιακής μονάδας.

Επομένως σκοπός του πιλοτικού έργου είναι η διερεύνηση της κατάλληλης τεχνικής υβριδοποίησης της ηλιοθερμικής με την γεωθερμική ενέργεια για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων διαφόρων καταναλωτών π.χ. θερμοκήπια, σχολεία, κατοικίες κ.λ.π.. Η επιβεβαίωση της θεωρητικής προσέγγισης της απόδοσης του πιλοτικού σταθμού περιλαμβάνεται στους στόχους της έρευνας.

2.3.1 Ανάλυση του σκοπού του πιλοτικού έργου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το προτεινόμενο πιλοτικό πρόγραμμα περιλαμβάνει την υβριδοποίηση δύο ΑΠΕ, της γεωθερμικής και της ηλιακής ενέργειας, για την συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων παρακείμενων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων και κομποστοποιητή, καθώς και την τηλεθέρμανση σχολικής μονάδας.

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για το γεωθερμικό ρευστό του τοπικού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας Ν. Ερασμίου - Μαγγάνων η χαμηλή θερμοκρασία των 60°C δεν επιτρέπει την κάλυψη των θερμικών φορτίων της σχολικής μονάδας και επίσης δεν δίνει την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις διαθέσιμες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής. Καθώς, οι μηχανές Οργανικού Κύκλου Rankine απαιτούν θερμοκρασίες από 80°C (με βέλτιστη πάνω από τους 120°C) και καθώς η σχολική μονάδα διαθέτει συμβατικό σύστημα απόδοσης της θέρμανσης, δηλαδή απαιτεί θερμοκρασία προσαγωγής τουλάχιστον 70°C, η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού θα πρέπει να αυξηθεί. Για αυτό το σκοπό το πιλοτικό έργο περιλαμβάνει την χρήση ηλιακών παραβολικών κατόπτρων.

Από την ανάλυση των κλιματολογικών στοιχείων της περιοχής εγκατάστασης του υβριδικού σταθμού, προκύπτει πως η χρήση ηλιοθερμικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας αποτελεί κατάλληλη τεχνολογία ΑΠΕ για την υβριδοποίηση με την τοπικά διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας, ώστε να είναι δυνατή η συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό δίνει την δυνατότητα για αύξηση μέσω συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών της θερμοκρασίας του γεωθερμικού ρευστού, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία μηχανής Οργανικού Κύκλου Rankine, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, η αύξηση της θερμοκρασίας μέσω των ηλιακών συλλεκτών δίνει τη δυνατότητα να καλυφθούν τα θερμικά φορτία της σχολικής μονάδας.

Το πιλοτικό έργο θα πρέπει να καλύπτει τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων που περιλαμβάνονται στους στόχους του πιλοτικού προγράμματος. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να καλύπτει τα θερμικά φορτία για λειτουργία των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων, συνολικού εμβαδού 640 m². Αυτή η κάλυψη θερμικού φορτίου είναι για 24 ώρες την ημέρα και καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και θα πρέπει να προκύπτει και από την λειτουργία του ηλιοθερμικού συστήματος αλλά και από την παροχή του γεωθερμικού ρευστού σε περιπτώσεις που η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί, όπως για παράδειγμα τους χειμερινούς μήνες. Το θερμικό φορτίο της σχολικής μονάδας είναι 30 kW_{th} και αφορά μόνο τους χειμερινούς μήνες και τις ώρες λειτουργίας της σχολικής μονάδας (8.00 – 15.00). Καθώς το κτίριο του σχολείου διαθέτει συμβατικές τερματικές μονάδες απόδοσης της θερμότητας (θερμαντικά σώματα τύπου panel), η θερμοκρασία εισόδου εκτιμάται σε $T_{in}=80^{\circ}\text{C}$ και θερμοκρασία εξόδου $T_{out}=60^{\circ}\text{C}$. Αυτή η κάλυψη θερμικού φορτίου, λόγω της αυξημένης θερμοκρασιακής απαίτησης που χρειάζεται το νερό για την θέρμανση των χώρων, επιτυγχάνεται μέσω της λειτουργίας του ηλιοθερμικού πεδίου. Το θερμικό φορτίο του κομποστοποιητή, ο οποίος δοκιμάζεται πιλοτικά για την παραγωγή βιοαερίου, είναι αμελητέο και καλύπτεται απευθείας από το γεωθερμικό ρευστό ενώ το ηλεκτρικό φορτίο των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων υπολογίζεται κατ'ελάχιστον σε 5 kW_e, και περιλαμβάνει τη λειτουργία ανεμιστήρων, αντλιών, κινητήρων, φωτισμού, κ.α.. Η προτεινόμενη συνδεσμολογία περιλαμβάνει την εξυπηρέτηση, κατά προτεραιότητα, των ηλεκτρικών φορτίων μέσω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη λειτουργία της μηχανής Οργανικού κύκλου Rankine.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει αναφορά, μελέτη και ανάλυση μόνο της λειτουργίας του ηλιοθερμικού πεδίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και του ζεστού νερού για χρήση στη θέρμανση της σχολικής μονάδας, στο πιλοτικό έργο. Αυτό σημαίνει πως δεν θα αναλυθεί ο τρόπος λειτουργίας της γεώτρησης και του γεωθερμικού υγρού που λαμβάνεται από εκεί, του θερμοκηπίου της εγκατάστασης και του κομποστοποιητή.

2.4 Τυπικό Ηλιοθερμικό πάρκο παραβολικών κατόπτρων

Τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας ηλιοθερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

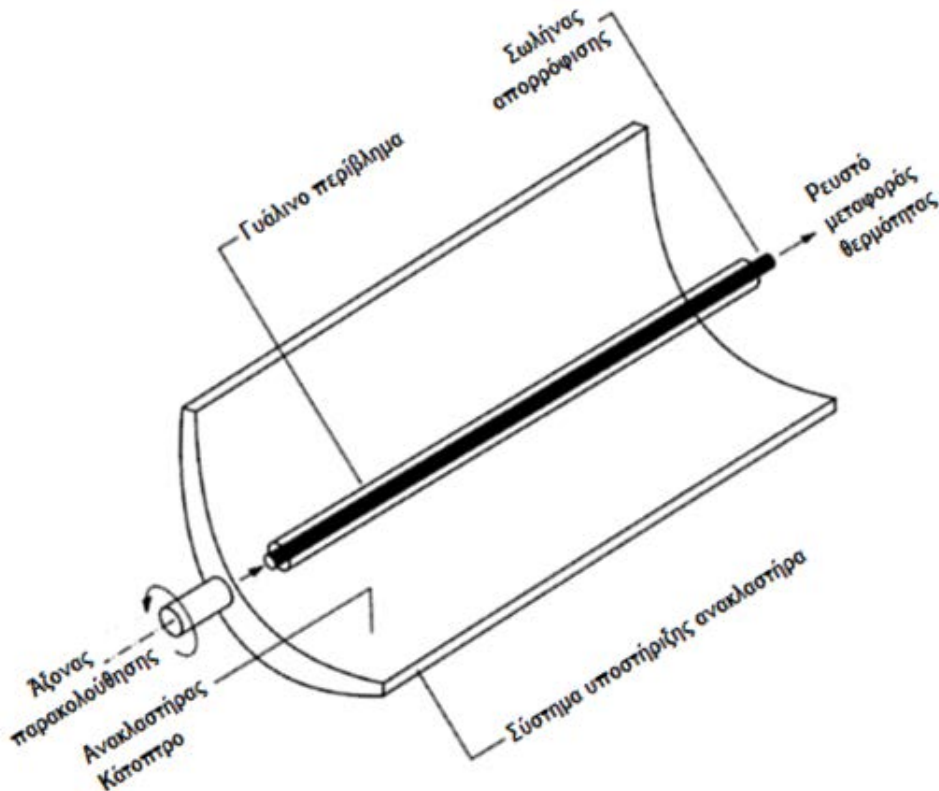
- Το ηλιακό πεδίο το οποίο αποτελείται από
 - τους ηλιακούς συλλέκτες
 - και το σύστημα μεταφοράς της θερμότητας
- Το σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας
- Το σύστημα μετατροπής της ενέργειας

2.4.1 Ηλιακό Πεδίο - Παραβολικά Κάτοπτρα

Ηλιακό πεδίο είναι ένας υπαίθριος χώρος μεγάλης έκτασης όπου γίνεται η συλλογή και η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μακριές παράλληλες σειρές από πανομοιότυπα συγκεντρωτικά στοιχεία, κοίλα κάτοπτρα, είναι τοποθετημένες με συγκεκριμένο τρόπο με σκοπό να συλλέξουν την ενέργεια του ήλιου μέσω της εστίασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Έπειτα η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας, HTF (θερμικό λάδι, λιωμένο αλάτι, νερό, αέρας, υδρογόνο ή ήλιο) το οποίο αντλείται στο πεδίο των παραβολικών ηλιακών συλλεκτών. Αφού έχει αποκτήσει την κατάλληλη θερμοκρασία προωθείται στη διάταξη παραγωγής ατμού, όπου και θερμαίνει το ρευστό λειτουργίας (νερό), μέσω εναλλάκτη θερμότητας, για την παραγωγή υπέρθερμου κορεσμένου ατμού. Στη συνέχεια, το ρευστό λειτουργίας προωθείται στο υποσύστημα παραγωγής ισχύος, όπου και εκτελείται ο κύκλος ισχύος στη θερμική μηχανή για την παραγωγή μηχανικού έργου και ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος επανέρχεται στη διάταξη παραγωγής ατμού για την εκ νέου πρόσληψη θερμότητας από το πεδίο συλλεκτών.

Ένα κοίλο παραβολικό συγκεντρωτικό κάτοπτρο αποτελείται από μία ανακλαστική επιφάνεια τοποθετημένη πάνω σε μια δομή υποστήριξης η οποία έχει το προφίλ μιας παραβολής. Μια διάταξη δέκτη η οποία περιλαμβάνει έναν κυκλικό σωλήνα απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας εφοδιασμένο με κατάλληλη επιλεκτική επίστρωση ηλιακής ακτινοβολίας και περιβαλλόμενο από ένα γυάλινο περίβλημα βρίσκεται στο κέντρο του ανακλαστήρα κατά μήκος της εστιακής γραμμής. Με κατάλληλη στήριξη στα άκρα το κάτοπτρο στηρίζεται σε δύο έδρανα τοποθετημένα σε δύο πυλώνες. Επίσης είναι εφοδιασμένο με ένα ακριβές σύστημα οδήγησης, προκειμένου να παρακολουθεί τον ήλιο και, ως εκ τούτου, να διατηρήσει την εστίαση της ηλιακής ακτινοβολίας στο συγκρότημα του δέκτη. Η προστίππουσα ενέργεια απορροφάται από ένα ρευστό εργασίας, ρευστό μεταφοράς θερμότητας, που κυκλοφορεί μέσω του σωλήνα απορρόφησης.

Τα διάφορα υποσυστήματα του παραβολικού κατόπτρου είναι ο ανακλαστήρας, η δομή στήριξής του, ο δέκτης και οι συσκευές εντοπισμού. Αυτά φαίνονται στο Σχήμα 2.6:



Σχήμα 2.6: Παραβολικό συγκεντρωτικό κάτοπτρο

2.4.1.1 Ο δέκτης

Ο δέκτης ενός παραβολικού κατόπτρου είναι γραμμικός. Αποτελεί το στοιχείο συλλογής θερμότητας (Heat Collector Element) και συγκροτείται από έναν απορροφητή που περιβάλλεται από ένα γυάλινο περίβλημα. Ο απορροφητής είναι τυπικά ένας σωλήνας κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα με μια επιλεκτική απορροφητική επιφάνεια ηλιακής ακτινοβολίας η οποία παρέχει τις απαιτούμενες ιδιότητες ακτινοβολίας. Οι επιλεκτικές επιφάνειες ηλιακής ακτινοβολίας συνδυάζουν υψηλή απορροφητικότητα ακτινοβολίας με χαμηλό συντελεστή εκπομπής για το εύρος θερμοκρασιών στο οποίο η επιφάνεια εκπέμπει ακτινοβολία. Αυτός ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών της επιφάνειας είναι εφικτός επειδή το 98% της ενέργειας στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία περιέχεται μέσα σε μήκη κύματος μικρότερα από 3 μm . Το γυάλινο περίβλημα είναι ένας αντι-ανακλαστικός απομονωμένος γυάλινος σωλήνας που προστατεύει τον απορροφητή από την αλλοίωση και μειώνει τις απώλειες θερμότητας.

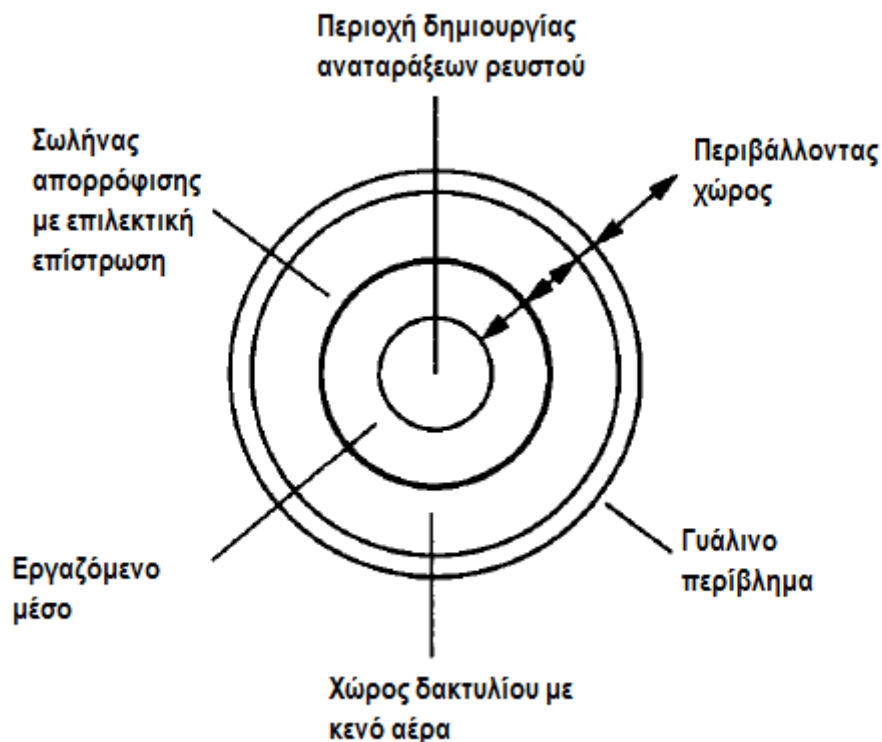
Περίβλημα κενού χρησιμοποιείται για να μειώσει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και για την προστασία της επιλεκτικής επιφάνειας ηλιακής απορρόφησης από την οξείδωση. Το στοιχείο συλλογής θερμότητας χρησιμοποιεί συμβατικό γυαλί με μεταλλικές σφραγίδες και φουσητήρες μέταλλου σε κάθε άκρο για να επιτευχθεί το αναγκαίο περίβλημα κενού και για να μειώσει τη διαφορά θερμικής διαστολής μεταξύ του σωλήνα χάλυβα και του γυάλινου περιβλήματος. Οι φουσητήρες επιτρέπουν επίσης στον απορροφητή

να εκτείνεται πέραν του γυάλινου περιβλήματος έτσι ώστε να μπορεί να σχηματιστεί ένας συνεχής δέκτης. Ο χώρος μεταξύ των φουσητήρων παρέχει ένα μέρος για να προσδεθούν τα στηρίγματα υποστήριξης του. Χημικοί δεσμευτές τοποθετούνται στο δακτύλιο για να απορροφήσουν το υδρογόνο, το οποίο προέρχεται από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας και μειώνει την απόδοση του κατόπτρου. Το μέγεθος του σωλήνα, και επομένως η αναλογία συγκέντρωσης, καθορίζεται από το μέγεθος της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας και των ανοχών κατασκευής της κοιλότητας. Το συνολικό μήκος του σωλήνα δέκτη ενός παραβολικού κατόπτρου είναι συνήθως από 25 μέχρι 150 μέτρα.

Η πρωταρχική λειτουργία του δέκτη είναι να απορροφά και να μεταφέρει τη συγκεντρωμένη ενέργεια στο υγρό που ρέει μέσα του. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η απορροφητική επιφάνεια του δέκτη θερμαίνεται, και η θερμοκρασία του θα γίνει αισθητά υψηλότερη του περιβάλλοντος χώρου. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και του περιβάλλοντα χώρου θα προκαλέσει κάποια από την ενέργεια που συλλέχτηκε να μεταφερθεί πίσω στον περιβάλλοντα χώρο. Η γνώση της απώλειας θερμότητας από τον δέκτη είναι σημαντική για την πρόβλεψη της απόδοσης και το σχεδιασμό του κατόπτρου.

Η διατομή του υποσυστήματος δέκτη φαίνεται στο Σχήμα 2.7. Όπως φαίνεται, υπάρχουν τρεις διαφορετικές ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ των συνιστωσών του δέκτη. Αυτές είναι:

1. Η μεταφορά θερμότητας από το σωλήνα απορροφητή στο εργαζόμενο ρευστό
2. Ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του σωλήνα απορρόφησης και του γυάλινου περιβλήματος
3. Ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του γυάλινου περιβλήματος και το περιβάλλοντος χώρου



Σχήμα 2.7: Διατομή του υποσυστήματος δέκτη

2.4.1.2 Προσανατολισμός και παρακολούθηση

Οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να εστιάζονται συνεχώς στο γραμμικό δέκτη. Για αυτό το σκοπό τα παραβολικά κανάλια είναι εφοδιασμένα με σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας. Η διατήρηση της εστίασης στο δέκτη επιτυγχάνεται όταν η τροχιά του ηλίου είναι κάθετη στα παραβολικά κανάλια καθώς αυτά στρέφονται γύρω από τον άξονα του (νοητού) κυλίνδρου.

Τα παραβολικά κάτοπτρα μπορούν να παρέχονται σε δύο άξονες, πολικό άξονα και οριζόντιο Ανατολής-Δύσης ή οριζόντιο Βορρά-Νότου. Οι Neville και Thomas «Parabolic trough concentrators – design, construction and evaluation»[10], ανέλυσαν τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών. Το σύστημα δύο αξόνων είναι ιδανικό και θα δώσει τη μέγιστη θερμική απόδοση. Η αλλαγή στην αποδοτικότητα του πολικού άξονα στήριξης θα κυμαίνεται από 0 έως 9% στη διάρκεια του χρόνου. Όμως, για τα μεγάλα συστήματα, το οριζόντιο Ανατολής-Δύσης ή οριζόντιο Βορρά-Νότου είναι ιδιαίτερα κατάλληλο. Αναλύσεις αρκετών ερευνητών δείχνουν ότι, για τα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, ο οριζόντιος προσανατολισμός βορρά-νότου είναι πολύ πιο κατάλληλος από αυτόν της ανατολής-δύσης.

Σημαντική διαφορά στην παραγωγή ενέργειας προκαλείται από την διαφορετική οπτική γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει στο επίπεδο του ανοίγματος των συγκεντρωτών. Στον προσανατολισμό ανατολής δύσης η ημερήσια μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης είναι πάντα μεγαλύτερη προσφέροντας μέγιστες τιμές καθημερινά κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου ενώ κατά το ηλιακό μεσημέρι υπάρχει μια ελάχιστη τιμή μεταβολής 0°. Παρόλα αυτά εξ αιτίας των εποχιακών διακυμάνσεων η διάταξη Βορά - Νότου προσφέρει 3-4 φορές περισσότερη ενέργεια καθημερινά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες στην απόδοση του συλλέκτη. Έτσι η ετήσια θερμική απόδοση της διάταξης Βορά - Νότου είναι μεγαλύτερη από ότι της Ανατολής - Δύσης.

2.4.2 Σύστημα μεταφοράς θερμότητας

2.4.2.1 Υγρό μεταφοράς θερμότητας (HTF)

Το ρευστό που χρησιμοποιείται για την μεταφορά της θερμότητας (HTF) αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία για την συνολική απόδοση και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας. Δεδομένου ότι για τη λειτουργία του συστήματος απαιτείται μια μεγάλη ποσότητα ρευστού, είναι απαραίτητη η ελαχιστοποίηση του κόστους του μεγιστοποιώντας παράλληλα την απόδοσή του. Εκτός από τη μεταφορά θερμότητας από το δέκτη στη γεννήτρια ατμού, δυνατή είναι η αποθήκευση ζεστού ρευστού σε μια μονωμένη δεξαμενή με σκοπό τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν το φως του ήλιου δεν είναι διαθέσιμο.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός ρευστού μεταφοράς θερμότητας είναι τα εξής :

1. χαμηλό σημείο τήξεως
2. υψηλό σημείο βρασμού και θερμική σταθερότητα
3. χαμηλή πίεση ατμών (< 1 atm) σε υψηλή θερμοκρασία
4. χαμηλή διάβρωση με τα μεταλλικά κράματα τα οποία το περιέχουν
5. μικρό ιξώδες
6. υψηλή θερμική αγωγιμότητα

7. υψηλή θερμική χωρητικότητα για την αποθήκευση της ενέργειας, και τέλος
8. χαμηλό κόστος

Τα υγρά μεταφοράς θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν σε έξι κύριες ομάδες με βάση τον τύπο των υλικών

1. αέρας και άλλα αέρια
2. νερό / ατμός
3. θερμικά έλαια
4. οργανικά
5. τετηγμένα-άλατα και
6. υγρά μέταλλα

Το εύρος θερμοκρασιών που εργάζονται τα οργανικά και τα θερμικά έλαια είναι 12-393 °C και (-20) - 400 °C, αντίστοιχα. Το πιο ευρέως μελετημένο ρευστό μεταφοράς θερμότητας αποτελούν τα τετηγμένα άλατα. Τα τετηγμένα-άλατα έχουν αποτελέσει το πιο ευρέως μελετημένο HTF λόγω της υψηλής τους θερμοκρασίας λειτουργίας (μεγαλύτερη από 500 °C) και θερμοχωρητικότητας, της χαμηλής πίεσης ατμού και της διαβρωτικής τους ικανότητας, καθώς και τις καλές θερμικές και φυσικές τους ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα υγρά μέταλλα αποτελούν επίσης ένα καλό τύπο στοιχείου για ηλιακές μονάδες υψηλής θερμοκρασίας.

Για τεχνικούς λόγους αποφυγής φαινομένων πήξης ή ατμοποίησης του μέσου μεταφοράς εντός του υδραυλικού κυκλώματος του πιλοτικού έργου, καθώς επίσης για αποφυγή λειτουργίας του συστήματος σε υψηλές πιέσεις, επιλέγεται η χρήση θερμικού ελαίου ως μέσου μεταφοράς. Το επιλεγόμενο θερμικό έλαιο θα πρέπει να είναι συμβατό με τους δέκτες των παραβολικών συλλεκτών, την μηχανή ORC και τους εναλλάκτες θερμότητας. Γενικότερα, η επιλογή του HTF θα πρέπει να συνοδεύεται από αξιολόγηση της εκτόνωσης του υγρού, τις μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας, τις ελάχιστες θερμοκρασίες λειτουργίας, της προστασίας έναντι της οξείδωσης και της αντιψυκτικής προστασίας.

2.4.2.2 Σύστημα κυκλοφορίας του μέσου μεταφοράς της θερμότητας

Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας από το ηλιοθερμικό πεδίο στο σύστημα μετατροπής ενέργειας γίνεται με την κυκλοφορία του μέσου μεταφοράς θερμότητας (HTF). Ειδικότερα το σύστημα κυκλοφορίας του HTF περιλαμβάνει ένα εκτενές δίκτυο σωληνώσεων στο οποίο ανακυκλοφορεί το μέσο σε κλειστό κύκλωμα από και προς το ηλιοθερμικό πεδίο και το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το δίκτυο των σωληνώσεων πρέπει να είναι συμβατό με το HTF και να παρουσιάζει θερμική σταθερότητα για τις θερμοκρασίες λειτουργίας του σταθμού. Σε συμβατικές ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις οι σωλήνες από χαλκό, χάλυβα ή ανοξείδωτο χάλυβα αποτελούν τις διαθέσιμες επιλογές. Οι σωλήνες γαλβανισμένου χάλυβα δεν προτείνεται να χρησιμοποιούνται, λόγω της μειωμένης αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι συνδέσεις των σωληνώσεων πρέπει επίσης να αντέχουν στις συνθήκες λειτουργίας (πίεσης και θερμοκρασίας) του κυκλώματος. Το δίκτυο σωληνώσεων στο πιλοτικό υβριδικό σταθμό είναι υπέργειο, όπως ισχύει στους συμβατικούς ηλιοθερμικούς σταθμούς.

Εκτός από το δίκτυο σωληνώσεων, το σύστημα κυκλοφορίας του HTF περιλαμβάνει κατάλληλο αριθμό αντλιών. Αποτελεί συνηθισμένη πρακτική η τοποθέτηση επιπλέον αντλίας/ων, η/οι οποία/ες θα παραμένει σε εφεδρεία. Οι αντλίες κυκλοφορούν το HTF διαμέσου του ηλιακού πεδίου, του εναλλάκτη θερμότητας, του συστήματος εκτόνωσης και του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας.

Δεδομένων των ακραίων συνθηκών ροής που επικρατούν στο δίκτυο σωληνώσεων του πεδίου, ένα ενδεικτικό δίκτυο κυκλοφορίας του διαθερμικού ρευστού περιλαμβάνει δοχεία διαστολής κάθετου τύπου , καθώς και δεξαμενή κάθετου τύπου για αποθήκευση HTF. Επίσης, επιβάλλεται η εγκατάσταση διατάξεων ασφαλείας, όπως βαλβίδων ασφαλείας προδιαγραφών τέτοιων ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του συστήματος και να αντέχουν στις ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Τα διαστολικά δοχεία θα πρέπει να είναι διαστασιολογημένα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κατά την διάρκεια της συνήθους λειτουργίας του ηλιοθερμικού σταθμού η διαστολή του συνθετικού ελαίου να απορροφάται από τα δοχεία.

2.5 Σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας (TES)

Εκ φύσεως η ηλιακή ενέργεια είναι μια κυμαινόμενη πηγή ενέργειας, έτσι η θερμική αποθήκευσή της είναι απαραίτητη για να διασφαλίζεται η συνεχής παροχή ενέργειας στην διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας. Όλα τα πεδία συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν θερμική ενέργεια για μικρά χρονικά διαστήματα, αυτό τους επιτρέπει να μπορούν να ρυθμίζουν καλύτερα και να εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις που άλλες ηλιακές τεχνολογίες παρουσιάζουν στις συννεφιασμένες μέρες. Η έννοια της θερμικής αποθήκευσης είναι απλή: κατά τη διάρκεια της ημέρας, η περίσσεια θερμότητας εκτρέπεται σε ένα υλικό αποθηκεύσεως (π.χ. τετηγμένα άλατα). Όταν η παραγωγή είναι απαραίτητη και μετά το ηλιοβασίλεμα, η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται στον κύκλο ατμού και έτσι συνεχίζεται η παραγωγή.

Δεδομένου ότι σχεδόν σε όλες τις θερμικές εφαρμογές υπάρχει μια αναντιστοιχία μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και του προφίλ της ζήτησης θερμότητας, η θερμική αποθήκευση είναι απαραίτητη για να κάνει την ηλιακή θερμική ενέργεια περισσότερο χρησιμοποιήσιμη. Ανάλογα με το μέγεθος της αναντιστοιχίας η θερμική αποθήκευση έχει σχεδιαστεί με σκοπό να γεφυρώσει αυτό το χάσμα από μόνο λίγες ώρες.

Μελέτες δείχνουν ότι, σε τοποθεσίες με υψηλό δείκτη ακτινοβολίας, για να ταιριάζει η επέκταση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη ζήτηση αυτή απαιτεί μια χωρητικότητα αποθήκευσης των δύο έως τεσσάρων ωρών. Σε ελαφρώς λιγότερο ηλιόλουστες περιοχές, η αποθήκευση θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη, δεδομένου ότι βοηθά επίσης στην αντιστάθμιση της κάπως λιγότερης ύπαρξης πόρων. Τα ηλιακά πεδία είναι κάπως μεγαλύτερα σε σχέση με την ονομαστική ηλεκτρική ισχύ, ώστε να εξασφαλίζεται η επαρκής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι όταν υπάρχει μέγιστη ισχύ ηλιακού φωτός, τα πεδία παράγουν περισσότερη θερμότητα από ότι μπορούν οι στρόβιλοι τους να απορροφήσουν. Σε περίπτωση απουσίας της αποθήκευσης, στις πιο ηλιόλουστες ώρες, οι φορείς εκμετάλλευσης των κατόπτρων θα έπρεπε να σταματήσουν την εστίαση ορισμένων ηλιακών συλλεκτών. Με την αποθήκευση αποφεύγεται να χαθεί αυτή η ενέργεια ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την επέκταση της παραγωγής μετά το ηλιοβασίλεμα.

Ένα σύστημα θερμικής αποθήκευσης ενέργειας αποτελείται κυρίως από τρία μέρη, το μέσο αποθήκευσης, το μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας και το σύστημα συγκράτησης. Το μέσο αποθήκευσης ενέργειας αποθηκεύει

τη θερμική ενέργεια είτε υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας, είτε ως λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης ή ατμοποίησης, είτε με τη μορφή της αναστρέψιμων χημικών αντιδράσεων. Σήμερα, υλικά αποθήκευσης ενέργειας με τη μορφή συνθετικού ελαίου και τηγμένων αλάτων είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά αποθήκευσης σε συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας μεγάλης κλίμακας, ενώ τα συστήματα που χρησιμοποιούν λανθάνουσα θερμότητα, θερμοχημικά και άλλα υλικά αποθήκευσης θερμότητας εξακολουθούν να αναπτύσσονται. Ο σκοπός του μηχανισμού μεταφοράς ενέργειας είναι να παράσχει ή να εξάγει θερμότητα από το μέσο αποθήκευσης. Το σύστημα συγκράτησης κρατά το μέσο αποθήκευσης, καθώς και τον εξοπλισμό μεταφοράς ενέργειας και μονώνει το σύστημα από το περιβάλλον.

2.5.1 Είδη συστημάτων θερμικής αποθήκευσης ενέργειας

Ένα σύστημα αποθήκευσης καυτού ύδατος, το οποίο χρησιμοποιείται σε άλλα ηλιακά συστήματα με επίπεδους συλλέκτες που αναπτύσσουν χαμηλές θερμοκρασίες, δεν είναι κατάλληλο για τα συστήματα παραβολικών κοίλων κατόπτρων καθώς η υψηλή πίεση στη δεξαμενή αποθήκευσης θα καθιστούσε το σύστημα πάρα πολύ ακριβό. Αυτός είναι ο λόγος που τα συστήματα αυτά απαιτούν ένα διαφορετικό μέσο αποθήκευσης. Αναλόγως με το μέσο που η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται, υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων: συστήματα με μονό μέσο αποθήκευσης και συστήματα με διπλό μέσο αποθήκευσης.

➤ Συστήματα με Μονό Μέσο Αποθήκευσης

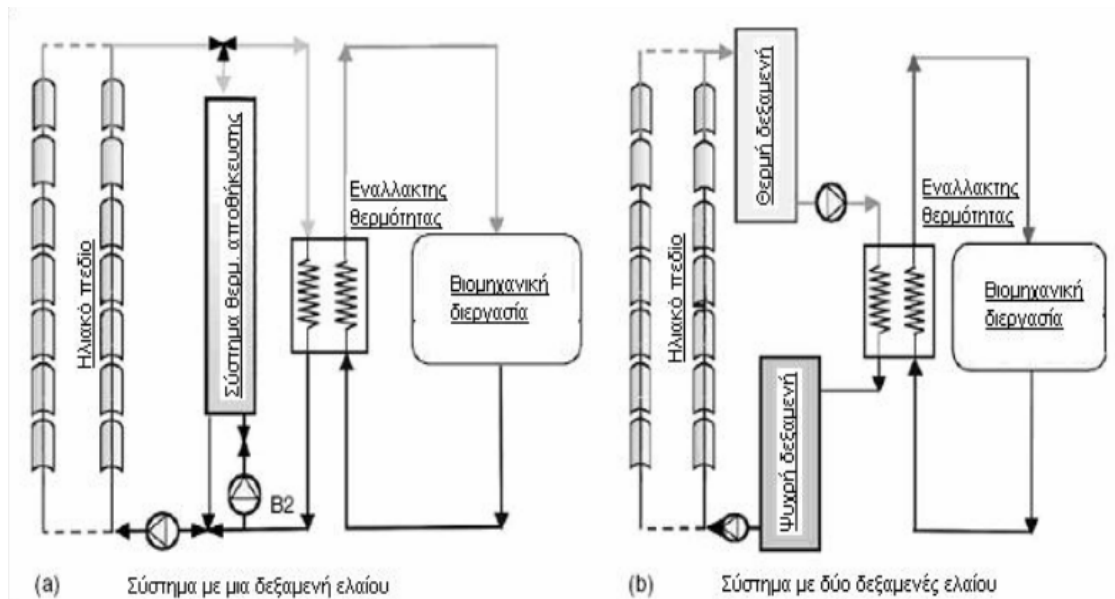
Τα συστήματα με μονό μέσο αποθήκευσης είναι εκείνα στα οποία το μέσο αποθήκευσης είναι το ίδιο ρευστό που κυκλοφορεί στον σωληνωτό δέκτη. Το συνηθέστερο μέσο που χρησιμοποιείται και ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας και ως μέσο αποθήκευσης είναι το θερμικό έλαιο. Η απόδοση αυτών των συστημάτων είναι μεγαλύτερη από 90%. Βέβαια ένα μειονέκτημα των συστημάτων ελαίου είναι η ανάγκη για κατάλληλα πυροσβεστικά συστήματα, καθώς επίσης και για ένα τσιμεντένιο φρεάτιο όπου θα συλλέγονται οποιεσδήποτε διαρροές και θα αποφεύγεται η ρύπανση. Όλος αυτός ο πρόσθετος εξοπλισμός αυξάνει το κόστος του συστήματος αποθήκευσης. Τα συστήματα αποθήκευσης με έλαια μπορούν να διαμορφωθούν με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Συστήματα με μια Δεξαμενή Ελαίου. Για συστήματα αποθήκευσης μικρής χωρητικότητας, η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μια μόνο δεξαμενή. Στη δεξαμενή αυτή το έλαιο κατανέμεται σε στρώματα βάσει της θερμοκρασίας του. Το Σχήμα 2.8 (α) εμφανίζει τη διάταξη αυτού του τύπου συστήματος. Το ηλιακό πεδίο μπορεί να παρέχει το θερμικό έλαιο είτε στη δεξαμενή αποθήκευσης είτε στους εναλλάκτες θερμότητας (γεννήτρια ατμού) είτε και στα δυο ταυτόχρονα.

Η πυκνότητα των θερμικών ελαίων, που χρησιμοποιούνται και για μεταφορά και για αποθήκευση, ποικίλλει έντονα ανάλογα με τη θερμοκρασία. Επομένως, για παράδειγμα, η πυκνότητα του ελαίου Santotherm 55 στους 90°C είναι 842,5 kg/m³, ενώ στους 300°C είναι 701,4 kg/m³. Εξαιτίας της μικρότερης πυκνότητάς του, το καυτό έλαιο που εισάγεται από την κορυφή της δεξαμενής αποθήκευσης παραμένει στα ανώτερα στρώματα μέσα στη δεξαμενή, ενώ το κρύο έλαιο παραμένει πάντα στη κατώτερη στάθμη της δεξαμενής. Κατά την εκφόρτιση του συστήματος αποθήκευσης, το καυτό έλαιο αφήνει τη δεξαμενή πάλι από την κορυφή της, μεταφέρεται στη γεννήτρια ατμού και επιστρέφει στον πυθμένα της δεξαμενής. Το κρύο έλαιο φεύγει από τον πυθμένα της δεξαμενής και πηγαίνει στο ηλιακό πεδίο κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας ώστε να θερμανθεί και να επιστρέψει έπειτα στην κορυφή της δεξαμενής. Το σύστημα αποθήκευσης φορτίζεται πλήρως όταν όλο το έλαιο

που είναι αποθηκευμένο στη δεξαμενή είναι καυτό. Όπως αναφέρθηκε ήδη, η χρήση μιας μόνο δεξαμενής αποθήκευσης ελαίου είναι εφικτή μόνο για μικρά συστήματα αποθήκευσης. Για μεγαλύτερης χωρητικότητας συστήματα, απαιτούνται δύο δεξαμενές ελαίου (δηλ., μια δεξαμενή για το κρύο και άλλη μια για το θερμό έλαιο).

- Συστήματα με Δύο Δεξαμενές Ελαίου. Σε αυτά τα συστήματα υπάρχουν δύο δεξαμενές ελαίου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8 (b), μια θερμή δεξαμενή και μια ψυχρή δεξαμενή. Ο λέβητας-εναλλάκτης θερμότητας τροφοδοτείται πάντα από την θερμή δεξαμενή, και μόλις το έλαιο μεταφέρει τη θερμότητα στο νερό του λέβητα, πηγαίνει στην ψυχρή δεξαμενή. Η τελευταία ανεφοδιάζει το ηλιακό πεδίο, το οποίο την ίδια στιγμή τροφοδοτεί την θερμή δεξαμενή με το έλαιο που θερμαίνεται από τους συλλέκτες.



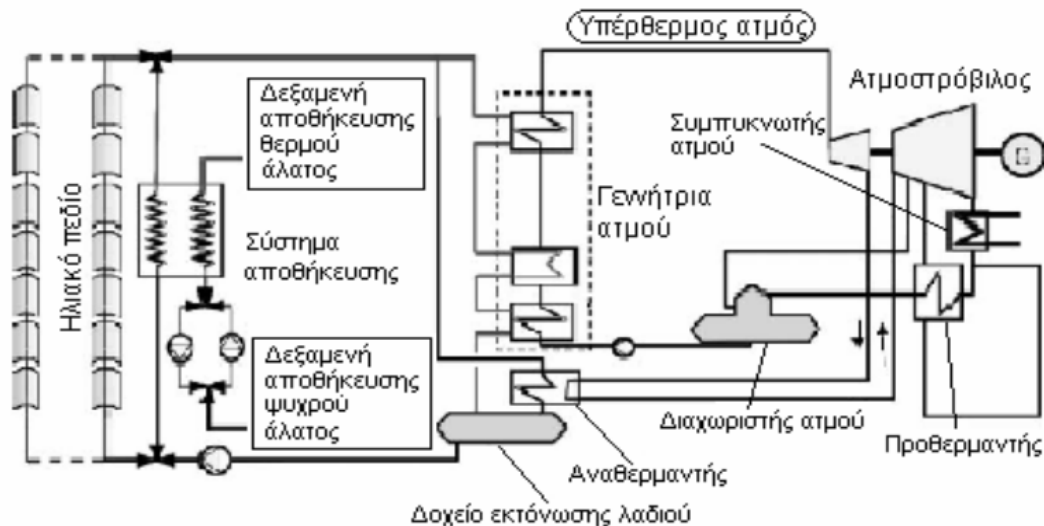
Σχήμα 2.8: Συστήματα θερμικής αποθήκευσης με μία και δύο δεξαμενές

➤ Συστήματα με Διπλό Μέσο Αποθήκευσης

Τα συστήματα με διπλό μέσο αποθήκευσης είναι εκείνα στα οποία η θερμότητα αποθηκεύεται σε ένα μέσο διαφορετικό από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας που θερμαίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες. Πλάκες σιδήρου, κεραμικά υλικά, τηγμένα άλατα, ή ακόμη και πλάκες σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα αποθήκευσης. Σε αυτά τα συστήματα, το έλαιο χρησιμοποιείται συνήθως ως το μέσο μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του ηλιακού πεδίου και του υλικού όπου η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται. Στην περίπτωση της θερμικής αποθήκευσης σε πλάκες σιδήρου, το έλαιο κυκλοφορεί μέσω καναλιών ανάμεσα από πλάκες χυτοσιδήρου και έτσι, μεταφέρει τη θερμική ενέργεια στις πλάκες (διαδικασία φόρτισης) ή την παίρνει από αυτές (διαδικασία εκφόρτισης).

Τα τηγμένα άλατα (ένα ευτηκτο μίγμα νιτρικών αλάτων νατρίου και καλίου) μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για τα θερμικά συστήματα με διπλό μέσο αποθήκευσης στις ηλιακές εγκαταστάσεις παραβολικών κοίλων κατόπτρων. Σε αυτήν την περίπτωση, απαιτούνται δύο δεξαμενές: μια για το ψυχρό τηγμένο άλας και άλλη μια για να αποθηκεύει το θερμό τηγμένο άλας. Προφανώς, η χαμηλότερη θερμοκρασία πρέπει να είναι πάντα επάνω από το σημείο τήξης του άλατος (περίπου 250°C). Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται ένας εναλλάκτης θερμότητας για να μεταφέρει την ενέργεια από τα έλαια που χρησιμοποιούνται στο ηλιακό πεδίο (μέσο μεταφοράς θερμότητας) στο τηγμένο άλας που χρησιμοποιείται για την ενεργειακή αποθήκευση (μέσο

αποθήκευσης). Στο σχήμα 2.9 εμφανίζεται ένα απλουστευμένο σχέδιο μιας εγκατάστασης παραβολικών κοίλων κατόπτρων με ένα σύστημα θερμικής αποθήκευσης ενέργειας τηγμένου άλατος. Αυτός ο τύπος συστήματος θερμικής αποθήκευσης θεωρείται ότι είναι ο πιο αποδοτικός οικονομικά για τις μεγάλες εμπορικές ηλιακές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής.



Σχήμα 2.9: Σύστημα θερμικής αποθήκευσης τηγμένου άλατος

2.5.2 Πλεονεκτήματα συστήματος θερμικής αποθήκευσης ενέργειας

Το σύστημα θερμικής αποθήκευσης ενέργειας μειώνει όπως αναφέρθηκε παραπάνω την αναντιστοιχία μεταξύ της παροχής ενέργειας από τον ήλιο και ζήτησης ενέργειας. Ανάλογα με την διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, τα συστήματα TES μπορούν να ενσωματωθούν για να εκτελέσουν μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες λειτουργίες:

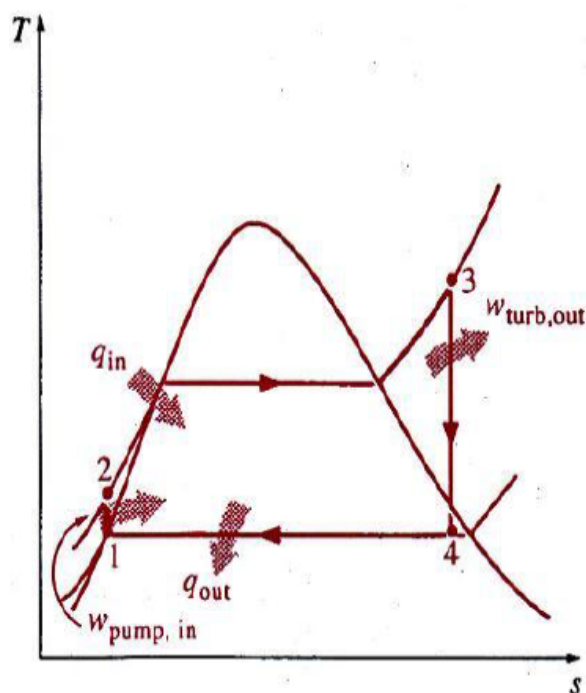
1. **Ρύθμιση** – Περίοδοι νεφοκάλυψης ή λόγοι δυσμενών καιρικών συνθηκών εξαναγκάζουν την γεννήτρια τουρμπίνας σε μια παροδική κατάσταση μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα του στρόβιλου λόγω των απωλειών εκκίνησης. Αν και το ρευστό μεταφοράς θερμότητας (HTF) έχει κάποια θερμική αδράνεια ώστε να βοηθάει την παραγωγή να ξεπεράσει τις σύντομες αυτές περιόδους, η εμπειρία με εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας έχει δείξει ότι αυτό μπορεί να μην είναι αρκετό για να αποτρέψει το κλείσιμο της τουρμπίνας. Η προσθήκη ενός μικρού συστήματος αποθήκευσης μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό των βραχυπρόθεσμων διακυμάνσεων στην ηλιακή ακτινοβολία
2. **Μετατόπιση ή παράταση της ημερομηνίας παράδοσης** – Η μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μη συμπίπτει με την αιχμή της ηλιακής ακτινοβολίας. Ένα σύστημα TES μπορεί να βελτιώσει την δυνατότητα αποστολής ενέργειας από το ηλιακό πεδίο κατά τη διάρκεια της εκτός των ωρών αιχμής, όπως το πρωί, στη συνέχεια, την εκπλήρωση της ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης, η οποία μπορεί να παρέχει υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.
3. **Βελτίωση του ετήσιου συντελεστή εκμετάλλευσης** – Ο συντελεστής ικανότητας ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια παράμετρος απόδοσης που συγκρίνει την καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που παραδίδεται από το πεδίο με την ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί στο πλαίσιο συνεχούς λειτουργίας με

πλήρη ισχύ κατά την ίδια χρονική περίοδο. Δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, μια ηλιακή μονάδα παραγωγής ενέργειας χωρίς αποθήκευση έχει πολύ χαμηλό συντελεστή ικανότητας. Ένα σύστημα TES μπορεί να επιτρέψει στο σταθμό παραγωγής να τρέξει, όταν ο ήλιος δεν είναι διαθέσιμος και εάν είναι αρκετά μεγάλο, η μονάδα μπορεί να λειτουργήσει για 24 ώρες. Εφτά ώρες αποθήκευσης μπορεί να αυξήσουν τον συντελεστή ικανότητας, ή το ηλιακό κλάσμα, από ένα τυπικό 25 με 28% έως και το 43%. Συστήματα αποθήκευσης που προορίζονται για τη χρήση αυτή απαιτούν ένα μεγαλύτερο ηλιακό πεδίο από αυτό που απαιτείται για ένα σταθμό παραγωγής χωρίς αποθήκευση.

2.6 Σύστημα Μετατροπής της ενέργειας – Γεννήτρια ORC

Ο οργανικός κύκλος Rankine (Organic Rankine Cycle, ORC) αντιστοιχεί σε μια θερμική μηχανή με κύκλο ισχύος ατμού στον οποίο στη θέση του νερού – ατμού χρησιμοποιείται οργανικό εργαζόμενο μέσο. Η δυνατότητα του να χρησιμοποιεί τη θερμότητα καυσαερίων χαμηλής θερμοκρασίας καθώς και οποιαδήποτε πηγή ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, όπως η γεωθερμία, η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια από την καύση βιομάζας και η θερμότητα που απορρίπτεται στο περιβάλλον ως παραπροϊόν διάφορων παραγωγικών διαδικασιών (waste heat) για να παράγει ηλεκτρισμό, τον έχει καταστήσει αρκετά δημοφιλή στον τομέα παραγωγής ενέργειας. Ειδικό θερμικό έλαιο προσδίδει θερμότητα στον οργανικό κύκλο με σκοπό την αποφυγή τοπικής υπερθέρμανσης του οργανικού ρευστού και την εξασφάλιση της λειτουργίας του εναλλάκτη θερμότητας σε ατμοσφαιρική πίεση. Η χαμηλή θερμοκρασία βρασμού σε σχέση με αυτή του νερού είναι το χαρακτηριστικό αυτών των ρευστών. Η θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας μέσω του κύκλου μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο το οποίο με την σειρά του μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

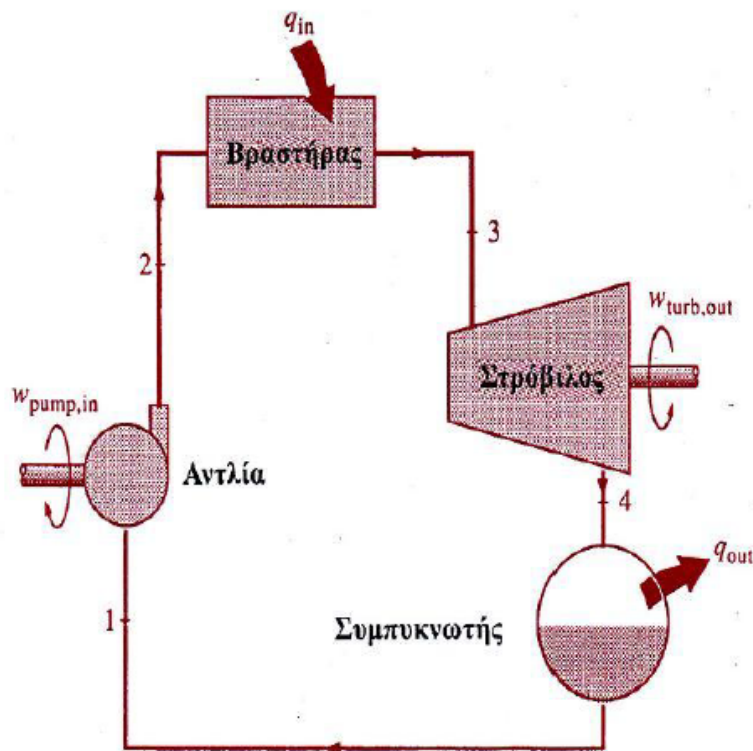
Το γεγονός πως ο κύκλος Rankine μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μικρές μετατροπές σε συνδυασμό με πολλές και διάφορες πηγές θερμότητας είναι αυτό που εξηγεί την επιτυχία του. Η υψηλή τεχνολογική ωριμότητα των συνιστωσών του κύκλου, λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους σε εφαρμογές ψύξης ενισχύει αυτήν την επιτυχία.



Σχήμα 2.10: Διάγραμμα T - S ιδανικού κύκλου Rankine

Ο ιδανικός κύκλος Rankine, σύμφωνα με το σχήμα 2.10, αποτελείται από τις ακόλουθες τέσσερις ολικά αντιστρεπτές διεργασίες:

- 1-2 Ισεντροπική συμπίεση (Στην αντλία)
- 2-3 Ισοβαρή προσθήκη θερμότητας στο βραστήρα (Σταθερή πίεση)
- 3-4 Ισεντροπική εκτόνωση (Στο στρόβιλο)
- 4-1 Ισοβαρή απόρριψη θερμότητας στο συμπυκνωτή (Σταθερή πίεση)



Σχήμα 2.11: Ατμοστρόβιλος Rankine

Το ρευστό λειτουργίας εισέρχεται στην αντλία στην κατάσταση 1 με τη μορφή κορεσμένου υγρού και συμπιέζεται ισεντροπικά στην πίεση λειτουργίας του βραστήρα. Η θερμοκρασία του ρευστού, κατά τη διάρκεια της συμπίεσης, αυξάνεται ελαφρά λόγω της ελαφράς μείωσης του ειδικού του όγκου. Στη συνέχεια, το ρευστό εισέρχεται στο βραστήρα στην κατάσταση του κορεσμένου υγρού, όπου θερμαίνεται υπό σταθερή πίεση και εξέρχεται ως υπέρθερμος ατμός. Στην κατάσταση 3, μετά την έξοδο από το βραστήρα, το ρευστό εισέρχεται στο στρόβιλο, όπου εκτονώνεται ισεντροπικά και παράγει έργο. Κατά τη διεργασία αυτή, η πίεση και η θερμοκρασία των ατμών του ρευστού μειώνονται στις τιμές της κατάστασης 4, στην οποία οι ατμοί εισέρχονται στο συμπυκνωτή. Στην κατάσταση αυτή, το ρευστό βρίσκεται συνήθως στην κατάσταση μίγματος κορεσμένου υγρού-ατμού, με υψηλή ποιότητα. Το μίγμα συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή, υπό σταθερή πίεση, απορρίπτοντας θερμότητα σε ένα ψυκτικό μέσο, μέχρι την κατάσταση 1 του κορεσμένου υγρού και την ολοκλήρωση του κύκλου.

Στον πραγματικό κύκλο κατά την διάρκεια της εκτόνωσης μόνο ένα μέρος της ανακτώμενης ενέργειας λόγω της διαφοράς πίεσης μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο. Το υπόλοιπο μέρος μετατρέπεται σε θερμότητα και απορρίπτεται στο περιβάλλον. Η αποδοτικότητα του στρόβιλου προσδιορίζεται από τον ισεντροπικό βαθμό

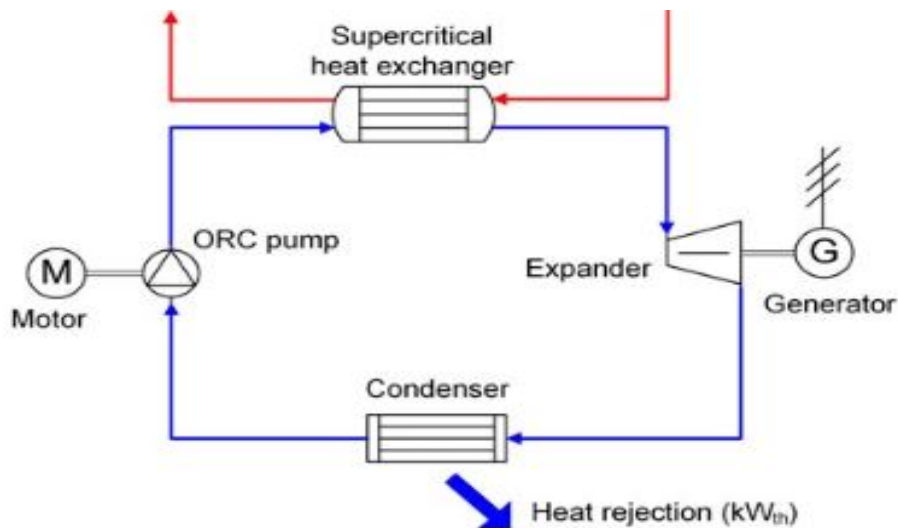
απόδοσης. Ενώ, στους εναλλάκτες θερμότητας το εργαζόμενο μέσο διανύει μια μεγάλη απόσταση το οποίο ενισχύει την καλή μεταφορά θερμότητας αλλά προκαλεί και μεγαλύτερες πτώσεις πίεσης το οποίο επιδρά αρνητικά στην ποσότητα ενέργειας που παραλαμβάνουμε από τον κύκλο.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να μπει και η ανάλυση του Οργανικού Κύκλου Rankine για σύγκριση με τον συμβατικό κύκλο.

2.6.1 Οργανικός Κύκλος Rankine

Ο οργανικός κύκλος Rankine (Organic Rankine Cycle, ORC) αποτελεί τον βασικό δυαδικό κύκλο που προσεγγίζει τον συμβατικό κύκλο Rankine των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Τα τελευταία χρόνια ο κύκλος χρησιμοποιείται αρκετά στον τομέα παραγωγής ενέργειας λόγω του γεγονότος ότι έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει την θερμότητα καυσαερίων χαμηλής θερμοκρασίας καθώς και οποιαδήποτε πηγή ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας για να παράγει ηλεκτρισμό. Συνήθως ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται οργανικό ρευστό υψηλής μοριακής μάζας το οποίο επιτρέπει στον κύκλο Rankine την ανάκτηση θερμότητας και από πηγές ενέργειας όπως είναι η θερμότητα που απορρίπτεται στο περιβάλλον ως παραπροϊόν διαφόρων παραγωγικών διαδικασιών (waste heat), η γεωθερμική και η ηλιακή ενέργεια. Το χαρακτηριστικό των οργανικών αυτών ρευστών είναι η χαμηλή θερμοκρασία βρασμού σε σύγκριση με αυτή του νερού. Η θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας μέσω του κύκλου μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο το οποίο με την σειρά του μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η επιτυχία του ORC μπορεί να εξηγηθεί από το εξής χαρακτηριστικό: ένα σύστημα ORC μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μικρές μετατροπές σε συνδυασμό με πολλές και διάφορες πηγές θερμότητας. Η επιτυχία αυτή ενισχύεται από την υψηλή τεχνολογική ωριμότητα των συνιστωσών του κύκλου λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους σε εφαρμογές.

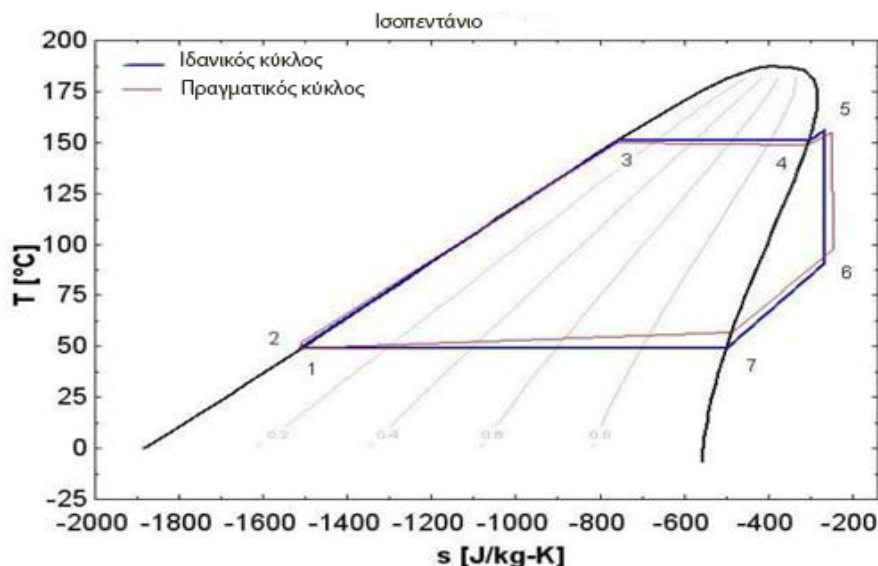
Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται η βασική διάταξη μιας μηχανής οργανικού κύκλου Rankine όπου το κόκκινο κύκλωμα αποτελεί το κύκλωμα που παρέχει τη θερμότητα στη μηχανή μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Σε μια τυπική λειτουργία της μηχανής ORC το οργανικό ρευστό περνά διαδοχικά από διάφορες καταστάσεις διαγράφοντας τον αντίστοιχο θερμοδυναμικό κύκλο. Πιο συγκεκριμένα, ελαφρώς υπόψυκτο οργανικό ρευστό εισέρχεται στην αντλία διακίνησης η οποία το συμπιέζει σε υψηλότερη πίεση και στη συνέχεια προσδίδει θερμότητα στον ατμοποιητή ώστε να ατμοποιηθεί. Ο ατμός έπειτα εισέρχεται στον εκτονωτή, όπου μειώνεται η πίεση του και παράγεται ωφέλιμη ισχύς (είτε σε μορφή μηχανικού έργου απευθείας από τον εκτονωτή είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας με τη σύζευξη γεννήτριας στον άξονα του εκτονωτή). Στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, αποβάλλοντας θερμότητα, μέχρι να φτάσει στην υπόψυκτη περιοχή, να εισέλθει στην αντλία και ο κύκλος να επαναληφθεί. Σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας το ρευστό παραμένει στην υποκρίσιμη κατάσταση του δηλαδή η θερμοκρασία και η πίεση του δεν φτάνουν τις μέγιστες τιμές τους στο λεγόμενο κρίσιμο σημείο (τη θερμοκρασία δηλαδή πάνω από την οποία όσο κι αν συμπιεστεί ένας ατμός δεν υγροποιείται).



Σχήμα 2.12: Σχηματική παράσταση μιας μηχανής ORC

Σε έναν ιδανικό κύκλο η εκτόνωση στον στρόβιλο θα ήταν ισεντροπική (διαδρομή 1-2, Σχήμα 2.13) ενώ οι διαδικασίες της ατμοποίησης και συμπύκνωσης θα ήταν ισοβαρείς (διαδρομές 2-3 και 4-1, Σχήμα 2.13). Στον πραγματικό κύκλο συμβαίνουν τα εξής:

- Κατά την διάρκεια της εκτόνωσης μόνο ένα μέρος της ανακτώμενης ενέργειας λόγω της διαφοράς πίεσης μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο. Το υπόλοιπο μέρος μετατρέπεται σε θερμότητα και απορρίπτεται στο περιβάλλον. Η αποδοτικότητα του στρόβιλου προσδιορίζεται από τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης.
- Στους εναλλάκτες θερμότητας το εργαζόμενο μέσο διανύει μια μεγάλη απόσταση το οποίο ενισχύει την καλή μεταφορά θερμότητας αλλά προκαλεί και μεγαλύτερες πτώσεις πίεσης το οποίο επιδρά αρνητικά στην ποσότητα ενέργειας που παραλαμβάνουμε από τον κύκλο.

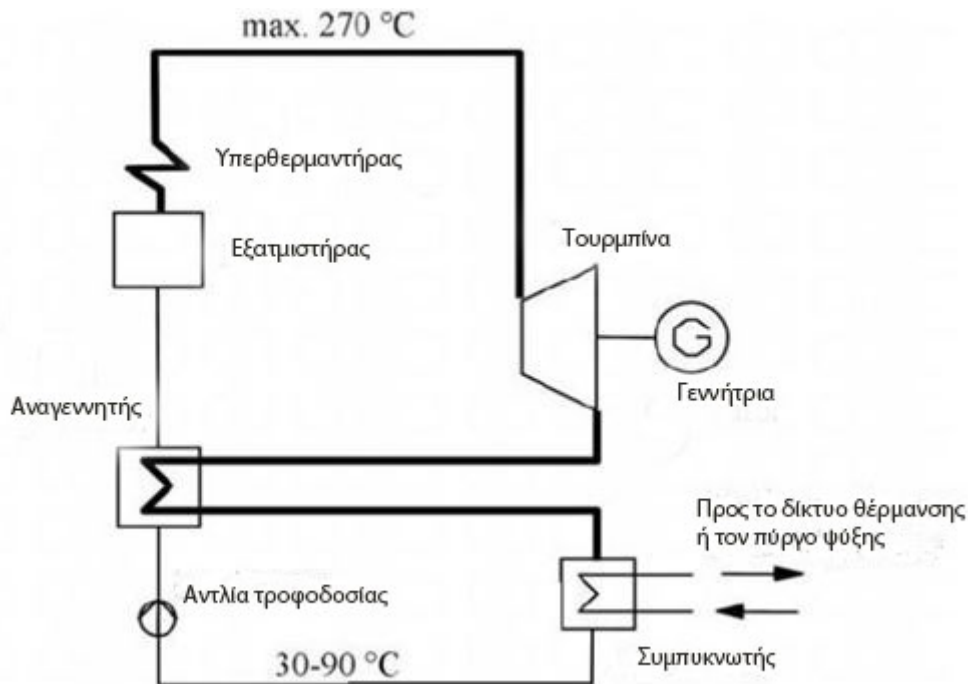


Σχήμα 2.13: T-s διάγραμμα για ιδανικό και πραγματικό κύκλο ORC

Βελτίωση του οργανικού κύκλου Rankine μπορεί να επιτευχθεί με την χρησιμοποίηση ενός εναλλάκτη αναθέρμανσης. Καθώς το εργαζόμενο μέσο μετά την εκτόνωση του βρίσκεται ακόμα σε ατμώδη κατάσταση η

θερμοκρασία του σε αυτό το σημείο είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία συμπύκνωσης. Η υψηλή θερμοκρασία του ρευστού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προθερμάνει το υγρό πριν την είσοδο του στον ατμοποιητή. Οπότε ένας εναλλάκτης θερμότητας αντirroής τοποθετείται μετά τον στρόβιλο και πριν τον συμπυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η αποδοτικότητα του συστήματος. Επίσης για επιπλέον αύξηση της αποδοτικότητας μπορεί να τοποθετηθεί ένας υπερθερμαντής.

Στο Σχήμα 2.14 φαίνονται οι κύριες συνιστώσες του κύκλου. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πηγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας όπως θερμότητα από γεωθερμία ή από θερμικά απόβλητα τότε για την συμπύκνωση χρησιμοποιείται νερό.



Σχήμα 2.14: Σχήμα του οργανικού κύκλου Rankine

2.7 Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε μια πιο εκτενής αναφορά και περιγραφή των ηλιοθερμικών συστημάτων μέσα από την ανάλυση των διάφορων τεχνολογιών τους για την εκμετάλλευση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμότητας. Παρουσιάστηκε το έργο «ENERGEIA» και η λειτουργική του σημασία στη περιοχή του Τοπείου Ξάνθης και έγινε μια περιγραφή ενός τυπικού ηλιοθερμικού πάρκου και των μερών από τα οποία αποτελείται.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση της λειτουργίας του ηλιοθερμικού αυτού πάρκου, από την αρχή λειτουργίας του και την συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας μέχρι την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών που απαιτούνται.

2.8 Αναφορές

- [1] Τετώρος Παναγιώτης, «Συγκεντρωτικά Ηλιοθερμικά Συστήματα», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων, Αθήνα, Αύγουστος 2015
- [2] Μαντήκος Αντώνιος, «Προσομοίωση Ηλιοθερμικού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Τεχνολογίας Παραβολικών Κατόπτρων», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρονικής Ισχύος, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011
- [3] European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling, «Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology»
- [4] K. Vignarooban, Xinhai Xu , A. Arvay , K. Hsu , A.M. Kannan, «Heat transfer fluids for concentrating solar power systems – A review», 10 March 2015
- [5] M.J. Montes a,* , A. Abanades b, J.M. Martinez-Val b, M. Valdes b, «Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic trough collectors», 13 September 2009
- [6] Ricardo Vasquez Padilla, Gokmen Demirkaya, D. Yogi Goswami, Elias Stefanakos, Muhammad M. Rahman, «Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver», 4 August 2011
- [7] Sarada Kuravi, Jamie Trahan, D. Yogi Goswami, Muhammad M. Rahman, Elias K. Stefanakos, «Thermal energy storage technologies and systems for concentrating solar power plants», 22 March 2013
- [8] Soteris A. Kalogirou, «A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver, Department of Mechanical Engineering and Materials Science and Engineering», Cyprus University of Technology, 11 July 2012
- [9] S. Caron, M. Röger, «In-situ heat loss measurements of parabolic trough receivers based on transient infrared thermography», 19 May 2016
- [10] Thomas I and H.M Guven, Parabolic trough concentrators-design, construction and evaluation, August 1992
- [11] Werner Weiss, AEE – Institute for Sustainable Technologies Peter Biermayr, «Vienna University of Technology Potential of Solar Thermal in Europe»

Κεφάλαιο 3

Ανάλυση λειτουργίας ηλιακού πάρκου

Περιεχόμενα

3.1 Εισαγωγή.....	48
3.2 Γενική περιγραφή λειτουργίας.....	48
3.3 Ηλιοθερμικό Πεδίο.....	49
3.4 Γεννήτρια ORC.....	51
3.5 Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (Thermal Energy Storage – TES).....	52
3.6 Λειτουργία του ηλιοθερμικού σταθμού.....	52
3.7 Σύνοψη.....	55
3.8 Αναφορές.....	55

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται εκτενής περιγραφή της λειτουργίας του πιλοτικού έργου «ENERGEIA» το οποίο αποτελεί υβριδικό σταθμό παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζονται τα ξεχωριστά τμήματα από τα οποία αποτελείται το πάρκο και αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του καθώς το θερμικό έλαιο ρέει στους σωλήνες.

3.2 Γενική περιγραφή λειτουργίας

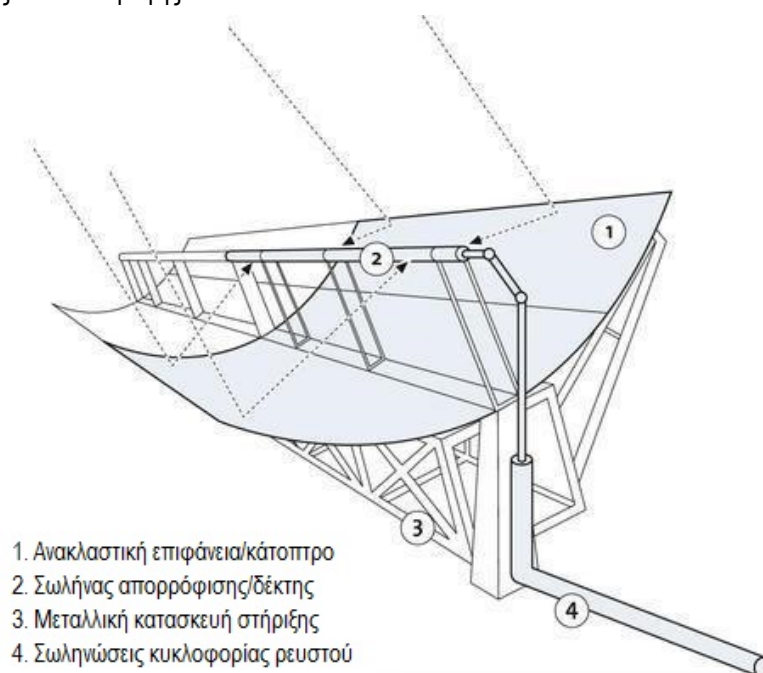
Σκοπός της κατασκευής του πιλοτικού έργου «ENERGEIA» είναι η ικανοποίηση της ηλεκτρικής, αλλά κυρίως θερμικής ενέργειας. Πρόκειται για ένα υβριδικό πάρκο, στο οποίο συνδυάζονται η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που προέρχεται από ένα γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία γεωθερμικού ρευστού <90°C), καθώς επίσης και της θερμικής ενέργειας που προέρχεται από το ηλιοθερμικό πεδίο αποτελούμενο από γραμμικούς παραβολικούς συλλέκτες. Η θερμική ενέργεια που παράγεται πρέπει να καλύπτει σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές απαιτήσεις των θερμοκηπίων και του κομποστοποιητή που βρίσκονται εντός του πάρκου, καθώς επίσης και της τηλεθέρμανσης ενός δημόσιου κτιρίου που βρίσκεται σε απόσταση 850m από το πάρκο. Το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται από μια γεννήτρια τεχνολογίας οργανικού κύκλου Rankine (Organic Rankine Cycle – ORC) και ικανοποιεί ένα μέρος από τις εσωτερικές ηλεκτρικές ανάγκες του πάρκου. Συνοπτικά, το πάρκο αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Σύστημα κυκλοφορίας γεωθερμικού ρευστού – Δίκτυο τηλεθέρμανσης
- Ηλιοθερμικό πεδίο
- Γεννήτρια ORC
- Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (Thermal Energy Storage – TES)
- Κομποστοποιητή

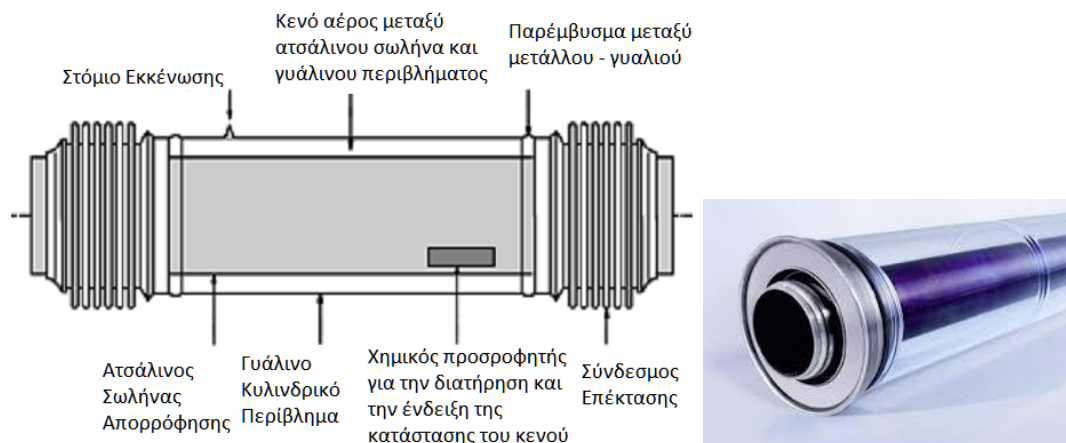
Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο καθώς προϊόν μελέτης της παρούσας διπλωματικής αποτελεί το ηλιακό πεδίο και η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό, δεν θα γίνει εκτενής περιγραφή λειτουργίας του κομποστοποιητή και του γεωθερμικού πεδίου.

3.3 Ηλιοθερμικό Πεδίο

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι ηλιακοί συλλέκτες (ή αλλιώς ανακλαστήρες-συγκεντρωτές-ηλιοστάτες) και τα επιμέρους μέρη τους. Κατασκευάζονται σε ενότητες, οι οποίες υποστηρίζονται από το έδαφος με απλές βάσεις μεταλλικής κατασκευής σε κάθε άκρο και αποτελούν το ηλιοθερμικό πεδίο. Πρόκειται για την τεχνολογία των Παραβολικών Κατόπτρων (Parabolic Trough Collectors–PTCs) τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερη τεχνολογική ωριμότητα. Αποτελούνται από την ανακλαστική επιφάνεια, ουσιαστικά καθρέπτες που συλλέγουν τη θερμότητα του ήλιου ανακλώντας την σε έναν γραμμικό δέκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος κατά μήκος της εστιακής ευθείας της παραβολής, με σκοπό τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική. Ο δέκτης, αποτελείται από το σωλήνα απορρόφησης (absorber tube), μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το μέσο μεταφοράς της θερμότητας (HTF) και από το γυάλινο περίβλημα και είναι σχεδιασμένος ώστε να απορροφά όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που εστιάζεται από τα παραβολικά κάτοπτρα προς αυτόν. Για το σκοπό αυτό, ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα και έχει μια ειδική επιλεκτική μαύρη επίστρωση, η οποία ευνοεί τη συγκέντρωση και απορρόφηση της ακτινοβολίας. Μεταξύ του σωλήνα και του προστατευτικού γυάλινου κυλινδρικού περιβλήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, υπάρχει συνήθως κενό αέρος ώστε να περιορίζονται οι απώλειες θερμότητας δια συναγωγής.



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση παραβολικού ηλιακού συλλέκτη



Σχήμα 3.2: Δέκτης – Απορροφητικός σωλήνας

Για τις ανάγκες του πιλοτικού έργου έγινε προμήθεια ηλιακών παραβολικών συλλεκτών θερμικής ισχύος 234kW_{th} . Η διαθέσιμη έκταση τοποθέτησης των ηλιακών παραβολικών συλλεκτών είναι περίπου $1.000,00\text{ m}^2$. Ο άξονας τοποθέτησης των συλλεκτών είναι Βορρά – Νότου και κατά τη διάρκεια της ημέρας, το σύστημα ιχνηλάτησής τους ακολουθεί την τροχιά του ηλίου από την Ανατολή ως τη Δύση. Είναι εγκατεστημένα σε 3 βρόγχους των 2 σειρών ο καθένας, συνολικά 6 παράλληλες σειρές κατόπτρων μήκους περίπου 34m έκαστη.

- Η λειτουργία του ηλιακού πεδίου ξεκινά όταν ανιχνευθεί ηλιακή ακτινοβολία μεγαλύτερη από 100 W/m^2 για περισσότερο από 5 λεπτά. Έτσι, ξεκινά η κυκλοφορία του HTF μέσα στους δέκτες του ηλιακού πεδίου με σκοπό την προθέρμανση του, ώστε στη συνέχεια να προσδώσει τη θερμική του ενέργεια στο αποθηκευτικό μέσο του TES.
- Το HTF συνεχίζει να ανα-κυκλοφορεί μέσα στο ηλιακό πεδίο μέχρις ότου η θερμοκρασία που θα αποκτήσει είναι κατά $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ υψηλότερη από την μέση θερμοκρασία του TES. Όσο επικρατεί η παραπάνω συνθήκη (δηλαδή: $\text{THTF-TMEAN_TES} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$), τότε γίνεται πλέον «μεταφορά» της θερμικής ενέργειας που παράγεται από το ηλιακό πεδίο προς το TES, μέσω εναλλάκτη θερμότητας.
- Σε περίπτωση που η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του HTF και του TES είναι μικρότερη από $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ και εφόσον υπάρχει ηλιοφάνεια ($>100\text{ W/m}^2$), τότε το σύστημα επανέρχεται σε λειτουργία προθέρμανσης του HTF μέχρι η διαφορά να γίνει μεγαλύτερη από $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ και δεν γίνεται ανταλλαγή θερμικής ενέργειας με το TES.
- Σε περίπτωση που κατά τη λειτουργία ανιχνευθεί θερμοκρασία HTF $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, τότε το σύστημα αυτόματα θέτει τη μία σειρά των κατόπτρων εκτός λειτουργίας (ο μηχανισμός περιστροφής όλης της σειράς περιστρέφει τους συλλέκτες προς τα κάτω καθιστώντας αδύνατη πλέον την αύξηση της θερμοκρασίας του HTF που διέρχεται από τον δέκτη). Για κάθε επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας του HTF κατά $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, το σύστημα προβαίνει σε απενεργοποίηση μιας σειράς κατόπτρων.
- Το ηλιοθερμικό πεδίο σταματά τη λειτουργία του αφού ανιχνευθεί ηλιακή ακτινοβολία μικρότερη από 100 W/m^2 για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 20 λεπτών. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι υπάρχει συννεφιά ή ότι έχει επέλθει η νύχτα.
- Επίσης, το ηλιοθερμικό πεδίο σταματά την λειτουργία του για 2 ώρες σε έκτακτα καιρικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα όταν ανιχνευθούν άνεμοι τις τάξης των 70 km/h ($\approx 8\text{ bft}$).

3.4 Γεννήτρια ORC

Η τεχνολογία που εφαρμόστηκε, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το υβριδικό γεωθερμικό – ηλιοθερμικό σύστημα, με σκοπό την εκπλήρωση του στόχου του πιλοτικού προγράμματος περιλαμβάνει την τεχνολογία οργανικού κύκλου Rankine (OrganicRankingCycle – ORC). Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένας συμβατικός ηλιοθερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω της εκτόνωσης υπέρθερμου ατμού σε ατμοστρόβιλο και την παραγωγή μηχανικού έργου, με βάση τον θερμοδυναμικό κύκλο Rankine. Η διαφορά του οργανικού κύκλου Rankine έγκειται στη χρήση κατάλληλου οργανικού εργαζόμενου μέσου (αντί του νερού), το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσεως και επιτρέπει την επίτευξη του θερμοδυναμικού κύκλου σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Η μηχανή ORC, (Σχήμα 3.3), που χρησιμοποιείται στην πιλοτική εφαρμογή έχει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ 5 kW (gross power output), βαθμό απόδοσης 5-7% ανάλογα με τις συνθήκες εισόδου και εξόδου και Τάση AC 230V 50Hz. Συνδέεται με το σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας (TES). Το σύστημα ψύξης της μηχανής ORC είναι υδρόψυκτο.

- Η ORC ξεκινά να λειτουργεί όταν η θερμοκρασία του μέσου αποθήκευσης του TES ξεπεράσει τους 80 °C και συνεχίζει έως ότου γίνει μικρότερη από τους 70 °C.
- Έτσι, μόλις ανιχνευθεί θερμοκρασία μέσα στο TES υψηλότερη από 80 °C, ξεκινά η μεταφορά θερμού νερού προς το εσωτερικό του εναλλάκτη της ORC.
- Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας της ORC είναι 140 °C. Για το λόγο αυτό, τοποθετήθηκε η κατάλληλη τρίοδη θερμοστατική βαλβίδα η οποία αναμιγνύει ρευστό που προέρχεται από το TES με ρευστό που προέρχεται από την επιστροφή της ORC, το οποίο έχει πλέον αποδώσει τη θερμική του ενέργεια στο οργανικό μέσο της γεννήτριας και είναι «ενεργειακά φτωχότερο».
- Η γεννήτρια χρησιμοποιεί το δικό της οργανικό μέσο, το R245fa, το οποίο εκτός από τον κύκλο Rankine χρησιμοποιείται στη λίπανση και στην ψύξη της.
- Η ψύξη της γεννήτριας γίνεται με νερό θερμοκρασίας περίπου 18 °C που προέρχεται από κοντινή γεώτρηση βάθους 10 m.



Σχήμα 3.3: Γεννήτρια ORC

3.5 Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (Thermal Energy Storage – TES)

Το σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας είναι έμμεσο σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, που αποτελείται από μία δεξαμενή όγκου 5m³ και τριών (3) εσωτερικών εναλλακτών θερμότητας. Έχει μέγιστη πίεση 8 bar και μέγιστη θερμοκρασία 300 °C. Σκοπός της λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης είναι η αποθήκευση/διατήρηση της θερμότητας από το σύστημα μεταφοράς θερμότητας στις περιπτώσεις που η θερμότητα που παράγεται από το ηλιοθερμικό πεδίο δεν μπορεί να απορροφηθεί από τη μηχανή ORC. Το μέσο αποθήκευσης είναι γεωθερμικό νερό που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία φιλτραρίσματος και αποσκλήρυνσης.



Σχήμα 3.4: Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας

3.6 Λειτουργία του ηλιοθερμικού σταθμού

Η καθημερινή λειτουργία του υβριδικού σταθμού παραγωγής ενέργειας παρακολουθείται και ελέγχεται με τη χρήση ενός συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA). Το σύστημα αυτό διασυνδέει όλα τα συστατικά μέρη (δηλ. το ηλιακό πεδίο, τη γεννήτρια ORC, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, τον κομποστοποιητή, τα θερμοκήπια καθώς και μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς) του ηλιακού πάρκου σε έναν κεντρικό Η/Υ, που παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία του. Το σύστημα παρέχει και αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του ηλιακού πάρκου και έτσι μπορούν να εντοπιστούν αστοχίες ή προβλήματα λειτουργίας συγκεκριμένων κατόπτρων.



Σχήμα 3.6: Αεροφωτογραφία πιλοτικού έργου

3.7 Συνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε ο υβριδικός σταθμός παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας του πιλοτικού έργου «ENERGEIA». Έγινε η περιγραφή λειτουργίας των επιμέρους τμημάτων του πάρκου καθώς το θερμικό έλαιο ρέει στους σωλήνες, και αναλύθηκαν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες ξεκινά η λειτουργία του στη διάρκεια της ημέρας.

Στο επόμενο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι θερμογραφικές μετρήσεις που έγιναν στο ηλιακό πεδίο του υβριδικού πάρκου και τα αποτελέσματα τους.

3.8 Αναφορές

[1] «Hybrid Park Description», Τεχνική Περιγραφή πιλοτικού έργου «ENERGEIA»

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση λειτουργίας ηλιακού πάρκου με χρήση θερμογραφίας

Περιεχόμενα

4.1 Εισαγωγή.....	56
4.2 Υπέρυθρη Θερμογράφιση.....	57
4.2.1 Εξοπλισμός Μετρήσεων.....	57
4.3 Ρύθμιση Παραμέτρων Μέτρησης.....	58
4.3.1 Αντιστάθμιση της Ατμόσφαιρας.....	58
4.3.2 Αντιστάθμιση Φόντου.....	59
4.3.3 Συντελεστής Ικανότητας Εκπομπής.....	59
4.4 Συνθήκες Θερμογράφισης.....	59
4.5 Συλλέκτες παραβολικών κατόπτρων.....	60
4.6 Ανάλυση Θερμοκρασίας θερμικού ελαίου.....	64
4.7 Σύνοψη.....	74
4.8 Αναφορές.....	75

4.1 Εισαγωγή

Το Κεφάλαιο αυτό αποτελεί το εφαρμοσμένο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας με μετρήσεις στο πεδίο. Σε αυτό παρουσιάζεται ένας πλήρης θερμογραφικός έλεγχος του ηλιακού πεδίου του πάρκου παραβολικών κατόπτρων που έχουν τοποθετηθεί στο πλαίσιο του έργου «ENERGEIA». Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η διερεύνηση και αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της υπέρυθρης θερμογράφισης ως μεθόδου μελέτης και ανάλυσης της λειτουργίας ενός ηλιοθερμικού πάρκου, και η σύγκρισή της με τις υφιστάμενες παραδοσιακές μεθόδους ελέγχου και ανάλυσης. Για να επιτευχθεί αυτό, έγιναν μετρήσεις αρχικά σε όλους τους δέκτες που εμπεριέχονται στα παραβολικά κάτοπτρα, καθώς επίσης και στην είσοδο και έξοδο του θερμικού ελαίου, σε κάθε μίας από τις έξι σειρές των κατόπτρων που αποτελούν το ηλιακό πεδίο του πάρκου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με τις αναμενόμενες τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας του πάρκου.

4.2 Υπέρυθρη Θερμογράφιση

Σύμφωνα με την θεωρία του μέλανος σώματος, κάθε σώμα εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία ανάλογη της επιφανειακής του θερμοκρασίας. Το μήκος κύματος αυτής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Η υπέρυθρη θερμογράφιση (IRT) ή αλλιώς θερμική απεικόνιση είναι μια μέθοδος προσδιορισμού της χωρικής κατανομής και της χρονικής εξάρτησης της θερμότητας στα υπό εξέταση αντικείμενα. Το σύστημα απεικόνισης που χρησιμοποιείται για την IRT, μετασχηματίζει μια εικόνα υπέρυθρης ακτινοβολίας σε μια εικόνα ορατού φωτός. Συγκεκριμένα, η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απεικόνισης συνίσταται στην δημιουργία μιας εικόνας κατανομής ορατής ακτινοβολίας, η οποία είναι ανάλογη της κατανομής της υπέρυθρης ακτινοβολίας, και επομένως ανάλογη της χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας του ή του συντελεστή ικανότητας εκπομπής του αντικειμένου.

Τα συστήματα απεικόνισης IRT, λοιπόν, οπτικοποιούν τις αόρατες – στο ανθρώπινο μάτι – υπέρυθρες ακτίνες και παρέχουν με ακρίβεια μη καταστροφικές και εξ' αποστάσεως μετρήσεις θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει πως με την υπέρυθρη θερμογραφία δεν μετράται απ' ευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας, αλλά η μεταβολή της επιφανειακής της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Καθώς συχνά οι διάφορες ανωμαλίες σε ένα υλικό δημιουργούν τοπικές διαφορές στην επιφανειακή του θερμοκρασία, η υπέρυθρη θερμογράφιση δύναται να ανιχνεύει την θέση, την έκταση ή/και την σοβαρότητα αυτών των ατελειών, βλαβών ή αστοχιών στο αντίστοιχο αντικείμενο.

4.2.1 Εξοπλισμός Μετρήσεων

Όλες οι υπέρυθρες θερμογραφήσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση ενός φορητού θερμικού αναλυτή (θερμοκάμερας) FLIR Systems, Inc., μοντέλο E50, το οποίο φέρει έναν μικροβολομετρικό ανιχνευτή μη ψυχόμενης 240 x 180 συστοιχίας εστιακού επιπέδου (uncooled focal plane array, UFPA). Το εύρος μετρούμενων θερμοκρασιών του συγκεκριμένου μοντέλου εκτείνεται από -20 μέχρι τους 650°C, με θερμοκρασιακή ανάλυση της τάξεως των 0.05°C στους 30°C, ανάλυση θερμικής εικόνας 240 x 180 εικονοστοιχείων, σε οπτικό πεδίο 25° x 19° με ελάχιστη εστίαση 0.4 m και φασματικό εύρος υπέρυθρης ακτινοβολίας από 7.5 έως 13μm. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η θερμοκάμερα Flir E50. Οι τεχνικές προδιαγραφές του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε υπάρχουν στο Παράρτημα.



Σχήμα 4.1: Θερμοκάμερα Flir E50

4.3 Ρύθμιση Παραμέτρων Μέτρησης

Η ακρίβεια μιας υπέρυθρης θερμογράφησης πεδίου καθορίζεται άμεσα από συγκεκριμένες παραμέτρους που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές (ατμοσφαιρικές) συνθήκες, τις οπτικές ιδιότητες του υλικού του υπό μέτρηση στόχου και την πιθανή παρουσία όμορων αντικειμένων. Για την επίτευξη, λοιπόν, καλύτερης ακρίβειας, στα πλαίσια της σειράς μετρήσεων αυτής της μελέτης περίπτωσης, πραγματοποιήθηκε η αντιστάθμιση αυτών των παραμέτρων.

4.3.1 Αντιστάθμιση της Ατμόσφαιρας

Έτσι ως παράμετροι εισόδου (inputs) για την αρχική ρύθμιση της τιμής αντιστάθμισης ατμόσφαιρας (ambient compensation value, ACV) της θερμοκάμερας E50, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της θερμοκρασίας αέρα (T_a), της υγρασίας (H_r) και της ταχύτητας του αέρα (V_f), για κάθε χρονική στιγμή μέτρησης, καθώς επίσης και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (G_T). Η καταγραφή αυτών των δεδομένων έγινε με την βοήθεια του συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) που είναι εγκαταστημένο στο υβριδικό πάρκο για την ορθή λειτουργία του, και έχει τη δυνατότητα να παρέχει ακριβείς πληροφορίες για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν ανά πάσα στιγμή.

4.3.2 Αντιστάθμιση Φόντου

Η αντιστάθμιση του φόντου μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην υπέρυθρη θερμογράφηση. Οι σύγχρονες θερμοκάμερες διαθέτουν ενσωματωμένο (built-in) αλγόριθμο, ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα κατάλληλης διόρθωσης του σφάλματος φόντου, ώστε να αντισταθμίζεται η επίδραση αντικειμένων που βρίσκονται κοντά στο αντικείμενο-στόχο. Η δυνατότητα αυτή αποκαλείται αντιστάθμιση ανακλώμενης θερμοκρασίας (reflected temperature compensation, RTC)

Αν τα αντικείμενα που βρίσκονται στο φόντο εκπέμπουν μεγαλύτερες ποσότητες υπέρυθρης ακτινοβολίας σε σύγκριση με το υλικό του στόχου είτε λόγω της μεγαλύτερης θερμοκρασίας τους είτε λόγω μεγαλύτερου συντελεστή, η προερχόμενη από το φόντο υπέρυθρη ακτινοβολία προστίθεται στην ανιχνευόμενη από την θερμοκάμερα ακτινοβολία, προκαλώντας σφάλμα στη μέτρηση. Με άλλα λόγια, λοιπόν, η RTC χρησιμοποιείται για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας σε υπέρυθρες θερμογραφήσεις στις οποίες, λόγω της ύπαρξης πολύ υψηλής θερμοκρασίας φόντου (ομοιόμορφα κατανεμημένης), ανακλάται επιπλέον θερμική ενέργεια από το υλικό του στόχου.

4.3.3 Συντελεστής Ικανότητας Εκπομπής

Για την ακριβέστερη δυνατή θερμογράφιση λήφθηκαν υπόψη και οι οπτικές ιδιότητες των υλικών που μετρήθηκαν. Σύμφωνα με τις οπτικές τους ιδιότητες, όλα τα αντικείμενα αντανακλούν, μεταφέρουν και απορροφούν/εκπέμπουν θερμική ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας. Ωστόσο, μόνο η εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία είναι ενδεικτική της θερμοκρασίας ενός σώματος. Από την άλλη πλευρά, η θερμοκάμερα έχει την ικανότητα να ανιχνεύει και να μετρά το άθροισμα της Εκπεμπόμενης (W_E), της Ανακλώμενης (W_R) και της Μεταφερόμενης (W_T) θερμικής ενέργειας που προέρχονται από την επιφάνεια του στόχου. Το άθροισμα $R = W_E + W_R + W_T$ αυτών καλείται ακτινοβολήση (radiosity ή exitance). Έτσι, λοιπόν, πριν από κάθε θερμογράφιση, η θερμοκάμερα πρέπει να ρυθμίζεται στην ακριβή τιμή του συντελεστή emissivity για κάθε υπό θερμογράφιση αντικείμενο, έτσι ώστε να «διαβάζει» μόνο την εκπεμπόμενη θερμική ενέργεια του στόχου και, συνεπώς, την πραγματική του θερμοκρασία. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως αν ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής της επιφάνειας του στόχου μεταβληθεί ή επιλεγεί λανθασμένη τιμή στην ρύθμιση της θερμοκάμερας, τότε η «ανάγνωση» της φαινομενικής θερμοκρασίας του στόχου θα εμπεριέχει σφάλμα και φυσικά θα διαφέρει από την πραγματική του θερμοκρασία.

4.4 Συνθήκες Θερμογράφησης

Η υπέρυθρη θερμογράφιση πεδίου (παθητική προσέγγιση) του ηλιοθερμικού πάρκου διενεργήθηκε σε δύο φάσεις, οι οποίες όμως επικεντρώθηκαν μόνο στο ηλιακό πεδίο παραβολικών κατόπτρων. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την θερμογράφιση του δέκτη και των έξι σειρών παραβολικών κατόπτρων του, ενώ σε δεύτερη φάση έγιναν μετρήσεις θερμογράφησης συναρτήσει του χρόνου σε όλες τις εξόδους και εισόδους του θερμικού ελαίου στα παραβολικά κάτοπτρα. Οι δύο αυτές φάσεις πραγματοποιήθηκαν σε δυο μέρες, στις 11 και 21 Νοεμβρίου 2016 ξεκινώντας από πρωινές ώρες, ώστε να υπάρχει επαρκής ηλιοφάνεια για την ομαλή λειτουργία του πάρκου μέχρι απογευματινές ώρες όπου σταματούσε η λειτουργία του. Και για τις δύο ημέρες

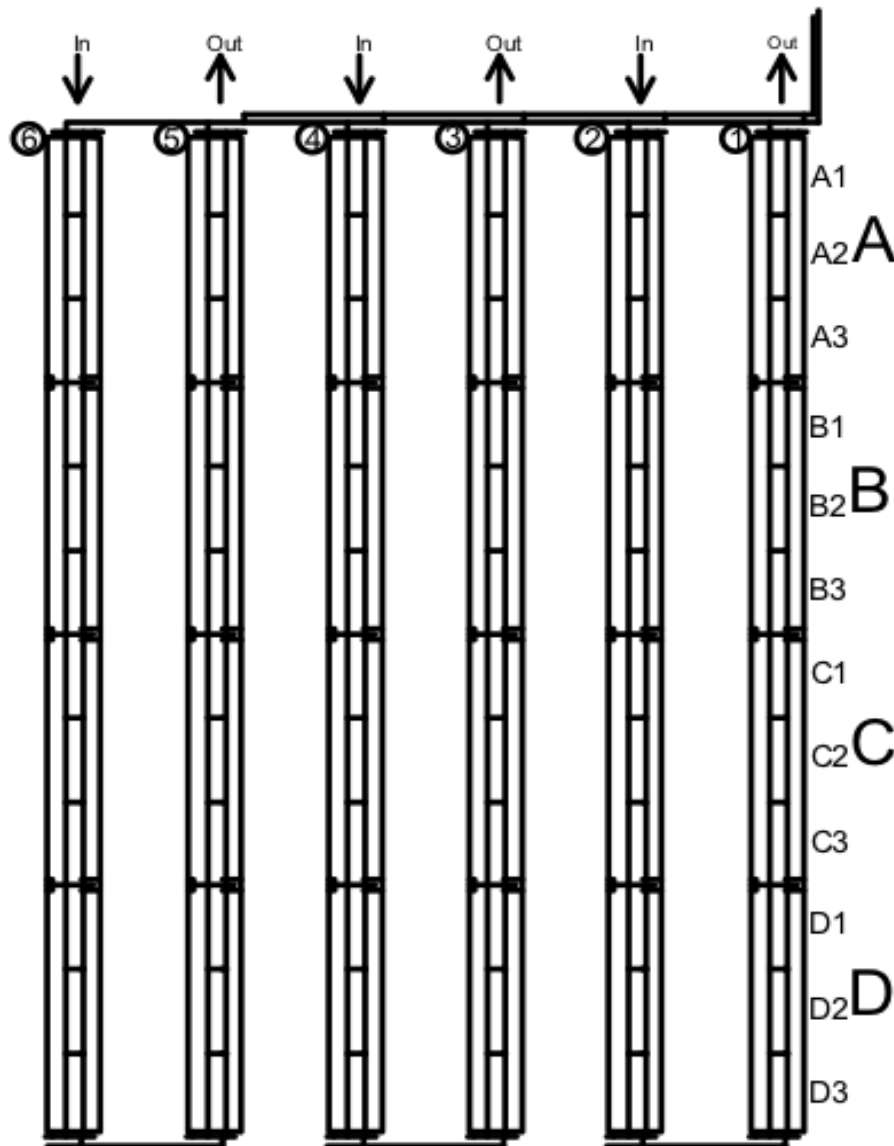
θερμογραφήσεων, καταγράφηκαν τόσο από τοπικό μετεωρολογικό σταθμό όπως και επί τόπου, μέσω του λογισμικού καταγραφής καιρικών συνθηκών του πάρκου (SCADA), συγκεκριμένα δεδομένα περιβαλλοντικών συνθηκών όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία. Οι συγκεκριμένες παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική ρύθμιση της θερμοκάμερας. Όλες οι μετρήσεις έγιναν ύστερα από μελέτη σχετικής βιβλιογραφίας τόσο για τον σωστό τρόπο διεξαγωγής μιας θερμογράφησης αλλά και τον τρόπο με τον οποίο γίνεται μια θερμογράφιση ενός παραβολικού κατόπτρου αλλά και σύμφωνα με δύο νόρμες, η μία ονομάζεται «Field Survey of Parabolic Trough Receiver Thermal Performance» και περιγράφει την τεχνική την οποία χρησιμοποιεί μια υπέρυθρη (IR) κάμερα για την αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης ενός παραβολικού κατόπτρου. Η δεύτερη ονομάζεται «Inspection receiver tubes device for CSP plants», η οποία παρουσιάζει ένα σύστημα ελέγχου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του γυαλιού των σωλήνων του δέκτη σε θερμικές ηλιακές εγκαταστάσεις.

4.5 Συλλέκτες παραβολικών κατόπτρων

Όπως σε όλα τα πάρκα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έτσι και σε αυτά των συγκεντρωτικών κατόπτρων εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές και στρατηγικές συντήρησης και έλεγχου ποιότητας. Αυτό έχει ως σκοπό την βελτιστοποίηση και την εξασφάλιση των σωστών συνθηκών εργασίας για την αύξηση της αποδοτικότητας των θερμικών μονάδων. Διάφορες δραστηριότητες γίνονται συχνά, προκειμένου επαληθευτούν σημαντικές ιδιότητες, όπως, για παράδειγμα, το επίπεδο της σκόνης, το επίπεδο της ανάκλασης του καθρέφτη ή το επίπεδο κενού των σωλήνων του δέκτη. Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν ειδικά εργαλεία για την αξιολόγηση αυτών των ιδιοτήτων, ώστε να βοηθήσουν στην εφαρμογή της συντήρησης και του ελέγχου διατήρησης της ποιότητας.

Η απώλεια θερμότητας από τους σωλήνες κενού είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τους χρήστες των συγκεντρωτικών κατόπτρων. Εάν το επίπεδο του κενού μειωθεί τότε οι απώλειες θερμότητας θα αυξηθούν σημαντικά με αποτέλεσμα η παραγωγή του βρόχου να μειωθεί. Δύο είναι οι πιθανές συνέπειες που θα μπορούσαν να προκύψουν με τις απώλειες θερμότητας: η εμφάνιση υδρογόνου και το σπάσιμο των σωλήνων από τους γυάλινους-μεταλλικούς κόμβους.

Σήμερα στις ηλιακές θερμικές εγκαταστάσεις υπάρχουν διαφορετικού τύπου εξοπλισμοί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του γυαλιού σωλήνων, όπως είναι τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη, τα θερμόμετρα ή οι υπέρυθρες κάμερες. Τα θερμοζεύγη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση υψηλών θερμοκρασιών αλλά είναι απαραίτητο να είναι σε επαφή με την επιφάνεια. Το υπέρυθρο θερμόμετρο είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μέτρηση χωρίς επαφή, αλλά αποτελεί ένα σύστημα που χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια και θα μπορούσε να πάρει πολύ χρόνο για να προσδιοριστεί η μέση θερμοκρασία ενός σωλήνα δέκτη. Ωστόσο, μια υπέρυθρη κάμερα παρέχει μια γρήγορη θερμική εικόνα των μεγάλων επιφανειών χωρίς καμία επαφή.



Σχήμα 4.2: Κάτοψη ηλιακού πεδίου

Για τη μελέτη περίπτωσης αυτής της διπλωματικής σε πρώτο στάδιο επιθεωρήθηκαν οι σωλήνες κενού δέκτη όλων των σειρών παραβολικών κατόπτρων του πάρκου με τη χρήση της θερμοκάμερας μοντέλου FLIR E50. Η λήψη των θερμογραφήσεων έγινε στις 21 Νοεμβρίου 2016 και ώρα 12:15-12:40, ώστε να καταγραφούν τα δεδομένα σε συνθήκες λειτουργίας των κατόπτρων.

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η κάτοψη του ηλιακού πεδίου του πάρκου. Λόγω του μήκους τους (34m) κάθε μία από τις έξι σειρές κατόπτρων χωρίστηκε σε τέσσερα τμήματα A,B,C και D. Επιπλέον, καθένα από αυτά τα τμήματα χωρίστηκε σε άλλα τρία A1,A2,A3 κλπ. Δηλαδή, κάθε σειρά χωρίστηκε σε 12 επιμέρους τμήματα έτσι ώστε να υπάρξει καταγραφή όλου του μήκους των σωλήνων κενού αλλά και να συγκριθούν οι θερμοκρασίες κάθε κομματιού. Συνολικά σε αυτό το σημείο έγιναν 72 θερμογραφήσεις στα χωριστά τμήματα κάθε σειράς κατόπτρου όπως εξηγήθηκε. Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται ενδεικτικά η θερμογράφιση που πραγματοποιήθηκε

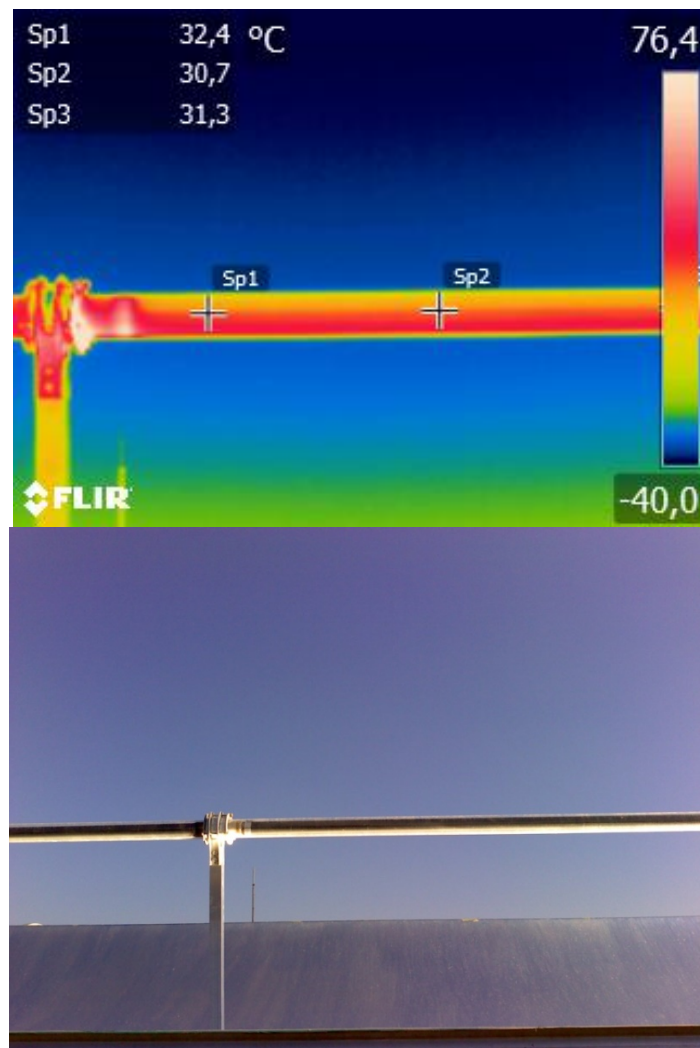
σε ένα μέρος του σωλήνα/δέκτη και συγκεκριμένα του κομματιού D2 που ανήκει στην τρίτη σειρά συλλεκτών του ηλιακού πεδίου του πάρκου.

Η καταγραφή των καιρικών συνθηκών που επικράτησε κατά τη διάρκεια των θερμογραφήσεων έγινε αρχικά με δεδομένα από τον τοπικό μετεωρολογικό σταθμό και στη συνέχεια με επιβεβαίωση των συνθηκών από το σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) του υβριδικού πάρκου, το οποίο είναι κατάλληλο για την παροχή πληροφοριών κάθε χρονική στιγμή της μέρας.

Έτσι δεδομένα ήταν, η θερμοκρασία αέρα 15 °C, σχετική υγρασία 58%, ταχύτητα ανέμου 7,8 km/hr, ενώ η ακτινοβολία ήταν στα 754 W/ m². Όσον αφορά τις παραμέτρους θερμογράφησης έχουν ως εξής:

- Αντιστάθμιση της Ατμόσφαιρας ACV = 1,00
- Αντιστάθμιση του Φόντου RTC = 15 °C
- Συντελεστής Ικανότητας Εκπομπής $\epsilon = 0.89$

Τέλος, η απόσταση ανάμεσα στην θερμοκάμερα και τον σωλήνα δέκτη καθορίστηκε στα 3m.



Σχήμα 4.3: Θερμογραφηση τμήματος σωλήνα δέκτη

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση κάθε υπέρυθρης θερμογράφησης, είναι το FLIR Tools. Κύριο μέρος της ανάλυσης αποτέλεσε ο έλεγχος για πιθανές αστοχίες ή βλάβες στα τμήματα του σωλήνα δέκτη αλλά και η καταγραφή της θερμοκρασίας κάθε τμήματος που καταγράφηκε.

Πίνακας 4.1: Θερμοκρασίες στην επιφάνεια του δέκτη

Τμήμα Σειρά	A Θερμ. °C	B Θερμ. °C	C Θερμ. °C	D Θερμ. °C	Μέση Τιμή
1	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4
2	36,5	33,3	36,3	31,4	34,4
3	28,9	34,1	33,1	31,5	31,9
4	34,8	33,5	35,0	34,3	34,4
5	36,1	33,3	36,8	39,5	36,4
6	33,3	39,4	39,7	37,6	37,5
Μέση Τιμή	34,0	34,7	35,9	34,8	

<47 °C
47-57 °C
57 °C <

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των θερμογραφήσεων στους δέκτες των παραβολικών κατόπτρων. Οι γραμμές αποτελούν τις 6 σειρές κατόπτρων του ηλιακού πεδίου ενώ οι στήλες τα τέσσερα τμήματα στα οποία έγινε ο καταμερισμός των κατόπτρων με σκοπό την καλύτερη και πιο λεπτομερή ανάλυση τους. Όπως αναφέρθηκε, κάθε σειρά δέκτη χωρίστηκε σε 4 τμήματα A,B,C,D τα οποίες με την σειρά τους χωρίστηκαν σε 3 ακόμα μέρη A1,A2,A3 κλπ για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Έτσι λοιπόν, στον πίνακα 4.1 το κάθε κελί αποτελεί τον μέσο όρο των τριών μερών που διαχωρίστηκε το κάθε κομμάτι δέκτη για το σκοπό της θερμογράφησης (π.χ το αποτέλεσμα που παρουσιάζεται στο κελί A-1 είναι αποτέλεσμα του μέσου όρου τριών μετρήσεων στα σημεία A1,A2,A3 του δέκτη). Τέλος, η γραμμή και στήλη Μέση Τιμή, αναφέρονται στη μέση τιμή του αθροίσματος κάθε στήλης και κάθε γραμμής του πίνακα αντίστοιχα. Δίπλα από τον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται ο χρωματικός κώδικας κατάταξης του δέκτη αναλόγως του θερμοκρασιακού εύρους του.

Με την θερμογράφιση απεικονίζεται η επικρατούσα θερμοκρασία στην γυάλινη επιφάνεια του δέκτη. Η θερμοκρασία είναι ανάλογη των θερμικών απωλειών του θερμογραφούμενου δέκτη. Έτσι ένας "καλός" δέκτης, δηλ ένας δέκτης πλήρους κενού, παρουσιάζει ένα θερμοκρασιακό εύρος από 26-47 °C σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία «Inspection receiver tubes device for CSP plants» [2] και «Analysis of Heat Losses of Absorber Tubes of Parabolic through Collector of Shiraz (Iran) Solar Power Plant» [4]. Αντίστοιχα, στο σωλήνα που έχει χάσει το κενό (αέρα) το θερμοκρασιακό εύρος φτάνει στους 57 °C ενώ στον γυμνό σωλήνα στους 181 °C.

Οι απώλειες θερμότητας του δέκτη με βάση την προηγούμενη ανάλυση χωρίστηκαν σε τρεις (3) κατηγορίες χρωματικού κώδικα ως ακολούθως. Στον πίνακα 4.1 με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται οι δέκτες που είναι ανάμεσα στις θερμοκρασίες 26-47 °C και μπορούν να χαρακτηριστούν ως «καλοί», με πορτοκαλί χρώμα αυτοί που έχουν θερμοκρασίες 48-5 °C και μπορούν να χαρακτηριστούν ως «κανονικοί», ενώ με κόκκινο αυτοί με

θερμοκρασία άνω των 57 °C και χαρακτηρίζονται ως «όχι καλοί» και είναι αυτοί που κατά πάσα πιθανότητα έχουν κάποιου είδους βλάβη άρα χρειάζονται αλλαγή. Όπως φαίνεται και στον πίνακα οι δέκτες του ηλιοθερμικού πεδίου είναι σε καλή κατάσταση, παρόλο που παρουσιάζουν μερικές διακυμάνσεις στις θερμοκρασίες μεταξύ τους, κάτι το οποίο μπορεί να προήλθε για διάφορους λόγους πέραν της κάποιας βλάβης του ίδιου του σωλήνα κενού όπως είναι ο τρόπος λήψης της θερμογράφησης, η γωνία λήψης, οι καιρικές συνθήκες κλπ.

4.6 Ανάλυση Θερμοκρασίας θερμικού ελαίου

Η δεύτερη φάση των θερμογραφήσεων πραγματοποιήθηκε επίσης στο ηλιακό πεδίο παραβολικών κατόπτρων του πάρκου. Όμως, με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την ανάλυση της θερμοκρασίας του θερμικού ελαίου κάθε σειράς κατόπτρων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της μέρας, καθώς το πάρκο βρισκόταν σε κατάσταση λειτουργίας. Σε αυτή τη φάση, οι θερμομετρήσεις πραγματοποιήθηκαν δύο μέρες, στις 11 Νοέμβριου 2016 και στις 21 Νοεμβρίου 2016, από τις οποίες η δεύτερη έγινε ως μέρος επαναληπτικής διαδικασίας της πρώτης. Η χρονική περίοδος και η επαναληψιμότητα μέσα στη μέρα των μετρήσεων είναι μεγάλη, καθώς την πρώτη μέρα οι μετρήσεις έγιναν μεταξύ των 10:45 και 15:45 ενώ τη δεύτερη μέρα μεταξύ των 12:00 και 14:40. Στόχος αυτής της φάσης είναι η σύγκριση των θερμοκρασιακών αποτελεσμάτων των θερμικών εικόνων με τα θερμοκρασιακά δεδομένα που παρέχει το σύστημα εμποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) του υβριδικού πάρκου μέσω των αισθητήρων θερμότητας.

Για τον σκοπό των μετρήσεων, κάθε σειρά παραβολικών κατόπτρων αποτέλεσε ένα σημείο μετρήσεων με αριθμό 1,2,3,4,5 και 6 αντίστοιχα, (Σχήμα 4.2). Ενώ ανά δύο αποτελούν έναν βρόγχο μεταξύ τους από όπου το θερμικό έλαιο εισέρχεται «κρύο» (έχοντας αποδώσει την θερμική του ενέργεια στο TES) και εξέρχεται «θερμό» (έχοντας αποκτήσει θερμική ενέργεια μέσω της κυκλοφορίας του στο σωλήνα/δέκτη). Έτσι λοιπόν, στο Σχήμα 4.2 οι σειρές 2,4 και 6 αφορούν μετρήσεις εισόδου του «κρύου» ελαίου στον ηλιακό πεδίο και οι σειρές 1,3 και 5 μετρήσεις εξόδου του «θερμού» ελαίου που οδηγείται προς το TES για να αποδώσει την θερμική του ενέργεια και έπειτα να επιστρέψει ξανά στο ηλιακό πεδίο. Όλες οι μετρήσεις έγιναν ξεκινώντας από την σειρά 1 (σημείο 1) καταλήγοντας στη σειρά 6 (σημείο 6) με αντιστροφική φορά, και αριθμό επαναλήψεων 8 φορές την πρώτη μέρα 11 Νοέμβριου, δηλαδή 8 μετρήσεις (θερμικές εικόνες) για κάθε σειρά/σημείο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και 2 φορές την δεύτερη ημέρα 21 Νοεμβρίου, δηλαδή 2 μετρήσεις (θερμικές εικόνες) για κάθε σειρά/σημείο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των θερμογραφήσεων και τις δύο ημέρες των μετρήσεων καταγράφηκαν με δεδομένα από τον τοπικό μετεωρολογικό σταθμό και στη συνέχεια με επιβεβαίωση των συνθηκών από το σύστημα εμποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) του υβριδικού πάρκου, το οποίο είναι κατάλληλο για την παροχή πληροφοριών κάθε χρονική στιγμή της μέρας. Έτσι για την πρώτη μέρα δεδομένα ήταν, η θερμοκρασία αέρα 19 °C, σχετική υγρασία 60%, %, ταχύτητα ανέμου 7,5 km/hr και η ακτινοβολία ήταν στα 450 W/ m². Όσον αφορά τις παραμέτρους θερμογράφησης έχουν ως εξής:

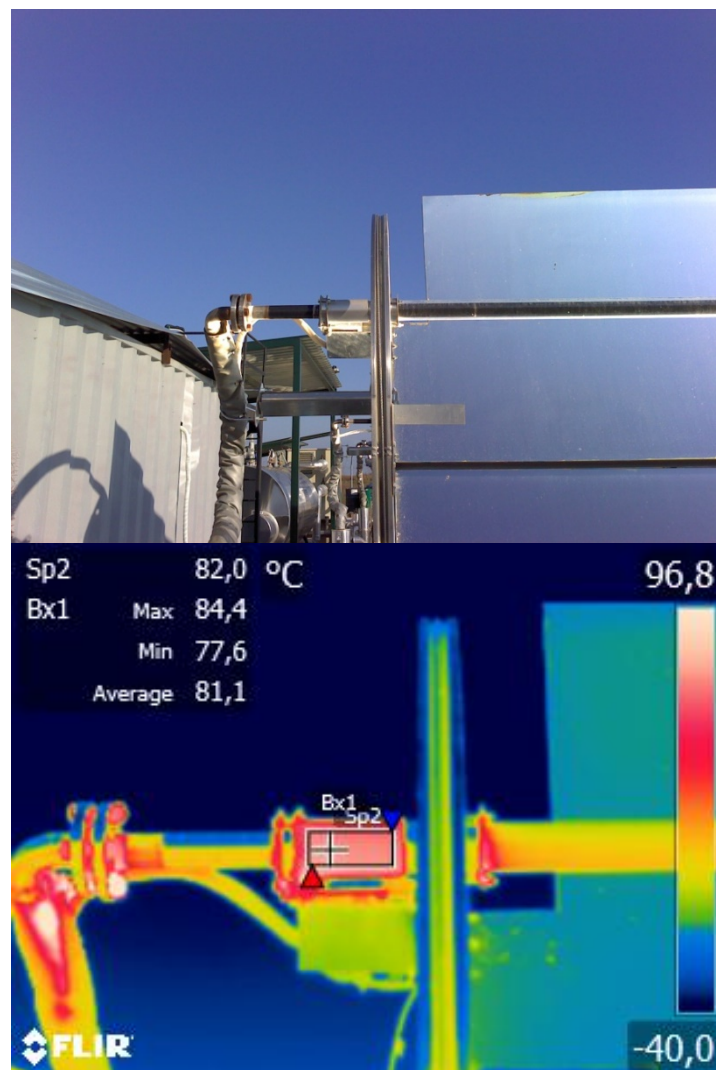
- Αντιστάθμιση της Ατμόσφαιρας ACV = 1,00
- Αντιστάθμιση του Φόντου RTC = 19°C
- Συντελεστής Ικανότητας Εκπομπής ε= 0.77

Ενώ για τη δεύτερη μέρα, δεδομένα ήταν , η θερμοκρασία αέρα 15 °C, σχετική υγρασία 58%, ταχύτητα ανέμου 7,8 km/hr, ενώ η ακτινοβολία έφτασε εως και τα 754 W/ m². Όσον αφορά τις παραμέτρους θερμογράφησης έχουν ως εξής:

- Αντιστάθμιση της Ατμόσφαιρας ACV = 1,00
- Αντιστάθμιση του Φόντου RTC = 15 °C
- Συντελεστής Ικανότητας Εκπομπής $\epsilon = 0.77$

Τέλος, η απόσταση ανάμεσα στην θερμοκάμερα και τον σημείο της μέτρησης καθορίστηκε στα 3m.

Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται ενδεικτικά η θερμογράφηση που πραγματοποιήθηκε σε ένα σημείο από τα 6 που αναφέρθηκαν (Σχήμα 4.2) και συγκεκριμένα το σημείο 6 που αφορά τη χρονική στιγμή που το ρευστό εισέρχεται στην 6^η σειρά.



Σχήμα 4.4: Θερμογράφηση τμήματος εισόδου θερμικού ελαίου στο παραβολικό κάτοπτρο

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση κάθε υπέρυθρης θερμογράφησης, είναι το FLIR Tools. Κύριο μέρος της ανάλυσης αποτέλεσε η ανάλυση της θερμοκρασίας κάθε σημείου μέτρησης μαζί με το μέσο όρο θερμοκρασίας που υπάρχει στη συγκεκριμένη περιοχή καθώς και την μέγιστη και ελάχιστη τιμή της. Τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων και για τις δύο ημέρες παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.2 και 4.3. Οι 6 στήλες αποτελούν τις σειρές κατόπτρων ενώ ταυτόχρονα χωρίζονται και στους αντίστοιχους βρόγχους όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Κάθε τιμή μέτρησης συνοδεύεται και από το αντίστοιχο μέσο όρο θερμοκρασίας. Οι γραμμές αποτελούν την ακριβή χρονική στιγμή στην οποία έγινε η μέτρηση. Έτσι, γίνεται γνωστό στη δεδομένη χρονική στιγμή τι θερμοκρασία δείχνουν οι μετρήσεις και έτσι μπορεί να γίνει σύγκριση με την ένδειξη θερμοκρασίας από το σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) του υβριδικού πάρκου.

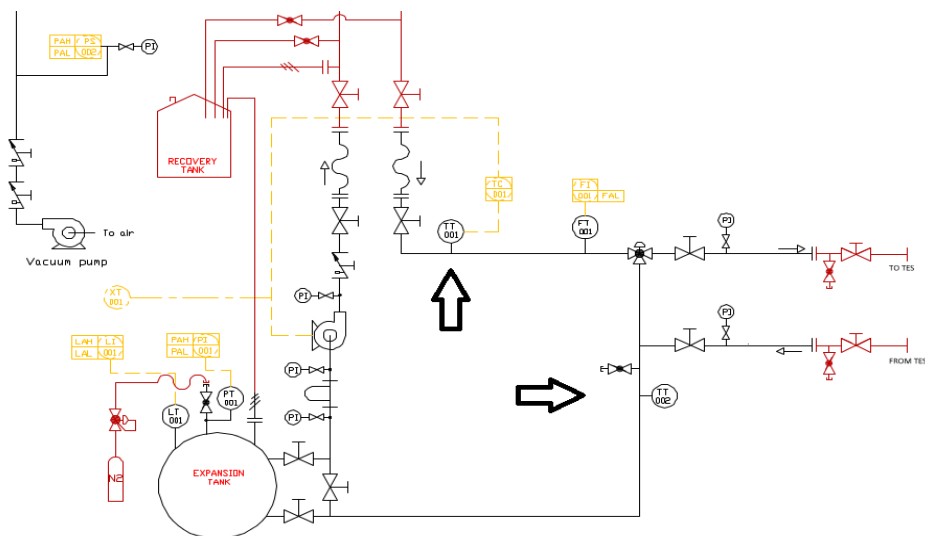
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα πρώτης μέρας μετρήσεων

Σειρά Χρόνος	Βρόγχος 1				Βρόγχος 2				Βρόγχος 3			
	R1 Θερμ. °C		R2 Θερμ. °C		R3 Θερμ. °C		R4 Θερμ. °C		R5 Θερμ. °C		R6 Θερμ. °C	
10:45:14	94,5	94,6										
10:46:12			90,1	89,4								
10:47:19					94,8	92,9						
10:47:56							87,8	88				
10:48:41									87,1	87,5		
10:49:12											86,1	84,1
11:01:09	81,4	82										
11:02:20			80	78,8								
11:03:07					82,7	81,9						
11:03:45							78,8	75,6				
11:04:28									75,8	71,5		
11:04:59											74,6	72,2
11:15:35	82,4	82,4										
11:17:43			80,4	79,7								
11:18:26					81,2	80,9						
11:18:53							75,5	75,4				
11:19:40									79,3	78,6		
11:20:14											73,3	72,3
11:44:06	77,8	76,2										
11:45:18			74,7	74,1								
11:46:15					75,7	75						
11:47:08							72,7	71,4				
11:48:29									71,8	71,9		
11:49:14											64,6	64,7
11:59:59	81,4	77,7										
12:00:53			78,6	76,7								
12:01:50					80,2	80,3						
12:02:27							73,6	71,4				
12:03:12									73,6	72,2		
12:03:46											67,5	66,2
13:46:43	84,1	84,4										
13:17:53			80,4	81,3								
13:18:37					80,7	82,1						
13:20:16							77	75,2				
13:21:24									80,1	79,5		
13:22:53											70,6	70,9
14:29:18	90,8	92,2										
14:30:12			90	90,6								
14:30:53					88,7	88						
14:31:36							77,9	75,6				
14:32:18									81,1	79,5		
14:33:07											67,5	65,8
15:31:37	88,4	87,3										
15:32:27			87,3	86,8								
15:33:01					88,7	89,9						
15:33:42							82,7	81,8				
15:34:30									88,6	88,2		
15:35:23											82,7	82,2

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα δεύτερης μέρας μετρήσεων

Σειρά Χρόνος	Βρόγχος 1				Βρόγχος 2				Βρόγχος 3			
	R1 Θερμ. °C		R2 Θερμ. °C		R3 Θερμ. °C		R4 Θερμ. °C		R5 Θερμ. °C		R6 Θερμ. °C	
13:31:43	80,5	79,7										
13:32:41			78,8	78								
13:34:30					80,2	79,9						
13:35:11							80,3	79				
13:36:24									83,8	83,7		
13:37:02											77	76,4
14:20:09	83,7	83,7										
14:21:18			82,2	82								
14:24:51					88,3	86,7						
14:25:53							84,5	83,2				
14:26:34									88	87,7		
14:27:13											82	81,1

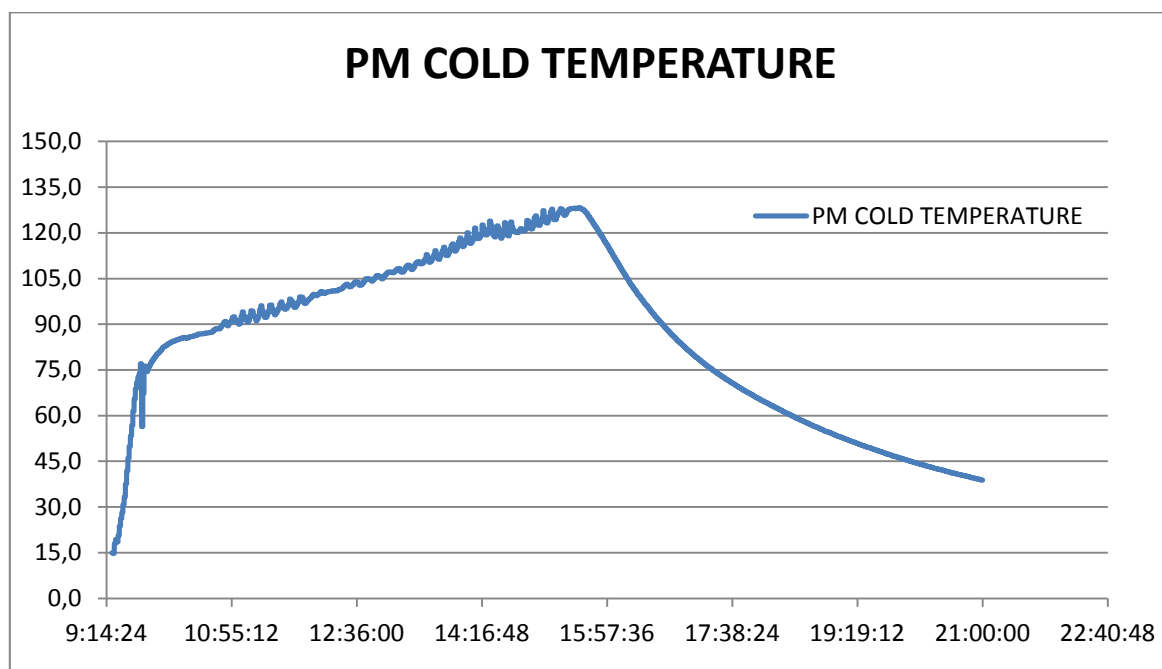
Στη συνέχεια τα δεδομένα συγκρίνονται με τις τιμές θερμοκρασίας του θερμικού ελαίου από το σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) του υβριδικού πάρκου. Αυτά τα δεδομένα προέρχονται από δυο αισθητήρες θερμοκρασίας που είναι τοποθετημένοι στο δίκτυο. Ο πρώτος αισθητήρας μετράει την θερμοκρασία του θερμικού ελαίου κατά την έξοδο του από το ηλιακό πεδίο, καθώς μεταφέρει την θερμική ενέργεια που παρέλαβε προς το TES, «PM HOT TEMPERATURE». Ο δεύτερος μετρά την θερμοκρασία του ελαίου κατά την έξοδο του από το TES όπου έχει αφήσει την θερμική του ενέργεια και είναι έτοιμο να εισέλθει εκ νέου στο ηλιακό πεδίο, «PM COLD TEMPERATURE». Το Σχήμα 4.5 αποτελεί κομμάτι του μονογραμμικού λειτουργικού διάγραμματος της εγκατάστασης του υβριδικού πάρκου που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3, μέσω του οποίου παρουσιάζεται η περιοχή του δικτύου όπου είναι τοποθετημένοι οι δύο αισθητήρες. Σε αυτό οι αισθητήρες φαίνονται να είναι οι TT001 και TT002 τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οποίων υπάρχουν στο Παράρτημα.



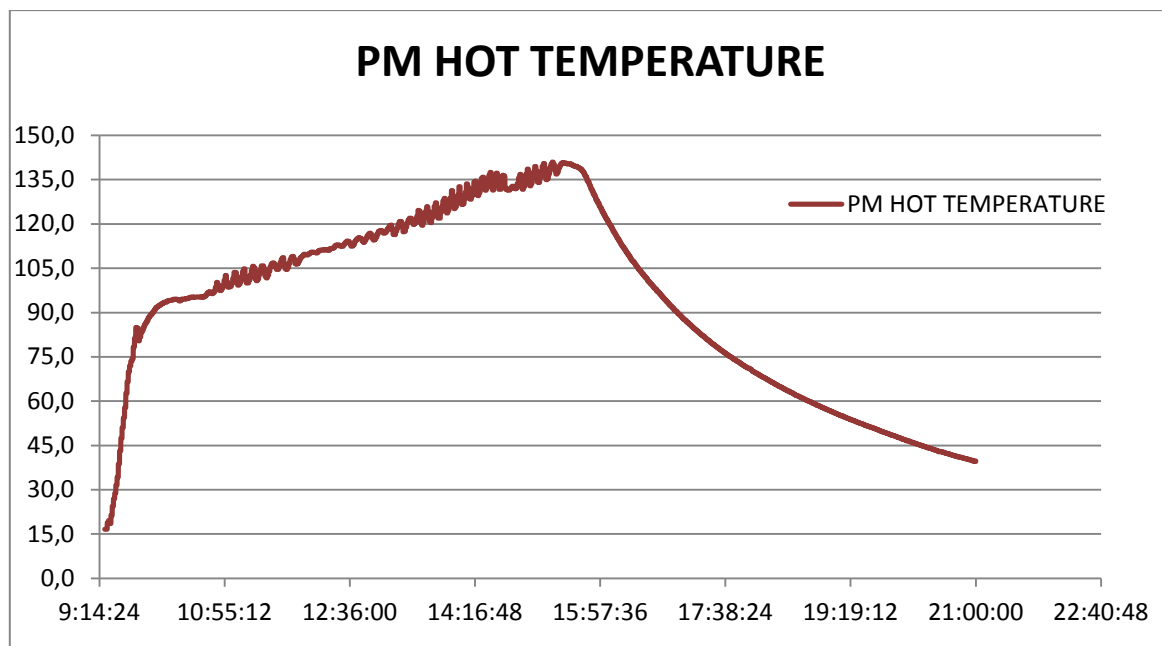
Σχήμα 4.5: Περιοχή δικτύου τοποθέτησης αισθητήρων θερμότητας

Έτσι, οι καμπύλες θερμότητας - χρόνου στα Σχήματα 4.6 και 4.7 παρουσιάζουν την θερμοκρασία του θερμικού ελαίου έτσι όπως προέκυψαν από τις πληροφορίες τους συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA), το οποίο αντλεί πληροφορίες από τους δυο αισθητήρες θερμότητας για την πρώτη μέρα μετρήσεων. Ενώ, στα Σχήματα 4.8 και 4.9 παρουσιάζονται οι καμπύλες δεδομένων για την δεύτερη μέρα μετρήσεων αντίστοιχα. Παρατηρείται πως σε όλες τις καμπύλες η θερμοκρασία του ελαίου ξεκινά από τους 15°C και ανεβάζει την θερμοκρασία του κατά την εκκίνηση του ηλιακού πεδίου. Καθώς το ηλιακό πεδίο συλλέγει ηλιακή ενέργεια το θερμικό έλαιο στο «Pm Hot» φτάνει έως και τους 138 °C για την πρώτη μέρα των μετρήσεων και στους 110°C για την δεύτερη μέρα ενώ στο «Pm Cold» φτάνει στους 123°C την πρώτη μέρα και στους 100°C. Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται οφείλονται στο γεγονός πως η θερμοκρασία του ελαίου καθώς κυκλοφορεί στις σωληνώσεις αλλάζει συνεχώς. Λαμβάνει θερμική ενέργεια από το ηλιακό πεδίο, στη συνέχεια την αφήνει στο TES και έπειτα εισέρχεται ξανά στο ηλιακό πεδίο για να παραλάβει εκ νέου θερμική ενέργεια. Στο τέλος, καθώς το ηλιακό πεδίο σταματά την λειτουργία του, το θερμικό έλαιο χάνει συνεχώς την θερμική ενέργεια που είχε αποκτήσει και έτσι μειώνεται η θερμοκρασία του βαθμιαία και συνεχώς μέχρι να φτάσει πάλι περίπου στους 15°C απ όπου ξεκίνησε.

Πρώτη μέρα μετρήσεων 11 Νοεμβρίου 2016

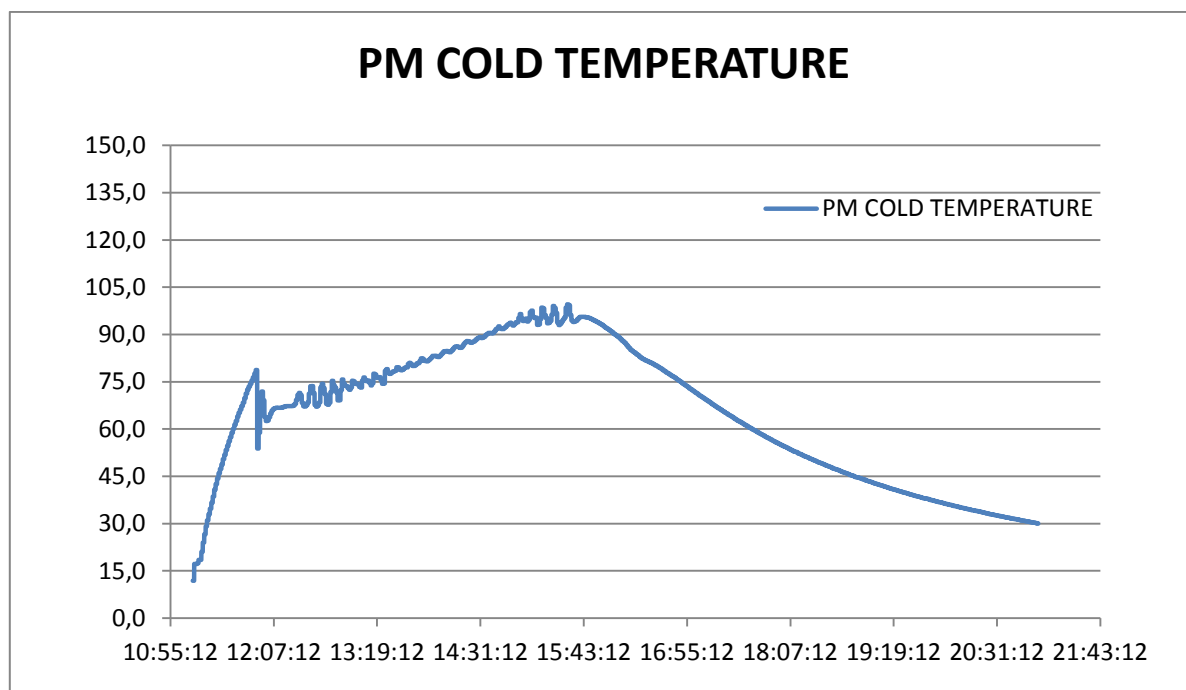


Σχήμα 4.6: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Cold Temperature

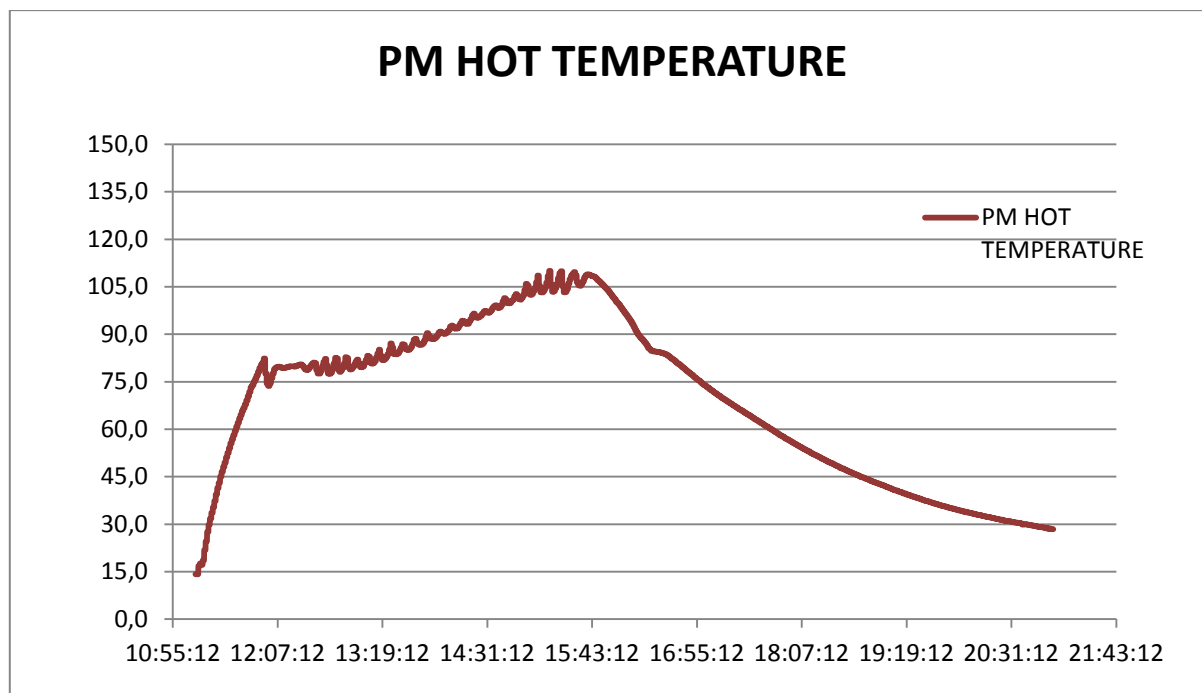


Σχήμα 4.7: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Hot Temperature

Δεύτερη μέρα μετρήσεων 21 Νοεμβρίου 2016



Σχήμα 4.8: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Cold Temperature

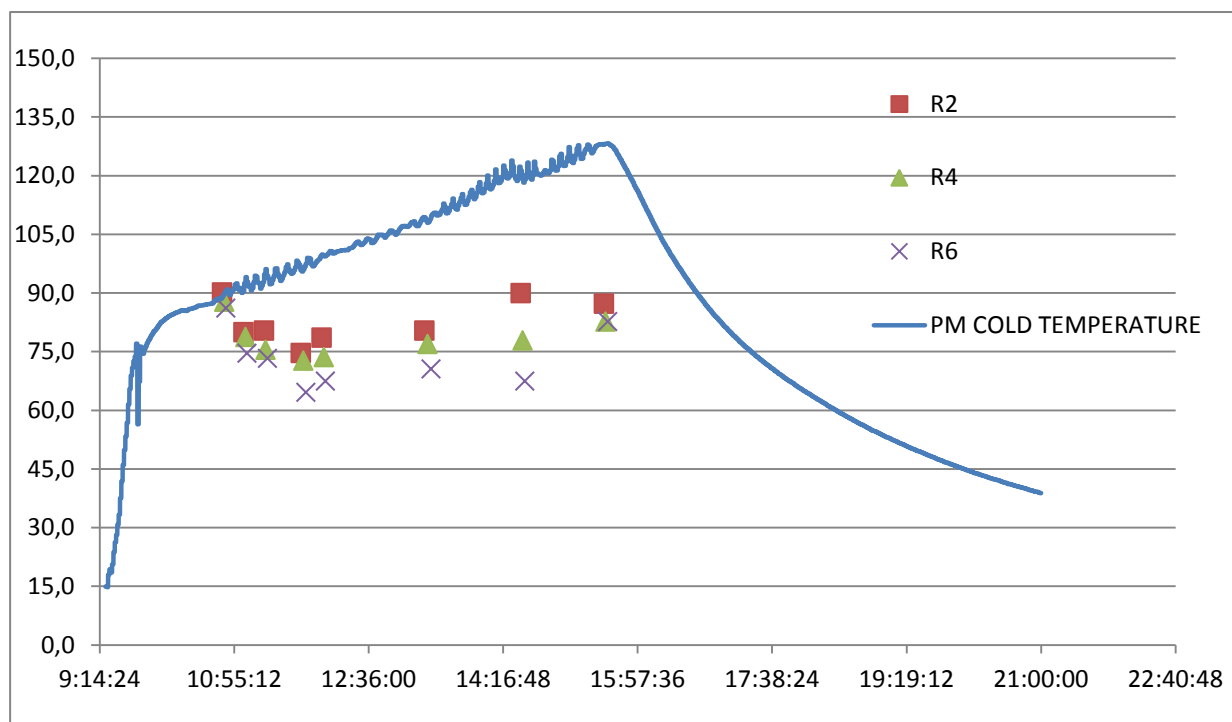


Σχήμα 4.9: Θερμοκρασία θερμικού ελαίου, Pm Hot Temperature

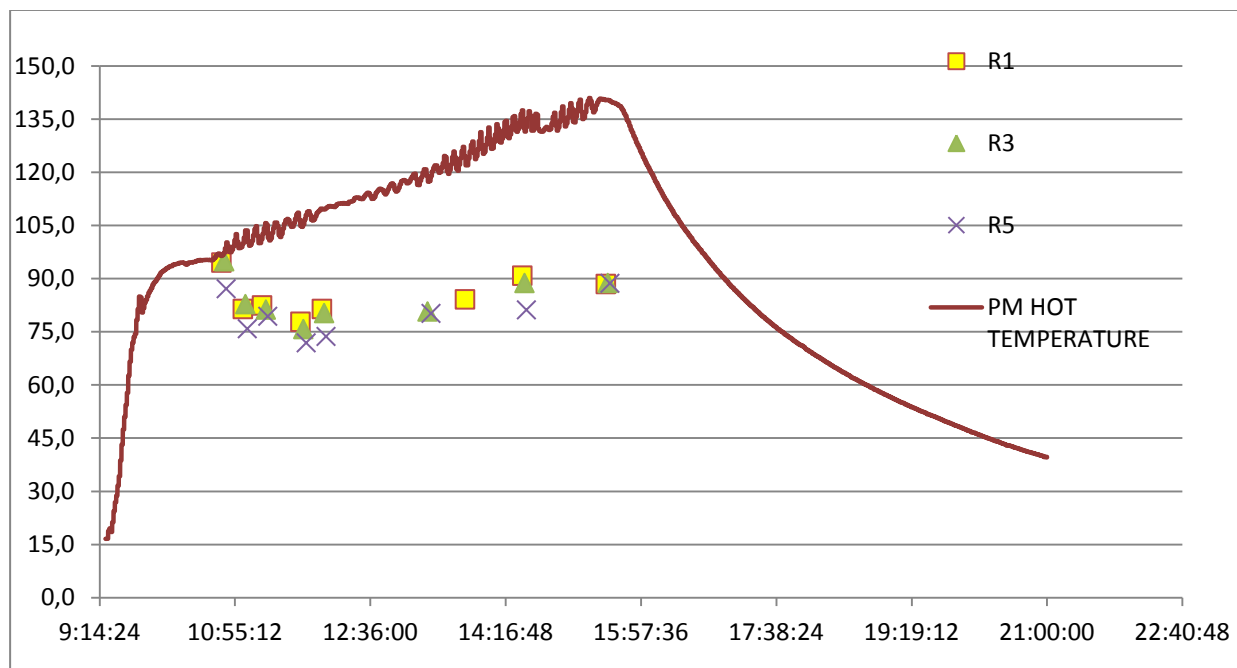
Έπειτα, στις καμπύλες δεδομένων Θερμότητας – Χρόνου ενσωματώνονται οι θερμοκρασίες των μετρήσεων των θερμικών εικόνων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 για την πρώτη μέρα και στον Πίνακα 4.3 για την δεύτερη μέρα μετρήσεων. Οι τιμές εισόδου του θερμικού ελαίου σε κάθε βρόγχο (δηλαδή στις σειρές 2,4,6) τοποθετούνται στην καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου «Pm Cold Temperature» που αντιπροσωπεύει τις θερμοκρασίες του ελαίου κατά την είσοδο του στο ηλιακό πεδίο. Αντίστοιχα, οι τιμές εξόδου του ελαίου από κάθε βρόγχο (δηλαδή στις σειρές 1,3,5) τοποθετούνται στην καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου «Pm Hot Temperature» που αντιπροσωπεύει τις θερμοκρασίες του ελαίου κατά την έξοδό του από το ηλιακό πεδίο.

Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η σύγκριση των θερμοκρασιών που προκύπτουν από τα δεδομένα του πάρκου και των θερμοκρασιών που προκύπτουν από τις θερμικές εικόνες την ίδια χρονική στιγμή. Έτσι, θα διευκρινιστεί εάν ο έλεγχος της θερμοκρασίας του θερμικού ελαίου κατά την είσοδο και έξοδο του στους βρόγχους των παραβολικών κατόπτρων, με τη συγκεκριμένη μέθοδο αποτελεί αξιόπιστο τρόπο μετρήσεων.

Πρώτη μέρα μετρήσεων 11 Νοεμβρίου 2016

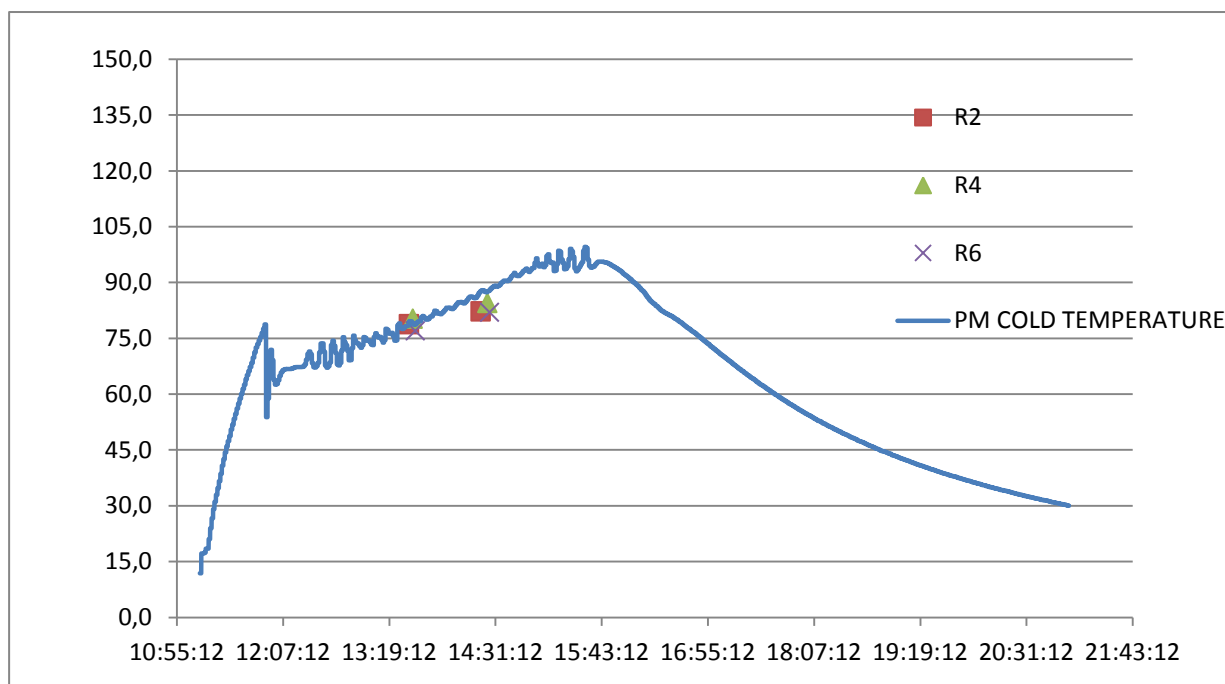


Σχήμα 4.10: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Cold Temperature

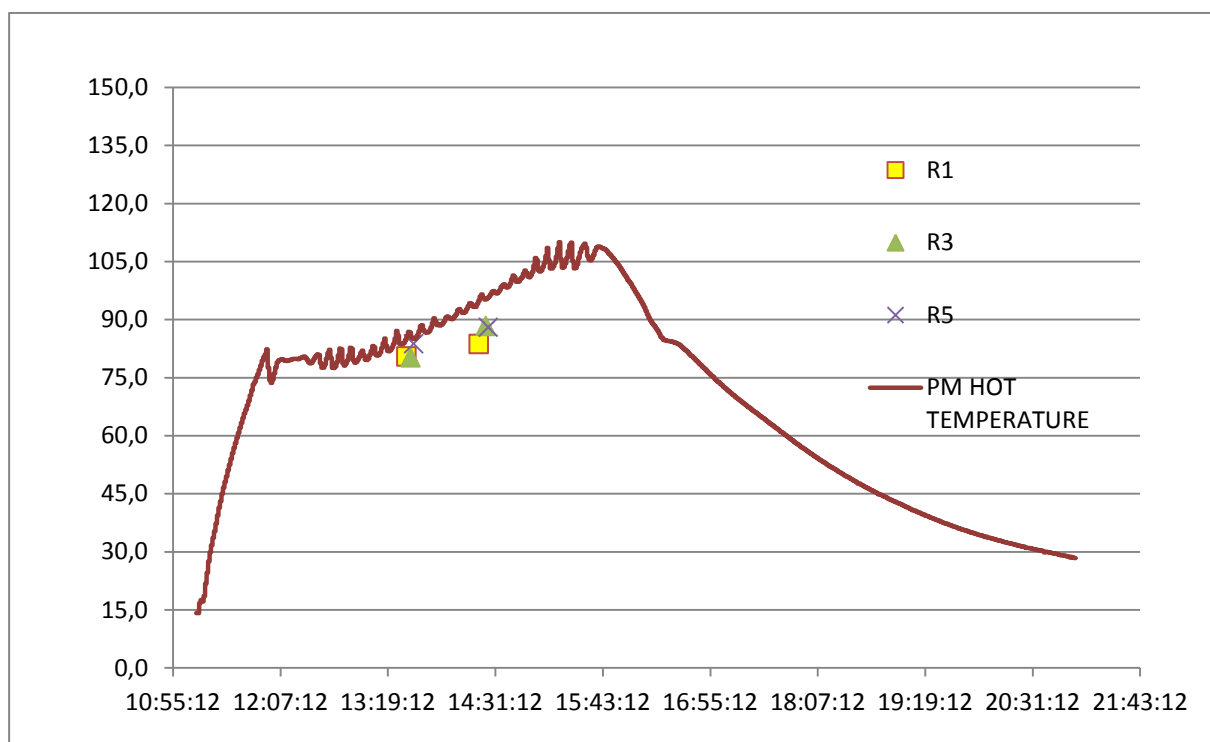


Σχήμα 4.11: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Hot Temperature

Δεύτερη μέρα μετρήσεων 21 Νοεμβρίου 2016



Σχήμα 4.12: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Cold Temperature



Σχήμα 4.13: Συγκεντρωτική καμπύλη δεδομένων - μετρήσεων, Pm Hot Temperature

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 4.10-4.13 των καμπυλών Θερμοκρασίας – Χρόνου σε όλες τις περιπτώσεις, ανεξαρτήτως βρόγχου ή σειράς από το οποίο προέρχεται ή στο οποίο κατευθύνεται το θερμικό έλαιο υπάρχουν σε αρκετά σημεία διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις θερμοκρασίες των δεδομένων που προήλθαν από τους αισθητήρες του υβριδικού πάρκου και σε αυτές που προήλθαν από τις μετρήσεις με τις θερμικές εικόνες. Παρόλο που σε ορισμένα σημεία η διαφορά θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή της τάξης των 2-3 °C, στα περισσότερα σημεία η διαφορά κυμαίνεται αρκετά ξεκινώντας από 15 °C και φτάνοντας έως και τους 45 °C. Αυτές οι αποκλίσεις, όπως φαίνεται από τις καμπύλες και τα σημεία των μετρήσεων δεν μένουν σταθερές. Οι αποκλίσεις αυτές, εκτός του ότι χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και διεξαγωγής μεγαλύτερου αριθμού θερμογραφίσεων σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, οφείλονται εν' μέρει:

1) στην διαφορετική αρχή μέτρησης μεταξύ των διαλαμβανόμενων τιμών μεταξύ θερμοκάμερας και αισθητήρων πεδίου

2) στις πειραματικές συνθήκες π.χ. σημείο λήψης θερμογράφησης, απόσταση, αρχική βαθμονόμηση, γωνία λήψης θερμογράφησης κ.λ.π.

Οι παράγοντες αυτοί είναι κάτι που επιβεβαιώνεται και από τη διεθνή βιβλιογραφία «Inspection receiver tubes device for CSP plants» [2]. Παράλληλα στη βιβλιογραφία «Inspection and Structural Health Monitoring techniques for Concentrated Solar Power plants»[3] αναφέρεται πως η επιθεώρηση των σωλήνων του δέκτη ενός παραβολικού κατόπτρου χρησιμοποιώντας υπέρυθρη θερμογραφία μπορεί να δώσει κάποια εικόνα σχετικά με τη γενική κατάσταση του ηλιακού πεδίου, σχετικά με τον εντοπισμό κάποιας υπερθέρμανσης. Κυρίως λόγω της κεραμομεταλλουργικής επίστρωσης αλλά και του γυάλινου περιβλήματος, η χρήση της υπέρυθρης θερμοκάμερας δεν είναι απλή και μπορεί να είναι αναξιόπιστη εκτός και αν υπάρχει σαφής υπερθέρμανση.

Πρόβλημα αποτελεί η συνεχής μετακίνηση της κάμερας προκειμένου να καλυφθεί όλη η έκταση του ηλιακού πεδίου, με αποτέλεσμα την πιθανή αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Ένα ακόμα πρόβλημα είναι ότι η κεραμομεταλλουργική επίστρωση επιδεινώνεται με το χρόνο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεταβλητή απορροφητικότητα και ικανότητα εκπομπής σε διάφορα μέρη του ηλιακού πεδίου, δεδομένα τα οποία είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να ρυθμιστούν από τον χειριστή της κάμερας. Έτσι, η μέτρηση με τη χρήση υπέρυθρης κάμερας μπορεί να είναι επιρρεπής σε ένα σημαντικό περιθώριο λάθους. Τέλος, οι πληροφορίες που μπορούν να συλλεχθούν αφορούν μόνο την περιοχή του ηλιακού σωλήνα απορροφητή η οποία είναι ορατή από την κάμερα.

4.7 Σύνοψη

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκε ένας πλήρης θερμογραφικός έλεγχος του ηλιακού πεδίου του ηλιοθερμικού πάρκου παραβολικών κατόπτρων του ηλιοθερμικού πάρκου «ENERGEIA» στον Τόπειρο Ξάνθης. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αρχικά σε όλους τους δέκτες που εμπεριέχονται στα παραβολικά κατόπτρα, καθώς επίσης και στην είσοδο και έξοδο του θερμικού ελαίου, κάθε μίας από τις έξι σειρές των κατόπτρων που αποτελούν το ηλιακό πεδίο του πάρκου. Έπειτα, έγινε ανάλυση και καταγραφή των δεδομένων με τη βοήθεια του λογισμικού FLIR Tools. Τέλος, Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με τις προσδοκώμενες τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας του πάρκου.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας και θα γίνουν κάποιες προτάσεις για μελλοντικές έρευνες σχετικές με το αντικείμενο ή την εξέλιξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.8 Αναφορές

- [1] Τσανάκας, Ι.Α., «Προηγμένες τεχνολογίες διάγνωσης-πρόγνωσης βλαβών σε μηχανολογικές κατασκευές με χρήση εποπτικών μεθόδων: περίπτωση υπέρυθρη θερμογραφίας», Διδακτορική Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Τομέας Υλικών Διεργασιών και Μηχανολογίας, Ξάνθη, Φεβρουάριος 2013.
- [2] A. García de Jalóna, D. Péreza, P. Benitoa, F. Zaverskya, «Inspection receiver tubes device for CSP plants», 2015
- [3] Mayorkinos Papaelias, Liang Cheng, Maria Kogia, Abbas Mohimi, Vassilios Kappatos, Cem Selcuk, Louis Constantinou, Carlos Quiterio Gomez Munoz, Fausto Pedro Garcia Marquez, Tat-Hean Gan, «Inspection and Structural Health Monitoring techniques for Concentrated Solar Power plants», August 2015
- [4] M. Yaghoubi, F. Ahmadi, and M. Bandehee, «Analysis of Heat Losses of Absorber Tubes of Parabolic through Collector of Shiraz (Iran) Solar Power Plant», January 2013
- [5] H. Price, R. Forristall, T. Wendelin, and A. Lewandowski, «Field Survey of Parabolic Trough Receiver Thermal Performance», National Renewable Energy Laboratory, July 8–13, 2006
- [6] John R. Kominsky, James S. Luckino, Thomas F. Martin «Passive Infrared Thermography—A Qualitative Method for Detecting Moisture Anomalies in Building Envelopes»
- [7] «Collector/Receiver Characterization», National Renewable Energy Laboratory
- [8] FLIR Systems, Inc., «User's manual FLIR Tools/Tools+», <http://www.flir.com>

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη και ανάλυση του συστήματος παραβολικών κατόπτρων του ηλιοθερμικού πάρκου «ENERGEIA» στον Τόπειρο Ξάνθης και η επιθεώρηση τους με τη βοήθεια της υπέρυθρης απεικόνισης (infrared (IR) thermal imaging) καθώς και η διερεύνηση και αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της υπέρυθρης θερμογράφησης ως μεθόδου μελέτης και ανάλυσης της λειτουργίας ενός ηλιοθερμικού πάρκου σε σύγκρισή της με τις υφιστάμενες παραδοσιακές μεθόδους ελέγχου και ανάλυσης.

Για την πληρέστερη δυνατή υλοποίηση του παραπάνω σκοπού πραγματοποιήθηκαν θερμογραφίες στο ηλιακό πεδίο του ηλιοθερμικού πάρκου παραβολικών κατόπτρων που έγκειται στο έργο «ENERGEIA». Σε πρώτη φάση θερμογραφίες πραγματοποιήθηκαν στους σωλήνες/δέκτες των παραβολικών κατόπτρων για τον εντοπισμό κάποιας αστοχίας και έπειτα στις εισόδους και εξόδους του θερμικού ελαίου στο ηλιακό πεδίο με σκοπό τον έλεγχο της θερμοκρασίας του. Η αξιολόγηση των θερμογραφικών μετρήσεων στηρίχτηκε στη σύγκριση που έγινε με συμβατικές μεθόδους ελέγχου της θερμοκρασίας.

Συμπεράσματα για τους σωλήνες/δέκτες

Η θερμογραφική επιθεώρηση που έγινε στην περιοχή του σωλήνα/δέκτη των κατόπτρων δεν έδειξε κάποια βλάβη ή αστοχία. Αυτό σημαίνει πως όλοι οι δέκτες του υβριδικού πάρκου λειτουργούν κανονικά και δεν φέρουν κάποιο πρόβλημα που να εμποδίζει την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Όπως επιβεβαιώνεται και στον Πίνακα 4.1 οι δέκτες του ηλιοθερμικού πεδίου είναι σε καλή κατάσταση, παρόλο που παρουσιάζουν μερικές διακυμάνσεις στις θερμοκρασίες μεταξύ τους, κάτι το οποίο μπορεί να προήλθε για διάφορους λόγους πέραν της κάποιας βλάβης του ίδιου του σωλήνα κενού όπως είναι ο τρόπος λήψης της θερμογράφησης, η γωνία λήψης, οι καιρικές συνθήκες κλπ.

Πίνακας 4.1: Θερμοκρασίες στην επιφάνεια του δέκτη

Τμήμα Σειρά	A Θερμ. °C	B Θερμ. °C	C Θερμ. °C	D Θερμ. °C	Μέση Τιμή
1	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4
2	36,5	33,3	36,3	31,4	34,4
3	28,9	34,1	33,1	31,5	31,9
4	34,8	33,5	35,0	34,3	34,4
5	36,1	33,3	36,8	39,5	36,4
6	33,3	39,4	39,7	37,6	37,5
Μέση Τιμή	34,0	34,7	35,9	34,8	

<47 °C
47-57 °C
57 °C <

Συμπεράσματα για τις εισόδους και εξόδους του θερμικού ελαίου

Οι μετρήσεις στις εισόδους και εξόδους του θερμικού ελαίου στα κάτοπτρα του ηλιακού πεδίου έδειξε πως παρόλο που η θερμική απεικόνιση αποτελεί έναν εξαιρετικό και γρήγορο τρόπο εποπτείας μη καταστροφικού έλεγχου στη συγκεκριμένη περίπτωση λόγω της μονωτικής επίστρωσης στους σωλήνες δεν αποτελεί ενδεδειγμένο τρόπο μέτρησης της θερμοκρασίας του θερμικού ελαίου.

Όπως φαίνεται και στις καμπύλες Θερμοκρασίας – Χρόνου (Σχήματα 4.10-4.11), σε ορισμένα σημεία η διαφορά θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή της τάξης των 2-3 °C, ωστόσο στα περισσότερα σημεία η διαφορά κυμαίνεται αρκετά ξεκινώντας από 15 °C και φτάνοντας έως και τους 45 °C. Αυτές οι αποκλίσεις, όπως φαίνεται από τις καμπύλες και τα σημεία των μετρήσεων δεν μένουν σταθερές. Οι αποκλίσεις αυτές, εκτός του ότι χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και διεξαγωγής μεγαλύτερου αριθμού θερμογραφίσεων σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οφείλονται εν' μέρει:

- 1) στην διαφορετική αρχή μέτρησης μεταξύ των διαλαμβανόμενων τιμών μεταξύ θερμοκάμερας και αισθητήρων πεδίου
- 2) στις πειραματικές συνθήκες π.χ. σημείο λήψης θερμογράφησης, απόσταση, αρχική βαθμονόμηση, γωνία λήψης θερμογράφησης κ.λ.π.

Γενικά Συμπεράσματα

Η θερμική απεικόνιση χρησιμοποιείται συχνά στην επιθεώρηση εξοπλισμών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτελεί κατάλληλο τρόπο εποπτείας στη περιοχή του σωλήνα/δέκτη των παραβολικών κατόπτρων, όμως δημιουργεί αμφίβολα αποτελέσματα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του ρευστού μέσα στο σωλήνα λόγω της μονωτικής επίστρωσης. Ωστόσο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την πιθανή ανίχνευση κατεστραμμένης μόνωσης και την απώλεια θερμότητας σε ορισμένα σημεία του ηλιακού πεδίου, καθώς επίσης για την ανίχνευση διαρροών, αλλά και την όποια σημαντική θερμική διακύμανση στις σωληνώσεις των κατόπτρων που μπορεί να υποδεικνύει την παρουσία ενός ενδεχόμενου διαρθρωτικού προβλήματος.

Προτάσεις

Στο χρονικό διάστημα της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας σαφώς υπήρξαν σκέψεις για την πραγματοποίηση περισσότερων πραγμάτων. Ωστόσο, λόγω των χρονικών περιθωρίων και των ορίων που είχαν τεθεί από τον συγγραφέα και τον επιβλέποντα δεν πραγματοποιήθηκαν.

Κάποιες προτάσεις για μελλοντικές έρευνες σχετικές με το αντικείμενο ή την εξέλιξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να είναι η εξέταση των επιθεωρούμενων μερών σε εργαστηριακό περιβάλλον και η εφαρμογή της ενεργητικής θερμογραφίας και σύγκρισή της με την παθητική προσέγγιση. Χρήση ενός εξωτερικού ερεθίσματος για την παραγωγή διαφορών θερμοκρασίας και στη συνέχεια αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής. Διεξαγωγή μεγαλύτερου αριθμού μετρήσεων σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες π.χ. μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, φορτίο πάρκου κ.λπ. Επανασχεδιασμός της διεξαγωγής των πειραμάτων με βάση την αρχή DOE (Design of Experiment). Εφαρμογή και σύγκριση διαφορετικής μετρητικής διάταξης π.χ. θερμόμετρα επαφής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1: Φύλλο τεχνικών προδιαγραφών Θερμοκάμερας E50

FEATURES	FLIR E50
Temperature range	-4 to 1202°F (-20 to 650°C)
Thermal sensitivity (N.E.T.D)	<0.05°C at 30°C
Detector Type - Focal plane array; (FPA) uncooled microbolometer	240 x 180 pixels
MSX® Thermal Image Enhancement	Yes
Picture-in-Picture (P-i-P)	Scalable P-i-P
MPEG 4 Video Recording	Yes
Video Camera w/Lamp & Laser	3.1MP/LED Lamp/Laser pointer
Digital Zoom	4X Continuous
Image annotation	Voice (60s)/Text Comments
Moveable Spot	3 Spotmeters
Area Box	3 Area Boxes (full image with min/max/avg)
Delta T	Yes
Data Communication Interface	USB-mini, USB-A, Composite Video, Bluetooth, Wi-Fi

Πίνακας Π.2: Φύλλο τεχνικών προδιαγραφών αισθητήρα θερμότητας T001

Approval:Non-hazardous area Sensor Version:RTD	Approval:Non-hazardous area Sensor Version:RTD PT100 TF QuickSensfast response; - 50...+200oC	164 mm
Sensor Type; Measuring Range: Insert Diameter:	6mm IEC 60751 (a=0.03851 Ohm/K)	
Sensor Standard:	Class AA (IEC 60751)	
Accuracy Class Insert:		
Number of Sensors:	1x QuickSens, class AA, 6mm	
Sheath Material; Insert Design:	316L; 3-wire MI- Cable (6mm)	
Insert Length:	 mm (50- 965)	
Electrical Connection:	4-20mA; 1- channel TMT180 PCP 0.1K;head transmitter DIN B	

Πίνακας Π.3: Φύλλο τεχνικών προδιαγραφών αισθητήρα θερμότητας T002

Approval:Non-hazardous area	Approval:Non-hazardous area	
Sensor Version:RTD	Sensor Version:RTD	
	PT100 TF	
	QuickSensfast	
Sensor Type; Measuring Range:	response; -	
Insert Diameter:	50...+200oC	164 mm
	6mm	
	IEC 60751	
Sensor Standard:	(a=0.03851	
	Ohm/K)	
Accuracy Class Insert:	Class AA (IEC	
	60751)	
	1x QuickSens,	
Number of Sensors:	class AA, 6mm	
	316L; 3-wire MI-	
Sheath Material; Insert Design:	Cable (6mm)	
	 mm (50-	
Insert Length:	965)	
	4-20mA; 1-	
	channel	
	TMT180 PCP	
	0.1K;head	
	transmitter DIN	
Electrical Connection:	B	