



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Διπλωματική Εργασία

***Μελέτη πλήρους ενεργειακής αυτονομίας κατοικίας
με ηλιοθερμικό σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας***

Ιακωβίδης Μάριος-Βασίλειος

Αρ. Μητρώου: 71447211

Επιβλέπων: Ευάγγελος Χ. Παπακίτσος

ΑΙΓΑΛΕΩ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION
ENGINEERING

Diploma Thesis

**Study of complete energy autonomy of a house with a solar-
thermal electricity supply system**

Iakovidis Marios-Vasileios

Registration Number: 71447211

Supervisor: Evangelos C. Papakitsos

Athens, March 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Μελέτη πλήρους ενεργειακής αυτονόμησης κατοικίας με ηλιοθερμικό σύστημα παροχής
ηλεκτρικής ενέργειας**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Ε.Χ. ΠΑΠΑΚΙΤΣΟΣ	ΕΔΙΠ Α΄	
2	Χ. ΔΡΟΣΟΣ	ΕΔΙΠ Α΄	
3	Ε.-Ο. ΣΚΛΑΒΟΥΝΟΥ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ...ΙΑΚΩΒΙΔΗΣ ΜΑΡΙΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ..... του...ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ., με αριθμό μητρώου 71447211... φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής...ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ..... του Τμήματος .ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΦΩΓΗΣ., δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ουσα



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, ΕΥΑΓΓΕΛΟ ΠΑΠΑΚΙΤΣΟ, για τις υποδείξεις που παρείχε για να πραγματοποιηθεί αυτή η διπλωματική εργασία, το εκπαιδευτικό προσωπικό του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παράγωγης του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για την εκπαιδευτική κατάρτιση που μου παρείχε, καθώς και τους συγγενείς και φίλους μου, για την ψυχολογική υποστήριξή τους .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κινητήρες Stirling είναι ένας τύπος θερμικής μηχανής που λειτουργεί με κυκλική θέρμανση και ψύξη ενός αερίου, συνήθως αέρα ή ηλίου, σε ένα κλειστό σύστημα για την παραγωγή μηχανικής εργασίας. Εφευρέθηκαν για πρώτη φορά από τον αιδεσιμότατο Ρόμπερτ Στέρλινγκ στις αρχές του 19ου αιώνα, ως εναλλακτική λύση στις αναποτελεσματικές ατμομηχανές της εποχής. Οι κινητήρες Stirling θεωρούνται συχνά μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και άλλους παραδοσιακούς κινητήρες θερμότητας, καθώς είναι εξαιρετικά αποδοτικοί, αθόρυβοι και μπορούν να λειτουργούν με οποιαδήποτε εξωτερική πηγή θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας, της βιομάζας και της απορριπτόμενης θερμότητας. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, από την τροφοδοσία γεννητριών ηλεκτρικής ενέργειας έως τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, και συνεχίζουν να αποτελούν αντικείμενο συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης. Παρά τα πιθανά πλεονεκτήματά τους, ωστόσο, οι κινητήρες Stirling δεν έχουν ακόμη επιτύχει ευρεία εμπορική επιτυχία και παραμένουν μια εξειδικευμένη τεχνολογία στις περισσότερες βιομηχανίες. Εκμεταλλευόμενοι το ηλιακό δυναμικό, τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα θερμαίνουν ένα υγρό με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Στη διπλωματική αυτή θα γίνει μελέτη χρήσης κατόπτρου για τη συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας, μίας μηχανής Stirling Eurodish και μίας μπαταρίας μόλυβδου-οξέος για την αποθήκευση της ενέργειας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ικανοποιητική παραγωγή ενέργειας για μία οικία 100 τ.μ. στην Αττική, με πλεόνασμα ενέργειας το οποίο μπορεί να διοχετεύεται στο δίκτυο.

Abstract

Stirling engines are a type of heat engine that works by circular heating and cooling of a gas, usually air or helium, in a closed system for the production of mechanical work. They were firstly invented by the Reverend Robert Sterling in the early 19th century, as an alternative to the inefficient locomotives (/steam engines) of the time. Stirling engines are often considered a promising alternative to internal combustion engines and other traditional heat engines, as they are highly efficient, quiet and can work on any external heat source, including solar energy, biomass and waste heat. They have been used in various applications, from powering electricity generators to heating and cooling systems, and continue to be the subject of continuous research and development. Despite their potential advantages, however, Stirling engines have not yet achieved widespread commercial success and remain a specialized technology in most industries. Taking advantage of the solar potential, concentrated solar systems heat a liquid to produce energy. This dissertation will study the use of a mirror to concentrate solar energy, a Stirling Eurodish engine, and a lead-acid battery to store the energy. The results show satisfactory energy production for a house of 100 sq.m. in Attica, with surplus energy that can be fed into the grid.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Contents

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
2. ΜΗΧΑΝΗ STIRLING	3
3. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	14
4. ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	23
5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	28
6. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	39
7. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	44
8. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	49
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	61

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κινητήρες Stirling είναι κινητήρες εξωτερικής καύσης που έχουν κερδίσει αυξανόμενη προσοχή τα τελευταία χρόνια ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στους παραδοσιακούς κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ο κινητήρας Stirling λειτουργεί στον θερμοδυναμικό κύκλο Stirling, ο οποίος αποτελείται από τέσσερις αντιστρεπτές διεργασίες: ισοθερμική συμπίεση, θέρμανση σταθερού όγκου, ισοθερμική διαστολή και ψύξη σταθερού όγκου. Ο κινητήρας Stirling είναι γνωστός για την υψηλή θερμική απόδοση, τον χαμηλό θόρυβο και τις χαμηλές εκπομπές, καθιστώντας τον μια επιθυμητή επιλογή για μια ποικιλία εφαρμογών, όπως η παραγωγή ενέργειας, η θέρμανση και ψύξη και η μεταφορά.

Η αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει οδηγήσει σε αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους κινητήρες Stirling ως πιθανή λύση για την παραγωγή ενέργειας από νοικοκυριά. Οι κινητήρες Stirling είναι κινητήρες εξωτερικής καύσης που μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι κινητήρες Stirling μπορούν να λειτουργούν με μια ποικιλία καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας, της ηλιακής και της γεωθερμικής ενέργειας, καθιστώντας τους μια ευέλικτη και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή για οικιακή παραγωγή ενέργειας.

Η χρήση κινητήρων Stirling για την παραγωγή οικιακής ενέργειας έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας τα τελευταία χρόνια. Πολυάριθμες μελέτες έχουν διερευνήσει το σχεδιασμό, τη λειτουργία και την απόδοση των κινητήρων Stirling σε οικιακά περιβάλλοντα, καθώς και τα πιθανά πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους. Η βιβλιογραφία σχετικά με τους κινητήρες Stirling για οικιακή παραγωγή ενέργειας καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης του συστήματος, της απόδοσης ισχύος, της επιλογής καυσίμου και της θερμικής διαχείρισης, μεταξύ άλλων.

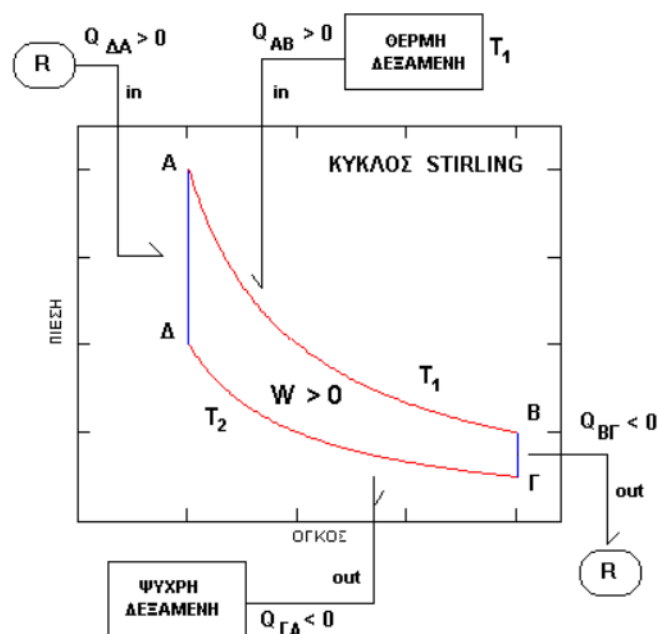
Αυτή η βιβλιογραφική ανασκόπηση στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης της έρευνας σχετικά με τη χρήση κινητήρων Stirling για την παραγωγή ενέργειας από νοικοκυριά. Θα συνθέσει τα βασικά ευρήματα από πρόσφατες μελέτες και θα επισημάνει τις σημαντικότερες εξελίξεις στην τεχνολογία κινητήρων Stirling για οικιακές εφαρμογές.

2. ΜΗΧΑΝΗ STIRLING

2.1 Ο θερμοδυναμικός κύκλος Stirling

Ο θερμοδυναμικός κύκλος του Stirling αποτελείται από τέσσερις αναστρέψιμες αλλαγές με συγκεκριμένη σειρά: ισοθερμική διαστολή, ισομεγέθη ψύξη, ισοθερμική συμπίεση και ίση θέρμανση (Ιμάμογλου, 2013). Η θεωρητική απόδοση του κύκλου είναι η ίδια με εκείνη του κύκλου Carnot όταν οι θερμές και ψυχρές δεξαμενές έχουν υψηλή θερμοχωρητικότητα σε θερμοκρασίες T_1 και T_2 , αντίστοιχα, όπου το T_1 είναι μεγαλύτερο από το T_2 . Η θεωρητική απόδοση του κύκλου μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο $e_{th} = 1 - T_1/T_2$, $e_{th} < 1$ (Ιμάμογλου, 2013). Ωστόσο, η πραγματική απόδοση του μηχανήματος είναι πάντα χαμηλότερη από τη θεωρητική απόδοση. Στο διάγραμμα πίεσης-όγκου, ένας δεξιόστροφος κύκλος αντιστοιχεί σε μια θερμική (εργολαβική) μηχανή, ενώ ένας αριστερόστροφος κύκλος αντιστοιχεί σε μια κρυογονική (κρυογονική-ψυκτική) μηχανή (Παρχαρίδης, 2012)

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΚΥΚΛΟΣ STIRLING



2.2 Ανάλυση ενός κύκλου Stirling

Οι κινητήρες Stirling είναι θερμικές μηχανές που λειτουργούν μέσω των θερμοδυναμικών διαδικασιών συμπίεσης, θέρμανσης, διαστολής και ψύξης. Πήραν το όνομά τους από τον εφευρέτη τους, αιδεσιμότατο Robert Stirling, ο οποίος ανέπτυξε την πρώτη πρακτική έκδοση το 1816. Οι κινητήρες Stirling είναι ένας τύπος κινητήρα εξωτερικής καύσης, πράγμα που σημαίνει ότι η πηγή θερμότητας είναι εξωτερική στον κινητήρα και δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό εργασίας (Παρχαρίδης, 2012).

Οι θερμοδυναμικές διεργασίες σε έναν κινητήρα Stirling έχουν ως εξής:

Συμπίεση:

Η πρώτη διαδικασία σε έναν κινητήρα Stirling είναι η συμπίεση. Σε αυτή τη διαδικασία, το υγρό εργασίας, συνήθως αέρας, συμπιέζεται από ένα έμβολο, μειώνοντας τον όγκο του και αυξάνοντας την πίεσή του. Η συμπίεση αυξάνει τη θερμοκρασία του υγρού εργασίας, αλλά επειδή δεν προστίθεται ή αφαιρείται θερμότητα κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η αύξηση της θερμοκρασίας είναι αδιαβατική (Παρχαρίδης, 2012· Ιμάμογλου, 2013· Martini, 1983).

Θέρμανση:

Η δεύτερη διαδικασία σε έναν κινητήρα Stirling είναι η θέρμανση. Σε αυτή τη διαδικασία, το υγρό εργασίας θερμαίνεται από μια εξωτερική πηγή θερμότητας, συνήθως έναν καυστήρα ή έναν ηλιακό συλλέκτη. Η θερμότητα προστίθεται σε σταθερό όγκο και έτσι η πίεση του υγρού εργασίας αυξάνεται, προκαλώντας το έμβολο να κινηθεί προς τα έξω (Παρχαρίδης, 2012· Ιμάμογλου, 2013· Martini, 1983).

Επέκταση:

Η τρίτη διαδικασία σε έναν κινητήρα Stirling είναι η επέκταση. Σε αυτή τη διαδικασία, το ζεστό υγρό εργασίας υπό πίεση αφήνεται να επεκταθεί, κάνοντας εργασίες στο έμβολο και μεταφέροντας θερμική ενέργεια σε κρύα καταβόθρα. Η διαστολή είναι αδιαβατική, οπότε η θερμοκρασία του υγρού εργασίας πέφτει καθώς διαστέλλεται (Παρχαρίδης, 2012· Ιμάμογλου, 2013· Martini, 1983).

Ψύξη:

Η τελική διαδικασία σε έναν κινητήρα Stirling είναι η ψύξη. Σε αυτή τη διαδικασία, το υγρό εργασίας ψύχεται από μια εξωτερική ψυχρή πηγή, συνήθως ατμοσφαιρικό αέρα ή νερό. Η ψύξη είναι επίσης σε σταθερό όγκο, οπότε η πίεση του υγρού εργασίας πέφτει, επιτρέποντας στο έμβολο να κινηθεί προς τα μέσα και να ολοκληρώσει τον κύκλο (Παρχαρίδης, 2012· Ιμάμογλου, 2013· Martini, 1983).

Οι κινητήρες Stirling είναι μοναδικοί στο ότι μπορούν να λειτουργήσουν με ένα ευρύ φάσμα πηγών θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της καύσης ορυκτών καυσίμων, βιομάζας και ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, οι κινητήρες Stirling έχουν τη δυνατότητα υψηλής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών, καθιστώντας τους μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για μια σειρά εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ενέργειας και της θέρμανσης και ψύξης.

Η απόδοση ενός κινητήρα Stirling καθορίζεται από την αναλογία της εξόδου εργασίας προς την είσοδο θερμότητας. Η θεωρητική μέγιστη απόδοση ενός κινητήρα Stirling δίνεται από την απόδοση Carnot, η οποία είναι ίση με 1 μείον την αναλογία των απόλυτων θερμοκρασιών των θερμών και ψυχρών πηγών (Παρχαρίδης, 2012· Ιμάμογλου, 2013). Στην πράξη, οι κινητήρες Stirling επιτυγχάνουν συνήθως απόδοση 30-40%, αν και ορισμένα εξειδικευμένα σχέδια μπορούν να επιτύχουν αποδόσεις έως και 50%.

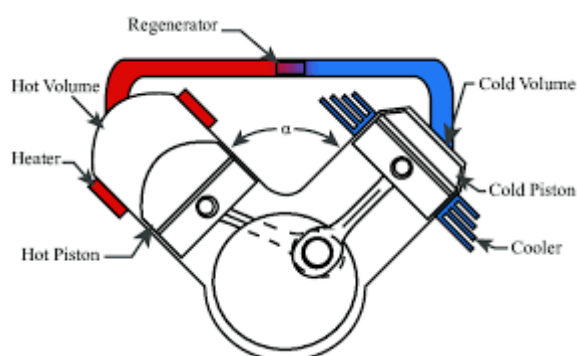
2.3 Διαμορφώσεις ή τύποι μηχανών Stirling

Οι κινητήρες Stirling είναι θερμικοί κινητήρες που λειτουργούν στον θερμοδυναμικό κύκλο Stirling. Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι κινητήρων Stirling: άλφα, βήτα και γάμμα (Κωστογλάνης & Τζίμης, 2017· Chen & Griffin, 1983).

Κινητήρας Alpha Stirling:

Αυτός ο τύπος κινητήρα έχει δύο ξεχωριστούς κυλίνδρους που συνδέονται με αναγεννητή. Ένας κύλινδρος περιέχει ένα αέριο εργασίας και ο άλλος κύλινδρος περιέχει ένα ρυθμιστικό αέριο. Το αέριο εργασίας συμπιέζεται και επεκτείνεται μέσω των εναλλακτών θερμότητας, ενώ το ρυθμιστικό αέριο διατηρεί σταθερή την πίεσή του. Ο αναγεννητής είναι υπεύθυνος για την ανάκτηση της θερμικής ενέργειας που διαφορετικά θα χανόταν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψύξης. Οι κινητήρες Alpha Stirling είναι γνωστοί για την υψηλή τους απόδοση και χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος (Κωστογλάνης & Τζίμης, 2017· Chen & Griffin, 1983).

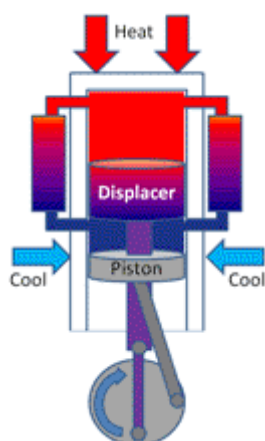
ΕΙΚΟΝΑ 2. ALPHA STIRLING



Beta Stirling κινητήρας:

Αυτός ο τύπος κινητήρα έχει μόνο έναν κύλινδρο με έμβολο και εκτοπιστήρα. Το έμβολο είναι υπεύθυνο για τη συμπίεση και την επέκταση του αερίου εργασίας, ενώ ο εκτοπιστήρας είναι υπεύθυνος για τη μετακίνηση του αερίου μεταξύ των εναλλακτών θερμότητας ζεστού και κρύου. Οι κινητήρες Beta είναι απλοί και αξιόπιστοι, αλλά η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη από τους κινητήρες Alpha (Κωστογλάνης & Τζίμης, 2017· Chen & Griffin, 1983).

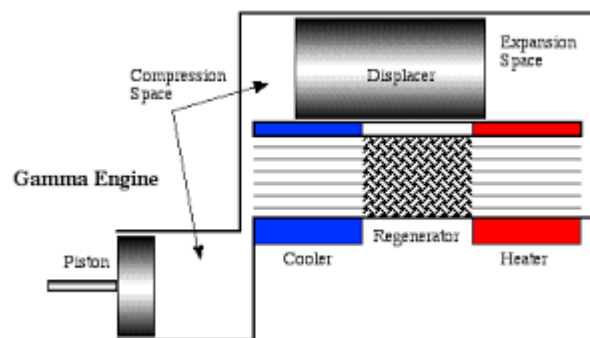
ΕΙΚΟΝΑ 3. BETA STIRLING



Gamma Stirling κινητήρας:

Αυτός ο τύπος κινητήρα έχει έναν μόνο κύλινδρο με έμβολο και έναν εκτοπιστήρα, όπως ο κινητήρας Beta. Ωστόσο, το έμβολο και ο εκτοπιστήρας συνδέονται με έναν κοινό στροφαλοφόρο άξονα, γεγονός που απλοποιεί τον μηχανικό σχεδιασμό του κινητήρα. Οι κινητήρες Γάμμα είναι συνήθως μεγαλύτεροι από τους κινητήρες Βήτα και έχουν υψηλότερη απόδοση ισχύος, αλλά είναι λιγότερο αποδοτικοί από τους κινητήρες Άλφα (Κωστογλάνης & Τζίμης, 2017· Chen & Griffin, 1983).

EΙΚΟΝΑ 4. GAMMA STIRLING



Συνοπτικά, οι κινητήρες Alpha Stirling είναι οι πιο αποδοτικοί και είναι κατάλληλοι για εφαρμογές χαμηλής ισχύος, ενώ οι κινητήρες Beta και Gamma Stirling είναι απλούστεροι και λιγότερο αποδοτικοί, αλλά μπορούν να παράγουν υψηλότερη απόδοση ισχύος. Η επιλογή του τύπου κινητήρα εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογής και τους περιορισμούς σχεδιασμού.

2.4 Δομικά μέρη μηχανής Stirling

Έμβολο μετατόπισης

Τοποθετώντας ένα έμβολο ελαφρώς μικρότερης διαμέτρου στο δοχείο, το αέριο ωθείται μέσω του διακένου μεταξύ του εμβόλου και των τοιχωμάτων του δοχείου καθώς το έμβολο κινείται προς τα πάνω και προς τα κάτω. Καθώς ο πυθμένας και η κορυφή του δοχείου θερμαίνονται και ψύχονται, αντίστοιχα, το ελαστικό υλικό που τοποθετείται συνεχώς γύρω από το δοχείο διαστέλλεται και συστέλλεται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας (Παρχαρίδης, 2012· Martini, 1983· Sripakagorn and Srikan, 2011).

Όταν το έμβολο κινείται προς την κορυφή του δοχείου, το αέριο στο δοχείο αναγκάζεται να κινηθεί προς τα κάτω, ενώ ο πυθμένας του δοχείου θερμαίνεται για να αυξηθεί η πίεση του αερίου. Αυτή η πίεση μεταφέρεται μέσω του διακένου εμβόλου-δεξαμενής στην ελαστική μεμβράνη, προκαλώντας την επέκτασή της. Αντίθετα, όταν εφαρμόζεται η κατάλληλη δύναμη για να μετακινηθεί το έμβολο προς τα κάτω, το αέριο ωθείται στην κορυφή του δοχείου. Σε αυτή την περίπτωση, το πάνω μέρος της συσκευής είναι το κρύο μέρος και το αέριο ψύχεται, προκαλώντας μείωση της θερμοκρασίας και της πίεσης, γεγονός που οδηγεί στη συστολή της ελαστικής μεμβράνης.

Ως αποτέλεσμα, το έμβολο κινείται πάνω και κάτω ελεύθερα ενώ η ελαστική μεμβράνη συνεχώς διαστέλλεται και συστέλλεται. Η κύρια λειτουργία της συσκευής είναι η μετακίνηση αερίου με την κίνηση του εμβόλου, δημιουργώντας μια συνεχή ροή μεταξύ των ζεστών και κρύων τμημάτων της συσκευής. Για να κατανοήσετε καλύτερα πώς λειτουργεί μια συσκευή Stirling, είναι χρήσιμο να ξεκινήσετε με μια απλή προσέγγιση που εξηγεί σταδιακά την αρχή της λειτουργίας από την αρχή. Η παρακάτω προσέγγιση χρησιμοποιεί βασικά υλικά που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή για να απλοποιήσει το κατασκευαστικό κομμάτι και να επιτρέψει μια σαφέστερη εστίαση στην αρχή της λειτουργίας.

Στρόφαλος

Η κίνηση πάνω και κάτω του εμβόλου μπορεί να επιτευχθεί συνδέοντάς το με έναν στροφαλοφόρο άξονα. Καθώς ο στροφαλοφόρος άξονας περιστρέφεται, το έμβολο κινείται προς τα πάνω και προς τα κάτω ανάλογα. Μόλις δημιουργηθεί η σύνδεση μεταξύ του στροφαλοφόρου άξονα και του εμβόλου, θερμαίνουμε τον πυθμένα του δοχείου ενώ ψύχουμε το πάνω μέρος. Αρχικά, μετακινούμε χειροκίνητα τον στροφαλοφόρο άξονα καθώς η εναλλασσόμενη θέρμανση και ψύξη που εφαρμόζεται δεν επαρκεί για να ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας. Καθώς μετακινούμε τον στροφαλοφόρο άξονα, παρατηρούμε την ελαστική μεμβράνη να διαστέλλεται και να συστέλλεται επανειλημμένα (Παρχαρίδης, 2012· Martini, 1983; Sripakagorn and Srikam, 2011).

Έμβολο έργου

Η σύνδεση του εμβόλου σε έναν στροφαλοφόρο άξονα επιτρέπει την κατακόρυφη κίνησή του καθώς ο στροφαλοφόρος άξονας περιστρέφεται, επιτρέποντας στο έμβολο να κινείται πάνω και κάτω. Ο πυθμένας του δοχείου θερμαίνεται, ενώ η κορυφή ψύχεται μόλις δημιουργηθεί η σύνδεση στροφαλοφόρου άξονα-εμβόλου. Για να ξεκινήσουμε τον κύκλο, μετακινούμε χειροκίνητα τον στροφαλοφόρο άξονα, καθώς η εφαρμοζόμενη εναλλασσόμενη θέρμανση και ψύξη είναι ανεπαρκής για να ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας. Καθώς γυρίζουμε τον στροφαλοφόρο άξονα, παρατηρούμε την ελαστική μεμβράνη να διαστέλλεται και να συστέλλεται επανειλημμένα (Παρχαρίδης, 2012· Martini, 1983· Sripakagorn and Srikam, 2011).

Σφόνδυλος

Τα συστατικά που περιγράφηκαν προηγουμένως είναι ανεπαρκή για ομαλή λειτουργία επειδή η συστολή και η διαστολή της ελαστικής μεμβράνης δεν μπορούν να δημιουργήσουν την απαραίτητη περιστροφική δύναμη για να ολοκληρώσουν μια πλήρη περιστροφή του στροφάλου. Ως εκ τούτου, ένας σφόνδυλος με υψηλή περιστροφική αδράνεια προστίθεται στο σύστημα. Επιπλέον, ένα βάρος τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια του σφονδύλου για να παρέχει επιπλέον περιστροφική αδράνεια και βοήθεια (Παρχαρίδης, 2012· Martini, 1983· Sripakagorn and Srikam, 2011).

2.5 Ζητήματα

Πολλές διαφωνίες έχουν εκφραστεί σε βιβλία θερμοδυναμικής μηχανικής σχετικά με την ασυμφωνία μεταξύ του θεωρητικού και του πραγματικού κύκλου Στέρλινγκ, η οποία έχει προκαλέσει σύγχυση μεταξύ των μελετητών. Στην πράξη, τα κύρια ζητήματα σχετίζονται με τη μείωση της πραγματικής απόδοσης, η οποία επηρεάζεται από φυσικά όρια όπως η μεταφορά θερμότητας και η τριβή που προκαλούνται από το ιξώδες των κλειστών αερίων. Άλλα θέματα μηχανικής που συζητούνται περιλαμβάνουν την προτίμηση για απλούστερα συστήματα μετάδοσης κίνησης έναντι πιο σύνθετων για την προσέγγιση του ιδανικού κύκλου, περιορισμούς στα διαθέσιμα υλικά και τις μη ιδανικές ιδιότητες αερίου και τις μηχανικές ιδιότητες των δομικών υλικών όπως η μετάδοση θερμότητας, η αντοχή σε εφελκυσμό, η ερπυσμός, η αντοχή στη θραύση και το σημείο τήξης (Παρχαρίδης, 2012).

2.6 Τριβή και Λίπανση

Οι κινητήρες Stirling μπορούν να υποστούν ανάφλεξη κι έκρηξη σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, ειδικά εάν η ουσία εργασίας είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας ή οποιαδήποτε θερμική μηχανή αερίου σε συνδυασμό με υγρό λιπαντικό. Τέτοιες εκρήξεις είχαν ως αποτέλεσμα τραυματισμούς, ακόμη και θάνατο. Επιπλέον, τα λιπαντικά μπορούν να προκαλέσουν «φράξιμο» στους εναλλάκτες θερμότητας, ιδιαίτερα στη γεννήτρια θερμότητας (Παρχαρίδης, 2012). Για τους λόγους αυτούς, οι σχεδιαστές κινητήρων προτιμούν μοντέλα που δεν απαιτούν λίπανση και είναι κατασκευασμένα από υλικά με χαμηλούς συντελεστές τριβής όπως ο γραφίτης. Σε ορισμένα άλλα μοντέλα, χρησιμοποιούνται στεγανωτικά από καουτσούκ για να εξασφαλιστεί η στεγανότητα των εμβόλων, η οποία εξαλείφει την επαφή μεταξύ των κινούμενων επιφανειών (Sripakagorn and Srikam, 2011). Αυτά τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν σε λιγότερη συντήρηση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθιστώντας τους κινητήρες Stirling πιο αξιόπιστους από τους συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης.

2.7 Σύγκριση με τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

Αρχικά, ο κινητήρας Stirling έχει μοναδικά πλεονεκτήματα έναντι των κινητήρων εσωτερικής καύσης, καθώς μπορεί να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, να λειτουργήσει με μειωμένα επίπεδα θορύβου και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση, καθιστώντας τον πιο αξιόπιστο. Ως εκ τούτου, ο κινητήρας Stirling προτιμάται για εφαρμογές όπου αυτά τα πλεονεκτήματα παίζουν κρίσιμο ρόλο, ειδικά εάν το κόστος ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας είναι πιο σημαντικό από το συνολικό κόστος ανά μονάδα ισχύος. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο κινητήρας Stirling μπορεί να ανταγωνιστεί οικονομικά τους κινητήρες εσωτερικής καύσης έως περίπου 100 kW (Γκιρετλή, 2018). Αν και ο κινητήρας Stirling είναι βαρύτερος, μεγαλύτερος και ακριβότερος σε σύγκριση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης της ίδιας κατηγορίας ισχύος, είναι πιο αποδοτικός και οι χαμηλότερες απαιτήσεις συντήρησής του καθιστούν το συνολικό ενεργειακό κόστος συγκρίσιμο. Η θερμική απόδοση των σχετικά μικρών κινητήρων Stirling κυμαίνεται από 15% έως 30%

(Sripakagorn and Srikam, 2011). Επιπλέον, ο κινητήρας Stirling είναι ανώτερος σε εφαρμογές μικρο-ΣΗΘ, όπου η θερμότητα και η ισχύς παράγονται σε εφαρμογές μικρού μεγέθους. Προτιμάται επίσης γι' άλλες εφαρμογές όπως η άντληση νερού, οι διαστημικές αποστολές και η μετατροπή ενέργειας από πλεονάζουσες πηγές που δεν είναι συμβατές για χρήση σε κινητήρα εσωτερικής καύσης, όπως η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα, τα γεωργικά απόβλητα και τα αστικά απόβλητα.

2.8 Κινητήρας Stirling, Πλεονεκτήματα

1. Οι κινητήρες Stirling μπορούν να συνδεθούν απευθείας με διάφορες πηγές θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής, γεωθερμικής, βιοχημικής, πυρηνικής ενέργειας και απορριπτόμενης θερμότητας από βιομηχανικές εφαρμογές κι εφαρμογές κινητήρων εσωτερικής καύσης. Αυτό επιτρέπει μειωμένες εκπομπές που σχετίζονται με τη διαλείπουσα λειτουργία των κινητήρων εσωτερικής καύσης (Sripakagorn and Srikam, 2011).
2. Οι κινητήρες Stirling έχουν συνήθως ρουλεμάν κύλισης και στεγανοποιητικά στην κρύα πλευρά του κινητήρα, απαιτώντας λιγότερη λίπανση και παρέχοντας περισσότερες ώρες λειτουργίας από άλλους παλινδρομικούς κινητήρες (Παρχαρίδης, 2012).
3. Οι κινητήρες Stirling έχουν απλούστερους μηχανισμούς από πολλούς άλλους παλινδρομικούς κινητήρες, χωρίς ανάγκη για βαλβίδες κι ένα σχετικά απλό σύστημα παροχής θερμότητας. Ορισμένες εφαρμογές Stirling μπορούν ακόμη και να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας υλικά που βρίσκονται σε ένα τυπικό νοικοκυριό (Παρχαρίδης, 2012).
4. Οι κινητήρες Stirling χρησιμοποιούν μια μονοφασική ουσία εργασίας, γεγονός που καθιστά τον κίνδυνο έκρηξης σχετικά απίθανο σε έναν σωστά σχεδιασμένο κινητήρα, σε αντίθεση με τις μηχανές που χρησιμοποιούν διφασική ουσία εργασίας.
5. Η χρήση χαμηλών πιέσεων λειτουργίας επιτρέπει τη χρήση ελαφρών κυλίνδρων σε κινητήρες Stirling.
6. Οι κινητήρες Stirling μπορούν να κατασκευαστούν για να λειτουργούν ήσυχα χωρίς την ανάγκη παροχής αέρα, καθιστώντας τους κατάλληλους για πρόωση ανεξάρτητη από τον αέρα σε υποβρύχιες εφαρμογές.
7. Οι κινητήρες Stirling είναι εύκολο να ξεκινήσουν, ιδιαίτερα μετά την προθέρμανση, και είναι πιο αποδοτικοί σε κρύο καιρό από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίοι ξεκινούν εύκολα σε ζεστό καιρό αλλά όχι σε κρύο καιρό.
8. Οι κινητήρες Stirling που χρησιμοποιούνται για την άντληση νερού μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε ο θάλαμος συμπίεσης να ψύχεται από το νερό που αντλείται, ιδιαίτερα εάν το νερό είναι σχετικά κρύο (Παρχαρίδης, 2012) .
9. Οι κινητήρες Stirling είναι ευέλικτοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για εφαρμογές θέρμανσης όσο και ψύξης, όπως η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ισχύος (CHP) το χειμώνα και η ψύξη το καλοκαίρι.

10. Ο αναγεννητής στους κινητήρες Stirling επιτρέπει την εκμετάλλευση της θερμότητας που διαχέεται από τον κινητήρα, καθιστώντας τον ιδανική λύση για εφαρμογές θερμότητας και ισχύος διπλής απόδοσης, σε αντίθεση με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης (Sripakagorn and Srikam, 2011).

2.9 Μειονεκτήματα Κινητήρα Stirling

Ζητήματα μεγέθους και κόστους

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι απαραίτητοι τόσο για τη θερμότητα εισόδου όσο και για την έξοδο στον κινητήρα Stirling για τη διατήρηση των επιπέδων πίεσης και ο εναλλάκτης θερμότητας στην πλευρά διαστολής λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες, απαιτώντας ανθεκτικά υλικά που μπορούν να αντέξουν την οξείδωση και την παραμόρφωση. Η ποιότητα και η ανθεκτικότητα αυτών των υλικών αυξάνει το κόστος κατασκευής του κινητήρα, με περίπου το 40% του κόστους να πηγαίνει σε εναλλάκτες θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας (Sripakagorn and Srikam, 2011).

Η αποτελεσματική λειτουργία σε θερμοδυναμικούς κύκλους απαιτεί μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας και σε κινητήρες εξωτερικής καύσης όπως ο κινητήρας Stirling, η θερμοκρασία του θερμαντήρα πρέπει να είναι υψηλότερη ή ίση με τη θερμοκρασία διαστολής, θέτοντας υψηλές μεταλλουργικές απαιτήσεις στον θερμαντήρα. Αντίθετα, οι κινητήρες εσωτερικής καύσης όπως ο κινητήρας Otto ή Diesel έχουν υλικά που μπορούν να χειριστούν χαμηλότερες μέσες θερμοκρασίες λειτουργίας, καθώς η θερμότητα εισόδου δεν μεταδίδεται μέσω του κινητήρα (Παρχαρίδης, 2012).

Η διασπορά της αποβαλλόμενης θερμότητας είναι ένα περίπλοκο ζήτημα στους κινητήρες Stirling, καθώς οι χαμηλότερες θερμοκρασίες ψυκτικού αυξάνουν την απόδοση αλλά αυξάνουν και τον όγκο των μηχανισμών απαγωγής θερμότητας, καθιστώντας δύσκολη την προσαρμογή του κινητήρα σε μικρές εφαρμογές.

Ο συνολικός όγκος των κινητήρων Stirling και το κόστος των υλικών κατασκευής εμπόδισαν τις αυτοκινητοβιομηχανίες να χρησιμοποιήσουν τον κινητήρα ως κύρια κινητήρια δύναμη στις εφαρμογές της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Ζητήματα ισχύος και ροπής

Οι κινητήρες Stirling που λειτουργούν με μικρές διαφορές θερμοκρασίας έχουν σχετικά μεγάλες διαστάσεις σε σύγκριση με την ισχύ που παρέχουν (Παρχαρίδης, 2012). Αυτό συμβαίνει επειδή ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας των αερίων περιορίζει την ποσότητα θερμότητας που μπορεί να μεταφερθεί από τους εναλλάκτες θερμότητας. Ο σχεδιασμός αυτών των κινητήρων για τη μεταφορά θερμότητας μέσα κι έξω από την ουσία εργασίας είναι δύσκολος και δαπανηρός, καθώς η απαιτούμενη ροή μεταφερόμενης θερμότητας αυξάνεται για μικρότερες διαφορές θερμοκρασίας. Ωστόσο, η αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας και της πίεσης μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ισχύ εξόδου εάν οι εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να χειριστούν την αυξημένη ροή θερμότητας.

Οι κινητήρες Stirling χρειάζονται λίγο χρόνο για να ζεσταθούν πριν αρχίσουν να λειτουργούν, κάτι που είναι χαρακτηριστικό των κινητήρων εσωτερικής καύσης.

Ωστόσο, οι μηχανές Stirling μπορεί να απαιτούν ελαφρώς περισσότερο χρόνο προθέρμανσης από άλλους τύπους μηχανών, όπως ατμομηχανές (Sripakagorn and Srikam, 2011). Λειτουργούν καλύτερα όταν λειτουργούν με σταθερή ταχύτητα και η προσαρμογή της απόδοσής τους απαιτεί ακριβή σχεδιασμό και πρόσθετους μηχανισμούς, όπως η αλλαγή της διαδρομής του εμβόλου ή η ρύθμιση της μάζας της ουσίας εργασίας.

Ζητήματα εργαζόμενης ουσίας-αερίου

Για να εξασφαλιστεί η επίτευξη υψηλής πίεσης με μικρή ποσότητα μεταφερόμενης θερμότητας, η ουσία εργασίας που χρησιμοποιείται στους κινητήρες Stirling πρέπει να έχει χαμηλή θερμική ικανότητα. Το ήλιο είναι μια ιδανική επιλογή λόγω της πολύ χαμηλής θερμοχωρητικότητάς του, αλλά ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι επίσης μια επιλογή. Ωστόσο, η χρήση οξυγόνου σε κινητήρες αέρα υψηλής πίεσης μπορεί να ενέχει κίνδυνο εκρήξεων λιπαντικών (Παρχαρίδης, 2012). Για να μετριάσει αυτόν τον κίνδυνο, η Philips ανέπτυξε κινητήρες Stirling που χρησιμοποιούν άλλα αέρια ως ουσίες εργασίας. Το υδρογόνο είναι ένα ιδανικό αέριο για χρήση σε κινητήρες Stirling λόγω του χαμηλού ιξώδους και της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας, που επιτρέπουν στον κινητήρα να λειτουργεί γρηγορότερα. Ωστόσο, το υδρογόνο μπορεί να διαχυθεί μέσω των στερεών μεταλλικών τοιχωμάτων του κινητήρα, προκαλώντας διαρροές σε υψηλές θερμοκρασίες. Για να αποφευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται ερμητικά σφραγισμένοι θάλαμοι και υλικά όπως αλουμίνιο, ανοξείδωτος χάλυβας και κεραμικά χρησιμοποιούνται για τη μείωση της διάχυσης. Ενδέχεται να απαιτούνται πρόσθετοι μηχανισμοί, όπως δοχείο εφεδρικού αερίου ή γεννήτρια πλήρωσης αερίου, για τη διατήρηση υψηλών επιπέδων πίεσης σε μηχανήματα με μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας.

Το υδρογόνο παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, αλλά μπορεί να προκαλέσει ευθραυστότητα στα μέταλλα και είναι εύφλεκτο αέριο, δημιουργώντας κινδύνους εάν διαφύγει. Ενώ το ήλιο είναι μια αποτελεσματική ουσία εργασίας που έχει ελάχιστο αντίκτυπο στη δομή του κινητήρα, είναι δαπανηρή και πρέπει να παρέχεται σε δοχεία υπό πίεση. Είναι δυνατόν να επιτευχθεί παρόμοια απόδοση με τον ατμοσφαιρικό αέρα με την ουσία εργασίας. Ωστόσο, οι κινητήρες Stirling που χρησιμοποιούν υδρογόνο ή ήλιο έχουν πολύ μεγαλύτερη απόδοση ανά μονάδα όγκου.

2.10 Εφαρμογές Κινητήρων Stirling

Οι κινητήρες Stirling είναι ένας τύπος θερμικής μηχανής που λειτουργεί μέσω των θερμοδυναμικών διεργασιών συμπίεσης, θέρμανσης, διαστολής και ψύξης. Έχουν πολλά μοναδικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων κινητήρων θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας λειτουργίας με ένα ευρύ φάσμα πηγών θερμότητας, υψηλής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών. Ως αποτέλεσμα, οι κινητήρες Stirling έχουν πολλές πιθανές εφαρμογές, όπως:

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

Οι κινητήρες Stirling μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένων απομακρυσμένων ή εκτός

δικτύου τοποθεσιών, όπου οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμες. Οι κινητήρες Stirling μπορούν να τροφοδοτηθούν από μια σειρά πηγών θερμότητας, συμπεριλαμβανομένων των ορυκτών καυσίμων, της βιομάζας και της ηλιακής ενέργειας, και μπορούν να σχεδιαστούν για μια ποικιλία επιπέδων παραγωγής. Έχουν τη δυνατότητα υψηλής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών, καθιστώντας τα μια ελκυστική τεχνολογία για την παραγωγή ενέργειας (Hussain, Das and Sinha, 2017).

Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας:

Οι κινητήρες Stirling μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΘ), όπου παράγουν τόσο ηλεκτρική ενέργεια όσο και θερμότητα. Τα συστήματα ΣΗΘ είναι συνήθως πιο αποδοτικά από τα ξεχωριστά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, επειδή χρησιμοποιούν την απορριπτόμενη θερμότητα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την παροχή θέρμανσης ή ψύξης. Οι κινητήρες Stirling μπορούν να σχεδιαστούν για μια σειρά επιπέδων απόδοσης, καθιστώντας τους κατάλληλους για μια ποικιλία εφαρμογών ΣΗΘ (Hussain, Das and Sinha, 2017).

Θέρμανση και Ψύξη:

Οι κινητήρες Stirling μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή θέρμανσης και ψύξης σε διάφορες ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένων οικιστικών και εμπορικών κτηρίων. Μπορούν να σχεδιαστούν για μια σειρά επιπέδων εξόδου, καθιστώντας τους κατάλληλους τόσο για εφαρμογές μικρής όσο και μεγάλης κλίμακας. Οι κινητήρες Stirling μπορούν να λειτουργούν σε μια σειρά πηγών θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας, καθιστώντας τους μια ελκυστική τεχνολογία για βιώσιμη θέρμανση και ψύξη (Γκιρετλή, 2018).

Ηλιακή ενέργεια:

Οι μηχανές Stirling μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ηλιακής ενέργειας, όπου μετατρέπουν τη θερμότητα του ήλιου σε μηχανική εργασία. Οι ηλιακοί κινητήρες Stirling έχουν τη δυνατότητα υψηλής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών, καθιστώντας τους μια ελκυστική τεχνολογία για βιώσιμη παραγωγή ενέργειας. Μπορούν να σχεδιαστούν για μια ποικιλία επιπέδων εξόδου, καθιστώντας τα κατάλληλα τόσο για εφαρμογές μικρής όσο και μεγάλης κλίμακας.

Μεταφορά:

Οι κινητήρες Stirling μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων οχημάτων και πλοίων. Έχουν τη δυνατότητα για υψηλή απόδοση και χαμηλές εκπομπές, καθιστώντας τους μια ελκυστική τεχνολογία για βιώσιμες μεταφορές. Οι κινητήρες Stirling μπορούν να τροφοδοτηθούν από μια σειρά καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των βιοκαυσίμων και του υδρογόνου, καθιστώντας τους μια ευέλικτη τεχνολογία για τις μεταφορές (Nightingale, 1986).

Στρατιωτικές Εφαρμογές:

Οι κινητήρες Stirling έχουν μια σειρά από πιθανές στρατιωτικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της τροφοδοσίας απομακρυσμένων αισθητήρων, εξοπλισμού επικοινωνιών και άλλων συσκευών σε απομακρυσμένα ή εχθρικά περιβάλλοντα.

Μπορούν να τροφοδοτηθούν από μια σειρά καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας και της ηλιακής ενέργειας, καθιστώντας τους μια βιώσιμη τεχνολογία για στρατιωτικές εφαρμογές.

Συμπερασματικά, οι κινητήρες Stirling έχουν μια σειρά από πιθανές εφαρμογές σε μια ποικιλία ρυθμίσεων, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ενέργειας, της θέρμανσης και ψύξης, της ηλιακής ενέργειας, των μεταφορών και των στρατιωτικών εφαρμογών. Έχουν πολλά μοναδικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων κινητήρων θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας λειτουργίας με ένα ευρύ φάσμα πηγών θερμότητας, υψηλής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών. Ως αποτέλεσμα, οι κινητήρες Stirling είναι μια ελκυστική τεχνολογία για μια σειρά εφαρμογών βιώσιμης ενέργειας.

3. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

3.1 Ο Ήλιος

Η δυναμική της ατμόσφαιρας και του κλίματος της Γης επηρεάζεται αποκλειστικά από την ενέργεια του Ήλιου, η οποία έχει διατηρήσει τη ζωή στη Γη για εκατομμύρια χρόνια. Αυτή η πηγή ενέργειας είναι επίσης υπεύθυνη για την πλειονότητα των ενεργειακών πόρων που καταναλώνονται από τον άνθρωπο, εκτός από την πυρηνική ενέργεια και τη γεωθερμία, οι οποίες σχετίζονται με τη θερμοκρασία της Γης. Ο Ήλιος εκτιμάται ότι έχει ηλικία άνω των πέντε δισεκατομμυρίων ετών και προβλέπεται να συνεχίσει να εκπέμπει ακτινοβολία με τον ίδιο ρυθμό για άλλα πέντε δισεκατομμύρια χρόνια.

Ο Ήλιος αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και βρίσκεται σε αέρια κατάσταση. Το εσωτερικό του έχει την υψηλότερη θερμοκρασία και πυκνότητα, φτάνοντας μεταξύ 15×10^6 - 40×10^6 K και πυκνότητα μεταξύ 100 - 150 g/cm³. Βρίσκεται σε μηχανική ισορροπία με το δικό του βάρος, με το βάρος των αερίων πάνω από κάθε στρώμα να υποστηρίζεται από την πίεση των αερίων και την ακτινοβολία σε αυτό το στρώμα. Για να διατηρηθεί η ισορροπία μεταξύ βάρους και πίεσης, η ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται στον πυρήνα του και μεταδίδεται στην επιφάνεια είναι ίση με την ποσότητα ενέργειας που ακτινοβολεί (Τσαλικίδης, 2008).

Η φωτόσφαιρα του Ήλιου είναι η «επιφάνειά» του και αποτελείται από αέρια ποικίλης πυκνότητας που εκπέμπουν το μεγαλύτερο μέρος της ορατής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη. Πέρα από τη φωτόσφαιρα υπάρχουν πολλαπλά στρώματα αερίων σε υψηλές θερμοκρασίες. Αν και ο Ήλιος δεν έχει σταθερό μέγεθος, συνήθως θεωρείται ότι έχει διάμετρο $1.391.960$ χλμ. Ο Ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του περίπου μία φορά κάθε τέσσερις εβδομάδες και λόγω της ανομοιόμορφης πυκνότητάς του, ο ισημερινός του χρειάζεται 25-27 ημέρες για να περιστραφεί, ενώ οι πολικές περιοχές του χρειάζονται 30-35 ημέρες.

Ο Ήλιος λειτουργεί ως πυρηνικός αντιδραστήρας όπου εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου υφίστανται συνεχή σύντηξη για να σχηματίσουν ήλιο. Περίπου 657 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου μετατρέπονται σε 653 εκατ. τόνους ηλίου ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η αντίδραση είναι εξαιρετικά ισχυρή, εκπέμποντας περίπου 70.000 ίππους ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του Ήλιου. Για να παράγουμε την ίδια ποσότητα ενέργειας, θα πρέπει να καίμε άνθρακα με ρυθμό ίσο με 11 δισεκατομμύρια φορές την ετήσια παραγωγή άνθρακα της Γης.

Ο πυρήνας του Ήλιου, ο οποίος περιέχει το 40% της μάζας του, υφίσταται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που αφορούν κυρίως τη σύντηξη υδρογόνου σε ήλιο και παράγει το 90% της ενέργειας που ακτινοβολεί ο Ήλιος (Τσαλικίδης, 2008). Ο Ήλιος εκπέμπει συνολικά $3,72 \times 10^{23}$ kW ακτινοβολίας και αυτή η εκπομπή αντιστοιχεί σε θερμοκρασία επιφάνειας 5777 K. Η ηλιακή σταθερά, η οποία είναι η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που φτάνει σε μια μοναδιαία επιφάνεια κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας στη μέση απόσταση μεταξύ της Γης και του Ήλιου, είναι 1367 W/m².

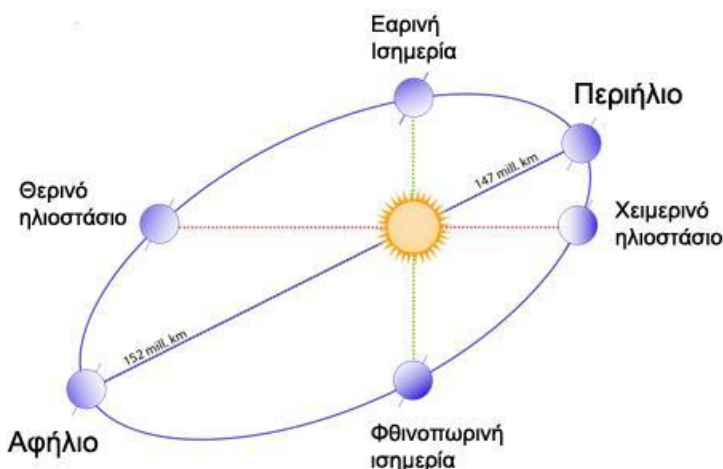
3.2 Γεωμετρία Ήλιου-Γης

Η Γη βρίσκεται σε απόσταση περίπου $149,6 \times 10^6$ χιλιομέτρων από τον Ήλιο και περιφέρεται σε ελλειπτικό μονοπάτι με χαμηλή εκκεντρότητα. Το επίπεδο που περιέχει αυτή την τροχιά ονομάζεται εκλειπτικό επίπεδο. Υπάρχει μια σταθερή γωνία $23,45^\circ$ μεταξύ του εκλειπτικού επιπέδου και του πολικού άξονα της Γης, η οποία παραμένει αμετάβλητη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτή η κλίση οδηγεί σε διάφορα αποτελέσματα, όπως:

- Αλλαγές στη γωνία με την οποία η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει σε μια θέση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, άλλοτε σε κατακόρυφη γωνία και άλλοτε σε κεκλιμένη γωνία (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).
- Διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με μεγαλύτερη ακτινοβολία όταν αυτή φτάνει σε χαμηλότερη γωνία σε σχέση με την κατακόρυφο σε συγκεκριμένη θέση.
- Η εμφάνιση διαφορετικών εποχών και διακυμάνσεων στον αριθμό των ωρών της ημέρας (Τσαλικίδης, 2008).
- Διακυμάνσεις στη θέση του Ήλιου κατά τη διάρκεια του ηλιακού μεσημεριού, με υψηλότερη θέση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και χαμηλότερη θέση κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η Γη χρειάζεται 365 ημέρες για να ολοκληρώσει μία τροχιά γύρω από τον Ήλιο και περιστρέφεται γύρω από τον πολικό της άξονα μία φορά κάθε 24 ώρες (Κόλλια & Βασιλείου, 2017). Η απόσταση μεταξύ του κέντρου του Ήλιου και του κέντρου της Γης αλλάζει καθώς η Γη περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο όλο τον χρόνο. Στις αρχές Ιανουαρίου, η Γη βρίσκεται στην πλησιέστερη απόστασή της από τον Ήλιο, γνωστή ως περιήλιο, ενώ στις αρχές Ιουλίου βρίσκεται στην πιο μακρινή της απόσταση, γνωστή ως αφήλιο. Η ελλειπτική τροχιά της Γης προκαλεί ετήσια μεταβολή στην απόσταση μεταξύ του Ήλιου και της Γης περίπου $\pm 1,7\%$, με αποτέλεσμα μια αλλαγή της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη περίπου $\pm 3,4\%$. Αυτές οι αλλαγές επαναλαμβάνονται με μικρές διακυμάνσεις από έτος σε έτος.

ΕΙΚΟΝΑ 5. ΤΡΟΧΙΑ ΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΗΣ



Η Γη περιστρέφεται μία φορά την ημέρα με ταχύτητα 15 μοιρών την ώρα σε σχέση με τον Ήλιο. Αυτή η καθημερινή εναλλαγή είναι υπεύθυνη για τις αλλαγές στα επίπεδα

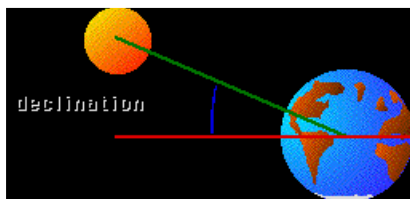
ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η θέση του άξονα της Γης σε σχέση με τον Ήλιο προκαλεί διακυμάνσεις στα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με αποτέλεσμα εποχιακές αλλαγές. Για να απλοποιήσουμε το μοντέλο, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η Γη είναι ακίνητη και ότι ο Ήλιος κινείται γύρω της σε τροχιά ευθυγραμμισμένη με τον ισημερινό της Γης. Σε αυτό το μοντέλο, μπορούμε να ορίσουμε το ουράνιο επίπεδο του ισημερινού ως το επίπεδο που περιέχει τον ισημερινό της Γης και τέμνει τον πολικό άξονα στο κέντρο του. Η γωνία μεταξύ του εκλειπτικού επιπέδου και του ουράνιου επιπέδου του ισημερινού είναι περίπου 23,45 μοίρες (Τσαλικίδης, 2008).

ΕΙΚΟΝΑ 6. ΓΩΝΙΑ ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΕ ΟΥΡΑΝΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

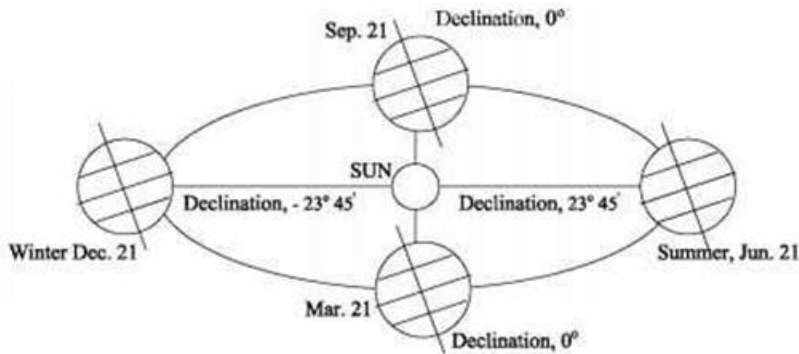


Η γωνία ηλιακής απόκλισης (d) είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου του ουράνιου ισημερινού και της γραμμής που συνδέει το κέντρο της Γης με το κέντρο του Ήλιου. Αν και αυτή η γωνία αλλάζει συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους λόγω της περιστροφής της Γης, μπορεί να θεωρηθεί ως περίπου σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς αλλάζει λιγότερο από 0,5°. Στις εαρινές και φθινοπωρινές ισημερίες, η γωνία ηλιακής απόκλισης είναι 0°. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου, η γωνία είναι $d = +23,45^\circ$, και κατά τη διάρκεια του χειμερινού ηλιοστασίου, είναι $d = -23,45^\circ$.

ΕΙΚΟΝΑ 7. ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 8. ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ



Αν φανταστούμε έναν παρατηρητή που βρίσκεται στο κέντρο της Γης, σε ένα επίπεδο που τέμνει τον πολικό άξονα, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας θα παρατηρούσε τον Ήλιο να κινείται σε ουράνια τροχιά που προβάλλεται στην ημισφαιρική ουράνια σφαίρα που περιβάλλει τη Γη σε άπειρη απόσταση. Η ουράνια σφαίρα είναι ένα επίπεδο αναφοράς που εξετάζει μόνο τις γωνίες θέασης των αστεριών σε σχέση με το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού και όχι την απόστασή τους από τη Γη. Από την οπτική γωνία του επίγειου παρατηρητή, η ουράνια σφαίρα φαίνεται να ολοκληρώνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τον άξονα της Γης κάθε 24 ώρες και η ημερήσια περιστροφή της ουράνιας σφαίρας φαίνεται να είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση από την ετήσια τροχιά του Ήλιου.

3.3 Το Οριζόντιο Σύστημα Συντεταγμένων

Δύο σφαιρικές συντεταγμένες, γεωγραφικό πλάτος και μήκος, χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό οποιουδήποτε σημείου στην επιφάνεια της Γης. Η βάση για αυτές τις συντεταγμένες είναι ο Ισημερινός και ο πρώτος μεσημβρινός, αντίστοιχα. Οι μεσημβρινοί είναι ημικυκλικές γραμμές που συνδέουν τον Βόρειο και τον Νότιο πόλο. Ο πρώτος μεσημβρινός ορίζεται συμβατικά στον μεσημβρινό που διέρχεται από το αστεροσκοπείο του Γκρίνουιτς, κοντά στο Λονδίνο, το οποίο χαρακτηρίζεται ως γεωγραφικό μήκος μηδέν. Το γεωγραφικό μήκος μιας τοποθεσίας καθορίζεται από τη γωνία μεταξύ του μεσημβρινού που διέρχεται από αυτή τη θέση και του πρώτου μεσημβρινού. Τα δυτικά γεωγραφικά μήκη ορίζονται ως θετικά. Το γεωγραφικό πλάτος, από την άλλη πλευρά, καθορίζεται από τη γωνία μεταξύ του επιπέδου του Ισημερινού και της φανταστικής γραμμής που συνδέει το σημείο με το κέντρο της Γης. Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται ως Βόρειο (N) ή Νότιο (S), ανάλογα με το ημισφαίριο στο οποίο βρίσκεται η τοποθεσία (Τσαλικίδης, 2008).

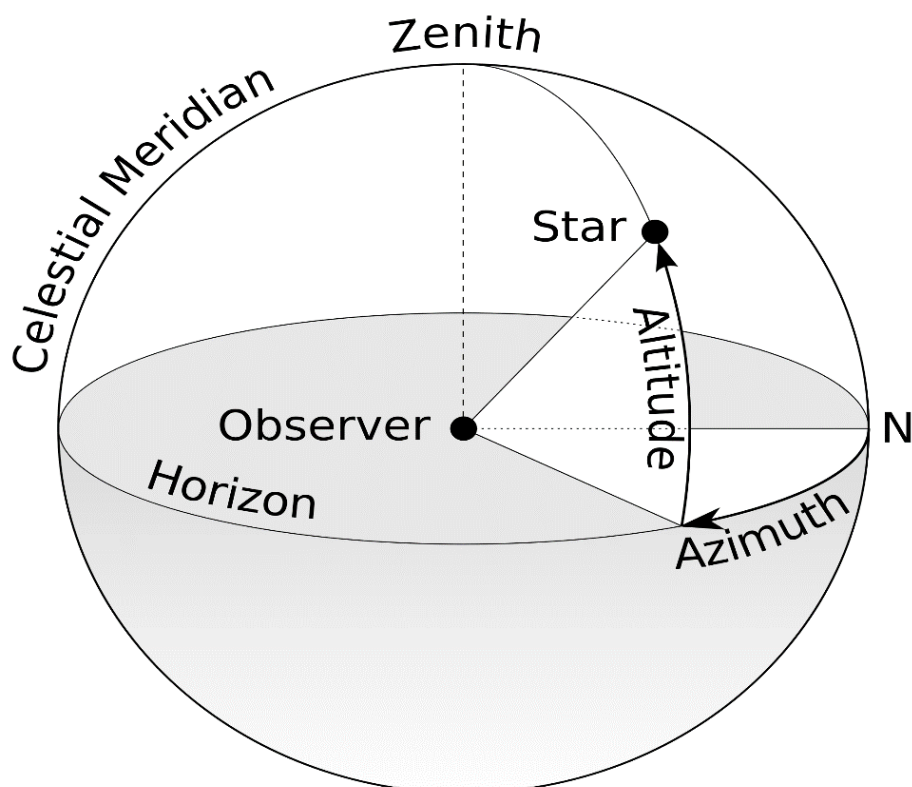
Για τον προσδιορισμό της θέσης ενός ουράνιου αντικειμένου σε σχέση με ένα σημείο στην επιφάνεια της Γης, χρησιμοποιείται ένα διαφορετικό σύστημα συντεταγμένων, γνωστό ως Σύστημα Οριζόντιων Συντεταγμένων ή Σύστημα Συντεταγμένων Alt/Az. Αυτό το σύστημα παίρνει τον τοπικό ορίζοντα του παρατηρητή στην επιφάνεια της Γης ως επίπεδο αναφοράς του και χωρίζει την ουράνια σφαίρα σε ένα ανώτερο ημισφαίριο που ο παρατηρητής μπορεί να δει και ένα κατώτερο ημισφαίριο που δεν

μπορεί να δει. Ο πόλος του ανώτερου ημισφαιρίου, όπου η κάθετη στο επίπεδο αναφοράς του παρατηρητή τέμνεται με την ουράνια σφαίρα, είναι γνωστός ως ζενίθ, ενώ ο πόλος του κατώτερου ημισφαιρίου ονομάζεται ναδίρ.

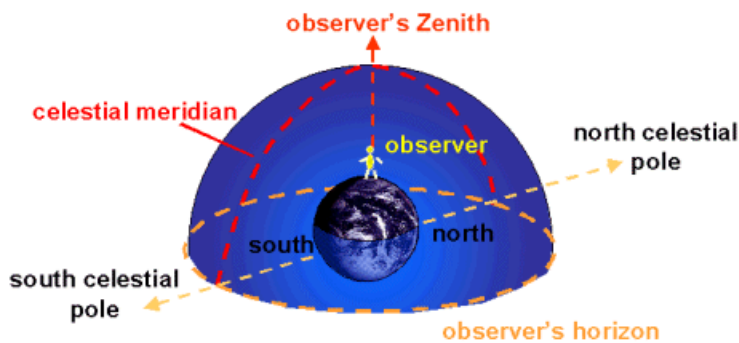
Το Οριζόντιο Σύστημα Συντεταγμένων υποθέτει ότι η Γη είναι σταθερή και όχι τα ουράνια σώματα, πράγμα που σημαίνει ότι η θέση ενός ουράνιου αντικειμένου, συμπεριλαμβανομένου του Ήλιου, αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτό το σύστημα, η Γη θεωρείται ότι βρίσκεται στο κέντρο του σύμπαντος, ενώ ο Ήλιος και άλλα ουράνια αντικείμενα είναι στερεωμένα στην επιφάνεια της ουράνιας σφαίρας, η οποία περιστρέφεται. Οι αποστάσεις μεταξύ ουράνιων αντικειμένων δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτό το σύστημα.

Το οριζόντιο σύστημα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης του Ήλιου σε σχέση με έναν παρατηρητή, μετρώντας δύο γωνίες: υψόμετρο και αζιμούθιο. Το υψόμετρο είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου αναφοράς του παρατηρητή και του αντικειμένου και κυμαίνεται από 0° (όταν το αντικείμενο βρίσκεται απευθείας στον ορίζοντα) έως 90° (όταν το αντικείμενο βρίσκεται στο ζενίθ) και -90° (όταν το αντικείμενο βρίσκεται κάτω από τον ορίζοντα). Το αζιμούθιο, από την άλλη πλευρά, είναι η γωνία μεταξύ της προβολής του αντικειμένου στο οριζόντιο επίπεδο αναφοράς και της κατεύθυνσης γύρω από τον ορίζοντα, ξεκινώντας από το Νότο. Οι τιμές του υψομέτρου και του αζιμουθίου αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου καθώς το αντικείμενο φαίνεται να κινείται στην ουράνια σφαίρα, αλλά διαφέρουν επίσης μεταξύ δύο διαφορετικών παρατηρητών σε διαφορετικές θέσεις στην επιφάνεια της Γης, ακόμη και για το ίδιο αντικείμενο ταυτόχρονα. Όταν το υψόμετρο του Ήλιου είναι 0° , είτε ανατέλλει είτε δύει, και το αν είναι ανατολή ή δύση εξαρτάται από το αζιμούθιο (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).

ΕΙΚΟΝΑ 9. ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 10. ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗ



3.4 Η ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αναφέρεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο. Αυτός ο τύπος ακτινοβολίας κατανέμεται σε ένα εύρος μηκών κύματος, με την πλειοψηφία του να εμφανίζεται σε μικρά μήκη κύματος έως περίπου 3-4 μm . Οποιαδήποτε ακτινοβολία πέρα από αυτό το σημείο μπορεί να αναφέρεται ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Υπολογίζεται ότι το 99% της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται εντός του εύρους των μηκών κύματος από 0,25 έως 4 μm . Όσον αφορά την κατανομή της ενέργειας, το ορατό τμήμα της ακτινοβολίας (0,39-0,77 μm) περιέχει το 46,41% της ενέργειας, ενώ το υπεριώδες εύρος (μήκος κύματος < 0,4 μm) περιέχει 8,03% και το υπόλοιπο 45,56% περιέχεται εντός της περιοχής των 0,77 μm . Το ηλιακό φως μπορεί να ληφθεί από οποιαδήποτε τοποθεσία στη Γη για τουλάχιστον ένα μέρος του έτους, αλλά η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης ποικίλλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως η τοποθεσία της περιοχής, η ώρα της ημέρας, η εποχή, τυχόν μοναδικά χαρακτηριστικά εδάφους και καιρικές συνθήκες (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).

Η γωνία με την οποία οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν την επιφάνεια της Γης μπορεί να κυμαίνεται από 0° έως 90°, με τη μέγιστη ηλιακή ενέργεια να λαμβάνεται όταν οι ακτίνες πέφτουν κάθετα. Όταν οι ακτίνες χτυπούν υπό γωνία, ταξιδεύουν περισσότερο μέσα στην ατμόσφαιρα και γίνονται πιο διάχυτες. Λόγω του σφαιρικού σχήματος της Γης, οι πολικές περιοχές δεν δέχονται ποτέ άμεση κατακόρυφη ηλιακή ακτινοβολία. Το περιήλιο του εκλειπτικού επιπέδου, το οποίο εμφανίζεται στο νότιο ημισφαίριο το καλοκαίρι και το χειμώνα στο βόρειο ημισφαίριο, έχει ως αποτέλεσμα μια ελαφρώς υψηλότερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας να φτάσει στην επιφάνεια της Γης. Ωστόσο, η παρουσία μεγάλων υδάτινων σωμάτων βοηθά στον μετριασμό των αναμενόμενων θερμότερων καλοκαιριών και ψυχρότερων χειμώνων. Η κλίση του πολικού άξονα της Γης παίζει κρίσιμο ρόλο στην ποσότητα ηλιοφάνειας που λαμβάνεται σε κάθε τοποθεσία. Λόγω αυτής της κλίσης, το βόρειο ημισφαίριο βιώνει μεγαλύτερες ημέρες κατά την περίοδο μεταξύ της εαρινής και της φθινοπωρινής ισημερίας, ενώ το νότιο ημισφαίριο βιώνει μεγαλύτερες ημέρες κατά τη διάρκεια των άλλων έξι μηνών. Στις ισημερίες, η μέρα και η νύχτα είναι ίσης διάρκειας.

Οι χώρες που βρίσκονται σε γεωγραφικά πλάτη γύρω από το μεσαίο σημείο λαμβάνουν μεγαλύτερη ηλιακή ενέργεια όχι μόνο επειδή οι ημέρες είναι μεγαλύτερες αλλά κι επειδή οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν σχεδόν κάθετα στην επιφάνεια. Αντίθετα, κατά τους χειμερινούς μήνες, οι μέρες είναι μικρότερες και οι ακτίνες του ήλιου είναι πολύ πιο λοξές. Για παράδειγμα, περιοχές γύρω στις 40° γεωγραφικού πλάτους δέχονται περίπου τρεις φορές περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία τον Ιούνιο από ό,τι τον Δεκέμβριο.

Η περιστροφή της Γης είναι ένας άλλος λόγος για τις ωριαίες διακυμάνσεις της ηλιοφάνειας (Τσαλικίδης, 2008). Νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, ο ήλιος είναι χαμηλά στον ουρανό και οι ακτίνες του διαχέονται περισσότερο μέσω της ατμόσφαιρας παρά το μεσημέρι, όταν ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του. Σε μια καθαρή ημέρα, η μέγιστη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της Γης γύρω στο μεσημέρι.

Η συνολική ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε έναν συλλέκτη στην επιφάνεια της Γης αποτελείται από ένα συστατικό άμεσης δέσμης, ένα συστατικό διάχυτης ακτινοβολίας και ένα συστατικό λευκαύγειας.

Για να διευκρινιστεί, η άμεση ακτινοβολία αναφέρεται στην ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίς να διασκορπίζεται στην ατμόσφαιρα, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει αλλάξει κατεύθυνση λόγω ανάκλασης ή σκέδασης στην ατμόσφαιρα πριν φτάσει στην επιφάνεια. Η ποσότητα της άμεσης ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μια δεδομένη τοποθεσία επηρεάζεται από παράγοντες όπως η απορρόφηση και η διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, η θέση του Ήλιου, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο της θέσης, η κλίση της επιφάνειας, η απόσταση μεταξύ του Ήλιου και της Γης και η ηλιακή απόκλιση. Ομοίως, η ποσότητα της διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει σε μια τοποθεσία επηρεάζεται από μεταβλητές όπως το ύψος του Ήλιου, το υψόμετρο της θέσης και η παρουσία και ο τύπος των νεφών, της σκόνης, των ατμοσφαιρικών ρύπων, των υδρατμών και άλλων σωματιδίων και αερίων στην ατμόσφαιρα.

Η συνιστώσα λευκαύγειας αναφέρεται στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από μια επιφάνεια, εκφρασμένη ως λόγος της ανακλώμενης ισχύος προς την προσπίπτουσα φωτεινή ισχύ σε αυτήν την επιφάνεια. Η ηλιακή ακτινοβολία βιώνει ελάχιστες απώλειες καθώς ταξιδεύει στην ατμόσφαιρα, αλλά κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα, η έντασή της μπορεί να μειωθεί σημαντικά, ανάλογα με την ατμοσφαιρική σύνθεση και τη νεφοκάλυψη (Τσαλικίδης, 2008). Σε καθαρές, ξηρές συνθήκες, οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες μπορούν να μειώσουν το άμεσο ηλιακό φως έως και 10%, αλλά σε συννεφιασμένες ή πολύ μολυσμένες ημέρες, το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει το 100%.

Τα σύννεφα προκαλούν γενικά τη σημαντικότερη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφώντας και αντανακλώντας την. Όταν ο ουρανός είναι πλήρως συννεφιασμένος, δεν υπάρχει άμεση ακτινοβολία και μόνο διάχυτη ακτινοβολία, η οποία ισούται με τη συνολική ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Σε καθαρές καιρικές ημέρες, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να φτάσει στα υψηλότερα επίπεδά της, με την άμεση ακτινοβολία να αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ακτινοβολίας. Ωστόσο, κάποιο ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας είναι

πάντα παρόν λόγω της διάχυσης που προκαλείται από μόρια αέρα, σωματίδια ή αέρια στην ατμόσφαιρα.

Παρ' όλα αυτά, οι ηλιακοί συλλέκτες είναι συνήθως προσανατολισμένοι στη σύλληψη της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας στις περισσότερες εφαρμογές. Αυτό συμβαίνει επειδή οι καθρέφτες ή οι φακοί μπορούν να συγκεντρώσουν την άμεση δέσμη σε μικρές επιφάνειες, κάτι που είναι αδύνατο να επιτευχθεί με διάχυτη ακτινοβολία.

3.5 Η ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια που μεταδίδεται από τον Ήλιο στη Γη μέσω της ακτινοβολίας. Αυτή η ενέργεια εκπέμπεται από τον Ήλιο και ταξιδεύει στο διάστημα για να φτάσει στη Γη. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη είναι συνήθως 173×10^{15} W σε μία ημέρα, η οποία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας περίπου 7×10^{12} W (Κόλλια & Βασιλείου, 2017). Στην πραγματικότητα, έχει υπολογιστεί ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη σε μόλις 90 λεπτά είναι αρκετή για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη για έναν ολόκληρο χρόνο.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί είτε σε θερμότητα είτε σε ηλεκτρική ενέργεια. Όταν μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως η θέρμανση κτιρίων, το νερό για οικιακή χρήση και για τη γεωργία σε θερμοκήπια. Επιπλέον, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση υγρών σε υψηλές θερμοκρασίες, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία στροβίλων που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δύο τρόπους: τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ οι ηλιακοί θερμικοί σταθμοί συσσωρεύουν ακτινοβολία για να θερμάνουν ένα υγρό και να παράγουν ατμό που τροφοδοτεί μια γεννήτρια (Vaussard et al., 2011). Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στη χρήση της ηλιακής ενέργειας, όπως η καθαριότητα και η φιλικότητα προς το περιβάλλον, καθώς δεν παράγει διοξείδιο του άνθρακα ή ατμοσφαιρικούς ρύπους και ο Ήλιος είναι μια άφθονη πηγή ενέργειας. Οι ηλιακές τεχνολογίες έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής περίπου 20-30 χρόνια, χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργούν ήσυχα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί, όπως η εξάρτηση από την τοποθεσία, τον χρόνο και τις καιρικές συνθήκες για ηλιοφάνεια. Επιπλέον, λόγω της άνισης κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις για τη συλλογή ακτινοβολίας σε επαρκή βαθμό.

Το δυναμικό της ηλιακής ενέργειας είναι γνωστό εδώ και πολλά χρόνια, αλλά δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως λόγω της διαθεσιμότητας και της ευκολίας των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, ζητήματα όπως η υπερκατανάλωση ορυκτών καυσίμων, η κλιματική αλλαγή, οι περιβαλλοντικές ζημιές και το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχουν αναδείξει την ανάγκη για ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό μοντέλο, στο οποίο η ηλιακή ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο (Vaussard et al., 2011). Εφαρμόζοντας τις σωστές πολιτικές και προωθώντας την

ευρεία χρήση της ηλιακής ενέργειας σε πολλές χώρες, είναι δυνατή η επίλυση σημαντικών παγκόσμιων ζητημάτων όπως η κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή ασφάλεια και η πρόσβαση σε ενεργειακές υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, το κόστος της ηλιακής ενέργειας μειώνεται, καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά και ηλιακά θερμικά συστήματα ανταγωνιστικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, ειδικά σε περιοχές με άφθονο ηλιακό φως.

4. ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού στα κτήρια, είναι ένα σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας εκτός από τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης που συζητήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται «ενεργητικά» επειδή χρησιμοποιούν αντλίες ή άλλα μέσα που συνήθως απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως για θέρμανση νερού τόσο σε αυτόνομα όσο και σε κεντρικά συστήματα, πισίνες, εσωτερική θέρμανση, γεωργικές εφαρμογές όπως ξήρανση καλλιεργειών και θέρμανση θερμοκηπίων, βιομηχανικές εφαρμογές και πολλά άλλα. Μεγάλα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν αυτόνομα ή σε συνδυασμό με συμβατικά ή παθητικά συστήματα για την κάλυψη όλων των αναγκών θέρμανσης ενός κτηρίου. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι η ικανότητά τους να συλλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία και να τη μεταφέρουν στον αέρα, το νερό ή άλλα υγρά με τη μορφή θερμότητας, η οποία στη συνέχεια αποθηκεύεται χρησιμοποιώντας διάφορα μηχανικά μέσα.

Ωστόσο, η ενσωμάτωση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων σε αστικά κτήρια μπορεί να είναι δύσκολη λόγω διαφόρων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της σκίασης από γειτονικά κτήρια, του προσανατολισμού και του πλάτους του δρόμου, της κατασκευής κτηρίων και του διαθέσιμου χώρου για εγκατάσταση συστήματος, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλεί εναποθέσεις στα καλύμματα των συλλεκτών, του προσανατολισμού του κτηρίου και της πυκνότητας της δομής. Παρά τις δυσκολίες αυτές, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε ημιαστικά και αγροτικά κτήρια, ιδιαίτερα σε ηλιόλουστες χώρες όπως η Ελλάδα.

4.2 Ταξινόμηση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων

Σύμφωνα με το ISO/DIS 9477, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: αυτόνομα συστήματα, τα οποία δεν απαιτούν βοηθητική πηγή θέρμανσης. συστήματα προθέρμανσης, τα οποία προθερμαίνουν το νερό για χρήση σε άλλα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και υβριδικά συστήματα, τα οποία συνδυάζουν ηλιακά και συμβατικά συστήματα για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης, ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά διατίθενται σε διάφορα μεγέθη για να καλύψουν τις ανάγκες μικρών σπιτιών ή ολόκληρων οικισμών (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση το μέσο που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και αποθήκευση ενέργειας. Οι δύο κύριοι τύποι είναι τα υγρά συστήματα και τα συστήματα αέρα. Παρά το γεγονός ότι έχουν τον ίδιο βασικό τρόπο λειτουργίας, τα συστήματα αέρα χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση χώρων, ξήρανση γεωργικών προϊόντων και βιομηχανικές εφαρμογές. Τα

συστήματα υγρών έχουν ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών, όπως θέρμανση χώρων, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, κλιματισμό, θέρμανση νερού πισίνας και ως πηγή ενέργειας για αντλίες θερμότητας. Λόγω αυτής της ευελιξίας, τα συστήματα υγρών χρησιμοποιούνται συχνότερα σε επαγγελματικούς χώρους και σπίτια από τα συστήματα αέρα.

4.2.1 Ηλιακά συστήματα αέρα

Τα ηλιακά συστήματα αέρα λειτουργούν κυκλοφορώντας θερμό αέρα μέσω αγωγών από και προς έναν ηλιακό συλλέκτη, με την παραγόμενη θερμότητα να αποθηκεύεται σε κατάλληλα συστήματα αποθήκευσης. Αυτά τα συστήματα είναι ιδανικά για θέρμανση χώρου, καθώς ο θερμαινόμενος αέρας μπορεί να διοχετευθεί απευθείας στο δωμάτιο χωρίς την ανάγκη εναλλακτών θερμότητας. Οι συλλέκτες αποτελούνται από μαυρισμένες επιφάνειες που περιέχονται σε μονωμένο πλαίσιο και καλύπτονται με γυαλί για να παγιδεύουν την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία. Ωστόσο, τα συστήματα αέρα αντιμετωπίζουν τεχνικές δυσκολίες στη μεταφορά και διανομή του αέρα, οι οποίες αντιμετωπίζονται συνδυάζοντας ηλιακά με συμβατικά συστήματα διανομής θερμού αέρα.

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης θερμότητας είναι ζωτικής σημασίας για την απόδοση και το κόστος του ηλιακού συστήματος, καθώς η χρήση της ενέργειας που προκύπτει από το σύστημα σπάνια συμπίπτει με την παραγωγή του. Για συστήματα αέρα, ένα στρώμα από πέτρες ή χαλίκι με υψηλή θερμική ικανότητα χρησιμοποιείται συνήθως για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Ο ζεστός αέρας διοχετεύεται μέσω του στρώματος αποθήκευσης στο κτήριο κατά τη διάρκεια της ημέρας, και τη νύχτα ο κρύος αέρας διοχετεύεται στο στρώμα αποθήκευσης από το εσωτερικό του κτηρίου για να απορροφήσει την αποθηκευμένη θερμότητα (Κοτοφώλου, 2017).

Η βέλτιστη χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τα θερμικά φορτία που πρέπει να καλυφθούν, η απόδοση των συλλεκτών και η ύπαρξη βοηθητικής πηγής ενέργειας. Για οικιακά συστήματα, ο βέλτιστος όγκος υλικού αποθήκευσης υπολογίζεται σε 0,15 έως 0,3 m³ για κάθε m³ χώρου συλλέκτη (Κωστογλάνης & Τζίμης, 2017).

4.2.2 Ηλιακά υγρά συστήματα

Τα ηλιακά υγρά συστήματα λειτουργούν κυκλοφορώντας ένα υγρό (συνήθως νερό ή διάλυμα με βάση το νερό) μέσω σωλήνων από και προς έναν ηλιακό συλλέκτη. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών υγρών, αλλά ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι ο επίπεδος συλλέκτης, ο οποίος χρησιμοποιείται τόσο για οικιστικά όσο και για εμπορικά κτήρια (Κόλλια & Βασιλείου, 2017). Ο επίπεδος συλλέκτης αποτελείται από μια απορροφητική επιφάνεια επικαλυμμένη με ένα επιλεκτικό υλικό που απορροφά τη μέγιστη ποσότητα θερμικής ακτινοβολίας κι ένα μονωμένο κλειστό πλαίσιο με διαφανές κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό που εμποδίζει την εκ νέου εκπομπή απορροφούμενης ακτινοβολίας. Η απορροφητική επιφάνεια έρχεται σε επαφή με αγωγούς του υγρού που μεταφέρουν τη συλλεγόμενη θερμότητα από τον συλλέκτη στη δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας. Αυτός ο τύπος συλλέκτη μπορεί να παρέχει ζεστό νερό σε θερμοκρασίες έως και 95 °C. Τα πλεονεκτήματα ενός

επίπεδου συλλέκτη είναι η απλή κατασκευή του, το σχετικά χαμηλό κόστος, η εύκολη συντήρηση, η ανθεκτικότητα και η ικανότητα απορρόφησης διάχυτης ακτινοβολίας.

Στα υγρά συστήματα, το νερό είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μέσο αποθήκευσης θερμότητας και συνήθως αντλείται σε μονωμένη δεξαμενή για οικιακές εφαρμογές. Οι εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταφορά της θερμότητας από το υγρό που κυκλοφορεί στον συλλέκτη στη δεξαμενή. Ο σωστός σχεδιασμός και το μέγεθος της δεξαμενής μπορεί να αυξήσει την απόδοση του συστήματος και να μειώσει το κόστος του, παρόμοιο με τους συλλέκτες αέρα.

Οι κύριοι τύποι ενεργών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης υγρών περιλαμβάνουν:

Συστήματα με εσωτερική αποθήκευση θερμότητας

Αυτά τα συστήματα αποθηκεύουν θερμότητα απευθείας μέσα στον συλλέκτη, ο οποίος χρησιμεύει ως επιφάνεια της δεξαμενής. Είναι απλά και πρακτικά για ζεστά κλίματα και αστικές περιοχές, καθώς απαιτούν ελάχιστο χώρο και μπορούν να εγκατασταθούν στην οροφή ενός κτηρίου.

Συστήματα θερμοσίφωνα (Κόλλια & Βασιλείου, 2017)

Πρόκειται για τους γνωστούς ηλιακούς θερμοσίφωνα, όπου η δεξαμενή αποθήκευσης βρίσκεται ψηλότερα από τον συλλέκτη. Το θερμό υγρό ανεβαίνει από τον συλλέκτη στη δεξαμενή λόγω της ελαφρύτερης πυκνότητάς του, δημιουργώντας φυσική κυκλοφορία χωρίς καμία ανάγκη για αντλίες. Είναι ουσιαστικά παθητικά, αλλά συνήθως έχουν ηλεκτρική βοηθητική θέρμανση. Είναι λιγότερο πρακτικά λόγω των απαιτήσεων χώρου τους.

EIKONA 11. ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ



Υγρά συστήματα με μηχανική κυκλοφορία

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αντλίες για την κυκλοφορία υγρού μεταξύ του συλλέκτη και της δεξαμενής αποθήκευσης και η παραγωγή και αποθήκευση θερμότητας ρυθμίζονται από ένα σύστημα αυτοματισμού. Χρησιμοποιούνται συνήθως στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη ως αυτόνομα ή υβριδικά συστήματα ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων. Είναι πιο αποδοτικά από τα συστήματα θερμοσίφωνα αλλά και πιο ακριβά. Ωστόσο, συνιστώνται όταν πρέπει να αποφευχθεί μια υπερυψωμένη δεξαμενή, όπως κατά την ενσωμάτωση του συστήματος στο κέλυφος του κτηρίου.

Σύνθετα συστήματα (Κοτοφώλου, 2017)

Πρόκειται για συστήματα μεγάλης κλίμακας που χρησιμοποιούνται σε συγκροτήματα κατοικιών, κτήρια ή οικισμούς. Αποτελούνται από πολλαπλούς διασυνδεδεμένους συλλέκτες και μεγάλους αποθηκευτικούς χώρους (συχνά υπόγειους) για μόνιμη αποθήκευση θερμότητας.

4.2.3 Συλλέκτες κενού

Πρόκειται για προηγμένες συσκευές που χρησιμοποιούν έναν αγωγό θερμότητας, όπως το φρέον, το οποίο κυκλοφορεί μέσα σε έναν σωλήνα που περιβάλλεται από έναν δεύτερο σωλήνα κενού. Η παρουσία κενού ελαχιστοποιεί την απώλεια θερμότητας και οδηγεί σε υψηλά επίπεδα απόδοσης. Το θερμικό υγρό μεταφέρει τη θερμότητά του στον καταναλωτή είτε μέσω αλλαγής φάσης είτε μέσω κύκλου εξάτμισης-συμπύκνωσης, με τη βοήθεια εναλλάκτη θερμότητας (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).

4.2.4 Συμπυκνωμένοι συλλέκτες

Αυτοί οι συλλέκτες έχουν παραβολικό ή κυλινδρικό σχήμα και έχουν εσωτερική ανακλαστική επιφάνεια που συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα μόνο σημείο ή άξονα, δημιουργώντας υψηλές θερμοκρασίες. Οι κεντρικοί συλλέκτες συνήθως περιλαμβάνουν έναν μηχανισμό για την παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου, αλλά σπάνια χρησιμοποιούνται σε οικοδομικές εφαρμογές λόγω του υψηλού τους κόστους.

4.3 Απόδοση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων

Για να επιτευχθούν αποδοτικά ενεργητικά ηλιακά συστήματα, πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί σημαντικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της βέλτιστης τοποθέτησης των συλλεκτών για τη μεγιστοποίηση της συλλογής ηλιακής ενέργειας. Είναι σημαντικό να επιλέξετε τη σωστή γωνία κλίσης και προσανατολισμού, με τη βέλτιστη γωνία σε εφαρμογές όλο τον χρόνο να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της θέσης. Η επιλογή μεταξύ κεντρικού ή μεμονωμένου συστήματος θα πρέπει να εξαρτάται από παράγοντες όπως ο τύπος της εφαρμογής, το απαιτούμενο θερμικό φορτίο, ο αριθμός των χρηστών, η ημερήσια κι εποχιακή κατανομή της κατανάλωσης και ο τύπος του κτηρίου. Η επιλογή του τύπου αποθήκευσης είναι επίσης απαραίτητη,

είτε είναι ημερήσια, εβδομαδιαία ή εποχιακή, κι εξαρτάται από τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου, τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, το κόστος και τον διαθέσιμο χώρο για εγκατάσταση. Η σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος και η διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης σε σχέση με το μέγεθος των συλλεκτών και τις ενεργειακές ανάγκες είναι κρίσιμη (Hussain, Das and Sinha 2017). Τέλος, ο συνδυασμός ηλιακού με συμβατικό βοηθητικό σύστημα θέρμανσης μπορεί να είναι κατάλληλος για την ελαχιστοποίηση της χρήσης μη ανανεώσιμης ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου, μετά από λεπτομερή μελέτη, επιλογή συμβατικών συστημάτων και εγκατάσταση των απαραίτητων μηχανισμών ελέγχου.

5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

5.1 Λειτουργία Κεντρικών Ηλιακών Συστημάτων

Η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (CSP) είναι μια μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί την άμεση δέσμη του ηλιακού φωτός (Κόλλια & Βασιλείου, 2017). Οι καθρέφτες αντανακλούν το ηλιακό φως σε έναν δέκτη, ο οποίος συγκεντρώνει τη θερμότητα για να παράγει θερμότητα μεσαίας ή υψηλής κλίμακας. Αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την τροφοδοσία ενός συμβατικού θερμοδυναμικού κύκλου, όπως ένας ατμοστρόβιλος ή μια θερμική μηχανή. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για να εξασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία, η ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να αποθηκευτεί σε διαφορετικά υλικά όπως λιωμένα άλατα, κεραμικά, σκυρόδεμα ή αλατούχα μίγματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή τη νύχτα. Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ηλιοθερμικής τεχνολογίας είναι παρόμοια με εκείνη των παραδοσιακών σταθμών παραγωγής ενέργειας, με την κύρια διαφορά ότι η πηγή ενέργειας είναι η συμπυκνωμένη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συλλέγεται και μετατρέπεται σε ατμό ή αέριο υψηλής θερμοκρασίας για την κίνηση ενός στροβίλου ή κινητήρα. Τα τέσσερα βασικά συστατικά που απαιτούνται για αυτή τη διαδικασία είναι ένας κεντρικός ηλιακός συλλέκτης, ένας δέκτης ακτινοβολίας, ένα μέσο μετάδοσης ή αποθήκευσης θερμότητας και ένας εναλλάκτης θερμότητας (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).

5.2 Κεντρικοί ηλιακοί συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες περιλαμβάνουν όλες τις συσκευές που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, συλλαμβάνοντας την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντάς την σε θερμότητα. Οι συγκεντρωμένοι ηλιακοί συλλέκτες, από την άλλη πλευρά, απαιτούν κίνηση και παρακολούθηση της πορείας του ήλιου για να συγκεντρώσουν το άμεσο ηλιακό φως σε ένα εστιακό σημείο μέσω της αντανάκλασης. Η κίνηση μπορεί να συμβεί γύρω από έναν ή δύο άξονες ελευθερίας. Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της έντασης, οδηγώντας σε υψηλότερες θερμοκρασίες στις εστιακές επιφάνειες. Ως αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, όπως η λειτουργία της μονάδας παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, το μεγάλο μέγεθος και το υψηλό κόστος παραγωγής των συγκεντρωμένων συλλεκτών απαιτούν πολύπλοκους μηχανισμούς κίνησης και συντήρησης, καθιστώντας τους σχετικά ακριβούς. Ωστόσο, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων.

5.3 Η δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας

Μια πρόκληση που αντιμετωπίζει η συγκεντρωτική ηλιακή τεχνολογία είναι η ανάγκη παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ωρών χωρίς ηλιακό φως ή σε συννεφιασμένες ημέρες. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας παρέχουν μια βιώσιμη λύση σε αυτό το πρόβλημα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στα

συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, η ηλιακή ακτινοβολία αντανακλάται σε έναν δέκτη για την παραγωγή θερμότητας, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η βασική ιδέα της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι να ανακατευθύνει την περίσσεια θερμότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας σε ένα μέσο αποθήκευσης (π.χ. λιωμένο αλάτι). Όταν απαιτείται παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μετά τη δύση του ηλίου, η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται για την κίνηση της τουρμπίνας, επιτρέποντας στον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να συνεχίσει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Η τεχνική μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας είναι η GWh_t, αλλά εκφράζεται συχνότερα σε ώρες, υποδεικνύοντας τον αριθμό των ωρών που μπορεί να λειτουργήσει ένας σταθμός στην εκτιμώμενη χωρητικότητά του βασιζόμενος αποκλειστικά στο σύστημα αποθήκευσης. Το βέλτιστο μέγεθος αποθήκευσης ενέργειας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και το ρόλο κάθε σταθμού παραγωγής (Ambrosio-Albala et al., 2020). Εξαρτάται επίσης από το «ηλιακό πολλαπλάσιο» ενός σταθμού, το οποίο είναι ο λόγος του πραγματικού μεγέθους του ηλιακού πεδίου προς το μέγεθος που απαιτείται για την επίτευξη της εκτιμώμενης απόδοσης, δεδομένων των καλύτερων δυνατών συνθηκών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτή η αναλογία είναι πάντα μεγαλύτερη από ένα, για να εξασφαλιστεί επαρκής ισχύς εξόδου σε περίπτωση διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας που χτυπά το σταθμό κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Τα τελευταία χρόνια, ένας αυξανόμενος αριθμός σταθμών συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) χρησιμοποιεί τεχνολογίες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Η ραγδαία μείωση των τιμών των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει καταστήσει την αποθήκευση ενέργειας απαραίτητη για την ανταγωνιστικότητα και την επιβίωση των σταθμών CSP. Η αποθήκευση ενέργειας όχι μόνον επιτρέπει στα συστήματα αυτά να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά στην αγορά ενέργειας, αλλά συμβάλλει επίσης σημαντικά στην υψηλότερη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών. Με την αποθήκευση ενέργειας, οι σταθμοί CSP μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο εξ ολοκλήρου ή σε μεγάλο βαθμό κατά τις ώρες που δεν υπάρχει ήλιος ή άνεμος. Αυτό επιτρέπει στα φωτοβολταϊκά ή αιολικά συστήματα να έχουν μεγαλύτερο μερίδιο διείσδυσης στο δίκτυο κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων ή θυελλωδών ωρών. Ως εκ τούτου, οι μονάδες CSP καθίστανται η πιο ευέλικτη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για το δίκτυο.

Από το 1985 έχουν εξεταστεί διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Τα πιο βασικά είναι τρία: το άμεσο σύστημα δύο δεξαμενών, το έμμεσο σύστημα δύο δεξαμενών και το σύστημα κλίσης θερμοκρασίας μίας δεξαμενής.

Η βασική ιδέα του άμεσου συστήματος δύο δεξαμενών περιλαμβάνει την αποθήκευση ηλιακής θερμικής ενέργειας σε ένα υγρό που χρησιμοποιείται επίσης για τη συλλογή του (Κωστογιάννης & Τζίμης, 2017). Δύο δεξαμενές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του υγρού, με τη μία δεξαμενή σε υψηλή θερμοκρασία και την άλλη σε χαμηλή θερμοκρασία. Το υγρό από τη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας κατευθύνεται στον ηλιακό συλλέκτη ή δέκτη, όπου θερμαίνεται με ηλιακή ενέργεια

σε υψηλή θερμοκρασία και στη συνέχεια μεταφέρεται στη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας γι' αποθήκευση. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το υγρό από τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας διέρχεται από έναν εναλλάκτη θερμότητας, όπου παράγεται ατμός. Στη συνέχεια, το υγρό εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας σε χαμηλότερη θερμοκρασία κι επιστρέφει στη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιήθηκε σε πρώιμους παραβολικούς κοίλους σταθμούς και πύργους ηλιακής ενέργειας στην Καλιφόρνια, όπου ορυκτέλαιο ή λιωμένα άλατα χρησιμοποιήθηκαν ως ρευστό μεταφοράς και αποθήκευσης θερμότητας.

Το έμμεσο σύστημα δύο δεξαμενών λειτουργεί παρόμοια με το άμεσο, αλλά χρησιμοποιεί διαφορετικά υγρά για τη μεταφορά και αποθήκευση θερμότητας (Κόλλια & Βασιλείου, 2017). Αυτό το σύστημα είναι χρήσιμο όταν το υγρό που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας είναι πολύ δαπανηρό ή ακατάλληλο για αποθήκευση. Το υγρό αποθήκευσης χαμηλής θερμοκρασίας ρέει από τη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας μέσω ενός πρόσθετου εναλλάκτη θερμότητας, όπου θερμαίνεται από το υγρό που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας, το οποίο βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία. Το υγρό αποθήκευσης υψηλής θερμοκρασίας επιστρέφει στη συνέχεια στη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας, ενώ το υγρό χαμηλής θερμοκρασίας θερμαίνεται ξανά στον ηλιακό συλλέκτη ή δέκτη. Το υγρό αποθήκευσης υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως στο άμεσο σύστημα. Ωστόσο, το έμμεσο σύστημα απαιτεί έναν επιπλέον εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος αυξάνει το κόστος. Το έμμεσο σύστημα δύο δεξαμενών σχεδιάζεται για χρήση σε πολλούς παραβολικούς κοίλους σταθμούς στην Ισπανία, οι οποίοι θα χρησιμοποιούν οργανικό έλαιο για μεταφορά θερμότητας και λιωμένα άλατα για υγρό αποθήκευσης. Έχει επίσης προταθεί για ορισμένους «κούφιους» σταθμούς στις ΗΠΑ.

Το σύστημα θερμοκλιτικής μονής δεξαμενής αποθηκεύει θερμική ενέργεια χρησιμοποιώντας ένα στερεό μέσο όπως η πυριτική άμμος, που βρίσκεται σε μία μόνο δεξαμενή. Το στερεό μέσο θερμαίνεται, δημιουργώντας μια κλίση θερμοκρασίας ή θερμοκλινία μεταξύ μιας ζώνης υψηλής θερμοκρασίας και μιας ζώνης χαμηλής θερμοκρασίας. Υγρό υπεύθυνο για τη μεταφορά θερμότητας ρέει στην κορυφή της κλίσης θερμοκρασίας και εξέρχεται στο κάτω μέρος, γεγονός που προκαλεί τη μετατόπιση της κλίσης θερμοκρασίας προς τα κάτω, αυξάνοντας τη θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα. Αντιστρέφοντας τη ροή, η κλίση της θερμοκρασίας μετατοπίζεται προς τα πάνω και εξάγεται θερμική ενέργεια για την παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό στη δεξαμενή είναι θερμικά στρωματοποιημένο, γεγονός που βοηθά στη διατήρηση της κλίσης της θερμοκρασίας.

Σε σύγκριση με τα συστήματα δύο δεξαμενών, το σύστημα μίας δεξαμενής είναι λιγότερο ακριβό επειδή χρησιμοποιεί ένα στερεό μέσο αποθήκευσης και απαιτεί μόνο μία δεξαμενή. Το σύστημα θερμοκλιτικής χρησιμοποιήθηκε στο Solar One, το οποίο χρησιμοποιούσε ατμό για μεταφορά θερμότητας και ορυκτέλαιο για αποθήκευση (Κοτοφώλου, 2017).

5.4 Υβριδοποίηση

Οι περισσότεροι συγκεντρωτικοί σταθμοί ηλιακής ενέργειας που λειτουργούν επί του παρόντος βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα ως εφεδρική πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν δεν υπάρχει επαρκές ηλιακό φως (Fazelrou, Soltani and Rosen, 2016). Η χρήση ορυκτών καυσίμων χρησιμεύει επίσης ως εναλλακτική πηγή θερμότητας για την αντιστάθμιση των απωλειών θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας και για τη διευκόλυνση της ταχύτερης εκκίνησης του εργοστασίου το πρωί. Ορισμένα συστήματα είναι πλήρως υβριδικά, χρησιμοποιώντας όχι μόνο την ηλιακή ενέργεια αλλά και άλλες πηγές θερμότητας (ορυκτά καύσιμα ή με άλλο τρόπο) για την παραγωγή ενός μέρους της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνεχή βάση.

Ο όρος «υβριδισμός ηλιακής ενέργειας-καυσίμου» αναφέρεται επίσης στην ενσωμάτωση ενός μικρού ηλιακού πεδίου σε μια θερμική μονάδα παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ή άνθρακα. Σε αυτά τα υβριδικά συστήματα, το ηλιακό πεδίο παράγει ατμό υψηλής πίεσης που τροφοδοτεί τον ατμοστρόβιλο του εργοστασίου. Επειδή το πρόσθετο κόστος της ανεμογεννήτριας είναι σχετικά χαμηλό, τα υβριδικά συστήματα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από ηλιακή θερμική ενέργεια με χαμηλό κόστος. Διάφορα υβριδικά συστήματα, με ισχύ έως 75MW, έχουν εγκατασταθεί σε διάφορα μέρη του κόσμου, συμπεριλαμβανομένης της Αλγερίας, της Αιγύπτου, του Ιράν, της Ιταλίας, του Μαρόκου και των Ηνωμένων Πολιτειών.

Η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς άνθρακα προσφέρει μια νέα προσέγγιση για την αξιοποίηση των ηλιακών πεδίων (Huang et al., 2001). Στους παραδοσιακούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς άνθρακα, το νερό προθερμαίνεται πριν εισέλθει στον στρόβιλο για να βελτιώσει τον θερμοδυναμικό κύκλο. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας προθερμαντήρες, οι οποίοι εξάγουν ατμό από τον στρόβιλο σε διάφορα επίπεδα πίεσης. Η αντικατάσταση μέρους ή όλου του ατμού υψηλής πίεσης με ατμό που παράγεται από ηλιακή ενέργεια βοηθά στη διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού, αυξάνοντας παράλληλα την ποσότητα ατμού που ρέει στον στρόβιλο, βελτιώνοντας έτσι την ισχύ εξόδου. Αυτή η τεχνική υβριδισμού ενισχύει την παραγωγή ισχύος χωρίς να αυξάνει την κατανάλωση άνθρακα. Στα τρέχοντα υβριδικά συστήματα ηλιακής-άνθρακα, ο ηλιακός ατμός μπορεί να τροφοδοτήσει μόνο τον προθερμαντήρα υψηλής πίεσης, αλλά μπορούν να εφαρμοστούν πρόσθετες μέθοδοι υβριδισμού και να συνδυαστούν για να αυξηθεί το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας. Αυτή η μέθοδος «ηλιακής ενίσχυσης» έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής ενέργειας κι ενέργειας χωρίς αύξηση της κατανάλωσης άνθρακα και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, και το μόνο επιπλέον κόστος είναι αυτό του ηλιακού πεδίου.

Η προσθήκη ηλιακής ενέργειας σε υπάρχουσες μονάδες άνθρακα που έχουν τροποποιηθεί για την καύση βιομάζας είναι ακόμη πιο κερδοφόρα, καθώς το δυναμικό της ηλιακής ενέργειας μπορεί να αντισταθμίσει τη χαμηλότερη θερμική αξία του καυσίμου. Είναι επίσης δυνατή η ενσωμάτωση ενός ηλιακού πεδίου σε μια θερμική μονάδα παραγωγής ενέργειας που λειτουργεί αποκλειστικά με βιομάζα. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου συστήματος είναι το εργοστάσιο Termosolar Borges στην Καταλονία της Ισπανίας, το οποίο ολοκληρώθηκε το 2012. Η μονάδα, η οποία έχει ισχύ 22MW, διαθέτει ένα παραβολικό πεδίο και δύο καυστήρες βιομάζας που

θερμαίνουν το υγρό μεταφοράς θερμότητας (πετρέλαιο) όταν δεν υπάρχει αρκετή ηλιοφάνεια.

5.5 Πλεονεκτήματα και προοπτικές

Τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα έχουν μεγάλες δυνατότητες, καθώς επιτρέπουν την αποτελεσματική χρήση της ηλιακής ενέργειας, με τα επίπεδα απόδοσης να φτάνουν έως και το 85%. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί γι' άλλους σκοπούς, όπως βιομηχανικές εφαρμογές, περιφερειακή ψύξη και αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Στην ιδανική περίπτωση, οι συγκεντρωτικοί σταθμοί ηλιακής ενέργειας μπορούν να σχεδιαστούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις φορτίου του ηλεκτρικού συστήματος κατά τη διάρκεια της ημέρας και με την πρόοδο των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στο μέλλον, μπορεί να είναι σε θέση να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου. Για μικρότερες, καταμεμημένες ανάγκες παραγωγής, μικρότεροι σταθμοί, όπως μικρά συστήματα δίσκων-μηχανών με παραγωγή ενέργειας που κυμαίνεται από 3-25 kW, μπορούν να τοποθετηθούν απευθείας στα σημεία κατανάλωσης (Nema, Nema, and Rangnekar, 2009).

Τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα έχουν ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων υλοποίησης, που κυμαίνονται από μικρά απομακρυσμένα ενεργειακά συστήματα που παράγουν μερικά kW έως μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας που παράγουν εκατοντάδες MW και συνδέονται άμεσα με το δίκτυο. Ωστόσο, λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται CSPs σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Καθώς η συγκεντρωτική ηλιακή τεχνολογία ωριμάζει, πιθανότατα θα υπάρξει αύξηση στη χρήση υβριδικών θερμοηλεκτρικών συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούν αποθέματα ορυκτών καυσίμων για να εξασφαλίσουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα είναι τα πλέον κατάλληλα για περιοχές με άφθονη ηλιοφάνεια, όπως οι μεσογειακές χώρες στην Ευρώπη, η νοτιοδυτική ακτή των ΗΠΑ, η Κεντρική και Νότια Αμερική, η Αφρική, η Μέση Ανατολή, η Κίνα και η Αυστραλία. Σε αυτές τις περιοχές, ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο επιφάνειας μπορεί να παράγει 100-200 GWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, η οποία είναι συγκρίσιμη με την ετήσια παραγωγή μιας συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας 50 MW που τροφοδοτείται από άνθρακα ή φυσικό αέριο (Κόλλια & Βασιλείου, 2017). Η χρήση ηλιακών θερμικών σταθμών μπορεί όχι μόνο να είναι μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα, αλλά μπορεί επίσης να βοηθήσει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Για να λειτουργήσουν, τα συγκεντρωμένα ηλιακά συστήματα δεν παράγουν καμία από τις επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις που παράγουν οι παραδοσιακοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας. Δεν απελευθερώνουν ρύπους, λειτουργούν σιωπηλά και μπορούν να απενεργοποιηθούν ανά πάσα στιγμή χωρίς προβλήματα. Επιπλέον, κατά τη λειτουργία, δεν εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα, το κύριο αέριο που ευθύνεται για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Ενώ μπορεί να υπάρχουν κάποιες

εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της κατασκευής του συστήματος, εξακολουθούν να είναι πολύ χαμηλότερες από αυτές που παράγουν οι παραδοσιακοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας. Εκτιμάται ότι η αξιοποίηση μόλις του 1% του συνολικού δυναμικού των ηλιακών θερμικών συστημάτων παγκοσμίως θα μπορούσε να περιορίσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αρκετά ώστε να σταματήσει η κλιματική αλλαγή. Εν τω μεταξύ, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα μειώνεται σταδιακά. Με τις εξελίξεις στην τεχνολογία, τη μαζική παραγωγή και τη βελτιωμένη λειτουργία, το κόστος παραγωγής αναμένεται να μειωθεί δραματικά. Αυτό θα καθιστούσε τελικά αυτά τα συστήματα ανταγωνιστικά με τις συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων τα επόμενα 10-15 χρόνια.

5.6 Τεχνολογίες Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων συνδυασμών με άλλες τεχνολογίες, ανανεώσιμες ή μη, αλλά οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες και πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες είναι:

- Παραβολικές κοιλότητες (Παραβολικά Συστήματα Γούρνας, PT).
- Οι Γραμμικοί Συλλέκτες Fresnel (Linear Fresnel Reflector Systems, LFR).
- Παραβολικά συστήματα τυμπανοκινητήρων.
- Πύργοι Ηλιακής Ενέργειας ή Κεντρικά Συστήματα Δεκτών (CRS).

Αυτές οι τέσσερις τεχνολογίες διαφέρουν όσον αφορά τον οπτικό σχεδιασμό, το σχήμα του δέκτη, τη φύση του υγρού μεταφοράς και την ικανότητά τους να αποθηκεύουν θερμότητα πριν μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια.

5.7 Γραμμικά Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα (Linear Concentrating Solar Power ή Linear CSP)

Για να μεγιστοποιηθεί η συλλογή ηλιακής ενέργειας, τα γραμμικά πεδία CSP αποτελούνται από πολλά ομαδοποιημένα πάνελ διατεταγμένα σε παράλληλες σειρές, ευθυγραμμισμένα στη διεύθυνση Βορρά-Νότου. Αυτά τα πάνελ είναι εξοπλισμένα με ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου ενός άξονα που επιτρέπει στα κάτοπτρα να αντανakλούν συνεχώς την άμεση δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας στους δέκτες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Οι γραμμικοί συλλέκτες CSP χρησιμοποιούν μεγάλα κάτοπτρα για να αντανakλούν και να συγκεντρώνουν τις ηλιακές ακτίνες σε έναν γραμμικό σωλήνα δέκτη, ο οποίος περιέχει ένα υγρό που θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Το υπερθερμασμένο υγρό δημιουργεί στη συνέχεια ατμό, ο οποίος μετατρέπει μια τουρμπίνα για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας συνδεδεμένης γεννήτριας. Μια άλλη μέθοδος παραγωγής ατμού είναι απευθείας στον ηλιακό τομέα, εξαλείφοντας την ανάγκη για δαπανηρούς εναλλάκτες θερμότητας.

Οι Παραβολικές Κοιλότητες και τα Γραμμικά Συστήματα Fresnel είναι δύο τύποι τεχνολογίας Γραμμικών Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων.

5.7.1. Τα Παραβολικά Κοίλα Κάτοπτρα

Η τεχνολογία παραβολικής κοιλότητας χρησιμοποιεί ανακλαστικά κάτοπτρα για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμικά αποδοτικούς σωλήνες δέκτη που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της εστιακής γραμμής κάθε παραβολικού κατόπτρου. Οι σωλήνες δέκτη έχουν σχεδιαστεί με βάση την κατασκευή του καθρέφτη και περιέχουν είτε ένα υγρό μεταφοράς θερμότητας, όπως το συνθετικό λάδι, είτε νερό/ατμό που θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου. Εάν χρησιμοποιείται υγρό μεταφοράς θερμότητας, μπορεί να φτάσει σε θερμοκρασίες περίπου 400 °C και αντλείται μέσω μιας σειράς εναλλακτών θερμότητας για την παραγωγή υπερθερμασμένου ατμού, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ατμοστρόβιλου ή συνδυασμένου κύκλου. Οι σωλήνες δέκτη νερού/ατμού μπορούν να σταλούν απευθείας στον στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα παραβολικά συστήματα κοιλότητας μπορούν να περιλαμβάνουν αποθήκευση θερμικής ενέργειας, η οποία επιτρέπει την αποθήκευση της υπερβολικής θερμότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας για χρήση το βράδυ ή σε συνεφιασμένες ημέρες για την παραγωγή πρόσθετου ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας.

Ξεκινώντας από το 2006, το 50% των παραβολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας που κατασκευάστηκαν στην Ισπανία έχουν εξοπλιστεί με συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας δύο δεξαμενών που χρησιμοποιούν λιωμένα άλατα και μπορούν να παρέχουν έως και επτά ώρες παραγωγής πλήρους ισχύος (υποθέτοντας ότι το σύστημα αποθήκευσης είναι πλήρως φορτισμένο). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τρεις σταθμοί παραγωγής ενέργειας ισχύος 280 MW κατασκευάστηκαν και συνδέθηκαν με το δίκτυο το 2013 και στις αρχές του 2014, με δύο να μην διαθέτουν συστήματα αποθήκευσης (Genesis και Mojave στην Καλιφόρνια) και τον τρίτο (το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Solana στην Αριζόνα) να διαθέτει δυνατότητα αποθήκευσης έξι ωρών. Οι παραβολικές κοιλότητες μπορούν επίσης να σχεδιαστούν ως υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για να συμπληρώσουν την ηλιακή απόδοση σε περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας, συνήθως χρησιμοποιώντας λέβητα αερίου ή ατμού.

ΕΙΚΟΝΑ 12. ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

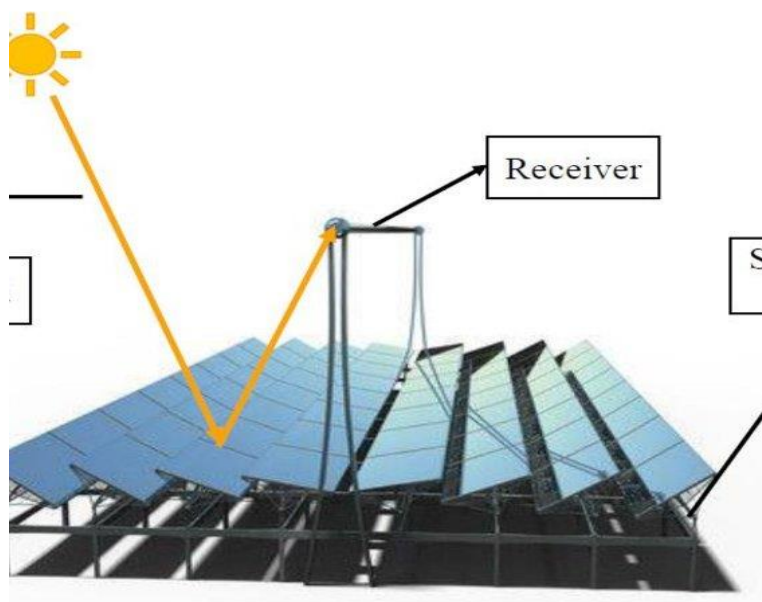


Οι παραβολικές κοιλότητες είναι μια καθιερωμένη τεχνολογία για συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, αλλά υπάρχει ακόμα περιθώριο βελτίωσης. Τα προηγμένα δομικά σχέδια θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ακρίβεια των κατόπτρων και να μειώσουν το κόστος, ενώ η επόμενη γενιά σωλήνων δέκτη θα μπορούσε να μειώσει τις απώλειες θερμότητας και να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος. Τα καλύτερα μέσα μεταφοράς θερμότητας θα μπορούσαν επίσης να ενισχύσουν τις θερμοκρασίες λειτουργίας και την απόδοση του συστήματος. Η αυτοματοποίηση της παραγωγής είναι ένα κρίσιμο βήμα για την αύξηση της ευρείας υιοθέτησης αυτών των συστημάτων και τελικά τη μείωση του κόστους.

5.7.2 Οι Γραμμικοί Συλλέκτες Fresnel

Οι γραμμικοί συλλέκτες Fresnel είναι ένας άλλος τύπος γραμμικής τεχνολογίας συλλεκτών. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν επίπεδα ή ελαφρώς καμπύλα κάτοπτρα που είναι τοποθετημένα σε ιχνηλάτες στο έδαφος και έχουν γωνία για να αντανακλούν το φως του ήλιου σε ένα σωλήνα δέκτη τοποθετημένον πάνω από τα κάτοπτρα. Ένα μικρό παραβολικό κάτοπτρο μπορεί να προστεθεί στην κορυφή του δέκτη για να συγκεντρώσει περαιτέρω το ηλιακό φως. Σε σύγκριση με τις παραβολικές κοιλότητες, η κατασκευή γραμμικών συλλεκτών Fresnel είναι απλούστερη, καθιστώντας τους λιγότερο δαπανηρούς. Είναι σε θέση να επιτύχουν υψηλότερη ηλιακή συγκέντρωση, με αποτέλεσμα χαμηλότερες απώλειες θερμότητας. Ωστόσο, τα συστήματα Fresnel αντιμετωπίζουν περισσότερες οπτικές απώλειες όταν ο Ήλιος είναι χαμηλά στον ορίζοντα, οδηγώντας σε μειωμένη παραγωγή ενέργειας νωρίς το πρωί, αργά το απόγευμα και τους χειμερινούς μήνες. Ωστόσο, οι υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας μπορούν εν μέρει να αντισταθμίσουν αυτές τις απώλειες.

ΕΙΚΟΝΑ 13. ΓΡΑΜΜΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ FRESNEL



5.7.3 Τα (Παραβολικά) Συστήματα Δίσκου-Μηχανής

Το σύστημα Disk-Motor είναι ένας τύπος συμπυκνωμένης ηλιακής τεχνολογίας που παράγει χαμηλότερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με άλλα συστήματα - συνήθως παράγει μεταξύ 3-25 kW. Αυτό το σύστημα λειτουργεί

χρησιμοποιώντας έναν παραβολικό δίσκο που αποτελείται από κάτοπτρα που αντανακλούν και συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε μια κεντρική μηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δύο βασικά συστατικά αυτής της τεχνολογίας είναι ο ηλιακός συλλέκτης και η μονάδα μετατροπής ισχύος.

Ο ηλιακός συλλέκτης, ή δίσκος, συγκεντρώνει και εστιάζει τις ακτίνες του ήλιου και στη συνέχεια τις αντανακλά σε έναν θερμικό δέκτη που απορροφά την ηλιακή θερμότητα. Ο δίσκος τοποθετείται σε μια δομή που παρακολουθεί συνεχώς τη θέση του ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, προκειμένου να αντανακλά τη μέγιστη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας στον θερμικό δέκτη.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η μονάδα μετατροπής ισχύος του συστήματος Disk-Motor αποτελείται από δύο εξαρτήματα: τον θερμικό δέκτη και το μηχανήμα/γεννήτρια. Ο θερμικός δέκτης λειτουργεί ως σύνδεση μεταξύ του παραβολικού δίσκου και του μηχανήματος/γεννήτριας, απορροφώντας την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντάς την σε θερμότητα. Στη συνέχεια, η θερμότητα μεταφέρεται στο μηχανήμα/γεννήτρια και υπάρχουν δύο τύποι θερμικών δεκτών: ο ένας τύπος είναι μια σειρά σωλήνων που περιέχουν ένα ψυκτικό υγρό όπως υδρογόνο ή ήλιο, το οποίο είναι επίσης το υγρό λειτουργίας του μηχανήματος και ο άλλος τύπος χρησιμοποιεί σωλήνες θερμότητας για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας στο μηχανήμα. Το υποσύστημα μηχανής/γεννήτριας χρησιμοποιεί τη θερμότητα από τον θερμικό δέκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κινητήρας Stirling χρησιμοποιείται συνήθως ως θερμική μηχανή σε συστήματα Disk-Motor. Λειτουργεί χρησιμοποιώντας θερμαινόμενο υγρό για να μετακινήσει ένα έμβολο, το οποίο με τη σειρά του παράγει μηχανική ισχύ. Η μηχανική εργασία, με τη μορφή περιστροφής του άξονα του μηχανήματος, οδηγεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα συστήματα δίσκων-μηχανών είναι εξαιρετικά αποδοτικά λόγω της υψηλής οπτικής εστίασης και του ηλιακού συστήματος παρακολούθησης δύο αξόνων. Επιτυγχάνουν την υψηλότερη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας σε σύγκριση με άλλα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, με αποτέλεσμα υψηλή απόδοση. Ωστόσο, παρά την ανώτερη απόδοσή τους, αυτά τα συστήματα έχουν γίνει λιγότερο δημοφιλή στην αγορά ενέργειας. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι το υψηλό κόστος και οι τεχνολογικοί κίνδυνοι που συνδέονται με αυτά τα συστήματα δεν έχουν ελαχιστοποιηθεί με επιτυχία για να καταστούν ανταγωνιστικά με άλλες ηλιακές τεχνολογίες. Πιστεύεται ότι αυτά τα συστήματα μπορεί να έχουν μέλλον στην αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές.

5.7.4. Πύργοι Ηλιακής Ενέργειας ή Κεντρικά Συστήματα Δεκτών (CRS)

Ένας ηλιακός πύργος, επίσης γνωστός ως πύργος ηλιακής ενέργειας, είναι ένας τύπος συστήματος συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) που χρησιμοποιεί ένα πεδίο κατόπτρων, που ονομάζονται ηλιοστάτες, για να αντανακλά και να συγκεντρώνει το ηλιακό φως σε έναν κεντρικό πύργο. Το συγκεντρωμένο ηλιακό φως θερμαίνει ένα υγρό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού, το οποίο οδηγεί μια τουρμπίνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Al-Badi, 2013).

ΕΙΚΟΝΑ 14. ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ



Εδώ είναι μερικά βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλιακών πύργων:

Πλεονεκτήματα

- Παραγωγή ενέργειας μεγάλης κλίμακας: Οι ηλιακοί πύργοι μπορούν να παράγουν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας τους κατάλληλους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κοινοτήτων ή ακόμα και ολόκληρων πόλεων (Κόλλια & Βασιλείου, 2017) .
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που σημαίνει ότι δεν παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ή άλλους ρύπους που βλάπτουν το περιβάλλον.
- Δυνατότητα θερμικής αποθήκευσης: Οι ηλιακοί πύργοι μπορούν να αποθηκεύσουν θερμική ενέργεια, επιτρέποντάς τους να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και όταν ο ήλιος δεν λάμπει, όπως κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ημερών ή τη νύχτα.
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος: Μόλις κατασκευαστεί ένας ηλιακός πύργος, το λειτουργικό κόστος είναι σχετικά χαμηλό, καθώς το φως του ήλιου είναι ελεύθερο.

Μειονεκτήματα

- Υψηλό αρχικό κόστος: Η αρχική επένδυση που απαιτείται για την κατασκευή ενός ηλιακού πύργου είναι υψηλή, γεγονός που μπορεί να τον καταστήσει λιγότερο ελκυστικό από άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας.
- Απαιτήσεις γης: Οι ηλιακοί πύργοι απαιτούν μεγάλη έκταση γης για να στεγάσουν το πεδίο και τον πύργο του ηλιοστάτη, κάτι που μπορεί να είναι περιοριστικός παράγοντας σε ορισμένες τοποθεσίες.

- Κατανάλωση νερού: Οι ηλιακοί πύργοι απαιτούν νερό για την παραγωγή ατμού, κάτι που μπορεί να αποτελέσει πρόκληση σε περιοχές με έλλειψη νερού (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Οι ηλιακοί πύργοι μπορούν να έχουν αντίκτυπο στην τοπική άγρια ζωή, ιδιαίτερα στα πουλιά, καθώς το συγκεντρωμένο ηλιακό φως μπορεί να είναι επιβλαβές για αυτά εάν πετάξουν μέσα από αυτό.

Συνολικά, οι ηλιακοί πύργοι έχουν τη δυνατότητα να αποτελέσουν σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, αλλά το υψηλό αρχικό κόστος τους και οι απαιτήσεις γης και νερού ενδέχεται να περιορίσουν την ευρεία υιοθέτησή τους. Ωστόσο, η συνέχιση της έρευνας και ανάπτυξης σε αυτόν τον τομέα θα μπορούσε να οδηγήσει σε βελτιώσεις όσον αφορά την αποδοτικότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας.

6. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από φωτοβολταϊκές γεννήτριες και μονάδες παραγωγής θερμότητας που είναι ενσωματωμένες σε μία μόνο συσκευή. Αυτά τα συστήματα είναι ικανά να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια τόσο σε ηλεκτρική όσο και σε θερμική ενέργεια μέσω της χρήσης ενός υγρού απομάκρυνσης θερμότητας, το οποίο κυκλοφορεί στην πίσω επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πάνελ. Δεδομένου ότι ένα σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται ως θερμότητα, η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών πάνελ αυξάνεται, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ηλεκτρική τους απόδοση. Η παραγωγή θερμότητας συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία και μπορεί ακόμη και να βελτιώσει τη συνολική απόδοση. Ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη υβριδικών φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει αυξηθεί ραγδαία στην ελληνική αγορά τις τελευταίες δεκαετίες.

6.2 Ιστορική αναδρομή

Οι ηλιακοί συλλέκτες παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά τον 19ο αιώνα και η χρήση φωτοβολταϊκών ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950. Ωστόσο, το κόστος των ηλιακών κυψελών ήταν πολύ υψηλό στη δεκαετία του 1960 και χρησιμοποιήθηκαν μόνο για διαστημικές εφαρμογές. Μόνο μετά το εμπάργκο πετρελαίου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας άρχισαν να διαδραματίζουν ενεργό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων και επαναξιολογήθηκαν παλιές εφαρμογές που φαινόταν ασύμφορες. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα θέρμανσης κατηγοριοποιούνται ανά τρόπο ψύξης και αυτή η εργασία εξετάζει την ιστορική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων θέρμανσης νερού. Ο Martin Wolf ήταν ο πρώτος που παρουσίασε ένα φωτοβολταϊκό πυριτίου σε σειρά με θερμικό συλλέκτη χωρίς συμπυκνωτή και αποθήκευσε την ενέργεια με τη βοήθεια μιας μπαταρίας. Μετά τον Wolf, το MIT διερεύνησε επίσης τη φωτοβολταϊκή θέρμανση και τα οφέλη της.

Η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη συνέβη κυρίως τη δεκαετία του 1990, όταν οξύνθηκε το πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η Ολλανδία επικεντρώθηκε στη μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων χωρίς καλύμματα θερμικών αντλιών, ενώ το Πανεπιστήμιο του Eindhoven εργάστηκε σε συστήματα με γυάλινα καλύμματα. Το 1999, το Πανεπιστήμιο του Eindhoven, το Ίδρυμα TNO και η εταιρεία Ecofys συνεργάστηκαν σε μια έρευνα των νέων τεχνολογιών και της αγοράς φωτοβολταϊκών για συστήματα θέρμανσης. Στη Δανία, ένα ερευνητικό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε το 2000 από τις εταιρείες Batec και Racell για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά η Batec διέκοψε τη συμμετοχή της λόγω της μικρής δανέζικης αγοράς, ενώ η Racell μετατόπισε την εστίασή της σε άλλους τομείς (Κωστογλάνης & Τζίμης, 2017) .

6.3 Υβριδικά συστήματα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχει σημαντική παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια, η οποία καλύπτεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ωστόσο, αυτή η εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει οδηγήσει σε ανησυχίες σχετικά με την εξάντληση των πόρων και την οικολογική καταστροφή. Κατά συνέπεια, η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών.

Τα συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές λειτουργούν ανεξάρτητα και άμεσα για να καλύψουν τη ζήτηση ενέργειας χωρίς τη χρήση μεγάλων γραμμών μεταφοράς. Ο συνδυασμός πολλαπλών συμπληρωματικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και σε μη ανανεώσιμες πηγές, αναφέρεται ως υβριδικό ενεργειακό σύστημα.

Ένα υβριδικό σύστημα συνήθως ενσωματώνει δύο ή περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμβατικές τεχνολογίες που παράγουν ενέργεια, όπως γεννήτριες ντίζελ (Fazelrouf, Soltani and Rosen, 2016). Διάφοροι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός υβριδικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών του φορτίου και της θέσης εγκατάστασης, της διαθεσιμότητας και του ποσοστού χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της τεχνολογικής ανάπτυξης, του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι εθνικές πολιτικές μπορούν επίσης να προωθούν τη χρήση υβριδικών συστημάτων παραγωγής.

6.3.1 Διαδικασία ψύξης των φωτοβολταϊκών

Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυάζουν φωτοβολταϊκά συστήματα με μια θερμική μονάδα που δεσμεύει τη θερμότητα που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Ένα υγρό με χαμηλότερη θερμοκρασία από τη φωτοβολταϊκή μονάδα κυκλοφορεί μέσω της θερμικής μονάδας, όπου θερμαίνεται από τη συλλεφθείσα θερμότητα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: φωτοβολταϊκά συστήματα νερού και φωτοβολταϊκά συστήματα αέρα. Τα συστήματα με βάση το νερό είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε ήπια και θερμά κλίματα όπως στην Ελλάδα, όπου μπορούν να θερμάνουν το νερό σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ παράλληλα ψύχουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα συστήματα που βασίζονται στον αέρα είναι απλούστερα και λιγότερο δαπανηρά από τα συστήματα που βασίζονται στο νερό, αλλά δεν είναι τόσο αποδοτικά. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι λιγότερο αποτελεσματικά όταν οι θερμοκρασίες του αέρα περιβάλλοντος υπερβαίνουν τους 20 βαθμούς Κελσίου (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).

6.3.2 Ψύξη με την βοήθεια των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια, χρησιμοποιούνται ηλιακά κύτταρα. Σε αυτή τη μέθοδο, το ηλιακό φως πέφτει στα ηλιακά κύτταρα, τα οποία μετατρέπουν ένα ορισμένο ποσοστό του σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, τα ηλιακά κύτταρα παράγουν επίσης θερμική ενέργεια. Αυτή η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα που αποτελείται από μια κυψέλη με ένα σωλήνα για αγωγιμότητα θερμότητας. Η θερμική ενέργεια εισέρχεται στην κυψέλη και στη

συνέχεια κατανέμεται μέσω του σωλήνα και τελικά απομακρύνεται από ένα σύνολο πτερυγίων, το οποίο γίνεται μέσω φυσικής μετάδοσης θερμότητας (Nema, Nema, and Rangnekar, 2009). Οι κυψέλες, καθεμία από τις οποίες περιέχει ένα σύνολο ηλιακών κυψελών, τοποθετούνται σε ένα κουτί και τοποθετούνται σε μια βάση αλουμινίου. Εγκαθίστανται για να περιστρέφονται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα για να ακολουθούν την πορεία του ήλιου και η κατεύθυνσή τους κατευθύνεται πάντα προς το ηλιακό φως. Για να απλοποιηθεί ο σχεδιασμός των σωλήνων θερμότητας, κάθε σωλήνας είναι προσανατολισμένος οριζόντια. Η ψύξη πραγματοποιείται μέσω φυσικής μετάδοσης θερμότητας, σε αντίθεση με την αναγκαστική μετάδοση που χρησιμοποιεί ανεμιστήρα, ο οποίος μειώνει τη συνολική απόδοση του συστήματος καταναλώνοντας ενέργεια. Η φυσική διαδικασία μεταφοράς έχει υψηλότερο ρυθμό απώλειας θερμότητας σε σύγκριση με την αναγκαστική μετάδοση. Καθώς το μέγεθος του δέκτη θερμότητας αυξάνεται, οι συνολικές απώλειες αυξάνονται, οδηγώντας σε μείωση της απόδοσης των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών. Σε αυτό το σύστημα, οι σωλήνες έχουν σχεδιαστεί για να διανέμουν τη θερμότητα σε όλα τα πτερύγια ισοθερμικά, αυξάνοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος.

6.3.3 Πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να αξιοποιήσουν τα πλεονεκτήματα κάθε τεχνολογίας για την παραγωγή ενέργειας που κυμαίνεται από 1 kW έως εκατοντάδες kW, καθιστώντας τα χρήσιμα σε περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή η μεταφορά καυσίμων είναι δαπανηρή. Μπορούν να λειτουργήσουν ως ανεξάρτητα αυτόνομα όργανα ή να ενσωματωθούν σε συστήματα διανομής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των θερμικών μονάδων που χρησιμοποιούν λάδι, μετά από τροποποίηση. Τα υβριδικά συστήματα προσφέρουν μελλοντική συνδεσιμότητα με το ηλεκτρικό δίκτυο, υψηλή απόδοση και αξιοπιστία, καθιστώντας τα αποτελεσματικά για την παροχή ενέργειας σε εξειδικευμένους καταναλωτές ή σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Ένα τυπικό υβριδικό σύστημα μπορεί να συνδυάσει πολλαπλές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και γεννήτριες ντίζελ. Τα υβριδικά συστήματα που βασίζονται σε καύσιμα τείνουν να λειτουργούν με τη χαμηλότερη κατανάλωση, παράγοντας ενέργεια μόνο όταν απαιτούνται υψηλά ποσοστά ή όταν το δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι χαμηλό (Nema, Nema, and Rangnekar, 2009). Το κόστος ηλεκτροδότησης μιας περιοχής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η εγκατάσταση γραμμών υψηλής και μεσαίας ισχύος, η δημιουργία υποσταθμών, η κατασκευή δικτύου διανομής, ο καθορισμός του μεγέθους φορτίου που πρέπει να καλυφθεί και η απόσταση και το έδαφος που πρέπει να διασχιστεί.

Τα υβριδικά συστήματα είναι κατάλληλα για αγροτικές περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο, όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή και η κατασκευή δικτύου διανομής θα ήταν αντιοικονομική.

Σε αυτά τα σενάρια, η εφαρμογή υβριδικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας είναι οικονομικά αποδοτικότερη κι έχει μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Τα υβριδικά συστήματα ισχύος είναι η βέλτιστη αποκεντρωμένη λύση επειδή γίνονται όλο και πιο αξιόπιστα με την πάροδο του

χρόνου, προσφέρουν πιο φιλική προς το περιβάλλον και οικονομική ενέργεια και έχουν ελάχιστες απώλειες μεταφοράς. Τα διασυνδεδεμένα υβριδικά συστήματα ισχύος μπορούν να παράγουν ενέργεια και επίσης να παρέχουν εφεδρική ισχύ κατά τη διάρκεια διακοπών ηλεκτρικού δικτύου και χρησιμοποιούνται συχνά κατά τις ώρες αιχμής όταν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό. Υβριδικά συστήματα μικρής κλίμακας εφαρμόζονται σε χώρες με υψηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα αστάθειας του δικτύου, ακόμη και κατάρρευσης. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας σε κατοικημένες περιοχές βλάπτει σημαντικά το περιβάλλον.

6.3.4 Εξάρτηση απόδοσης υβριδικών Φ/Β

Η ποσότητα ενέργειας που παράγεται από ένα υβριδικό σύστημα επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του ποσοστού της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ταχύτητας του αέρα, του αριθμού των πλακών απορροφητή και της θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ του απορροφητή και του υγρού. Στην περίπτωση των Φ/Β συλλεκτών νερού, η απόδοσή τους επηρεάζεται σημαντικά από τις διαστάσεις των απορροφητικών πλακών και την απόσταση, τη διάμετρο και το πάχος των σωλήνων. Η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 5% και 20%, ενώ τα ποσοστά θερμικής απόδοσης ενός θερμικού συλλέκτη κυμαίνονται μεταξύ 70% και 90% (Κόλλια & Βασιλείου, 2017).

6.4 Οι περιορισμοί των Υβριδικών φωτοβολταϊκών

Η χρήση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα είναι μια απλή και οικονομικά αποδοτική μέθοδος για την απομάκρυνση της θερμότητας που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάνελ. Αν και μπορεί να διατηρήσει την ηλεκτρική απόδοση των πάνελ, μπορεί να μειώσει το καθαρό κέρδος ηλεκτρικής ενέργειας λόγω πρόσθετων ενεργειακών απαιτήσεων. Μια άλλη αποτελεσματική μέθοδος ψύξης είναι η εξαγωγή θερμότητας από την πίσω πλευρά του φωτοβολταϊκού πάνελ χρησιμοποιώντας έναν εναλλάκτη θερμότητας με νερό. Η ηλεκτρική απόδοση του πάνελ εξαρτάται από τη θερμοκρασία του, η οποία επηρεάζεται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη θερμοκρασία στο περιβάλλον και την ταχύτητα του ανέμου. Για να διατηρηθεί η βέλτιστη θερμοκρασία, ένα υγρό με μικρή αύξηση της θερμοκρασίας θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση της θερμότητας και το παραγόμενο ζεστό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων, πισίνες ή βιομηχανικούς σκοπούς. Ωστόσο, οι υψηλότερες θερμοκρασίες ενδέχεται να μειώσουν την ηλεκτρική απόδοση του συστήματος. Σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες και ηλιακή ακτινοβολία, τα φωτοβολταϊκά είναι απαραίτητα για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και η ψύξη με αέρα μπορεί να είναι πιο αποδοτική από την υδροψύξη.

Ως εκ τούτου, η ψύξη των φωτοβολταϊκών πάνελ επηρεάζεται άμεσα από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία της περιοχής, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας και οι συνολικές ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες. Για να προσδιοριστεί η σκοπιμότητα και η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι απαραίτητο να συγκριθεί το κόστος της συμπληρωματικής θερμικής μονάδας με αυτό μιας συμβατικής φωτοβολταϊκής

εγκατάστασης και να υπολογιστεί το κέρδος που παράγεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ψύξης.

Η ανθεκτικότητα της προστιθέμενης θερμικής μονάδας είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η διαδικασία ψύξης μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των ηλιακών κυψελών (Fazelrou, Soltani and Rosen, 2016). Το κόστος της θερμικής μονάδας παραμένει το ίδιο για κάθε τύπο φωτοβολταϊκού που χρησιμοποιείται σε υβριδικά, με τη θερμική απόδοση να ποικίλλει ανάλογα με το είδος του φωτοβολταϊκού. Για παράδειγμα, τα άμορφα φωτοβολταϊκά πυριτίου (a-Si) τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερη θερμική απόδοση λόγω της χαμηλότερης ηλεκτρικής απόδοσης και των οπτικών απωλειών τους.

Οι σταθερές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αντιμετωπίζουν προβλήματα σκίασης, όπου ένα μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας του ήλιου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Προτείνεται η τοποθέτηση διάχυτων ανακλαστήρων μεταξύ των παράλληλων φωτοβολταϊκών πλαισίων για την αύξηση του ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών. Η συμπληρωματική χρήση διάχυτων ανακλαστήρων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ομαλότερη κατανομή της πρόσθετης ηλιακής ακτινοβολίας σε ολόκληρη την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων, σχεδόν ομοιόμορφα. Η πρόσθετη ακτινοβολία του ήλιου στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή από τη χρήση ανακλαστήρων κατόπτρων και οι διάχυτοι ανακλαστήρες είναι πιο οικονομικοί και μπορούν εύκολα να συνδεθούν με τα περισσότερα τυποποιημένα φωτοβολταϊκά μεγέθη.

Στην κατηγορία των υβριδικών φωτοβολταϊκών, το πρόσθετο ποσοστό εισαγόμενης θερμότητας τείνει να αυξάνει τόσο τη θερμική όσο και την ηλεκτρική παραγωγή, διατηρώντας παράλληλα τη θερμοκρασία σε κανονικά επίπεδα. Η τοποθέτηση συμπληρωματικών διάχυτων ανακλαστήρων γίνεται γενικά για να βελτιωθεί η συνολική οικονομική σκοπιμότητα της εγκατάστασης.

7. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

7.1 Εισαγωγή

Οι μπαταρίες είναι πανταχού παρούσες στη σύγχρονη κοινωνία. Τροφοδοτούν τα πάντα, από φορητά ηλεκτρονικά και οικιακές συσκευές έως ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μια μπαταρία είναι μια συσκευή που αποθηκεύει ενέργεια σε χημική μορφή και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια όταν χρειάζεται. Ο όρος μπαταρία προέρχεται από τη λατινική λέξη “battuere”, που σημαίνει χτυπάω και αναφέρεται στις πρώτες μπαταρίες που παρήγαγαν ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας χημικής αντίδρασης.

Οι μπαταρίες έχουν προχωρήσει πολύ από τις πρώτες τους αρχές. Η πρώτη μπαταρία, γνωστή ως βολταϊκός σωρός, εφευρέθηκε από τον Alessandro Volta το 1800. Αποτελούνταν από εναλλασσόμενα στρώματα δίσκων ψευδαργύρου και χαλκού που χωρίζονταν από κομμάτια χαρτονιού εμποτισμένα με αλμυρό νερό. Αυτή η απλή συσκευή θα μπορούσε να παράγει μια σταθερή ροή ηλεκτρικού ρεύματος και έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη σύγχρονων μπαταριών.

Με τα χρόνια, οι μπαταρίες έχουν εξελιχθεί σε ένα ευρύ φάσμα χημικών, μεγεθών και σχημάτων, το καθένα σχεδιασμένο για να ταιριάζει σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι μπαταριών είναι μπαταρίες μολύβδου-οξέος, νικελίου-καδμίου, ιόντων λιθίου και στερεάς κατάστασης. Κάθε χημεία μπαταρίας έχει τις δικές της μοναδικές ιδιότητες, πλεονεκτήματα και περιορισμούς.

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι ο παλαιότερος τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας κι εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπως αυτοκίνητα, εφεδρικά συστήματα ισχύος και αδιάλειπτα τροφοδοτικά. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου χρησιμοποιούνται σε φορητά ηλεκτρονικά εδώ και δεκαετίες, αλλά καταργούνται σταδιακά υπέρ πιο προηγμένων χημικών όπως το ιόν λιθίου. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι ο πιο δημοφιλής τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας και χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των smartphone, φορητών υπολογιστών και ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης είναι μια πολλά υποσχόμενη νέα τεχνολογία που θα μπορούσε να προσφέρει υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες και βελτιωμένη ασφάλεια (Madlener, and Kirmas, 2017).

Η ανάπτυξη των μπαταριών καθοδηγείται από την ανάγκη για πιο αποδοτικές και βιώσιμες λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Η ανάπτυξη της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων και η αυξανόμενη υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν δημιουργήσει ζήτηση για πιο προηγμένες μπαταρίες με υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες, μεγαλύτερη διάρκεια κύκλου ζωής και ταχύτερους ρυθμούς φόρτισης. Η ανάπτυξη προηγμένων μπαταριών απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση και περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση των υλικών της μπαταρίας, του σχεδιασμού κυψελών και των διαδικασιών κατασκευής.

Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη της τεχνολογίας μπαταριών. Η απόδοση των μπαταριών ιόντων λιθίου έχει βελτιωθεί και νέα υλικά όπως άνοδοι πυριτίου και ηλεκτρολύτες στερεάς κατάστασης διερευνώνται για να βελτιώσουν περαιτέρω την απόδοσή τους. Η χρήση αλγορίθμων τεχνητής

νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης διερευνάται επίσης για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της μπαταρίας και τη βελτίωση της απόδοσης.

Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν για να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό των προηγμένων μπαταριών. Αυτά περιλαμβάνουν θέματα όπως το κόστος, η ασφάλεια και η βιωσιμότητα. Η ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων διαδικασιών κατασκευής μπαταριών είναι επίσης κρίσιμη για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μπαταριών (Samaddar, Kumar and Jayapragash, 2020).

Συμπερασματικά, οι μπαταρίες αποτελούν ζωτικό συστατικό της σύγχρονης κοινωνίας και η ανάπτυξή τους έχει διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της τεχνολογίας και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής μας. Η μελέτη των μπαταριών είναι διεπιστημονική, περιλαμβάνοντας διάφορους τομείς όπως η Ηλεκτροχημεία, η Επιστήμη των Υλικών, η Φυσική και η Μηχανική. Το μέλλον της τεχνολογίας μπαταριών φαίνεται πολλά υποσχόμενο, με τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύουμε και χρησιμοποιούμε ενέργεια. Ελπίζεται ότι η επανεξέταση αυτή θα συμβάλει στην πρόοδο της τεχνολογίας των συσσωρευτών και στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων λύσεων αποθήκευσης ενέργειας.

7.2 Τύποι μπαταριών

Οι μπαταρίες είναι απαραίτητες για την τροφοδοσία ενός ευρέος φάσματος συσκευών, από φορητά ηλεκτρονικά έως ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών μπαταριών έχει καταστεί σημαντικός τομέας έρευνας, καθοδηγούμενος από την ανάγκη για πιο αποδοτικές και βιώσιμες λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Αυτή η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας θα παρέχει μια επισκόπηση των πιο κοινών τύπων μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων των αρχών λειτουργίας, των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους.

Μπαταρίες μολυβδου-οξέος

Οι μπαταρίες μολυβδου-οξέος είναι ο παλαιότερος και συνηθέστερος τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Αποτελούνται από πλάκες μολυβδου βυθισμένες σε διάλυμα ηλεκτρολύτη θειικού οξέος. Όταν ένα φορτίο συνδέεται με τη μπαταρία, εμφανίζεται μια χημική αντίδραση, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Οι μπαταρίες μολυβδου-οξέος έχουν σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και περιορισμένη διάρκεια ζωής, καθιστώντας τις λιγότερο κατάλληλες για εφαρμογές υψηλής απόδοσης. Ωστόσο, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπως αυτοκίνητα, εφεδρικά συστήματα ισχύος και αδιάλειπτα τροφοδοτικά λόγω του χαμηλού κόστους και της αξιόπιστης απόδοσής τους (Μικρογεωργίου, 2020).

Μπαταρίες νικελίου-καδμίου

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd) ήταν κάποτε ο πιο δημοφιλής τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, αλλά καταργούνται σταδιακά υπέρ πιο προηγμένων χημικών. Οι μπαταρίες Ni-Cd έχουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες μολυβδου-οξέος, αλλά υποφέρουν από ένα «φαινόμενο μνήμης», όπου

χάνουν χωρητικότητα εάν δεν αποφορτιστούν πλήρως πριν από την επαναφόρτιση. Περιέχουν επίσης τοξικά υλικά, καθιστώντας τα λιγότερο φιλικά προς το περιβάλλον. Οι μπαταρίες Ni-Cd εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες εφαρμογές, όπως ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης, αλλά η χρήση τους μειώνεται (Narayan et al., 2018).

Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) είναι ο πιο δημοφιλής τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας και χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των smartphone, φορητών υπολογιστών και ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούνται από μια κάθοδο, μια άνοδο και έναν ηλεκτρολύτη. Όταν ένα φορτίο συνδέεται με την μπαταρία, τα ιόντα λιθίου ρέουν από την κάθοδο στην άνοδο, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης, καθιστώντας τις ιδανικές για εφαρμογές υψηλής απόδοσης. Έχουν επίσης σχετικά χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και είναι ανακυκλώσιμες (Ambrosio-Albala et al., 2020).

Μπαταρίες στερεάς κατάστασης

Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης είναι μια πολλά υποσχόμενη νέα τεχνολογία που θα μπορούσε να προσφέρει υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες και βελτιωμένη ασφάλεια. Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης αντικαθιστούν τον ηλεκτρολύτη υγρού ή πηκτής σε συμβατικές μπαταρίες με ηλεκτρολύτη στερεάς κατάστασης. Αυτό εξαλείφει τον κίνδυνο διαρροής ή καύσης, βελτιώνοντας την ασφάλεια. Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης έχουν επίσης τη δυνατότητα για υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες, μεγαλύτερη διάρκεια κύκλου ζωής και ταχύτερους ρυθμούς φόρτισης. Ωστόσο, βρίσκονται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και η εμπορευματοποίησή τους παρεμποδίζεται από το υψηλό κόστος των υλικών και της κατασκευής (Μικρογεωργίου, 2020).

Μπαταρίες ψευδαργύρου

Οι μπαταρίες ψευδαργύρου είναι ένας σχετικά νέος τύπος μπαταρίας που προσελκύει την προσοχή λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, του χαμηλού κόστους και της φιλικότητας προς το περιβάλλον. Οι μπαταρίες ψευδαργύρου χρησιμοποιούν άνοδο ψευδαργύρου και κάθοδο διοξειδίου του μαγγανίου κι έχουν τη δυνατότητα υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Ο ψευδάργυρος είναι επίσης άφθονος και μη τοξικός, καθιστώντας τον ένα πιο βιώσιμο υλικό από άλλες χημικές ουσίες μπαταριών. Ωστόσο, οι μπαταρίες ψευδαργύρου βρίσκονται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και η εμπορευματοποίησή τους παρεμποδίζεται από την ανάγκη βελτίωσης της απόδοσης και της διάρκειας ζωής τους.

Η ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών συσσωρευτών είναι ζωτικής σημασίας για τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο και αποδοτικό ενεργειακό σύστημα. Κάθε τύπος μπαταρίας έχει τις δικές του μοναδικές ιδιότητες, πλεονεκτήματα και περιορισμούς, καθιστώντας απαραίτητη την επιλογή της κατάλληλης χημείας μπαταρίας για κάθε εφαρμογή. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι σήμερα ο πιο δημοφιλής τύπος

επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, αλλά οι νέες τεχνολογίες όπως οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης και οι μπαταρίες ψευδαργύρου έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στη βιομηχανία. Ωστόσο, η ανάπτυξη προηγμένων μπαταριών απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση (Μικρογεωργίου, 2020).

7.3 Σύγκριση μπαταριών

Μετά τη διεξαγωγή ανάλυσης διαφόρων τύπων συσκευών αποθήκευσης μπαταριών, έγινε σύγκριση μεταξύ τους με βάση τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους. Παρουσιάστηκαν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου και εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι οι πιο διαδεδομένες λόγω της προσιτής τιμής και της ευρείας διαθεσιμότητάς τους και χρησιμοποιούνται συνήθως σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου χρησιμοποιούνται σε ψυχρές περιοχές, καθώς μπορούν να λειτουργούν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά χρησιμοποιούνται μόνον όταν αναμένεται υψηλή αξιοπιστία ή αντίξοες κλιματολογικές συνθήκες. Οι μπαταρίες λιθίου έχουν την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση από όλους τους τύπους μπαταριών, με εύρος 90-100%, και είναι οι πιο κατάλληλες για εφαρμογές back-up, καθώς μπορούν να αποφορτιστούν πλήρως. Οι μπαταρίες metal-air έχουν τη χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση, με εύρος περίπου 50%, λόγω της δυσκολίας επαναφόρτισης (Madlener, and Kirmas, 2017).

Όσον αφορά την ενεργειακή πυκνότητα, οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα έχουν τις υψηλότερες τιμές, που κυμαίνονται από 110-420 Wh/kg, ακολουθούμενες από μπαταρίες νατρίου-θείου με 150-240 Wh/kg, λιθίου με 80-150 Wh/kg, νικελίου με 20-120 Wh/kg και μολύβδου-οξέος και βρωμιούχου ψευδαργύρου με 25-45 Wh/kg και 37 Wh/kg αντίστοιχα. Οι μπαταρίες ροής έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν υψηλότερες ποσότητες ισχύος, που κυμαίνονται από 5 - 500 MW για περιόδους 1 δευτερολέπτου έως 12 ωρών και η διάταξη αυτού του τύπου μπαταρίας διευκολύνει τους ογκομετρικούς περιορισμούς που έχουν οριστεί στην ποσότητα ηλεκτρολύτη που μπορεί να συνδεθεί σε ένα δεδομένο σύστημα, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα ισχύος που μπορεί να αποθηκευτεί (Μικρογεωργίου, 2020).

Οι μπαταρίες νατρίου-θείου έχουν επίσης τη δυνατότητα να τροφοδοτούν το σύστημα με υψηλό ρυθμό ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα ή με μεγάλη ποσότητα ενέργειας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ενώ είναι κατάλληλες για την αποθήκευση μεγάλης ποσότητας αιολικής ενέργειας. Όσον αφορά την ισχύ εξόδου, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου και οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος και νικελίου-καδμίου κυμαίνονται συνήθως από 1 έως 100kW και απαιτούν αρκετά λεπτά για να αποφορτιστούν. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η διάρκεια ζωής κάθε τύπου μπαταρίας είναι ίση, αλλά σε δυσμενείς συνθήκες, οι κυψέλες νικελίου-καδμίου διαρκούν περισσότερο λόγω των ανθεκτικών στη διάβρωση πλακών τους και της ικανότητάς τους να αντιστέκονται στη θείωση και τη διαστρωμάτωση.

Όσον αφορά τον αριθμό των κύκλων επαναφόρτισης, οι μπαταρίες σουλφιδίου του νατρίου έχουν τον υψηλότερο αριθμό κύκλων επαναφόρτισης, που κυμαίνονται από 2.500 - 4.500 κύκλους, ακολουθούμενες από μπαταρίες νικελίου και μολύβδου-οξέος με έναν αριθμό κύκλων επαναφόρτισης 1.000 - 2.000 κύκλων και 300 - 1.500 κύκλων

αντίστοιχα. Οι μπαταρίες βρωμιούχου/ψευδαργύρου έχουν μικρό αριθμό κύκλων επαναφόρτισης, οι οποίοι είναι περίπου 500 κύκλοι. Τέλος, όσον αφορά το κόστος ανά μονάδα ενέργειας, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος παρουσιάζουν το χαμηλότερο κόστος, που κυμαίνεται από 50-150 €/kWh, ενώ οι μπαταρίες νικελίου είναι ακριβότερες, με κόστος που κυμαίνεται από 200 έως 750 €/kWh. Οι μπαταρίες λιθίου παρουσιάζουν επίσης υψηλό κόστος 150-250 €/kWh λόγω των εσωτερικών κυκλωμάτων προστασίας που απαιτούν (Μικρογεωργίου, 2020) .

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον από άλλους τύπους μπαταριών, καθώς δεν περιλαμβάνονται τοξικά υλικά στην κατασκευή τους. Άλλοι τύποι μπαταριών απαιτούν ανακύκλωση των υλικών κατασκευής τους και η μπαταρία νικελίου-καδμίου περιέχει το εξαιρετικά τοξικό στοιχείο κάδμιο (Narayan et al., 2018).

8. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Ένας παραβολικός καθρέφτης κινητήρα Stirling είναι ένας τύπος κινητήρα που χρησιμοποιεί έναν κύκλο Stirling για να μετατρέψει τη θερμική ενέργεια σε μηχανική εργασία. Ο κινητήρας αποτελείται από ένα παραβολικό κάτοπτρο που συγκεντρώνει τις ακτίνες του ήλιου σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος θερμαίνει ένα αέριο μέσα σε έναν κύλινδρο για να οδηγήσει ένα έμβολο. Καθώς το αέριο διαστέλλεται, κινεί το έμβολο και παράγει μηχανική εργασία.

Ο κύκλος Stirling είναι ένας θερμοδυναμικός κύκλος που λειτουργεί συμπιέζοντας κυκλικά και επεκτείνοντας ένα αέριο. Εφευρέθηκε στις αρχές του 19ου αιώνα από τον Robert Stirling κι έκτοτε έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ενέργειας, της ψύξης και της θέρμανσης.

Σε έναν παραβολικό καθρέφτη κινητήρα Stirling, το παραβολικό κάτοπτρο χρησιμοποιείται για να συγκεντρώσει τις ακτίνες του ήλιου σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος βρίσκεται συνήθως στο επίκεντρο του καθρέφτη. Ο εναλλάκτης θερμότητας συνδέεται με έναν κύλινδρο που περιέχει αέριο, όπως ήλιο ή υδρογόνο. Καθώς το αέριο θερμαίνεται, διαστέλλεται, πιέζοντας ένα έμβολο που συνδέεται με έναν στροφαλοφόρο άξονα. Οι μηχανικές εργασίες που παράγονται από τον κινητήρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κίνηση μιας γεννήτριας ή άλλων μηχανημάτων.

Ένα πλεονέκτημα ενός παραβολικού καθρέφτη κινητήρα Stirling είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει χωρίς καμία είσοδο καυσίμου, αρκεί να υπάρχει επαρκές ηλιακό φως. Αυτό το καθιστά μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για απομακρυσμένη ή εκτός δικτύου παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, η απόδοση του κινητήρα είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με άλλους τύπους παραγωγής ενέργειας και το κόστος του παραβολικού καθρέφτη μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο στην υιοθέτηση.

Η αξιοποίηση της ηλιακής θερμότητας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της συγκέντρωσης είναι μια κρίσιμη λειτουργία της παραβολικής τεχνολογίας ηλιακών κατόπτρων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρότερες εφαρμογές που έχουν ισχύ δεκάδων kW λόγω του μεγέθους και του βάρους των διαθέσιμων κινητήρων Stirling και της επίδρασης των φορτίων ανέμου στον ανακλαστήρα κατόπτρων. Οι χρήσεις αυτής της τεχνολογίας περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη θέρμανση νερού, την άρδευση και το μαγείρεμα. Η κύρια λειτουργία του παραβολικού ηλιακού κατόπτρου είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εντός του εύρους kW έως MW. Ορισμένες μελέτες έχουν διερευνήσει διάφορες τεχνολογίες για την επίτευξη βέλτιστων σειρών για συστήματα ηλιακών κατόπτρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας παραβολικός ανακλαστήρας σε σχήμα δίσκου με δομή στήριξης και ένας κινητήρας Stirling τοποθετημένος στο επίκεντρο του παραβολικού κατόπτρου για να συλλάβει την ηλιακή ενέργεια, συνθέτουν το παραβολικό σύστημα κατόπτρων (Hafez et al., 2016).

Το σύστημα που χρησιμοποιεί έναν κινητήρα Stirling που τροφοδοτείται από ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιεί ένα μεγάλο παραβολικό κάτοπτρο που εστιάζει τις ακτίνες του ήλιου στην θερμή πλευρά του κινητήρα Stirling. Η παραβολικού σχήματος δομή που στηρίζει τα ανακλαστικά κάτοπτρα αποτελείται από σταμπωτή λαμαρίνα και ο ηλιακός συμπυκνωτής κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3 και 15 μέτρων σε διάμετρο, αποτελούμενος από διάφορα τμήματα ρητίνης υαλοβάμβακα ή άλλων ανακλαστικών υλικών. Οι βάσεις και τα πρόσθετα εξαρτήματα κατασκευής κατασκευάζονται από χάλυβα. Οι υψηλής ποιότητας ανακλαστήρες ηλιακών κατόπτρων πρέπει να διαθέτουν διάφορα χαρακτηριστικά, όπως λογικό βάρος, αντοχή σε εκτροπή και φορτία ανέμου, αντοχή σε αλλαγές υγρασίας και θερμοκρασίας σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες και τοποθεσίες, εύκαμπτα μέρη, οικονομική αποδοτικότητα, αποτελεσματικά ανακλαστικά υλικά και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Οι κινητήρες Stirling χρησιμοποιούν έναν κύκλο θερμότητας και ένα συμπιεσμένο υγρό, όπως αέρα, ήλιο, υδρογόνο ή άζωτο, και συνήθως έρχονται σε δύο σχέδια σχεδιασμού: άλφα και βήτα. Σύμφωνα με τις περισσότερες μελέτες, ο κινηματικός κινητήρας Stirling που χρησιμοποιεί υδρογόνο ως υγρό εργασίας είναι ο πιο αποδοτικός. Το σύστημα ηλιακών κατόπτρων δημιουργείται για να παρακολουθεί τον ήλιο και να συγκεντρώνει όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ένα ηλιακό σύστημα παρακολούθησης. Διάφοροι ερευνητές έχουν αναπτύξει πρωτότυπα με ηλιακά συστήματα παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων ανύψωσης αζιμουθίου και πολιικής παρακολούθησης.

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι υπεύθυνος για τη συλλογή όλων των ηλιακών θερμικών ακτινοβολιών και τη μετατροπή τους σε χρήσιμη ενέργεια. Παρόμοια με τους εναλλάκτες θερμότητας, οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες αντιμετωπίζουν θερμικές και οπτικές απώλειες, καθιστώντας τους πιο περίπλοκες συσκευές. Οι δύο κύριες κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών είναι η εστίαση (συγκέντρωση) και η μη εστίαση (επίπεδοι συλλέκτες) (García Granados et al., 2008). Η τεχνολογία συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας (CSP) χρησιμοποιεί συνήθως μια επιφάνεια συγκέντρωσης που αυξάνει το χρήσιμο διάφραγμα και εστιάζει με ακρίβεια την ηλιακή ακτινοβολία σε μια μικρή περιοχή γνωστή ως θερμικός δέκτης. Οι εστιασμένοι ηλιακοί συλλέκτες λειτουργούν συνήθως σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τους ηλιακούς συλλέκτες χωρίς εστίαση και συχνά συνδέονται με διαφορετικά θερμικά συστήματα. Η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον γεωμετρικό λόγο συγκέντρωσης C_r , ο οποίος ορίζεται ως:

$$C_r = \text{Area of aperture} / \text{Area of receiver}.$$

Ένας λόγος συγκέντρωσης μεγαλύτερος από 1 ($C_r > 1$) υποδηλώνει έναν συλλέκτη συγκέντρωσης, ενώ μια τιμή $C_r = 1$ υποδηλώνει επίπεδες τεχνολογίες. Εάν ο γεωμετρικός λόγος συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερος από 5, οι ηλιακοί συμπυκνωτές χρησιμοποιούν μόνο ακτινοβολία δέσμης και είναι γνωστοί ως συλλέκτες συγκέντρωσης απεικόνισης. Οι μη απεικονιστικοί συλλέκτες έχουν τιμή μικρότερη

από 5 και χρησιμοποιούν μερικώς διάχυτη ακτινοβολία, συνήθως σε αναλογία με 1/Cr.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών θερμικών συλλεκτών, με τα παραδοσιακά σχέδια να είναι τα πιο συνηθισμένα. Η τεχνολογία πύργου ηλιακής ενέργειας (SPT) είναι ικανή να επιτύχει υψηλό λόγο συγκέντρωσης και επίπεδο θερμοκρασίας 500-1200 και 1000 ° C, αντίστοιχα, καθιστώντας την κορυφαία απόδοση. Ο παραβολικός ηλιακός συλλέκτης πιάτων (PSDC) έρχεται στη δεύτερη θέση, με καλό λόγο συγκέντρωσης και επίπεδο θερμοκρασίας 50-500 και 600 °C, αντίστοιχα. Παρά τα πλεονεκτήματά της, η τεχνολογία SPT έχει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα, όπως υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, χρήση γης και χρήση νερού, καθιστώντας την τεχνολογία παραβολικών ηλιακών πιάτων μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση.

8.1 Το ανακλαστικό υλικό των συμπυκνωτών

Το υλικό που επιλέγεται για τον συγκεντρωτήρα είναι μια κρίσιμη πτυχή του σχεδιασμού ενός PSDC, καθώς καθορίζει πόση ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να αντανακλάται στον δέκτη. Η ανακλαστικότητα είναι ένας βασικός παράγοντας για να καθοριστεί εάν ένας συγκεντρωτήρας μπορεί να αντανακλά αποτελεσματικά την ηλιακή θερμική ακτινοβολία. Παραδοσιακά, οι ανακλαστικές πλάκες αλουμινίου ή αργύρου χρησιμοποιούνται στην μπροστινή πλευρά πλαστικών ή γυάλινων παραβολικών κατόπτρων για ηλιακούς συμπυκνωτές (Hafez et al., 2016). Στο παρελθόν, λεπτοί γυάλινοι ανακλαστικοί καθρέφτες πάχους από 1-4 mm, με ασημένια γυαλισμένα επιφάνεια, χρησιμοποιήθηκαν για να αντανακλούν τις ηλιακές ακτίνες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.

Characteristics of the solar reflector material.

Ref	Model name	Manufacturer	Used material	Reflectivity (%)	Emissive (%)	Working temp (°C)
Harrison [58]	Kraft Paper	Ra Bar Products Inc	Aluminum	90	10	98
Harrison [58],Mohamed et al. [107]	SA-85	3-M	Aluminum, Acrylic	98	2	95
Harrison [58],Mohamed et al. [107]	ECP-305	3-M	Aluminum Acrylic, Silver	97	3	125
Anon [14],Harrison [58],Mohamed et al. [107]	Acrylic Mirror	GCI	Silver, Acrylic	95	5	100
Products [129]	Clear-Dome	The Metalized Products	Polyethylene, Aluminum	97	3	100
Products [129]	Heat Shield I	The Metalized Products	Polyethylene, Aluminum	97	3	100
Kennedy et al. [70],Kennedy and Terwilliger [71]	IBAD	IBAD	Alumina, Copper, Polymer, Silvered	97	3	95
Jaworske and Raack [63]	CERMET	Sun Select	The Ceramic, metallic covering film	95	5	90

Μερικοί ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι η πιο αποτελεσματική ανακλαστική απόδοση για ηλιακούς ανακλαστήρες επιτυγχάνεται με ασημένια κάτοπτρα σε γυαλί πάχους 1 mm. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος, οι σχεδιαστές έχουν χρησιμοποιήσει λεπτά στρώματα πολυμερούς καλυμμένα με ασημί ή αλουμίνιο. Άλλοι ερευνητές διερεύνησαν την επίδραση της περιεκτικότητας σε σίδηρο στο γυαλί στην ανακλαστικότητα του καθρέφτη. Η ανάκλαση των ανακλαστήρων αργύρου σε

γυαλί με περιεκτικότητα σε σίδηρο εξαρτάται από το πάχος και την περιεκτικότητα σε σίδηρο. Σε μια μελέτη που διεξήχθη από τους El Ouederni et al. (2009), επαλήθευσαν πειραματικά έναν παραβολικό συμπυκνωτή ηλιακών πιάτων διαμέτρου 2,2 m που είχε συντελεστή ανάκλασης περίπου 0,85 και αντανάκλούσε τη θερμοκρασία των 380 °C στον θερμικό δέκτη.

8.2 Διάμετρος παραβολικού κατόπτρου

Οι Zayed et al. (2019) διεξήγαγαν μια μελέτη για να διερευνήσουν την επίδραση της διαμέτρου του συγκεντρωτήρα στην απόδοση ενός ηλιακού παραβολικού συστήματος συλλέκτη κοιλοτήτων (PTC). Η μελέτη εξέτασε διάφορες διαμέτρους του συγκεντρωτήρα και την επίδρασή τους στη θερμική απόδοση και την παραγωγή ενέργειας του συστήματος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μια μεγαλύτερη διάμετρος συγκεντρωτήρα μπορεί να ενισχύσει τη θερμική απόδοση και την ενεργειακή απόδοση του συστήματος PTC. Αυτό οφείλεται στη βελτιωμένη συγκέντρωση του ηλιακού φωτός στον δέκτη καθώς αυξάνεται η διάμετρος.

Ωστόσο, η μελέτη διαπίστωσε επίσης ότι υπάρχει ένα όριο στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης με τη διάμετρο του συγκεντρωτήρα. Πέρα από ένα ορισμένο σημείο, η οριακή αύξηση της ενεργειακής απόδοσης δεν αξίζει το κόστος της περαιτέρω αύξησης της διαμέτρου. Επομένως, η διάμετρος του συγκεντρωτήρα θα πρέπει να λαμβάνεται προσεκτικά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός ηλιακού συστήματος PTC, καθώς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την απόδοσή του.

8.3 Eurodish

Το Eurodish είναι ένα παραβολικό κάτοπτρο που συγκεντρώνει την ηλιακή ενέργεια (CSP) με σύστημα που χρησιμοποιεί μια μηχανή Stirling για να μετατρέψει τη θερμική ενέργεια σε μηχανική εργασία (Malik et al., 2022). Το ευρωπαϊκό σύστημα αποτελείται από έναν παραβολικό καθρέφτη, ο οποίος συγκεντρώνει το ηλιακό φως σε έναν δέκτη που βρίσκεται στο εστιακό σημείο του κατόπτρου. Ο δέκτης περιέχει μια μηχανή Stirling, η οποία μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε μηχανική εργασία.

Ο κινητήρας Stirling που χρησιμοποιείται στο σύστημα Eurodish είναι ένας τύπος κινητήρα εξωτερικής καύσης που λειτουργεί με κυκλική συμπίεση κι επέκταση ενός αερίου, όπως το ήλιο ή το υδρογόνο. Ο κινητήρας Stirling συνδέεται με μια γεννήτρια, η οποία μετατρέπει το μηχανικό έργο σε ηλεκτρική ενέργεια.

Το σύστημα Eurodish έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους τύπους συστημάτων ηλιακής ενέργειας. Έχει υψηλή απόδοση και μπορεί να λειτουργήσει σε υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας το κατάλληλο για παραγωγή ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές ή τοποθεσίες εκτός δικτύου. Το σύστημα είναι επίσης

αρθρωτό, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να συνδεθούν πολλά κάτοπτρα για να αυξηθεί η συνολική ισχύς εξόδου.

Το σύστημα Eurodish αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (ΚΚΕρ) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής κι έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα έργα επίδειξης σε όλο τον κόσμο (Hafez et al., 2016) . Το σύστημα έχει αποδειχθεί αξιόπιστο και οικονομικά αποδοτικό κι έχει τη δυνατότητα να παρέχει καθαρή, ανανεώσιμη ενέργεια σε κοινότητες σε όλο τον κόσμο.

EuroDish Technical Data

Concentrator

Diameter: 8.5 m

Projected area: 56.7 m²

Focal Length: 4.5 m

Average concentration factor: 2500

Reflectivity: 94 %

Stirling engine

Type: single acting, 90° V-engine

Swept volume: 160 cm³

Gross power output at 900 W/m² DNI: 9,8 kW

Net power output at 900 W/m² DNI: 9,2 kW

Grid connection: 400 V, 50 Hz, 3 phase

Receiver gas temperature: 650 °C

Working gas: helium

Gas pressure: 20-150 bar

Power control: pressure control

Tracking and Control

Suspension: azimuth

Stow position: face down

max. allowable wind velocity during operation: 65 km/h

Survival wind velocity in stow position: 160 km/h

Drive: servo motor

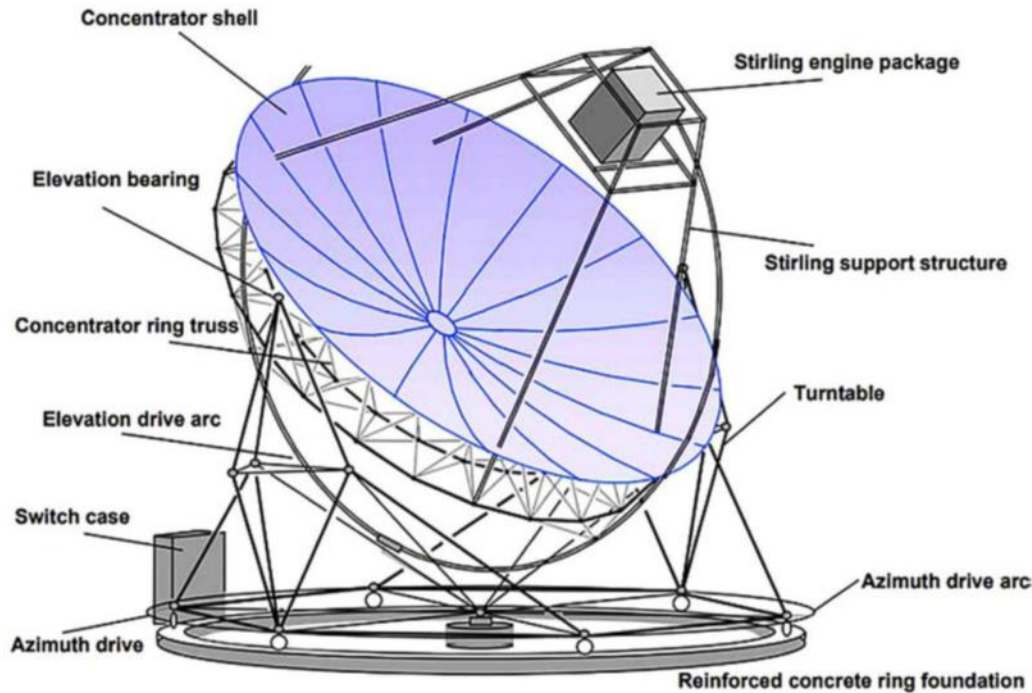
Drive velocity: 60 °/min.

Control system: PC, micro controller

Data transfer: InterBus-S

Remote control: telephone / WWW

EIKONA 15. EYRODISH



8.4 Ακτινοβολία στην Αθήνα

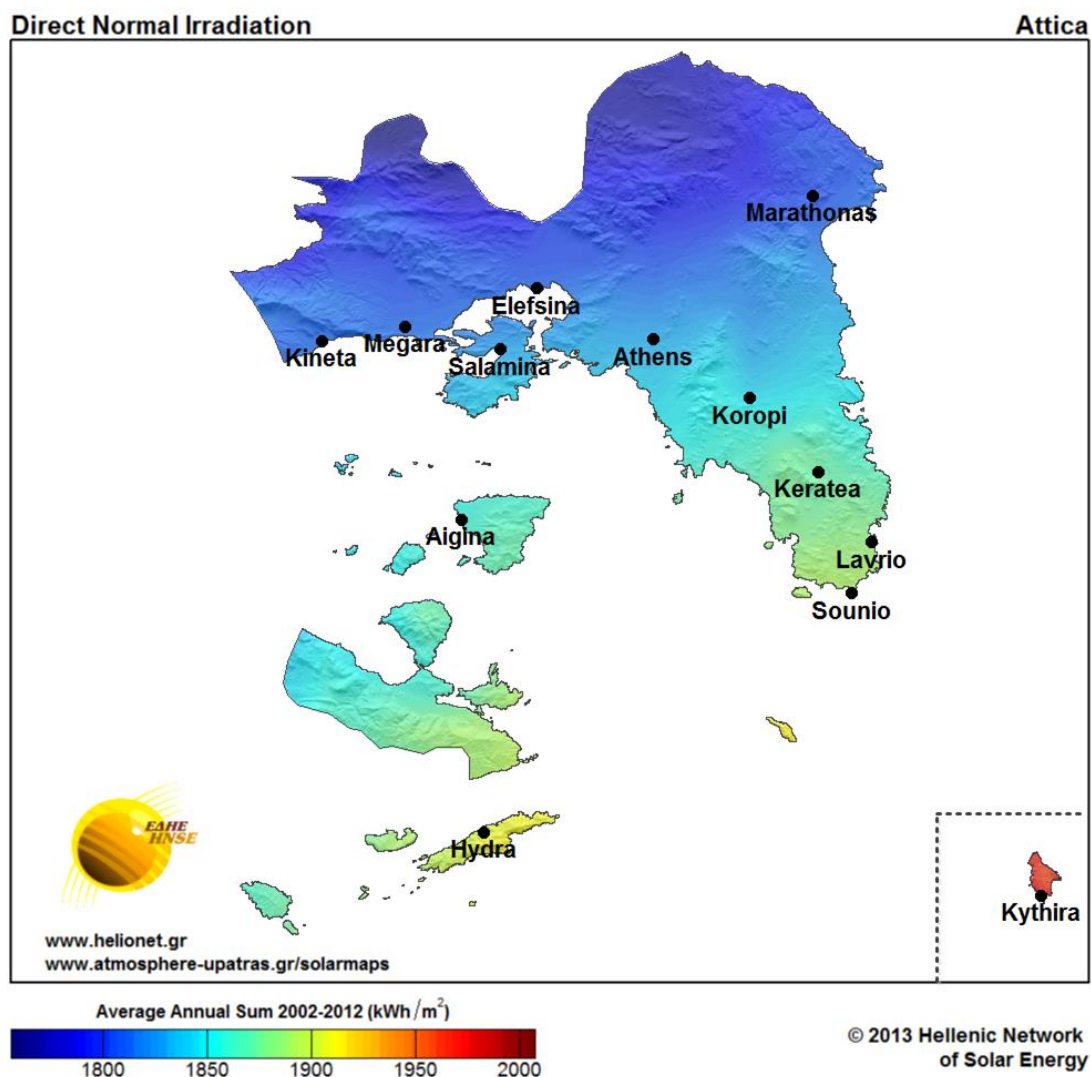
Η ακτινοβολία άμεσης κανονικής ακτινοβολίας (DNI) είναι ένας τύπος ηλιακής ακτινοβολίας που αντιπροσωπεύει την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μια επιφάνεια που είναι κάθετη στις ακτίνες του ήλιου. Είναι ένα μέτρο της ποσότητας του άμεσου ηλιακού φωτός που είναι διαθέσιμο σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και συνήθως μετράται σε μονάδες κιλοβατώραν ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα ($\text{kWh/m}^2/\text{ημέρα}$).

Η ακτινοβολία DNI είναι σημαντική για τη συγκέντρωση συστημάτων ηλιακής ενέργειας (CSP), τα οποία χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς για να συγκεντρώσουν τις ακτίνες του ήλιου σε μια μικρή περιοχή. Αυτά τα συστήματα απαιτούν υψηλό επίπεδο ακτινοβολίας DNI για την επίτευξη υψηλών επιπέδων απόδοσης και συνήθως βρίσκονται σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, όπως ερήμους ή άλλες περιοχές με καθαρό ουρανό και χαμηλή ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η ακτινοβολία DNI μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας επίγεια όργανα όπως πυρανόμετρα, τα οποία μετρούν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μια οριζόντια επιφάνεια. Αυτή η μέτρηση μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί στην τιμή DNI χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τη θέση του ήλιου, τη γωνία της επιφάνειας και άλλους παράγοντες.

Η ακτινοβολία DNI αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων CSP, καθώς επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση και την απόδοση του συστήματος. Η ακριβής μέτρηση και μοντελοποίηση της ακτινοβολίας DNI είναι επομένως απαραίτητη για την επιτυχή ανάπτυξη των συστημάτων CSP.

ΕΙΚΟΝΑ 16. ΧΑΡΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



Επομένως λοιπόν η μέση ετήσια ακτινοβολία στην Αττική για ένα έτος είναι 1850 kWh/m² σύμφωνα με το πανεπιστήμιο Πατρών.

Η συνολική επιφάνεια του παραβολικού κατόπτρου υπολογίζεται ως:

$$A = \pi * (\text{Diameter}/2)^2 = 3.14 * 4,25^2 = 56,7 \text{ m}^2.$$

Η συνολική ενέργεια που πέφτει στην επιφάνεια του παραβολικού κατόπτρου υπολογίζεται ως total energy of radiation to mirror= 56,7* 1850 = 104.895 kWh.

Total energy production per year= efficiency* total energy radiation to mirror= 0,20*
104.895=20.979 kWh.

Σύμφωνα με έρευνα που διενήργησε η ΕΛΣΤΑΤ (Οκτωβρίου 2011 – Σεπτεμβρίου 2012) με τη συνεργασία του ΚΑΠΕ ως τεχνικού εμπειρογνώμονα προέκυψε η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά νοικοκυριό 3.750 kWh και η μέση ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας (για θέρμανση χώρου, ζεστό νερό, μαγείρεμα κ.ά.) ανά νοικοκυριό είναι 10.244 kWh. Η μέση μεικτή κατανάλωση προκύπτει 13.974 kWh.

Επομένως το μοντέλο καλύπτει τις μέσες ανάγκες του νοικοκυριού, όμως σε αυτό το σημείο πρέπει να καθοριστεί και το μέσο αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, της μπαταρίας. Μία μπαταρία αρκετών MW ώστε να αποθηκεύσει ολόκληρη την παραγόμενη ενέργεια απαιτεί αρκετά τ.μ. και το κόστος της ανέρχεται σε πολύ υψηλά ποσά, πολλαπλάσια της αξίας των οικιών. Μία μικρότερη μπαταρία κάποιων kW θα μπορέσει να αποθηκεύσει μία ικανή ποσότητα ενέργειας της τάξης των 500kW. Ο λόγος είναι ότι η μέση κατανάλωση ενέργειας 3750 kW μπορεί εύκολα να εξυπηρετηθεί από μπαταρίες, διότι το Ευrodish παράγει καθημερινά ενέργεια αλλά με μεγαλύτερο ρυθμό τους θερινούς μήνες. Επομένως μία μπαταρία 500 kW μόλυβδου-οξέος κρίνεται άκρως ικανοποιητική για τους χειμερινούς μήνες που η παραγωγή ενέργειας μειώνεται. Το συγκεκριμένο μέγεθος μπαταρίας είναι ικανοποιητικό και για να καλύψει τις ανάγκες της οικίας τις βραδινές ώρες. Σε αντίθεση, η συνολική παραγωγή δεν είναι οικονομικά αποδεκτό να αποθηκευτεί σε μπαταρία κάποιων MW. Επομένως η περίσσια παραγωγή ενέργειας θα πρέπει να διοχετεύεται στο δίκτυο μέσω του μηχανισμού του net metering.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη της παραπάνω περίπτωσης βασίστηκε στο μοντέλο Eurodish, το οποίο δημιουργήθηκε πριν από 20 χρόνια. Έκτοτε αρκετά νέα μοντέλα με μεγαλύτερες αποδόσεις έχουν εμφανιστεί. Το αντικείμενο της μελέτης είναι αν με τη μέθοδο του Dish-Stirling μία κατοικία επιφάνειας 100τμ μπορεί να γίνει ενεργειακά ανεξάρτητη με την υιοθέτηση του Eurodish. Στη μελέτη αυτή δεν λαμβάνονται υπόψη τα οικονομικά οφέλη και κόστη παρά μόνον αν η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες του νοικοκυριού.

Τελικά με μία μέση απόδοση της τάξης του 20%, το μοντέλο θα παράγει σε ετήσια βάση αρκετή ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες του σε θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (14.000 kWh / χρόνο). Συγκεκριμένα το μοντέλο θα παράγει 21.000 kWh σε έναν χρόνο στην περιοχή της Αττικής.

Συμπερασματικά, το σύστημα Dish-Stirling είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιεί ένα παραβολικό κάτοπτρο για να συγκεντρώσει το ηλιακό φως σε έναν κινητήρα Stirling για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα να επιτύχει υψηλές αποδόσεις μετατροπής ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για αποκεντρωμένες εφαρμογές. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να καταστεί αυτή η τεχνολογία πιο βιώσιμη, όπως η βελτίωση της αξιοπιστίας και της ανθεκτικότητας του κινητήρα Stirling, η μείωση του κόστους των υλικών και της κατασκευής και η αύξηση της επεκτασιμότητας της τεχνολογίας. Συνολικά, το σύστημα Dish-Stirling υπόσχεται πολλά για το μέλλον των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κι έχει τη δυνατότητα να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Al-Badi, A.H., 2013. Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in eco-houses. *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(1), pp.48-54.
- Ambrosio-Albala, P., Upham, P., Bale, C.S.E. and Taylor, P.G., 2020. Exploring acceptance of decentralised energy storage at household and neighbourhood scales: A UK survey. *Energy Policy*, 138, p.111194.
- Castillo, J.P., Mafiolis, C.D., Escobar, E.C., Barrientos, A.G. and Segura, R.V., 2015. Design, construction and implementation of a low cost solar-wind hybrid energy system. *IEEE Latin America Transactions*, 13(10), pp.3304-3309.
- Chen, N.C.J. and Griffin, F.P., 1983. Review of Stirling-engine mathematical models (No. ORNL/CON-135). Oak Ridge National Lab., TN (USA).
- Chen, S.Y., Chu, C.Y., Cheng, M.J. and Lin, C.Y., 2009. The autonomous house: a bio-hydrogen based energy self-sufficient approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(4), pp.1515-1529.
- Fazelpour, F., Soltani, N. and Rosen, M.A., 2016. Economic analysis of standalone hybrid energy systems for application in Tehran, Iran. *International journal of hydrogen energy*, 41(19), pp.7732-7743.
- García Granados, F.J., Silva Pérez, M.A. and Ruiz-Hernández, V., 2008. Thermal model of the EuroDish solar Stirling engine. *Journal of Solar Energy Engineering*, 130(1).
- Hafez, A.Z., Soliman, A., El-Metwally, K.A. and Ismail, I.M., 2016. Solar parabolic dish Stirling engine system design, simulation, and thermal analysis. *Energy conversion and management*, 126, pp.60-75.
- Huang, B.J., Lin, T.H., Hung, W.C. and Sun, F.S., 2001. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems. *Solar energy*, 70(5), pp.443-448.
- Hussain, I., Das, D.C. and Sinha, N., 2017. Reactive power performance analysis of dish–Stirling solar thermal–diesel hybrid energy system. *IET Renewable Power Generation*, 11(6), pp.750-762.
- Kelly, P., 2010. *A Practical Guide to 'Free-Energy' Devices*.
- Lazzaretto, A. and Tsatsaronis, G., A systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems. *Energy Int. J*, pp.1257-1289.
- Madlener, R. and Kirmas, A., 2017. Economic viability of second use electric vehicle batteries for energy storage in residential applications. *Energy Procedia*, 105, pp.3806-3815.
- Malik, M.Z., Shaikh, P.H., Zhang, S., Lashari, A.A., Leghari, Z.H., Baloch, M.H., Memon, Z.A. and Caiming, C., 2022. A review on design parameters and specifications of

parabolic solar dish Stirling systems and their applications. *Energy Reports*, 8, pp.4128-4154.

Martini, W.R., 1983. Stirling engine design manual (No. NASA-CR-168088).

Narayan, N., Papakosta, T., Vega-Garita, V., Qin, Z., Popovic-Gerber, J., Bauer, P. and Zeman, M., 2018. Estimating battery lifetimes in Solar Home System design using a practical modelling methodology. *Applied energy*, 228, pp.1629-1639.

Naumann, M., Karl, R.C., Truong, C.N., Jossen, A. and Hesse, H.C., 2015. Lithium-ion battery cost analysis in PV-household application. *Energy Procedia*, 73, pp.37-47.

Navarro, L., De Gracia, A., Colclough, S., Browne, M., McCormack, S.J., Griffiths, P. and Cabeza, L.F., 2016. Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part 1. active storage systems. *Renewable Energy*, 88, pp.526-547.

Nema, P., Nema, R.K. and Rangnekar, S., 2009. A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), pp.2096-2103.

Nightingale, N.P., 1986. Automotive Stirling engine: Mod 2 design report (No. NAS 1.26: 175106).

Samaddar, N., Kumar, N.S. and Jayapragash, R., 2020, December. Passive cell balancing of Li-ion batteries used for automotive applications. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1716, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.

Sripakagorn, A. and Srikam, C., 2011. Design and performance of a moderate temperature difference Stirling engine. *Renewable Energy*, 36(6), pp.1728-1733.

Vaussard, F., Bonani, M., Rétornaz, P., Martinoli, A. and Mondada, F., 2011. Towards autonomous energy-wise ROjects. In *Towards Autonomous Robotic Systems: 12th Annual Conference, TAROS 2011, Sheffield, UK, August 31–September 2, 2011. Proceedings 12* (pp. 311-322). Springer Berlin Heidelberg.

Udeh, G.T., Michailos, S., Ingham, D., Hughes, K.J., Ma, L. and Pourkashanian, M., 2022. A modified rule-based energy management scheme for optimal operation of a hybrid PV-wind-Stirling engine integrated multi-carrier energy system. *Applied Energy*, 312, p.118763.

Zayed, M.E., Zhao, J., Elsheikh, A.H., Li, W., Sadek, S. and Aboelmaaref, M.M., 2021. A comprehensive review on Dish/Stirling concentrated solar power systems: Design, optical and geometrical analyses, thermal performance assessment, and applications. *Journal of Cleaner Production*, 283, p.124664.

Γκιρετλή, Ο., 2018. Σύγκριση του υπολογιστικού κώδικα Roboan θερμοδυναμικής μοντελοποίησης μηχανών Stirling με μοντέλο αναπτυχθέν στο πανεπιστήμιο Zonguldak Karaelmas.

- Δαφνομήλης, Σ., 2013. Μπαταρίες λιθίου.
- Ιμάμογλου, Ε., 2013. Θερμική μηχανή ισχύος Stirling. Λειτουργία και επιλογή καυσίμου υλικού και επιπτώσεις στη ρύπανση της ατμόσφαιρας.
- Κόλλια, Φ. and Βασιλείου, Ι., 2017. Λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και η τεχνολογική εξέλιξή τους σε υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά ηλιακά συστήματα νερού και αέρα.
- Κοτοφώλου, Μ., 2017. Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα: ηλιακοί πύργοι ισχύος.
- Κωστογλάνης, Μ. & Τζίμης, Δ., 2017. Συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ) με έμφαση στα ΣΗΘ που χρησιμοποιούν τη μηχανή stirling.
- Μικρογεωργίου, Ν., 2020. Ανάλυση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδυάζει ΑΠΕ και μπαταρίες μολύβδου-οξέος.
- Παρχαρίδης, Ε., 2012. Μελέτη και ανάλυση εφαρμογών του κινητήρα Stirling.
- Σαββάκη, Μ., 2018. Ανάλυση κύκλου ζωής συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας υβριδικών πλοίων.
- Τσαλικίδης, Ι., 2008. Ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΚΥΚΛΟΣ STIRLING

ΕΙΚΟΝΑ 2. ALPHA STIRLING

ΕΙΚΟΝΑ 3. BETA STIRLING

ΕΙΚΟΝΑ 4. GAMMA STIRLING

ΕΙΚΟΝΑ 5. ΤΡΟΧΙΑ ΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΗΣ

ΕΙΚΟΝΑ 6. ΓΩΝΙΑ ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΕ ΟΥΡΑΝΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

ΕΙΚΟΝΑ 7. ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ

ΕΙΚΟΝΑ 8. ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ

ΕΙΚΟΝΑ 9. ΓΩΝΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ

ΕΙΚΟΝΑ 10. ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗ

ΕΙΚΟΝΑ 11. ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ 12. ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

ΕΙΚΟΝΑ 13. ΓΡΑΜΜΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ FRESNEL

ΕΙΚΟΝΑ 14. ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ

ΕΙΚΟΝΑ 15. EYRODISH

ΕΙΚΟΝΑ 16. ΧΑΡΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ