



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Θερμότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ»

ΚΡΑΣΣΑΣ Ν. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Επιβλέπων: Καρέλλας Σωτήριος, Επίκουρος Καθηγητής,

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Αθήνα, Μάρτιος 2011

*I'd put my money on the sun and solar energy. What a source
of power!*

Thomas Edison

(Υπογραφή)

.....

Κρασσάς Βασίλειος

Copyright © ΚΡΑΣΣΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, 2011.

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 Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντί προλόγου...

Αυτή η διπλωματική εργασία αποτελεί το επιστέγασμα των σπουδών μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να αναδείξει τα σημαντικά πλεονεκτήματα που μπορούν να προκύψουν από την εγκατάσταση Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων στην Ελληνική Επικράτεια . Το θέμα που αναπτύσσεται φαντάζει σήμερα περισσότερο επίκαιρο από ποτέ, καθώς είναι απαραίτητη η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Η Ελλάδα έχει την τύχη να βρίσκεται στην Ηλιακή Ζώνη που επιτρέπει την αξιοποίηση των τεχνολογιών αυτών.

Η συμβολή ορισμένων ανθρώπων στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, αλλά και των σπουδών μου συνολικότερα, ήταν καταλυτική. Για τον λόγο αυτό, θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου Σωτήριο Καρέλλα, ο οποίος μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με αυτό το ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τον MSc Μηχανολόγο Μηχανικό Δήμητριο-Σωτήριο Κουρκούμπα για την βοήθεια του στην ολοκλήρωση της εργασίας, καθώς τα σχόλια και οι παρατηρήσεις του ήταν σημαντικές για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους, εντός ή εκτός σχολής, οι οποίοι με στήριξαν και ήταν δίπλα μου σε ότι κι αν έκανα. Ξεχωριστή αναφορά θα ήθελα να κάνω στους φίλους και συνάδελφους μου Νίκο Ευαγγελόπουλο, Σωτήρη Κυριάκη και Στέφανο Δεληκαράογλου.

Τέλος, τις θερμότερες ευχαριστίες μου θα ήθελα να τις εκφράσω προς τους γονείς μου, την αδελφή μου και την υπόλοιπη οικογένειά μου, για την αμέριστη ηθική και υλική στήριξη που μου προσφέρουν μέχρι σήμερα.

Κρασσάς Βασίλειος

Μαρούσι, Μάρτιος 2011

Περιεχόμενα

Αντί προλόγου.....	3
Περιεχόμενα	5
Περίληψη	9
Summary	11
Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγικό Κεφάλαιο	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.1.1 Ενεργειακό Πρόβλημα	13
1.1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	14
1.2 Ηλιακή Ενέργεια	15
1.2.1 Ενέργεια από τον Ήλιο.....	15
1.2.2 Ηλιακός Χρόνος (TST)	17
1.2.3 Ηλιακές Γωνίες.....	17
1.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία.....	18
1.3 Εκμετάλλευση Ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ενέργειας	20
1.3.1 Γενικά	20
1.3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα, διαχωρισμός από θερμικά Ηλιακά	20
1.3.3 Θερμικά (συγκεντρωτικά) Ηλιακά Συστήματα	21
1.4 Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα.....	21
1.4.1 Ιστορική Αναδρομή.....	21
1.4.2 Περιγραφή Λειτουργίας	23
1.4.3 Διαθέσιμες Τεχνολογίες	24
1.5 Περιοχές Κατάλληλες για Εγκατάσταση ΘΗΣ	29
1.5.1 Παγκόσμια	29
1.5.2 Ελληνική Επικράτεια.....	30
1.5.2 Νομοθεσία	30
1.6 Παρούσα Κατάσταση	31
Κεφάλαιο 2^ο Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με Συστήματα Παραβολικών Κοίλων	34
2.1 Εισαγωγή.....	34
2.2 Ηλιακό πεδίο.....	35
2.2.1 Γενικά	35

2.2.2 Παραβολικός κοίλος Συλλέκτη	35
2.2.3 Ρευστό Μεταφοράς Θερμότητας	41
2.2.4 Απώλειες Ηλιακού Πεδίου	43
2.2.5 Σχεδιασμός-Διάταξη Ηλιακού Πεδίου	47
2.3 Μονάδα Παραγωγής Ισχύος	50
2.3.1 Σύστημα Παραγωγής ατμού	51
2.3.2 Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας	52
2.3.3 Συστήματα ψύξης	52
2.4 Συστήματα αποθήκευσης	52
2.4.1 Γενικά	52
2.4.2 Ενεργά Συστήματα Αποθήκευσης	54
2.4.3 Παθητικά Συστήματα Αποθήκευσης	57
2.5 Περιγραφή Κύκλου	58
2.5.1 Συστήματα με Ρευστό Μεταφοράς Θερμότητας	58
2.5.2 Συστήματα Άμεσης Αποθήκευσης	60
2.6 Κόστος Εγκατάστασης	61
2.6.1 Ανάλυση Κόστους	61
2.6.2 Παράγοντες κόστους	63
2.6.3 Παραδείγματα	63
Κεφάλαιο 3^ο Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με συστήματα Κεντρικού Δέκτη (Ηλιακοί Πύργοι)	65
3.1 Εισαγωγή	65
3.2 Ηλιακό Πεδίο	66
3.2.1 Γενικά	66
3.2.2 Ηλιοστάτες	66
3.2.3 Σύστημα Ελέγχου Ηλιακού Πεδίου	70
3.3 Ηλιακός Δέκτης	71
3.3.1 Γενικά	71
3.3.2 Σωληνοειδής δέκτης	72
3.3.3 Ογκομετρικός Δέκτης	73
3.4 Περιγραφή Λειτουργίας Πύργων-Απώλειες	75
3.4.1 Γενικά	75

3.4.2 Σύστημα με χρήση νερού-ατμού στο δέκτη	75
3.4.3 Χρήση Τετηγμένων Αλάτων	78
3.4.4 Χρήση Αέρα.....	80
3.5 Κόστος Εγκατάστασης.....	86
3.5.1 Ανάλυση Κόστους	86
3.5.2 Παράγοντες κόστους	89
3.5.3 Παραδείγματα	90
Κεφάλαιο 4^ο Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με συστήματα Δίσκου/Μηχανής.....	92
4.1 Εισαγωγή.....	92
4.2 Ηλιακό Τμήμα	93
4.2.1 Γενικά	93
4.2.2 Δίσκος-Συγκεντρωτής	93
4.2.3 Ηλιακός Δέκτης	95
4.2.4 Σύστημα Στήριξης-Εντοπισμού	96
4.3 Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας	97
4.3.1 Γενικά	97
4.3.2 Μηχανές Stirling	97
4.3.3 Μηχανές Brayton	99
4.4 Εμπορικά Συστήματα Δίσκου Μηχανής	99
4.4.1 SBP	99
4.4.2 Eurodish	100
4.4.3 Suncatcher	101
4.5 Κόστος Εγκατάστασης.....	103
4.5.1 Γενικά	103
4.5.2 Κόστος Eurodish.....	103
4.5.2 Κόστος “SunCatcher”	104
Κεφάλαιο 5^ο Οικονομική Αξιολόγηση Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων...105	105
5.1 Παραδοχές-Τρόπος Υπολογισμού	105
5.1.1 Επιλογή Περιοχών.....	105
5.1.2 Δεδομένα	106
5.1.3 Περιγραφή Υπολογισμών για Συστήματα Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών	106

5.1.4 Περιγραφή Υπολογισμών για Συστήματα Ηλιακών Πύργων	109
5.1.5 Περιγραφή Υπολογισμών για Συστήματα Δίσκου Μηχανής.....	112
5.1.6 Οικονομική Μελέτη	112
5.2 Εγκατάσταση Ισχύος 50 MWel(net), χωρίς σύστημα αποθήκευσης	114
5.2.1 Στοιχεία Εγκαταστάσεων	114
5.2.2 Οικονομική Μελέτη Βασικής Περίπτωσης	117
5.2.3 Ανάλυση Ευαισθησίας ως προς το επιτόκιο Προεξόφλησης.....	120
5.2.4 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις συνθήκες δανεισμού	122
5.3 Εγκατάσταση Ισχύος 50 MWel(net), με σύστημα αποθήκευσης 6 ωρών.	127
5.3.1 Στοιχεία Εγκαταστάσεων	127
5.3.2 Βασική Οικονομική Μελέτη.....	128
5.3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας ως προς τις δυνατότητες του συστήματος αποθήκευσης.....	131
5.4 Ανηγμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας για την Ελληνική Επικράτεια.....	137
5.4.1 Παραδοχές.....	137
5.4.2 Χάρτης.....	139
Κεφάλαιο 6^ο Μελέτη Εγκατάστασης Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών για παραγωγή ατμού.....	141
6.1 Γενικά	141
6.2 Διαδικασία υπολογισμού χαρακτηριστικών της εγκατάστασης.....	141
6.3 Μελέτη εγκατάστασης Ισχύος 6,5MW _{th} , για παραγωγή ατμού στην βιομηχανία Αλουμινίου στην Βοιωτία.	142
6.3.1 Χαρακτηριστικά Εγκατάστασης.....	142
6.3.2 Απόδοση της Εγκατάστασης κατά την διάρκεια του έτους	143
6.3.3 Χρόνος Αποπληρωμής επένδυσης	144
Κεφάλαιο 7^ο Συμπεράσματα-Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	146
7.1 Γενικά	146
7.2 Συνολικά Συμπεράσματα.....	146
7.3 Προτάσεις για Μελλοντική μελέτη.....	149
Παράρτημα	151
Οδηγός Λειτουργίας Υπολογιστικού Εργαλείου “CaseStudyTool”	151
Βιβλιογραφία	153

Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων, μιας τεχνολογίας αξιοποίησης της Ηλιακής Ενέργειας η οποία δεν είναι τόσο δημοφιλής όσο η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Με την χρήση των συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων έχουμε αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας για την παραγωγή υψηλής ποιότητας θερμότητας και στην συνέχεια αξιοποίηση της θερμότητας αυτής για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο τμήμα της εργασίας αποτελεί ένα εγχειρίδιο για της διαθέσιμες τεχνολογίες συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων. Στην συνέχεια στο δεύτερο τμήμα της εργασίας πραγματοποιείται οικονομοτεχνική μελέτη για την αξιοποίηση των τεχνολογιών σε περιοχές της Ελληνικής Επικράτειας με διαφορετικό Ηλιακό Δυναμικό.

Η εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια. Στο Πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται οι απαραίτητες πληροφορίες για την Ηλιακή Ενέργεια. Επιπλέον γίνεται περιγραφή της λειτουργίας των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων, αναφέρονται οι διαθέσιμες τεχνολογίες και γίνεται ο διαχωρισμός τους από τα φωτοβολταϊκά. Τέλος παρουσιάζεται μια λίστα με τους εγκατεστημένους σταθμούς σε ολόκληρο τον κόσμο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της τεχνολογίας παραβολικών κοίλων συλλεκτών καθώς και περιγραφή των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της τεχνολογίας συστημάτων κεντρικού δέκτη (ή Ηλιακών Πύργων) και των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η τεχνολογία συστημάτων ηλιακού δίσκου. Τα οποία αποτελούν αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται μια οικονομοτεχνική μελέτη για την εγκατάσταση των συστημάτων που αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια σε τρία μέρη της ελληνικής επικρατείας με διαφορετικό ηλιακό δυναμικό. Επιπλέον παρουσιάζεται ένας χάρτης της Ελλάδας ο οποίος απεικονίζει το ανηγμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση τεχνολογίας παραβολικών κοίλων συλλεκτών, για το σύνολο της ελληνικής επικράτειας.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μελέτη για δημιουργία εγκατάστασης παραβολικών κοίλων συλλεκτών η οποία θα είναι σε θέση να τροφοδοτεί με θερμό ατμό την βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου.

Τέλος στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας γίνεται μια καταγραφή των συμπερασμάτων που προέκυψαν και προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις Κλειδιά: Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα, Παραβολικοί Συλλέκτες, Ηλιακός Πύργος, Συστήματα Ηλιακού Δίσκου, Βιομηχανικές Θερμικές διεργασίες με χρήση Ηλιακής Ενέργειας

Summary

The main purpose of this diploma thesis is to investigate whether or not Concentrating Solar Power systems (CSP), are suitable for energy production in Greece. Despite the fact that CSP technologies have been developed since 1984, they are not as popular as the photovoltaic power systems. Csp systems are utilizing the concentrating solar power to produce high quality thermal power, which can be used in conventional thermal circles for electricity production. The first part of the thesis is a “handbook” about the most mature csp technologies. On the second part a techno-economical study is carried out to examine the prospects of these technologies in areas which are characterized by different levels of incidence solar radiation.

The diploma thesis is developed in 7 chapters. The first chapter provides the principles about solar energy and the operation of csp systems. In addition there is a complete list of all the stations that use csp technologies and are currently under operation, construction and development around the world.

The second chapter is dedicated to the detailed description of power plant stations that use parabolic trough technologies. The final part of the chapter presents the economic cost of the parabolic trough power plants.

The third chapter presents the central receiver (power tower) system power plants. In this chapter all the available power tower receiver technologies are analyzed. In the end of the chapter there is a cost analysis about the technology

The fourth chapter presents the solar dish-machine system technology. Solar dishes are autonomous power modules that utilize the concentration of the solar energy to produce energy in a conventional engine (stirling or brayton)

In the fifth chapter, a techno-economical study is carried out in order to investigate the potentials of the csp technologies, which were developed in the previous chapters, in three different places in the Greece Territory. Furthermore a map of Greece is presented, which shows the Levelized cost of Electricity with the use of parabolic trough systems, for the whole Greek territory.

In the sixth chapter, a techno-economical study about the installation of a parabolic trough power plant to provide with superheated steam the aluminum industry is carried out.

Finally, the seventh chapter concludes with an overall synopsis of the results from all the aforementioned topics and provides some recommendations for further research in the field of concentrating solar power systems.

Key Words: Concentrating Solar Power, Parabolic Trough, Solar Tower, Central Receiver Systems, Solar Dish-Machine, industrial Heat production with Solar Energy.

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγικό Κεφάλαιο

1.1 Εισαγωγή

1.1.1 Ενεργειακό Πρόβλημα

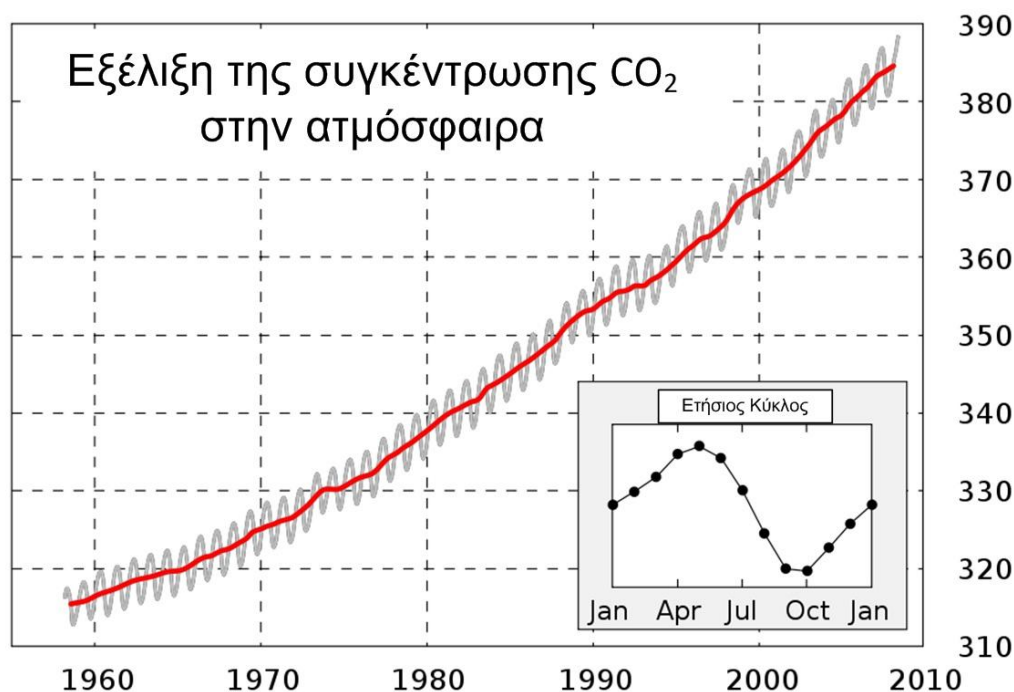
Οι τελευταίοι δύο αιώνες της παγκόσμιας ιστορίας χαρακτηριστικάν από πρωτοφανή ανάπτυξη σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας και συνακόλουθη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του πλανήτη. Κυρίαρχο χαρακτηριστικό του μοντέλου ανάπτυξης της περιόδου αυτής ήταν, και παραμένει, η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή ενέργειας για την κάλυψη της βιομηχανικής και οικιακής κατανάλωσης. Η ανάγκη για ολοένα και μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, εξυπηρετήθηκε από την εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων, η χρήση των οποίων, ήδη από τις αρχές του 19ου αιώνα όταν ο James Watt διατύπωσε τις αρχές για την κατασκευή της ατμομηχανής, επέτρεψε την αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα.

Στην Ελλάδα, η περίοδος 1970 – 2007, εμφανίζει σημαντική αύξηση της ζήτησης ενέργειας, παρά τις δύο ενεργειακές κρίσεις, του 1973 και του 1990, που μεσολαμβάνουν. Η αυξανόμενη ζήτηση ικανοποιείται κυρίως από ηλεκτρισμό που παράγεται από την καύση λιγνίτη, ενός καυσίμου το οποίο είναι φτωχό ενεργειακά και σημαντικά ρυπογόνο για το περιβάλλον, πλην όμως φθηνό και εγχώριο. Η πολιτική αυτή ανταποκρίθηκε στις απαιτήσεις των καιρών, εξασφαλίζοντας χαμηλό κόστος ενέργειας καθώς και την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας, προστατεύοντάς παράλληλα την οικονομία από τις έντονες διακυμάνσεις της τιμής των εισαγόμενων καυσίμων.

Σήμερα όμως αυτό το μοντέλο ανάπτυξης αμφισβητείται ολοένα και περισσότερο λόγω της διαφαινόμενης αδυναμίας του να εγγραφεί μια αειφόρο ανάπτυξη. Οι βασικότεροι πυλώνες στους οποίους εδράζεται η άποψη όσων απαιτούν άμεσο και ολοκληρωτικό μετασχηματισμό αυτού του προτύπου ενεργειακής παραγωγής, είναι η σημαντική *ρύπανση* που προκαλείται καθώς και οι αβεβαιότητες που περιέχονται σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια των οικονομιών του πλανήτη.

Οι επιπτώσεις της σημαντικής ρύπανσης μελετήθηκαν αναλυτικά στην έκθεση Stern, που συντάχθηκε κατά παραγγελία της βρετανικής κυβέρνησης, από την ομάδα διακυβερνητικών εμπειρογνομόνων για την εξέλιξη του κλίματος. Στην έκθεση αυτή διαπιστώνεται ότι η χρήση ορυκτών καυσίμων και η καταστροφή δασικών εκτάσεων αύξησαν την συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα από 280 ppm, στην αρχή της βιομηχανικής εποχής, σε 338 ppm σήμερα. Από το 1850, η θερμοκρασία κατά μέσο όρο αυξήθηκε κατά 0,8 βαθμούς Κελσίου. Ακόμη και αν

κανείς σταματούσε εντελώς σήμερα την εκπομπή CO₂, η θερμοκρασία θα συνέχιζε να αυξάνεται κατά 0,5°, γιατί η υπερθέρμανση των ωκεανών συντελείται με καθυστέρηση. (1)



Σχήμα1. 1 Εξέλιξη της συγκέντρωσης CO₂ (2)

1.1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Την λύση σε αυτά τα μείζονος σημασίας προβλήματα μπορεί να δώσει η αυξημένη συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο παγκόσμιο ενεργειακό μίγμα. Όμως, ο περιορισμός των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, η απαίτηση για ενεργειακή ασφάλεια, η επιδίωξη ανταγωνιστικών τιμών ενέργειας μακροπρόθεσμα, καθώς και η ανάγκη παροχής υψηλής ποιότητας ενεργειακών υπηρεσιών στους καταναλωτές, δεν επιτυγχάνονται με ημίμετρα. Απαιτούν πολιτικές τομές, μεγάλες μακροπρόθεσμες και βιώσιμες επενδύσεις, και πάνω απ' όλα αλλαγή κουλτούρας αναφορικά με τον τρόπο διαχείρισης της ενέργειας.

Οι ΑΠΕ, αν αποτελέσουν βασικό συστατικό ενός νέου ενεργειακού δόγματος, μπορούν να καλύψουν σημαντικό μέρος της ενεργειακής ζήτησης των αναπτυγμένων χωρών σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών CO₂. Το πρόβλημα δεν είναι 'τεχνικό'. Το ουσιαστικό ζήτημα είναι η υιοθέτηση του στρατηγικού στόχου, η διαμόρφωση αποτελεσματικών πολιτικών και η διάθεση των αναγκαίων πόρων. Η διαμόρφωση ενός μακροπρόθεσμου σχεδίου δράσης, με γνώμονα την βιωσιμότητα, είναι επιτακτική

τόσο σε παγκόσμια όσο και εγχώρια κλίμακα, ώστε να αντιμετωπιστούν έγκαιρα και αποτελεσματικά οι περιβαλλοντικές και οικονομικές προκλήσεις. Ιδιαίτερα σε εθνικό επίπεδο, οι παρεμβάσεις και οι αλλαγές στο ενεργειακό μοντέλο φαντάζουν επιβεβλημένες στην προσπάθεια να επιτευχθεί η έξοδος της χώρας από την σημερινή οικονομική κρίση, μέσω σημαντικών επενδύσεων στον τομέα της ενέργειας τα επόμενα χρόνια.

Παράλληλα η προώθηση των ΑΠΕ συνάδει και με την εκπλήρωση των δεσμεύσεων που έχει αναλάβει η χώρα μας, ως κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Με την οδηγία του Απριλίου 2009, για πρώτη φορά, η Ευρωπαϊκή Ένωση θεσπίζει δεσμευτικό στόχο για τις ΑΠΕ. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, η Ελλάδα πρέπει να πετύχει έως το τέλος του 2020, το 18% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ. Πρόσφατα, η ελληνική πολιτεία προχώρησε σε αύξηση της συμβατικής δέσμευσης της χώρας κατά 2%. Είναι σαφές, ότι η επίτευξη του στόχου αυτού βασίζεται κυρίως στις αλλαγές που θα γίνουν στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής, μεταφράζοντας το ποσοστό του 20% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας, σε 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. (1)

Οι επικρατέστερες ΑΠΕ για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος είναι:

- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια
- Ηλιακή Ενέργεια
- Βιοκαύσιμα

Η Ελληνική επικράτεια χαρακτηρίζεται από μέρη με υψηλό αιολικό δυναμικό, υψηλή ηλιοφάνεια και προσφέρετε για την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

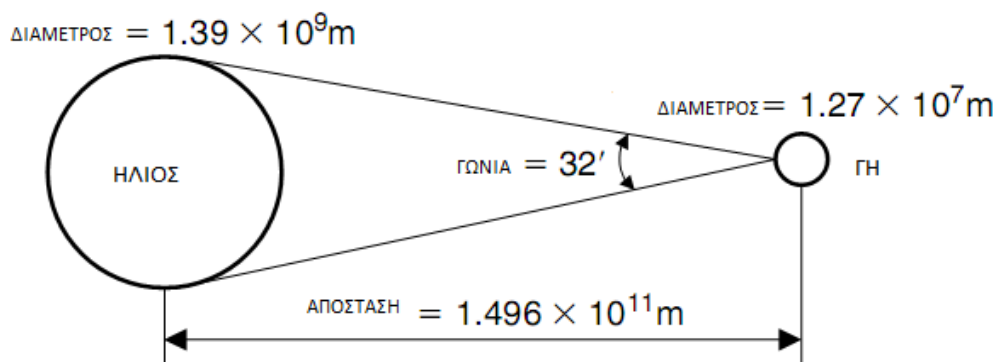
1.2 Ηλιακή Ενέργεια

1.2.1 Ενέργεια από τον Ήλιο

Ο Ήλιος είναι μια σφαίρα που αποτελείται από καυτή ύλη αέριας μορφής με διάμετρο $1,39 \times 10^9$ m. Η απόσταση του ήλιου από την Γή είναι $1,5 \times 10^8$ km, και καθώς η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει στο κενό με την ταχύτητα του φωτός, η ηλιακή ενέργεια φτάνει στην Γή μετά από 8 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα. Όπως παρατηρείται από την Γη ο ηλιακός δίσκος σχηματίζει μια γωνία $0,32^\circ$. Η γωνία αυτή είναι σημαντικός παράγοντας σε πολλές εφαρμογές, ιδιαίτερα σε εφαρμογές συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων, όπου ο Ήλιος δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν σημειακή πηγή και ακόμα και μια μικρή γωνία είναι σημαντική για την ανάλυση της

οπτικής συμπεριφοράς ενός συλλέκτη. Ο ήλιος έχει ενεργή θερμοκρασία μελανού σώματος 5760 Κ. Η θερμοκρασία στην κεντρική περιοχή είναι σημαντικά υψηλότερη. Στην πραγματικότητα ο Ήλιος είναι ένας αντιδραστήρας σύντηξης, όπου συνεχώς μετατρέπεται το Υδρογόνο σε Ήλιο. Η συνολική ενέργεια που παράγεται από τον Ήλιο είναι $3,8 \times 10^{20}$ MW, ενέργεια που ισοδυναμεί με 63 MW/m^2 της επιφάνειας της. Αύτη η ενέργεια ακτινοβολείται προς όλες τις κατεύθυνσης. Η Γη δέχεται μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό από αυτή την ενέργεια, που ισοδυναμεί με $1,7 \times 10^{14}$ kW. Ωστόσο, ακόμα και με αυτό το μικρό ποσοστό, υπολογίζεται ότι η ακτινοβολία που προσπίπτει σε διάστημα 84 λεπτών ισοδυναμεί με την παγκόσμια ετήσια ενεργειακή ζήτηση. Όπως παρατηρείται από την Γη, ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του περίπου μια φορά ανά τέσσερις εβδομάδες.

Όπως παρατηρείται από την Γη, η διαδρομή που ακολουθεί ο Ήλιος κατά μήκος του ουρανού μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του χρόνου. Η πιο προφανής μεταβολή στην φαινομενική θέση του Ήλιου κατά την διάρκεια του χρόνου είναι μια αμφιταλάντευση Βορρά-Νότου 47μοιρών (λόγο της κλίσης 23,5 μοιρών του άξονα της Γης με σημεία αναφοράς τον ήλιο), η οποία ονομάζεται *Απόκλιση (Declination)*. Η αμφιταλάντευση Βορρά-Νότου στην φαινομενική γωνία είναι το κύριο αίτιο για την ύπαρξη εποχών στην Γή.



Σχήμα1. 2: Απόσταση Γής-Ήλιου (3)

Η γνώση της διαδρομής που ακολουθεί ο Ήλιος κατά μήκος του ουρανού είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης, της ληφθείσας θερμότητας, τον σωστό προσανατολισμό των ηλιακών συλλεκτών καθώς και την σωστή τοποθέτησή τους για να αποφεύγονται οι σκιάσεις. (3)

1.2.2 Ηλιακός Χρόνος (TST)

Για τους υπολογισμούς σε συστήματα που αφορούν ηλιακή ενέργεια ο χρόνος κατά την διάρκεια της ημέρας πρέπει να εκφράζεται σε Ηλιακή ώρα (True Solar Time, TST). Ο ηλιακός χρόνος είναι ο χρόνος που μετράται με βάση την φαινόμενη κίνηση του ηλίου στον ουρανό. Ως ηλιακό μεσημέρι ορίζεται η χρονική στιγμή που ο ήλιος τέμνει τον μεσημβρινό του παρατηρητή. Η ηλιακή ώρα δεν συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο (Local Solar Time, LST). Για να μετατραπεί η τοπική ώρα σε Ηλιακή, πρέπει να ληφθούν υπόψη η εξίσωση του χρόνου (E) και το γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή.

$$TST = LST \pm 4(L_{ST} - L_{Loc}) + E$$

Όπου: Το + αναφέρεται σε δυτικά γεωγραφικά μήκη, και το – σε ανατολικά

L_{ST} είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος (Για την Ελλάδα $L_{ST} = 30^{\circ}$)

L_{Loc} : είναι το τοπικό γεωγραφικό μήκος

E: είναι η εξίσωση του χρόνου που λαμβάνεται για κάθε μέρα του έτους από την παρακάτω σχέση.

$$E = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B)$$

$$B = 360 \cdot \frac{(n-1)}{364}$$

n: Η ημέρα του έτους.

1.2.3 Ηλιακές Γωνίες

Ωριαία Γωνία (Hour Angle, h): Είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της Γής περί τον άξονα της με ρυθμό 15° ανά ώρα. Με σημείο αναφοράς τον Ηλιακό χρόνο η ωριαία γωνία δίνεται από την σχέση:

$$h = \frac{(TST - 12)}{15}$$

Ηλιακή απόκλιση (declination δ): είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$, με θετικές τιμές προς τον βορρά. Υπολογίζεται από την σχέση:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360(284+n)}{365}\right)$$

Ηλιακό ύψος (Elevation angle El): είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο. Για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν μπορεί να προσεγγιστεί ικανοποιητικά από τον τύπο:

$$\sin(el) = \cos\delta \cdot \cos(lat) + \sin\delta \cdot \sin(lat)$$

Όπου lat είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής

Αζιμούθιο ηλίου (azimuth angle AZ): είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης. (3) (4)

$$\sin(AZ) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(h)}{\cos(el)}$$

1.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύοντας στο διάστημα εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης μέσω της ιονόσφαιρας. Από την ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, ένα μέρος της ακτινοβολίας αυτής απορροφάται από τα σύννεφα και τα διάφορα στοιχεία που υπάρχουν στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης, ένα σημαντικό μέρος ανακλάται πίσω στο διάστημα (περίπου 50%), και ένα μέρος φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονα της έχει σαν αποτέλεσμα μεταβολές στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της μέρας για μια συγκεκριμένη τοποθεσία και έχει σαν αποτέλεσμα την πλήρη σκίαση της τοποθεσίας αυτής κατά την διάρκεια της νύχτας.

Η παρουσία της ατμόσφαιρας και των κλιματικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σε αυτή έχουν σαν αποτέλεσμα την εξασθένηση και την αλλοίωση της φύσης της αρχικής ηλιακής ενέργειας. Ο συνδυασμός ανακλάσεων, απορροφήσεων, διαθλάσεων και διασκορπίσεων έχει ως αποτέλεσμα υψηλά δυναμικά επίπεδα ακτινοβολίας, σε οποιαδήποτε περιοχή της Γης. Λόγω των σύννεφων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα καθώς και λόγω της διασκορπισμένου ηλιακού φωτός, η συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα οποιοδήποτε σημείο στην Γή είναι συνδυασμός διάχυτης και άμεσης.

Διάχυτη Ακτινοβολία (Diffuse normal Irradiance)

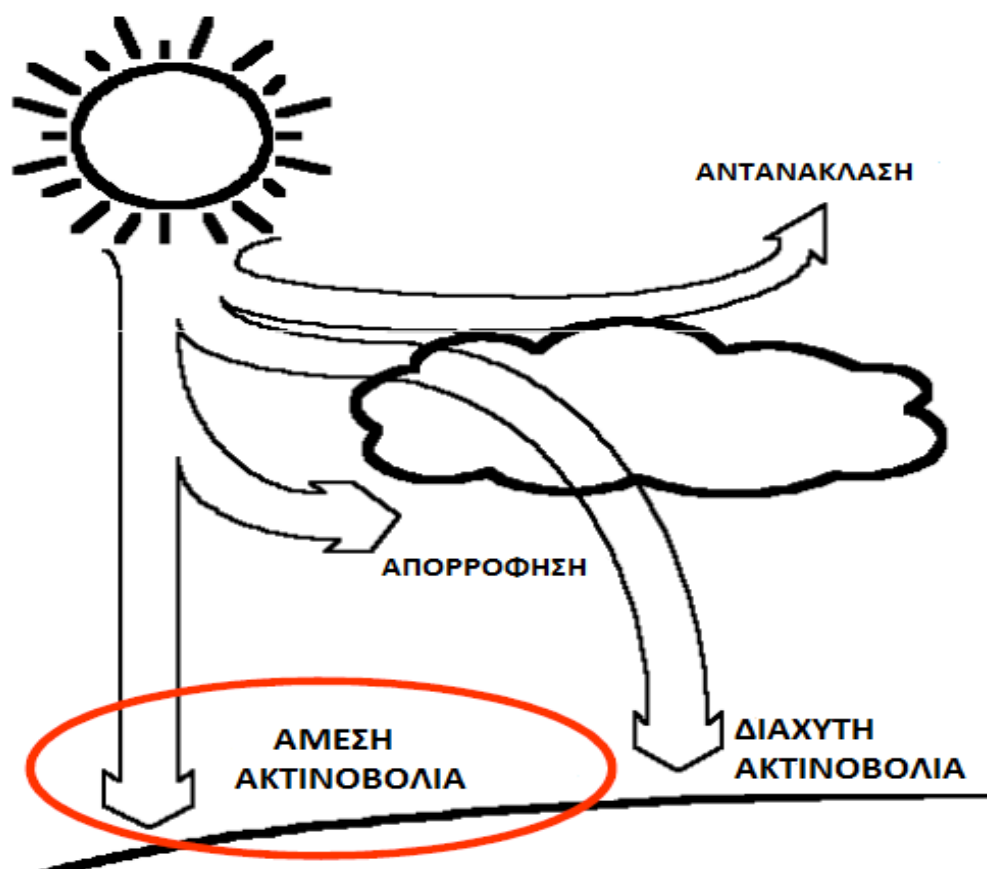
Διάχυτη ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην γή ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν την ακτινοβολία αυτή.

Άμεσος Ακτινοβολία (Direct Normal Irradiance)

Άμεση ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην Γή κατευθείαν από τον Ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η γνώση των τιμών της ακτινοβολίας αυτής τόσο σε ωριαία όσο και σε ετήσια βάση είναι απαραίτητη για την μελέτη συγκεντρωτικών Ηλιακών συστημάτων, καθώς τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν μόνο ακτινοβολία αυτής της μορφής.

Ολική Ακτινοβολία (Global Normal Irradiance)

Ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες. (4)



Σχήμα1. 3: Διαχωρισμός Ηλιακής Ακτινοβολίας (Τυπικό Σχήμα)

1.3 Εκμετάλλευση Ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ενέργειας

1.3.1 Γενικά

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της Ηλιακής Ενέργειας χαρακτηρίζονται αναλόγως με τον τρόπο που χρησιμοποιείται για την συλλογή της, την μετατροπή της και τον διαχωρισμό της. Ο πιο ευρύς διαχωρισμός των Ηλιακών συστημάτων είναι σε Παθητικά (Παθητικά Ηλιακά Συστήματα) και ενεργητικά (Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα). Τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα χαρακτηρίζονται από έλλειψη ενεργών μηχανισμών για την αξιοποίηση της Ηλιακής ενέργειας. Τα Παθητικά Συστήματα περιλαμβάνουν τον κατάλληλο προσανατολισμό ενός κτιρίου, την επιλογή κατάλληλων υλικών με επιθυμητά θερμοδυναμικές ιδιότητες ,κτλ Τα ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα χαρακτηρίζονται από την χρήση κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού για την αξιοποίηση της Ηλιακής Ακτινοβολίας. Στα ενεργητικά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας και τα συστήματα που χρησιμοποιούν θερμικούς ηλιακούς Συλλέκτες, όπως τα Συγκεντρωτικά Ηλιακά συστήματα. Η χρήση της Ηλιακής ενέργειας περιορίζεται μόνο από την ανθρώπινη εφευρετικότητα. Μερικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας είναι: η χρήση κατάλληλης αρχιτεκτονικής (Solar Architecture) για την ψύξη και θέρμανση εσωτερικών χώρων, παραγωγή πόσιμου νερού μέσω συστημάτων που χρησιμοποιούν την Ηλιακή Ακτινοβολία για την απόσταξη και απολύμανση νερού, Ηλιακοί Θερμοσίφωνες, κ.ο.κ. Για την εκμετάλλευση της Ηλιακής Ενέργειας χρησιμοποιούνται συνήθως Ηλιακοί Συλλέκτες.

Η αξιοποίηση της Ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικής Ενέργειας μπορεί να γίνει είτε με την χρήση Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων, είτε με την χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

1.3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα, διαχωρισμός από θερμικά Ηλιακά

Με τη χρήση των Φωτοβολταϊκών συστημάτων, σε αντίθεση με τα θερμικά ηλιακά συστήματα, έχουμε απευθείας μετατροπή της Ηλιακής ακτινοβολίας σε ενέργεια με την χρήση ημιαγωγών που χαρακτηρίζονται από το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Μέσο του φωτοβολταϊκού φαινομένου, έχουμε δημιουργία διαφοράς δυναμικού σε ένα υλικό, όταν επιδρά σε αυτό η ηλιακή ακτινοβολία. *Τα φωτοβολταϊκά συστήματα*

εκμεταλλεύονται τόσο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία(DNI) όσο και την διάχυτη (DifNI), δηλαδή το σύνολο της συνολικά διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας (GNI), για την παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας (3)

1.3.3Θερμικά (συγκεντρωτικά) Ηλιακά Συστήματα

Με την χρήση των θερμικών Ηλιακών συστημάτων έχουμε χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή θερμότητας. Μέσω κατάλληλων διατάξεων έχουμε συγκέντρωση της Ηλιακής ακτινοβολίας στον ηλιακό συλλέκτη, όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Η θερμότητα που συλλέγεται με τον τρόπο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα για την περαίωση εργασιών που απαιτούν θερμότητα, είτε μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικούς τρόπους. Σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας, τα ΘΗΣ μπορούν να αξιοποιήσουν μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η διάχυτη λόγω της φύσης της δεν γίνεται να συγκεντρωθεί. Μεγάλο πλεονέκτημα των ΘΗΣ για την χρήση τους σε εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής είναι η δυνατότητα τους τόσο για υβριδισμό (καύση καυσίμου) όσο και η εύκολη αποθήκευση της θερμότητας. (3)

1.4 Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα

1.4.1Ιστορική Αναδρομή

Οι προσπάθειες για τον σχεδιασμό διατάξεων οι οποίες θα αξιοποιούσαν την ηλιακή ακτινοβολία ως μέσο για την παραγωγή ενέργειας είχαν ξεκινήσει έναν αιώνα πριν την πετρελαϊκή κρίση του 1970, οπότε και εδραιώθηκαν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα πρώτα πειράματα ξεκίνησαν το 1860, από τον Auguste Mouchout, ο οποίος δημιούργησε την πρώτη Ηλιακή διάταξη η οποία παρήγαγε ατμό σε κλειστό γυάλινο δοχείο που είχε έναν μεταλλικό λέβητα. Τα πειράματα συνεχίστηκαν στις αρχές του 1900 από τον Audrey Enea, ο οποίος δημιούργησε την πρώτη εμπορική ηλιακή μηχανή. Το 1907 ο δρ Maier από το Αάλεν, μαζί με τον K Remshalden από την Στουτγάρδη δημιούργησαν την πρώτη πατέντα για έναν παραβολικό κοίλο συλλέκτη ο οποίος χρησιμοποιούσε την ηλιακή ακτινοβολία για άμεση ατμοπαραγωγή. Το 1912 ο Frank Shuman, χρησιμοποιώντας παρόμοιο σχεδιασμό δημιούργησε έναν σταθμό ισχύος 45 kW, που διέθετε παραβολικούς συλλέκτες με σύστημα εντοπισμού του ήλιου, κοντά στο Κάιρο στην Αίγυπτο.

Τα πρώτα σχέδια, που αναφέρθηκαν, δημιούργησαν την βάση για την περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη που ακολούθησε το στα τέλη του 1970 και στις αρχές του 1980, όταν τα θερμικά ηλιακά έργα ξεκίνησαν να μελετώνται σε ένα μεγάλο αριθμό βιομηχανοποιημένων χωρών, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών της

Αμερικής, της Ρωσίας της Ιαπωνίας, της Ισπανίας και της Ιταλίας. Ένας μεγάλος αριθμός από αυτά τα πιλοτικά έργα, παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούσαν ολόκληρο το φάσμα των διαθέσιμων τεχνολογιών, δεν κατάφεραν να ικανοποιήσουν με τα επίπεδα της απόδοσης τους. Στις επόμενες δεκαετίες, έγιναν περαιτέρω προσπάθειες στην έρευνα και στην εξέλιξη, με στόχο την εξέλιξη των υφιστάμενων τεχνολογιών.

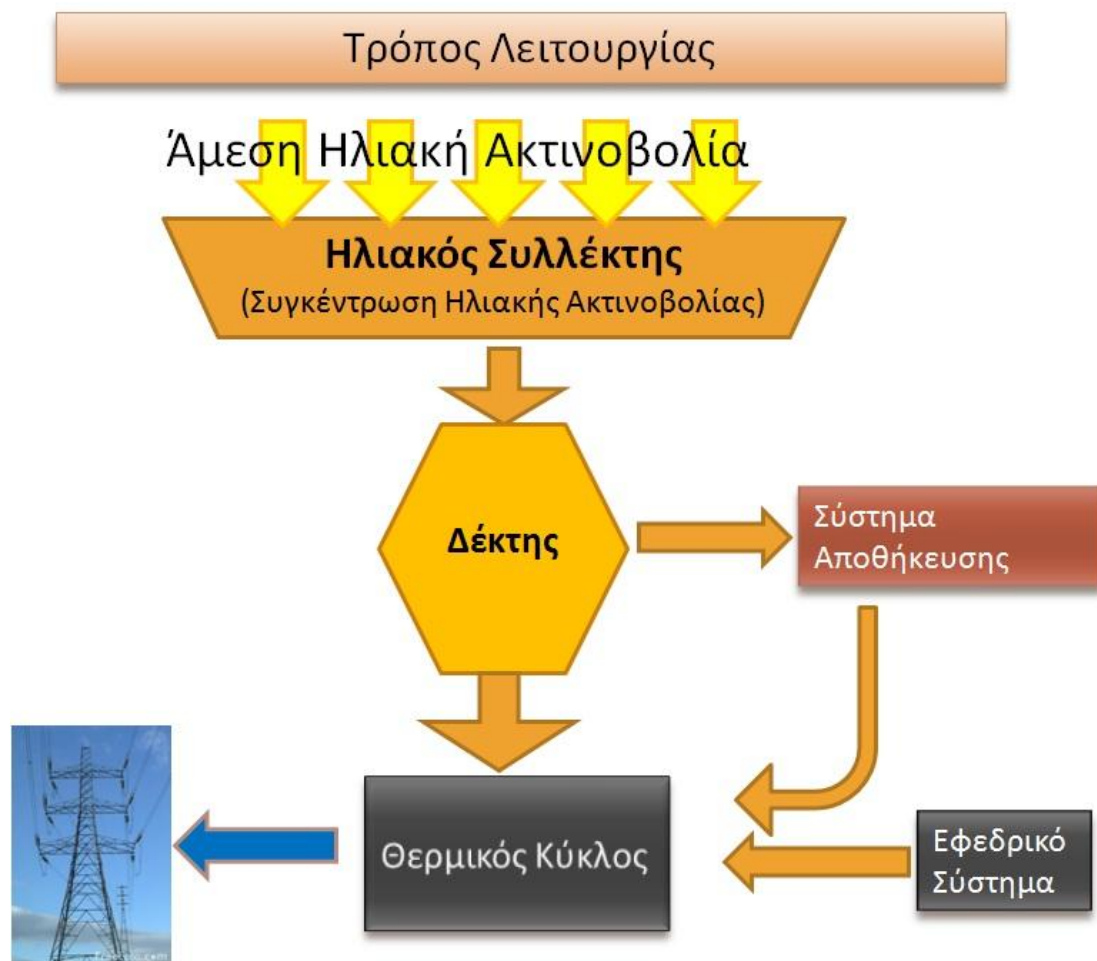
Στα μέσα του 1980, η Αμερικάνικη/Ισραηλινή εταιρεία «Luz International» κατάφερε να επιτύχει μια σπουδαία τεχνολογική υπέρβαση, ξεκινώντας την κατασκευή μιας σειράς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με συστήματα παραβολικών κοίλων ανακλαστήρων. Οι εννέα Ηλίο-Θερμικοί σταθμοί κατασκευάστηκαν μεταξύ του 1984 και του 1991, είναι γνωστοί με την ονομασία “SEGS(Solar Electric Generating Stations)”, και βρίσκονταν εγκατεστημένη στην έρημο Mojave στην Καλιφόρνια. Οι σταθμοί SEGS ξεκίνησαν την επιτυχημένη πορεία τους με έναν αρχικό σταθμό ισχύος 14MW, στην συνέχεια κατασκευάστηκαν 6 σταθμοί ισχύος 30 MW ο καθένας και τέλος δύο μονάδες ισχύος το 80 MW που κατασκευάστηκαν την περίοδο 1989-1991. Συνολικά παρείχαν ενέργεια ισχύος 354 MW, στο ενεργειακό μίγμα της νότιας Καλιφόρνιας. Σε αντίθεση με τους σταθμούς που κατασκευάζονται την τελευταία περίοδο, η εξέλιξη, κατασκευή και λειτουργία των SEGS ήταν έργο ιδιωτικής εταιρείας. Οι σταθμοί SEGS συνεχίζουν την λειτουργία τους μέχρι σήμερα. Ωστόσο από την εγκατάσταση των δύο τελευταίων SEGS μέχρι και πρόσφατα κανένας εμπορικός θερμικός ηλιακός σταθμός παραγωγής ενέργειας δεν εγκαταστάθηκε. Οι λόγοι για τους οποίους σταμάτησε η εγκατάσταση θερμικών Ηλιακών συστημάτων είναι οι ακόλουθοι.

- Οικονομικές αμφιβολίες για την βιωσιμότητα των επενδύσεων λόγω καθυστερήσεων για την προνομιακή φορολόγηση των Ηλιακών συστημάτων στην Καλιφόρνια
- Τα οικονομικά προβλήματα της “Luz group”, η οποία ήταν η πρώτη εταιρεία που ανέπτυξε ιδιωτικά θερμικά ηλιακά συστήματα παράγωγης ηλεκτρικού ρεύματος.
- Η άμεση και ταχεία πτώση της τιμής του πετρελαίου.
- Οικονομικοί περιορισμοί λόγω του αυξημένου κόστους επένδυσης για ανταγωνιστικούς θερμικούς ηλιακούς σταθμούς μεγάλης ισχύος
- Μεγάλη πτώση των τιμών κατασκευής συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και αύξηση των αποδόσεων τους, ειδικότερα για σταθμούς συνδυασμένου κύκλου
- Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η παγκόσμια στροφή στην δημιουργία σταθμών από ιδιώτες επενδυτές οδήγησε σε ταχεία πτώση του χρόνου απόσβεσης των επενδύσεων

- Απουσία κατάλληλων πολιτικών και οικονομικών συνθηκών για την ανάπτυξη θερμικών ηλιακών σταθμών στις χώρες που βρίσκονται στην ζώνη υψηλού ηλιακού δυναμικού (5)

1.4.2 Περιγραφή Λειτουργίας

Στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας η προσπίπτουσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία μέσω του ηλιακού συλλέκτη συγκεντρώνεται στον ηλιακό δέκτη για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών. Η θερμότητα που συγκεντρώνεται από τον συλλέκτη χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική μηχανή. Η θερμική μηχανή είναι συνήθως είτε συμβατικός κύκλος Rankine με χρήση ατμό-στροβίλου, είτε μηχανή Stirling. Η λειτουργία των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων φαίνεται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα1. 4: Σχηματική Περιγραφή Λειτουργίας

Λόγος Συγκέντρωσης

Τα ΘΗΣ χαρακτηρίζονται από την χρήση κατάλληλων διατάξεων που περιλαμβάνουν καθρέπτες και φακούς, τα οποία επιτρέπουν την ανακατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια (επιφάνεια συλλέκτη) και να την συγκεντρώσουν σε μια μικρότερη επιφάνεια (επιφάνεια απορροφητή). Το πηλίκο των δύο αυτών επιφανειών ορίζεται ως γεωμετρικός λόγος συγκέντρωσης.

$$\text{Λόγος Συγκέντρωσης} = \frac{\text{Επιφάνεια Συλλέκτη}}{\text{Επιφάνεια Απορροφητή}}$$

Με την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας έχουμε την συλλογή ενέργειας καλύτερης ποιότητας, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται επιτρέπουν την παράγωγη μηχανικού έργου με καλύτερους βαθμούς απόδοσης. Σύμφωνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, όσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης της θερμικής μηχανής. Η θερμοκρασία λειτουργίας της θερμικής μηχανής εξαρτάται άμεσα από τον Λόγο Συγκέντρωσης και από τα χαρακτηριστικά του Ηλιακού Συλλέκτη. (6)

1.4.3 Διαθέσιμες Τεχνολογίες

Οι Θερμικοί Ηλιακοί Σταθμοί παραγωγής ενέργειας, με συστήματα οπτικής συγκέντρωσης είναι πολύ σημαντικοί υποψήφιοι για την μαζική παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, τις επόμενες δεκαετίες. Στις μέρες μας τέσσερις είναι οι τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί προς αυτή την κατεύθυνση, είτε με πιλοτικά έργα με κύριο σκοπό την επίδειξη και την έρευνα, είτε με σταθμούς πλήρους λειτουργικούς που συνεισφέρουν στα ενεργειακά μίγματα των χωρών στις οποίες είναι εγκατεστημένα. Οι τεχνολογίες αυτές είναι:

- Συστήματα με Παραβολικούς Κοίλους Συλλέκτες, ΠΚΣ (Parabolic Trough Collectors, PTC)
- Ηλιακή Πύργοι Ισχύος ή Συστήματα Κεντρικού Δέκτη, ΣΚΔ (Power Tower or Central Receiver Systems, CRS)
- Συστήματα Δίσκου Μηχανής, ΣΔΜ (Dish/Engine Systems, DE)
- Συστήματα με Γραμμικούς Ανακλαστήρες τύπου Fresnel, ΣLF (Linear Fresnel reflector Systems, LF)

Όλοι οι εγκατεστημένοι πιλοτικοί σταθμοί μιμούνται παραβολικές γεωμετρίες, χαρακτηρίζονται από μεγάλες περιοχές με καθρέπτες, και δουλεύουν κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Οι ανακλαστικοί συλλέκτες προτιμούνται καθώς έχουν καλύτερες προοπτικές για έργα μεγαλύτερης κλίμακας.



Σχήμα1. 5: Τυπικός Παραβολικός ανακλαστήρας



Σχήμα1. 6: Εγκατάσταση Ηλιακού Πύργου PS10 (7)



Σχήμα1. 7: Τυπική Εγκατάσταση συστήματος Ηλιακού Δίσκου



Σχήμα1. 8: Τυπική Εγκατάσταση συστήματος ανακλαστήρων Fresnel

Τα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και τα γραμμικά συστήματα ανακλαστήρων Fresnel είναι συγκεντρωτικά συστήματα δύο διαστάσεων, στα οποία η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται σε μία εστιακή γραμμή. Τα κάτοπτρα των εγκαταστάσεων αυτών έχουν συστήματα εντοπισμού της ηλιακής ακτινοβολίας με ένα βαθμό ελευθερίας. Τα συστήματα αυτά έχουν την δυνατότητα να συγκεντρώνουν την εισερχόμενη ροή της ηλιακής ακτινοβολίας, με λόγους συγκεντρώσεων από 30-80, επιτυγχάνοντας θερμοκρασίες ρευστού μέχρι και 393°C, οι μονάδες μετατροπής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις αυτού του τύπου είναι συστήματα που χρησιμοποιούν κύκλους Rankine, με ατμοστροβίλους ισχύος 30-80 MW.

Τα συστήματα κεντρικού δέκτη χαρακτηρίζονται από πιο περίπλοκα οπτικές διατάξεις, καθώς ο κεντρικός δέκτης είναι εγκατεστημένος στην κορυφή του πύργου και η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται μέσω ενός μεγάλου παραβολοειδούς πεδίου που αποτελείται από ανεξάρτητους Ηλιοστάτες. Τα συστήματα κεντρικού δέκτη είναι συγκεντρωτικά συστήματα 3 διαστάσεων, ανεξάρτητου άξονα, και για αυτό το λόγο οι Ηλιοστάτες χρειάζονται συστήματα εντοπισμού της ηλιακής ακτινοβολίας δύο διαστάσεων. Ο βαθμός συγκέντρωσης των συστημάτων αυτών είναι από 200 έως 1000, και η μονάδες μετατροπής ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι από ισχύος από 10-200 MW. Λόγω του υψηλού βαθμού συγκέντρωσης είναι κατάλληλα για την χρήση προηγμένων θερμοδυναμικών κύκλων, με την χρήση μια μεγάλης ποικιλίας από ρευστά μεταφοράς θερμότητας, όπως: υγρός ατμός, υπέρθερμος ατμός, τετηγμένα άλατα, ατμοσφαιρικός ή πεπιεσμένος αέρας, ενώ οι θερμοκρασίες που μπορούν να επιτευχθούν είναι από 300°C έως 1000°C.

Τα συστήματα Δίσκου Μηχανής είναι μικρές υπομονάδες, που έχουν την δυνατότητα για αυτόνομη παραγωγή ενέργειας με την χρήση μηχανών τύπου Stirling ή μικροστροβίλων Brayton, οι οποίες είναι τοποθετημένες στο σημείο εστίασης του δίσκου. Οι δίσκοι είναι παραβολικοί συγκεντρωτές 3 διαστάσεων, με πολύ υψηλούς βαθμούς συγκέντρωσης από 1000 έως 4000, και μονάδες παραγωγής ενέργειας από 5 έως 25kW. Τα συστήματα Δίσκου Μηχανής χρησιμοποιούνται είτε ως συνδεδεμένα συστήματα στο κεντρικό δίκτυο, είτε ως ανεξάρτητα συστήματα για παραγωγή ενέργειας.

Τυπικές τιμές για τον βαθμό απόδοσης της ηλιακής-ηλεκτρικής μετατροπής, ετήσιοι βαθμοί απόδοσης, καθώς και συγκριτικές πληροφορίες για τις απαιτούμενες εκτάσεις, το απαιτούμενο νερό για την ψύξη και των καθαρισμό των εγκαταστάσεων φαίνονται στον πίνακα 1, σύμφωνα με την πιο πρόσφατη έκθεση της “International Energy Agency, IEA,” και το αρμόδιο τμήμα της για τα Θερμικά Ηλιακά Συστήματα “Solar Paces”.

Τα στοιχεία για τα συστήματα παραβολικών κοίλων ανακλαστήρων, τα οποία αποτελούν και την πιο ώριμη τεχνολογία, βασίζονται σε πραγματικά στοιχεία καθώς υπάρχουν σταθμοί που συμβάλουν εμπορικά στην παραγωγή ενέργειας. Τα δεδομένα για τα συστήματα τύπου Fresnel, για τους Ηλιακούς πύργους ισχύος καθώς και για τα συστήματα δίσκου, προέρχονται κυρίως από πιλοτικά έργα μεγάλης κλίμακας και από υποθέσεις για ωρίμανση της τεχνολογίας στο μέλλον. Με τα σημερινά δεδομένα για το κόστος εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων, όλες οι τεχνολογίες για παραγωγή ενέργειας με την χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων χρειάζονται κατάλληλη οικονομική στήριξη για την εγκατάσταση και λειτουργία τους. Στα περισσότερα κράτη συμπεριλαμβανομένου και του Ελληνικού, υπάρχει προνομιακή τιμολογιακή πολιτική στην τιμή πώλησης του ρεύματος από τέτοια συστήματα, ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα των επενδύσεων. Σύμφωνα με μια ανεξάρτητη έρευνα που υποστηρίχθηκε από την “The World Bank, Washington, D.C.”, επιβεβαιώνεται ότι τα Θερμικά Ηλιακά Συστήματα αποτελούν την πιο οικονομική τεχνολογία για την μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον Ήλιο. Ωστόσο, σύμφωνα με την ανάλυση που γίνεται το κόστος εγκατάστασης είναι 2,5-3,5 φορές μεγαλύτερο από αυτό των συμβατικών σταθμών, και το κόστος παραγωγής ενέργειας, 2-4 φορές μεγαλύτερο. (6)

Πίνακας 1. 1: Χαρακτηριστικά τεχνολογιών (6)

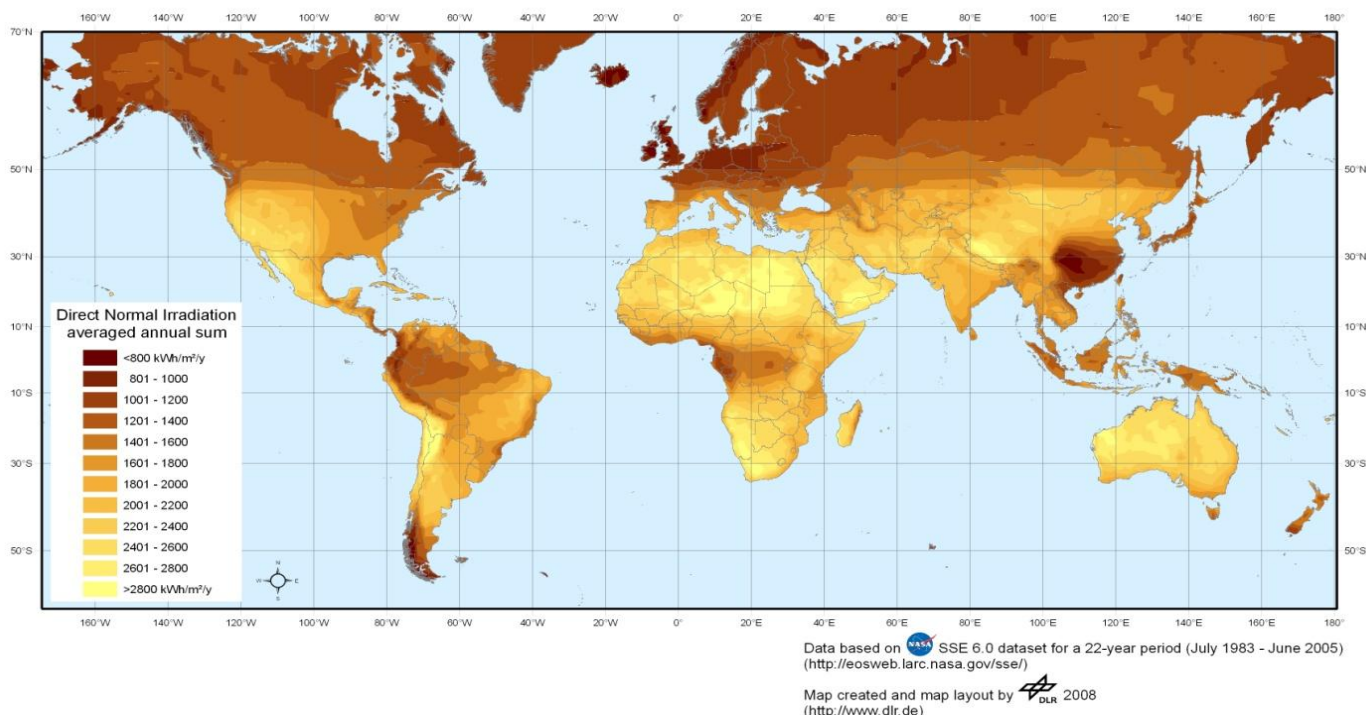
Τεχνολογία	Παραβολικών Κοίλων	Ανακλαστήρες Fresnel	Πύργοι-Κεντρικού Δέκτη	Δίσκου-Μηχανής
Οπτικός βαθμός απόδοσης	**	*	**	***
Ετήσιος βαθμός απόδοσης	15%	8-10%	20-35% (πρότυπα)	25-30%
Απαιτούμενη Έκταση	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΙΚΡΗ
Απαιτούμενο νερό Ψύξης (Λίτρα/MWh)	3000 ή ξηρή	3000 ή ξηρή	2000 ή ξηρή	Μηδενική
Δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΞΗ
Δυνατότητα Χρήσης Καυσίμου-Υβριδισμού	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ, (ασυνήθιστο)
Παραγωγή καυσίμου	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Συντελεστής Εκμετάλλευσης	24-50%	24%	24-70%	25%
Προοπτικές για βελτίωση	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ	ΜΕΣΩ ΜΑΖΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

1.5 Περιοχές Κατάλληλες για Εγκατάσταση ΘΗΣ

1.5.1 Παγκόσμια

Κατάλληλες περιοχές για την εγκατάσταση Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων παραγωγής ενέργειας είναι άγονες ή ήμι-άγονες περιοχές, όπου η προσπίπτουσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει υψηλές τιμές (πάνω από 1700kWh/m^2 το χρόνο). Οι περιοχές αυτές βρίσκονται στην «Ηλιακή Ζώνη» μεταξύ του Βόρειου και του Νότιου γεωγραφικού παραλλήλου 40° . Οι περιοχές με τις μεγαλύτερες προοπτικές στην Γή για την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων είναι: Οι ερημικές περιοχές στην Βόρεια Αφρική, η Αραβική Peninsula, μεγάλα τμήματα της Ινδίας, η κεντρική και δυτική Αυστραλία, τα Υψίπεδα των Άνδεων, η βορειοανατολικές περιοχές της Βραζιλίας, το Βόρειο Μεξικό και οι Νοτιοδυτικές περιοχές των ΗΠΑ. Στην Ευρώπη, οι περιοχές με τις καλύτερες συνθήκες για την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, βρίσκονται στην Νότια Ισπανία καθώς και σε αρκετά Νησιά της μεσογείου. Οι περιοχές αυτές καθώς και το δυναμικό του απεικονίζεται στο χάρτη που έχει δημοσιευτεί από την DLR, σε συνεργασία με την NASA και βασίζεται σε δεδομένα 22 ετών. (5)

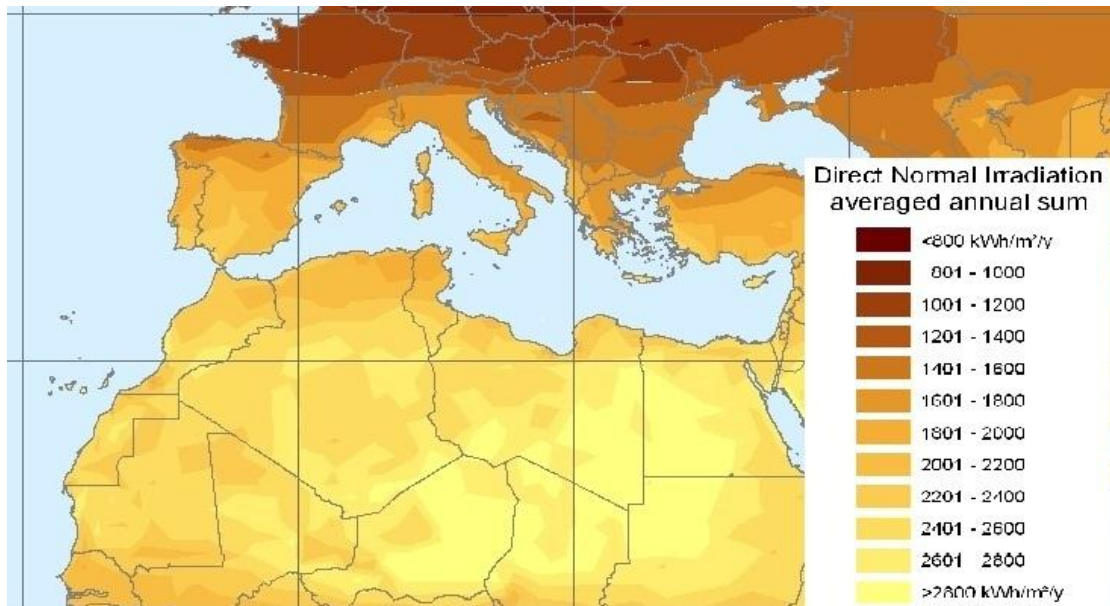
Direct Normal Irradiation (DNI)



Σχήμα1. 9: Παγκόσμιος Χάρτης Άμεσης Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας (8)

1.5.2 Ελληνική Επικράτεια

Όπως παρατηρείται στον Χάρτη με την Άμεση Προσπίπτουσα ακτινοβολία στην περιοχή της μεσογείου, στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν περιοχές όπου οι τιμές της Άμεσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι υψηλές. Στα νότια τμήματα της ηπειρωτικής Ελλάδας υπάρχουν περιοχές με $DNI > 1700 \text{ kWh/m}^2$, ενώ στα νότια τμήματα της Κρήτης και της Ρόδου παρατηρούνται μέρη με τιμές μεγαλύτερες από 2000 kWh/m^2 . Γεγονός που καθιστά περιοχές του Ελλαδικού χώρου κατάλληλες για την εγκατάσταση θερμικών ηλιακών συστημάτων.



Σχήμα1. 10: Χάρτης Άμεσης Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας για την Μεσόγειο (8)

1.5.2 Νομοθεσία

Τιμή πώλησης Ρεύματος

Σύμφωνα με την ισχύοντα νομοθεσίας (σχέδιο Νόμου-07/04/2010, Άρθρο 5, παρ.2), η τιμή πώλησης του Ηλεκτρικού Ρεύματος από Ηλιακά Θερμικά Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας είναι $264,84 \text{ €/MWh}$. Σε περίπτωση συστήματος αποθήκευσης που εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο η τιμή πώλησης είναι $284,84 \text{ €/MWh}$. Η σύμβαση πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος από Ηλιοθερμικούς σταθμούς είναι 25 χρόνια (σχέδιο Νόμου-07/04/2010, Άρθρο 5, παρ.1)

Διάρκεια Ζωής Έργου

Σύμφωνα με την ισχύοντα νομοθεσίας (σχέδιο Νόμου-07/04/2010, Άρθρο 3, παρ.2), η άδεια λειτουργίας για ηλιοθερμικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας ισχύει για 25 έτη.

Βοηθητικός Καυστήρας

Σε σταθμούς παραγωγής Ενέργειας με χρήση Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων σύμφωνα με σχέδιο Νόμου-07/04/2010, Άρθρο 5, παρ.8 ισχύει το εξής: « Οι Ηλιοθερμικοί σταθμοί επιτρέπεται να χρησιμοποιούν και ενέργεια που προέρχεται από φυσικό αέριο ,LPG, ντίζελ, βιοντίζελ ή άλλα βιοκαύσιμα, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη ενέργεια που προέρχεται από φυσικό αέριο ,LPG ή ντίζελ δεν μπορεί να υπερβαίνει το 15% της συνολικής ενέργειας που παράγεται σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Το όριο αυτό μπορεί να προσαυξάνεται κατά 5% εάν χρησιμοποιείται βιοντίζελ ή άλλα βιοκαύσιμα.

1.6 Παρούσα Κατάσταση

Από την εγκατάσταση του πρώτου SEGS το 1984 στην Καλιφόρνια, μέχρι και σήμερα υπάρχουν 30 σταθμοί παραγωγής ενέργειας με συγκεντρωτικά Ηλιακά συστήματα ενώ ένας σημαντικός αριθμός έργων βρίσκονται στην διαδικασία κατασκευής. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2, από το 2006 και μετά ένας μεγάλος αριθμός έργων παραγωγής ενέργειας εγκαταστάθηκαν σε διάφορα μέρη της Γής, κυρίως στις ΗΠΑ και την Ισπανία. Στην Ισπανία έχει ψηφιστεί νόμος σύμφωνα με τον οποίο υπάρχει μια επιδοτούμενη τιμή αγοράς του ρεύματος από τα θερμικά ηλιακά συστήματα (270 €/MWh). Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 1.2, η πιο ώριμη τεχνολογία είναι αυτή των παραβολικών κοίλων συλλεκτών, με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 880MW, και με έναν μεγάλο αριθμό έργων να βρίσκονται υπό κατασκευή(Πίνακας 1.3). Οι υπόλοιπες τεχνολογίες βρίσκονται σε λιγότερο προχωρημένο στάδιο έχοντας να επιδείξουν κυρίως πιλοτικούς σταθμούς μεγάλης κλίμακας. Ωστόσο ένας μεγάλος αριθμός έργων βρίσκονται υπό μελέτη. Η εγκατάσταση ηλιακών πύργων υψηλής ισχύος, καθώς και μεγάλων πάρκων αποτελούμενα από πολλές υπομονάδες δίσκου-μηχανής, αναμένεται στο άμεσο μέλλον(Πίνακας1.4). Τέλος 3 εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες και συνδυασμένο κύκλο βρίσκονται υπό κατασκευή σε χώρες της μέσης ανατολής.

Πίνακας 1. 2: Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας υπό λειτουργία (9)

Όνομασία Σταθμού	Περιοχή	Τεχνολογία	Ισχύς (MW)	Αποθήκευση (hours)	Λειτουργία από:	Έκταση (m ²)
Alvarado-I	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	06/2009	1.350.000
Andasol-1	Ισπανία	Παραβολικά	50	7,5	11/2008	2.000.000
Andasol-2	Ισπανία	Παραβολικά	50	7,5	06/2009	2.000.000
La Florida	Ισπανία	Παραβολικά	49,9	7,5	06/2010	2.000.000
Cameo	Κολοράντο	Παραβολικά	2	υβριδισμός	01/2010	60.000

Extresol-1	Ισπανία	Παραβολικά	50	7,5	01/2010	2.000.000
Holaniku	Χαβάι	Παραβολικά	2	-	01/2009	30.000
Ibersol	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	01/2009	1.500.000
Kimberlina	Καλιφόρνια	Fresnel	5	-	10/2008	120.000
Maricopa	Αριζόνα	Δίσκος	1,5	-	01/2010	150.000
NevadaSolar1	Νεβάδα	Παραβολικά	75	0,5	06/2007	4.000.000
PS10	Ισπανία	Πύργος	11	1	06/2007	550.000
PS20	Ισπανία	Πύργος	20	1	04/2009	800.000
PE1	Ισπανία	Fresnel	1,4	-	03/2008	70.000
Saguaro	Αριζόνα	Παραβολικά	1,16	ORC	01/2006	160.000
SierraSunTower	Καλιφόρνια	Πύργος	5	-	7/2009	-
SEGS I	Καλιφόρνια	Παραβολικά	13,8	3	12/1984	-
SEGS II	Καλιφόρνια	Παραβολικά	30	-	1985	-
SEGS III	Καλιφόρνια	Παραβολικά	30	-	12/1985	-
SEGS IV	Καλιφόρνια	Παραβολικά	30	-	2/1989	-
SEGS V	Καλιφόρνια	Παραβολικά	30	-	2/1989	-
SEGS VI	Καλιφόρνια	Παραβολικά	30	-	2/1989	-
SEGS VII	Καλιφόρνια	Παραβολικά	30	-	2/1989	-
SEGS VIII	Καλιφόρνια	Παραβολικά	80	-	12/1989	-
SEGS IX	Καλιφόρνια	Παραβολικά	80	-	10/1990	-
Solnova 1	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	01/2009	1.150.000
Solnova 3	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	01/2009	1.150.000
Solnova 4	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	01/2009	1.150.000
Palma del Rio II	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	06/2010	1.350.000
Manchasol-1	Ισπανία	Παραβολικά	49,9	7,5	10/2010	2.000.000
Lebrija 1	Ισπανία	Παραβολικά	49,9	-	07/2010	1.880.000
Majadas I	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	09/2010	1.350.000
Manchasol-2	Ισπανία	Παραβολικά	49,9	7,5	06/2010	2.000.000
Palma del Rio I	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	11/2010	1.350.000

Πίνακας 1. 3: Σταθμοί παραγωγής ενέργειας υπό κατασκευή (9)

Ονομασία Σταθμού	Περιοχή	Τεχνολογία	Ισχύς (MW)	Αποθήκευση (hours)	Λειτουργία:	Έκταση (m ²)
Andasol-4	Ισπανία	Παραβολικά	50	7,5	-	2.000.000
Archimede	Ιταλία	Παραβολικά	4,72	8	2010	80.000
Arcosol 50	Ισπανία	Παραβολικά	50	7,5	2020	2.300.000
El rebozo II	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	10/2011	1.600.000
Extresol-2	Ισπανία	Παραβολικά	50	7,5	-	2.000.000
Gemasolar	Ισπανία	Πύργος	17	15	12/2010	1.900.000
Helios I	Ισπανία	Παραβολικά	50	-	-	2.600.000
Helios II	Ισπανία	Παραβολικά	49,9	-	-	2.600.000
ISCC Argelia	Αλγερία	Παραβολικά	150	ISCC ¹	2010	-
ISCC Morocco	Μαρόκο	Παραβολικά	470	ISCC	2010	-
ISCC AlKuraymat	Αίγυπτος	Παραβολικά	140	ISCC	12/2012	-
ISEGS	Καλιφόρνια	Πύργος	392	-	10/2013	14.170.000
La Dehesa	Ισπανία	Παραβολικά	49,9	7,5	12/2010	2.000.000
MNGSEC	Ν.Φλόριντα	Παραβολικά	75	-	01/2011	2.000.000
Vallesol 50	Ισπανία	Παραβολικά	50	7,5	-	2.300.000

¹ : Σταθμοί Συνδυασμένου Κύκλου (Intergraded Solar Combined Cycle)

Πίνακας 1. 4: Σταθμοί υπό μελέτη² (9)

Όνομασία Σταθμού	Περιοχή	Τεχνολογία	Ισχύς (MW)	Αποθήκευση (hours)	Λειτουργία:	Έκταση (m ²)
Abegnoa SP	Καλιφόρνια	Παραβολικά	250	-	01/2013	7.142.000
Kingman	Αριζόνα	Παραβολικά	200	-	01/2013	-
Alp. SunTower	Καλιφόρνια	Πύργος	92	-	2012	-
Blythe SPP	Καλιφόρνια	Παραβολικά	1000	0	01/2013	28.449.400
PG&E 3	Νεβάδα	Πύργος	200	-	01/2014	-
PG&E 4	Νεβάδα	Πύργος	200	-	01/2015	-
PG&E 5	Νεβάδα	Πύργος	200	-	01/2016	-
PG&E 6	Καλιφόρνια	Πύργος	200	-	01/2016	-
PG&E 7	Καλιφόρνια	Πύργος	200	-	01/2017	-
Calico Solar	Καλιφόρνια	Δίσκος	664	-	12/2011	18.615.000
Tonopah	Νεβάδα	Πύργος	110	Ναι	12/2013	6.474.000
Extresol-3	Ισπανία	Παραβολικά	49,9	7,5	-	2.000.000
Fr.Irwin	Καλιφόρνια	Παραβολικά	500	-	01/2014	56.655.989
Gaskell	Καλιφόρνια	Πύργος	254	-	01/2012	4.451.142
Genesis Solar	Καλιφόρνια	Παραβολικά	250	0	01/2014	7.891.000
Imperial Valley	Καλιφόρνια	Δίσκος	709	0	12/2011	26.304.550
Imp. Valley 2	Καλιφόρνια	Δίσκος	750	0	2014	24.847.000
Mojave Solar	Καλιφόρνια	Παραβολικά	553	-	01/2014	24.281.000
Mt. Singal	Καλιφόρνια	Παραβολικά	50	-	-	-
New Mexico	Νεό Μεξικό	Πύργος	92	-	-	-
Beacon	Καλιφόρνια	Παραβολικά	250	-	01/2014	8.142.000
Palen	Καλιφόρνια	Παραβολικά	500	0	01/2014	5.584.000
PHPP	Καλιφόρνια	Παραβολικά	50	-	06/2013	1.525.000
RSEP	Καλιφόρνια	Πύργος	150	Ναι	10/2013	5.706.000
Ridgecrest	Καλιφόρνια	Παραβολικά	250	0	2013	5.820.000
Shams 1	Αραβικά Εμ.	Παραβολικά	100	-	01/2012	-
Solana	Αριζόνα	Παραβολικά	280	6	01/2013	-
Sonoran	Νεβάδα	Παραβολικά	375	-	-	54.389.000
UA tech park	Αριζόνα	Παραβολικά	5	-	12/2011	809.000
Victor Ville 2	Καλιφόρνια	Παραβολικά	50	-	01/2013	-

² στους σταθμούς αυτούς έχει γίνει υπογραφή της συμφωνίας και αναμένεται να ξεκινήσει η κατασκευή.

Κεφάλαιο 2^ο Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με Συστήματα Παραβολικών Κοίλων

2.1 Εισαγωγή

Λόγω της δυνατότητας τους για επίτευξη θερμοκρασιών μέχρι και 400 °C, οι παραβολικοί κοίλοι συλλέκτες είναι κατάλληλη για εφαρμογές σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Ένας σταθμός παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών αποτελείται κυρίως από τρία τμήματα:

1. Το ηλιακό πεδίο
2. Το σύστημα παραγωγής ατμού
3. Το σύστημα παραγωγής ενέργειας
4. Το σύστημα αποθήκευσης

Αρχικά στο ηλιακό πεδίο γίνεται συλλογή της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας και μετατροπή της σε θερμότητα. Στην συνέχεια, μέσω του συστήματος παραγωγής ατμού η διαθέσιμη θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού. Τέλος στο σύστημα παραγωγής ενέργειας η θερμότητα από το κύκλωμα .



Σχήμα 2. 1: Τυπικός Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας με Συστήματα Παραβολικών Συλλεκτών

2.2 Ηλιακό πεδίο

2.2.1 Γενικά

Στο ηλιακό πεδίο η προσπίπτουσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με την χρήση παραβολικών κοίλων επιφανειών, συγκεντρώνεται στον ηλιακό σωληνοειδή συλλέκτη. Το ηλιακό πεδίο αποτελείται από: τους παραβολικούς κοίλους ανακλαστήρες, τον σωληνοειδή απορροφητή, το μέσο μεταφοράς θερμότητας και το σύστημα σωληνώσεων για την μεταφορά της δεσμευμένης στο ρευστό θερμότητας. Οι παραβολικοί κοίλοι ανακλαστήρες μαζί με τον σωληνοειδή απορροφητή, αποτελούν τον παραβολικό κοίλο συλλέκτη. Ένα ηλιακό πεδίο αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό κατάλληλα διατεταγμένων παραβολικών κοίλων συλλεκτών.

Το ηλιακό πεδίο είναι το πιο βασικό τμήμα μια εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών. Η απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση καθορίζεται ουσιαστικά από το μέγεθος του ηλιακού πεδίου, καθώς τα άλλα συστήματα της εγκατάστασης έχουν πολύ μικρότερο μέγεθος. Το μέγεθος του επηρεάζεται άμεσα από την ζητούμενη ονομαστική ισχύς της εγκατάστασης, την συνολική ετήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία στην περιοχή της εγκαταστάσεως καθώς και από την ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης. Η διαστασιολόγησή του διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Ένα τυπικό Ηλιακό πεδίο μίας εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών αποτελείται από έναν αριθμό παράλληλων γραμμών ενωμένων συλλεκτών σε σειρά, ώστε το εργαζόμενο μέσο να κυκλοφορεί μέσω των σωληνοειδών δεκτών και να θερμαίνεται από την είσοδο του ηλιακού πεδίου προς την έξοδο.

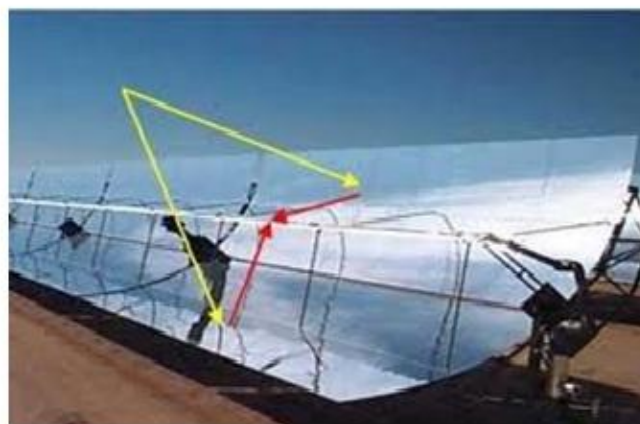
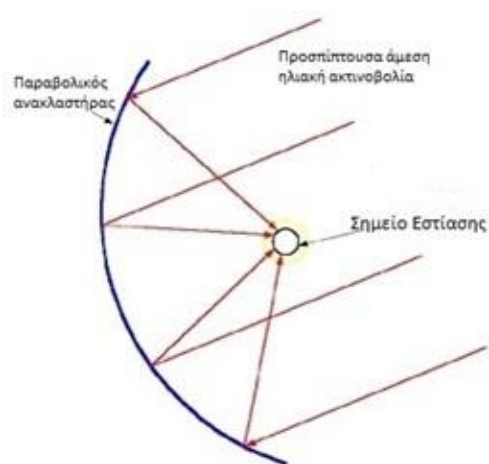
2.2.2 Παραβολικός κοίλος Συλλέκτη

Ένας παραβολικός κοίλος συλλέκτης αποτελείται από τον παραβολικό ανακλαστήρα όπου η προσπίπτουσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται με σκοπό να συγκεντρωθεί στον σωληνοειδή απορροφητή που βρίσκεται στο σημείο εστίασης του παραβόλου. Η συγκέντρωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μειώνει την επιφάνεια απορρόφησης, με σεβασμό στην φαινομενική επιφάνεια του συλλέκτη, με αυτό τον τρόπο μειώνονται σημαντικά οι συνολικές θερμικές απώλειες. Η

συγκεντρωμένη ακτινοβολία θερμαίνει τη ρευστό που κυκλοφορεί στον σωληνοειδή δέκτη, μετατρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα στο ρευστό.

Παραβολικός Ανακλαστήρας

Οι παραβολικοί ανακλαστήρες παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αντανάκλασης (μεγαλύτερο από 88%) με σκοπό την αντανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο μέγιστο βαθμό. Οι ανακλαστικές επιφάνειες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών είναι κατασκευασμένες από καθρέπτες που έχουν κατασκευαστεί από γυαλί στο οποίο το φύλλο αλουμινίου είναι στην πίσω πλευρά, καθώς τα κάτοπτρα αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη αντοχή και φασματική ανάκλαση, σε σχέση με τα κάτοπτρα που είναι κατασκευασμένα από στιλβωμένο αλουμίνιο ή άλλα μεταλλοποιημένα ακρυλικά υλικά. Οι παραβολικοί κοίλες ανακλαστικές επιφάνειες παρουσιάζουν λόγους συγκεντρώσεως της Ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ 30-80. Με την χρήση τους, η προσπίπτουσα ακτινοβολία συγκεντρώνεται στην γραμμή εστίασης που είναι παράλληλη στον άξονα του παραβόλου. Οι παραβολικοί ανακλαστήρες εδράζονται σε ατσάλινους πυλώνες οι οποίοι έχουν μηχανισμό κίνησης ενός άξονα ώστε συνδυασμό με το σύστημα εντοπισμού, τα παραβολικά κάτοπτρα να μπορούν να εντοπίσουν την θέση του ήλιου με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Το εμβαδό των ανακλαστικών επιφανειών που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας ξεπερνά τα 500 τετραγωνικά μέτρα ενώ το μήκος τους μπορεί να ξεπεράσει και τα 100 μέτρα.



Σχήμα 2. 2: Τυπική Διάταξη συλλέκτη

Σωληνοειδής Δέκτης

Ένας τυπικός σωληνοειδής δέκτης που χρησιμοποιείται σε συλλέκτες παραβολικών κοίλων αποτελείται από έναν εσωτερικό μεταλλικό σωλήνα ο οποίος περιβάλλεται από έναν γυάλινο σωλήνα, με σκοπό να μειώσει της απώλειες θερμότητας από συναγωγή. Ο μεταλλικός σωλήνας έχει μια επίστρωση που χαρακτηρίζεται από υψηλό συντελεστή απορρόφησης (μεγαλύτερο από 90%) και χαμηλό συντελεστή εκπομπής (μικρότερο από 30% για την υπέρυθη ακτινοβολία), η οποία μειώνει της απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία. Η ύπαρξη συνθηκών κενού μεταξύ των δύο σωληνώσεων, καθώς και η αντί-ανακλαστική επίστρωση στον γυάλινο σωλήνα μεγιστοποιεί τον θερμικό βαθμό απόδοσης και την ετήσια επίδοση των παραβολικών κοίλων συλλεκτών, ειδικότερα για περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας. Σωληνοειδής συλλέκτες χωρίς συνθήκες κενού χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπου οι απαιτούμενες θερμοκρασίες λειτουργίας είναι μικρότερες των 250°C, καθώς οι θερμικές απώλειες δεν διαδραματίζουν τόσο σημαντικό ρόλο σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Λόγω κατασκευαστικών περιορισμών, το μέγιστο μήκος ενός σωληνοειδούς δέκτη είναι μικρότερο των 6 μέτρων, για αυτό τον λόγο σε έναν παραβολικό κοίλο συλλέκτη, ο δέκτης αποτελείται από περισσότερους σωληνοειδή δέκτες, οι οποίοι ενωμένοι καλύπτουν το συνολικό μήκος του παραβολικού κοίλου συλλέκτη. Ο εξωτερικός γυάλινος σωλήνας συνδέεται με τον εσωτερικό σωλήνα με την χρήση ευλύγιστων μεταλλικών διαφορικών συνδέσμων οι οποίοι ισοσταθμίζουν της διαφορετικές θερμικές διαστολές του χάλυβα και του γυαλιού όταν ο δέκτης λειτουργεί στην ονομαστική του θερμοκρασία. Ο σύνδεσμος που συνδέει τις δύο σωληνώσεις καθώς και η άρθρωση διαστολής, αποτελούν το αδύναμο σημείο του σωληνοειδούς δέκτη και πρέπει να προστατεύονται κατάλληλα από την συγκεντρωμένη προσπίπτουσα ακτινοβολία, για να αποφευχθούν οι υψηλές θερμικές τάσεις οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν βλάβη την συνδεσμολογία. Συνήθως για την προστασία του συνδέσμου χρησιμοποιείται ένα κάλυμμα από αλουμίνιο. Προς το παρόν μόνο δύο εταιρείες κατασκευάζουν σωληνοειδής απορροφητήρες για συστήματα παραβολικών κοίλων. Οι γερμανικές Schott και Siemens (η Siemens εξαγόρασε την ισραηλινή εταιρεία Solel).

Ο σωληνοειδής απορροφητής ή στοιχείο συλλογής θερμότητας (Heat collecting element, HCE), αποτελεί το βασικότερο επιμέρους τμήμα ενός παραβολικού κοίλου συλλέκτη και είναι τοποθετημένο πάνω στον άξονα εστίασης της παραβολικής διάταξης όπου συγκεντρώνεται η ανακλώμενη ακτινοβολία. Μέσο του

σωληνοειδούς απορροφητήρα έχουμε μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα στο ρευστό που τον διαρρέει. Ο σωληνοειδής δέκτης διαρρέεται από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας. (6)



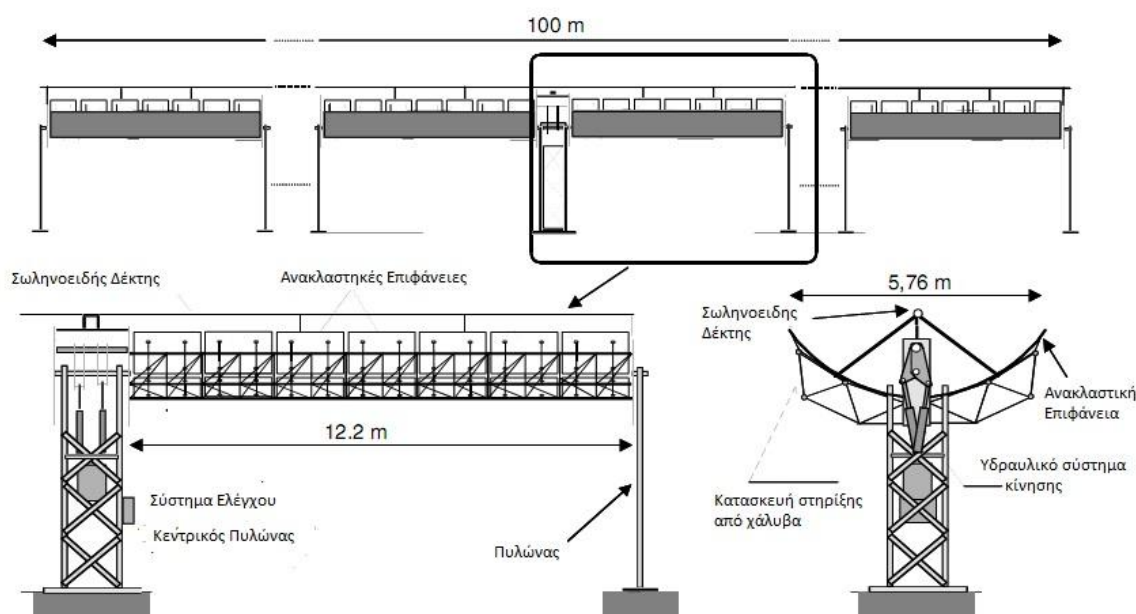
Σχήμα 2. 3: Σωληνοειδής Απορροφητής (10)

Εμπορικοί Συλλέκτες

Οι παραβολικοί κοίλοι συλλέκτες που χρησιμοποιήθηκαν στους πρώτους Θερμικούς Ηλιακού Σταθμούς (SEGS) που κατασκευάστηκαν προέρχονταν από την Ισραηλινή εταιρεία Luz. Τα 3 μοντέλα που κατασκευάστηκαν από την Luz είχαν την ονομασία Ls-1, Ls-2, Ls-3. Οι Ls-1 και Ls-2 έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή των πρώτων SEGS, ενώ ο Ls-3, στους δύο τελευταίους και πιο σύγχρονους σταθμούς της εταιρείας.

Οι δυο πρώτες γενιές συλλεκτών, LS-1 και LS-2, αποστελλόντουσαν από παρόμοιες κατασκευές, τοποθετημένες σε βάσεις ίδιου μήκους, με την διαφορά ότι η επιφάνεια ανοίγματος του LS-2 ήταν διπλάσια από αυτήν του LS-1. Η βάση του συλλέκτη είναι τοποθετημένη σε μια άκαμπτη σωληνοειδή κατασκευή, η οποία ονομάζεται σωληνοειδής βάση ροπής. Στην κατασκευή του συλλέκτη LS-3, η σωληνοειδής βάση ροπής αντικαταστάθηκε από ένα μεταλλικό δικτύωμα, το πλάτος της επιφάνειας του ανοίγματος αυξήθηκε κατά 14% σε σχέση με τον συλλέκτη LS-2 και το μήκος του συλλέκτη διπλασιάστηκε. Αλλαγές έγιναν και στο σύστημα κίνησης των συλλεκτών με την χρήση υδραυλικών συστημάτων ελέγχου, αντί για μεταλλικών μηχανισμών με καλώδια. Στην κατασκευή των συλλεκτών LS-3, η εταιρεία Luz, πέρα από την αξιοποίηση της εμπειρίας που υπήρχε από την λειτουργία των SEGS, σημαντικός παράγοντας ήταν η προσπάθεια περιορισμού του κόστους καθώς και η δυνατότητα για μαζική παραγωγή. Το στοιχείο συλλογής θερμότητας που χρησιμοποιείται στους συλλέκτες αποτελείται από έναν ανοξείδωτο χαλύβδινο σωλήνα, με μια ειδική επιλεκτική επικάλυψη, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε ένα γυάλινο σωλήνα. Μεταξύ των δύο σωληνώσεων επικρατούν συνθήκες κενού. Συμβατικές ενώσεις μεταξύ μετάλλου και γυαλιού καθώς και μεταλλικοί πνεύμονες διασφαλίζουν τις απαιτούμενες συνθήκες κενού για την

σωστή λειτουργία του συλλέκτη. Ο εξωτερικός σωλήνας αποτελείται από γυαλί το οποίο έχει μικρή περιεκτικότητα σιδήρου (μέγιστη 0,015%) καθώς και από μια αντί-ανακλαστική επίστρωση σε κάθε πλευρά με σκοπό την μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Η επιλεκτική επίστρωση που χρησιμοποιήθηκε στους συλλέκτες LS-1 και LS-2 ήταν μαύρο χρώμιο, ενώ για την κατασκευή του LS-3 χρησιμοποιήθηκε μια λεπτή στρώση από κεραμικό-μεταλλικό υλικό. Το 1992 μετά την χρεοκοπία της Luz η βελγική εταιρεία SOLEL αγόρασε την τεχνογνωσία της LUZ. Πριν την χρεοκοπία της, η LUZ είχε σχεδιάσει έναν συλλέκτη 4^{ης} γενιάς των LS-4, με σκοπό την χρήση του σε συστήματα άμεσης ατμοποίησης. Τα χαρακτηριστικά των συλλεκτών LUZ φαίνονται στον Πίνακα 2.1. (11)



Σχήμα 2. 4:Σκαρίφημα Συλλέκτη τύπου Luz LS3 (6)

Πίνακας 2. 1: Αναλυτικά Χαρακτηριστικά συλλεκτών της εταιρείας Luz (11)

Μοντέλο	LS-1	LS-2	LS-3
Ακρίβεια εντοπισμού Ήλιου (°)	0,1	0,1	0,1
Μέγιστη ταχύτητα αέρα για λειτουργία(km/h)	56	56	56
Υλικό κατασκευής	Χαλύβδινος σωλήνας	Χαλύβδινος σωλήνας	space frame
Επικάλυψη σωλήνα-απορροφητή	Μαύρο Χρώμιο	Μαύρο Χρώμιο	Κεραμικό/μέταλλο
Συντελεστής Απορρόφησης	94%	94%	96%
Συντελεστής Μετάδοσης	94%	94%	95%
Συντελεστής Εκπομπής	39%	24%	18%
Εστιακή απόσταση ηλιακού συλλέκτη	0,68	1,49	1,71

Γωνιακό άνοιγμα	85	80	80
Συντελεστής Αντανάκλασης	94%	94%	94%
Άνοιγμα αυλακιού	2,5	5	5,76
Εξωτερική διάμετρος σωλήνα απορροφητή	0,042	0,07	0,07
Γεωμετρική συγκέντρωση	19	23	26
Συνολικό μήκος συλλέκτη	50,2	47,1	99
Απόσταση εδράσεων	6,3	8	12
Επιφάνεια καθρεπτών συλλέκτη (m²)	128	235	545
μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	307	350	390
Απόσταση μεταξύ παράλληλων συλλεκτών(m)	7	12,5/15	17
Βαθμός παρεμπόδισης	87%	89%	93%

Το 1998, μια διεθνής συνεργασία από ευρωπαϊκές εταιρείες καθώς και από εργαστήρια ερευνών (Abengoa/Inabensa, Fichtner Solar, Flabeg Solar Int., Schlaich Bergermannund Partner, Iberdrola, Solel Solar Systems, CIEAMAT, CRES και DLR), δημιουργήθηκε για την εξέλιξη Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών νέας γενιάς μειωμένου κόστους, καθώς οι συλλέκτες LS-3 δεν ήταν πλέον ανταγωνιστικοί.

Η δημιουργία του Συλλέκτη Euro Trough ήρθε ως αποτέλεσμα ανάλυσης πολλών διαφορετικών τρόπων κατασκευής συλλεκτών, με γεωμετρικά χαρακτηριστικά παρόμοια με του LS-3, αλλά με βασική διαφορά στην ορθογώνιο κιβώτιο ροπής στο σύστημα υποστήριξης, το οποίο συνδύαζε τα πλεονεκτήματα της κατασκευής που είχε χρησιμοποιηθεί στον συλλέκτη LS-2 καθώς και το οικονομικό πλεονέκτημα της κατασκευής του LS-3. Ο πρώτος εμπορικός συλλέκτης από την Euro Trough ο ET-100 είχε μήκος 100 μέτρα και αποτελούταν από 8 τμήματα ενώ το συνολικό άνοιγμα της επιφάνειας του ήταν 545 τετραγωνικά μέτρα. Η υψηλή στιβαρότητα της νέας κατασκευής στήριξης επέτρεπε την αύξηση του μήκους του συλλέκτη. Στο δεύτερο μοντέλο που παρουσιάστηκε από την Euro Trough, το ET-150 έχουμε αύξηση του συνολικού μήκους του συλλέκτη στα 150 μέτρα, ο αριθμός των τμημάτων του συλλέκτη αυξήθηκε στα 12 τμήματα και η συνολική επιφάνεια ανοίγματος στα 820 τετραγωνικά μέτρα. Οι συλλέκτες Euro Trough είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται πλέον σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων. Τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2. 2: Χαρακτηριστικά Συλλεκτών “Eurothrough” (12)

Μοντέλο	ET-100	ET-150
Εστιακό Μήκος (m)	1,71	1,71
Εξωτερική διάμετρος Απορροφητή(m)	0,07	0,07
Εσωτερική διάμετρος Απορροφητή(m)	0,065	0,065
Φαινομενικό Πλάτος	5,77	5,77
Φαινομενική Επιφάνεια	545	817,5

Συνολικό μήκος	99,5	148,5
Αριθμός τμημάτων	8	12
Αριθμός Σωλήνων- Απορροφητών (4,1m)	24	36
00Συντελεστής Αναχαίτισης	92%	92%
Συντελεστής Αντανάκλασης	94%	94%
Συντελεστής Απορρόφησης	94%	94%
Συντελεστής Μετάδοσης	94,5%	94,5%
Μέγιστος Οπτικός Βαθμός Απόδοσης	75%	75%

2.2.3 Ρευστό Μεταφοράς Θερμότητας

Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας είναι το μέσο με το οποίο η θερμότητα που προσλαμβάνεται από το ηλιακό πεδίο μεταφέρεται στο σύστημα παραγωγής ατμού. Τα χαρακτηριστικά του πρέπει να είναι κατάλληλα ώστε να μπορεί να αντέχει τις απαιτούμενες θερμοκρασίες και πιέσεις που αναπτύσσονται στον σωληνοειδή δέκτη. Τα ρευστά τα οποία χρησιμοποιούνται πιο συχνά σαν ρευστά μεταφοράς θερμότητας είναι θερμικά έλαια, ειδικότερα για συλλέκτες όπου αναπτύσσονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200 °C. Ο βασικότερος παράγοντας στην επιλογή του κατάλληλου ελαίου για μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας με παραβολικά κοίλα είναι η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργία του ελαίου, για θερμοκρασίες πάνω από αυτή αλλάζει η δομή του ελαίου και το έλαιο καταστρέφεται ταχύτατα. Διατάξεις όπου έχουμε χρήση νερού ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας και ατμοποίηση γίνεται μέσα στον σωληνοειδή δέκτη είναι υπό μελέτη, τα συστήματα αυτά ονομάζονται συστήματα άμεσης ατμοποίησης. (13)

Therminol VP-1

Το έλαιο που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε συστήματα παραγωγής ενέργειας με παραβολικούς συλλέκτες όπου έχουμε θερμοκρασίες μέχρι και 395°C είναι το VP-1, το οποίο είναι ένα εύτηκτο μίγμα που αποτελείται σε ποσοστό 73,5% από οξειδίο του DIPHENYLL και 26,5% από DIPHENYLL. Το βασικότερο πρόβλημα που παρουσιάζεται με την χρήση του VP-1 είναι η υψηλή θερμοκρασία στερεοποιήσεις (12 °C), για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η ύπαρξη εφεδρικού συστήματος θέρμανσης όταν υπάρχει κίνδυνος για θερμοκρασίες χαμηλότερες από αυτή. Επιπλέον το VP-1 σε πίεση 1013 mbar έχει θερμοκρασία βρασμού 257 °C, για αυτό σε περιπτώσεις που απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες, το κύκλωμα του ελαίου πρέπει να βρίσκεται υπό πίεση. Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούνται αδρανή αέρια όπως το αργό η το άζωτο. Η χρήση αδρανών αερίων καθώς και η απουσία οξυγόνου η οξειδίων στο πεπιεσμένο κύκλωμα του ελαίου είναι απαραίτητη, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις και την ύπαρξη οξυγόνου θα δημιουργούσαν ένα εκρηκτικό μίγμα. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν και άλλα έλαια κατάλληλα για χρήση σε θερμικούς κοίλους

συλλέκτες, τα οποία επιτρέπουν την ανάπτυξη λίγο μεγαλύτερων θερμοκρασιών καθώς και παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες στερεοποίησης, η τιμή τους είναι πολύ υψηλή για την χρήση σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που είναι υπό λειτουργία, καθώς και αυτές που βρίσκονται υπό κατασκευή χρησιμοποιούν ως μέσο μεταφοράς θερμότητα το Therminol VP-1. (14)

Συστήματα Άμεσης ατμοποίησης

Όλες οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών που είναι σε κατάσταση λειτουργίας χρησιμοποιούν έλαιο για ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Η χρησιμοποιήσει νερού ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και η άμεση ατμοποίηση του μέσα στον σωληνοειδή δέκτη βρίσκεται υπό μελέτη, καθώς χαρακτηρίζεται από αρκετά πλεονεκτήματα:

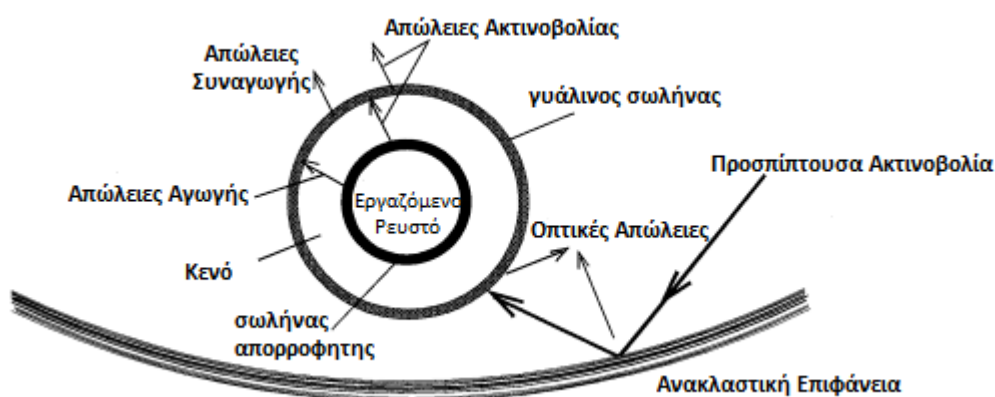
- Απουσία περιβαλλοντικών κινδύνων που σχετίζονται με το έλαιο (διαρροές και φωτιές).
- Καλύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των παραβολικών κοίλων συλλεκτών και δυνατότητα ανάπτυξης υψηλότερων θερμοκρασιών από το τωρινό όριο των 400°C.
- Μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης λόγω απουσίας του εναλλάκτη στο σύστημα παραγωγής ατμού, καθώς και μικρότερο κόστος επένδυσης για το ηλιακό πεδίο.
- Απλοποιημένη διάταξη του σταθμού λόγω απουσίας εφεδρικού συστήματος θέρμανσης του ελαίου καθώς και του εναλλάκτη θερμότητας.
- Μικρότερο κόστος συντήρησης και λειτουργίας, καθώς δεν είναι απαραίτητη η συντήρηση του συστήματος ελαίου, καθώς και η απαραίτητη αντικατάσταση μέρους αυτού.

Οι τεχνολογικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να έχουμε εμπορική χρήση των συστημάτων άμεσης ατμοποίησης αφορούν προβλήματα που έχουν σχέση με την φάση όπου έχουμε συνυπάρξει νερού και ατμού στο σωληνοειδή δέκτη, καθώς και από την απαίτηση για παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης. Η κατασκευή του σωληνοειδή δέκτη πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχει πιέσεις άνω των 100 bar. Ενώ απαιτείται πιο σύνθετο και ακριβό σύστημα ελέγχου του ηλιακού πεδίου, λόγω της ιδιαιτερότητας της ροής δύο φάσεων καθώς και τις διαφορετικές θερμοδυναμικές ιδιότητες του νερού και του ατμού. Τέλος πρέπει να υπάρχει κατάλληλο σύστημα για να αποφεύγεται η δημιουργία πάγου, η οποία λόγω της ιδιαιτερότητας του νερού να διαστέλλεται όταν είναι σε στερεή μορφή, μπορεί να καταστρέψει τον σωληνοειδή δέκτη. (11)

2.2.4 Απώλειες Ηλιακού Πεδίου

Ένα σημαντικό ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον Παραβολικό Κοίλο Συλλέκτη χάνεται λόγω διάφορων παραγόντων. Οι συνολικές απώλειες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες(παρακάτω παρατίθενται οι απώλειες με φθίνουσα σειρά σημαντικότητας :

- ✓ Οπτικές απώλειες
- ✓ Απώλειες από τον σωληνοειδή απορροφητήρα προς το περιβάλλον
- ✓ Γεωμετρικές απώλειες



Σχήμα 2. 5: Απώλειες Ηλιακού Πεδίου (15)

Οπτικές απώλειες

Οι οπτικές απώλειες συνδέονται με 4 παραμέτρους:

- *Συντελεστής Ανάκλασης (Reflectivity) ρ* , της αντανακλαστικής επιφάνειας του συλλέκτη. Μια τυπική τιμή της παραμέτρου ρ για μια καθαρισμένη επιφάνεια καθρέφτη είναι 0,93. Ο συντελεστής ανάκλασης μια επιφάνειας μειώνεται όσο πιο βρώμικη είναι η επιφάνεια του καθρέφτη.(Σε μια εμπορική εγκατάσταση, τα κάτοπτρα καθαρίζονται όταν ο συντελεστής ανάκλασης τους πέσει στο 0,9).
- *Παράγοντας αναχαίτισης (intercept factor) γ* , οποίος εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται αλλά δεν προσπίπτει στον δέκτη. Τυπική τιμή της παραμέτρου αυτής για έναν σωστά συναρμολογημένο δέκτη είναι 0,95 (ο συντελεστής αυτός μπορεί να μειωθεί λόγω ατελειών κατά την διαδικασία της συναρμολόγησης).

- *Συντελεστής Μεταβίβασης (Transmissivity)* τ του υάλινου σωλήνα. Είναι ο λόγος της ακτινοβολίας που διαπερνά των γυάλινο σωλήνα προς την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτόν. Ο μεταλλικός απορροφητήρας είναι τοποθετημένος μέσα στον εξωτερικό γυάλινο σωλήνα για να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας και μικρότερες θερμικές απώλειες, ένα ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο γυάλινο τμήμα του απορροφητή δεν πέρνα στον απορροφητή. Τυπικές τιμές του τ είναι 0,93
- *Συντελεστής Απορρόφησης (absorbitivity)* α της επιλεκτικού περιβλήματος του μεταλλικού απορροφητή. Εκφράζει τις απώλειες από περίβλημα του απορροφητή προς τον απορροφητή. Τυπική τιμή της α είναι 0,95.

Το γινόμενο των προαναφερθεισών παραμέτρων, για μηδενική γωνία πρόσπτωσης σε επίπεδη πλάκα, δίνει την μέγιστη οπτική απόδοση του παραβολικού συλλέκτη ($n_{opt,0^\circ}$)

$$n_{opt,0^\circ} = \rho \cdot \gamma \cdot \tau \cdot \alpha \Big|_{\varphi=0^\circ}$$

Για ένα καθαρό καλής ποιότητας παραβολικό ανακλαστήρα ο συντελεστής $n_{opt,0^\circ}$ κυμαίνεται μεταξύ 0,70-0,76

Απώλειες θερμότητας από τον απορροφητήρα προς το περιβάλλον

Σε ένα ΠΚΣ έχουμε θερμικές απώλειες λόγω: ακτινοβολίας από τον σωλήνα απορροφητή προς το περιβάλλον και απώλειες λόγω αγωγής και συναγωγής από των μεταλλικό σωλήνα προς τον γυάλινο αγωγό. Οι συνολικές απώλειες δίνονται από τον τύπο:

$$P_{Q,collector \rightarrow amb} = U_{L,abs} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot l (T_{abs} - T_{amb})$$

Οπού:

$U_{L,abs}$ ο συντελεστής θερμικών απωλειών

T_{abs} είναι η θερμοκρασία του απορροφητή

T_{amb} είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος

d_0 είναι η εξωτερική διάμετρος του απορροφητή

l είναι το μήκος του απορροφητή

Η τιμή του συντελεστή θερμικών απωλειών εξαρτάται από την θερμοκρασία του απορροφητή και η τιμή του βρίσκεται πειραματικά. Η τιμή του μπορεί να προσεγγιστεί με ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού, του οποίου οι μεταβλητές υπολογίζονται πειραματικά:

$$U_{L,abs} = a + b(T_{abs} - T_{amb}) + C(T_{abs} - T_{amb})^2 \left(\frac{W}{m_{abs}^2 \cdot K} \right)$$

Οι εύρεση τιμών των a,b,c για ένα μεγάλο εύρος τιμών της θερμοκρασίας του απορροφητή είναι πολλές φορές δύσκολο να βρεθούν, για αυτό το λόγο στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές των μεταβλητών αυτών για χαμηλότερες θερμοκρασίες. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των μεταβλητών, οι οποίες έχουν υπολογιστεί πειραματικά για τους συλλέκτες Ls-3.

Πίνακας 2. 3: Παράμετροι συντελεστή θερμικών απωλειών για συλλέκτες τύπου Luz-LS3 (6)

T_{abs} (°C)	a	b	c
<200	0,687257	0,001941	0,000026
>200;<300	1,433242	-0,00566	0,000046
>300	2,895473	-0,0164	0,000065

Μια τυπικές τιμή του συντελεστή απωλειών $U_{L,abs}$, για απορροφητή στον οποίον επικρατούν συνθήκες κενού μεταξύ του εξωτερικού γυάλινου περιβλήματος και του εσωτερικού μεταλλικού σωλήνα, είναι χαμηλότερη του $5 \frac{W}{m_{abs}^2 K}$.

Απώλειες λόγω της γωνίας πρόσπτωσης

Η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα, γιατί το ποσό της ηλιακής άμεσης ακτινοβολίας που είναι χρήσιμη στον συλλέκτη είναι αναλογικό του συνημίτονου της γωνίας αυτής. Επιπλέον είναι υπεύθυνη για την μείωση της ωφέλιμης περιοχής του συλλέκτη (γεωμετρικές απώλειες). Τέλος έχει επίδραση στα οπτικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη που αναφέρθηκαν στην αρχή. Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης τόσο σε ότι αφορά της οπτικές απώλειες καθώς και στην ωφέλιμη περιοχή του συλλέκτη μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με τον συντελεστή μετατροπής της γωνίας πρόσπτωσης $K(\phi)$, ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις γεωμετρικές και οπτικές απώλειες για γωνία πρόσπτωσης μεγαλύτερη του μηδενός. Παρακάτω δίνεται η πολυονυμική έκφραση του $K(\phi)$ για συλλέκτη τύπου Ls-3, όπως αυτή έχει υπολογιστεί πειραματικά.

$$K(\varphi) = 1 - 2,23073 \cdot 10^{-4} \cdot \varphi - 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot \varphi^2 + 3,18596 \cdot 10^{-6} \cdot \varphi^3 - 4,85509 \cdot 10^{-8} \cdot \varphi^4$$

$$(0^\circ < \varphi < 80^\circ)$$

$$K(\varphi) = (85^\circ < \varphi < 90^\circ)$$

Η γωνία πρόσπτωσης εξαρτάται από τον προσανατολισμό του συλλέκτη και από την θέση του ήλιου και μπορεί εύκολα να υπολογιστεί με χρήση της γωνίας αζιμούθιου και της γωνίας ανύψωσης

Για προσανατολισμό βορρά νότου: $\varphi = \arccos[1 - \cos^2(EL) \sin^2(AZ)]^{1/2}$

Για προσανατολισμό ανατολή-δύση: $\varphi = \arccos[1 - \cos^2(EL) \cos^2(AZ)]^{1/2}$

Βαθμοί αποδόσεις-ροή ισχύος

Η απόδοση ενός ΠΚΣ περιγράφεται από τον συνδυασμό τριών βαθμών απόδοσης:

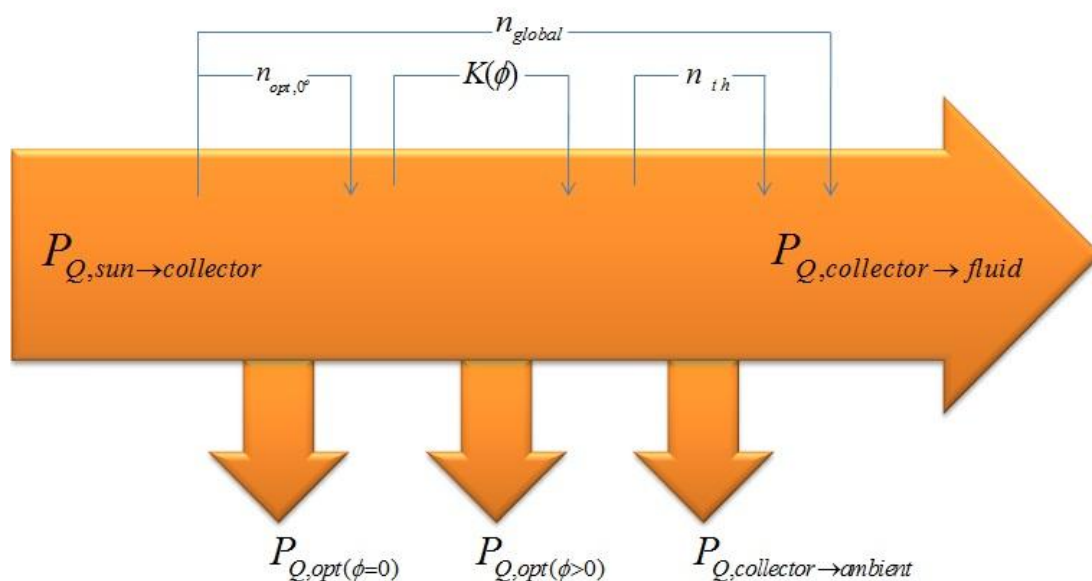
n_{global} : ολικός βαθμός απόδοσης

$n_{opt,0}$: μέγιστος οπτικός βαθμός απόδοσης για μηδενική γωνία πρόσπτωσης

n_{th} : θερμικός βαθμός απόδοσης

και μιας παραμέτρου $K(\varphi)$: συντελεστής μετατροπής γωνίας πρόσπτωσης

η επίδραση τους στην απορροφημένη από το ρευστό ενέργεια φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 2. 6: Ροής Ισχύος για εγκατάσταση Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών (6)

όπως φαίνεται και στο σχήμα ο ολικός βαθμός απόδοσης μπορεί να οριστεί σαν :

$$n_{global} = \frac{P_{Q,collector \rightarrow fluid}}{P_{Q,sun \rightarrow collector}}$$

όπου: $P_{Q,sun \rightarrow collector}$ είναι η ενέργεια που φθάνει στον συλλέκτη και ισούται με

$$P_{Q,sun \rightarrow collector} = A_c \cdot E_d \cdot \cos(\phi),$$

A_c η επιφάνεια του συλλέκτη,

$E_d \cos(\phi)$ η προσπίπτουσα στον συλλέκτη άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Οπότε η ενέργεια που μεταφέρεται στο υγρό από τον ήλιο στο ρευστό μπορεί να εκφραστεί:

$$P_{Q,collector \rightarrow fluid} = A_c \cdot E_d \cdot \cos(\phi) \cdot n_{global}$$

Ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης μπορεί να οριστεί σαν το γινόμενο των δύο προαναφερόμενων βαθμών απόδοσης επί τον παράγοντα $K(\phi)$

$$n_{global} = n_{opt,0^\circ} \cdot n_{th} \cdot K(\phi) \cdot Fe,$$

όπου Fe είναι ο συντελεστής βρομιάς των κατόπτρων, ο οποίος παίρνει τιμές από 0 έως 1, μια συνηθισμένη τιμή του συντελεστή είναι το 0,97.

Άρα τελικά: $P_{Q,collector \rightarrow fluid} = A_c \cdot E_d \cdot \cos(\phi) \cdot n_{opt,0^\circ} \cdot n_{th} \cdot K(\phi) \cdot Fe$

Η οποία μπορεί να γραφτεί και:

$$\begin{aligned} P_{Q,collector \rightarrow fluid} &= A_c \cdot E_d \cdot \cos(\phi) \cdot n_{opt,0^\circ} \cdot K(\phi) \cdot Fe - P_{Q,collector \rightarrow ambient} \\ &= A_c \cdot E_d \cdot \cos(\phi) \cdot n_{opt,0^\circ} \cdot K(\phi) \cdot Fe - U_{L,abs} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot (T_{abs} - T_{amb}) \end{aligned}$$

Με την χρήση της προηγούμενης σχέσης είναι δυνατός ο υπολογισμός της θερμότητας που προσδίδεται στο ρευστό από τον ήλιο και κατ' επέκταση η ωφέλιμη θερμότητα από το ηλιακό πεδίο. (6)

2.2.5 Σχεδιασμός-Διάταξη Ηλιακού Πεδίου

Σημείο Σχεδιασμού

Για τον υπολογισμό του μεγέθους των διάφορων υποσυστημάτων του ηλιακού πεδίου καθώς και για τον καθορισμό του κατάλληλου μεγέθους του Ηλιακού πεδίου για να προσφέρει την απαραίτητη θερμότητα στον συμβατικό κύκλο Rankine, είναι απαραίτητο να οριστεί ένα Σημείο σχεδιασμού, στο οποίο το Ηλιακό πεδίο να

παράγει την θερμότητα που είναι απαραίτητη για λειτουργία της εγκατάστασης στην ονομαστική της ισχύ. Το σημείο αυτό συνήθως ορίζεται στις 12 το μεσημέρι της 21^{ης} Ιουνίου(Ηλιακή ώρα).

Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη για το σχεδιασμό του Ηλιακού Πεδίου στο σημείο σχεδιασμού είναι:

- Ο προσανατολισμός των συλλεκτών.
- Η άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία περιβάλλοντος για την συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- Η συνολικά απαιτούμενη θερμότητα που απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος παραγωγής ενέργειας.
- Η καθαρότητα των συλλεκτών.
- Οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του Ηλιακού πεδίου
- Το μέσο μεταφοράς θερμότητας που θα χρησιμοποιηθεί
- Η ονομαστική παροχή μάζας του ρευστού μεταφοράς θερμότητας

Στις περιπτώσεις που έχουμε έλαιο ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας και θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε την παραγόμενη θερμότητα για παραγωγή ατμού, η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από το Ηλιακό πεδίο πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 °C μεγαλύτερη από την απαιτούμενη θερμοκρασία του ατμού.

Στην συνέχεια βάση και των απωλειών στο Ηλιακό πεδίο επιλέγεται ο αριθμός των συλλεκτών που θα τοποθετηθούν. Ο αριθμός των συλλεκτών σε κάθε σειρά του ηλιακού πεδίου εξαρτάται από την ονομαστική θερμοκρασιακή διαφορά της εισόδου και εξόδου από το ηλιακό πεδίο.

Συντελεστής Μεγέθους Ηλιακού Πεδίου (Solar Multiple, SM)

Ως συντελεστής Μεγέθους Ηλιακού Πεδίου ορίζεται ο λόγος της ληφθείσας από το ηλιακό πεδίο ωφέλιμη θερμική ενέργεια στην ονομαστική του λειτουργία, προς την απαιτούμενη από στο σύστημα παραγωγής ενέργειας θερμότητα για λειτουργία του στο ονομαστικό φορτίο. ΣΜΗΠ ίσος με την μονάδα σημαίνει ότι στο σημείο σχεδιασμού το ηλιακό πεδίο παρέχει ακριβώς την απαραίτητη ενέργεια για την σωστή λειτουργία του θερμικού κύκλου. Η τιμή του ΣΜΗΠ που βελτιστοποιεί το ανηγμένο κόστος παραγωγής ενέργειας για περιοχές με υψηλές τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι 1,15 (13)

Διάταξη Ηλιακού Πεδίου

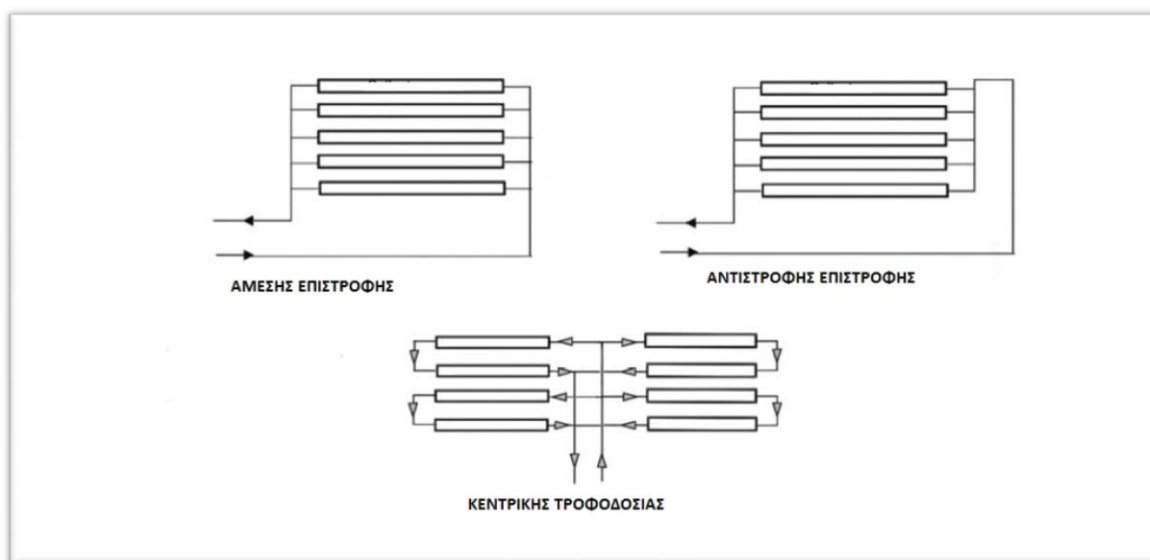
Για την διάταξη του Ηλιακού πεδίου τρεις είναι οι επικρατέστερες διατάξεις που χρησιμοποιούνται. Σε όλες τις διατάξεις οι σωληνώσεις εξόδου από το Ηλιακό πεδίο είναι πιο κοντές από τις σωληνώσεις εισόδου με σκοπό την μείωση των θερμικών απωλειών. Οι διατάξεις αυτές παριστάνονται σχηματικά στην Εικόνα 2.

Η διάταξη Άμεσης Επιστροφής(Direct Return) αποτελεί τον πιο απλό τρόπο τοποθέτησης του Ηλιακού πεδίου, και είναι αυτή που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε έργα μικρού μεγέθους. Το βασικό της μειονέκτημα είναι οι μεγάλες διαφορές στην

πίεση εισόδου και εξόδου κάθε παράλληλης γραμμής, για αυτό τον λόγο βαλβίδες ισορροπίας πρέπει να χρησιμοποιούνται για να έχουμε σταθερή ροή ρευστού σε κάθε γραμμή. Οι χρήση των βαλβίδων έχει ως αποτέλεσμα μια σημαντική πτώση της πίεσης όχι μόνο στην αρχή της σειράς, αλλά και στο συνολικό σύστημα. Το αποτέλεσμα αυτής της πτώσης είναι η αυξημένες ιδιοκαταναλώσεις του ηλιακού πεδίου, σε σχέση με την διάταξη αντίστροφης επιστροφής, όπου το ρευστό εισέρχεται στην σειρά των συλλεκτών στο απέναντι άκρο.

Η διάταξη *Αντίστροφης Επιστροφής (Reverse Return)* χαρακτηρίζεται από πιο ομαλή ροή. Η χρησιμοποίηση βαλβίδων για την διατήρηση της ισορροπίας στο σύστημα μπορεί να χρειάζονται, οι συνολικές απώλειες πίεσης του συστήματος είναι αρκετά μικρότερες από την διάταξη άμεσης επιστροφής. Το βασικό μειονέκτημα είναι η απαίτηση μεγαλύτερου μήκους σωληνώσεων για το ηλιακό πεδίο, καθώς με αυτόν τον τρόπο αυξάνονται οι θερμικές απώλειες του συστήματος, σημαντικό ρόλο στις απώλειες αυτές διαδραματίζει η θερμοκρασία εισόδου του Ηλιακού Πεδίου, όταν αυτή είναι χαμηλή, οι απώλειες μπορεί να είναι αμελητέες. Τέλος το αυξημένο μήκος των σωληνώσεων επηρεάζει το κόστος εγκατάστασης του Ηλιακού Πεδίου.

Η διάταξη *Κεντρικής Τροφοδοσίας (Central Feed)*, είναι η διάταξη που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε μεγάλα Ηλιακά Πεδία. Όπως και στην διάταξη άμεσης επιστροφής, οι απώλειες πίεσης είναι μεγαλύτερες όταν έχουμε χρησιμοποίηση βαλβίδων ισορροπίας στην είσοδο των γραμμών. Η χρήση αυτής της διάταξης ελαχιστοποιεί το συνολικό μήκος των σωληνώσεων, καθώς δεν υπάρχει σωλήνωση που να διατρέχει το συνολικό μήκος της σειράς. Επιπλέον προσφέρει άμεση πρόσβαση σε κάθε γραμμή συλλέκτη, χωρίς την ανάγκη για υπόγειες σωληνώσεις.



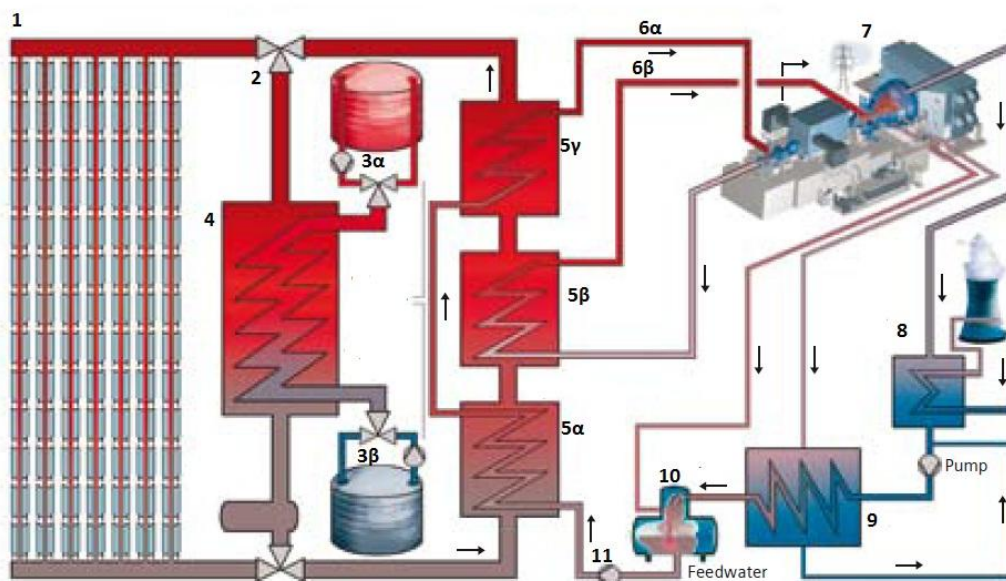
Σχήμα 2. 7: Διατάξεις Ηλιακού Πεδίου (6)

Προσανατολισμός Ηλιακού Πεδίου

Οι προσανατολισμοί που χρησιμοποιούνται πιο συχνά για τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής των παραβολικών κοίλων συλλεκτών είναι είτε Βορρά-Νότου ή

Ανατολής-Δύσης, ωστόσο οποιοσδήποτε άλλος προσανατολισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ο προσανατολισμός του άξονα των συλλεκτών μερικές φορές καθορίζεται από την τοπογραφία και τον προσανατολισμό της περιοχής εγκατάστασης. Ο προσανατολισμός του άξονα επηρεάζει την γωνία πρόσπτωσης στον παραβολικό κοίλο συλλέκτη και κατ' επέκταση την απόδοση του συλλέκτη. Οι εποχιακές διαφορές στην απόδοση του συλλέκτη που έχει προσανατολισμό Βορρά-Νότου μπορεί να είναι μεγάλες. Τρεις έως τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια παράγεται τις καλοκαιρινές ημέρες σε σχέση με τις χειμερινές, γεγονός που επηρεάζεται από το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές συνθήκες. Οι εποχιακές διαφορές στην παραγόμενη από τον συλλέκτη ενέργεια είναι πολύ μικρότερες (συνήθως κάτω από 50%) για προσανατολισμό του άξονα Ανατολής-Δύσης. Σε κάθε περίπτωση ο προσανατολισμός Βορρά-Νότου χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ετήσια παραγωγή ενέργειας. Η ημερησία διακύμανση στην γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη για προσανατολισμό συλλέκτη Ανατολής-Δύσης, με μέγιστες τιμές στην ανατολή του ηλίου και με ελάχιστη τιμή 0° το ηλιακό μεσημέρι της εκάστοτε ημέρας. (6)

2.3 Μονάδα Παραγωγής Ισχύος



Σχήμα 2. 8 Σχηματική απεικόνιση Σταθμού παραγωγής Ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και έμμεσο ενεργό σύστημα αποθήκευσης. (16)

Πίνακας 2. 4: Υπόμνημα σχήματος 2.7 (16)

	Υπόμνημα	4	Εναλλάκτης Λαδιού-Αλάτων	8	Σύστημα Ψύξης
1	Ηλιακό Πεδίο	5	Σύστημα Παραγωγής Ατμού	9	Προθέρμανση Συμπυκνώματος
2	Κύκλωμα Λαδιού	6	Κύκλωμα Ατμού	10	Τροφοδοτικό Δοχείο-Απαεριωτής
3	Δεξαμενές Αποθήκευσης	7	Ατμοστρόβιλος	11	Αντλία νερού

2.3.1 Σύστημα Παραγωγής ατμού

Η θερμότητα από το ηλιακό πεδίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού. Μετά την θέρμανση του, το θερμό έλαιο οδηγείται στο σύστημα παραγωγής ατμού, το οποίο αποτελείται από έναν εναλλάκτη θερμότητας, όπου το έλαιο μεταφέρει την θερμότητα του στο νερό, το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού. Το σύστημα παραγωγής ατμού αποτελεί τον συνδυασμό κίρκου μεταξύ του ηλιακού πεδίου και του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Η πιο συνηθισμένη διάταξη ενός συστήματος παραγωγής ατμού αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Προθερμαντήρα, όπου το νερό προθερμαίνεται σε θερμοκρασία κοντά στην θερμοκρασία ατμοποίησης.
- Ατμοποιητή, όπου το προθερμασμένο νερό μετατρέπεται σε ατμό
- Υπερθερμαντήρα: όπου ο ατμός υπερθερμαίνεται για να φτάσει την απαιτούμενη θερμοκρασία
- Ανά-θερμαντήρα, όπου ο εξερχόμενος από τον στρόβιλο υψηλής πίεσης ατμός αναθερμαίνεται πριν εισέλθει στον ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης

Τα επιμέρους τμήματα του συστήματος παραγωγής ατμού φαίνονται στο Σχήμα 2.8. Το σημείο 5^α απεικονίζει τον ατμοποιητή, το σημείο 5^β τον ανά-θερμαντήρα και το σημείο 5^γ τον υπερθερμαντήρα.



Σχήμα 2. 9: Τυπική διάταξη συστήματος παραγωγής ατμού

2.3.2 Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας

Ο υπέρθερμος ατμός που παράγεται από το σύστημα παραγωγής ατμού χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας μέσω κατάλληλης διάταξης ατμοστροβίλων (σημείο 7). Η ιδιαιτερότητα του συστήματος έγκειται στην χρήση μια σειράς προθερμάνσεων τόσο υψηλής όσο και χαμηλής πίεσης με σκοπό την προθέρμανση του νερού πριν την είσοδο του στο σύστημα ατμοποίησης σε υψηλή θερμοκρασία. Στις μέχρι τώρα εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται κύκλος Rankine με αναθέρμανση.

2.3.3 Συστήματα ψύξης

Ανάλογα με τις προδιαγραφές της εκάστοτε τοποθεσίας είναι δυνατή η χρήση είτε υδρόψυκτου συστήματος ψύξης, είτε αερόψυκτου συστήματος ψύξης. Η χρήση αερόψυκτου κύκλου συνεπάγεται αυξημένες ιδιοκαταναλώσεις και ακριβότερο κόστος της αρχικής επένδυσης, αλλά επιβάλλεται σε περιοχές με χαμηλά αποθέματα νερού, καθώς συνήθως οι περιοχές με το υψηλότερο ηλιακό δυναμικό στην Γή βρίσκονται σε ερημικές τοποθεσίες.

2.4 Συστήματα αποθήκευσης

2.4.1 Γενικά

Η χρήση συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας συνδέεται συχνά με τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από τον Ήλιο, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας. Για την λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης είναι απαραίτητη η κατασκευή ηλιακού πεδίου μεγαλύτερου μεγέθους, με σκοπό την πρόσληψη της απαραίτητης θερμότητας για το σύστημα αποθήκευσης. Η επίδραση του συστήματος αποθήκευσης στο μέγεθος της συνολικής εγκατάστασης είναι πολύ σημαντική, σε περιπτώσεις συστημάτων αποθήκευσης υψηλής δυναμικότητας το ηλιακό πεδίο μπορεί να είναι ακόμα και διπλάσιο συγκριτικά με έναν σταθμό χωρίς σύστημα αποθήκευσης.

Στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών υπάρχει η δυνατότητα για χρησιμοποίηση συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας. Η χρήση των συστημάτων αποθήκευσης προσδίδει μια σειρά πλεονεκτημάτων στην μονάδα παραγωγής ενέργειας.

- Αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος, μέσω περιορισμού των αιχμών της ηλεκτροπαραγωγής, με αυτόν τον τρόπο ο σταθμός μπορεί να λειτουργεί

υπό πιο σταθερά όρια, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι πιθανότητες για βλάβη του σταθμού.

- Αύξηση της ικανότητας για ηλεκτροπαραγωγή: Πιθανότατα το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης συστημάτων αποθήκευσης είναι η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας. Στους σταθμούς με συστήματα αποθήκευσης η ενεργειακή ζήτηση είναι ανεξάρτητη μεταβλητή σε σχέση με το χρόνο, μέσω του συστήματος είναι δυνατή η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας η οποία παράγεται τις ώρες χαμηλής ζήτησης, με σκοπό την χρησιμοποίηση της όταν υπάρχει αυξημένη ζήτηση από το σύστημα. Το αποτέλεσμα είναι η λειτουργία του σταθμού σε υψηλούς συντελεστές φορτίου, και παραγωγή ενέργειας με πιο σταθερό τρόπο και αποδοτικό τρόπο.
- Μειωμένο κόστος παραγωγής ενέργειας: Η ενεργειακές ανάγκες σε εμπορικές, βιομηχανικές και οικιακούς τομείς, μεταβάλλονται σε ημερήσια, εβδομαδιαία και εποχιακή βάση. Αυτές οι ανάγκες μπορούν να ταιριαστούν με την χρήση συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας.

Διαχωρισμός Συστημάτων Αποθήκευσης

Τα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας που χρησιμοποιούνται στους ηλιοθερμικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας διαχωρίζονται σε παθητικά και ενεργά.

Τα ενεργά συστήματα χαρακτηρίζονται από βεβαιωμένη μεταγωγή θερμότητας στο μέσο αποθήκευσης. Το μέσο αποθήκευσης θερμότητας κυκλοφορεί μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας (ο εναλλάκτης μπορεί να είναι και ηλιακός δέκτης ή και ατμοπαραγωγός). Το σύστημα χρησιμοποιεί μία ή δύο δεξαμενές για την αποθήκευση του μέσου. Τα ενεργά συστήματα χωρίζονται σε άμεσα και έμμεσα ενεργά συστήματα αποθήκευσης. Σε ένα άμεσο σύστημα, το μέσο μεταφοράς θερμότητας λειτουργεί και σαν μέσο αποθήκευσης θερμότητας, ενώ σε ένα έμμεσο σύστημα χρησιμοποιείται διαφορετικό μέσο για την αποθήκευση θερμότητας.

Τα παθητικά συστήματα αποθήκευσης είναι συνήθως συστήματα αποθήκευσης δύο μέσων. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί μέσα από το υλικό αποθήκευσης μόνο για να το φορτίσει και να το αποφορτίσει. Θερμότητα μεταφέρεται από το ηλιακό πεδίο στο υλικό αποθήκευσης κατά την διάρκεια της φόρτισης, ενώ κατά την διάρκεια της αποφόρτισης θερμότητα μεταφέρεται από το υλικό αποθήκευσης στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας (τα συστήματα αυτά ονομάζονται και αναγεννητές, "regenerators"). Το κύριο μειονέκτημα των αναγεννητών είναι το γεγονός ότι η θερμοκρασία του ρευστού μεταφοράς θερμότητας μειώνεται κατά την αποφόρτιση, καθώς το υλικό αποθήκευσης ψύχεται, καθώς και η απουσία άμεσης επαφής μεταξύ ρευστού μεταφοράς και μέσου αποθήκευσης, λόγω της ύπαρξης εναλλάκτη θερμότητας.



Σχήμα 2. 10: Διαχωρισμός συστημάτων αποθήκευσης (17)

2.4.2 Ενεργά Συστήματα Αποθήκευσης

Άμεσα Ενεργά Συστήματα Αποθήκευσης

Στα ενεργά άμεσα συστήματα αποθήκευσης, το μέσο μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιείται στο ηλιακό πεδίο, χρησιμοποιείται και σαν μέσο αποθήκευσης. Για αυτό το λόγο το υλικό πρέπει να έχει κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να είναι ταυτόχρονα καλό ρευστό μεταφοράς θερμότητας και καλό μέσο αποθήκευσης.

Η χρήση ατμού ή τετηγμένων αλάτων ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας και μέσο αποθήκευσης, εξαλείφει την ανάγκη για μια εγκατάσταση εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ ηλιακού πεδίου και συστήματος αποθήκευσης στο σταθμό παραγωγής ενέργεια. Επιπλέον επιτρέπει την λειτουργία του Ηλιακού πεδίου σε υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που επιτρέπουν τα τωρινά μέσα μεταφοράς θερμότητας. Ο συνδυασμός αυτός επίσης επιτρέπει για ακόμα περαιτέρω την μείωση του κόστους του συστήματος αποθήκευσης και οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές παραγωγής ρεύματος. Ωστόσο, στην περίπτωση τετηγμένων αλάτων, υπάρχει ο κίνδυνος στερεοποίησης λόγω της υψηλής θερμοκρασίας πήξης (120-220°C). Για αυτό τον λόγο ειδικά μέτρα πρέπει να ληφθούν ώστε να αποφευχθεί το πάγωμα των αλάτων κατά την διάρκεια της νύχτας. Η χρήση κατάλληλων συστημάτων για την κυκλοφορία του ρευστού από της σωληνώσεις κατά την διάρκεια της νύχτας καθώς και η χρήση εφεδρικού συστήματος καυστήρα για την αποφυγή του προβλήματος παγώματος του ρευστού, οδηγεί σε αυξημένο κόστος συντήρησης και λειτουργίας κατά τις νυχτερινές ώρες. Η χρήση τετηγμένων αλάτων ως μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι οικονομικά συμφέρουσα όταν υπάρχει σύστημα αποθήκευσης.

Για την λειτουργία του άμεσου ενεργού συστήματος αποθήκευσης είναι απαραίτητη η χρήση δύο δεξαμενών. Στην μία δεξαμενή έχουμε την αποθήκευση του μέσου με την χαμηλότερη θερμοκρασία (ψυχρή δεξαμενή) και στην δεύτερη έχουμε αποθήκευση του ρευστού με την υψηλότερη θερμοκρασία (θερμή δεξαμενή).

Πλεονεκτήματα

- Δυνατότητα για υψηλότερες θερμοκρασίες στους σταθμούς παραβολικών κοίλων συλλεκτών (450-500°C), με συνέπεια την αύξηση του βαθμού απόδοσης του κύκλου Rankine μέχρι και 40%
- Διαχωρισμός θερμού και ψυχρού υλικού αποθήκευσης
- Δυνατότητα για μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου-εξόδου από το ηλιακό πεδίο

Μειονεκτήματα

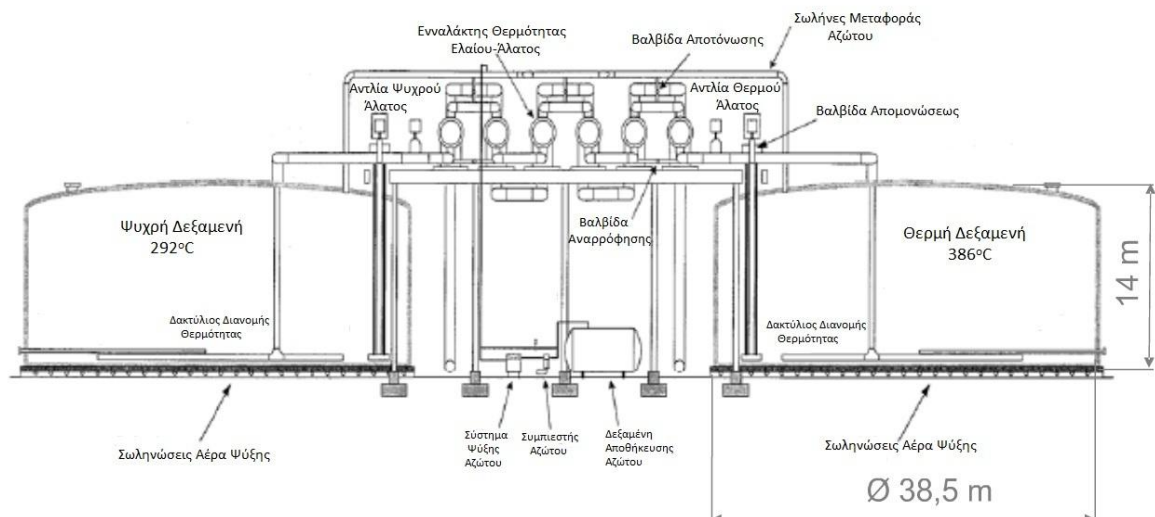
- Υψηλό κόστος υλικού μεταφορά θερμότητας και αποθήκευσης
- Αυξημένο Κόστος λόγω απαιτήσεις δύο δεξαμενών
- Σχετικά μικρή διαφορά ψυχρού-θερμού ρευστού στο σύστημα αποθήκευσης
- Υψηλός κίνδυνος στερεοποίησης του εργαζόμενου μέσου
- Αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω της υψηλής θερμοκρασίας τόσο της ψυχρής όσο και της θερμής δεξαμενής

Άμεσο ενεργό σύστημα αποθήκευσης με δύο δεξαμενές υπήρχε στο σταθμό "SEGS II", το μέσο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το έλαιο που χρησιμοποιείτο και σαν ρευστό μεταφοράς θερμότητας.

Ενεργά έμμεσα συστήματα αποθήκευσης

Στα έμμεσα ενεργά συστήματα αποθήκευσης, η θερμότητα δεν αποθηκεύεται στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας, αλλά σε διαφορετικό υλικό αποθήκευσης. Στα έμμεσα ενεργά συστήματα αποθήκευσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν διατάξεις είτε με συστήματα δύο δεξαμενών αποθήκευσης είτε συστήματα με μία δεξαμενή.

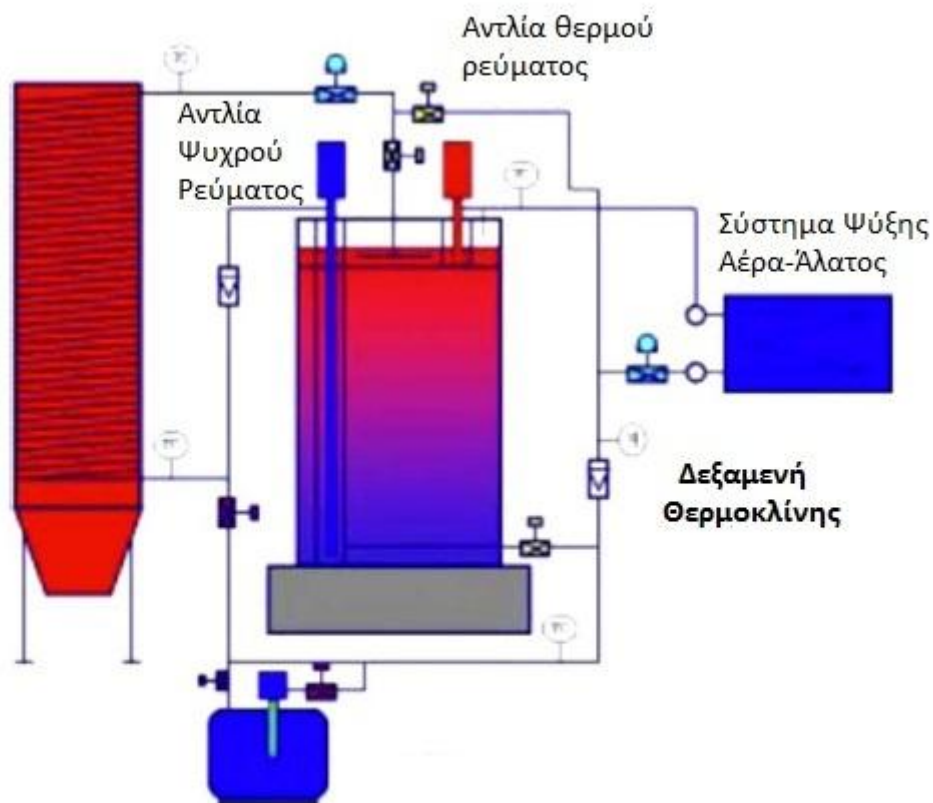
Στα συστήματα έμμεσα ενεργά συστήματα αποθήκευσης με δύο δεξαμενές, ένα μέρος του ρευστού μεταφοράς θερμότητας (έλαιο) μέσο ενός εναλλάκτη θερμότητας θερμαίνει το ρευστό αποθήκευσης (τετηγμένα άλατα) που κυκλοφορεί από την ψυχρή προς την θερμή δεξαμενή(Εικόνα). Στους σταθμούς Andasol το έλαιο εισέρχεται στον εναλλάκτη ελαίου-αλάτων με θερμοκρασία 391°C και εξέρχεται σε θερμοκρασία περίπου 298 °C. Τα τετηγμένα άλατα από την ψυχρή δεξαμενή εισέρχονται σε θερμοκρασία 291 °C και εξέρχονται σε θερμοκρασία 384 °C για να εισέλθουν στην συνέχεια στην θερμή δεξαμενή. Το βασικότερο πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι η απουσία τετηγμένων αλάτων στο κύκλωμα του ηλιακού πεδίου.



Σχήμα 2. 11: Έμμεσο ενεργό σύστημα αποθήκευσης με χρήση δύο δεξαμενών (18)

Έμμεσο ενεργό σύστημα αποθήκευσης χρησιμοποιείται στους σταθμούς Andasol στην Ισπανία, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας είναι Therminol VP-1, ενώ για το σύστημα αποθήκευσης γίνεται χρήση μίγματος τετηγμένων αλάτων (60% sodium nitrate NaNO_3 , 40% potassium nitrate KNO_3).

Στα ενεργά έμμεσα συστήματα αποθήκευσης μίας δεξαμενής, το υγρό και το θερμό ρευστό αποθηκεύονται στην ίδια δεξαμενή. Η μέθοδος αυτή παρέχει την δυνατότητα για περαιτέρω μείωση του συνολικού κόστους της εγκατάστασης. Όπως και στην μέθοδο με την χρήση δύο δεξαμενών το ρευστό μεταφορά θερμότητα διέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας, θερμαίνοντας το ρευστό αποθήκευσης. Στην συνέχεια το μέσο αποθηκεύεται στην ίδια δεξαμενή με το ψυχρό ρευστό. Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται την διαφορά θερμοκρασία του ψυχρού και του θερμού ρευστού έτσι το θερμό ρευστό αποθηκεύεται στο πάνω μέρος της δεξαμενής και το ψυχρό στο κάτω μέρος της. Συνήθως χρησιμοποιείται και κατάλληλο υλικό που βοηθάει στην δημιουργία του φαινομένου αυτού και του σχηματισμού της ενδιάμεσης ζώνης η οποία ονομάζεται θερμοκλίνη. Πειραματικές μελέτες δείχνουν ότι το υλικό αυτό λειτουργεί και σαν μέσο αποθήκευσης θερμότητας. Αναλόγως του κόστους του υλικού αποθήκευσης τα συστήματα αποθήκευσης μια δεξαμενής μπορεί να αποτελέσουν συστήματα αποθήκευσης πολύ χαμηλού κόστους, ενώ μεγάλο μέρος του υλικού αποθήκευσης μπορεί να αντικατασταθεί με πιο φθηνά υλικά διαχωρισμού όπως η άμμος.



Σχήμα 2. 12: Τυπική Διάταξη συστήματος αποθήκευσης με χρήση θερμοκλίνης

2.4.3 Παθητικά Συστήματα Αποθήκευσης

Στα παθητικά συστήματα αποθήκευσης θερμότητας, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας διέρχεται από το σύστημα αποθήκευσης, μόνο για φόρτιση, ή αποφόρτιση του συστήματος, καθώς το μέσο αποθήκευσης δεν επανακυκλοφορεί. Τα παθητικά συστήματα αποθήκευσης χρησιμοποιούνται κυρίως στερεά υλικά αποθήκευσης (Σκυροδέμα, και υλικά αλλαγής φάσης (Phase Change Materials, PCM). Τα παθητικά συστήματα αποθήκευσης με χρήση υλικών αλλαγής φάσης είναι σε πολύ πρώιμο στάδιο για να χρησιμοποιηθούν σε εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας

Αποθήκευση με χρήση σκυροδέματος

Στην περίπτωση αποθήκευσης με χρήση σκυροδέματος, η θερμότητα που συλλέγεται από το ηλιακό πεδίο μεταφέρεται μέσω του ρευστού μεταφοράς θερμότητας στο στερεό υλικό αποθήκευσης από σκυροδέμα. Το υλικό αποθήκευσης διαθέτει σωληνοειδή εναλλάκτες θερμότητας όπου θερμότητα μεταφέρεται από το θερμό ρευστό στο στερεό μέσο αποθήκευσης. Ο

ενσωματωμένος στο στερεό μέσο αποθήκευσης σωληνοειδής εναλλάκτης θερμότητας, αποτελεί ένα ακριβό τμήμα του συστήματος αποθήκευσης, ενώ οι παράγοντες σχεδιασμού όπως ο απαιτούμενος αριθμός των σωληνώσεων και οι διαμέτρος της κάθε σωλήνωσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος αποθήκευσης. Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αποθήκευσης με σκυρόδεμα είναι το χαμηλό κόστος του υλικού αποθήκευσης, ο υψηλός βαθμός εναλλαγής θερμότητας τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο από το σύστημα (λόγο της καλής επαφής μεταξύ των σωληνώσεων και του σκυροδέματος, η χαμηλή εξασθένιση της θερμότητας μεταξύ του εναλλάκτη και του υλικού αποθήκευσης. Το βασικότερο μειονέκτημα είναι το αυξημένο κόστος του εναλλάκτη θερμότητας, και η ανάγκη για επιπλέον εξέλιξη του συστήματος, λόγω μακροπρόθεσμης αστάθειας του συστήματος. (17)



Σχήμα 2. 13: Τυπικό παθητικό σύστημα αποθήκευσης με χρήση σκυροδέματος

2.5 Περιγραφή Κύκλου

2.5.1 Συστήματα με Ρευστό Μεταφοράς Θερμότητας

Ηλιακό Πεδίο

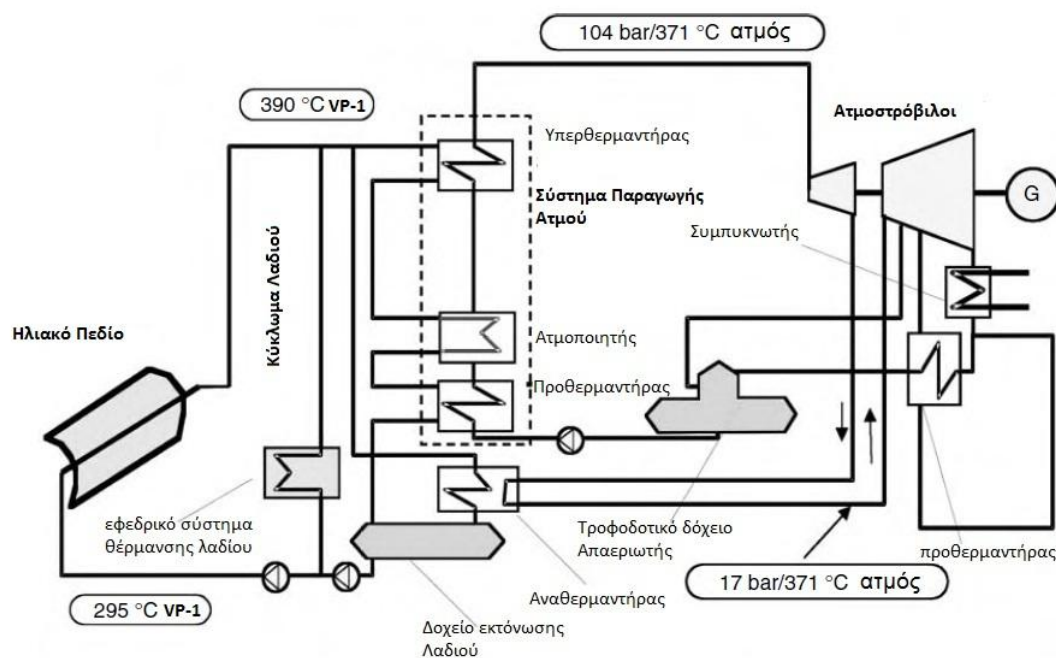
Στο ηλιακό πεδίο του σχήματος χρησιμοποιείται ρευστό μεταφοράς θερμότητας τύπου Therminol VP-1. Το έλαιο εισέρχεται στο ηλιακό πεδίο με θερμοκρασία 295°C και εξέρχεται από αυτό σε θερμοκρασία 390 °C. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει επαρκής ηλιοφάνεια, λειτουργεί εφεδρικό σύστημα θέρμανσης του ελαίου. Η χρήση του εφεδρικού συστήματος είναι απαραίτητη για διατήρηση της θερμοκρασίας του ελαίου σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες της θερμοκρασίας πήξης

του. Η ληφθείσα από το Ηλιακό Πεδίο θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού σε διάταξη ατμοπαραγωγού.

Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας

Στο σύστημα παραγωγής ατμού έχουμε παραγωγή υπέρθερμου ατμού θερμοκρασία 371 °C και πίεσης 104 bar. Ο ατμός αποτονώνεται σε διάταξη ατμοστροβίλου, μέχρι την πίεση των 20 bar και στην συνέχεια οδηγείται στον αναθερμαντήρα της εγκατάστασης. Από τον αναθερμαντήρα εξέρχεται σε θερμοκρασία 371 °C και πίεση 17bar. Το παραγόμενο από την διάταξη μηχανικό έργο χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κατάλληλης γεννήτριας. Στην συνέχεια αποτονώνεται μέχρι πίεσεως 0,08 bar και εισέρχεται στον συμπυκνωτή, από πού εξέρχεται και οδηγείται στην διάταξη τροφοδοτικού δοχείου-απαερωτή. Το τροφοδοτικό νερό με την χρήση αντλίας φθάνει σε πίεση 110bar για να εισέλθει στο τμήμα παραγωγής ατμού και να συνεχιστεί ο κύκλος

Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών χαρακτηρίζονται από μια σειρά προθερμάνσεων (χαμηλής και υψηλής πίεσης) που χρησιμοποιούνται για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, με σκοπό την είσοδο του στο σύστημα παραγωγής ενέργεια με όσο το δυνατόν υψηλότερη θερμοκρασία. Για σχεδιαστικούς λόγους στο σχήμα φαίνεται μονό μία απομάστευση, πριν την είσοδο του νερού στο τροφοδοτικό δοχείο.

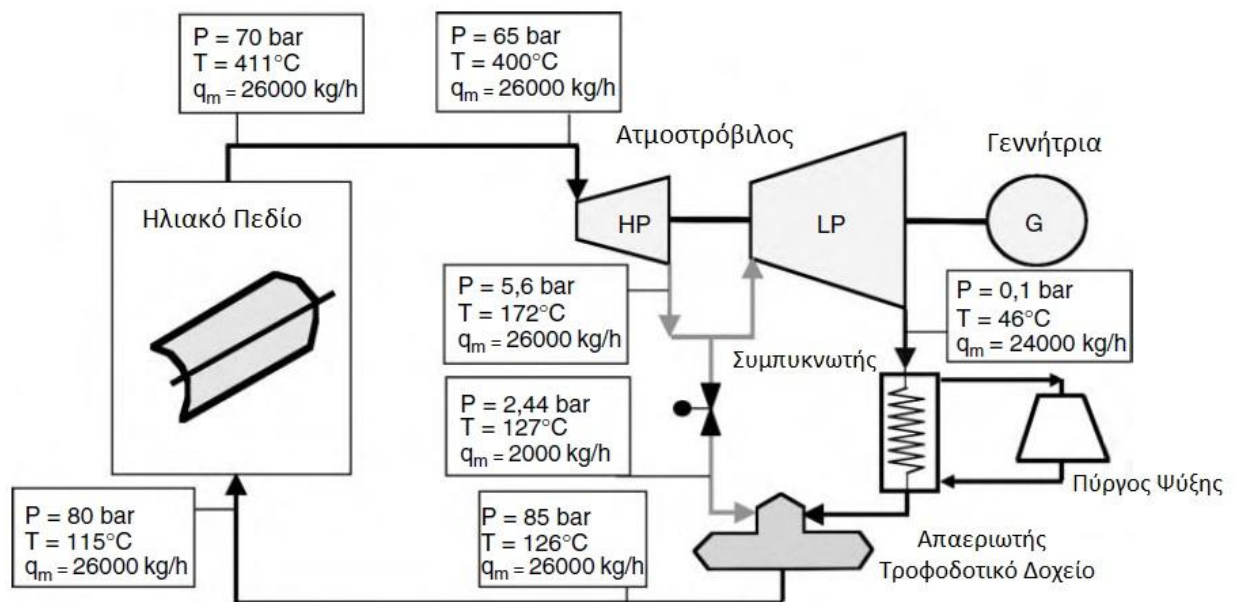


Σχήμα 2. 14: Σχηματική απεικόνιση συστήματος παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών συλλεκτών και χρήση ρευστού μεταφοράς θερμότητας (6)

2.5.2 Συστήματα Άμεσης Αποθήκευσης

Στο σύστημα άμεσης ατμοποίησης, το μέσο μεταφοράς θερμότητας του ηλιακού πεδίου είναι και το μέσο που χρησιμοποιείται στο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Ένα απλοποιημένο σύστημα άμεσης ατμοποίησης ισχύος 5MW φαίνεται στο σχήμα1. Το νερό εισέρχεται στο ηλιακό πεδίο σε θερμοκρασία 115 °C και πίεση 80 bar. Στην έξοδο του Ηλιακού πεδίου έχει μετατραπεί σε ατμό θερμοκρασίας 411 °C και βρίσκεται σε πίεση 70 bar.

Ο παραγόμενος από το Ηλιακό πεδίο ατμός χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας σε διάταξη ατμοστρόβιλων. Ο ατμός εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο υψηλής πίεσης με θερμοκρασία 400 °C και πίεση 65 bar και εξέρχεται από αυτόν σε θερμοκρασία 172 °C και πίεση 5,6 bar. Μέρος του ρευστού οδηγείται μέσω μιας στραγγαλιστικής βαλβίδας στο σύστημα τροφοδοτικού δοχείου-απαερωτή. Το ρευστό που εισέρχεται στο τροφοδοτικό δοχείο έχει θερμοκρασία 127 °C και βρίσκεται σε πίεση 2,44 bar. Ο υπόλοιπος ατμός οδηγείται στον ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης και εξέρχεται από αυτόν σε θερμοκρασία 46 °C και σε πίεση 0,1 bar. Στην συνέχεια το ρευστό εισέρχεται διέρχεται από το σύστημα ψύξης για να εισέλθει σαν νερό στο τροφοδοτικό δοχείο. Το ρευστό εξέρχεται από το τροφοδοτικό δοχείο και οδηγείται σε αντλία. Στην έξοδο της αντλίας το νερό έχει θερμοκρασία 126 °C και πίεση 85 bar.



Σχήμα 2. 15: Σχηματική απεικόνιση συστήματος παραγωγής Ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και συστήματος άμεσης ατμοποίησης στο ηλιακό Πεδίο (19)

2.6 Κόστος Εγκατάστασης

2.6.1 Ανάλυση Κόστους

Το κόστος εγκατάστασης ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας με χρήση παραβολικών κοίλων συλλεκτών μπορεί να επιμεριστεί σε:

Κόστους Ηλιακού Πεδίου

Το ηλιακό πεδίο αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της εγκατάστασης και το κόστος του σύμφωνα με την (20) αποτελεί το 50% του κόστους της συνολικής εγκατάστασης. Σύμφωνα με (13) το κόστος του είναι περίπου 206 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο των ανακλαστικών επιφανειών του ηλιακού πεδίου, κόστος που είναι σύμφωνο και με την οδηγία της ΡΑΕ (21).

Κόστος Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, σύμφωνα με (20) αποτελεί το 22% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης και αναφέρεται στο κόστος του συστήματος παραγωγής ατμού, στο σύστημα παραγωγής ενέργειας και στο σύστημα ψύξης.

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος παραγωγής ατμού σύμφωνα με (13) είναι:

- 1,54€/kW_{el} για τον προθερμαντήρα
- 10,45€/kW_{el} για τον ατμοποιητή
- 1,625€/kW_{el} για τον υπερθερμαντήρα
- 4,22€/kW_{el} για τον αναθερμαντήρα

Το κόστος των υπόλοιπων συστημάτων του συστήματος παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με (13) είναι 700€/kW_{el}

Τέλος το κόστος του συστήματος ψύξης είναι (22):

- 60€/kW_{el} για υδρόψυκτα συστήματα ψύξης
- 180€/kW_{el} για αερόψυκτα συστήματα ψύξης

Σύμφωνα με την οδηγία της ΡΑΕ το συνολικό κόστος του συστήματος παραγωγής ενέργειας είναι 800€/kW_{el}

Κόστος Συστήματος αποθήκευσης

Το κόστος του συστήματος αποθήκευσης σύμφωνα με (20) αποτελεί το 10% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης. Ενώ σύμφωνα με (21) το κόστος του εξαρτάται από το πόσο θερμότητας που μπορεί να αποθηκευτεί σε αυτό και είναι 30€/kWh_{th}.

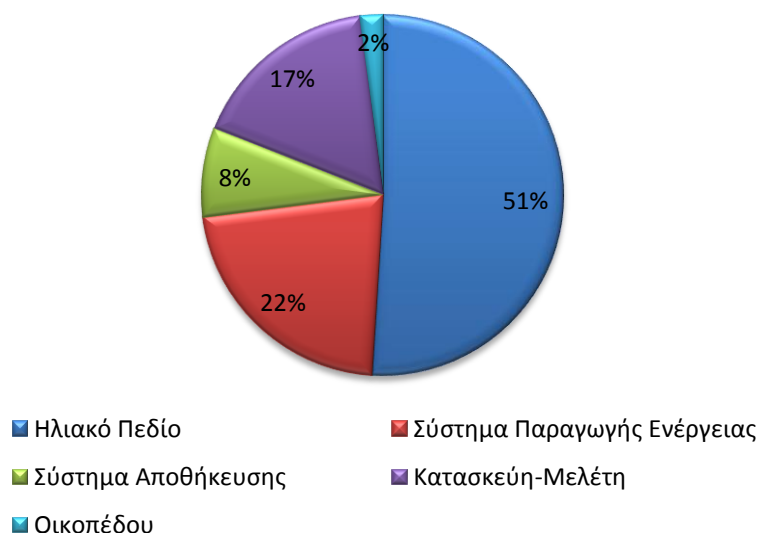
Κόστος κατασκευής-μελέτης

Σύμφωνα με (13) και (20) το κόστος κατασκευής και μελέτης αποτελεί το 20% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης. Το κόστος αυτό είναι και σύμφωνο με την οδηγό της ΡΑΕ. Τέλος το κόστος της απαιτούμενης επιφάνειας θεωρείται σύμφωνα με (21) 3€/m²

Κόστος Συντήρησης και λειτουργίας

Τυπική τιμή του ετήσιου κόστους συντήρησης και λειτουργίας ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί παραβολικούς κοίλους συλλέκτες είναι 2% του συνολικού ποσού της αρχικής επένδυσης. Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνονται το απαραίτητο κόστος συντήρησης του τεχνολογικού εξοπλισμού και το κόστος των εργαζομένων. Επιπλέον σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπολογίζεται το κόστος του απαραίτητου καυσίμου για την λειτουργία του σταθμού

Συνοπτικά το κόστος της εγκατάστασης και ο τρόπος που αυτό επιμερίζεται παρουσιάζεται στον πίνακα 2.5, και στο σχήμα 2.15



Σχήμα 2. 16: Επιμερισμός κόστους κατασκευής σταθμού παραγωγής ενέργειας με χρήση παραβολικών κοίλων συλλεκτών (20)

Πίνακας 2. 5: Ανάλυση κόστους κατασκευής σταθμού παραγωγής ενέργειας με χρήση παραβολικών κοίλων συλλεκτών (13), (20)

Αναλυτικό Κόστος Εγκατάστασης	
Κόστος εγκατάστασης ηλιακού πεδίου (€/ m ²)	207
Κόστος εγκατάστασης για το ενεργειακό τμήμα (€/kwe)	700
Κόστος Εγκατάστασης υδρόψυκτου συστήματος ψύξης (€/kwe _{el})	60

Κόστος Εγκατάστασης αερόψυκτος συστήματος ψύξης (€/k_{wel})	180
Κόστος εγκατάστασης προθερμαντήρα (€/k_{wel})	1,54
Κόστος εγκατάστασης ατμοποιητή (€/k_{wel})	10,45
Κόστος εγκατάστασης υπερθερμαντήρα (€/k_{wel})	1,625
Κόστος εγκατάστασης αναθερμαντήρα(€/k_{wel})	4,221
Κόστος Γής (€/m²)	3
Προσαυξήσεις για κατασκευή, μελέτη και άδειες (%)	20%

2.6.2 Παράγοντες κόστους

Ηλιακό Δυναμικό Τοποθεσίας

Το ηλιακό δυναμικό της τοποθεσίας που πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Σε περιοχές με χαμηλό ηλιακό δυναμικό είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μεγαλύτερου αριθμού συλλεκτών προκειμένου να έχουμε την απαραίτητη συλλογή ηλιακής ενέργειας. Το αυξημένο μέγεθος του ηλιακού πεδίου έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο κόστος της συνολικής εγκατάστασης.

Σύστημα Αποθήκευσης

Επιπλέον του απαραίτητου εξοπλισμού (δεξαμενές, υλικό αποθήκευσης), η απαίτηση του συστήματος αποθήκευσης για επιπλέον θερμότητα έχει ως αποτέλεσμα σε μεγάλη αύξηση του μεγέθους του ηλιακού πεδίου, αυξάνοντας σημαντικά το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Σε εγκατάσταση με συστήματα αποθήκευσης υψηλής δυναμικότητας το συνολικό κόστος της εγκατάστασης μπορεί να αυξηθεί ακόμα και πάνω από 50% σε σχέση με μια εγκατάσταση χωρίς σύστημα αποθήκευσης.

Επιλογή Συστήματος Ψύξης

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, το κόστος εγκατάστασης αερόψυκτου συστήματος ψύξης στην εγκατάσταση είναι τριπλάσιο από το κόστος του υδρόψυκτου συστήματος, επηρεάζοντας σημαντικά το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Επιπλέον τα αερόψυκτα συστήματα χαρακτηρίζονται από αυξημένες ιδιοκαταναλώσεις. Επηρεάζοντας την συνολική ηλεκτροπαραγωγή της εγκατάστασης.

2.6.3 Παραδείγματα

Σταθμός 50 MW_{el} με σύστημα αποθήκευσης 7,5 ωρών

Το κόστος αναφέρεται σε ένα σταθμό παραγωγής ενέργειας, σε περιοχή με υψηλό Ηλιακό Δυναμικό, με χρήση ρευστού μεταφοράς θερμότητας για την λήψη της θερμότητας από το ηλιακό πεδίο. Το σύστημα αποθήκευσης που χρησιμοποιείται

είναι δυναμικότητας 7,5 ωρών και χρησιμοποιεί τετηγμένα άλατα, και θερμή και ψυχρή δεξαμενή αποθήκευσης.

Πίνακας 2. 6: Ανάλυση Κόστους Κατασκευής Σταθμού ισχύς 50MW με σύστημα αποθήκευσης 7,5 ωρών (20)

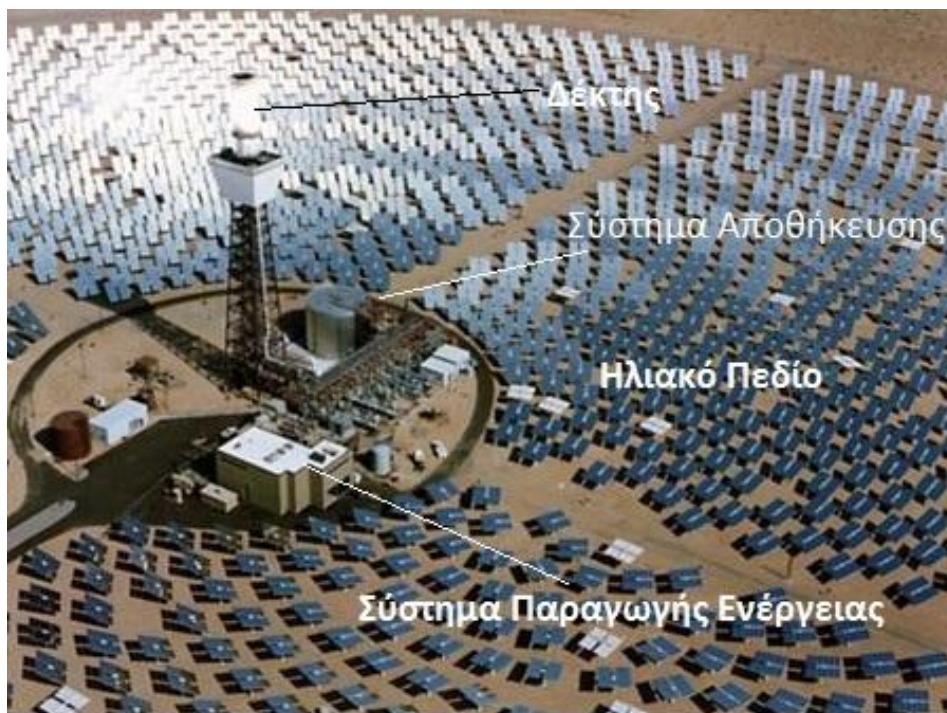
Τμήμα εγκατάστασης	Επένδυση(€)	Επένδυση(%)
Ηλιακό πεδίο	123.487.000	46
Ηλιακό πεδίο	105.163.000	40
Τμήμα ρευστού μεταφοράς θερμότητας	14.437.000	5
Λοιπός εξοπλισμός (50%)	3.887.000	1
Τμήμα ηλεκτροπαραγωγής	55.690.000	21
Λέβητας φυσικού αερίου	3.051.000	1
Εκκενωτής	4.767.000	2
ΒΟΡ	13.173.000	5
Εγκατάσταση παραγωγή ενέργειας	30.811.000	12
Λοιπός εξοπλισμός (50%)	3.887.000	1
Κόστος Γής	1.211.000	0
Αποθήκευση θερμότητας	33.187.000	12
Σύστημα αποθήκευσης	19.837.000	7
Άλατα	13.350.000	5
Κατασκευή	26.584.000	10
Μηχανολογική έρευνα	12.839.000	5
Απρόοπτα έξοδα	12.839.000	5
Σύνολο	265.837.000	100

Κεφάλαιο 3^ο Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με συστήματα Κεντρικού Δέκτη (Ηλιακοί Πύργοι)

3.1 Εισαγωγή

Με την χρήση συστημάτων κεντρικού δέκτη υψηλές συγκεντρώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας επιτυγχάνονται σε ένα σημείο. Μέσω του ηλιακού πεδίου η προσπίπτουσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται στον δέκτη ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του πύργου. Τα συστήματα ηλιακού πύργου χαρακτηρίζονται από συγκεντρώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας από 200 έως 1000 φορές, με αυτό τον τρόπο θερμοκρασίες μέχρι και 1200 °C μπορούν να επιτευχθούν στον δέκτη, επιτρέποντας την χρήση συμβατικών θερμοδυναμικών κύκλων υψηλής απόδοσης. Λόγω αυτής της δυνατότητας, σταθμοί παραγωγής ενέργειας μεγάλης ισχύος και υψηλής απόδοσης μπορούν να κατασκευασθούν με συστήματα κεντρικού δέκτη. Ένας σταθμός παραγωγής ενέργειας με χρήση ηλιακού πύργου αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- Ηλιακό Πεδίο
- Ηλιακό Δέκτη (τοποθετημένο στην κορυφή του πύργου)
- Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας
- Σύστημα αποθήκευσης



Σχήμα 3. 1: Τυπική εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας με σύστημα ηλιακού πύργου ισχύος

Τα συστήματα παραγωγής ενέργειας και αποθήκευσης, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται και στου σταθμούς παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών, καθώς τα συστήματα κεντρικού δέκτη χρησιμοποιούν κυρίως κύκλους Rankine για την παραγωγή Ενέργειας. Για αυτό τον λόγο δεν θα αναλυθούν στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

3.2 Ηλιακό Πεδίο

3.2.1 Γενικά

Το ηλιακό πεδίο μίας εγκατάστασης ηλιακού πύργου χαρακτηρίζεται από τα ανεξάρτητου άξονα οπτικά μεταξύ ηλιοστατών και δέκτη. Λόγω της σταθερής θέσης του δέκτη στην κορυφή του πύργου, το σύνολο των ηλιοστατών του ηλιακού πεδίου πρέπει να ανακλάει την ηλιακή ακτινοβολία με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε ηλιοστάτης ξεχωριστά να τοποθετεί την επιφάνεια του κάθετα στην διχοτόμο της γωνίας που ορίζεται από την θέση του Ήλιου και του Ηλιακού δέκτη. Σε ένα σύστημα Ηλιακού πύργου το ηλιακό πεδίο αποτελείται από:

- Τους Ηλιοστάτες, μέσω των οποίων η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται στον Δέκτη.
- Το σύστημα Ελέγχου του Ηλιακού πεδίου, για την κίνηση των ηλιοστατών κατά την διάρκεια της ημέρας, με σκοπό την βέλτιστη αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας.

3.2.2 Ηλιοστάτες

Οι ηλιοστάτες μαζί με τον δέκτη αποτελούν το πιο βασικό τμήμα του ηλιακού πεδίου ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας με σύστημα κεντρικού δέκτη. Κάθε Ηλιοστάτες αποτελείται από:

- Την Ανακλαστική Επιφάνεια
- Το σύστημα Στήριξης-Μηχανισμός Κίνησης
- Τοπικό σύστημα Ελέγχου

Ανακλαστική Επιφάνεια

Η ανακλαστική επιφάνεια ενός Ηλιοστάτη αποτελείται από έναν αριθμό κατόπτρων που όλα μαζί αποτελούν δημιουργούν μια ανακλαστική επιφάνεια με εμβαδό που μπορεί να ξεπεράσει και τα 120 τετραγωνικά μέτρα. Ο σχεδιασμός γίνεται με σκοπό την δημιουργία μιας επιφάνειας με το μέγιστο βαθμό αντανάκλασης και το ελάχιστο δυνατό βάρος, ώστε να επιτρέπεται η κίνηση της ανακλαστικής

επιφάνειας σε δύο άξονες. Για την βελτιστοποίηση του κόστους εξελίσσονται διάφορες τεχνολογίες ηλιοστατών από τους εκάστοτε κατασκευαστές.

Η πρώτη προσέγγιση είχε ως στόχο την αύξηση της ανακλαστικής επιφάνειας με χρήση καμπύλων επιφανειών, κατασκευασμένες από έναν μεγάλο αριθμό ανακλαστικών υπό-επιφανειών μεγέθους 3 με 6 τετραγωνικών μέτρων. Η αύξηση του μεγέθους των ανακλαστικών επιφανειών οδηγεί σε μείωση του συνολικού κόστους του Ηλιοστάτη, καθώς το κόστος των υποσυστημάτων του ηλιοστάτη (όπως το σύστημα κίνησης) δεν αυξάνεται γραμμικά με το μέγεθος της ανακλαστικής επιφάνειας. Ωστόσο το πλεονέκτημα των μεγάλων ανακλαστικών επιφανειών, περιοριζόταν από την αύξηση των οπτικών απωλειών και τα προβλήματα που αφορούν των καθαρισμό των μεγάλων επιφανειών.



Σχήμα 3. 2: Ηλιοστάτης "Sanlucar 90" (7)

Η δεύτερη τεχνολογία χρησιμοποιεί νέα ελαφριά υλικά όπως ανακλαστήρες από πολυμερή υλικά και σύνθετα υλικά κατασκευής, για την κατασκευή ηλιοστατών με χρήση τεντωμένων μεμβρανών. Το τύμπανο τεντωμένης μεμβράνης αποτελείται από έναν μεταλλικό δακτύλιο, μέσω του οποίου μεμβράνες από χάλυβα πάχους 0,4 χιλιοστών συγκρατούνται. Συνθήκες κενού δημιουργούνται μέσα στην κοιλότητα, ενώ η καμπυλότητα διασφαλίζεται μέσω ενός φυσητήρα. (6)



Σχήμα 3. 3 Τυπικό σχήμα Ηλιοστάτη τεχνολογίας "stretched membrane"

Τέλος η εταιρεία “BrightSourceEnergy” κατασκευάζει ηλιοστάτες που αποτελούνται από δύο κομμάτια ανακλαστικών επιφανειών συνολικού εμβαδού 14,4 τετραγωνικών μέτρων, με σκοπό την βέλτιστη απόδοση, το μικρότερο βάρος και το φθηνότερο κόστος κατασκευής. (23)



Σχήμα 3. 4 Ηλιοστάτης "LPT 550" της εταιρείας “Bright Source Energy” (23)

Σύστημα Στήριξης-Μηχανισμός κίνησης

Το σύστημα στήριξης των Ηλιοστατών αποτελείται από χαλύβδινους πυλώνες σε σχήμα Ταφ, κατασκευασμένους με σκοπό να αντέχουν το βάρος της ανακλαστικής επιφάνειας, και βρίσκονται παχτωμένοι στο έδαφος. Το σύστημα στήριξης επιτρέπει την κίνηση της ανακλαστικής επιφάνειας σε δύο ανεξάρτητους άξονες για την βέλτιστη θέση του ηλιοστάτη σε κάθε χρονική στιγμή.



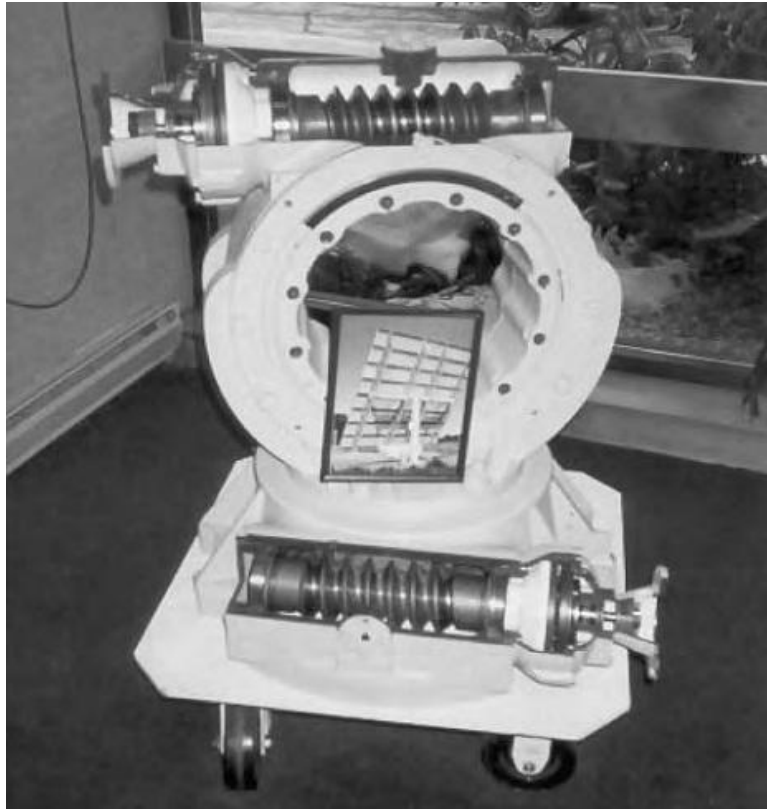
Σχήμα 3. 5: Τυπικό σχήμα βάσης Στήριξης Ηλιοστάτη

Ο μηχανισμός κίνησης του ηλιοστάτη είναι υπεύθυνος για την ανεξάρτητη κίνηση τόσο ως προς την γωνία αζιμούθιου όσο και ως προς την γωνία ανύψωσης, με τέτοιο τρόπο ώστε οι ανακλαστικές επιφάνειες να ακολουθούν την θέση του Ήλιου και να ανακλούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο σημείο εστίασης. Ο λόγος μεταξύ της γωνίας πρόσπτωσης και της ανακλώμενης δέσμης οδηγεί σε διπλασιασμό του γωνιακού λάθους στο δέκτη, για αυτό το λόγο το σύστημα εντοπισμού πρέπει να χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή ακρίβεια. Ο μηχανισμός κίνησης του Ηλιοστάτη πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Να είναι στιβαρή κατασκευή ικανή να αντέχει το δικό του βάρος, το βάρος του συστήματος στήριξης καθώς και τα αυξημένα φορτία λόγω αέρα, επιπλέον πρέπει να είναι άκαμπτος ώστε να μην επηρεάζεται από δονήσεις χαμηλών συχνοτήτων.
- Να μπορεί να επιτυγχάνει εξαιρετικά αργές κινήσεις, με υψηλούς λόγους μείωσης της κίνησης (μέχρι και 40.000:1).
- Μεγάλη ακρίβεια ως προς την δυνατότητα της θέσης τοποθέτησής και έλλειψη ελεύθερης κίνησης.
- Δυνατότητα ταχύτατης επαναφοράς του Ηλιοστάτη σε κατάλληλη θέση αποθήκευσης σε περίπτωση υψηλών ανέμων ή επικίνδυνων καιρικών φαινομένων.
- Ανθεκτικός σε συνθήκες εξωτερικού χώρου.
- Εύκολη συντήρηση.
- Χαμηλό κόστος παραγωγής και λειτουργίας.

Το σύστημα κίνησης που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε διατάξεις αυτού του τύπου χρησιμοποιούν μειωτήρες στροφών με γρανάζι ατέρμονα άξονα τόσο για τον άξονα ανύψωσής όσο και στον άξονα αζιμούθιου. Και οι δύο διατάξεις μειωτήρων είναι απαραίτητο να είναι όμοιοι ως προς το σχήμα των δοντιών τους και του λόγου

μείωσης. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει πρώτα ένα πλανητικό σύστημα μειωτήρα το οποίο ακολουθείται από έναν δεύτερο μειωτήρα με χρήση γραναζιών ατέρμονα άξονα, στην έξοδο. Το πλεονέκτημα του πλανητικού συστήματος μειωτήρα στροφών είναι η δυνατότητα για μεγάλους λόγους μείωσης σε περιορισμένο χώρο. Ενώ ο μειωτήρας με ατέρμονα οδοντωτό τροχό παρέχει δυνατότητα για υψηλούς λόγους πίεσης σε μεγάλες ορμές. Ωστόσο οι ατέρμονες κοχλίες χαρακτηρίζονται από μικρότερες αποδόσεις λόγω πιέσεων που οφείλονται στις αυξημένες τριβές. Η πίεση αυτή έχει τελικά θετικό αποτέλεσμα, καθώς το σύστημα κίνησης σταματά την κίνηση του, όταν η γωνία τριβής μεταξύ του ατέρμονα άξονα και του οδοντωτού τροχού είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική γωνία σχεδιασμού. (6)



Σχήμα 3. 6: Σύστημα κίνησης Ηλιοστάτη με χρήση ατέρμονα κοχλία (6)

Τοπικό Σύστημα Ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου του Ηλιοστάτη είναι υπεύθυνο για την διενέργεια κινήσεων ανάγκης και ασφαλείας(π.χ. ακραία καιρικά φαινόμενα), καθώς και για την διενέργεια υπολογισμών για την θέση του Ηλίου, ενώ είναι βρισκείται σε άμεση επικοινωνία με το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Οι νέες τάσεις είναι η αύξηση των δυνατοτήτων του τοπικού συστήματος ελέγχου των ηλιοστατών και της αυτονομίας τους. Επιπλέον εξετάζονται επιλογές, για την ασύρματη επικοινωνία Ηλιοστάτη-Συστήματος Ελέγχου καθώς και η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων παροχής ενέργειας για το σύστημα κίνησης. Στην Ηλιακή Πλατφόρμα της Αλμερίας υπάρχει σε λειτουργία εγκατάσταση 92 τελείως αυτόνομων Ηλιοστατών. (6)

3.2.3 Σύστημα Ελέγχου Ηλιακού Πεδίου

Το σύστημα ελέγχου των σταθμών παραγωγής ενέργειας με σύστημα Ηλιακού Πύργου Ισχύος είναι πιο σύνθετο από αυτό των υπόλοιπων σταθμών παραγωγής ενέργειας με θερμικά ηλιακά συστήματα, καθώς ο πύργος χαρακτηρίζεται από οπτικά εκτός άξονα και κάθε ηλιοστάτης έχει δυνατότητα ανεξάρτητης κίνησης για τον εντοπισμό της ηλιακής θέσης. Για τον σωστό έλεγχο του συστήματος απαιτείται η συνεργασία του Συστήματος Ελέγχου της Μονάδας Παραγωγής Ενέργειας και Δέκτη (Σ.Ε.Μ.Π.Ε.Δ) με το Σύστημα Ελέγχου του Ηλιακού Πεδίου (Σ.Ε.Η.Π)

Ο βασικότερος σκοπός του Σ.Ε.Η.Π είναι η διατήρηση της επιθυμητής θέσης για κάθε Ηλιοστάτη κάθε χρονική στιγμή, αναλόγως με τις ανάγκες του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Ο γενικότερος σκοπός του Σ.Ε.Η.Π είναι η δημιουργία μιας χώρο-χρονικής κατανομής της θερμοκρασίας στον δέκτη μέσω του ελέγχου της χρονικής εισαγωγής της κατάλληλης ομάδας ηλιοστατών, οι όποιοι έχουν προκαθορισμένα σημεία εστίασης στο δέκτη. Επιπλέον για την επίτευξη του σκοπού αυτού το σύστημα ελέγχου εναλλάσσει τα σημεία εστίασης κάθε Ηλιοστάτη και εναλλάσσει τις ομάδες των ηλιοστατών κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Για την σωστή επίτευξη του σκοπού αυτού είναι απαραίτητος ο κατάλληλος προγραμματισμός του συστήματος. Οι νέες τάσεις στα συστήματα ελέγχου είναι η κατανομή του ελέγχου, μέσω χρήσης ενός φυσικού λειτουργικού συστήματος πραγματικού χρόνου σε συνεργασία με ένα ετερογενές λογισμικό το οποίο αξιοποιεί δεδομένα πραγματικού χρόνου, με σκοπό την άμεση μονοσήμαντη απόκριση σε εξωτερικά (από το φυσικό περιβάλλον) και εσωτερικά (από τον χρήστη) γεγονότα. Το Σ.Ε.Μ.Π.Ε.Δ καθορίζει την πίεση και την θερμοκρασία του ρευστού μεταφοράς θερμότητας και του συστήματος παραγωγής ατμού. (6)

3.3 Ηλιακός Δέκτης

3.3.1 Γενικά

Στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας κεντρικού δέκτη, ο δέκτης βρίσκεται τοποθετημένος στην κορυφή του πύργου. Το ύψος του πύργου καθορίζεται από το μέγεθος του Ηλιοστατικού πεδίου. Το ύψος του πύργου επιτρέπει στους ηλιοστάτες που βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση από τον πύργο να ανακλούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία στον δέκτη.

Ο δέκτης είναι ένας ειδικά σχεδιασμένος εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος δέχεται διακοπτόμενη ανομοιόμορφη ροή θερμότητας, η οποία αναλόγως με το σχεδιασμό της εγκατάστασης μπορεί να είναι μονόπλευρη είτε στο σύνολο της επιφάνειας του δέκτη. Το μέγεθος του δέκτη καθορίζεται από την μέγιστη ροή θερμότητας που πρόκειται να εισέλθει στο δέκτη, για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μέσω του δέκτη έχουμε μετατροπή της Ηλιακής ενέργειας σε θερμική ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμβατικούς κύκλους παραγωγής ενέργειας. Η ροή θερμότητας και οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο δέκτη είναι υψηλότερες από αυτές που αναπτύσσονται στα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και για αυτό προηγμένα υλικά και τεχνολογίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του δέκτη. Ο δέκτης πρέπει να έχει συμπεριφορά μέλανος σώματος με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω ακτινοβολίας. Για τον σκοπό αυτό στην κατασκευή των συλλεκτών χρησιμοποιούνται κοιλότητες, σωληνώσεις με

κατάλληλη μαύρη επίστρωση η πορώδης απορροφητικές διατάξεις που έχουν την ιδιότητα να παγιδεύουν τα διαφεύγοντα φωτόνια. Ο δέκτης που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας μπορεί να είναι:

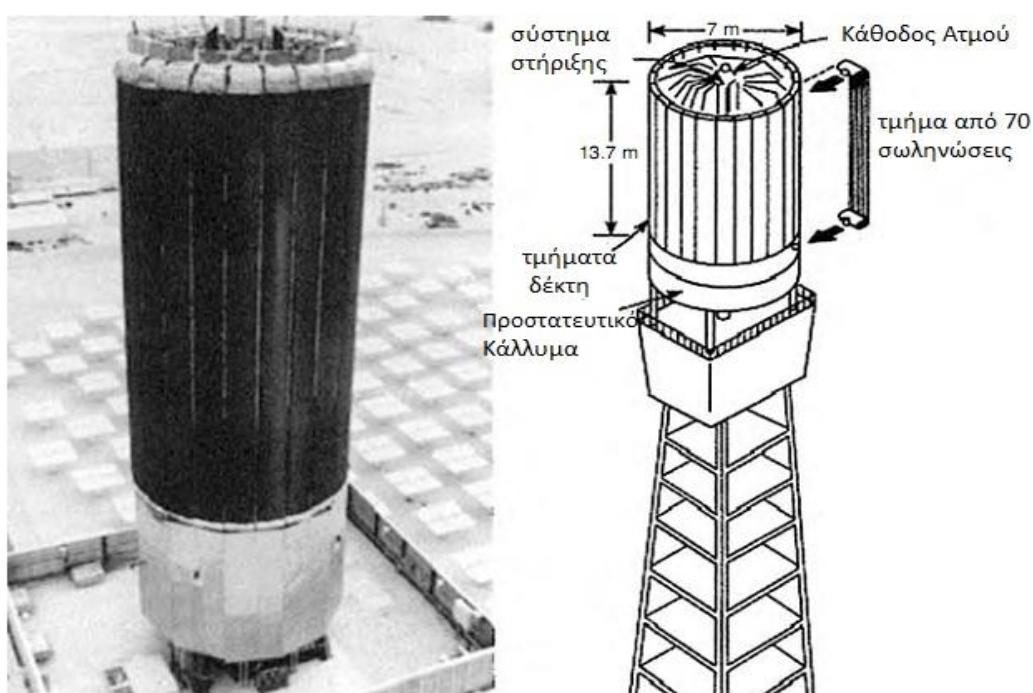
- Σωληνοειδής δέκτης (External Tubular Receiver or Cavity Tubular Receiver)
- Ογκομετρικός Δεκτήας (Volumetric Receiver)

Ενώ ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας στο δέκτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Τετηγμένα Άλατα (Molten Salts)
- Αέρας (Air)
- Νερό (όπου ο δέκτης λειτουργεί και σαν σύστημα παραγωγής ατμού)

Τυπικές τιμές λειτουργίας του δέκτη-απορροφητή είναι μεταξύ 500°C και 1200 °C, ενώ τυπικές τιμές της εισερχόμενης ροής θερμότητας είναι μεταξύ 300kW/m έως και πάνω από 1000 kW/m. (6)

3.3.2 Σωληνοειδής δέκτης



Σχήμα 3. 7: Διάταξη σωληνοειδή Δέκτη (6)

Το σύστημα δέκτη το οποίο χρησιμοποιείται πιο συχνά σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας ηλιακού πύργου είναι ο κυλινδρικός δέκτης όπου η προσπίπτουσα ηλιακή

ακτινοβολία μεταφέρεται στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας μέσω ενός μεταλλικού ή κεραμικού τοίχου. Συμβατικές διατάξεις με σκούρους μεταλλικούς σωλήνες έχουν χρησιμοποιηθεί με ατμό ή τετηγμένα άλατα ως ρευστό μεταφοράς και επιτυγχάνοντας θερμοκρασίες από 500 °C έως 600°C. Πολύ μικρότερη είναι η εμπειρία σε κυλινδρικούς δέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούν ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας αέρα, ωστόσο έχουν επιτευχθεί θερμοκρασίες από 800 °C έως και 900 °C.

Με κριτήριο την γεωμετρική τους διάταξη, οι σωληνοειδής δέκτες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Εξωτερικούς δέκτες (external receivers)
- Δέκτες Κοιλότητας (cavity receiver)

Στους δέκτες Κοιλότητας, η ανακλώμενη από τους ηλιοστάτες ακτινοβολία διέρχεται μέσα από ένα άνοιγμα σε μια κυβοειδή κατασκευή πριν προσκρούσει στην επιφάνεια του εναλλάκτη θερμότητας. Λόγω γεωμετρικών περιορισμών οι δέκτες κοιλότητας χρησιμοποιούνται σε Βόρειες (ή Νότιες) διατάξεις του Ηλιακού Πεδίου. Ένας τυπικός Δέκτης κοιλότητας φαίνεται στο σχήμα!

Οι εξωτερικοί δέκτες μπορούν να κατασκευάζονται συνήθως με χρήση κυλινδρικών σωληνοειδών πάνελ και αποτελούν την τυπική λύση για περίπτωσης που το Ηλιακό πεδίο περικυκλώνει τον Πύργο. Ένας τυπικός εξωτερικός κυλινδρικός δέκτης φαίνεται στο σχήμα!

Συστήματα Δέκτη κοιλότητας έχουν δοκιμαστεί στην Γαλλία (Themis) και στην Ισπανία (IEA-SSPS-CRS project). Συστήματα εξωτερικού κυλινδρικού δέκτη έχουν χρησιμοποιηθεί στις εγκαταστάσεις Solar One και Solar Two στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής καθώς και σε πειραματικές εγκαταστάσεις σε Ευρώπη και Ιαπωνία.

Αναλόγως των ιδιοτήτων του ρευστού μεταφοράς θερμότητας και της προσπίπτουσας στο δέκτη ροή θερμότητας, οι σωληνώσεις του δέκτη μπορούν να υποστούν σε υψηλές θερμο-μηχανικές τάσεις. Επειδή η μεταφορά θερμότητας γίνεται μέσω της σωληνοειδούς επιφάνειας, είναι δύσκολη η λειτουργία του δέκτη για ροές θερμότητας πάνω από 600kW/m (μέγιστη τιμή ροής) (6), (24)

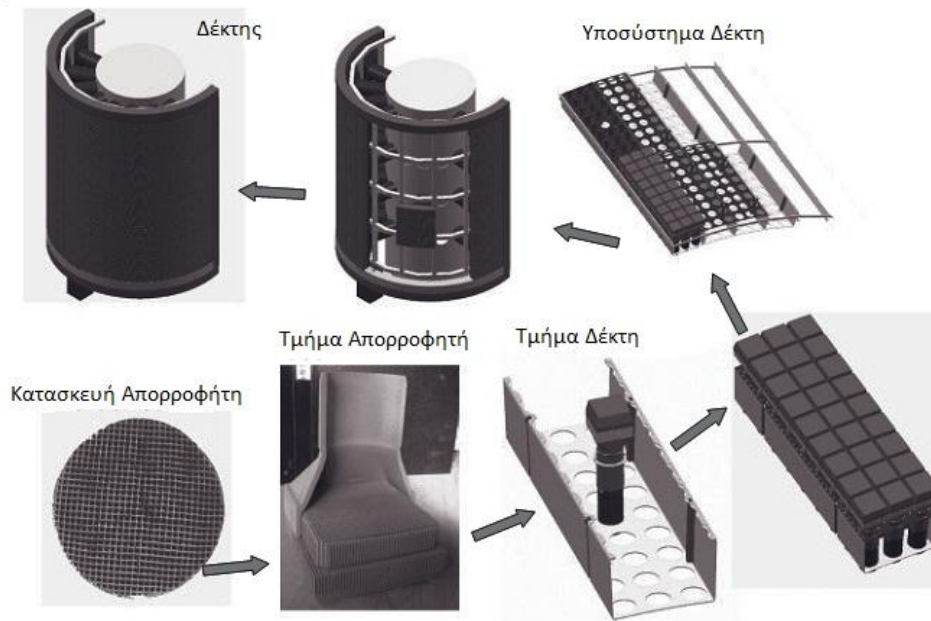
3.3.3 Ογκομετρικός Δέκτης

Οι ογκομετρικοί δέκτες είναι κατασκευές με πολύ πορώδη χαρακτηριστικά οι οποίοι λειτουργούν ως εναλλάκτες θερμότητας και μέσω συναγωγής απορροφούν την

συγκεντρωμένη στο δέκτη ηλιακή ακτινοβολία. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας δεν γίνεται στην εξωτερική επιφάνεια του δέκτη, αλλά στο εσωτερικό του «όγκου». Το μέσο μεταφοράς θερμότητας (κυρίως αέρας) οδηγείται μέσα στην πορώδη κατασκευή και θερμαίνεται με μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής. Οι δέκτες είναι συνήθως κατασκευασμένοι είτε από λεπτά καλώδια (διατεταγμένα είτε πεπλεγμένα είτε σε στρώσεις) τα οποία αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες είτε από μεταλλικές ή κεραμικές ανοιχτές κυψελίδες σε κατάλληλη διάταξη. Οι καλοί ογκομετρικοί δέκτες είναι πολύ πορώδης, επιτρέποντας στην ακτινοβολία να εισχωρήσει βαθειά μέσα στην κατασκευή. Λεπτές υπό-κατασκευές (καλώδια, τοίχοι ή στηρίγματα) διασφαλίζουν την καλή μεταφορά της θερμότητας. Χαρακτηριστικό ενός καλού δέκτη είναι η δημιουργία του ογκομετρικού φαινομένου, κατά το οποίο η πλευρά του δέκτη που δέχεται την ακτινοβολία βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το μέσω το οποίο φεύγει από τον απορροφητή. Κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας οι ογκομετρικοί δέκτες τείνουν να έχουν ασταθή κατανομή της ροής μάζας. Κατάλληλες ρυθμίσεις με στοιχεία διαμόρφωσης της ροής (π.χ. διατηρητές πλάκες) τα οποία βρίσκονται τοποθετημένα πίσω από τον δέκτη, η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας καθώς και η το υλικό του απορροφητή μπορούν να περιορίσουν τέτοια φαινόμενα.

Οι ογκομετρικοί δέκτες μπορούν να λειτουργούν είτε εκτεθειμένοι στο περιβάλλον είτε κλεισμένοι από ένα διαφανές παράθυρο. Με την χρήση μεταλλικών απορροφητών είναι δυνατή η επίτευξη θερμοκρασιών εξόδου του αέρα μέχρι και 850°C, ενώ με την χρήση κεραμικών ινών, αφρών, ή μονόλιθων, η θερμοκρασία εξόδου του αέρα μπορεί να ξεπεράσει τους 1000 °C. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των αερόψυκτων ογκομετρικών δεκτών είναι:

- Ο αέρα είναι δωρεάν και βρίσκεται πάντα διαθέσιμος
- Δεν υπάρχει κίνδυνος στερεοποιήσεις του εργαζόμενου μέσου
- Δυνατότητα για επίτευξη πολύ υψηλών θερμοκρασιών και συνεπώς χρησιμοποίηση της θερμότητας σε ποιο αποδοτικού κύκλους
- Το εργαζόμενο μέσω δεν παρουσιάζει αλλαγή φάσης
- Πιο απλό σύστημα
- Άμεση απόκριση του συστήματος σε μεταβολές της εισερχομένης ροής θερμότητας
- Δεν είναι απαραίτητη η λήψη ειδικών μέτρων ασφαλείας
- Απουσία περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων (24)



Σχήμα 3. 8: Ανάλυση συστημάτων ογκομετρικού δέκτη (24)

3.4 Περιγραφή Λειτουργίας Πύργων-Απώλειες

3.4.1 Γενικά

Λόγω της πολυπλοκότητας των διατάξεων, κυρίως σε ότι αφορά τις οπτικές απώλειες των συστημάτων Ηλιακού Πύργου, καθώς και την έλλειψη μεγάλης εμπειρίας για την τεχνολογία αυτή σε παγκόσμιο επίπεδο, η περιγραφή λειτουργίας και των απωλειών θα γίνει με βάση την περιγραφή των εγκατεστημένων σταθμών οι οποίοι είναι σε λειτουργία. Οι περισσότεροι σταθμοί που χρησιμοποιούν συστήματα κεντρικού δέκτη και βρίσκονται σε λειτουργία, ουσιαστικά αποτελούν πιλοτικά έργα μεγάλης κλίμακας. Ωστόσο μια σειρά εγκαταστάσεων μεγάλης ισχύος βρίσκονται υπό κατασκευή ή υπό σχεδιασμό, όπως φαίνονται στους πίνακες 1.3 και 1.4.

3.4.2 Σύστημα με χρήση νερού-ατμού στο δέκτη

Η χρήση νερού ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και η άμεση παραγωγή ατμού μέσω του δέκτη είναι μια τεχνολογία η οποία θεωρείται αρκετά ώριμη. Η παραγωγή υπέρθερμου ατμού στον ηλιακό δέκτη έχει παρουσιαστεί με επιτυχία σε αρκετούς πειραματικούς σταθμούς (π.χ: Solar One, Eurelios και CESA-1). Η εφαρμογή ωστόσο παρουσίασε κάποια πολύ σημαντικά προβλήματα που αφορούν τον έλεγχο περιοχών του δέκτη με διαφορετικούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, όπως ο ατμοποιητής, και υπερθερμαντήρας. Καλύτερα αποτελέσματα σε ότι αφορά την

διάρκεια ζωής και τον έλεγχο του απορροφητήρα, έχουν καταγραφεί για τους δέκτες κορεσμένου ατμού. Παρά το γεγονός ότι τα τεχνικά ρίσκα είναι μειωμένα για δέκτες κορεσμένου ατμού, οι θερμοκρασίες εξόδου από των δέκτη είναι σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τους δέκτες υπέρθερμου ατμού.

Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία των δεκτών έχουν οδηγήσει στην εμπορική διάθεση διατάξεων οι οποίες επιτρέπουν την παραγωγή υπέρθερμου ατμού στο δέκτη θερμοκρασίας μέχρι και 550°C και πίεσης 150 bar. Η εταιρεία που παρέχει αυτή την τεχνολογία είναι η αμερικάνικη “BrightSource Energy”, η οποία έχει αναλάβει τον σχεδιασμό και την εξέλιξη ενός μεγάλου αριθμού σταθμών που πρόκειται να κατασκευαστούν στο άμεσο μέλλον. (6), (23)

Planta Solar 10 (PS10)

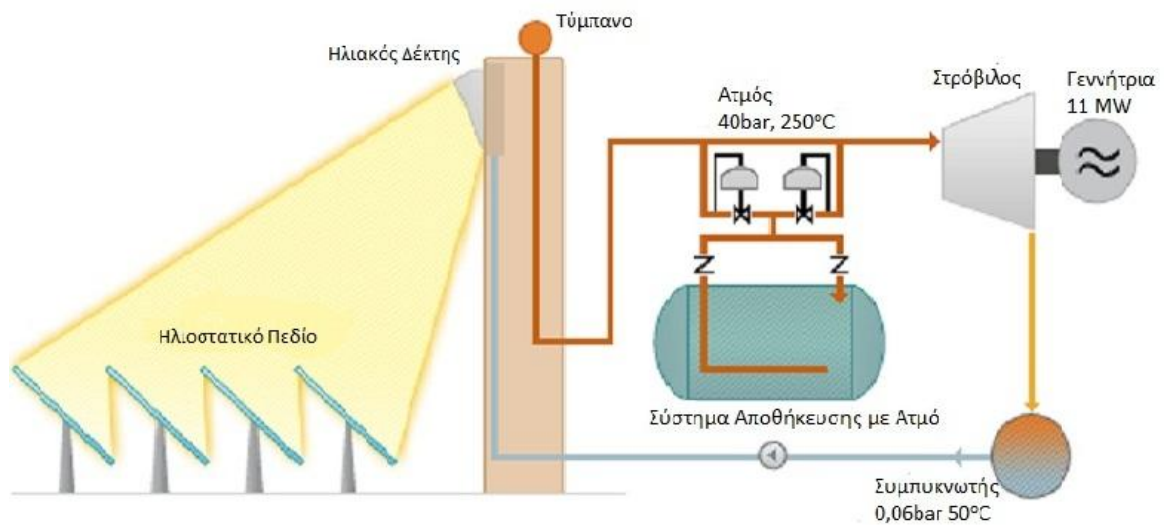
Ο πρώτος εμπορικός σταθμός παραγωγής ενέργειας με χρήση ηλιακού πύργου ο οποίος συνδέθηκε στο δίκτυο, χρησιμοποιούσε δέκτη ο οποίος παρήγαγε κορεσμένο ατμό. Η ονομασία του είναι PS10 και είναι σε λειτουργία από το 2007, και βρίσκεται εγκατεστημένος στην Ισπανία, κοντά στην Σεβίλλη. Ο σχεδιασμός του πύργου έγινε με σκοπό την παραγωγή 23 GWh ηλεκτρικού ρεύματος το χρόνο. Για την κατασκευή του έγινε χρήση τεχνολογιών για τις οποίες υπήρχε η μεγαλύτερη εμπειρία. Οι ηλιοστάτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι “Sanlucar 120”, ενώ ο δέκτης είναι κυλινδρικός τοποθετημένος σε κοιλότητα. Μέσω της διάταξης Ηλιοστατών-Δέκτη έχουμε παραγωγή κορεσμένου ατμού πίεσεως 40bar και θερμοκρασίας 250°C. Επιπλέον ο σταθμός διαθέτει σύστημα αποθήκευσης θερμότητας με χρήση κορεσμένου ατμού, το οποίο παρέχει την δυνατότητα για λειτουργία του σταθμού για χρονικό διάστημα 50 λεπτών στο 50% του ονομαστικού φορτίου και εφεδρικό σύστημα καυστήρα για την παραγωγή θερμότητας, με καυστήρα φυσικού αερίου.

Η συνολική έκταση της εγκατάστασης είναι 75.000 m² και χρησιμοποιεί 624 Ηλιοστάτες εμβαδού 120 m². Το ύψος του πύργου είναι 90 μέτρα και ο δέκτης ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του πύργου είναι κατασκευασμένος από 4 κάθετες επιφάνειες οι οποίες έχουν πλάτος 5,5 μέτρα και ύψος 12 μέτρα. Τα πάνελ του δέκτη είναι τοποθετημένα ημικυκλικά και είναι τοποθετημένα σε μια τετραγωνική κοιλότητα πλευράς 11 μέτρων. Η εταιρεία που ανέλαβε την εξέλιξη και την κατασκευή του πύργου είναι η “Abegnoa Solar”, εταιρεία με μεγάλη εμπειρία στο χώρο των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων. Την επιτυχημένη εγκατάσταση και λειτουργία του PS10, ακολούθησε η εγκατάσταση ενός σταθμού ισχύος 20MW, με παρόμοια με τον PS10. Η εμπορική ονομασία του νέου σταθμού είναι PS20 και έχει τεθεί σε λειτουργία από τα τέλη του 2009. (6), (7), (25)



Σχήμα 3. 9: Πανοραμική φωτογραφία σταθμών PS-10 και PS-20 (25)

Περιγραφή Λειτουργίας



Σχήμα 3. 10: Σχηματική παράσταση κύκλου ατμού του σταθμού PS-10 (25)

Το σύστημα κάνει χρήση του κορεσμένου ατμού για την παραγωγή ενέργειας μέσω ατμοστροβίλου, παρά το γεγονός της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας του κύκλου, ο βαθμός απόδοσης στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας είναι 30,7%, ο οποίος είναι σχετικά κάλος για τέτοιες θερμοκρασίες. Ο σχετικά υψηλός βαθμός απόδοσης είναι αποτέλεσμα της βέλτιστης χρήσης της παραγόμενης θερμότητας στον θερμοδυναμικό κύκλο. Μετά την έξοδο του από τον στρόβιλο το ρευστό οδηγείται

σε έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή, ο οποίος δουλεύει σε πίεση 0,06 bar. Μετά την έξοδο του από τον συμπυκνωτή το ρευστό προθερμαίνεται με χρήση ατμού 0,8 και 16bar, ο οποίος προέρχεται από μια σειρά απομαστεύσεων από τον στρόβιλο. Το ρευστό που εξέρχεται από τον πρώτο προθερμαντήρα οδηγείται στον απαεριωτή. Στον απαεριωτή εισέρχεται και ατμός ο οποίος προέρχεται από απομάστευση του στρόβιλου. Ένας διαχωριστής υγρασίας είναι εγκατεστημένος μεταξύ του στρόβιλου υψηλής και χαμηλής πίεσης με σκοπό την αύξηση της ποιότητας του ατμού στα τελευταία στάδια της εκτόνωσης. Ο τελευταίος προθερμαντήρας, τροφοδοτείται με ατμό προερχόμενο από τον δέκτη με σκοπό την αύξηση του νερού στους 245°C. Από την ανάμιξη με το νερό που εξέρχεται από το τύμπανο το τροφοδοτικό νερό αποκτά θερμοκρασία 247°C. Ο συνδυασμός των βαθμών αποδόσεων του οπτικού πεδίου, του δέκτη, και του συστήματος παραγωγής ενέργειας, οδηγεί τον ολικό βαθμό απόδοσης στο σημείο σχεδιασμού στο 21,7%. Ο ολικός ετήσιος βαθμός απόδοσης πέφτει στο 15,4%, λόγω των λειτουργικών και λοιπών απωλειών. Οι ονομαστικοί και οι ετήσιοι βαθμοί απόδοσης φαίνονται στον πίνακα. Ενώ η διάταξη φαίνεται στην εικόνα. (6) (26)

Πίνακας 3. 1: Βαθμός απόδοσης υποσυστημάτων PS-10 (6)

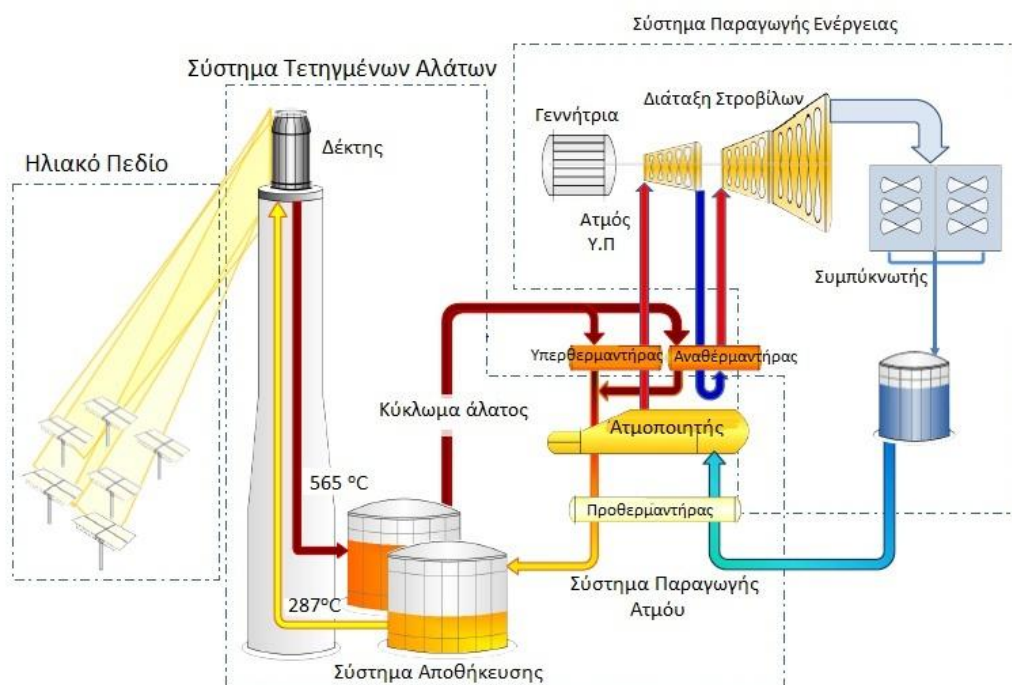
Βαθμοί Απόδοσης	Ονομαστική Λειτουργία	Ετήσια Λειτουργία
Οπτικός Βαθμός Απόδοσης	77%	64%
Βαθμός Απόδοσης Δέκτη	92%	90,2%
Βαθμός Θερμικού κύκλου	30,7%	30,6%
Ολικός Βαθμός Απόδοσης	21,7%	15,4%

3.4.3 Χρήση Τετηγμένων Αλάτων

Για την επίτευξη υψηλών ετήσιων συντελεστών εκμεταλλευσιμότητας, στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που κάνουν χρήση μόνο της Ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης θερμότητας. Ένα τέτοιο σύστημα αποθήκευσης θερμότητας χρησιμοποιεί τετηγμένα άλατα ως μέσο μεταφοράς θερμότητας από τον δέκτη προς τον θερμικό κύκλο, και ως μέσο αποθήκευσης. Για εγκαταστάσεις κεντρικού δέκτη, τα άλατα, που είναι συνήθως μίγμα 60% από sodium nitrate και 40% από potassium nitrate και πρέπει να έχουν συμβατά χαρακτηριστικά λειτουργίας με αυτά του θερμικού κύκλου. Σε ένα σταθμό ηλιακού πύργου με τετηγμένα άλατα, το ψυχρό άλας θερμοκρασίας 290°C με την βοήθεια αντλίας οδηγείται από την δεξαμενή η οποία βρίσκεται στην βάση του πύργου, στον ηλιακό δέκτη, προκειμένου να θερμανθεί από την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία και να φτάσει σε θερμοκρασία 565 °C. Το θερμό άλας ρέει από την κορυφή του πύργου προς την δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υπέρθερμου

ατμού στο σύστημα παραγωγής ατμού. Το σύστημα αυτό είναι παρόμοιο με το σύστημα που χρησιμοποιείται στα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών. Ο υπέρθερμος ατμός χρησιμοποιείται σε διάταξη στροβίλων για την παραγωγή ενέργειας. Στο σχήμα φαίνεται ένα σχεδιάγραμμα της εγκατάστασης.

Το ηλιακό πεδίο των εγκαταστάσεων αυτών μπορεί να υπερδιαστασιοποιηθεί προκειμένου να παράγεται η απαιτούμενη από το σύστημα αποθήκευσης θερμότητα. Με αυτού του τύπου τα συστήματα αποθήκευσης, οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας ηλιακού πύργου μπορούν να επιτύχουν συντελεστές εκμεταλλευσιμότητας μέχρι και 70%. Καθώς τα τετηγμένα άλατα έχουν μεγάλη δυνατότητα για αποθήκευση θερμότητας ανά μονάδα όγκου (500-700kWh/m³). (6)



Σχήμα 3. 11: Σχηματική διάταξη τυπικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με χρήση τετηγμένων αλάτων (π.χ. Solar Two)

Solar Two

Ένας σημαντικός αριθμός σταθμών είτε για έρευνα είτε για λόγους επίδειξης έχουν κατασκευαστεί με χρήση τετηγμένων αλάτων ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Ο μεγαλύτερος σταθμός που έχει κατασκευασθεί για λόγους επίδειξης και επιστημονικής μελέτης είναι ο "Solar Two", ένας σταθμός ισχύος 10 MW εγκατεστημένος στην Καλιφόρνια. Στην σύντομη διάρκεια της λειτουργίας του απέδειξε τις δυνατότητες της τεχνολογίας. Ο βαθμός απόδοσης του δέκτη μετρήθηκε στο 88%, ο θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης μετρήθηκε στο 97%, ενώ η μικτός βαθμός απόδοσης του κύκλου Rankine μετρήθηκε

στο 34%, όλες οι μετρήσεις ήταν σύμφωνες με τις προβλέψεις. Ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού πεδίου ήταν μικρότερος από αυτόν που είχε προβλεφθεί κυρίως λόγω χαμηλής διαθεσιμότητας των Ηλιοστατών και της φθοράς των Ηλιοστατών (χρησιμοποιήθηκαν οι Ηλιοστάτες που είχανε χρησιμοποιηθεί για τον πύργο Solar One, οι οποίοι είχανε παραμείνει χωρίς συντήρηση για 6 χρόνια). Για τον λόγο αυτό ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος μετρήθηκε στο 13,5%. Ο θερμοδυναμικός κύκλος του σταθμού Solar Two, φαίνεται στο σχήμα 3.11 (6) (26)

Solar Tres (Gemasolar)

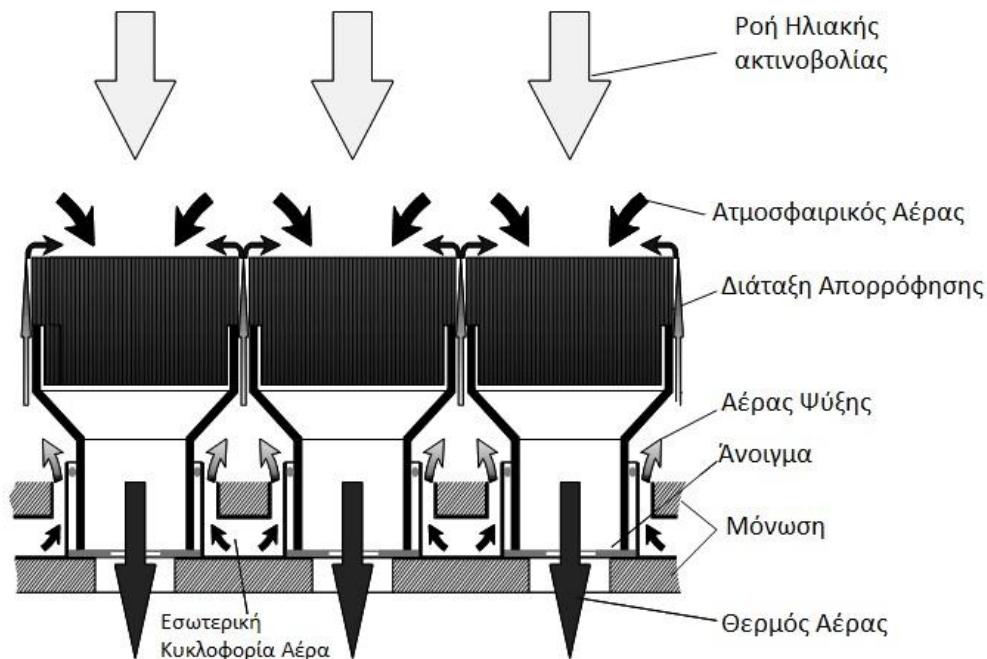
Ο πρώτος σταθμός μεγάλης κλίμακας με τεχνολογία τετηγμένων αλάτων και σύστημα αποθήκευσης μεγάλης δυναμικότητας είναι ο “Solar Tres ή Gemasolar” ο οποίος κατασκευάζεται από την “Torresol Energy”, στην Ισπανία. Η ισχύς του θα είναι 17MW_{el}, ενώ θα διαθέτει σύστημα αποθήκευσης δυναμικότητας 15 ωρών για λειτουργία στο ονομαστικό του φορτίο. Με το σύστημα αποθήκευσης, ο σταθμός αναμένεται να παράγει 105 GWh ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ο ετήσιος συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας αναμένεται στο 71%. Επιπλέον θα χρησιμοποιηθεί εφεδρικός καυστήρας φυσικού αερίου ο οποίος θα προσφέρει 15% επιπλέον ενέργεια. (27)

3.4.4 Χρήση Αέρα

Συστήματα Ατμοσφαιρικού Δέκτη-Πρότυπο PHOEBUS

Μια εναλλακτική μέθοδος από αυτή των τετηγμένων αλάτων είναι ένα σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε κυρίως από Ευρωπαϊκές Εταιρείες (μεταξύ άλλων Sulzer, Steinmuller, Kraftanlagen Munchen (KAM)) και ερευνητικά κέντρα (DLR, CIEMAT, SIJ at the Aachen University of Applied Sciences), η οποία χρησιμοποιεί αέρα ως μέσο μεταφοράς θερμότητας. Η μέθοδος αυτή φέρει την ονομασία: “PHOEBUS Concept”. Η μέθοδος αυτή έχει κάποια πρωτοποριακά και ελκυστικά πλεονεκτήματα, αλλά και κάποια μειονεκτήματα.

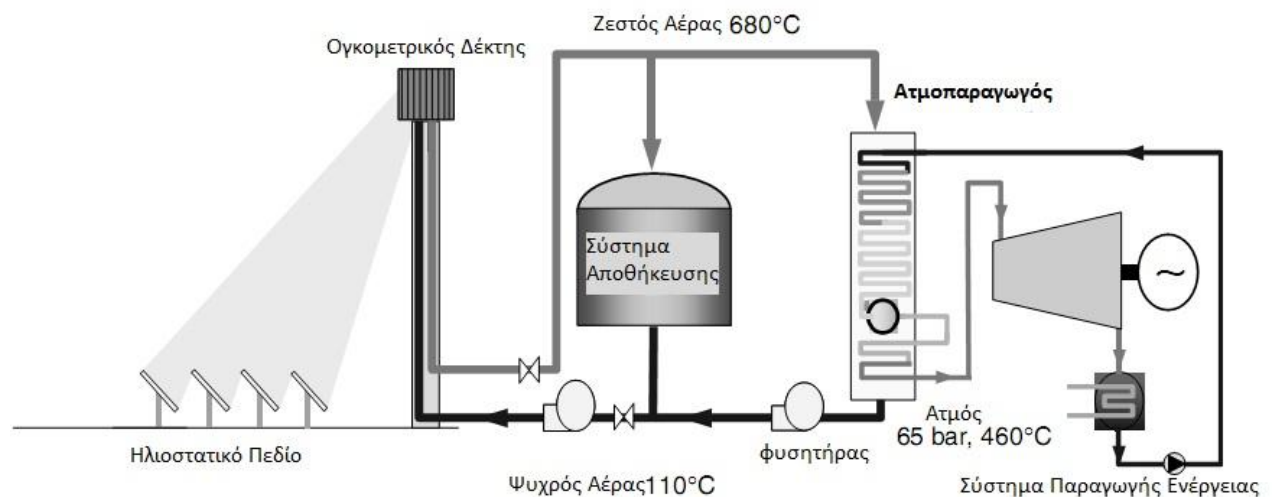
Στην τεχνολογία αυτή, ο ατμοσφαιρικός αέρας θερμαίνεται μέσω ενός ογκομετρικού δέκτη και φθάνει σε θερμοκρασίας της τάξεως των 700°C, στην συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού θερμοκρασίας 480 °C-540 °C και πίεσης 35-140bar, σε ένα ξεχωριστό σύστημα ανάκτησης θερμότητας για την παραγωγή ατμού με ξεχωριστά τμήματα υπερθερμαντήρα, αναθερμαντήρα, ατμοποιητή και προθερμαντήρα. Στην συνέχεια ο παραγόμενος ατμός τροφοδοτεί μια διάταξη στροβίλου-γεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχήμα 3. 12 : Σκαρίφημα Ογκομετρικού Δέκτη με χρήση ατμοσφαιρικού αέρα (6)

Το πρότυπο PHOEBUS ενσωματώνει σύστημα αποθήκευσης θερμότητας μέσω θερμοκλίνης, το οποίο του δίνει την δυνατότητα για αποθήκευση θερμότητας μεταξύ 3 και 6 ωρών το μέγιστο, και για αυτό για μεγαλύτερους συντελεστές εκμεταλλευσιμότητας είναι απαραίτητος ο υβριδισμός της εγκατάστασης με πρόσθετη καύση καυσίμου.

Η γερμανική συνεργασία TSA (Technology Program Solar Air Receiver), υπό την ηγεσία της εταιρείας Steinmuller εξέλιξε σημαντικά τμήματα του πρότυπου PHOEBUS. Στο τέλος του 1991, ένα δέκτης που χρησιμοποιούσε το πρότυπο PHOEBUS ισχύος $2,5\text{MW}_{\text{th}}$ τοποθετήθηκε στην κορυφή του πύργου CESA-1 στην Ηλιακή πλατφόρμα στην Αλμερία της Ισπανίας. Ο δέκτης δούλεψε με επιτυχία για 400 ώρες, υπό την εποπτεία της DLR και της CIEMAT, επιδεικνύοντας ότι αέρας θερμοκρασίας 700°C μπορούσε εύκολα να εξέλθει από την εγκατάσταση ύστερα από 20 λεπτά από την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης.



Σχήμα 3. 13: Σχηματική διάταξη συστήματος Phoebe (24)

Κατά την δημιουργία του σταθμού PS10, έγινε μελέτη για την βιωσιμότητα ενός σταθμού ισχύος 10 MW_{el} , ο οποίος θα χρησιμοποιούσε το πρότυπη τεχνολογία PHOEBUS. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας αποτελούν τις πιο αξιόπιστες πληροφορίες του ατμοσφαιρικού ογκομετρικού δέκτη. Σχήμα της προτεινόμενης διάταξης φαίνεται στο σχήμα 3.12. Ενώ τα χαρακτηριστικά απόδοσης της εγκατάστασης φαίνονται στον Πίνακα 3.2 Ο αριστερός φυσητήρας βοηθάει για την κυκλοφορία του αέρα μέσα από τον δέκτη, ενώ ο δεξιός φυσητήρας χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία του αέρα προς το σύστημα παραγωγής ατμού. Η θερμοκρασία εισόδου του αέρα στον δέκτη είναι $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ενώ η θερμοκρασία εξόδου $680 \text{ }^\circ\text{C}$. Οι αγωγοί εξόδου του θερμού αέρα είναι θερμομονωμένοι στο εσωτερικό τους επιτρέποντας την χρήση χαμηλότερου κόστους χάλυβα για την κατασκευή τους. Λόγω της εσωτερικής μόνωσης, η ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του αγωγού δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 33 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Η χρήση συστήματος αποθήκευσης είναι εφικτή και δεν παρουσιάζει κάποιο ιδιαίτερο ρίσκο, καθώς υπάρχει εμπειρία από βιομηχανικές εγκαταστάσεις (όπως στις τσιμεντοβιομηχανίες), και για αυτό τον λόγο προτάθηκαν σύστημα αποθήκευσης με θερμοκλίνη, η οποία χρησιμοποιεί πελέτες αλουμίνας, με δυνατότητα αποθήκευσης $1000 \text{ kWh}_{th}/\text{m}^3$. Το σύστημα παραγωγής ατμού είναι φυσικής κυκλοφορίας. Ατμός με παροχή μάζας $10,73 \text{ Kg/s}$ παράγεται σε θερμοκρασία $460 \text{ }^\circ\text{C}$ και πίεσης 65 bar , και τροφοδοτεί διάταξη στροβιλουγεννήτριας ονομαστικής μικτής ισχύς 11 MW_{el} με βαθμό απόδοσης 30%.

Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης πρέπει να είναι κατάλληλος ώστε να αποφεύγονται οι αγωγοί αέρα μεγάλου μήκους. Παρά το γεγονός ότι οι αερόψυκτοι είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος παραγωγής ενέργειας, η μέση θερμική απόδοση της διάταξης (74% στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας και 61,4% ετήσια μέση απόδοση) πρέπει να βελτιωθούν σημαντικά. Στην παρούσα φάση το

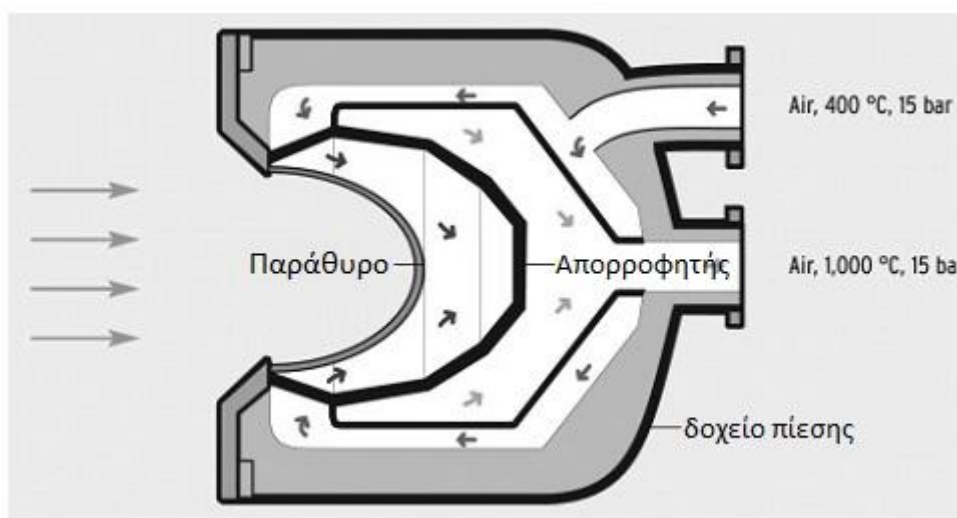
πλεονέκτημα από την υψηλή θερμοκρασία εξόδου θυσιάζεται λόγω των υψηλών απωλειών ακτινοβολίας στο δέκτη και η εξέλιξη των συστημάτων πρέπει να είναι στοχεύει στην μείωση των απωλειών στο δέκτη. (6) (24)

Πίνακας 3. 2: Βαθμοί απόδοσης εγκατάστασης με χρήση συστήματος Phoebus (6)

Βαθμοί Απόδοσης	Ονομαστική Λειτουργία	Ετήσια Λειτουργία
Οπτικός Βαθμός Απόδοσης	72,9%	64,7%
Βαθμός Απόδοσης Δέκτη	74%	61,4%
Βαθμός θερμικού κύκλου	30,9%	30,3%
Ολικός Βαθμός Απόδοσης	16,6%	12%

Συστήματα Συμπιεσμένου Αέρα

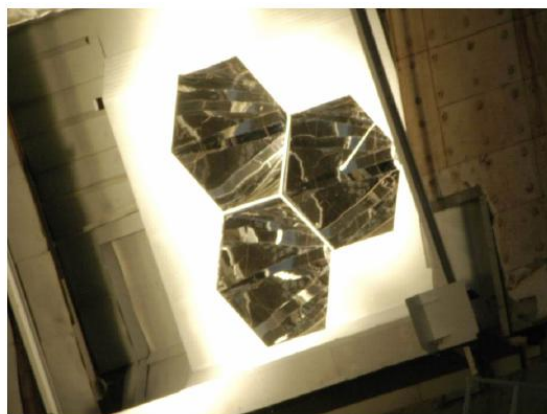
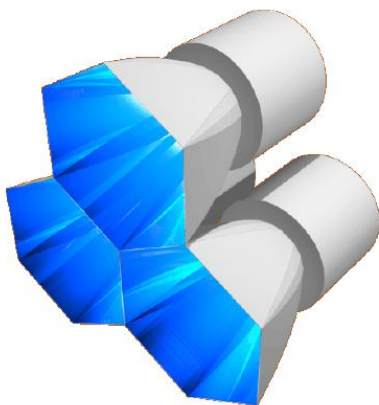
Τα συστήματα ογκομετρικού δέκτη πεπιεσμένου αέρα, ο θερμός αέρας χρησιμοποιείται κυρίως σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας τα οποία χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια και συμβατικά καύσιμα. Στα συστήματα αυτά, ο πεπιεσμένος αέρας(π.χ. πίεση 15 bar) οδηγείται μέσα από το απορροφητικό υλικό και θερμαίνεται σε θερμοκρασίες από 800°C έως και πάνω από 1200 °C , και στην συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αέρας καύσης σε σύστημα αεριοστρόβιλου ή σε σταθμού παραγωγής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου.



Σχήμα 3. 14: Ογκομετρικός Δέκτης με χρήση πεπιεσμένου αέρα (24)

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία εισέρχεται, μέσα από ένα κοίλο παράθυρο από χαλαζία το οποίο είναι κατασκευασμένο να αντέχει τις υψηλές πιέσεις, στον απορροφητή, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο εσωτερικό του δοχείου πίεσης (Σχήμα 3.14). Αναλόγως της συνολικά απαιτούμενης ισχύς από την εγκατάσταση, πολλοί δέκτες μπορούν να συνδεθούν, συνδεδεμένοι είτε σε σειρά είτε παράλληλα,

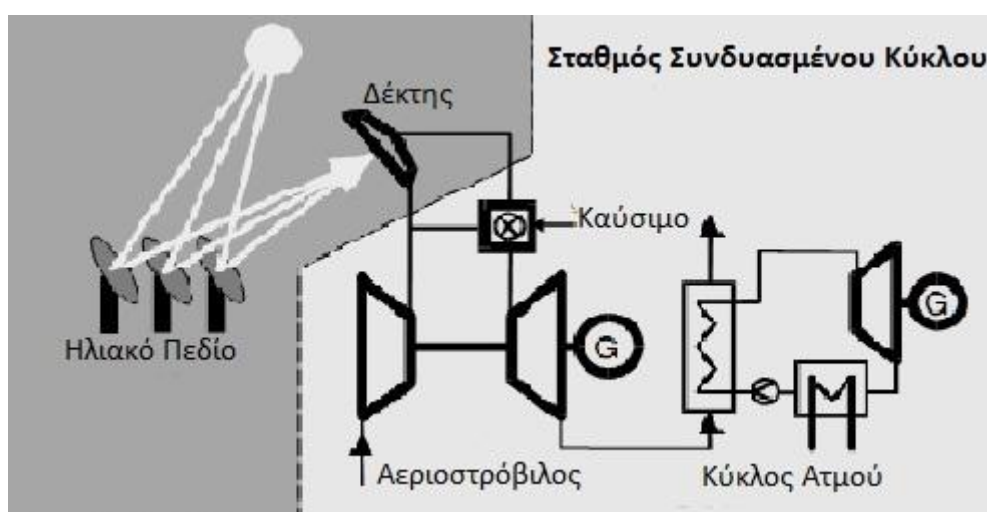
για την δημιουργία ενός δέκτη μεγάλης κλίμακας. Στις σύγχρονες διατάξεις δεκτών πεπιεσμένου αέρα μεγάλης κλίμακας οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε σειρά, χρησιμοποιούνται τρία στάδια δεκτών (σχήμα 3.17). Το πρώτο στάδιο αποτελείται από απλούς δέκτες κατασκευασμένους από χάλυβα, όπου ο αέρας θερμαίνεται στους 600 °C από την συγκεντρωμένη από τους ηλιοστάτες ηλιακή ροή. Το δεύτερο στάδιο μπορεί να αποτελείται από ειδικού κεραμικούς απορροφητές, όπου ο αέρας θερμαίνεται περαιτέρω. Μόνο στο τρίτο στάδιο του δέκτη είναι κατασκευασμένο σαν (κεραμικός) ογκομετρικός απορροφητής όπου ο αέρας τελικά θερμαίνεται σε θερμοκρασία 1200 °C. (Ωστόσο σύμφωνα με κάποιους μελετητές ακόμα και το δεύτερο στάδιο λειτουργεί σαν ογκομετρικός δέκτης). Για την επίτευξη των τελικών υψηλών στα τελευταία στάδια του δέκτη, είναι απαραίτητη η επιπλέον συγκέντρωση της εισερχόμενης ροής ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιπλέον συγκέντρωση επιτυγχάνεται με την βοήθεια κωνοειδών ανακλαστικών επιφανειών, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι μπροστά από το παράθυρο του δέκτη, από την ένωση ενός μεγάλου αριθμού εξαγωνικών υπό τμημάτων δημιουργείται μια κυψελοειδής κατασκευής (σχήμα 3.15). Λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών ο ογκομετρικός δέκτης συμπιεσμένου αέρα, παρουσιάζει πολύ υψηλό ετήσιο βαθμό απόδοσης (ετήσιος μέσος βαθμός απόδοσης πάνω από 20%, ενώ οι άλλοι δέκτες κυμαίνονται στο 16-18%), το οποίο επιτρέπει την μείωση του μεγέθους του (ακριβού) ηλιοστατικού πεδίου. Ένα μεγάλο μειονέκτημα του δέκτη συμπιεσμένου αέρα είναι η δυσκολία αποθήκευσης του και η απαίτηση για συστήματα αέρα σε δοχεία υψηλής πίεσης. Η εξέλιξη τους βρίσκεται σε αρκετά πρώιμο στάδιο και γίνεται αποκλειστικά στην Ευρώπη και για αυτό η επιτυχία της τεχνολογίας δεν είναι δεδομένη, βασικότερο τροχοπέδη στην εξέλιξη των συστημάτων αυτών αφορούν την ανάγκη για περαιτέρω εξέλιξη των υλικών της εγκατάστασης ώστε να αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. (24)



Σχήμα 3. 15: Κυψελοειδής Διάταξη στην είσοδο του δέκτη (26)

Εφαρμογή Δέκτη Ογκομετρικού Δέκτη για προθέρμανση αέρα καύσης, πρότυπο SOLGATE

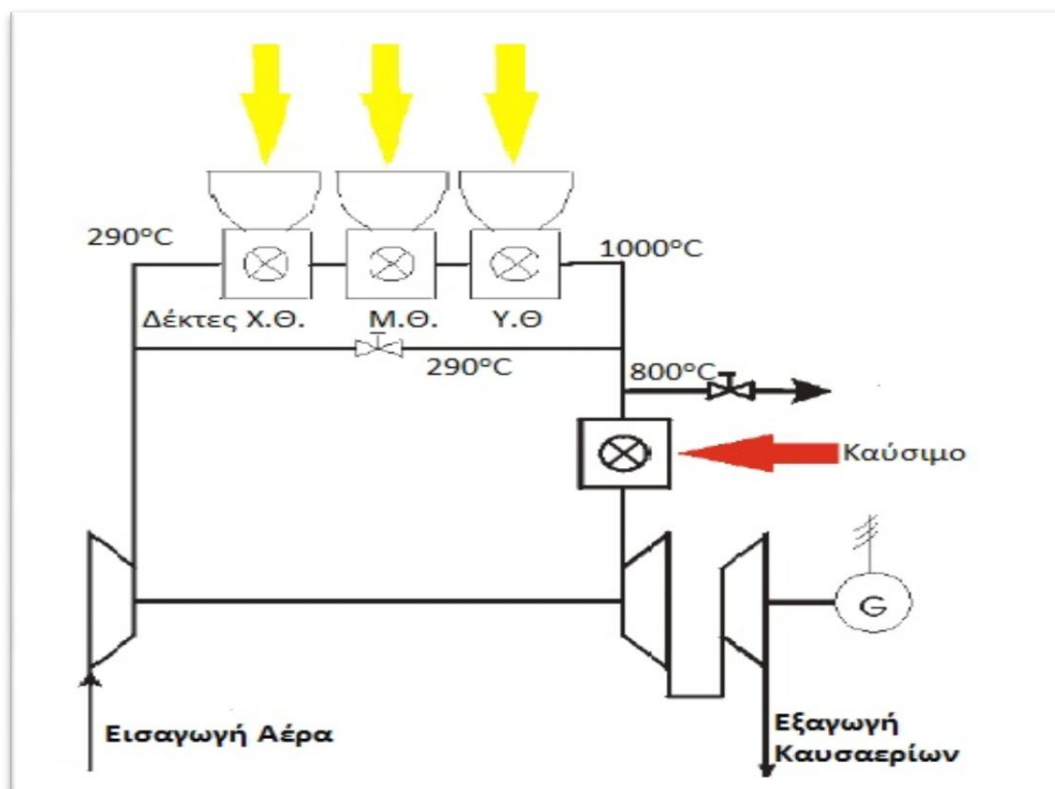
Οι δέκτες συμπιεσμένου αέρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υβριδικά συστήματα, όπου αέρας συμπιέζεται πριν εισέλθει στον ηλιακό δέκτη και στην συνέχεια θερμαίνεται μέσω της προσπίπτουσας συγκεντρωμένης ηλιακής ροής, πρώτου εισέλθει σε αεριοστρόβιλο, όπου χρησιμοποιείται ως αέρας καύσης. Ο αεριοστρόβιλος μπορεί να δουλεύει είτε ανεξάρτητα είτε να τροφοδοτεί με τα καυσαέρια του διάταξη συνδυασμένου κύκλου (σχήμα 3.16)



Σχήμα 3. 16: Διάταξη Ηλιακού πύργου με χρήση δέκτη πεπιεσμένου αέρα, πρότυπο "Solgate" (26)

Μια διάταξη η οποία χρησιμοποιούσε την τεχνολογία αυτή δοκιμάστηκε το 2001 σε ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα για την χρήση ενός ηλιακού δέκτη πιεσμένου αέρα μαζί με διάταξη αεριοστρόβιλου σε ένα τελείως υβριδικό σύστημα ισχύος 250kW. Το πρόγραμμα έφερε την ονομασία SOLGATE, και περιελάμβανε και την εξέλιξη του δέκτη για ανάπτυξη θερμοκρασιών της τάξεως των 1000 °C και την περαιτέρω μείωση του κόστους. Το σύστημα τοποθετήθηκε, στον πύργο CESA-1 στην ηλιακή πλατφόρμα στην Αλμερία, σε ύψος 60 μέτρων. Η δοκιμαστική εγκατάσταση αποτελείτο από τρία τμήματα δέκτη συνδεδεμένα σε σειρά. Ο εξερχόμενος από τον συμπιεστή συμπιεσμένος αέρας διερχόταν από την διάταξη ηλιακών δεκτών όπου θερμαινόταν από τους 290 °C στους 1000 °C, με αποκλειστική χρήση ηλιακής ενέργειας. Αέρας που παράκαμπε το σύστημα του δέκτη και αναμιγνυόταν με τον θερμό αέρα με σκοπό την ψύξη του αέρα στους 800 °C πρίν την είσοδο του στον στρόβιλο, λόγω κατασκευαστικών περιορισμών. Ο στρόβιλος δύο αξόνων παρείχε την απαιτούμενη ενέργεια για τον συμπιεστή και για την παραγωγή ενέργειας για το δίκτυο. Οι αποδόσεις που μετρήθηκαν ήταν μεταξύ 68% και 79%. Η πτώση

πίεσης μέσα στον δέκτη ήταν της τάξεως των 120mbar. Το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας έφτασε το 70%, και η υπόλοιπη απαραίτητη ενέργεια προερχόταν από χρήση καυσίμου. Στην ονομαστική της λειτουργία η ισχύς της διάταξης ήταν 230kW_{el}, ενώ ο βαθμός απόδοσης 20%. Η θερμική απόδοση της διάταξης του συλλέκτη ήταν 77% για θερμοκρασία εξερχόμενου αέρα στους 800 °C και 70% για θερμοκρασία 950 °C.



Σχήμα 3. 17: Σχηματική απεικόνιση υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με δέκτη πεπιεσμένου αέρα (26)

3.5 Κόστος Εγκατάστασης

3.5.1 Ανάλυση Κόστους

Το κόστος εγκατάστασης ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας με χρήση συστήματος κεντρικού δέκτη μπορεί να επιμεριστεί σε:

Κόστους Ηλιοστατικού Πεδίου

Το ηλιοστατικό πεδίο αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της εγκατάστασης και το κόστος του σύμφωνα με την (20) αποτελεί το 42% του κόστους της συνολικής εγκατάστασης. Σύμφωνα με (24), (26) το κόστος του είναι περίπου 131\$/m² (2002) ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο των ανακλαστικών επιφανειών του ηλιακού πεδίου

για μια παραγωγή 1000 τμημάτων ηλιοστατών, ωστόσο μια προτεινόμενη τιμή από την ΡΑΕ (21) είναι 160€/m^2

Κόστος Ηλιακού Δέκτη Πύργου

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος δέκτη καθώς και το κόστος κατασκευής του απαραίτητου πύργου, σύμφωνα με την (20) αποτελεί το 16% του κόστους της συνολικής εγκατάστασης. Ενδεικτικά το κόστος ενός συστήματος δέκτης-πύργου για μια εγκατάσταση ισχύος 17MW_{el} και σύστημα αποθήκευσης ισχύος 15 ωρών είναι $23.000.000\text{€}$. Μια προτεινόμενη τιμή του ηλιακού δέκτη σύμφωνα με (21) είναι $40\text{€/kW}_{\text{solar}}$ Ηλιακής ενέργειας η οποία προσπίπτει στον δέκτη. Στους μέχρι τώρα εμπορικούς σταθμούς χρησιμοποιούνται σωληνοειδείς δέκτες με χρήση τετηγμένων αλάτων η με συστήματα άμεσης ατμοποίησης.

Κόστος Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, μίας εγκατάστασης η οποία χρησιμοποιεί κύκλο Rankine για παραγωγή ενέργειας, θεωρείται ίδιο με το αντίστοιχο κόστος ενός σταθμού με παραβολικού κοίλους συλλέκτες. Σύμφωνα με (20) αποτελεί το 20% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης και αναφέρεται στο κόστος του συστήματος παραγωγής ατμού, στο σύστημα παραγωγής ενέργειας και στο σύστημα ψύξης.

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος παραγωγής ατμού σύμφωνα με (13) είναι:

- $1,54\text{€/kW}_{\text{el}}$ για τον προθερμαντήρα
- $10,45\text{€/kW}_{\text{el}}$ για τον ατμοποιητή
- $1,625\text{€/kW}_{\text{el}}$ για τον υπερθερμαντήρα
- $4,22\text{€/kW}_{\text{el}}$ για τον αναθερμαντήρα

Το κόστος των υπόλοιπων συστημάτων του συστήματος παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με (13) είναι $700\text{€/kW}_{\text{el}}$

Τέλος το κόστος του συστήματος ψύξης είναι (22):

- $60\text{€/kW}_{\text{el}}$ για υδρόψυκτα συστήματα ψύξης
- $180\text{€/kW}_{\text{el}}$ για αερόψυκτα συστήματα ψύξης

Σύμφωνα με την οδηγία της ΡΑΕ (21) το συνολικό κόστος του συστήματος παραγωγής ενέργειας είναι $800\text{€/kW}_{\text{el}}$

Κόστος Συστήματος αποθήκευσης

Το κόστος του συστήματος αποθήκευσης σύμφωνα με (20) αποτελεί το 6% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης. Ενώ σύμφωνα με (21) το κόστος του εξαρτάται από το πόσο θερμότητας που μπορεί να αποθηκευτεί σε αυτό και είναι $30\text{€/kWh}_{\text{th}}$.

Κόστος κατασκευής-μελέτης

Σύμφωνα με (20) και (24) το κόστος κατασκευής και μελέτης αποτελεί το 17% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης. Το κόστος αυτό είναι και σύμφωνο με την οδηγό της ΡΑΕ. Τέλος το κόστος της απαιτούμενης επιφάνειας θεωρείται σύμφωνα με (21) 3€/m²

Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας

Τυπική τιμή του ετήσιου κόστους συντήρησης και λειτουργίας ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί ηλιακό πύργο είναι 2% του συνολικού ποσού της αρχικής επένδυσης. Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνονται το απαραίτητο κόστος συντήρησης του τεχνολογικού εξοπλισμού και το κόστος των εργαζομένων. Επιπλέον σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπολογίζεται το κόστος του απαραίτητου καυσίμου για την λειτουργία του σταθμού

Συνοπτικά το κόστος της εγκατάστασης και ο τρόπος που αυτό επιμερίζεται παρουσιάζεται στον πίνακα. Και στο σχήμα 3.18



Σχήμα 3. 18: Επιμερισμός Κόστους Εγκατάστασης Συστήματος Ηλιακού Πύργου (20)

Πίνακας 3. 3 Ανάλυση Κόστους Εγκατάστασης Ηλιακού Πύργου Ισχύος (13) (21) (24)

Αναλυτικό Κόστος Εγκατάστασης	
Κόστος εγκατάστασης ηλιακού πεδίου (€/m²)	160
Κόστος εγκατάστασης Δέκτη (€/kW_{solar})	40
Κόστος εγκατάστασης για το ενεργειακό τμήμα (€/kwe)	700
Κόστος Εγκατάστασης υδρόψυκτου συστήματος ψύξης (€/kwe_{el})	60
Κόστος Εγκατάστασης αερόψυκτος συστήματος ψύξης (€/kwe_{el})	180
Κόστος εγκατάστασης προθερμαντήρα (€/kwe_{el})	1,54
Κόστος εγκατάστασης ατμοποιητή (€/kwe_{el})	10,45
Κόστος εγκατάστασης υπερθερμαντήρα (€/kwe_{el})	1,625
Κόστος εγκατάστασης αναθερμαντήρα(€/kwe_{el})	4,221
Κόστος Γής (€/m²)	3
Προσαυξήσεις για κατασκευή, μελέτη και άδειες (%)	17%

3.5.2 Παράγοντες κόστους

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος μιας εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με διάταξη ηλιακού πύργου ισχύος είναι οι ίδιοι με αυτούς που επηρεάζουν το κόστος μίας εγκατάστασης παραβολικών κοίλων συλλεκτών

Ηλιακό Δυναμικό Τοποθεσίας

Το ηλιακό δυναμικό της τοποθεσίας που πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Σε περιοχές με χαμηλό ηλιακό δυναμικό είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μεγαλύτερου αριθμού Ηλιοστατών προκειμένου να έχουμε την απαραίτητη συλλογή ηλιακής ενέργειας. Το αυξημένο μέγεθος του ηλιακού πεδίου έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο κόστος της συνολικής εγκατάστασης.

Σύστημα Αποθήκευσης

Επιπλέον του απαραίτητου εξοπλισμού (δεξαμενές, υλικό αποθήκευσης), η απαίτηση του συστήματος αποθήκευσης για επιπλέον θερμότητα έχει ως αποτέλεσμα σε μεγάλη αύξηση του μεγέθους του ηλιακού πεδίου, αυξάνοντας σημαντικά το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Σε εγκατάσταση με συστήματα αποθήκευσης υψηλής δυναμικότητας το συνολικό κόστος της εγκατάστασης μπορεί να αυξηθεί ακόμα και πάνω από 50% σε σχέση με μια εγκατάσταση χωρίς σύστημα αποθήκευσης.

Επιλογή Συστήματος Ψύξης

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, το κόστος εγκατάστασης αερόψυκτου συστήματος ψύξης στην εγκατάσταση είναι τριπλάσιο από το κόστος του υδρόψυκτου συστήματος, επηρεάζοντας σημαντικά το συνολικό κόστος της εγκατάστασης. Επιπλέον τα αερόψυκτα συστήματα χαρακτηρίζονται από αυξημένες

ιδιοκαταναλώσεις. Επηρεάζοντας την συνολική ηλεκτροπαραγωγή της εγκατάστασης.

3.5.3 Παραδείγματα

Στον πίνακα 1 φαίνεται το αναλυτικό κόστος μίας εγκατάστασης ισχύος 17MW_{el} με σύστημα αποθήκευσης για λειτουργία της εγκατάστασης στην ονομαστική της λειτουργίας για 15 ώρες. Η εγκατάσταση βρίσκεται στην Ισπανία φέρει την ονομασία Gemasolar και κατασκευάζεται από την εταιρεία “Torresol Energy”. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και ρευστό αποθήκευσης τετηγμένα άλατα

Πίνακας 3. 4: Ανάλυση κόστους κατασκευής σταθμού Gemasolar (20)

Τμήμα εγκατάστασης	Επένδυση(€)	Επένδυση(%)
Ηλιακό πεδίο	62.134.000	42
<i>Ηλιοστάτες</i>	<i>54.186.000</i>	<i>37</i>
<i>Σύστημα σωληνώσεων</i>	<i>2.826.000</i>	<i>2</i>
<i>Καλωδιώσεις</i>	<i>2.021.000</i>	<i>1</i>
<i>Ανταλλακτικά και λοιπά έξοδα</i>	<i>3.351.000</i>	<i>2</i>
Πύργος	23.753.000	16
<i>Πύργος</i>	<i>3.821.000</i>	<i>3</i>
<i>Δέκτης</i>	<i>19.932.000</i>	<i>14</i>
Τμήμα ηλεκτροπαραγωγής	29.686.000	20
<i>Λέβητας φυσικού αερίου</i>	<i>1.973.000</i>	<i>1</i>
<i>Εκκενωτής</i>	<i>2.438.000</i>	<i>2</i>
<i>ΒΟΡ</i>	<i>6.814.000</i>	<i>5</i>
<i>Εγκατάσταση παραγωγή ενέργειας</i>	<i>15.110.000</i>	<i>10</i>
<i>Λοιπός εξοπλισμός</i>	<i>3.351.000</i>	<i>2</i>
Κόστος Γής	1.423.000	0

Αποθήκευση θερμότητας	9.412.000	6
Σύστημα αποθήκευσης	4.126.000	3
Αντλίες	1.920.000	1
Άλατα	3.370.000	2
Κατασκευή	9.414.000	6
Μηχανολογική έρευνα	5.472.000	4
Απρόοπτα έξοδα	5.472.000	4
Σύνολο	147.016.000	100

Στο δεύτερο πίνακα φαίνεται αναλυτικά το κόστος κατασκευής του σταθμού PS10. Ο σταθμός είναι ισχύος 11MW_{el}, με χρήση σωληνοειδούς δέκτη. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας ήταν νερό.

Πίνακας 3. 5: Ανάλυση κόστους Κατασκευής Σταθμού PS-10 (26)

Τμήμα Εγκατάστασης	Επένδυση(€) ³
Ηλιακό Πεδίο	12.875.000
Πύργος	1.875.000
Δέκτης, Σύστημα Παραγωγής ατμού, Αποθήκευση	9.580.000
Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας	4.802.000
Σύστημα Ελέγχου	780.000
Έργα Πολιτικού Μηχανικού	657.000
Γενικός Συντονισμός	178.000
Σύνολο	30.751.000

³ Το κόστος αναφέρεται σε τιμές του 2002

Κεφάλαιο 4^ο Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με συστήματα Δίσκου/Μηχανής

4.1 Εισαγωγή

Ενός σταθμός παραγωγής ενέργειας με συστήματα Δίσκου/Μηχανής αποτελείται από έναν αριθμό αυτόνομων μονάδων δίσκου μηχανής. Κάθε αυτόνομο σύστημα έχει ονομαστική ισχύ μερικών kW, και χρησιμοποιεί μηχανισμό ανίχνευσης για τον καλύτερο εντοπισμό της ηλιακής ακτινοβολίας. Λόγω της γεωμετρίας του συλλέκτη τα συστήματα δίσκου μηχανής επιτυγχάνουν πολύ υψηλούς λόγους συγκέντρωσης (μέχρι και 3000), επιτρέποντας την επίτευξη πολύ υψηλών θερμοκρασιών στο σύστημα του απορροφητή. Τα συστήματα δίσκου μηχανής χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλούς βαθμούς απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Ένα αυτόνομο σύστημα δίσκου μηχανής αποτελείται από:

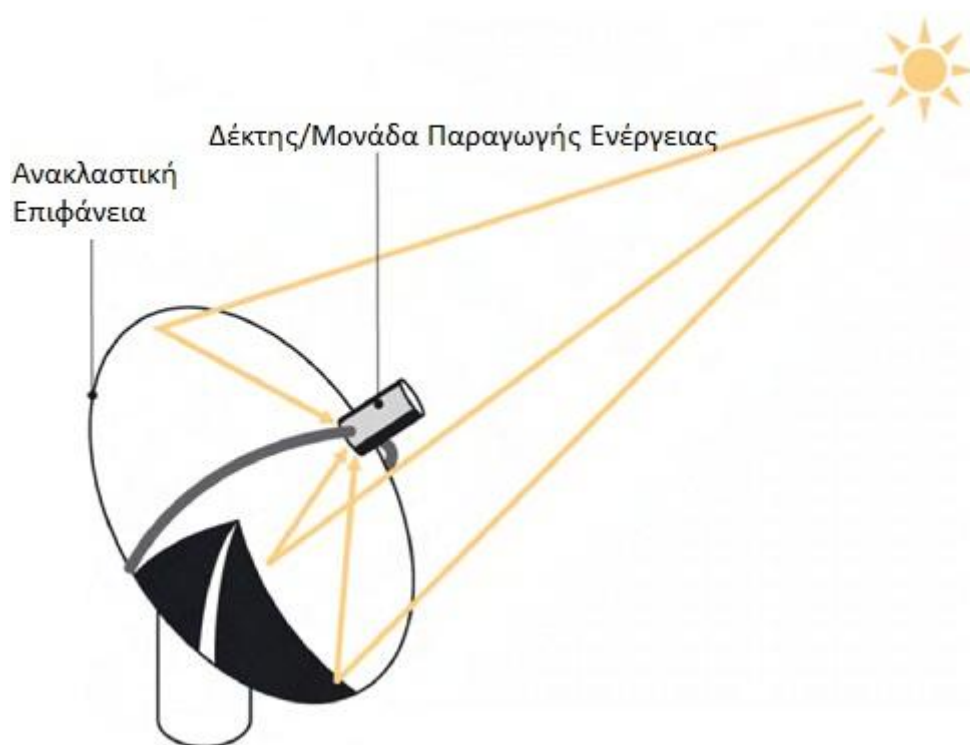
- Παραβολοειδή Ανακλαστική Επιφάνεια
- Ηλιακό Δέκτη
- Μονάδα Παραγωγής Ενέργειας (π.χ. μηχανή Stirling)



Σχήμα 4. 1 Εγκατάσταση συστημάτων ηλιακού δίσκου (28)

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται μέσω της παραβολικής ανακλαστικής επιφάνειας στον δέκτη ο οποίος είναι τοποθετημένος στο σημείο

εστίασης του παραβολικού κατόπτρου. Η αναρροφούμενη από τον δέκτη θερμότητα χρησιμοποιείται για την λειτουργία του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Η θερμική μηχανή που χρησιμοποιείται πιο συχνά στα συστήματα δίσκου είναι τύπου Stirling.



Σχήμα 4. 2: Τυπικό σχήμα προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλιακό δίσκο

4.2 Ηλιακό Τμήμα

4.2.1 Γενικά

Το ηλιακό τμήμα ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας δίσκου αποτελείται από :

- Το Δίσκο-Συγκεντρωτή
- Τον ηλιακό δέκτη
- Το σύστημα Στήριξης και ανίχνευσης της ηλιακής ακτινοβολίας

4.2.2 Δίσκος-Συγκεντρωτής

Το μέγεθος της δίσκου ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας δίσκου-μηχανής, καθορίζεται από την επιθυμητή ενεργεία εξόδου του συστήματος για τις μέγιστες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (τιμή προσπίπτουσας ακτινοβολίας 1000

W/m), καθώς από τους βαθμούς απόδοσης του συλλέκτη και της θερμικής μηχανής). Με τις υπάρχουσες τεχνολογίες, ένα σύστημα ισχύος 5kW_{el} , χρειάζεται δίσκο διαμέτρου 5,5 μέτρων, ένα σύστημα ισχύος 10kW_{el} , χρειάζεται δίσκο διαμέτρου 7,5 μέτρων και ένα σύστημα ισχύος 25kW_{el} χρειάζεται ένα πιάτο με ελάχιστη διάμετρο 10 μέτρων. Λόγω του παραβολικού τους σχήματος οι ανακλαστικές επιφάνειες επιτυγχάνουν βαθμούς συγκεντρώσεις από 600 έως και πάνω από 2000, ενώ με την χρήση τους μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες έως και 1500°C . Ο μεγαλύτερο παραβολικός δίσκος που έχει κατασκευαστεί φέρει την ονομασία "Big Dish", έχει κατασκευαστεί στην Αυστραλία και έχει επιφάνεια 500 τετραγωνικά μέτρα.

Ο ιδανικός δίσκος έχει σχήμα παραβολοειδούς. Οι εμπορικοί δίσκοι που κατασκευάζονται προσεγγίζουν το σχήμα αυτό με τις παρακάτω τεχνολογίες:

- Δίσκοι από πολύπλευρες γυάλινες επιφάνειες: Χρησιμοποιούνται σφαιρικά διαμορφωμένες, ανεξάρτητα ευθυγραμμισμένες, πολύπλευρες γυάλινες επιφάνειες, οι οποίες είναι εγκατεστημένες πάνω σε κατασκευή παραβολοειδούς μορφής. Η σχεδίαση αυτή επιτρέπει την ανάπτυξη πολύ υψηλών συγκεντρώσεων, ωστόσο παρουσιάζει αυξημένο βάρος και υψηλό κόστος. Επιπλέον είναι απαραίτητη η ακριβής ευθυγράμμιση ενός μεγάλου αριθμού ανακλαστικών επιφανειών.
- Δίσκοι από πλήρως παραβολικές επιφάνειες: Στην σχεδίαση αυτή ολόκληρη η επιφάνεια προσεγγίζει το σχήμα παραβολοειδούς.
- Δίσκοι από τεντωμένη μεμβράνη: Οι διατάξεις αυτές μπορούν αποτελούνται είτε από μια ενιαία ανακλαστική επιφάνεια, είτε από μια ομάδα ανακλαστικών επιφανειών. Η διάταξη περιλαμβάνει λεπτές μεμβράνες τεντωμένες με την χρήση μεταλλικών δακτυλίων. Οι μεμβράνες μπορεί να είναι κατασκευασμένες είτε από φύλλα πλαστικού είτε από λεπτά μεταλλικά φύλλα, στα οποία έχει εφαρμοστεί κατάλληλη ανακλαστική επίστρωση. Τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζει η σχεδίαση αυτή έχει να κάνει με την συμπεριφορά των υλικών. Στις μέρες μας η χρήση τους περιορίζεται για δίσκους μικρής διαμέτρου. (29)



Σχήμα 4. 3: Τυπικές διατάξεις συστήματος ηλιακού δίσκου με διαφορετικού είδους συγκεντρωτικές επιφάνειες: α) από πολύπλευρες γυάλινες επιφάνειες, β) τεντωμένης μεμβράνης, γ) Πλήρως παραβολική Επιφάνεια

Υλικά Κατασκευής Ανακλαστικών Επιφανειών

Τρεις είναι οι κυριότερες ανακλαστικές επιφάνειες που χρησιμοποιούνται στις συγκεντρωτικές διατάξεις:

- Ανακλαστικές επιφάνειες από αλουμίνιο ή γυάλινες επιφάνειες με επίστρωση αλουμινίου. Οι ανακλαστικές επιφάνειες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται για την υψηλή αντοχή τους, ενώ ο συντελεστής ανάκλασης τους είναι κοντά στο 95%. Στις περισσότερες εμπορικές διατάξεις χρησιμοποιούνται ανακλαστικές επιφάνειες αυτού του τύπου (π.χ. Suncatcher, EURODISH, WGA, Big Dish)
- Ανακλαστικές επιφάνειες από λεπτά πολυμερή φιλμ, οι επιφάνειες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από το χαμηλό τους κόστος, την ευκαμψία τους και υψηλό συντελεστή αντανάκλασης (πάνω από 96%). Ωστόσο οι μηχανικές και οπτικές τους ιδιότητες καταστρέφονται από την υπεριώδη ακτινοβολία
- Ανακλαστικές επιφάνειες από γυαλισμένα φύλλα αλουμινίου, οι επιφάνειες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από το χαμηλό τους κόστος. Τα βασικότερα μειονεκτήματα είναι ο χαμηλός συντελεστής ανάκλασης (85%) και η φτωχή αντοχή τους στα καιρικά φαινόμενα. (29)

4.2.3 Ηλιακός Δέκτης

Ο δέκτης απορροφά την συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια και την μεταφέρει στο ρευστό λειτουργία της μηχανής. Η επιφάνεια του απορροφητή είναι συνήθως τοποθετημένη πίσω από το σημείο εστίασης με σκοπό την μείωση της έντασης της προσπίπτουσας ροής θερμότητας. Ένα άνοιγμα είναι τοποθετημένο στο σημείο εστίασης για την μείωση των απωλειών θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής. Αναλόγως της θερμικής μηχανής που χρησιμοποιείται στο σύστημα, αλλάζει και ο τρόπος αλληλεπίδρασης μεταξύ δέκτη και της συγκεντρωτικής επιφάνειας. Σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται μηχανές τύπου Stirling, ο δέκτης πρέπει να είναι σε θέση να μεταφέρει την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία σε ένα αέριο υψηλής πίεσης και ταλαντευόμενης ροής, όπως το ήλιο ή το υδρογόνο, ενώ σε συστήματα που χρησιμοποιούν μηχανές brayton ο δέκτης πρέπει να μεταφέρει την ενέργεια σε ένα αέριο σταθερής ροής και σχετικά χαμηλής πίεσης.

Σε συστήματα που χρησιμοποιούν μηχανές Stirling, δύο είναι οι κυριότεροι τύποι δέκτη που χρησιμοποιούνται: δέκτες άμεσου φωτισμού (direct illumination receivers) και οι έμμεσοι δέκτες (indirect receivers), στους οποίους έχουμε χρήση ενός ενδιάμεσου μέσου μεταφοράς θερμότητας. Οι δέκτες άμεσου φωτισμού

προσαρμόζουν τους σωλήνες θέρμανσης της μηχανής Stirling για την απορρόφηση της συγκεντρωμένης ηλιακής ροής και έχουν την δυνατότητα να απορροφούν υψηλές ηλιακές ροές (περίπου $75\text{W}/\text{cm}^2$) λόγω της μεγάλης δυναμικότητας για μεταφοράς θερμότητας των αερίων υψηλής πίεσης και ταχύτητας που χρησιμοποιούνται (Ήλιο και Υδρογόνο). Ωστόσο η εξισορρόπηση των θερμοκρασιών και των φορτίων θερμότητας μεταξύ των κυλίνδρων μια πολύ-κύλινδρης μηχανής Stirling, δημιουργεί προβλήματα ενσωμάτωσης. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος παρουσιάστηκαν οι δέκτες ρευστού-μετάλλου (ή δέκτες θέρμανσης σωλήνα).

Σε ένα δέκτη θέρμανσης σωλήνα, υγρό μεταλλικό νάτριο εξατμίζεται στην απορροφητική επιφάνεια του δέκτη, και στην συνέχεια συμπυκνώνεται στις σωληνώσεις θέρμανσης της μηχανής Stirling. Το αποτέλεσμα είναι η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στις σωληνώσεις θέρμανσης, επιτρέποντας αυξημένη θερμοκρασία λειτουργίας για την μηχανή για ένα δεδομένο υλικό και επομένως υψηλότερους βαθμούς απόδοσης. Επιπλέον η χρήση δεκτών τέτοιου τύπου βοηθάει στην μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του δέκτη και των κεφαλών της μηχανής Stirling. Η τεχνολογία αυτή έχει επιδείξει ότι βελτιώνει σημαντικά την απόδοση ενός συστήματος δίσκου που κάνει χρήση μηχανής Stirling. Τυπικοί βαθμοί απόδοσης των συστημάτων δέκτη που χρησιμοποιούνται για μηχανές Stirling είναι στο 90%.

Τα συστήματα δέκτη για μηχανές Brayton είναι λιγότερο εξελιγμένα. Επιπροσθέτως, η μεταφορά θερμότητας σε αέρα χαμηλής πίεσης σε συνδυασμό με την ανάγκη για ελαχιστοποίηση των απωλειών πίεσης στο δέκτη καθιστά το σχεδιασμό του δέκτη μια μηχανολογική πρόκληση. Οι πιο επιτυχημένοι δέκτες για μηχανές Brayton χρησιμοποιούν ογκομετρική απορρόφηση, όπου η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από ένα παράθυρο και στην συνέχεια απορροφάται από ένα πορώδες καλούπι. Αυτή η προσέγγιση παρουσιάζει σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα από την χρήση συμβατικών εναλλακτών θερμότητας οι οποίοι χρησιμοποιούν μεταφορά θερμότητα δια αγωγής μέσω ενός τοίχου. Οι δοκιμές στους δέκτες αυτού του τύπου είναι περιορισμένες λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας των μηχανών Brayton. Τυπικές τιμές του βαθμού απόδοσης των δεκτών αυτού του τύπου είναι 80% (30)

4.2.4 Σύστημα Στήριξης-Εντοπισμού

Τα συστήματα δίσκου στηρίζονται σε μεταλλικές κατασκευές με δυνατότητα κίνησης. Το σύστημα εντοπισμού της ηλιακής θέσης δύο αξόνων μπορεί να είναι είτε σύστημα αζιμούθιου-ανύψωσης είτε πολικό σύστημα ανίχνευσης. Στο σύστημα ανίχνευσης αζιμούθιου, το οποίο είναι αυτό που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε μεγάλα συστήματα δίσκου, ο δίσκος περιστρέφεται σε ένα επίπεδο παράλληλο της Γής (αζιμούθιο) και σε ένα άλλο επίπεδο κάθετο σε αυτό (ανύψωσης), με το

σύστημα αυτό ο συλλέκτης έχει την δυνατότητα να κινείται σε δύο τροχιές. Οι βαθμός της περιστροφής κατά την διάρκεια της ημέρας μπορούν εύκολα να υπολογιστούν. Στο πολικό σύστημα ανίχνευσης, το οποίο είναι αυτό που χρησιμοποιείται πιο συχνά σε μικρά συστήματα ηλιακού δίσκου, ο συλλέκτης περιστρέφεται σε έναν άξονα παράλληλο σε αυτόν του άξονα περιστροφής της Γης. Ο συλλέκτης περιστρέφεται με σταθερό ρυθμό 15° ανά ώρα για να συμβαδίζει με την ταχύτητα περιστροφής της Γης. Ο άλλος άξονας περιστροφής του συστήματος, ο άξονας απόκλισης, είναι κάθετος στον πολικό άξονα. Η κίνηση ως προς τον άξονα αυτό είναι πολύ αργή και μεταβάλλεται μεταξύ $-23,5^\circ$ και $23,5^\circ$ κατά την διάρκεια του έτους. (30)

4.3 Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας

4.3.1 Γενικά

Ο κινητήρας σε ένα σύστημα ηλιακού δίσκου μετατρέπει την θερμότητα σε μηχανικό έργο όπως και οι συμβατικοί κινητήρες, δηλαδή με την συμπίεση ενός εργαζόμενου μέσου όταν αυτό είναι κρύο, θέρμανση του συμπιεσμένου ρευστού και τέλος εκτόνωση του σε σύστημα στροβίλου ή με την χρήση πιστονιού για την παραγωγή μηχανικού έργου. Η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική με την χρήση ηλεκτρικής γεννήτριας ή εναλλάκτη. Οι θερμοδυναμικοί κύκλοι και τα εργαζόμενα μέσα, που έχουν μελετηθεί για χρήση σε συστήματα ηλιακού δίσκου είναι κύκλοι Rankine, οι οποίοι χρησιμοποιούν νερό ή οργανικό εργαζόμενο μέσο, ανοιχτοί και κλειστοί κύκλοι Brayton και κύκλοι Stirling. Επιπλέον διάφορες παραλλαγές των κύκλων αυτών, καθώς και πιο εξωτικοί κύκλοι έχουν μελετηθεί. Οι κύκλοι που ευνοούνται πιο πολύ για χρήση σε συστήματα δίσκου είναι οι μηχανές Stirling και οι ανοιχτές μηχανές Brayton. Η παραγόμενη ισχύς τυπικών συστημάτων δίσκου που χρησιμοποιούν μηχανή Stirling είναι στα 25kW_{el} ενώ για πρωτότυπα που χρησιμοποιούν τον κύκλο Brayton είναι στα 30kW_{el} . Τέλος δίσκοι μικρότερης ισχύος από $5-10\text{kW}_{el}$ με χρήση μηχανών Stirling έχουν παρουσιαστεί.

4.3.2 Μηχανές Stirling

Οι μηχανές Stirling που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ηλιακού δίσκου είναι μηχανές υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που τροφοδοτούνται από εξωτερική πηγή θερμότητας και χρησιμοποιούν σαν εργαζόμενο μέσο Ήλιο ή Υδρογόνο. Οι σύγχρονες μηχανές Stirling υψηλής απόδοσης το εργαζόμενο μέσο φθάνει σε θερμοκρασίες πάνω από 700°C και πιέσεις της τάξεως των 200bar . Στον κύκλο Stirling το εργαζόμενο ρευστό εναλλακτικά θερμαίνεται και ψύχεται με διεργασίες υπό σταθερό όγκο και θερμοκρασία. Επιπλέον οι μηχανές συχνά ενσωματώνουν

αναγεννητές οι οποίοι αυξάνουν την απόδοση της μηχανής μέσω πρόσληψης θερμότητας κατά την διάρκεια της ψύξης υπό σταθερό όγκο και την χρησιμοποίηση της κατά την ισόογκη θέρμανση του αερίου. Ένας αριθμός μηχανικών διατάξεων χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της ισοθερμοκρασιακές και ισόογκες διεργασίες. Οι περισσότερες από αυτές περιλαμβάνουν την χρήση πιστονίων και κυλίνδρων. Κάποιες κάνουν χρήση “Displacer”, το οποίο είναι ένα πιστόνι το οποίο εκτοπίζει το εργαζόμενο αέριο χωρίς να μεταβάλει τον όγκο του, κατά την διαδρομή του αερίου από την θερμή προς την ψυχρή περιοχή της μηχανής. Στις περισσότερες μηχανές που παράγεται λαμβάνεται ως κινητική μέσω της περιστροφής στροφαλοφόρου άξονα. Εξάιρεση αποτελεί οι μηχανές Stirling που χρησιμοποιούν ελεύθερο πιστόνι και δεν χρησιμοποιούν στροφαλοφόρο άξονα, ωστόσο οι μηχανές αυτές μέχρι τώρα δεν βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα ηλιακού δίσκου. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω μίας μηχανής Stirling για μετατροπή της ληφθείσας θερμότητας σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι 40%. Οι μηχανές Stirling είναι αυτές που χρησιμοποιούνται συχνότερα σε εφαρμογές συστημάτων ηλιακού δίσκου, λόγω της δυνατότητας τους για εξωτερική λήψη θερμότητας, καθώς και λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης τους. Οι μηχανές Stirling που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ηλιακού δίσκου είναι η SOLO 161 ισχύος 11 kW_{el}, η Kockums 4-95 ισχύος 25 kW_{el} και η STM (Stirling Thermal Motors) 4-120 ισχύος 25 kW_{el}.



Σχήμα 4. 4: Τμήμα παραγωγής ενέργειας, συστήματος “Suncatcher” (31)

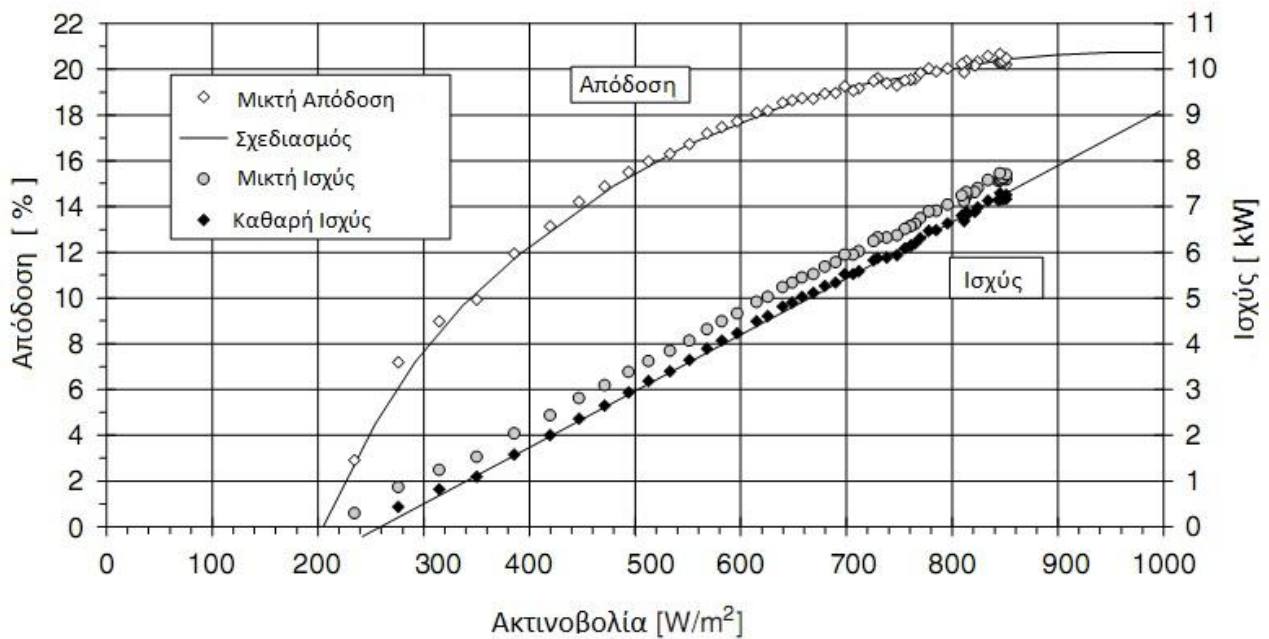
4.3.3 Μηχανές Brayton

Η μηχανή Brayton είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία παράγει ισχύ από την ελεγχόμενη καύση καυσίμου. Στην μηχανή Brayton, όπως και στις μηχανές Otto και Diesel, μίγμα συμπιεσμένου αέρα και καυσίμου καίγεται για την παραγωγή έργου. Σε ένα ηλιακού δίσκου σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί σύστημα Brayton, θερμότητα προερχόμενη από τον Ήλιο, χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση του καυσίμου. Στην συνέχεια το ζεστό αέριο εκτονώνεται στον αεριοστρόβιλο και παράγεται έργο, το οποίο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με την χρήση γεννήτριας. Όπως και στις μηχανές Stirling, η διαχείριση των θερμικών απωλειών διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για την επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης. Για αυτό το σκοπό η θερμότητα που εξέρχεται από τον στρόβιλο χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα πριν την είσοδο του στο τμήμα του συμπιεστή. Οι διατάξεις που εξετάζονται για να προσαρμοστούν σε συστήματα ηλιακού δίσκου, έχουν λόγους πίεσης 2,5 και θερμοκρασίες εισόδου στον αεριοστρόβιλο της τάξεως των 850°C, ενώ ο βαθμός απόδοσης προβλέπεται να είναι πάνω από 30%. (30)

4.4 Εμπορικά Συστήματα Δίσκου Μηχανής

4.4.1 SBP

Το πρότυπο που αναπτύχθηκε στην Γερμανία από την εταιρεία “Schalich, Bergermann und Partner, SBP”, αποτελεί το πιο δοκιμασμένο σύστημα δίσκου με τεχνολογία τεντωμένης μεμβράνης. Το σύστημα έχει δοκιμαστεί για πάνω από 50.000 ώρες στην ηλιακή πλατφόρμα της Αλμερίας, στην Ισπανία. Η συγκεντρωτική διάταξη αποτελείται από ενιαίο τμήμα τεντωμένης χαλύβδινης μεμβράνης πάχους 0,23 χιλιοστών, συνολική διαμέτρου 7,5 μέτρων. Ανακλαστικές γυάλινες επιφάνειες μικρού πάχους είναι τοποθετημένες πάνω στην μεμβράνη. Για την επίτευξη πλήρους παραβολοειδούς σχήματος, η μεμβράνη είναι προ-τεντωμένη πέρα από το ελαστικό της σημείο με την χρήση νερού στην εξωτερική εμπρόσθια επιφάνεια, και συνθηκών κενού στην οπίσθια πλευρά της, το σχήμα διατηρείται με την χρήση ενός ενεργού συστήματος κενού. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι φέρει την ονομασία “V-160” και κατασκευάζεται από την γερμανική εταιρεία “Solo Kleinmotoren”. Ο κυβισμός της μηχανής είναι 160 κυβικά εκατοστά, χρησιμοποιεί δύο πιστόνια ενώ το εργαζόμενο μέσο είναι ήλιο. Ο θερμικός βαθμός απόδοσης της μηχανής είναι 30%, ενώ ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος στην ονομαστική του λειτουργία έχει καταγραφεί και είναι 20,3%. Στο σχήμα 4.5 φαίνεται η μεταβολή του βαθμού απόδοσης της μηχανής συναρτήσει της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. (6)



Σχήμα 4. 5: Καμπύλη Απόδοσης-Ισχύος συναρτήσεως της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για σύστημα SBP

4.4.2 Eurodish

Ο διάδοχος του δίσκου SBP είναι το σύστημα Eurodish. Δημιουργήθηκε από την συνεργασία των: "European Community", "SBP", "MERO", "Klein+Steki", "Inabensa" καθώς και των κέντρων ερευνών: "DLR" και "CIEMAT". Στο νέο σχέδιο ο συγκεντρωτής τετρωμένης μεμβράνη, αντικαταστάθηκε από έναν που χρησιμοποιεί ένα κελί από ίνες γυαλιού πάνω στο οποίο είναι τοποθετημένες οι ανακλαστικές επιφάνειες. Η θερμική μηχανή που χρησιμοποιείται στο Eurodish είναι η νέας γενιάς Solo Kleinmotoren 161. Στην εικόνα! Φαίνεται η οπίσθια και εμπρόσθια όψη του Eurodish.

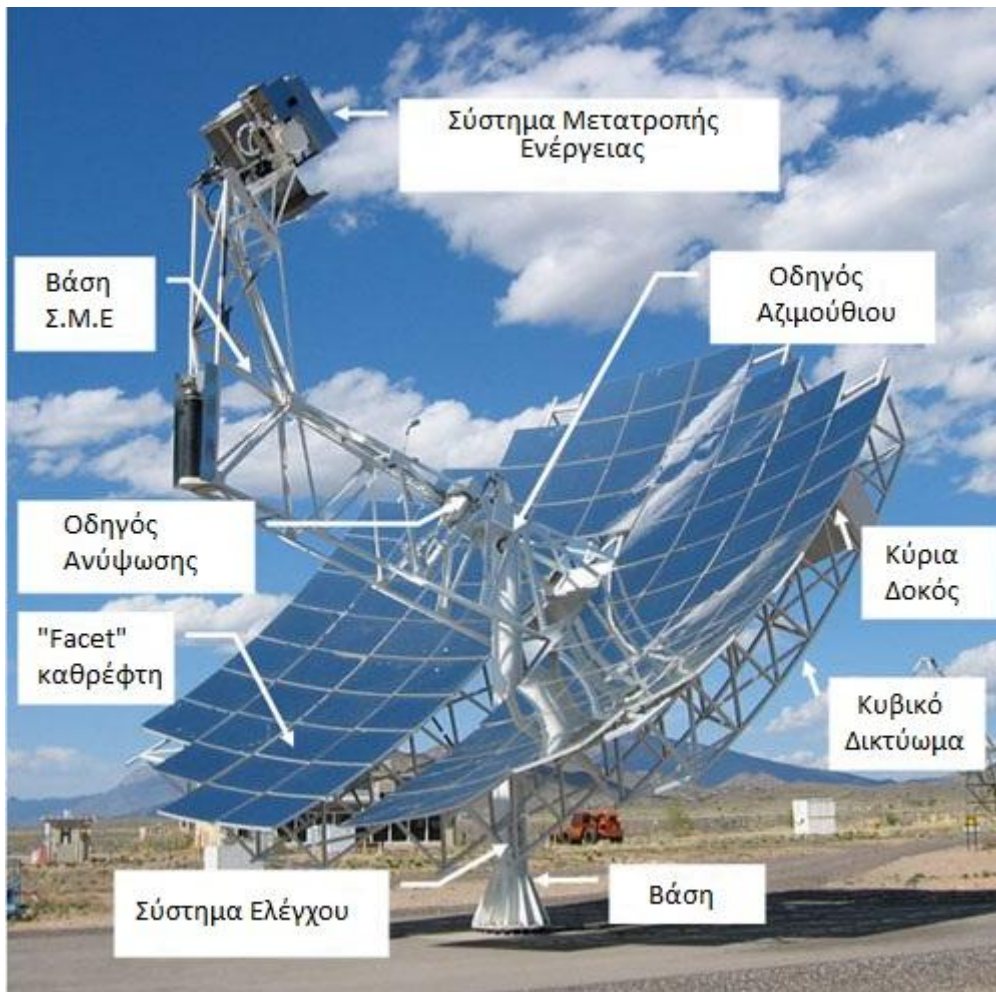
Συστήματα Eurodish έχουν τοποθετηθεί σε αρκετές χώρες όπως η Γαλλία, η Ιταλία, η Ισπανία και η Ινδία. Από την μελέτη των εγκατεστημένων διατάξεων έχει μετρηθεί μέγιστη μετατροπή ηλιακής ενέργειας από ηλιακή σε ηλεκτρική με βαθμό απόδοσης 21-22%. Η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας ενός συστήματος Eurodish το οποίο λειτουργεί στο New Mexico, είναι 20.252 kWh, ενώ ο ετήσιος βαθμός απόδοσης υπολογίζεται στο 15,7%. (6)



Σχήμα 4. 6: Σύστημα ηλιακού δίσκου τύπου “Eurodish” (32)

4.4.3 Suncatcher

Το πιο σύγχρονο σύστημα δίσκου, φέρει την εμπορική ονομασία “SunCatcher” και κατασκευάζεται από την “Stirling Energy Systems”. Το σύστημα χαρακτηρίζεται από τον υψηλότερο βαθμό μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με μέγιστο βαθμό απόδοσης 31,25%. Σύμφωνα με την εταιρεία ο ετήσιος βαθμός του συστήματος μπορεί να φτάσει το 26% για περιοχές με πολύ υψηλό ηλιακό δυναμικό. Η συγκεντρωτική επιφάνεια αποτελείται από πολύπλευρες γυάλινες ανακλαστικές επιφάνειες, ενώ ο δέκτης που χρησιμοποιείται είναι έμμεσος ο οποίος χρησιμοποιεί ως εργαζόμενο μέσο Υδρογόνο. Η μηχανή που χρησιμοποιείται είναι μια μηχανή Stirling ισχύος 25 kW, η οποία χρησιμοποιεί 4 κυλίνδρους για την παραγωγή μηχανικού έργου. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος φαίνονται στον πίνακα 4.1 ενώ ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στο σχήμα 4.7



Σχήμα 4. 7: Σύστημα Ηλιακού Δίσκου της εταιρείας Stirling Energy Systems, με την εμπορική ονομασία “Suncatcher” (31)

Πίνακας 4. 1: Χαρακτηριστικά συστήματος “Suncatcher” (31)

Επιφάνεια Συγκέντρωσης	
Τύπος	Παραβολική επιφάνεια από 82 “facet”
Υλικό Ανακλαστικής Επιφάνειας	Καθρέπτης από λεπτό γυαλί
Διάμετρος	10,57m
Προβαλλόμενη επιφάνεια	87,7 m ²
Επιφάνεια γυαλιού	91,01 m ²
Συντελεστής Ανάκλασης	91%
Εστιακό Μήκος	7,45 m
Οπτικός Βαθμός Απόδοσης	88%
Δέκτης	
Διάμετρος Ανοίγματος	0,2 m
Θερμοκρασία Δέκτη	720°C

Πίεση Λειτουργίας	20 MPa
Βαθμός Απόδοσης	90%
Μηχανή Stirling	
Τύπος	Kockums 4-95 SES
Μέγεθος	380 cm ³ , 4 κύλινδροι
Εργαζόμενο Μέσο	Υδρογόνο
Βαθμός απόδοσης	38-40%
Γεννήτρια	
Τύπος	Επαγωγική
Ταχύτητα περιστροφής	1800 rpm
Βαθμός Απόδοσης	92-94%
Στοιχεία Απόδοσης Συστήματος	
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς για DNI 1000 W/m²	25kW _{el}
Μέγιστος καθαρός Βαθμός απόδοσης	29,4%
Μέγιστη Παραγόμενη Ισχύς	27 kW _{el}
Ετήσιος Βαθμός Απόδοσης	24%
Απαραίτητη ηλιακή ακτινοβολία	>300 W/m ²

4.5 Κόστος Εγκατάστασης

4.5.1 Γενικά

Τα συστήματα δίσκου αποτελούν αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας και για αυτό για τη δημιουργία ενός σταθμού με συστήματα ηλιακών δίσκων το μεγαλύτερο κόστος της επένδυσης είναι το κόστος των συστημάτων. Μικρό μέρος της συνολικής επένδυσης αποτελεί το κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το κόστος των συστημάτων μεταβάλλεται αναλόγως με τον αριθμό των συστημάτων που πρόκειται να κατασκευασθούν από το εργοστάσιο. (6) (24) (26). Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας αποτελεί το 1% του κόστους εγκατάστασης (τυπική τιμή).

4.5.2 Κόστος Eurodish

Το κόστος των συστημάτων τύπου “EuroDish”, σύμφωνα με την ίδια την εταιρεία καθώς και την εταιρεία “SBP”, έχει εκτιμηθεί για ετήσια παραγωγή 500 συστημάτων το χρόνο (5MW/year) και 5000 συστημάτων το χρόνο (50M/year). Το πραγματικό κόστος ενός συστήματος 10kW είναι 10.000 \$/kW_{el} (στην τιμή δεν περιλαμβάνονται τα κόστη μεταφοράς και εγκατάστασης). Το κόστη που έχουν εκτιμηθεί για μια

παραγωγή 500 συστημάτων είναι 2500\$/ kW_{el} και για μια παραγωγή 5000 συστημάτων το χρόνο είναι 1.500\$/kW_{el} (6).

4.5.2 Κόστος “SunCatcher”

Το πραγματικό κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος “Suncatcher” ονομαστικής ισχύος 25 kW_{el} είναι σύμφωνα με το πρόγραμμα “SAM”⁴, είναι 8.550\$/ kW_{el}. Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνεται το κόστος εγκατάστασης και μεταφοράς του συστήματος.

Σύμφωνα με το ίδιο πρόγραμμα για εγκατάσταση ισχύος 100MW το συνολικό κόστος εγκατάστασης είναι 3000\$/ kW_{el}. (33)

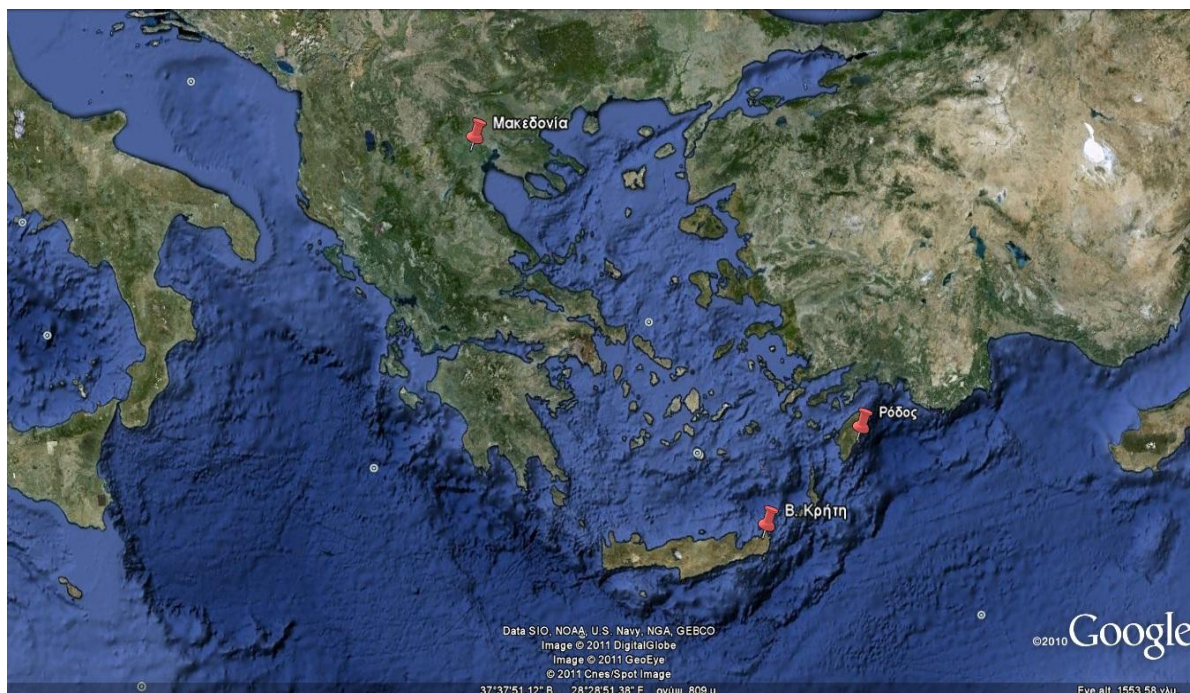
⁴ “SAM”: System Advisor Model, το οποίο αποτελεί πρόγραμμα μοντελοποίησης για την κατασκευή έργων με χρήση ΑΠΕ, εξελιγμένο από την NREL (38) και την SANDIA (39)

Κεφάλαιο 5^ο Οικονομική Αξιολόγηση Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων

5.1 Παραδοχές-Τροπος Υπολογισμού

5.1.1 Επιλογή Περιοχών

Η επιλογή των τριών περιοχών οι οποίες εξετάζονται έγινε βάση του Ηλιακού δυναμικού τους. Επιλέχθηκε μια περιοχή με υψηλό Ηλιακό δυναμικό (Ρόδος), μια περιοχή με χαμηλό Ηλιακό δυναμικό (Μακεδονία) και μια περιοχή με μέσο προς υψηλό δυναμικό (Β. Κρήτη). Στην επιλογή των τοποθεσιών έγινε χρήση του Google Earth (34), με σκοπό να βρεθούν πεδινές περιοχές, όπου υπάρχει η δυνατότητα για την εγκατάσταση Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 5. 1: Τοποθεσίες

Πίνακας 5. 1: Χαρακτηριστικά Περιοχών

Περιοχή	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Ετήσιο DNI
Ρόδος	36,07 Βόρεια	28,02 Ανατολικά	2081 kWh/m ²
Β. Κρήτη	35,11 Βόρεια	26,11 Ανατολικά	1636 kWh/m ²
Μακεδονία	40,40 Βόρεια	22,28 Ανατολικά	1220 kWh/m ²

5.1.2 Δεδομένα

Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας-DNI

Τα δεδομένα για τις ωριαίες τιμές της προσπίπτουσας Άμεσης Ηλιακής Ακτινοβολίας (DNI) για την εκάστοτε περιοχή, βρέθηκαν μέσω της ιστοσελίδας (35). Ενώ επιλέχθηκαν τιμές του DNI βάση Ηλιακού Χρόνου. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα ενός χρόνου. Σύμφωνα με την ΡΑΕ, για την τεκμηριωμένη μελέτη ενός έργου συγκεντρωτικών Ηλιακών συστημάτων απαιτούνται μετρήσεις από 5 έτη, μέσω επίγειων μετρήσεων.

Καιρικά Δεδομένα

Οι ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας που επιλέχθηκαν βασίζονται στο μέση ημέρα κάθε μήνα, προέρχονται από (36), και είναι προσεγγιστικές για τις εκάστοτε περιοχές.

Η μη διαθεσιμότητα του ηλιακού πεδίου λόγω άνεμου στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας ενσωματώνεται στις λοιπές απώλειες.

Σημείο Σχεδιασμού

Το σημείο σχεδιασμού ορίζεται στις 12 το μεσημέρι της 21^{ης} Ιουνίου (Ηλιακή ώρα).

Ισχύς Εγκατάστασης

Η ονομαστική ισχύς είναι ανεξάρτητη μεταβλητή στους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν.

Δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας

Οι ώρες που θα μπορεί να λειτουργεί ο σταθμός στην ονομαστική του ισχύ μέσω του συστήματος αποθήκευσης είναι ανεξάρτητη μεταβλητή στους υπολογισμούς.

5.1.3 Περιγραφή Υπολογισμών για Συστήματα Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών

Επιλογή Συλλεκτών-Διάταξη της εγκατάστασης

Οι συλλέκτες που θα χρησιμοποιηθούν είναι τύπου Ls-3, καθώς για αυτούς του συλλέκτες υπάρχει μεγαλύτερη εμπειρία, λόγω της μακροχρόνιας λειτουργίας τους στους SEGS. Τα στοιχεία του Συλλέκτη φαίνονται στον πίνακα 2.1.

Ο προσανατολισμός του άξονα των συλλεκτών είναι Βορρά-Νότου, ενώ η διάταξη των συλλεκτών είναι κεντρικής τροφοδοσίας

Παραγωγή Ενέργειας ανά Συλλέκτη

Τα συστήματα παραγωγής ενέργειας με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες χαρακτηρίζονται από δυνατότητα ανίχνευσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα άξονα. Οι απαραίτητες για τους υπολογισμούς ηλιακές γωνίες έγινε με βάση το

Κεφάλαιο 1.2.3 Ο υπολογισμός της παραγόμενης θερμότητας ανά Ηλιακό Συλλέκτη έγινε με βάση την Ροή Ισχύος όπως φαίνεται στην παράγραφο 2.4

Υπολογισμός μεγέθους Ηλιακού Πεδίου (χωρίς αποθήκευση)

Για το σημείο σχεδιασμού και για την συγκεκριμένη τοποθεσία υπολογίζεται η ληφθείσα θερμική ενέργεια ανά συλλέκτη. Με βάση την απαιτούμενη συνολική θερμότητα από το σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής (καθαρή ενέργεια για το δίκτυο) υπολογίζουμε τον απαραίτητο αριθμό συλλεκτών. Ο αριθμός αυτός προσαυξάνεται κατά 15% , καθώς η τακτική αυτή αυξάνει την αποδοτικότητα του σταθμού (13).

Υπολογισμός Μεγέθους Συστήματος Αποθήκευσης

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης θερμότητας η οποία πρόκειται να αποθηκευθεί προκύπτει ως το γινόμενο της απαιτούμενης θερμότητας για την λειτουργία του συστήματος παραγωγής ενέργειας και των αριθμό των ωρών του συστήματος αποθήκευσης.

Αύξηση μεγέθους ηλιακού πεδίου λόγω συστήματος αποθήκευσης

Ο υπολογισμός των απαιτούμενων συλλεκτών για το σύστημα αποθήκευσης γίνεται με βάση την απαιτούμενη θερμότητα προς αποθήκευση. Ο αριθμός των επιπλέον συλλεκτών προκύπτει από το πηλίκο της απαιτούμενης θερμότητας προς την συνολική ωφέλιμη θερμική ενέργεια που προσφέρει ένας συλλέκτης για το σύνολο των 24 ωρών την ημέρα που έχει οριστεί στο σημείο σχεδιασμού.

Υπολογισμός συνολικής ωφέλιμης Θερμότητας

Για το σύνολο των συλλεκτών και για κάθε ώρα της ημέρας υπολογίζεται η ωριαία παραγωγή θερμότητας. Το άθροισμα των τιμών αυτών για τις 8760 ώρες του έτους δίνει την ετήσια παραγωγή θερμότητας. Οι υπόλοιπες απώλειες του Ηλιακού Πεδίου, οι απώλειες του συστήματος παραγωγής ατμού καθώς και οι συνολικές ιδιοκαταναλώσεις της εγκατάστασης αφαιρούνται σε αυτό το στάδιο των υπολογισμών για την εύρεση της καθαρής θερμότητας που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Λοιπές Απώλειες- Ιδιοκαταναλώσεις

Οι υπόλοιποι βαθμοί απόδοσης καθώς και οι ιδιοκαταναλώσεις που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από (21), και φαίνονται στον πίνακα 5.2

Πίνακας 5. 2: Λοιπές Απώλειες (21)

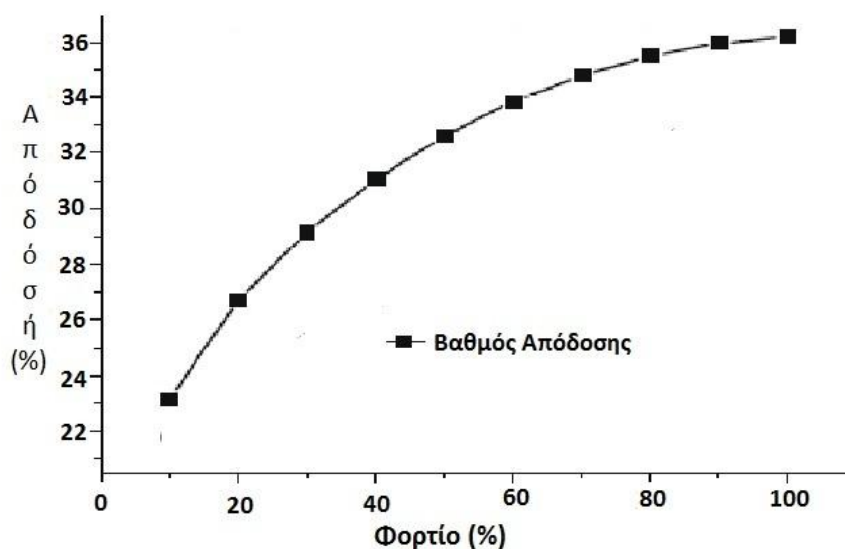
Απώλειες	
Διαθεσιμότητα Ηλιακού Πεδίου	1%
Απώλειες Μέσου Μεταφοράς	3,4%
Απώλειες Αποθήκης	0,7%
Εκκινήσεις-Κρατήσεις	1,7%
Διαθεσιμότητα Υπόλοιπων συστημάτων	6%
Ιδιοκαταναλώσεις	11,6%

Εφεδρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, επιτρέπεται η χρήση βοηθητικού συστήματος παραγωγής θερμότητας με καύση στερεού καυσίμου για παραγωγή μέχρι και 15% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας. Για την περίπτωση που μελετάται, θεωρείται ότι λόγω του εφεδρικού συστήματος παράγεται επιπλέον ενέργειας ίση με το 12% της συνολικής ετήσιας παραγόμενης θερμότητας από το ηλιακό πεδίο, καθώς επιλέχθηκε εφεδρικό σύστημα 12% της συνολικής ισχύς. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται στο εφεδρικό σύστημα είναι μαζούτ.

Παραγωγή ατμού-Καθαρής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η θερμότητα που λαμβάνεται από το Ηλιακό πεδίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού στο σύστημα παραγωγής ατμού. Για κάθε ωριαία τιμή της καθαρά παραγόμενης θερμότητας βρίσκεται το φορτίο στο οποίο δουλεύει το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Για την οικονομική μελέτη χρησιμοποιείται η καμπύλη απόδοσης του συνολικού κύκλου του συστήματος παραγωγής ενέργειας αναλόγως με το φορτίο στο οποίο λειτουργεί (Σχήμα 5.2), όπως αυτή βρέθηκε από (13) .



Σχήμα 5. 2: Καμπύλη Απόδοσης Θερμικού Κύκλου (13)

Απόρριψη πλεονάσματος-Παραγωγή από σύστημα αποθήκευσης

Όταν η καθαρή παραγωγή ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την ζητούμενη, το σύστημα απορρίπτει το πλεόνασμα της ενέργειας.

Σε περίπτωση ύπαρξης συστήματος αποθήκευσης στον σταθμό παραγωγής ενέργειας, η πλεονάζουσα ενέργεια αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται όποτε ζητηθεί από το σύστημα. Για τους υπολογισμούς θεωρείται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα αποθήκευσης γίνεται με το μέγιστο βαθμό απόδοσης του κύκλου. Ενώ από την συνολικά παραγόμενη ενέργεια αφαιρούνται οι απώλειες του συστήματος αποθήκευσης.

Ετήσια Παραγωγή Καθαρής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η συνολική καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από την άθροιση των ωριαίων τιμών της παραγόμενης ενέργειας, και πολλαπλασιάζοντας το άθροισμα με τους υπολοίπους συντελεστές απωλειών. Σε περίπτωση συστήματος αποθήκευσης, η παραγόμενη από το σύστημα παραγόμενη ενέργεια προστίθεται στο σύνολο.

Κόστος Εγκατάστασης-Ετήσια Έξοδα

Ο υπολογισμός του συνολικού κόστους της Εγκατάστασης έχει γίνει με βάση το Κεφάλαιο 2.5. Ενώ το κόστος συντήρησης και λειτουργίας θεωρείται ίσο με το 2% του κόστους επένδυσης (1% για συντήρηση εξοπλισμού και 1% για αμοιβές προσωπικού) (13). Στους οικονομικούς υπολογισμούς για το κόστος του συστήματος παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιείται η μικτή ισχύς του συστήματος.

Μέγεθος Εγκατάστασης

Το συνολικό μέγεθος των ανακλαστικών επιφανειών προκύπτει ως το γινόμενο του αριθμού των συλλεκτών και της ανακλαστικής επιφάνειας του συλλέκτη. Το μέγεθος της συνολικής Εγκατάστασης προκύπτει εμπειρικά και μετά από προσωπική παρατήρηση ότι στις ήδη εγκατεστημένες μονάδες η συνολική έκταση των εγκαταστάσεων είναι 4 φορές το μέγεθος των ανακλαστικών επιφανειών.

5.1.4 Περιγραφή Υπολογισμών για Συστήματα Ηλιακών Πύργων

Επιλογή Ηλιοστατών-Δέκτη

Οι Ηλιοστάτες που θα χρησιμοποιηθούν είναι της εταιρείας |"Abegnoa Solar" τύπου "Solucar 120" (7). Ενώ ο δέκτης που θα χρησιμοποιηθεί είναι κοίλος.

Απώλειες λόγω θέσης του Ήλιου

Τα συστήματα Ηλιακών Πύργων Ισχύος είναι συστήματα παραγωγής ενέργειας με συστήματα ανίχνευσης της θέσης του Ηλίου δύο αξόνων. Οι απώλειες λόγω της

γωνίας της Προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μηδενικές, αλλά λόγω των αυξημένων ιδιοκαταναλώσεων του συστήματος ανίχνευσης των Ηλιοστατών έχουμε λειτουργία του συστήματος για παραγωγή ενέργειας για τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μεγαλύτερες από 200 W/m^2 .

Απώλειες Ηλιακού πεδίου-Ηλιακού Δέκτη

Οι απώλειες του Ηλιακού πεδίου αναφέρονται στην ακτινοβολία η οποία προσπίπτει στους Ηλιοστάτες, αλλά δεν ανακλάται στον δέκτη. Λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος, καθώς και λόγω έλλειψης της ανάλογης εμπειρίας από την λειτουργία των συστημάτων αυτών για τις οπτικές απώλειες του Ηλιακού Πεδίου γίνεται χρήση μέσων τιμών για την διάρκεια του έτους. Για τις απώλειες του Δέκτη χρησιμοποιούνται ομοίως μέσες τιμές. Οι τιμές αυτές έχουν προέλθει από έρευνα που έχει γίνει στην Platforma Solar de l'Almeria στον Ηλιακό Πύργο Ισχύος PS10. Οι τιμές αυτές φαίνονται στον πίνακα 3.1. Επιπλέον οι συγκεκριμένοι βαθμοί απόδοσης είναι σύμφωνοι με την οδηγία της PAE (21).

Υπολογισμός Μεγέθους Εγκατάστασης

Για το σημείο σχεδιασμού και για την συγκεκριμένη τοποθεσία υπολογίζεται η ληφθείσα θερμική ενέργεια ανά Ηλιοστάτη. Με βάση την απαιτούμενη θερμότητα από το σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής (καθαρή ενέργεια για το δίκτυο) υπολογίζεται ο απαραίτητος αριθμός συλλεκτών.

Το μέγεθος της συνολικής εγκατάστασης βρίσκεται εμπειρικά μέσω προσωπικής παρατήρησης, από τους ήδη κατασκευασμένους, ή υπό κατασκευή σταθμούς, και θεωρείται ότι είναι 5 φορές το μέγεθος της συνολικής επιφάνειας των ανακλαστικών επιφανειών του ηλιακού πεδίου .

Αύξηση μεγέθους ηλιακού πεδίου Λόγω συστήματος αποθήκευσης

Ο υπολογισμός των απαιτούμενων Ηλιοστατών για το σύστημα αποθήκευσης γίνεται με βάση την απαιτούμενη θερμότητα που πρόκειται να αποθηκευτεί. Ο αριθμός των επιπλέον συλλεκτών προκύπτει από το πηλίκο της απαιτούμενης θερμότητας προς την ωφέλιμη θερμική ενέργεια που προσφέρει ο Ηλιοστάτη την ημέρα που έχει οριστεί στο σημείο σχεδιασμού.

Υπολογισμός συνολικής ωφέλιμης Θερμότητας

Για το σύνολο των συλλεκτών και για κάθε ώρα της ημέρας υπολογίζεται η ωριαία παραγωγή θερμότητας, από το σύστημα συλλεκτών-δέκτη. Το άθροισμα των τιμών αυτών για τις 8760 ώρες του έτους δίνει την ετήσια παραγωγή θερμότητας. Οι υπόλοιπες απώλειες του Ηλιακού Πεδίου, οι απώλειες του συστήματος παραγωγής ατμού καθώς και οι συνολικές ιδιοκαταναλώσεις της εγκατάστασης αφαιρούνται σε αυτό το στάδιο των υπολογισμών για την εύρεση της καθαρής θερμότητας που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Λοιπές Απώλειες-Ιδιοκαταναλώσεις

Οι υπόλοιποι βαθμοί απόδοσης καθώς και οι ιδιοκαταναλώσεις που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από (21), και φαίνονται στον πίνακα 5.2

Παραγωγή ατμού-Καθαρής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η θερμότητα που λαμβάνεται από το Ηλιακό πεδίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού στο σύστημα παραγωγής ατμού. Για κάθε ωριαία τιμή της καθαρά παραγόμενης θερμότητας υπολογίζεται το φορτίο στο οποίο δουλεύει το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Για την οικονομική μελέτη θα χρησιμοποιηθεί η καμπύλη απόδοσης του συνολικού κύκλου του συστήματος παραγωγής ενέργειας (Σχήμα 5.2) αναλόγως με το φορτίο στο οποίο λειτουργεί.

Εφεδρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, επιτρέπεται η χρήση βοηθητικού συστήματος παραγωγής θερμότητας με καύση στερεού καυσίμου για παραγωγή μέχρι και 15% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας. Για την περίπτωση που μελετάται, θεωρείται ότι λόγω του εφεδρικού συστήματος, η επιπλέον παραγωγή ενέργειας είναι ίση με το 12% της συνολικής ετήσιας παραγόμενης θερμότητας από το ηλιακό πεδίο, καθώς επιλέγεται εφεδρικό σύστημα 12% της συνολικής ισχύς. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται στο εφεδρικό σύστημα είναι μαζούτ.

Απορριψη πλεονάσματος-Παραγωγή από σύστημα αποθήκευσης

Όταν η παραγόμενη θερμότητα είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για την λειτουργία του κύκλου στο ονομαστικό του φορτίο, το σύστημα απορρίπτει το πλεόνασμα της ενέργειας.

Σε περίπτωση ύπαρξης συστήματος αποθήκευσης στον σταθμό παραγωγής ενέργειας, η πλεονάζουσα ενέργεια αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται όποτε ζητηθεί από το σύστημα. Για τους υπολογισμούς θεωρείται ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποθήκευσης γίνεται με το μέγιστο βαθμό απόδοσης του κύκλου.

Ετήσια Παραγωγή Καθαρής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από την άθροιση των ωριαίων τιμών της παραγόμενης ενέργειας. Η συνολική καθαρή παραγωγή ενέργειας προκύπτει από το γινόμενο της συνολικά παραγόμενης ενέργειας με τους υπολοίπους συντελεστές απωλειών. Σε περίπτωση συστήματος αποθήκευσης, η παραγόμενη από το σύστημα παραγόμενη ενέργεια προστίθεται στο σύνολο.

Κόστος Εγκατάστασης-Ετήσια Έξοδα

Ο υπολογισμός του συνολικού κόστους της Εγκατάστασης έχει γίνει με βάση το Κεφάλαιο 3.5. Το κόστος συντήρησης και λειτουργία θεωρείται ίσο με το 2% του συνολικού κόστους της επένδυσης (1% για μισθούς και 1% για συντήρηση εξοπλισμού). (20)

5.1.5 Περιγραφή Υπολογισμών για Συστήματα Δίσκου Μηχανής

Επιλογή Συστήματος

Για τα Συστήματα Δίσκου μηχανής έγινε επιλογή του πιο σύγχρονου και αποδοτικού συστήματος που υπάρχει στην αγορά των συστημάτων δίσκου μηχανής. Το σύστημα φέρει την εμπορική ονομασία “SunCatcher”, παράγεται από την αμερικάνικη εταιρεία “Stirling Energy Systems” (31) και έχει ονομαστική ισχύ 25kWel. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος φαίνονται στον πίνακα (4.1).

Αριθμός Μηχανών- Συνολική Έκταση Εγκατάστασης

Ο αριθμός των απαιτούμενων μηχανών προκύπτει σαν το πηλίκο της απαιτούμενης ονομαστικής ισχύς της εγκατάστασης προς την ισχύ που αποδίδει κάθε μηχανή.

Κάθε μηχανή χρειάζεται συνολικό χώρο ίσο με 600 τετραγωνικά μέτρα όπως αυτό φαίνεται στον πίνακα 4.1

Παραγόμενη ενέργεια

Η ωριαία παραγωγή ενέργειας ανά σύστημα προκύπτει με βάση την καμπύλη απόδοσης του συστήματος, την επιφάνεια του συλλέκτη και την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Λόγω των τεχνικών προδιαγραφών, η μηχανή λειτουργεί για τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μεγαλύτερες από 300W/m². Η συνολική παραγωγή ενέργειας προκύπτει από την άθροιση των ωριαίων τιμών παραγωγής ενέργειας για το σύνολο των μηχανών.

Κόστος Επένδυσης-Ετήσια Έξοδα

Το κόστος της επένδυσης προκύπτει με βάση το κεφάλαιο 4.5 ενώ το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργία θεωρείται ίσο με 1% του συνολικού κόστους επένδυσης

5.1.6 Οικονομική Μελέτη

Έσοδα

Τα έσοδα προέρχονται από την πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θεωρείται ότι το δίκτυο απορροφά το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας, ενώ οι απώλειες διασύνδεσης είναι αμελητέες. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η τιμή πώλησης είναι 264,84 €/MWh, ενώ σε περίπτωση εγκαταστάσεων με σύστημα αποθήκευσης η τιμή είναι 284,84 €/MWh.

Διάρκεια ζωής Έργου-Ετήσια έξοδα απόσβεσης

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η διάρκεια ζωής των Ηλιακών θερμικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας είναι 25 χρόνια. Ως Ετήσια έξοδα απόσβεσης ορίζουμε το πηλίκο του συνολικού κόστους επένδυσης προς την διάρκεια ζωής του έργου.

Ετήσιο Μικτό Λειτουργικό Κέρδος-Μικτός Χρόνος Απόσβεσης

Ως Μικτό Λειτουργικό κέρδος ορίζεται το ποσό που προκύπτει αφαιρώντας τα Ετήσια Έξοδα Συντήρησης και λειτουργίας και το Ετήσια Έξοδα Απόσβεσης από τα Ετήσια Κέρδη από την πώληση ηλεκτρικού ρεύματος .

Ο Μικτός Χρόνος Απόσβεσης ορίζεται το πηλίκο του Κόστος Επενδύσεως προς το Ετήσιο Μικτό Λειτουργικό Κέρδος.

Στοιχεία Δανεισμού

Το δάνειο είναι διάρκειας 12 ετών. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των δόσεων του δανείου είναι αυτή των ισόποσων τοκοχρεολυσίων. Στους υπολογισμούς το επιτόκιο δανεισμού καθώς και το πόσο του δανείου το οποίο εκφράζεται σαν ποσοστό του συνολικού ποσού της επένδυσης είναι ανεξάρτητες μεταβλητές.

Φορολογία

Ο συντελεστής φορολογίας θεωρείται ίσος με 35%. Το ποσοστό αυτό αναφέρεται στα ετήσια καθαρά κέρδη.

Χρηματοροές-Καθαρό Κέρδος

Το καθαρό κέρδος προκύπτει από την αφαίρεση όλων των εκροών (Δόση δανείου, Φορολογία, Ετήσια έξοδα) από τα έσοδα Για το χρονικό διάστημα των 25 ετών υπολογίστηκε το καθαρό κέρδος για κάθε χρόνο.

Οικονομικοί Δείκτες

Για το σύνολο των χρηματηροών της επένδυσης υπολογίζονται: η Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value, NPV) και ο Δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης (Internal Return Rate, IRR). (37)

Ανοιγμένο Κόστος Παραγωγής Ρεύματος (Levelised Cost of Electricity, LCOE): Το ανοιγμένο κόστος παραγωγής ρεύματος δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$LCOE = \frac{f_{cr} \cdot C_{inv} + C_{OM} + C_{fuel}}{E_{net}}$$

C_{inv} : Το συνολικό κόστος της επένδυσης

C_{OM} : Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης

C_{fuel} : Το ετήσιο κόστος καυσίμου σε περιπτώσεις υβριδικών συστημάτων

E_{net} : Το ετήσιο ποσό παραγόμενης ενέργειας σε kWh

f_{cr} : είναι το κόστος του ετήσιου παράγοντα της επένδυσης

$$f_{cr} = \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

i: το επιτόκιο αναγωγής

n: ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης

5.2 Εγκατάσταση Ισχύος 50 MWel(net), χωρίς σύστημα αποθήκευσης

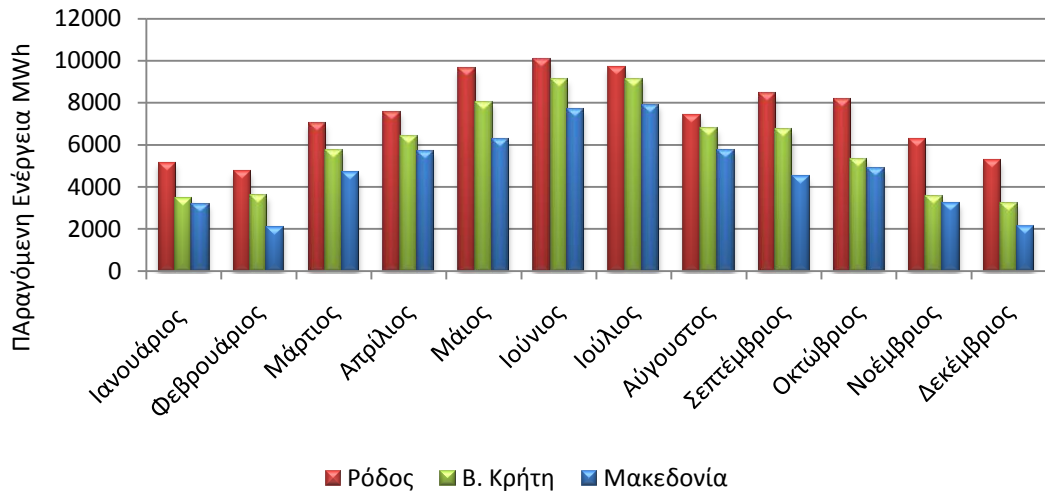
5.2.1 Στοιχεία Εγκαταστάσεων

Σταθμός παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών

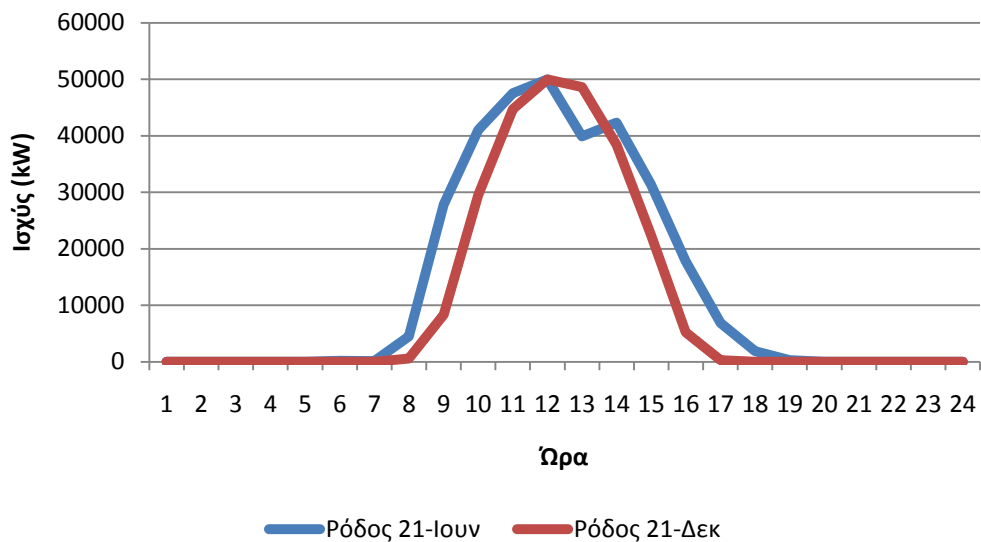
Με βάση την παράγραφο 5.1.3, για μια εγκατάσταση καθαρής ονομαστικής ισχύος 50 MWel, η οποία θα είναι εγκατεστημένη στις τοποθεσίες που αναφέρονται στην παράγραφο 5.1.1., ο σταθμός με συστήματα παραβολικών κοίλων θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Ενώ η συνολικά παραγόμενη ενέργεια ανά μήνα φαίνεται στο σχήμα 5.3 , Επιπλέον η μεταβολή της ισχύος του σταθμού για την εκάστοτε περιοχή για την ημέρα του σημείου σχεδιασμού καθώς και για μία μέρα με χαμηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας φαίνεται στα σχήματα 5.4, 5.5,5.6.

Πίνακας 5. 3: Χαρακτηριστικά Σταθμού με συστήματα Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών

Περιοχή	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Απαιτούμενη Έκταση(m ²)	1.175.402	1.164.774	1.298.681
Κόστος Εγκατάστασης(€)	148.226.475	147.426.717	157.503.668
Κόστος Εγκατάστασης(€/kWel)	2.965	2.949	3.150
Παραγόμενη Ενέργεια(MWh/yr)	100.146	79.593	65.002
Συντελεστής Εκμετάλλευσης	22,86%	18,17%	14,84%

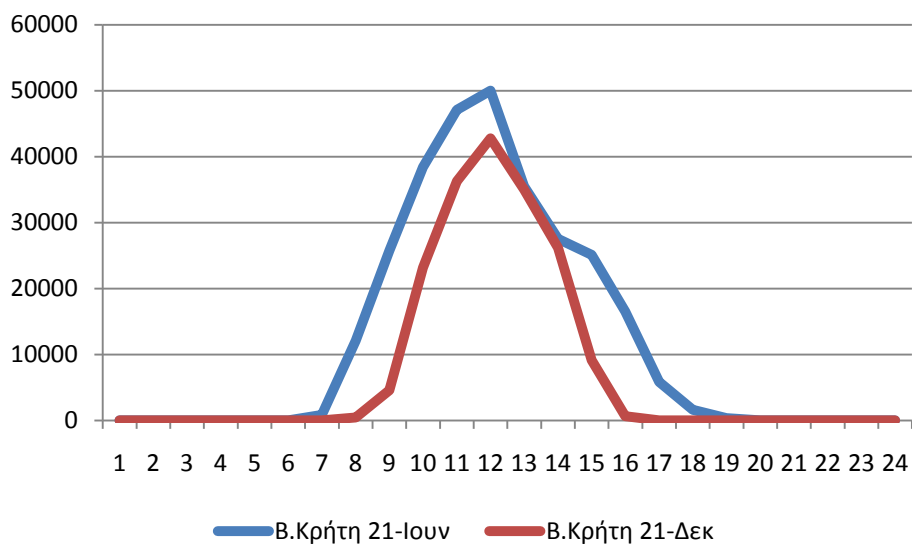


Σχήμα 5. 3: Παραβολικά, Μεταβολή Παραγόμενης ενέργειας συναρτήσεως του μήνα του έτους

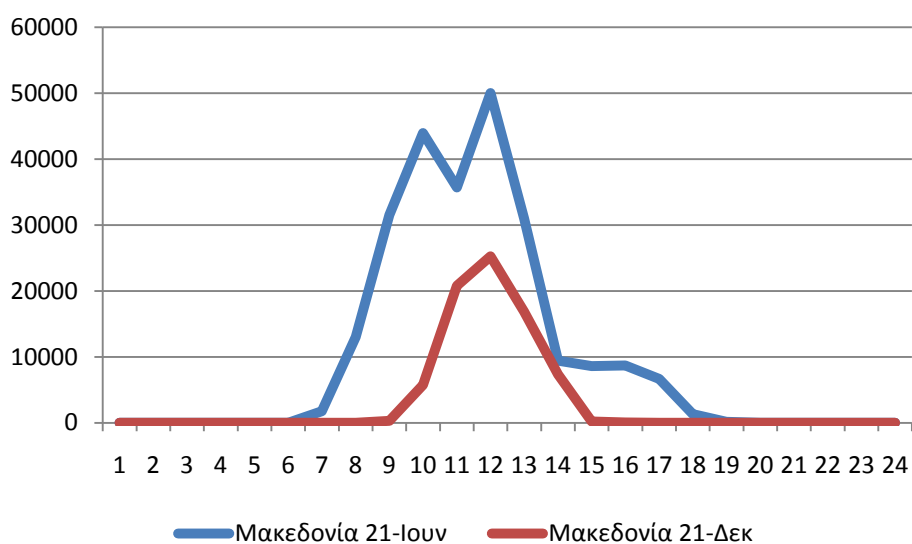


Σχήμα 5. 4: Παραβολικά-Μεταβολή Ισχύος Σταθμού συναρτήσεως της ώρας για την περιοχή της Ρόδου

Σχόλιο: Όπως ήταν αναμενόμενο η παραγωγή ενέργειας τους θερινούς μήνες είναι αυξημένη. Αυτό οφείλεται τόσο στην αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας όσο και στο γεγονός ότι κατά τους θερινούς μήνες οι ώρες με ηλιοφάνεια είναι αυξημένες.



Σχήμα 5. 5: Παραβολικά-Μεταβολή Ισχύος Σταθμού συναρτήσει της ώρας για την περιοχή της Β. Κρήτης



Σχήμα 5. 6 :Παραβολικά- Μεταβολή Ισχύος Σταθμού συναρτήσει της ώρας για την περιοχή της Μακεδονίας

Σταθμός παραγωγής ενέργειας με Ηλιακό Πύργο Ισχύος

Με βάση την παράγραφο 5.1.4, για μια εγκατάσταση καθαρής ονομαστικής ισχύος 50 MW_{el}, η οποία θα είναι εγκατεστημένη στις τοποθεσίες που αναφέρονται στην παράγραφο 5.1.1., ο σταθμός Ηλιακού Πύργου Ισχύος θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5. 4: Χαρακτηριστικά Σταθμού με Ηλιακό Πύργο Ισχύος

Περιοχή	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Απαιτούμενη Έκταση(m ²)	2.537.640	2.513.016	2.803.716
Κόστος Εγκατάστασης(€)	179.204.818	178.165.514	190.415.091
Κόστος Εγκατάστασης(€/kWel)	3.854	3.563	3.808
Παραγόμενη Ενέργεια(MWh/yr)	121.482	93.543	76.284
Συντελεστής Εκμετάλλευσης	27,74%	21,34%	17,42%

Σταθμός παραγωγής ενέργειας με Συστήματα Δίσκου-Μηχανής

Με βάση την παράγραφο 5.1.5, για μια εγκατάσταση καθαρής ονομαστικής ισχύος 50 MWel, η οποία θα είναι εγκατεστημένη στις τοποθεσίες που αναφέρονται στην παράγραφο 5.1.1., ο σταθμός με συστήματα Δίσκου Μηχανής θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5. 5: Χαρακτηριστικά Σταθμού με συστήματα Δίσκου Μηχανής

Περιοχή	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Αριθμός Μηχανών	2.000	2.000	2.000
Απαιτούμενη Έκταση(m ²)	1.200.000	1.200.000	1.200.000
Κόστος Εγκατάστασης(€)	165.000.000	165.000.000	165.000.000
Κόστος Εγκατάστασης(€/kWel)	3.300	3.300	3.300
Παραγόμενη Ενέργεια(MWh/yr)	83.616	61.852	43.165
Συντελεστής Εκμετάλλευσης	19,09%	14,12%	9,86%

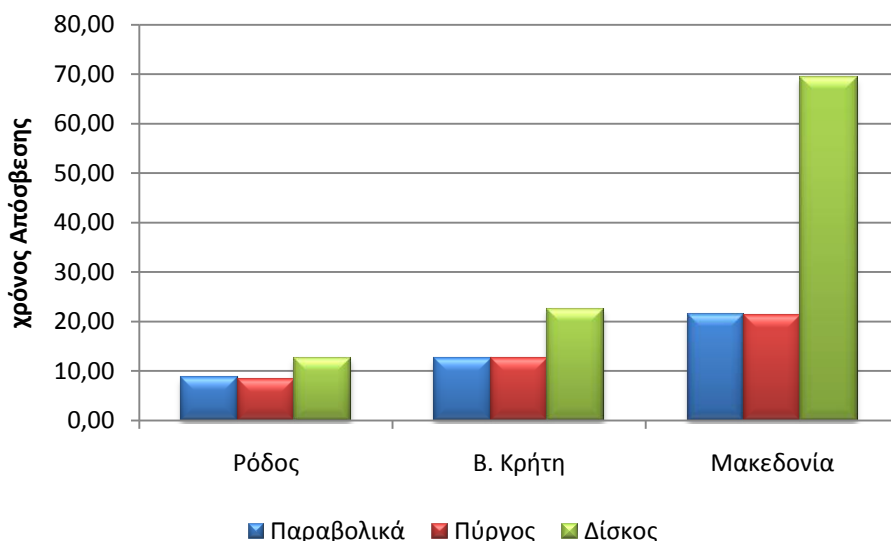
5.2.2 Οικονομική Μελέτη Βασικής Περίπτωσης

Στα πλαίσια της βασικής οικονομικής αξιολόγησης των επενδύσεων το ποσοστό δανεισμού για την υλοποίηση της επένδυσης θεωρείται ίσο με 50% του συνολικού κόστους της επένδυσης. Το επιτόκιο δανεισμού θεωρείται ίσο με 8%, ενώ ως χρόνος αποπληρωμής του δανείου ορίστηκαν τα 12 χρόνια. Για τον υπολογισμό των δόσεων και των τόκων χρησιμοποιείται η μέθοδος των ίσων δόσεων. Τέλος το επιτόκιο προεξόφλησης ορίζεται στο 8%

Χρόνος Αποπληρωμής

Πίνακας 5. 6: Χρόνος αποπληρωμής σε χρόνια, για τη βασική περίπτωση

Τοποθεσία Τεχνολογία	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Παραβολικά	8,69	12,52	21,31
Πύργος	8,41	12,63	21,05
Δίσκος	12,05	22,51	69,27



Σχήμα 5. 7: Χρόνος Αποπληρωμή-Βασική Περίπτωση

Ο μικτός χρόνος αποπληρωμής είναι ένα καθαρά αντικειμενικό μέτρο σύγκρισης των επενδύσεων, καθώς δεν λαμβάνονται στην μελέτη του παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλονται ανεξάρτητα από τις δυνατότητες της εγκατάστασης (συνθήκες δανεισμού, φορολογία). Από το διάγραμμα φαίνεται ότι:

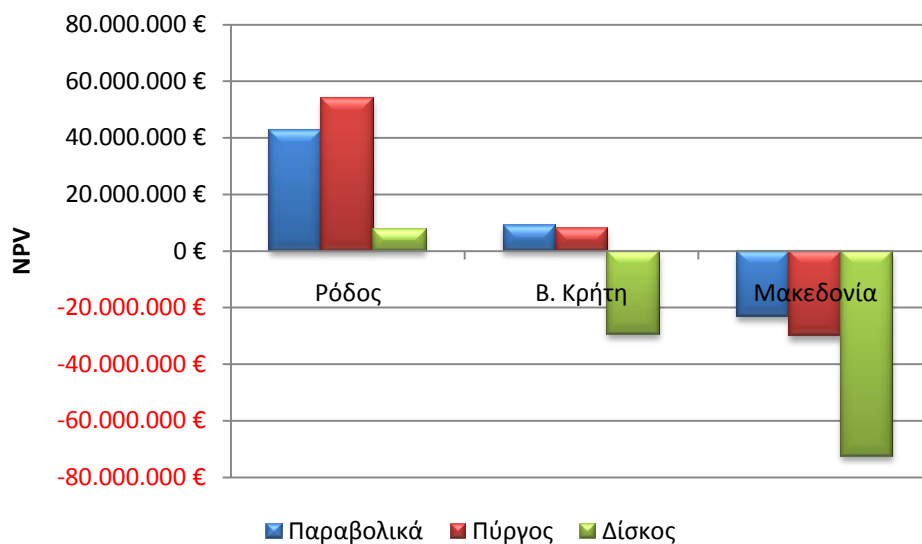
- Για υψηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολία και οι τρεις τεχνολογίες έχουν παραπλήσιους χρόνους αποπληρωμής, ενώ ένα ελαφρύ προβάδισμα έχουν οι τεχνολογίες πύργου και παραβολικών κοίλων συλλεκτών
- Για μέσες ακτινοβολίες οι τεχνολογίες παραβολικών κοίλων συλλεκτών και ηλιακού πύργου, παρουσιάζουν αξιόλογους χρόνους αποπληρωμής.
- Για χαμηλές τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας οι χρόνοι αποπληρωμής είναι αρκετά υψηλοί.

NPV & IRR

Για το σύνολο των χρηματηρών υπολογίζονται οι δείκτες NPV και IRR.

Πίνακας 5. 7: Δείκτης NPV ανά τοποθεσία και τεχνολογία

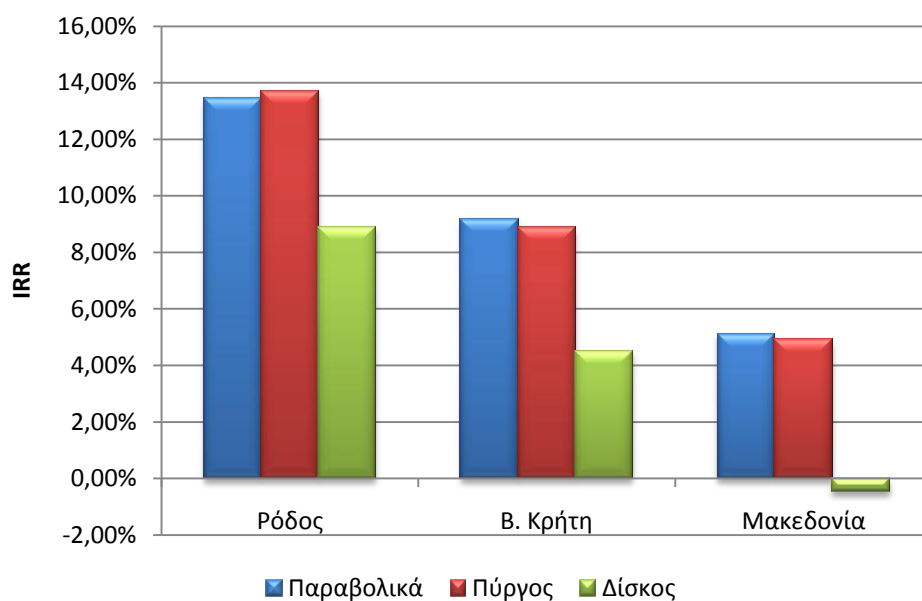
Τοποθεσία Τεχνολογία	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Παραβολικά	42.445.042 €	8.857.273 €	-23.338.922
Πύργος	53.914.603€	8.069.259€	-30.122.599€
Δίσκος	11.522.911€	-29.362.267€	-72.357.521€



Σχήμα 5. 8: Μεταβολή NPV-Βασική Περίπτωση

Πίνακας 5. 8: Μεταβολή IRR ανά τοποθεσία και τεχνολογία

Τοποθεσία Τεχνολογία	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Παραβολικά	13,42%	9,15%	5,10%
Πύργος	13,70%	8,87%	4,90%
Δίσκος	9,33%	4,5%	N.A



Σχήμα 5. 9: Μεταβολή IRR-Βασική Περίπτωση

Από τα διαγράμματα του NPV και του IRR, παρατηρείται ότι:

- Σε περιοχές με υψηλό Ηλιακό Δυναμικό, όλες οι τεχνολογίες παρουσιάζουν υψηλές τιμές NPV και IRR και άρα οι επενδύσεις είναι συμφέρουσες. Τα συστήματα με χρήση Ηλιακού Πύργου είναι τα πιο αποδοτικά.
- Σε περιοχές με μέσο Ηλιακό Δυναμικό τα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών παρουσιάζουν καλύτερα οικονομικά χαρακτηριστικά από τους πύργους.
- Σε περιοχές με χαμηλό Ηλιακό Δυναμικό τα συστήματα δίσκου μηχανής αποτελούν μη συμφέρουσες επενδύσεις.

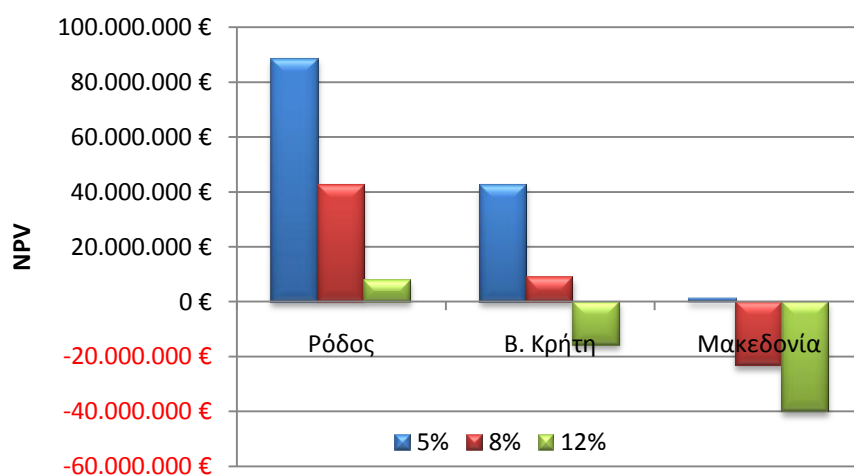
5.2.3 Ανάλυση Ευαισθησίας ως προς το επιτόκιο Προεξόφλησης

Στην ανάλυση ευαισθησίας ως προς το επιτόκιο προεξόφλησης, μελετάται η μεταβολή του δείκτη NPV μεταβάλλοντας το επιτόκιο προεξόφλησης. Οι τιμές του επιτοκίου που χρησιμοποιούνται είναι 5%, 8%, 12%.

Παραβολικά

Πίνακας 5. 9: Παραβολικά-Μεταβολή NPV συναρτήσε επιτοκίου προεξόφλησης

Τοποθεσία Επιτόκιο	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
5%	88.509.546 €	42.729.918 €	1.105.150 €
8%	42.445.042 €	8.857.273 €	-23.338.922
12%	7.940.255 €	-15.737.103 €	-40.052.551 €



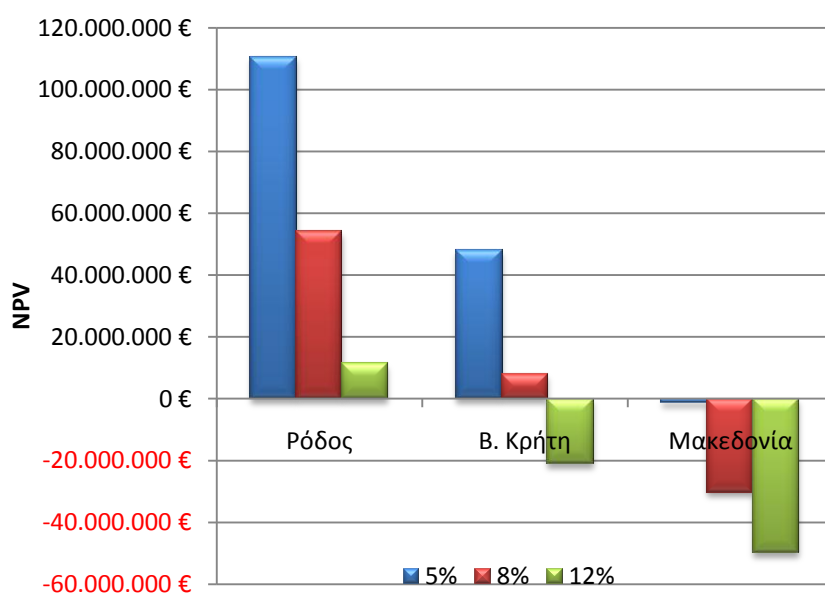
Σχήμα 5. 10: Παραβολικά-Μεταβολή NPV συναρτήσε επιτοκίου προεξόφλησης

Σχόλιο: Για μια εγκατάσταση παραβολικών κοίλων συλλεκτών, παρατηρείται ότι σε περιοχές με πολύ υψηλό Ηλιακό δυναμικό η επένδυση είναι συμφέρουσα ακόμα και για πολύ υψηλές τιμές του επιτοκίου προεξόφλησης. Επιπλέον θετικό NPV παρουσιάζουν οι επενδύσεις σε Β. Κρήτη για τιμές του επιτοκίου ακόμα και 8%. Σε κάθε περίπτωση η επένδυση δεν μπορεί να θεωρηθεί ελκυστική για περιπτώσεις με χαμηλό Ηλιακό δυναμικό.

Πύργοι

Πίνακας 5. 10: Πύργος-Μεταβολή NPV συναρτήσει επιτοκίου προεξόφλησης

Τοποθεσία Επιτόκιο	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
5%	110.536.732 €	48.061.106 €	-1.253.483 €
8%	53.914.603 €	8.069.259 €	-30.122.599 €
12%	11.440.975 €	-20.885.049 €	-49.772.792 €



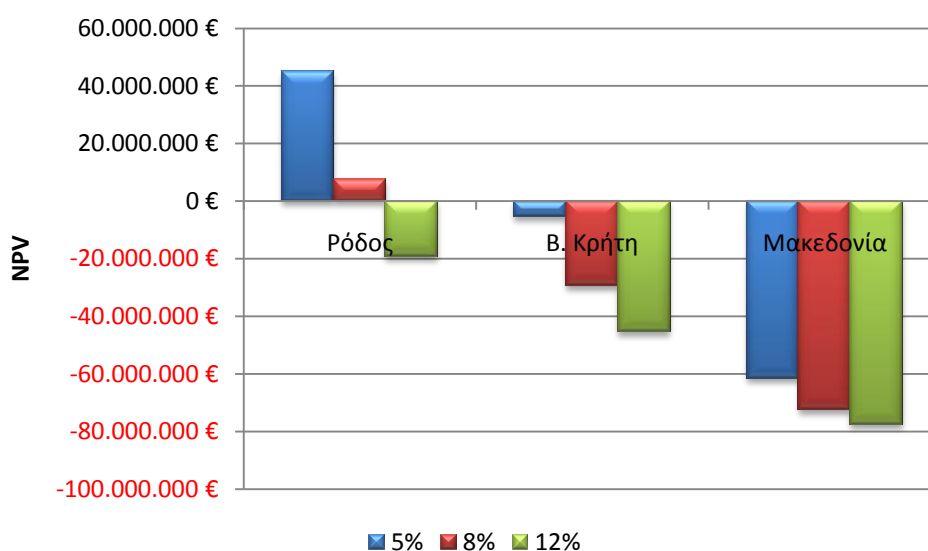
Σχήμα 5. 11 Πύργος-Μεταβολή NPV συναρτήσει επιτοκίου προεξόφλησης

Σχόλιο: Από την ανάλυση ευαισθησίας παρατηρείται ότι η τεχνολογία Ηλιακού Πύργου παρουσιάζει θετικές τιμές του NPV παρόμοιες με την τεχνολογία Παραβολικών κοίλων συλλεκτών.

Δίσκοι

Πίνακας 5. 11: Δίσκος-Μεταβολή NPV συναρτήσει επιτοκίου προεξόφλησης

Τοποθεσία Επιτόκιο	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
5%	50.009.548 €	-5.513.647 €	-61.401.956 €
8%	11.522.911 €	-29.362.297 €	-72.357.521 €
12%	-16.472.397 €	-45.439.368 €	-77.529.475 €



Σχήμα 5. 12: Δίσκος-Μεταβολή NPV συναρτήσει επιτοκίου προεξόφλησης

Σχόλιο: Από την ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει ότι για τα δεδομένα του Ελληνικού χώρου μόνο οι επενδύσεις σε περιοχές με υψηλό δυναμικό και επιτόκιο προεξόφλησης 5% και 8% είναι οικονομικά συμφέρουσες για τον επενδυτή.

5.2.4 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις συνθήκες δανεισμού

Η ανάλυση ευαισθησίας γίνεται τόσο ως προς το ποσοστό δανεισμού, όσο και ως προς το επιτόκιο δανεισμού. Το επιτόκιο δανεισμού και το ποσοστό δανεισμού είναι ανεξάρτητοι παράγοντες για της συνθήκες δανεισμού. Στην ανάλυση μελετούνται τρεις περιπτώσεις δανεισμού, με κριτήριο το συνολικό ποσό τόκων που πρέπει να καταβληθούν στην διάρκεια του δανείου.

Στην 1^η περίπτωση λαμβάνεται επιτόκιο δανεισμού 6% και ποσοστό δανεισμού 30%. Στην περίπτωση αυτή οι συνολικοί τόκοι είναι οι μικρότεροι δυνατοί.

Στην 2^η περίπτωση λαμβάνεται επιτόκιο δανεισμού 8% και το ποσοστό δανεισμού είναι στο 50%.

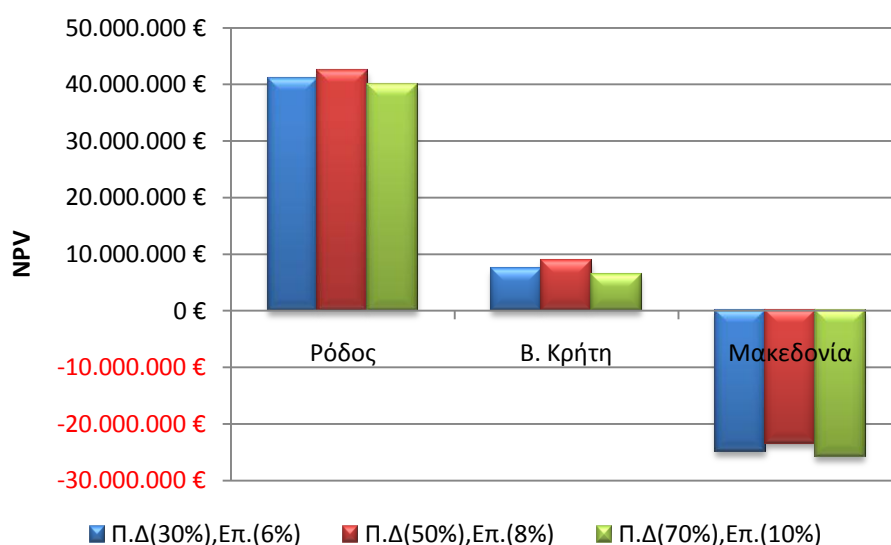
Στην 3^η περίπτωση λαμβάνεται επιτόκιο δανεισμού 10% και το ποσοστό δανεισμού είναι στο 70%. Σε αυτή την περίπτωση το σύνολο των τόκων είναι το μέγιστο.

Για το σύνολο των περιπτώσεων και για τις διάφορες τοποθεσίες υπολογίζονται οι δείκτες NPV και IRR

Παραβολικά

Πίνακας 5. 12: Παραβολικά-Μεταβολή NPV συναρτήσει δανεισμού

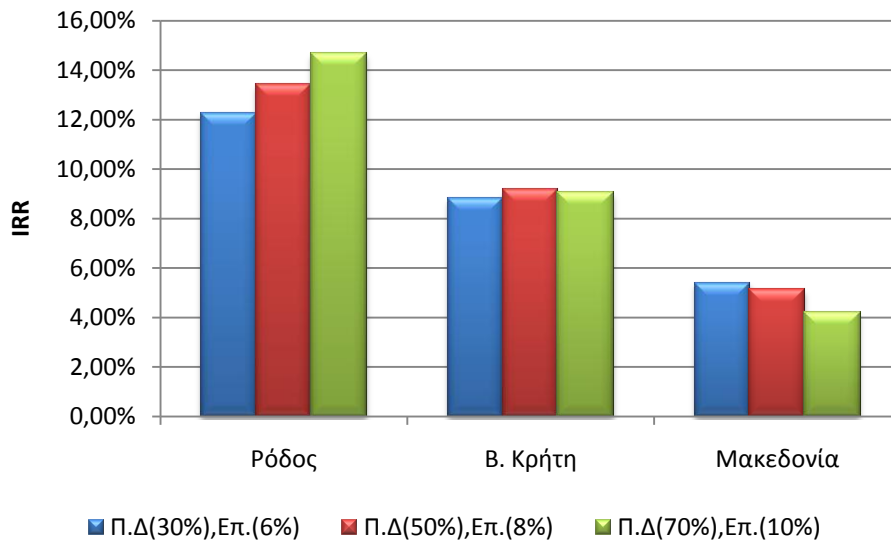
Τοποθεσία Δανεισμός	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Π.Δ(30%).Επ.(6%)	41.024.637 €	7.444.532 €	-24.848.227 €
Π.Δ(50%).Επ.(8%)	42.445.042 €	8.857.273 €	-23.338.922 €
Π.Δ(70%).Επ.(10%)	40.128.718 €	6.553.447 €	-25.800.220 €



Σχήμα 5. 13: Παραβολικά-Μεταβολή NPV συναρτήσει δανεισμού

Πίνακας 5. 13: Παραβολικά-Μεταβολή IRR συναρτήσει δανεισμού

Τοποθεσία Δανεισμός	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Π.Δ(30%).Επ.(6%)	12,27%	8,80%	5,39%
Π.Δ(50%).Επ.(8%)	13,42%	9,15%	5,10%
Π.Δ(70%).Επ.(10%)	14,69%	9,05%	4,19%

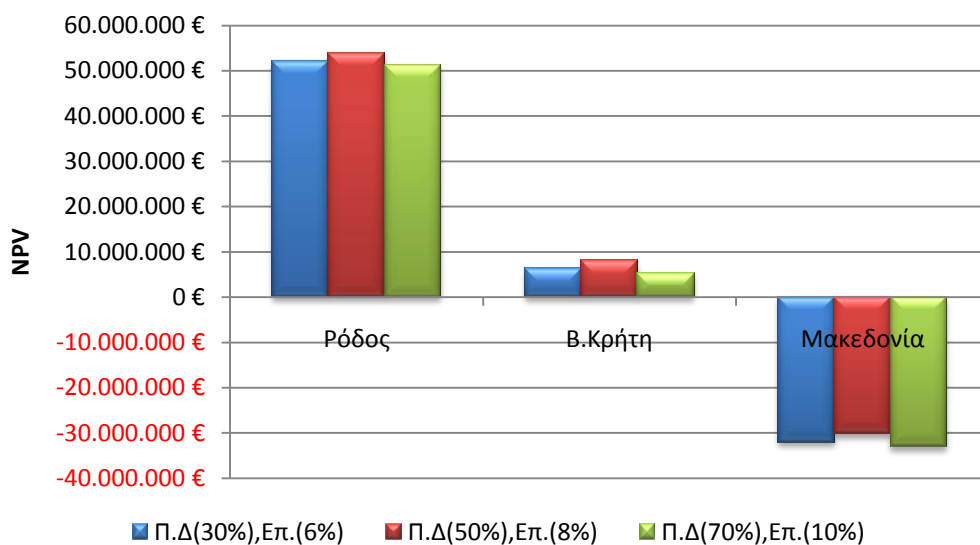


Σχήμα 5. 14: Παραβολικά-Μεταβολή IRR συναρτήσεσι δανεισμού

Πύργοι

Πίνακας 5. 14: Ηλιακοί Πύργοι-Μεταβολή NPV συναρτήσεσι δανεισμού

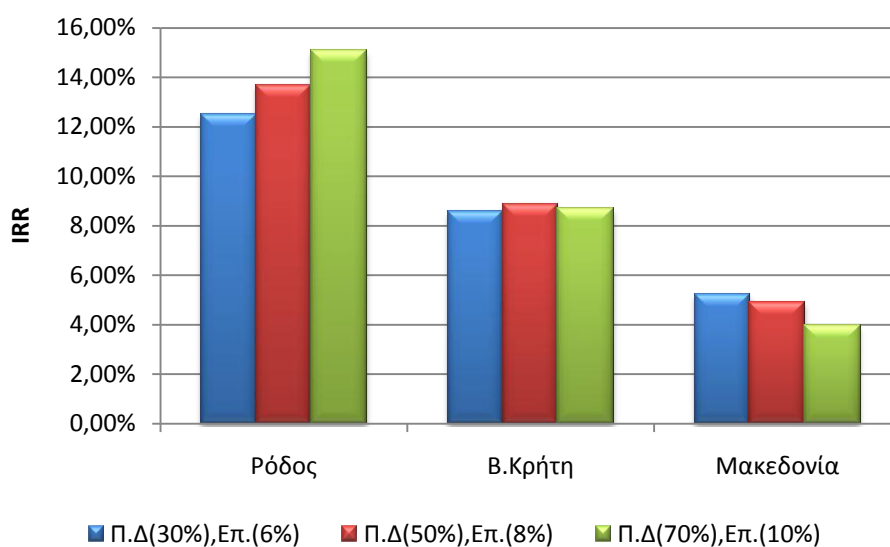
Τοποθεσία Δανεισμός	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Π.Δ(30%).Επ.(6%)	52.197.343 €	6.361.958 €	-31.947.284 €
Π.Δ(50%).Επ.(8%)	53.914.603 €	8.069.259 €	-30.122.599 €
Π.Δ(70%).Επ.(10%)	51.114.184 €	5.285.080 €	-33.098.201 €



Σχήμα 5. 15: Ηλιακοί Πύργοι-Μεταβολή NPV συναρτήσεσι δανεισμού

Πίνακας 5. 15: Ηλιακοί Πύργοι-Μεταβολή IRR συναρτήσει δανεισμού

Τοποθεσία Δανεισμός	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Π.Δ(30%).Επ.(6%)	12,49%	8,57%	5,22%
Π.Δ(50%).Επ.(8%)	13,70%	8,87%	4,90%
Π.Δ(70%).Επ.(10%)	15,07%	8,70%	3,96%

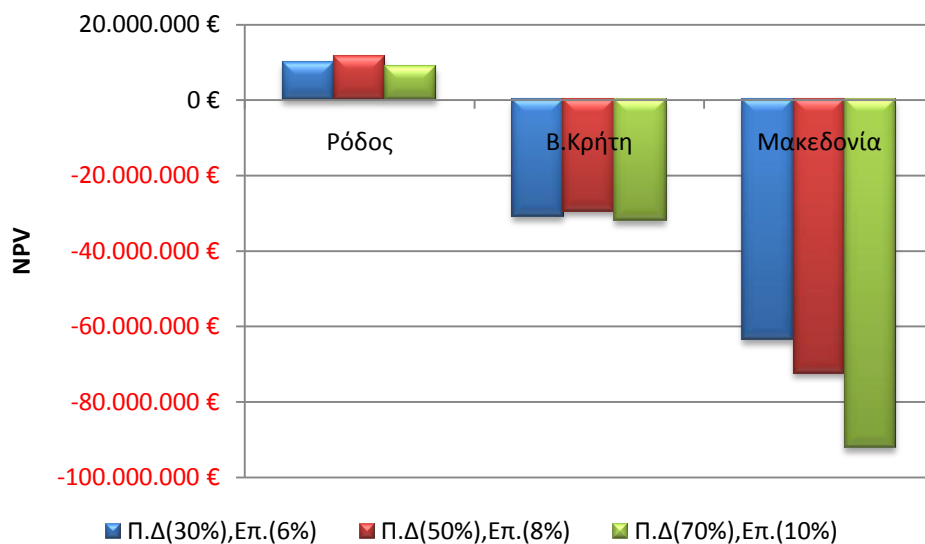


Σχήμα 5. 16 Ηλιακοί Πύργοι-Μεταβολή IRR συναρτήσει δανεισμού

Δίσκος

Πίνακας 5. 16: Συστήματα Δίσκου-Μεταβολή NPV συναρτήσει δανεισμού

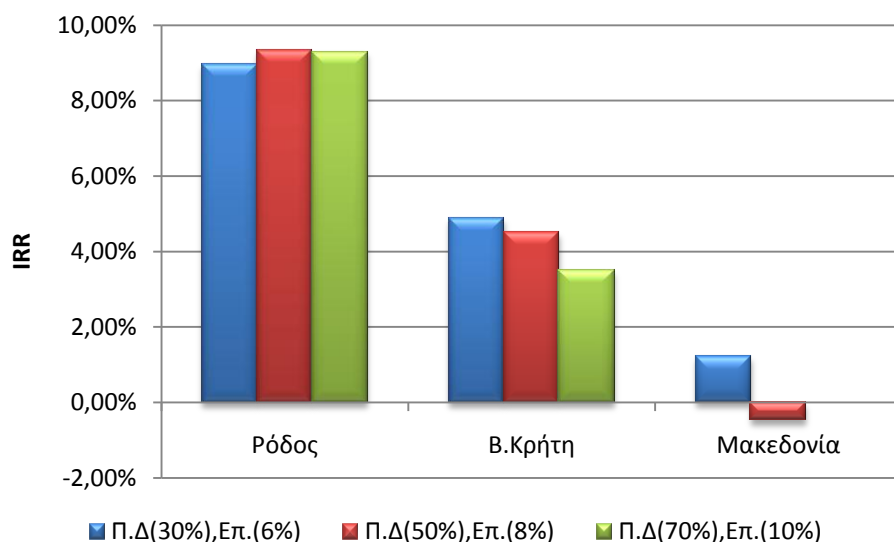
Τοποθεσία Δανεισμός	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Π.Δ(30%).Επ.(6%)	9.941.771 €	-30.943.437 €	-63.450.077 €
Π.Δ(50%).Επ.(8%)	11.522.911 €	-29.362.297 €	-72.357.521 €
Π.Δ(70%).Επ.(10%)	8.944.469 €	-31.940.739 €	-92.002.118 €



Σχήμα 5. 17 :Συστήματα Δίσκου-Μεταβολή NPV συναρτήσει δανεισμού

Πίνακας 5. 17: Συστήματα Δίσκου-Μεταβολή IRR συναρτήσει δανεισμού

Τοποθεσία Δανεισμός	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Π.Δ(30%).Επ.(6%)	8,96%	4,87%	1,21%
Π.Δ(50%).Επ.(8%)	9,33%	4,50%	N.A
Π.Δ(70%).Επ.(10%)	9,29%	3,50%	N.A



Σχήμα 5. 18 :Συστήματα Δίσκου-Μεταβολή IRR συναρτήσει δανεισμού

Παρατηρήσεις

- Σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις δανεισμού, για τα όλα τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, σε περιοχές με πολύ υψηλό ηλιακό δυναμικό οι επενδύσεις είναι οικονομικά βιώσιμες.
- Οι επενδύσεις σε συστήματα Δίσκου-Μηχανής σε περιοχές με μέσο ηλιακό δυναμικό είναι μη βιώσιμες για τις συγκεκριμένες περιοχές
- Σε περιοχές με υψηλό και μέσο ηλιακό δυναμικό, για τα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και συστήματα ηλιακού πύργου, ο οικονομικός δείκτης IRR αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού δανεισμού για την υλοποίηση της επένδυσης. Η αύξηση αυτή δικαιολογείται λόγω του υψηλού κόστους της αρχικής επένδυσης σε συνδυασμό με την αυξημένη ηλεκτροπαραγωγή.
- Σε περιοχές με μέσο ηλιακό δυναμικό ο συντελεστής IRR, για τα συστήματα δίσκου μηχανής αυξάνεται στις περιπτώσεις δανεισμού με χαμηλότερο επιτόκιο και χαμηλότερο συνολικό ποσό δανεισμού.

5.3 Εγκατάσταση Ισχύος 50 MWel(net), με σύστημα αποθήκευσης 6 ωρών.

5.3.1 Στοιχεία Εγκαταστάσεων

Η τοποθέτηση συστήματος αποθήκευσης θερμότητας είναι δυνατή μόνο στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και ηλιακών πύργων ισχύος. Με την χρήση συστήματος αποθήκευσης ο σταθμός έχει δυνατότητα να λειτουργεί χωρίς ηλιακή ακτινοβολία μέχρι και για 6 ώρες στο ονομαστικό του φορτίο. Η χρήση συστήματος αποθήκευσης επηρεάζει σημαντικά το συνολικό κόστος της εγκατάστασης, ενώ συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από τον σταθμό. Σε περίπτωση συστήματος αποθήκευσης η τιμή πώλησης της κάθε MWh είναι αυξημένη κατά 20 ευρώ.

Σταθμός παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών

Με βάση την παράγραφο 5.1.3, για μια εγκατάσταση καθαρής ονομαστικής ισχύος 50 MWel με σύστημα αποθήκευσης θερμότητας 6 ωρών, η οποία θα είναι εγκατεστημένη στις τοποθεσίες που αναφέρονται στην παράγραφο 5.1.1., ο σταθμός με συστήματα παραβολικών κοίλων θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5. 18: Χαρακτηριστικά Σταθμού παραγωγής ενέργειας με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και σύστημα αποθήκευσης 6 ωρών

Περιοχή	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Απαιτούμενη Έκταση(m ²)	1.851.311	1.885.319	2.263.658
Κόστος Εγκατάστασης(€)	237.787.614	240.346.839	268.818.226
Κόστος Εγκατάστασης(€/kWel)	4.756	4.807	5.376
Παραγόμενη Ενέργεια(MWh/yr)	169.803	138.607	124.351
Συντελεστής Εκμετάλλευσης	38,77%	31,65%	28,39%

Σταθμός παραγωγής ενέργειας με Ηλιακό Πύργο Ισχύος

Με βάση την παράγραφο 5.1.4, για μια εγκατάσταση καθαρής ονομαστικής ισχύος 50 MWel με σύστημα αποθήκευσης θερμότητας 6 ωρών, η οποία θα είναι εγκατεστημένη στις τοποθεσίες που αναφέρονται στην παράγραφο 5.1.1., ο σταθμός Ηλιακού Πύργου Ισχύος θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5. 19 :Χαρακτηριστικά Σταθμού παραγωγής ενέργειας Ηλιακού Πύργου με σύστημα αποθήκευσης 6 ωρών

Περιοχή	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Απαιτούμενη Έκταση(m ²)	4.028760	4.063.644	4.796.208
Κόστος Εγκατάστασης(€)	285.550.889	285.309.566	317.105.311
Κόστος Εγκατάστασης(€/kWel)	5.671	5.706	6.342
Παραγόμενη Ενέργεια(MWh/yr)	211.865	165.108	145.858
Συντελεστής Εκμετάλλευσης	48,77%	37,7%	33,3%

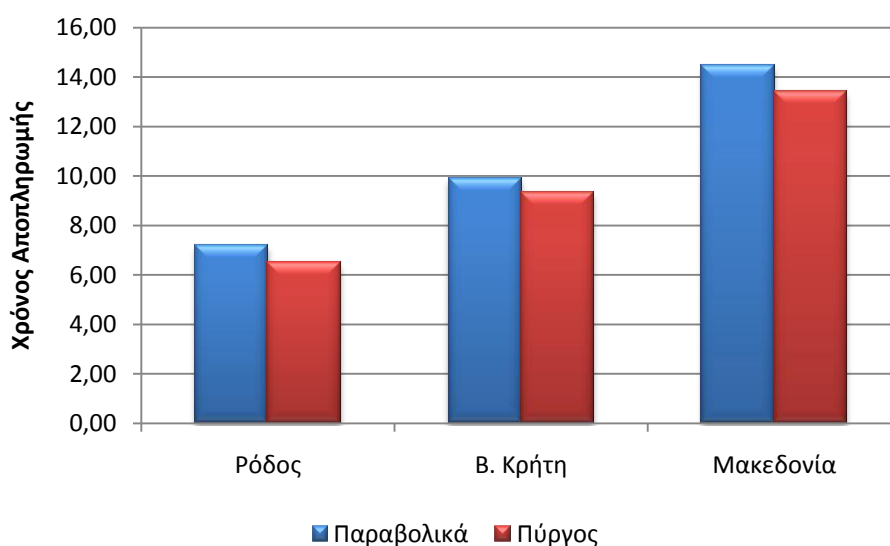
5.3.2 Βασική Οικονομική Μελέτη

Στα πλαίσια της βασικής οικονομικής αξιολόγησης των επενδύσεων το ποσοστό δανεισμού για την υλοποίηση της επένδυσης θεωρείται ίσο με 50% του συνολικού κόστους της επένδυσης. Το επιτόκιο δανεισμού θεωρείται ίσο με 8%, ενώ ως χρόνος αποπληρωμής του δανείου ορίστηκαν τα 12 χρόνια. Για τον υπολογισμό των δόσεων και των τόκων χρησιμοποιείται η μέθοδος των ίσων δόσεων. Τέλος το επιτόκιο προεξόφλησης ορίζεται στο 8%

Χρόνος Αποπληρωμής

Πίνακας 5. 20: Χρόνος Αποπληρωμής σε χρόνια

Τοποθεσία Τεχνολογία	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Παραβολικά	7,18	9,90	14,47
Πύργος	6,48	9,32	13,4



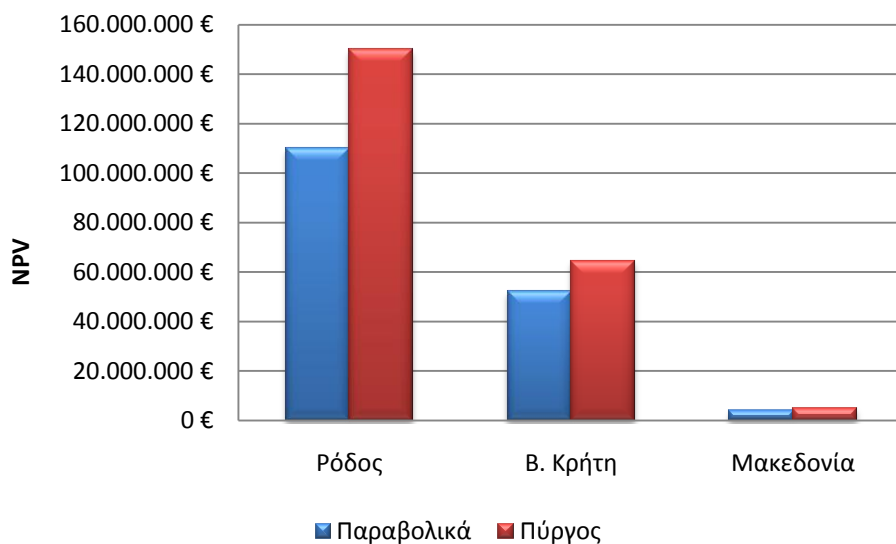
Σχήμα 5. 19: Χρόνος Αποπληρωμής σε χρόνια

NPV & IRR

Για το σύνολο των χρηματηρών υπολογίζονται οι δείκτες NPV και IRR.

Πίνακας 5. 21: Μεταβολή NPV συναρτήσει τοποθεσίας και τεχνολογίας

Τοποθεσία Τεχνολογία	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Παραβολικά	109.951.381 €	52.002.735 €	4.098.861 €
Πύργος	149.727.425 €	64.503.149 €	5.036.046 €

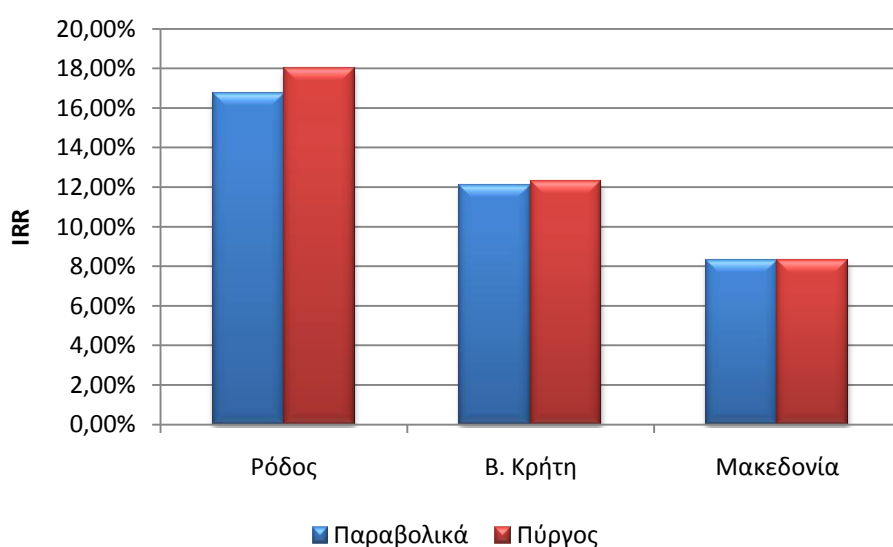


Σχήμα 5. 20: Μεταβολή NPV συναρτήσει τοποθεσίας και τεχνολογίας

IRR

Πίνακας 5. 22: Μεταβολή IRR συναρτήσει τοποθεσίας και τεχνολογίας

Τοποθεσία Τεχνολογία	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
Παραβολικά	16,75%	12,11%	8,29%
Πύργος	18,00%	12,29%	8,30%



Σχήμα 5. 21: Μεταβολή IRR συναρτήσει τοποθεσίας και τεχνολογίας

Παρατηρήσεις

Η χρήση συστήματος αποθήκευσης θερμότητας σε ηλιοθερμικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας αυξάνει σημαντικά το κόστος της συνολικής εγκατάστασης, ενώ απαιτείται πολύ μεγαλύτερος χώρος για την εγκατάσταση του σταθμού. Παρά το αυξημένο κόστος της αρχικής εγκατάστασης παρατηρείται:

- Συγκρίνοντας τα σχήματα 5.15 και 5.3 παρατηρείται ο μειωμένος χρόνος αποπληρωμής για το σύνολο των περιπτώσεων που μελετούνται, ενώ ακόμα και για μέρη με χαμηλό ηλιακό δυναμικό οι χρόνοι αποπληρωμής είναι σχετικά χαμηλοί.
- Στο σχήμα 5.16 παρατηρείται ότι για το σύνολο των επενδύσεων η καθαρή παρούσα αξία λαμβάνει θετικές τιμές και άρα οι επενδύσεις είναι συμφέρουσες.
- Στο σχήμα 5.17 παρατηρείται οι πολύ υψηλές τιμές του οικονομικού δείκτη IRR, ειδικά για μέρη με υψηλό ηλιακό δυναμικό.
- Παρά το υψηλότερο κόστος της αρχικής επένδυσης, οι επενδύσεις είναι πιο συμφέρουσες, αυτό μπορεί να εξηγεί λόγω της αυξημένης ηλεκτροπαραγωγής καθώς και της αυξημένης τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος.

5.3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας ως προς τις δυνατότητες του συστήματος αποθήκευσης.

Η ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης καθώς και οι δυνατότητες του επηρεάζουν σημαντικά τόσο το συνολικό κόστος της επένδυσης, όσο και την ετήσια παραγόμενη ενέργεια από την μονάδα. Η ανάλυση ευαισθησίας γίνεται ως προς τον αριθμό των ωρών του συστήματος αποθήκευσης. Μελετούνται τέσσερις περιπτώσεις εγκαταστάσεων για την εκάστοτε τεχνολογία. Οι οικονομική δείκτες που εξετάζονται είναι το NPV και το IRR, καθώς και το κόστος της εκάστοτε εγκατάστασης.

Για τα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών μελετούνται: μια περίπτωση χωρίς σύστημα αποθήκευσης, μια περίπτωση με σύστημα αποθήκευσης 4 ωρών, μια μέση περίπτωση με σύστημα αποθήκευσης 6 ωρών και μια περίπτωση με εκτεταμένο σύστημα αποθήκευσης 8 ωρών.

Για τα συστήματα Ηλιακού Πύργου Ισχύος μελετούνται: μια περίπτωση χωρίς σύστημα αποθήκευσης, μια περίπτωση με σύστημα αποθήκευσης 6 ωρών, μια μέση περίπτωση με σύστημα αποθήκευσης 8 ωρών και μια περίπτωση με εκτεταμένο σύστημα αποθήκευσης 12 ωρών.

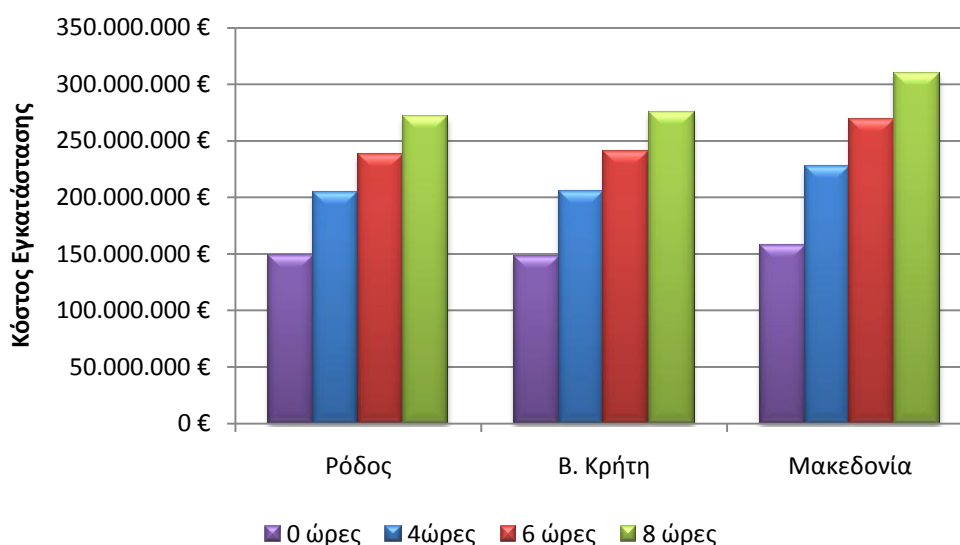
Η επιλογή των περιπτώσεων που μελετούνται γίνεται με βάση τις δυνατότητες της εκάστοτε τεχνολογίας, σε συνδυασμό με τα συστήματα αποθήκευσης που υπάρχουν στους ήδη εγκατεστημένους σταθμούς.

Συστήματα Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών

Κόστος Εγκατάστασης

Πίνακας 5. 23: Κόστος εγκατάστασης με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Τοποθεσία Ώρες	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
0	148.226.475 €	147.426.717 €	157.503.668 €
4	204.095.062 €	205.534.627 €	227.447.997 €
6	237.787.614 €	240.346.839 €	268.818.226 €
8	271.480.165 €	275.159.052 €	310.188.454 €



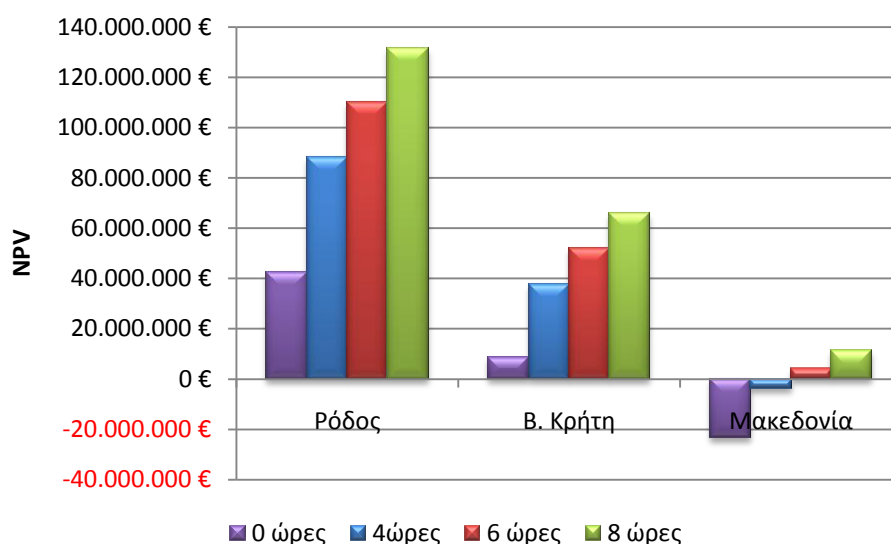
Σχήμα 5. 22: Κόστος εγκατάστασης με συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Σχόλιο: Από το σχήμα 5.18 παρατηρείται ότι το σύστημα αποθήκευσης αυξάνει σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης παραβολικών κοίλων συλλεκτών. Η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη για τοποθεσίες με χαμηλό ηλιακό δυναμικό, όπου ένας σταθμός με σύστημα αποθήκευσης 8 ωρών έχει σχεδόν το διπλάσιο κόστος από ένα σταθμό χωρίς σύστημα αποθήκευσης.

NPV

Πίνακας 5. 24: Παραβολικά-Μεταβολή NPV εγκατάστασης συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Τοποθεσία Ώρες	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
0	42.445.042 €	8.857.273 €	-23.338.922 €
4	88.132.291 €	37.772.568 €	-3.723.526 €
6	109.951.381 €	52.002.735 €	4.098.861 €
8	131.564.021 €	65.912.759 €	11.385.074 €

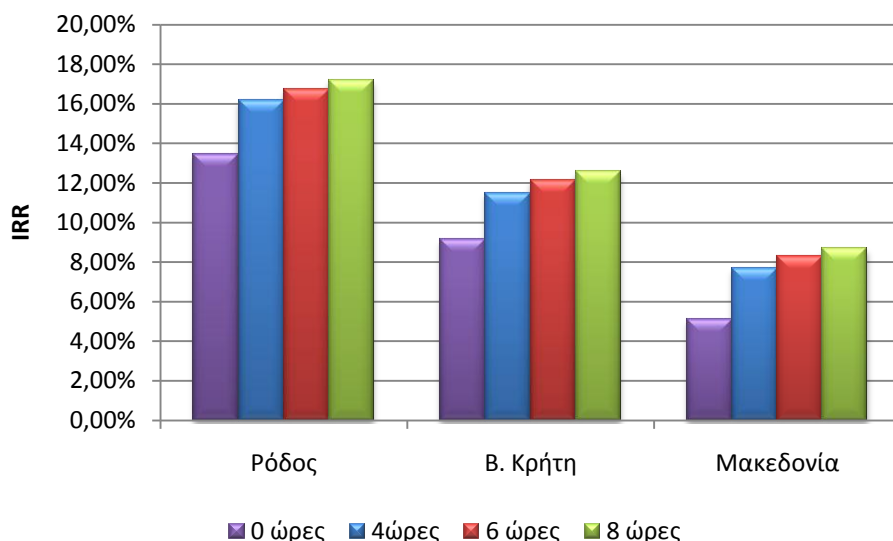


Σχήμα 5. 23: Παραβολικά-Μεταβολή συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

IRR

Πίνακας 5. 25: Παραβολικά-Μεταβολή IRR συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Τοποθεσία Ώρες	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
0	13,43%	9,15%	7442
4	16,17%	11,49%	7,69%
6	16,75%	12,11%	8,29%
8	17,17%	12,54%	8,70%



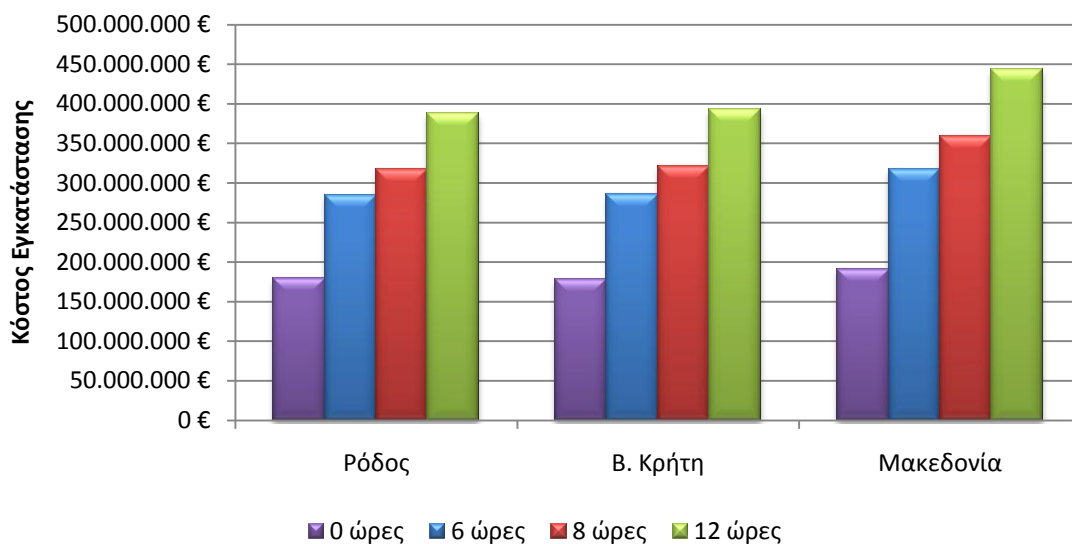
Σχήμα 5. 24: Παραβολικά-Μεταβολή IRR συναρτήσεϊ του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Σχόλιο: Παρατηρείται ότι η χρήση συστήματος αποθήκευσης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση των επενδύσεων. Ωστόσο συγκρίνοντας εγκαταστάσεις με συστήματα αποθήκευσης διαφορετικής δυναμικότητας, η διαφορά της τιμής του οικονομικού δείκτη IRR είναι μικρή για της εγκαταστάσεις που μελετούνται.

Συστήματα Ηλιακού Πύργου

Πίνακας 5. 26: Ηλιακός-Πύργος-Μεταβολή κόστους εγκατάστασης συναρτήσεϊ του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Τοποθεσία Ώρες	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
0	179.204.818 €	178.165.514 €	190.415.091 €
6	283.550.889 €	285.309.566 €	317.105.311 €
8	318.343.409 €	321.034.756 €	359.335.384 €
12	387.896.959 €	392.453.618 €	443.795.531 €



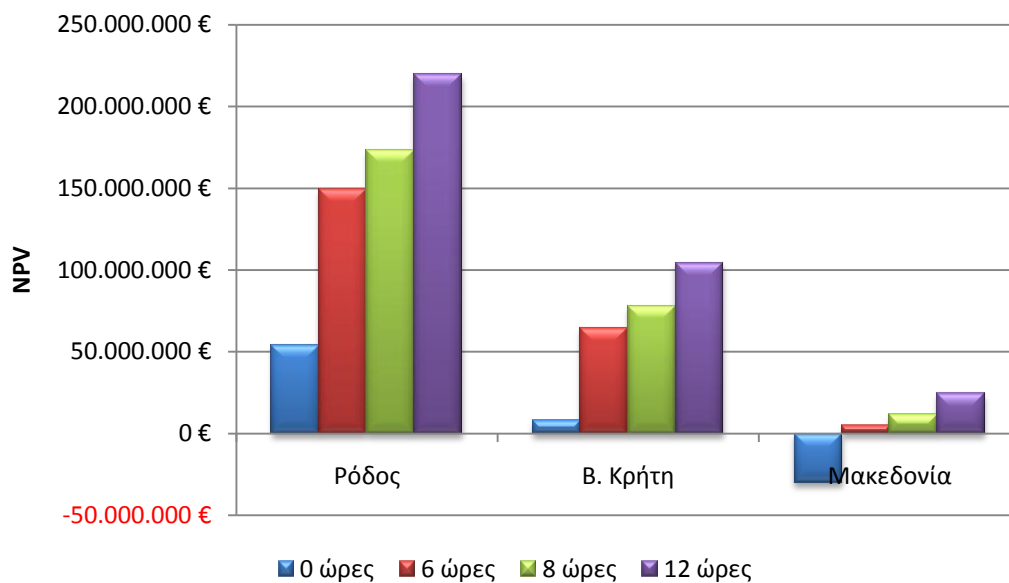
Σχήμα 5. 25: Ηλιακός-Πύργος-Μεταβολή κόστους εγκατάστασης συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Σχόλιο: Από το διάγραμμα 5.25 και τον πίνακα 5.26 παρατηρείται το αυξημένο κόστος ενός σταθμού με σύστημα αποθήκευσης. Η δυναμικότητα του συστήματος αποθήκευσης επηρεάζει σημαντικά το κόστος της συνολικής εγκατάστασης λόγω της απαίτησης του συστήματος για ηλιακό πεδίο μεγαλύτερων διαστάσεων.

NPV

Πίνακας 5. 27: Ηλιακός-Πύργος-Μεταβολή NPV συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Τοποθεσία Ώρες	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
0	53.914.603 €	8.069.259 €	-30.122.599 €
6	149.727.425 €	64.503.149 €	5.036.046 €
8	173.060.808 €	77.965.010 €	11.485.964 €
12	219.431.012 €	104.264.509 €	24.228.778 €

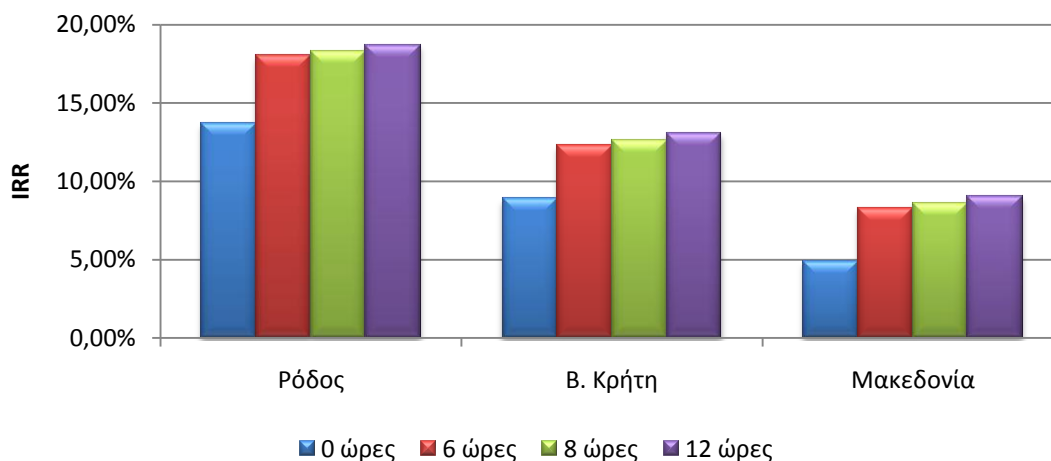


Σχήμα 5. 26: Ηλιακός-Πύργος-Μεταβολή NPV συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

IRR

Πίνακας 5. 28: Ηλιακός Πύργος-Μεταβολή IRR συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Τοποθεσία Ώρες	Ρόδος	Β. Κρήτη	Μακεδονία
0	13,70%	8,87%	4,90%
6	18,00%	12,29%	8,30%
8	18,30%	12,61%	8,61%
12	18,72%	13,04%	9,04%



Σχήμα 5. 27: Ηλιακός Πύργος-Μεταβολή IRR συναρτήσει του μεγέθους του συστήματος αποθήκευσης

Σχόλιο: Η συνεισφορά του συστήματος αποθήκευσης διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Παρατηρείται ότι η χρήση συστήματος αποθήκευσης μεγάλης δυναμικότητας καθιστά την επένδυση βιώσιμη ακόμα και σε περιοχές με χαμηλό ηλιακό δυναμικό. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη πώλησης τιμής του ρεύματος καθώς και στην μεγαλύτερη ετήσια ηλεκτροπαραγωγή.

5.4 Ανηγμένο Κόστος Παραγωγής Ενέργειας για την Ελληνική Επικράτεια

5.4.1 Παραδοχές

Εγκατάσταση

Η εγκατάσταση που θα μελετηθεί είναι τεχνολογίας παραβολικών κοίλων συλλεκτών χωρίς σύστημα αποθήκευσης ισχύος 50MW_{el} , καθώς για εγκαταστάσεις αυτού του μεγέθους υπάρχει μεγαλύτερη εμπειρία, ενώ το κόστος της εγκατάστασης παραμένει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Η μελέτη του συνολικού κόστους της εγκατάστασης, των ετήσιων εξόδων συντήρησης και λειτουργίας καθώς και της παραγόμενης ενέργειας γίνεται με βάση την παράγραφο 5.1.3.

Τοποθεσίες

Έγινε η επιλογή 20 τοποθεσιών στην ελληνική επικράτεια, με σκοπό την κάλυψη ολόκληρου του ελληνικού χάρτη. Στην νότια Ελλάδα όπου τα επίπεδα άμεσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι υψηλότερα επιλέχθηκαν περισσότερα σημεία με σκοπό την εξαγωγή ασφαλέστερων και πιο αναλυτικών συμπερασμάτων. Τα σημεία που επιλέχθηκαν φαίνονται στην σχήμα 5.24. Η μελέτη δεν αφορά τα νησιά του αιγαίου, τα οποία λόγω του μικρού τους μεγέθους δεν έχουν τον απαραίτητο χώρο

για την εγκατάσταση ενός θερμικού Ηλιακού Πάρκου. Τέλος από τα Δωδεκάνησα η μελέτη αφορά τα νησιά Ρόδο και Κάρπαθο.

Σε κάθε διαμέρισμα της Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδας, λόγω του χαμηλού Ηλιακού δυναμικού των περιοχών αυτών, εμφανίζονται τιμές του μέσου όρου του LCOE. Στην Νότια Ελλάδα και στην Κρήτη, όπου τα επίπεδα της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής Ακτινοβολίας είναι πιο υψηλά, τα γεωγραφικά Διαμερίσματα χωρίζονται σε μικρότερες περιοχές αναλόγως με το ηλιακό δυναμικό τους, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς.



Σχήμα 5. 28: Επιλεγμένες Τοποθεσίες για δημιουργία του 'χαρτη

Απορρόφηση Παραγόμενου Ρεύματος

Το παραγόμενο από του Ηλιοθερμικούς σταθμούς Ηλεκτρικό Ρεύμα θεωρείται ότι απορροφάται πλήρως από το δίκτυο ακόμα και στις μη διασυνδεδεμένες περιοχές της χώρας (Κρήτη και Δωδεκάνησα).

Μη διαθεσιμότητα Σταθμού Λόγω καιρικών Φαινομένων

Στα πλαίσια της μελέτης, η μη διαθεσιμότητα του σταθμού λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων θεωρείται αμελητέα, λόγω του χαμηλού υψόμετρου τοποθέτησης των εγκαταστάσεων

5.4.2 Χάρτης



Σχήμα 5. 29: Χάρτης Ελλάδος όπου απεικονίζεται το ανηγμένο κόστος παραγωγής ενέργειας

Πίνακας 5. 29: Υπόμνημα Χάρτη σχήματος 5.25

Υπόμνημα (€/kWh)
LCOE>0,264
0,264 <LCOE<0,240
0,240<LCOE<0,220
0,220<LCOE<0,200
LCOE<0,200

Σχόλιο: Από τον χάρτη παρατηρείται η μεταβολή του ανηγμένου κόστους παραγωγής ρεύματος για περιοχές με διαφορετικό ηλιακό δυναμικό. Το κόστος παραγωγής ενέργειας στις περιοχές της Βόρειας Ελλάδας (Θράκη, Μακεδονία, Ήπειρος και Θεσσαλία) είναι μεγαλύτερο από την τιμή πώλησης του ρεύματος. Στις περιοχές της στερεάς Ελλάδας καθώς και στο βόρειο τμήμα της Πελοποννήσου, το κόστος είναι χαμηλότερο, ωστόσο παραμένει αρκετά υψηλό. Οι περιοχές που παρουσιάζουν χαμηλό κόστος παραγόμενης ενέργειας εντοπίζονται στην Κρήτη και στην Ρόδο. Πιο συγκεκριμένα το νοτιοανατολικό τμήμα της Κρήτης καθώς και ο νομός Δωδεκανήσου παρουσιάζουν το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ενέργειας, γεγονός που ήταν αναμενόμενο καθώς οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν το υψηλότερο ηλιακό δυναμικό στην Ελληνική επικράτεια.

Κεφάλαιο 6^ο Μελέτη Εγκατάστασης Παραβολικών Κοίλων Συλλεκτών για παραγωγή ατμού

6.1 Γενικά

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που απαιτείται από τις βιομηχανικές εφαρμογές απαιτείται τροφοδοσία ατμού με θερμοκρασίες μικρότερες των 250°C, θερμοκρασία η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση θερμικών ηλιακών τεχνολογιών. Επιπλέον για εφαρμογές όπου απαιτούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες υπάρχει ήδη η απαραίτητη τεχνολογία. Μέχρι πρόσφατα η ηλιακή ενέργεια δεν μπορούσε να συνεισφέρει στην παραγωγή θερμότητας υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας.

Η παραγωγή ατμού υψηλής θερμοκρασία και πίεσης μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων. Με την χρήση συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων είναι δυνατή η παραγωγή ατμού με θερμοκρασία μέχρι και 565°C και πίεση 165bar. Ωστόσο η επίτευξη τόσο υψηλών θερμοκρασιών απαιτεί την χρήση συστημάτων κεντρικού δέκτη, τεχνολογία η οποία χρειάζεται περαιτέρω εξέλιξη για να χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία, καθώς χαρακτηρίζεται από αρκετά υψηλό κόστος. Ωστόσο τα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών μπορούν να θεωρηθούν μια αρκετά ώριμη τεχνολογία (όπως φαίνεται και από τους πίνακα 1.1 υπάρχουν ήδη εγκατεστημένοι σταθμοί συνολικής ισχύος πάνω από 1000MW_{el}) ώστε να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ατμού ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για θερμικές διεργασίες. Με την χρήση παραβολικών κοίλων συλλεκτών είναι δυνατή η παραγωγή ατμού θερμοκρασίας μέχρι και 390°C και πίεσης πάνω από 100 bar. Ταυτόχρονα μέσω της χρήσης συστημάτων αποθήκευσης και υβριδισμού είναι η αξιόπιστη λειτουργία της εγκατάστασης.

Στα πλαίσια της μελέτης θα μελετηθεί η εγκατάσταση σταθμού παραγωγής ατμού με συστήματα παραβολικών κοίλων, καθώς η τεχνολογία αυτή είναι η πιο ώριμη τεχνολογία συγκεντρωτικών συστημάτων, ενώ το κόστος της παραμένει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα.

6.2 Διαδικασία υπολογισμού χαρακτηριστικών της εγκατάστασης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της εκάστοτε εγκατάστασης και της παραγόμενης θερμότητας από τον σταθμό είναι η ίδια με αυτή της παραγράφου 5.1.3. Η μόνη διαφορά εντοπίζεται στο γεγονός ότι

στην περίπτωση εγκατάστασης παραγωγής θερμότητας, η ληφθείσα θερμότητα από το ηλιακό πεδίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού με τα επιθυμητά θερμικά χαρακτηριστικά και στην συνέχεια ως θερμότητα οδηγείται στην βιομηχανία. Η εγκατάσταση θα χρησιμοποιεί ως εφεδρικό σύστημα θερμότητας θερμότητα από την μονάδα συμπαραγωγής που είναι εγκατεστημένη στην Βιομηχανία

6.3 Μελέτη εγκατάστασης Ισχύος 6,5MW_{th}, για παραγωγή ατμού στην βιομηχανία Αλουμινίου στην Βοιωτία.

6.3.1 Χαρακτηριστικά Εγκατάστασης

Τοποθεσία

Η τοποθεσία εντοπίζεται στην Βοιωτία, πιο συγκεκριμένα το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι 38,21 και το γεωγραφικό της μήκος 22,41. Τα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία βρέθηκαν από (35). Ενώ οι τιμές για την θερμοκρασία από (36), και αφορούν τιμές μέσης ημέρας του κάθε μήνα. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από χαμηλό ηλιακό δυναμικό με συνολική ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ίση με 1255kWh/m².

Χαρακτηριστικά Εγκατάστασης

Η εγκατάσταση ονομαστικής ισχύος 6,5 MW_{th} θα τροφοδοτεί το σύστημα ατμού χαμηλής πίεσης της βιομηχανίας. Ο ατμός που θα παράγεται από το σύστημα θα είναι πίεσης 16 bar και θερμοκρασία 230°C ενώ στην ονομαστική του λειτουργία η παραγωγή ατμού θα είναι 9,7tons/hr. Το τροφοδοτικό νερό της εγκατάστασης θα είναι θερμοκρασίας 110 °C και πιέσεως 18bar Τα χαρακτηριστικά απόδοσης καθώς και το συνολικό κόστος της εγκατάστασης φαίνονται στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6. 1: Χαρακτηριστικά Εγκατάστασης

Σταθμός Ονομαστικής Ισχύος 6,5 MW_{th}	
Στοιχεία Παραγόμενου ατμού	
Ονομαστική Παροχή Ατμού	9,7 tons/hr
Θερμοκρασία	230 °C
Πίεση	16 bar
Ετήσια Απόδοση	
Συνολικά Παραγόμενη Θερμότητα	10.550 MWh
Συνολική Ετήσια Παραγωγή Ατμού	15.800 τόνοι
Συνολικές ώρες Λειτουργίας Σταθμού ανά έτος⁵	3050
Συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας	18,9%
Στοιχεία Εγκατάστασης	

⁵ Παραγωγή ατμού μεγαλύτερη από 0,1 τόνους την ώρα

Απαιτούμενη Έκταση	72.000 m²
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης	5.900.000€

Ανάλυση Κόστους Εγκατάστασης

Το κόστος της εγκατάστασης έγινε με βάση τον πίνακα 2.5 ενώ η ανάλυση του φαίνεται στον πίνακα 6.2

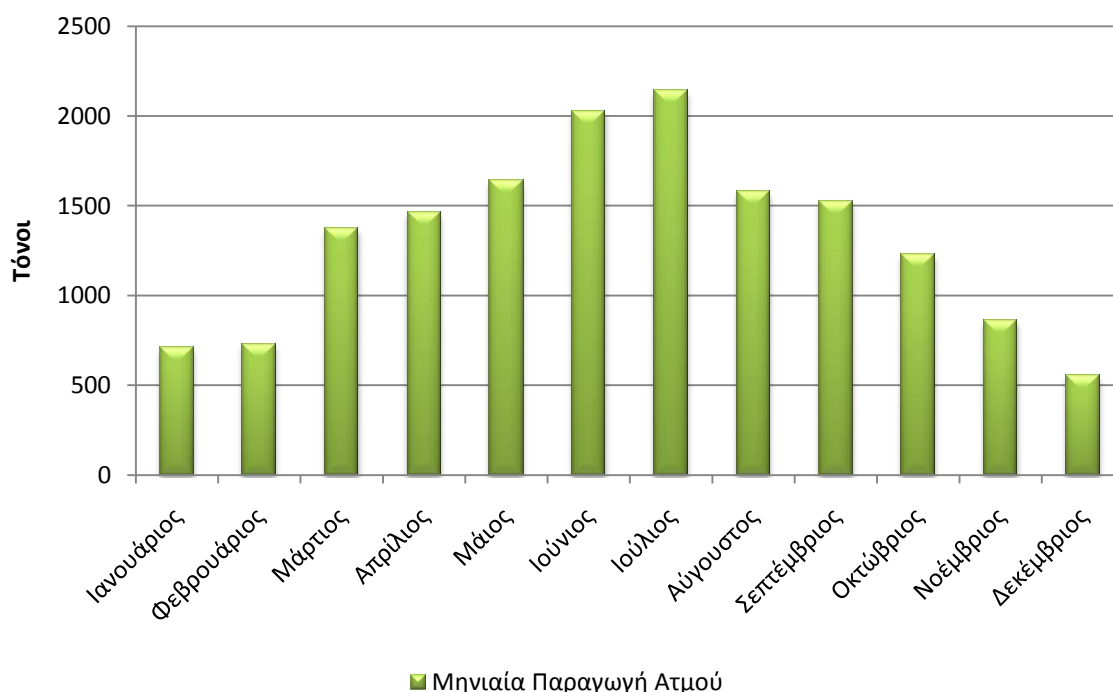
Πίνακας 6. 2: Ανάλυση Κόστους Εγκατάστασης

Ανάλυση Κόστους Εγκατάστασης	
Κόστος Ηλιακού Πεδίου	4.500.000€
Κόστος Συστήματος Παραγωγή Ατμού	520.000€
Κόστος Μελέτης/Κατασκευής-Λοιπά Έξοδα	900.000€

6.3.2 Απόδοση της Εγκατάστασης κατά την διάρκεια του έτους

Μηνιαία Παραγωγή Ατμού

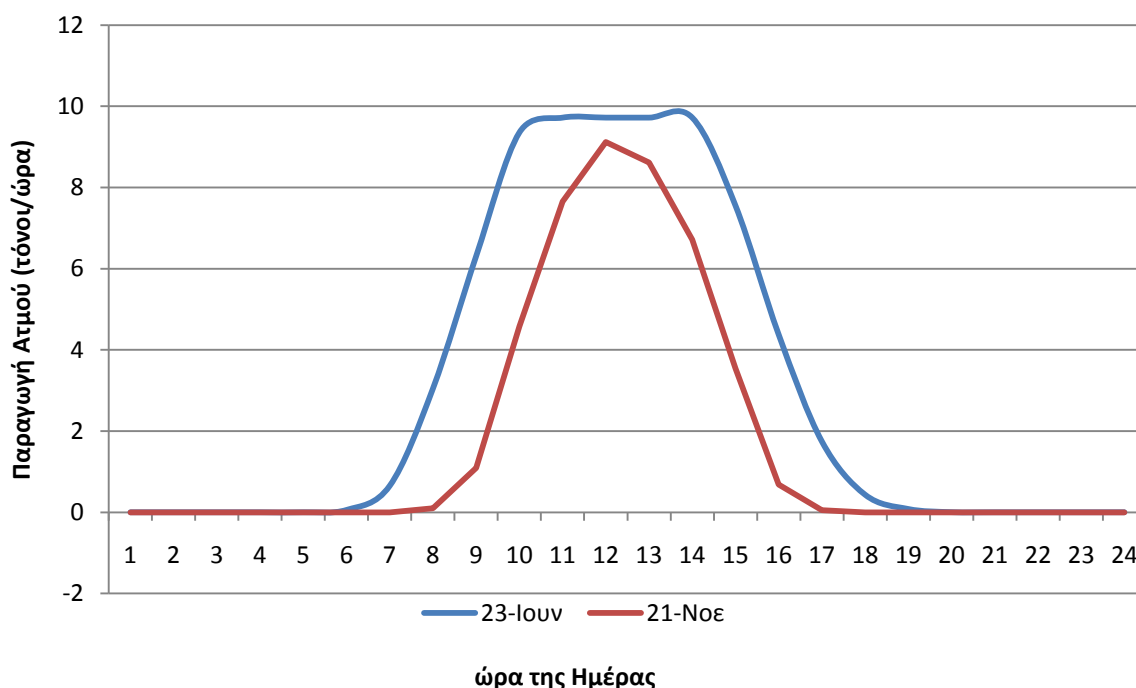
Μηνιαία Παραγωγή Ατμού



Σχήμα 6. 1: Διάγραμμα μηνιαίας παραγωγής ατμού

Παραγωγή Ατμού κατά την διάρκεια της Ημέρας

Για την περιγραφή της λειτουργίας του σταθμού κατά την διάρκεια της ημέρας, επιλεχτήκαν να παρουσιαστούν δύο ενδεικτικές ημέρες του χρόνου. Το πρώτο διάγραμμα είναι από μια καλοκαιρινή μέρα (23^η Ιουνίου) και το δεύτερο από μια χειμερινή μέρα (21 Νοεμβρίου). Τα διαγράμματα φαίνονται στο σχήμα 6.2



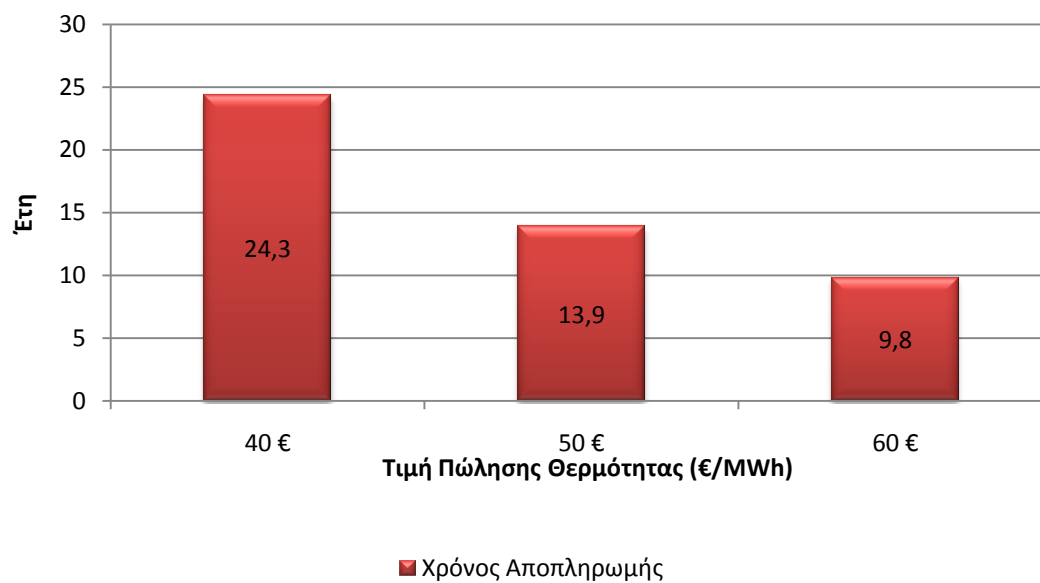
Σχήμα 6. 2: Ημερήσια λειτουργία σταθμού

6.3.3 Χρόνος Αποπληρωμής επένδυσης

Στα πλαίσια της οικονομικής μελέτης θα υπολογιστεί ο χρόνος αποπληρωμής της εγκατάστασης για διαφορετικές τιμές πώλησης της παραγόμενης θερμότητας. Οι τιμές πώλησης που θα εξεταστούν είναι: 40€/MWh, 50€/MWh και 60€/MWh.

Στα πλαίσια της επένδυσης θεωρήθηκε η λήψη επιχορήγησης για την δημιουργία της εγκατάστασης ίση με 2.500.000€. Ενώ τα ετήσια έξοδα συντήρησης και λειτουργία της εγκατάστασης ίσα με το 2% της αρχικής επένδυσης. Η διάρκεια ζωής του έργου θεωρείται 25 χρόνια. Τα αποτελέσματα της μελέτης φαίνονται στο σχήμα 6.3

Χρόνος Αποπληρωμής



Σχήμα 6. 3: Χρόνος Αποπληρωμής Συναρτήσει της τιμής πώλησης της παραγόμενης θερμότητας

Σχόλιο: Η παραγωγή θερμότητας με την χρήση παραβολικών κοίλων συλλεκτών απαιτεί την λήψη επιδότησης προκειμένου να είναι βιώσιμη η επένδυση. Ενώ η τιμή πώλησης της θερμότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 50€/MWh.

Κεφάλαιο 7^ο Συμπεράσματα-Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

7.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύνοψη των κυριότερων συμπερασμάτων από την διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη των Συγκεντρωτικών (Θερμικών) Ηλιακών Συστημάτων και η διενέργεια μιας οικονομοτεχνικής μελέτης για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ισχύος που θα χρησιμοποιούσαν τις τεχνολογίες αυτές. Η μελέτη έγινε για το σύνολο της Ελληνικής Επικράτειας και για σταθμούς με διαφορετικές τεχνολογίες και διαφορετικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον προτείνονται μερικά θέματα για μελλοντική μελέτη στο τομέα των Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων.

7.2 Συνολικά Συμπεράσματα

Η πιο ώριμη συγκεντρωτική ηλιακή τεχνολογία είναι αυτή των παραβολικών κοίλων συλλεκτών με σταθμούς σε λειτουργία από το 1985 και ένα μεγάλο αριθμό σταθμών σε κατάσταση λειτουργίας (Συνολική ισχύς σταθμών υπό λειτουργία πάνω από 1.4 GW_{el}) . Συνεπώς η παγκόσμια βιβλιογραφία για την τεχνολογία αυτή είναι πιο πλήρες, γεγονός που καθιστά την μελέτη των σταθμών παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή ευκολότερη και τα αποτελέσματα που εξάγονται ασφαλέστερα.

Τα συστήματα κεντρικού δέκτη χαρακτηρίζονται από συνθέτες οπτικές διατάξεις και απαιτούν προηγμένα συστήματα ελέγχου με κατάλληλο προγραμματισμό. Επιπλέον δυσκολίες υπάρχουν που αφορούν την βέλτιστη διάταξη του ηλιακού πεδίου και την τεχνολογία του δέκτη. Οι δυσκολίες αυτές αποτυπώνονται στον μικρό αριθμό εγκατεστημένων σταθμών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή, ωστόσο ο μεγάλος αριθμός σταθμών που βρίσκονται είτε υπό κατασκευή είτε υπό μελέτη αναδεικνύει τις τεράστιες δυνατότητες της τεχνολογίας αυτής, καθώς επιτρέπει την παραγωγή θερμότητας υψηλής ποιότητας κατάλληλη για χρήση σε κύκλους υψηλής απόδοσης.

Τα συστήματα Ηλιακού δίσκου αποτελούν τεχνολογία η οποία χαρακτηρίζεται από τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι σύγχρονες τεχνολογίες επιτρέπουν την μαζική παραγωγή ενέργειας ακόμα και σε περιοχές όπου υπάρχουν περιορισμένα αποθέματα νερού, καθώς οι μηχανές είναι

αερόψυκτες και το εργαζόμενο μέσω είναι αέριο. Το κόστος εγκατάστασης είναι πολύ υψηλό ωστόσο μπορεί να μειωθεί με την αύξηση της ετήσιας παραγωγής των συστημάτων, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.

Η οικονομοτεχνική μελέτη που διεξήχθη στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έδειξε ότι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών και συστήματα ηλιακού πύργου ισχύος αποτελούν τις πιο βιώσιμες επενδύσεις για την ελληνική επικράτεια, ακόμα και για περιοχές με μέτριο ηλιακό δυναμικό, γεγονός που οφείλεται στην επιδοτούμενη τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος από τους ηλιοθερμικούς σταθμούς. Επιπλέον οι οικονομικοί δείκτες καθιστούν τις επενδύσεις πολύ συμφέρουσες στις περιοχές με υψηλό ηλιακό δυναμικό.

Η εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των εγκαταστάσεων και καθιστά τις επενδύσεις βιώσιμες ακόμα και σε περιοχές με χαμηλότερο ηλιακό δυναμικό. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη ετήσια ηλεκτροπαραγωγή από τις μονάδες που χρησιμοποιούν σύστημα αποθήκευσης καθώς και στην σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία υψηλότερη τιμή πώλησης του ρεύματος από εγκαταστάσεις όπου υπάρχει σύστημα αποθήκευσης δυναμικότητας μεγαλύτερης των δύο ωρών.

Τα συστήματα ηλιακού δίσκου παρά την υψηλή απόδοση τους, είναι σχεδιασμένα για περιοχές με υψηλότερο ηλιακό δυναμικό (π.χ. ερημικές τοποθεσίες στην περιοχή της Καλιφόρνια). Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται και στην οικονομοτεχνική μελέτη από τους οικονομικούς δείκτες των επενδύσεων που χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες αυτές. Σύμφωνα με την μελέτη που έγινε οι επενδύσεις είναι βιώσιμες μόνο στις περιοχές της ελληνικής επικράτειας με πολύ υψηλό ηλιακό δυναμικό. Ωστόσο ακόμα και σε αυτές τις περιοχές οι οικονομικοί δείκτες δεν είναι τόσο ελκυστικοί όσο των άλλων τεχνολογιών που μελετήθηκαν.

Η μελέτη για το ανηγμένο κόστος παραγωγής ενέργειας στην Ελληνική Επικράτεια έδειξε ότι οι περιοχές της Βόρειας Ελλάδας παρουσιάζουν ανηγμένο κόστος παραγωγής ενέργειας υψηλότερο από την επιδοτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος. Οι περιοχές της Στερεάς Ελλάδας και της Βόρειας Πελοποννήσου παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές παραγωγής ρεύματος, ωστόσο το κόστος παραμένει αρκετά υψηλό. Οι περιοχές που παρουσιάζουν χαμηλό κόστος παραγωγής Ενέργειας εντοπίζονται στην περιοχή της Κρήτης και στο νομό Δωδεκανήσου. Ωστόσο τόσο η Κρήτη όσο και τα Δωδεκάνησα αποτελούν περιοχές μη διασυνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ηπειρωτικής Ελλάδας, γεγονός που περιορίζει την συνολική ισχύ που μπορεί να εγκατασταθεί στις περιοχές αυτές. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το χάρτη του Ηλιακού δυναμικού της Ευρώπης, οι περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνονται στις περιοχές με το υψηλότερο δυναμικό του ευρωπαϊκού χώρου.

Τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα είναι κατάλληλα για παραγωγή ατμού ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμικές διεργασίες στην βιομηχανία. Ιδιαίτερα η τεχνολογία παραβολικών κοίλων συλλεκτών μπορεί να θεωρηθεί ώριμη αρκετά για αυτό το σκοπό. Ωστόσο η δημιουργία εγκατάστασης για την παραγωγή ατμού με την χρήση παραβολικών κοίλων συλλεκτών απαιτεί επιχορήγηση της επένδυσης ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλό ηλιακό δυναμικό προκειμένου να είναι βιώσιμη αυτή να είναι βιώσιμη. Στον πίνακα 7.1 συνοψίζονται οι δυνατότητες κάθε τεχνολογίας σε ότι αφορά την παραγωγή ατμού, καθώς και ο σταθμός ή το πρότυπο όπου επιτυγχάνεται η παραγωγή του ατμού αυτού

Πίνακας 7. 1: Δυνατότητα παραγωγή ατμού ανά τεχνολογία (9), (19), (23), (27), (6), (24)

Τεχνολογία	Χαρακτηριστικά Ατμού	Ονομασία Σταθμού-Project
Παραβολικοί Κοίλοι Συλλέκτες με ρευστό μεταφοράς θερμότητας	100bar,380°C	Andasol-1
Παραβολικοί Κοίλοι Συλλέκτες με σύστημα άμεσης ατμοποίησης	65bar,400 °C	INDITEP
Ηλιακός Πύργος με σύστημα άμεσης ατμοποίησης	150bar, 550 °C	BrightSourceEnergy
Ηλιακός Πύργος με ρευστό μεταφοράς θερμότητας	100bar, 550 °C	Solar Tres
Ηλιακός Πύργος με χρήση ατμοσφαιρικού αέρα	65bar, 480 °C ⁶	Phoebus

Τέλος τα γενικά και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας όπως αυτά βρέθηκαν από το σύνολο της έρευνας που έγινε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας φαίνονται στον Πίνακα 7.2.

⁶ Σύμφωνα με (6), η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα για παραγωγή ατμού θερμοκρασία μέχρι και 540°C και πίεσης 140bar

Πίνακας 7. 2: Σύνοψη χαρακτηριστικών της εκάστοτε τεχνολογίας (31), (25), (6), (23), (13), (20), (33), (24),

Τεχνολογία	Παραβολικά	Ηλιακός Πύργος	Ηλιακός Δίσκος
Θερμοκρασία Δέκτη	Μέση	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Εμπειρία	+++	+	+
Δυνατότητα Αποθήκευσης Θερμότητας	Ναι	Ναι	-
Προοπτικές για εξέλιξη	Μικρές (κυρίως μέσω συστημάτων άμεσης ατμοποίησης)	Μεγάλες	Σημαντικές (μέσω μαζικής Παραγωγής)
Δυνατότητα Υβριδισμού	Ναι	Ναι	Ναι (ασυνήθιστο)
Δυνατότητα για Παραγωγή Καυσίμου	Όχι	Ναι	Ναι
Καταλληλότητα για ανώμαλες επιφάνειες	Ανάγκη για επίπεδο έδαφος	Δυνατότητα εγκατάστασης ηλιακού πεδίου ακόμα και σε κεκλιμένο έδαφος	Αυτόνομα συστήματα μικρού μεγέθους
Απαιτήση για νερό	Ναι	Ναι (αναλόγως την εγκατάσταση)	Μόνο για καθαρισμό των ανακλαστικών επιφανειών
Απαιτούμενος χώρος	20 m ² /kW _{el} ⁸	50 m ² /kW _{el} ⁷	580m ² /25kW ⁸
Κόστος ⁹	<3000€/kW _{el}	>3000€/kW _{el}	6500€/kW _{el}

7.3 Προτάσεις για Μελλοντική μελέτη

Όπως φαίνεται από τους πίνακες με τους σταθμούς που βρίσκονται ήδη υπό μελέτη(Πίνακας 1.4) τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα αναμένεται να συμβάλλουν σημαντικά στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας στο άμεσο μέλλον. Ωστόσο η δημιουργία ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας που θα συμβάλει σαν

⁷ Για περιοχή με υψηλό ηλιακό δυναμικό

⁸ Σύστημα "SunCatcher"

⁹ Εγκατάσταση χωρίς σύστημα αποθήκευσης

σταθμός βάσης στο ενεργειακό μίγμα απαιτεί τόσο την εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης όσο και τον υβριδισμό του σταθμού με χρήση συμβατικών καυσίμων.

Ως μελλοντική μελέτη της παρούσας διπλωματική εργασίας θα μπορούσε να είναι η εξέταση των διαθέσιμων υβριδικών τεχνολογιών συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων και ιδιαίτερα η χρήση ηλιακού πύργου για προθέρμανση αέρα καύσης συστήματος αεριοστρόβιλου εγκατεστημένου σε μονάδα συνδυασμένου κύκλου.

Επιπλέον μια συγκριτική οικονομοτεχνική-μελέτη μεταξύ της απόδοσης των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων και των φωτοβολταϊκών συστημάτων για το σύνολο της ελληνικής επικράτειας θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Τέλος θα μπορούσε να εξεταστεί η συμβολή των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων στην αξιοπιστία του συστήματος, τόσο των διασυνδεδεμένων όσο και των μη διασυνδεδεμένων περιοχών, καθώς οι αιχμές της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια εμφανίζονται συσχετισμένες με την αιχμή της παραγωγικότητας των μονάδων που χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες αυτές.

Παράρτημα

Οδηγός Λειτουργίας Υπολογιστικού Εργαλείου “CaseStudyTool”

Γενικά

Για την κατασκευή του υπολογιστικού εργαλείου ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.1. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Ms excel. Το αρχείο excel που συνοδεύει την εργασία αποτελείται από 12 υπολογιστικά φύλλα (Sheets). Στο πρώτο φύλλο με την ονομασία *Γενικό Πλάνο*, υπάρχουν κελιά όπου συνοψίζονται τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των σταθμών. Επιπλέον υπάρχει το άμεσο κέντρο ελέγχου του Εργαλείου. Στα επόμενα 3 φύλλα (*Place1, Place2, Place3*) υπάρχει την υπολογιστική διαδικασία για τα 3 μέρη που εξετάζονται. Στην συνέχεια στα 6 φύλλα υπάρχουν οι υπολογισμοί των διατάξεων και των χαρακτηριστικών της κάθε τεχνολογίας (*ParabolicTrough, SolarTower, DishMachine*) και καθώς και την ξεχωριστή οικονομική ανάλυση της κάθε τεχνολογίας (*EconomicEvaluationParabolicTrough, EconomicEvaluationSolarTower, EconomicEvaluationDishMachine*). Τέλος στα δύο επόμενα φύλλα περιγράφεται η ημερησιά λειτουργία για τα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών (*DayPlan*), και η ετήσια και ημερήσια λειτουργία του σταθμού παραγωγής ατμού (*Stemproduction*). Τέλος στο φύλλο *Place1* βρίσκεται και η αναλυτική παροχή ατμού για την βιομηχανία που εξετάζεται.

Άμεσος Έλεγχος Εργαλείου

Ο άμεσος έλεγχος του εργαλείου πραγματοποιείται με την αλλαγή των χρωματισμένων κελιών. Τα κελιά όπου έχουμε την εισαγωγή των βασικών δεδομένων χαρακτηρίζονται από το πιο **σκούρο χρώμα**, ενώ τα κελιά των παραμέτρων από το **πιο ανοιχτό**.

Μετά την συμπλήρωση των κελιών όπου δίνονται τα δεδομένα για τις περιοχές που μελετούνται, ο χρήστης επιλέγει από το γενικό πλάνο τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης:

- Κελί B20: Καθαρή Ονομαστική Ισχύς της Εγκατάστασης
- Κελί B21: Δυναμικότητα συστήματος Αποθήκευσης
- Κελί B22: Παραγόμενη θερμότητα για θερμική Διεργασία (Μόνο παραβολικά)
- Κελί B23: Πόσο επιχορήγησης (για σταθμούς παραγωγής ατμού)

Έμμεσος Έλεγχος Εργαλείου

Το Ms Excel επιτρέπει την αντίστροφη λειτουργία του υπολογιστικού εργαλείου με την χρήση της εφαρμογής του MS excel με την ονομασία “Goal Seek”. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα αντίστροφης λειτουργία του εργαλείου.

Εύρεση χαρακτηριστικών σταθμού για δεδομένη διαθέσιμη επιφάνεια: Goal Seek στο κελί (ParabolicTrough,B13) για την δεδομένη επιφάνεια με αλλαγή του κελιού (ΓενικόΠλάνο,B20).

Εύρεση χαρακτηριστικών σταθμού για δεδομένο ποσό επένδυσης: Goal Seek στο κελί (ParabolicTrough,G9) για το δεδομένο πόσο με αλλαγή του κελιού (ΓενικόΠλάνο,B20)

Εύρεση μεγέθους κατάλληλης επιχορήγησης για σταθμό παραγωγή ατμού με συστήματα παραβολικών συλλεκτών για δεδομένο μέγεθος εγκατάστασης και με επιθυμητή τιμή πώλησης θερμότητας: Ορίζεται η θερμική ισχύς της εγκατάστασης στο κελί (ΓενικόΠλάνο,B22), τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας στο φύλλο Place1 και ο επιθυμητός χρόνος αποπληρωμής της εγκατάστασης στο κελί (ParabolicTrough, B38). Στην συνέχεια εφαρμόζουμε το Goal Seek στο κελί (ParabolicTrough, G25) για την επιθυμητή τιμή με αλλαγή του κελιού (ΓενικόΠλάνο, B23).

Τα ίδια παραδείγματα μπορούν να εφαρμοσθούν και για τις υπόλοιπες τεχνολογίες με τα αντίστοιχα κελία. Το πρόγραμμα που κατασκευάστηκε έχει πολλές παραμέτρους, και μπορεί να καταγράψει ένα μεγάλο αριθμό σεναρίων.

Βιβλιογραφία

1. **Στέφανος, Δεληκαράογλου.** Συμβολή στο σχεδιασμό της μεγάλης διεύθυνσης αιολικής ενέργειας στο Ελληνικό Σύστημα. σ.λ. : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Διπλωματική Εργασία, 2010.
2. <http://www.globalwarmingart.com/>. [Ηλεκτρονικό]
3. **Soteris, Kalogirou.** *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. σ.λ. : Elsevier, 2009. ISBN 978-0-12-374501-9.
4. **Sen, Zekai.** *Solar Energy Fundemendal and modeling Techniques*. σ.λ. : Springer-Verlag London Limited, 2008. ISBN 978-1-84800-133-6.
5. **Geyer, Dr. Michael.** *Concentrated Solar Thermal Power Now* . σ.λ. : SolarPaces, September 2005.
6. **Alvarez, Romero Manuel.** Concentrating Solar Thermal Power. [συγγρ. βιβλίου] Frank Kreith. *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy*. σ.λ. : Taylor& Francis Group, LLC, 2007.
7. <http://www.abengoasolar.com>. [Ηλεκτρονικό]
8. www.dlr.de. [Ηλεκτρονικό]
9. www.solarpaces.org. [Ηλεκτρονικό]
10. *The calculation and analysis of glass-to-metal sealing stress in solar absorber tube.* **Dongqiang Lei, Zhifeng Wang, Jian Li.** 35, σ.λ. : Renewable Energy International Journal, 2009.
11. *Parabolic Trough Collectors and their Applications.* **A. Fernandez-Garcia, E. Zarza, L. Valenzuela, M. Pe rez.** σ.λ. : Renewable and sustainable energy sources, 2010.
12. **Michael Geyer, Eckhard Lüpfert, Rafael Osuna.** *EUROTROUGH - Parabolic Trough Collector Developed for Cost Efficient Solar Power Generation*. Zurich : presented at: 11th Int. Symposium on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Technologies, 2002.
13. **M.J. Montes, A. Abanades, J.M. Martinez-Val., M. Valdes.** Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant. *Solar Energy*. 2009, 83.

14. Therminol VP-1. *www.solutia.com*. [Ηλεκτρονικό]
15. **S.D. Odeh, G.L.Morisson, M. Behnia**. Modelling of parabolic trough direct steam generation solar collectors. *Solar Energy*. 1998, Τόμ. 62, 6.
16. **Plants, Steam Turbines for Solar Thermal Power**. Siemens Energy AG. *www.siemens.com*. [Ηλεκτρονικό]
17. **Antoni Gil, Marc Medrano, Ingrid Martorell**,. State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, 14.
18. **Laing, Doerte**. [Ηλεκτρονικό] DLR, 2008. <http://www.docstoc.com/docs/20679049/Solar-Thermal-Energy-Storage-Technologies>.
19. **Eduardo Zarza, Esther Rojas, Lourdes Gonzalez**. INDITEP: The first pre-commercial DSG solar power plant. *Solar Energy*. 2005, 80.
20. **N. Caldes, M.Varela, M.Santamaria, R.Saez**. Economic impact of solar thermal electricity deployment in Spain. *Energy Policy*. 2009, 37.
21. *Οδηγός Αξιολόγησης έργων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συγκέντρωση Ηλιακής ακτινοβολίας*. s.l. : PAE, 2010.
22. **Mohammed S. Al-Soud, Eyad S. Hrayshat**. A 50MW concentrating solar power plant for Jordan. *Journal of Cleaner Production*. 2009, 17.
23. *Bright source Energy*. [Ηλεκτρονικό] 2011. <http://www.brightsourceenergy.com>.
24. **Werner Vogel, Henry Calb**. *Large-Scale Solar Thermal Power Plants*. s.l. : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. ISBN: 978-3-527-40515-2.
25. **Abengoa Solar**. [Ηλεκτρονικό] <http://www.abengoasolar.com/corp/export/sites/solar/resources/pdf/PS10.pdf>.
26. *An Update on Solar Central Receiver Systems, Projects and Technology*. **Romero Manuel, Reiner Buck, James E. Pacheco**. s.l. : Journal of Solar Energy Engineering, 2002, Τόμ. 124.
27. *Torresol Energy* . [Ηλεκτρονικό] 2011. <http://www.torresolenergy.com>.
28. Reuters. [Ηλεκτρονικό] 2010. http://news.cnet.com/8301-11128_3-20021149-54.html.

29. **Mohamed Abbas, Bousaad Boumeddane, Noureddine Said, Ahmed Chikouche.** Dish Stirling technology: A 100 MW solar power plant using hydrogen for Algeria. *International journal of hydrogen energy*. 2011, Τόμ. Ι, 10.
30. **Andreas Poulikkas, George Kourtis, Ioannis Hadjipaschalis.** Parametric analysis for the installation of solar dish technologies in Mediterranean regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, 14.
31. Stirling Energy Systems. [Ηλεκτρονικό] 2011. <http://www.stirlingenergy.com/>.
32. Plataforma Solar Almeria. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.psa.es/webeng/instalaciones/discos.php>.
33. System Advisor Model. [Ηλεκτρονικό] 2010.
<https://www.nrel.gov/analysis/sam/>.
34. Google Earth. [Ηλεκτρονικό] <http://www.google.com/earth/index.html>.
35. Solar Radiation Data. [Ηλεκτρονικό] <http://www.soda-is.com/eng/index.html>.
36. **Αντωνόπουλος, Κίμων Α.** *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008.
37. **Χρίστος Αθ. Φραγκόπουλος, Ηλίας Π.Καρυδογιάννης, Γιάννης Κ. Κάραλης.** *Συμπαράγωγή: Θερμότητα και Ηλεκτρισμός*. Αθήνα : Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας , 1994. ISBN: 960-7051-17-3.
38. National Renewable Energy Laboratory. [Ηλεκτρονικό] <http://www.nrel.gov>.
39. Sandia National Laboratories. [Ηλεκτρονικό] <http://www.sandia.gov/>.