



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΧΕΙΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ
ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΟΥ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024**

Διπλωματική Εργασία
του ΠΕΡΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ (ΑΜ:2015010117)

Εξεταστική επιτροπή:

Καθηγητής : Γεώργιος Σταυρουλάκης (Επιβλέπων)

Επίκουρος Καθηγητής : Παναγιώτης Αλευράς

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια: Μαρία Σταυρουλάκη

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε όλους όσοι συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Καταρχάς, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη, καθοδήγηση, υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνάς μου

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αδιάκοπη υποστήριξη και ενθάρρυνση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Χωρίς την αγάπη και την εμπιστοσύνη τους, δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω αυτό το έργο και κυρίως τον πατέρα μου για τις γνώσεις μου προσέφερε ως Μηχανολόγος μηχανικός και ως Διευθύνων Σύμβουλός της εταιρείας κατασκευής ηλιακών συστημάτων Olympic Sun.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους φίλους και την κοπέλα μου που συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επίτευξη αυτού του στόχου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 Σκοπός Εργασίας	7
1.2 Μεθοδολογία Εργασίας	8
1.2.1 Θεωρητικό Μέρος	8
1.2.2 Πειραματικό Μέρος	8
2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	11
2.1 Εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (α.π.ε.)	11
2.1.1 Εξέλιξη Χρήσης Α.Π.Ε.	11
2.1.2 Εξέλιξη Τεχνολογιών Α.Π.Ε.	17
2.2 Ηλιακή Ενέργεια και Συστήματα	21
2.2.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	22
2.2.2 Ηλιακά Θερμικά Συστήματα.....	22
2.2.3 Ηλιακοί Θερμοσίφωνες.....	29
3. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ.....	32
3.1 Βασικές Θερμοδυναμικές Αρχές.....	32
3.1.1 Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής.....	32
3.1.2 Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής	32
3.1.3 Απορρόφηση Θερμότητας και Απόδοση	32
3.2 Μεταφορά Θερμότητας σε Ηλιακούς Θερμοσίφωνες	35
3.3 Πηγές Απωλειών Ενέργειας	37
3.3.1 Πηγές Απώλειας Ενέργειας	37
3.3.2 Βελτίωση της Αποδοτικότητας.....	38
4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΩΝ	40
4.1 Υλικά Κατασκευής	40
4.1.1 Χάλκινα Συστήματα	40
4.1.2 Ανοξείδωτα Συστήματα.....	40
4.1.3 Επισμαλτωμένα (εφυσωμένα) Δοχεία συστημάτων	41
4.1.4 Υλικά Θερμαντικών Στοιχείων.....	42
4.1.5 Υλικά Μόνωσης	42
4.2 Διάταξη Συστημάτων	42
4.2.1 Οριζόντια Διάταξη.....	42
4.2.2 Κατακόρυφη Διάταξη	42
5. Πειραματική Σύγκριση και Ανάλυση	45
5.1 Μεθοδολογία του Πειράματος.....	45
5.2 Συλλογή Δεδομένων	46
5.3 Ανάλυση και Ερμηνεία Αποτελεσμάτων	47
5.3.1 Σύγκριση Θερμοκρασίας Εξόδου	47
5.3.2 Επίδραση Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος	47
5.3.3 Ηλιακή Ακτινοβολία.....	48
5.3.4 Συγκριτική Αποδοτικότητα.....	48
5.3.5 Εξαγωγή Συμπερασμάτων.....	49
5.4 Ανάλυση Μέσω Προσομοίωση	49

5.4.1	Σκοπός της Προσομοίωσης	50
5.4.2	Αναφορά Πλέγματος	52
5.4.3	Περιοχές Πλέγματος και Υλικά	53
5.4.4	Οριακές Συνθήκες.....	55
5.4.5	Αποτελέσματα.....	57
6.	Συμπεράσματα και Συστάσεις	62
6.1	Κύρια Ευρήματα.....	62
6.2	Συστάσεις για Βελτίωση.....	62
6.3	Προοπτικές για Μελλοντική Έρευνα.....	65
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	<i>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</i>

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1: Εξέλιξη Χρήσης Α.Π.Ε.	13
Διάγραμμα 2.2: Ποσοστό Πράσινης Ενέργειας επί της Συνολικής.....	15
Διάγραμμα 2.3: Σύγκριση Πράσινης Ενέργειας κατά τα έτη 2021-2022 ανά χώρα.....	16

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Πρώτη Τεχνολογία Αιολικής Ενέργειας	18
Εικόνα 2.2: Πρώτη Τεχνολογία Υδροηλεκτρικής Ενέργειας.....	18
Εικόνα 2.3: Ενδεικτικό Σύστημα Υδροηλεκτρικής Ενέργειας Μεγάλης Κλίμακας	19
Εικόνα 2.4: Εξέλιξη Αιολικής Ενέργειας	19
Εικόνα 2.5: Εξέλιξη Ηλιακής Ενέργειας	20
Εικόνα 2.6: Μέρη Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	22
Εικόνα 2.7: Κλίμακα Μεγέθους Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	23
Εικόνα 2.8: Δεξαμενή Λεβητοστασίου	24
Εικόνα 2.9: Ηλιακό Θερμικό Σύστημα	24
Εικόνα 2.10 Μέρη Συλλεκτών Επίπεδων Πλακών	26
Εικόνα 2.11: Μέρη Συλλεκτών Σωληνών Κενού	27
Εικόνα 2.12: Τεχνολογίες Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων	27
Εικόνα 2.13: Εναλλάκτης Θερμότητας	28
Εικόνα 2.14: Ηλιακός Θερμοσίφωνας.....	29
Εικόνα 2.15: Ενδεικτικό Υβριδικό Σύστημα	31
Εικόνα 5.0: Θερμόμετρο με θερμοθήκη.....	44
Εικόνα 5.1: Ηλιακός θερμοσίφωνας πειράματος	45
Εικόνα 5.2: Θερμική Φόρτιση Κάθετου Δοχείου Αποθήκευσης ZNX	48
Εικόνα 5.3: Σύστημα Προσομοίωσης	50
Εικόνα 5.4: Περιοχές Πλέγματος και Υλικά Προσομοίωσης	53
Εικόνα 5.5: Κατανομή Θερμοκρασίας	57
Εικόνα 5.6: Κατανομή Ταχύτητας	57
Εικόνα 5.7: Κατανομή Πίεσης	58
Εικόνα 5.8: Κατανομή Θερμοκρασίας	58
Εικόνα 5.9: Κατανομή Ταχύτητα.....	59
Εικόνα 5.10: Κατανομή Θερμοκρασίας	59
Εικόνα 5.11: Κατανομή Πίεσης.....	60
Εικόνα 5.12: Κατανομή ταχύτητας.....	60
Εικόνα 5.13: Κατανομή Θερμοκρασίας	61
Εικόνα 5.14: Κατανομή Ταχύτητας.....	62
Εικόνα 5.15: Κατανομή Πίεσης.....	63

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1: Δεδομένα Πειράματος	47
Πίνακας 5.2: Διατάξεις δεξαμενών προς ανάλυση.....	50
Πίνακας 5.3: Αναφορά Πλέγματος.....	52
Πίνακας 5.4: Περιοχές Πλέγματος και Υλικά	53
Πίνακας 5.5: Οριακές Συνθήκες	55

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σύστημα ηλιακής θέρμανσης με βεβαιωμένη κυκλοφορία	24
Σχήμα 2: Ηλιακό θερμοσιφωνικό σύστημα.....	25

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια θερμική ανάλυση δοχείων ηλιακών θερμοσιφώνων, με κύριο στόχο τη διαμόρφωση μιας σαφούς και τεκμηριωμένης εικόνας, την επιβεβαίωση υφιστάμενων θεωριών, καθώς και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της βιωσιμότητας αυτών των συστημάτων. Η έρευνα χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη: το θεωρητικό και το πειραματικό. Το θεωρητικό μέρος εξετάζει τις θεμελιώδεις αρχές της θερμοδυναμικής, τις τεχνολογικές καινοτομίες, και την εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ιδιαίτερη έμφαση στη σημασία της ηλιακής ενέργειας. Παράλληλα, αναλύονται οι τεχνολογικές πρόοδοι που συνέβαλαν στη βελτίωση της αποδοτικότητας των ηλιακών θερμοσιφώνων.

Στο πειραματικό μέρος, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση μεταξύ διαφορετικών τύπων θερμοσίφωνα, ενός κάθετου και ενός οριζόντιου. Η μεθοδολογία της έρευνας περιλαμβάνει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από πειραματικές δοκιμές, χρησιμοποιώντας σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές για την επεξεργασία των πληροφοριών και την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Τα ευρήματα της έρευνας αναμένεται να επιβεβαιώσουν επιστημονικές γνώσεις σχετικά με την αποδοτικότητα των διαφόρων υλικών και διατάξεων των θερμοσιφώνων, προσφέροντας κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση των συστημάτων θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια.

Η εργασία καταλήγει σε πλήρη ανάλυση των ευρημάτων από τη θεωρητική και πειραματική μελέτη, καταλήγοντας σε συμπεράσματα που αναδεικνύουν τα κύρια αποτελέσματα της έρευνας και παρέχουν συστάσεις για τη μελλοντική εξέλιξη και βελτίωση της τεχνολογίας των ηλιακών θερμοσιφώνων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία εκ των κορυφαίων λύσεων στις σύγχρονες ενεργειακές προκλήσεις, προσφέροντας μια βιώσιμη και ανεξάντλητη πηγή ικανή να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα και να διασφαλίσει με ασφάλεια την ενεργειακή κάλυψη. Όπως αναφέρεται σε έρευνες του International Energy Agency (2020), η ηλιακή ενέργεια έχει τη δυνατότητα να καλύψει πάνω από το ένα τρίτο των παγκόσμιων αναγκών για καθαρή ενέργεια μέχρι το 2040. Επιπλέον, η ραγδαία πτώση του κατασκευαστικού κόστους και η τεχνολογική εξέλιξη στην κατασκευή και στην απόδοση των συστημάτων, όπως επισημαίνεται από το Bloomberg New Energy Finance (2019), καθιστά την ηλιακή ενέργεια όχι μόνο οικολογικά αλλά και οικονομικά ελκυστική, ενθαρρύνοντας περαιτέρω τις επενδύσεις σε αυτήν. Οι καινοτομίες στον τομέα της ηλιακής ενέργειας, όπως αναπτύσσονται από εταιρείες και ερευνητικά ινστιτούτα, συμβάλλουν στη διασφάλιση της ενεργειακής αυτονομίας και της μακροπρόθεσμης απόδοσης των ηλιακών συστημάτων.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ειδικότερα, η παρούσα εργασία εστιάζει στους ηλιακούς θερμοσίφωνες, δεδομένου ότι αυτή η εφαρμογή είναι η πιο διαδεδομένη πάνω από 40 έτη και αποτελεί έναν κρίσιμο σύνδεσμο στη χρήση ανανεώσιμων πηγών για καθημερινές ενεργειακές ανάγκες. Όπως δείχνουν οι έρευνες του International Renewable Energy Agency (IRENA), οι ηλιακοί θερμοσίφωνες έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά το κόστος ενέργειας στα νοικοκυριά, παρέχοντας πάνω από 80% της αναγκαίας ποσότητας ζεστού νερού απευθείας από τον ήλιο (IRENA, 2019), ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά.

Ο κύριος σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εξετάσει λεπτομερώς τις τεχνολογικές και θερμοδυναμικές πτυχές των ηλιακών θερμοσιφώνων, με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ενεργειακής απόδοσης τους. Σύμφωνα με το U.S. Department of Energy, η κατανόηση των θερμοδυναμικών μηχανισμών και η βελτίωση των υλικών και σχεδιασμών μπορεί να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση κατά περισσότερο από 30% (DOE, 2020).

Η ανάπτυξη της εργασίας θα στοχεύει στην εξερεύνηση καινοτόμων λύσεων για την ενεργειακή βελτιστοποίηση των ηλιακών θερμοσιφώνων, προσδοκώντας να αναδείξει τρόπους για τη μείωση των κόστων

παραγωγής και την επέκταση της χρήσης τους σε μεγαλύτερη κλίμακα. Καθώς η ηλιακή ενέργεια συνεχίζει να αποτελεί μία από τις πλέον δυναμικά αναπτυσσόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η συμβολή της παρούσας έρευνας αναμένεται να είναι σημαντική τόσο στο επιστημονικό πεδίο όσο και στην πρακτική εφαρμογή (IRENA, 2019; DOE, 2020).

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μεθοδολογία της έρευνας αποτελεί την αφετηρία για την ανάπτυξη και την εκτέλεση της εργασίας, καθορίζοντας το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα διεξαχθούν οι αναλύσεις και οι διαδικασίες. Σύμφωνα με τους Mackenzie και Knipe (2006), η επιλογή της μεθοδολογίας (ερευνητικού παραδείγματος) αποτελεί το πρώτο βήμα για την καθοδήγηση όλων των υπόλοιπων επιλογών σχετικά με τη μεθοδολογία, τις μεθόδους και το σχεδιασμό της έρευνας.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από δύο διακριτά μέρη, το θεωρητικό και το πειραματικό. Το θεωρητικό μέρος αποσκοπεί στην ανάπτυξη του θεωρητικού υποβάθρου και στην καλύτερη κατανόηση του πεδίου έρευνας. Το πειραματικό μέρος στοχεύει στη θερμική ανάλυση διαφορετικών ειδών θερμοσιφώνων, χρησιμοποιώντας πειραματικές δοκιμές για τη μέτρηση της θερμικής απόδοσης διαφορετικών υλικών και σχεδιασμών των θερμοσιφώνων. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθούν σύγχρονα εργαλεία (όπως θερμικές κάμερες ή αισθητήρες θερμοκρασίας) μέσω των οποίων επιτρέπεται η ακριβής καταγραφή των θερμικών χαρακτηριστικών των συστημάτων στη μελέτη τους για τον προσδιορισμό θερμοδυναμικής απόδοσης.

1.2.1 Θεωρητικό Μέρος

1. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας:

- ο Σε αυτό το μέρος θα γίνει μία ανασκόπηση της υπάρχουσας διεθνούς βιβλιογραφία που σχετίζεται με τους ηλιακούς θερμοσίφωνες, τις σχετικές τεχνολογικές καινοτομίες

2. Θεωρητική Ανάλυση:

- ο Σε αυτό το μέρος θα πραγματοποιηθεί η επεξήγηση των θερμοδυναμικών αρχών και όρων όπως μεταφορά θερμότητας, αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Αυτό θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των ηλιακών θερμοσιφώνων και στις παραμέτρους για τη βελτιστοποίηση τους.

1.2.2 Πειραματικό Μέρος

1. Σχεδιασμός Πειράματος:

Σε αυτό το μέρος θα πραγματοποιηθεί:

- ο ο προσδιορισμός των πειραματικών παραμέτρων και των μεταβλητών που θα μελετηθούν, όπως οι διαφορετικοί τύποι υλικών οι διάφοροι σχεδιασμοί συλλεκτών και οι διάφορες διατάξεις συστημάτων.
- ο Η εγκατάσταση πραγματικών συστημάτων σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον για την εξασφάλιση της ακρίβειας των μετρήσεων.

2. Συλλογή Δεδομένων:

Σε αυτό το μέρος πραγματοποιείται:

- ο χρήση διάφορων αισθητήρων για τη συνεχή και διαρκή παρακολούθηση της θερμοκρασίας και της ροής θερμικού υγρού σε πραγματικό χρόνο και κάτω από πραγματικές συνθήκες.
- ο καταγραφή θερμικών δεδομένων κατά τη διάρκεια της ημέρας, κυρίως σε ώρες διαφορετικής ηλιακής έντασης, για τη θερμική απόδοση των διάφορων συστημάτων

3. Ανάλυση Δεδομένων:

Σε αυτό το μέρος πραγματοποιείται:

- ο επεξεργασία και ανάλυση των πειραματικών δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων, μέσω των οποίων θα αξιολογηθεί η απόδοση των διαφορετικών συστημάτων. Η ανάλυση περιλαμβάνει τη χρήση στατιστικών μεθόδων για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή των εν λόγω συμπερασμάτων.
- ο σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων όπου καταλήξαμε με τα θεωρητικά μοντέλα για την επαλήθευση της ακρίβειας των μοντέλων και τον εντοπισμό τυχόν αποκλίσεων.

4. Προσομοιώσεις και Μοντελοποίηση:

Σε αυτό το μέρος πραγματοποιείται χρήση λογισμικού προσομοίωσης για τη δημιουργία απεικονίσεων της θερμική συμπεριφοράς των ηλιακών θερμοσιφώνων. Οι εν λόγω απεικονίσεις αφορούν στην ηλιακή ακτινοβολία, στη θερμική αγωγιμότητα, στη συναγωγή και στις θερμικές απώλειες.

5. Εξαγωγή Συμπερασμάτων:

Σε αυτό το μέρος πραγματοποιείται:

- ο Σύνθεση και σύγκριση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την απόδοση των ηλιακών θερμοσιφώνων και τη βελτιστοποίηση αυτής. Τα συμπεράσματα βασίζονται στην ανάλυση των δεδομένων και στις παρατηρήσεις από τα πειράματα και τις προσομοιώσεις.
- ο Παροχή συστάσεων για τη βελτίωση του σχεδιασμού και της κατασκευής των ηλιακών θερμοσιφώνων, καθώς και προτάσεων για μελλοντική έρευνα στον τομέα αυτό.

Με τη χρήση της παραπάνω μεθοδολογίας, η εργασία αποσκοπεί στην παροχή έγκυρων δεδομένων και συμπερασμάτων που θα συμβάλουν στη καλύτερη γνώση χρήσης των ηλιακών θερμοσιφώνων, προάγοντας έτσι την χρήση τους και συμβάλλοντας στην ακόμη πιο ευρεία εξάπλωση της. Η συνδυασμένη προσέγγιση θεωρητικής και πειραματικής έρευνας επιτρέπει μία πιο ολιστική προσέγγιση και μία πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του ερευνητικού αντικειμένου.

2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

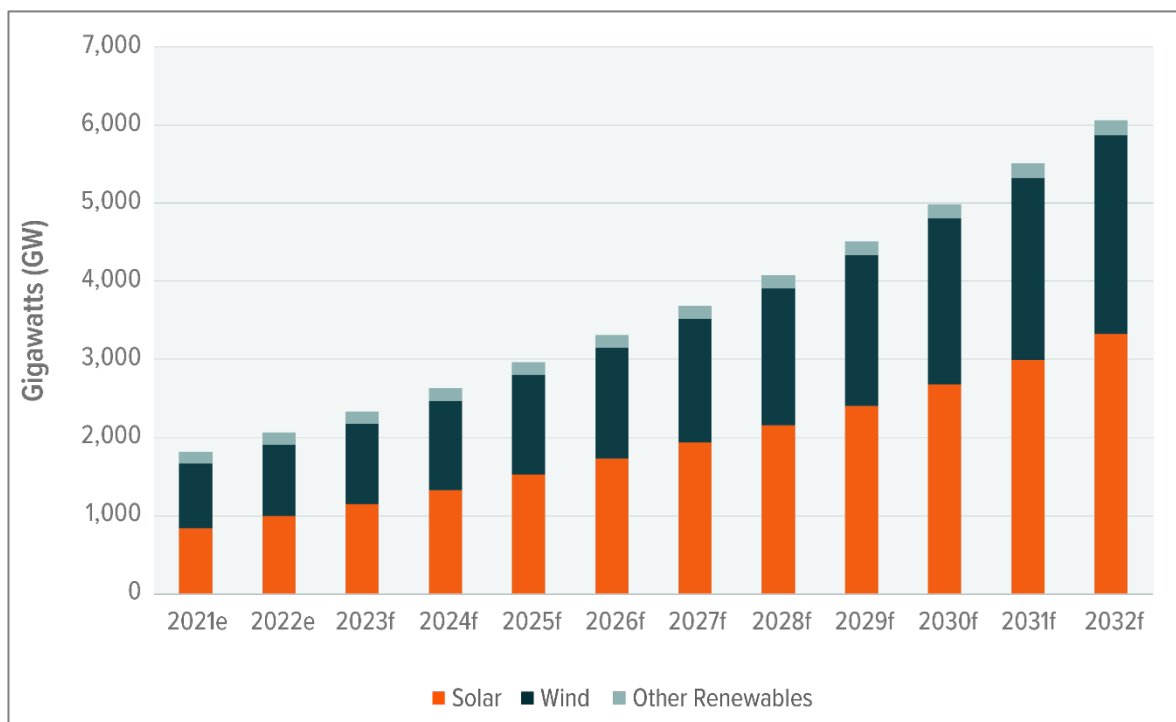
Η ανάγκη για στροφή προς την εντονότερη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι επιτακτική στην εποχή μας και οφείλεται όχι μόνο στην κλιματική αλλαγής και ανησυχητικές συνέπειες της, αλλά και στην όλο και αυξανόμενη παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Οι ανανεώσιμες πηγές, στις οποίες θα γίνει εκτεταμένη αναφορά παρακάτω, παρέχουν μια αποδοτική και συνάμα ανεξάντλητη λύση με πολύ μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Όπως τονίζεται στο βιβλίο "Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation" των Springer (Panwar, Kaushik, & Kothar, 2011) οι ανανεώσιμες τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν ουσιαστική ενεργειακή ασφάλεια και να μειώσουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

2.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Α.Π.Ε.)

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των ανανεώσιμων πηγών έχει αλλάξει τόσο όσον αφορά τη ένταση χρήσης όσο και τις διαφορετικές τεχνολογικές μορφές.

2.1.1 *Εξέλιξη Χρήσης Α.Π.Ε.*

Το παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο μετασχηματίζεται, αφού υφίσταται μια μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές, με το 2023 να σηματοδοτεί ένα σημαντικό έτος σε αυτή την ταχεία μετάβαση. Σύμφωνα με το Διεθνές Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA), η συνολική χωρητικότητα της ανανεώσιμης ενέργειας έφτασε τα ρεκόρ 3,870 gigawatt (GW) παγκοσμίως, υποδεικνύοντας μια σταθερή κίνηση προς τις πιο βιώσιμες αυτές πηγές. Οι ανανεώσιμες πηγές αποτέλεσαν το 86% της συνολικής προστιθέμενης χωρητικότητας παγκοσμίως κατά το 2023, επιδεικνύοντας την αυξανόμενη κυριαρχία τους στον ενεργειακό τομέα. Το έτος 2023 παρατήρησε μια σημαντική αύξηση 50% στις προσθήκες χωρητικότητας ανανεώσιμης ενέργειας σε σύγκριση με το 2022, φθάνοντας σχεδόν τα 510 GW. Αυτή η ανάπτυξη ήταν κυρίως υποκινούμενη από την ηλιακή ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών (PV), η οποία αποτέλεσε μόνη της τα τρία τέταρτα της συνολικής προσθήκης, υπογραμμίζοντας την ταχεία υιοθέτηση και εξάπλωση των ηλιακών τεχνολογιών.



Διάγραμμα 2.1: Εξέλιξη Χρήσης Α.Π.Ε. Πηγή : European Environment Agency

Στην Ασία, η Κίνα ήταν στο προσκήνιο αυτής της επέκτασης, προσθέτοντας μόνη της 297,6 GW το 2023. Αυτό αντιπροσωπεύει μια τεράστια αύξηση, ιδιαίτερα σε σύγκριση με τις παγκόσμιες προσθήκες σε προηγούμενα έτη. Για παράδειγμα, η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που εγκαταστάθηκε στην την Κίνα το 2023 ήταν ισοδύναμη με το συνολικό ποσό που εγκαταστάθηκε παγκοσμίως το 2022. Τα τελευταία χρόνια, το κόστος των τεχνολογιών αιολικής και ηλιακής ενέργειας έχει μειωθεί σημαντικά, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητά τους έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Αυτές οι μειώσεις κόστους είναι αποτέλεσμα τόσο τεχνολογικών προόδων όσο και της αυξημένης κλίμακας παραγωγής, ιδιαίτερα αξιοσημείωτες στην ταχεία ανάπτυξη και βελτίωση της αποδοτικότητας το 2023.

Παρά τις εντυπωσιακές προόδους, υπάρχουν αξιοσημείωτες ανισότητες στην ανάπτυξη «πράσινης» ενέργειας ανά ήπειρο και περιοχή. Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες παραμένουν πίσω, κυρίως λόγω έλλειψης χρηματοδότησης και υποδομών. Η Διεθνής Ενεργειακή Υπηρεσία (IEA) υπογραμμίζει την ανάγκη για επιτάχυνση ανάπτυξης για να επιτευχθεί ο φιλόδοξος στόχος που τέθηκε στη COP28 για τριπλασιασμό δυναμικότητας πράσινης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο έως το 2030. Η πρόοδος αυτή είναι κρίσιμη για την παγκόσμια μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Η συνεχιζόμενη καινοτομία στην πολιτική και η διεθνής συνεργασία θα είναι ουσιαστικές για τη διατήρηση της ορμής και την εξασφάλιση ότι τα οφέλη από την επέκταση της ανανεώσιμης ενέργειας θα είναι παγκοσμίως ισότιμα.

Το 2022, το μερίδιο της ενέργειας που καταναλώθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και προερχόταν από ανανεώσιμες πηγές έφτασε το 23%, αυξημένο από το 21,9% το 2021. Αυτή η αύξηση οφείλεται κυρίως στη σημαντική άνοδο της ηλιακής ενέργειας. Επιπλέον, το μερίδιο

των ανανεώσιμων ενισχύθηκε από τη μείωση της κατανάλωσης μη ανανεώσιμης ενέργειας λόγω των υψηλών τιμών ενέργειας. Παρά τα κέρδη αυτά, η επίτευξη του νέου στόχου του 42,5% ανανεώσιμων έως το 2030 θα απαιτήσει υπερδιπλασιασμό των ρυθμών ανάπτυξης που παρατηρήθηκαν την τελευταία δεκαετία, απαιτώντας μια βαθιά μεταμόρφωση του ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος (Eurostat, Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος, 2023)).

Στην Ε.Ε. η αναθεωρημένη Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αύξησε τον δεσμευτικό στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές στην κατανάλωση ενέργειας από 32% σε 42,5%, με στόχο την επίτευξη του 45%. Κάθε κράτος μέλος θα συμβάλλει σε αυτόν τον κοινό στόχο, αν και δεν έχουν οριστεί στόχοι για μεμονωμένες χώρες. (Διογένης, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΤΡΟΦΩΝ ΣΕ ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ, 2021)ⁱ

Σύμφωνα με την Eurostat, το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας στην ΕΕ αυξήθηκε κατά 1,2 ποσοστιαίες μονάδες, φτάνοντας το 23% το 2022, σημειώνοντας ιστορικό υψηλό. Ωστόσο, ο ρυθμός ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει επιβραδυνθεί από το 2020. Σε απόλυτους όρους, η ακαθάριστη τελική κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών αυξήθηκε κατά 5 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Mtoe) μεταξύ 2021 και 2022, λόγω της σημαντικής αύξησης της ηλιακής ενέργειας κατά 28% και της αιολικής ενέργειας κατά 6,6%. Αντίθετα, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σημείωσαν σημαντική μείωση κατά 2,9%, λόγω των υψηλών τιμών του φυσικού αερίου και των κλεισίματος πυρηνικών εργοστασίων, αυξάνοντας έτσι το σχετικό μερίδιο των ανανεώσιμων στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας της ΕΕ. (Eurostat, Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος, 2023)

Το 2022, η υψηλότερη διείσδυση των ανανεώσιμων σημειώθηκε στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, με το 41,2% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ακολούθησαν οι τομείς της θέρμανσης και της ψύξης (24,9%) και των μεταφορών (9,6%) (Eurostat, 2023).

Η στερεά βιομάζα παραμένει η μεγαλύτερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στην ΕΕ, αντιπροσωπεύοντας το 40% της συνολικής προσφοράς ανανεώσιμης ενέργειας το 2022. Χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στη βιομηχανία και στη θέρμανση κατοικιών. Η αιολική ενέργεια συνέβαλε κατά 15%, η υδροηλεκτρική ενέργεια κατά 10% και τα υγρά βιοκαύσιμα κατά 7%. Η συμβολή των αντλιών θερμότητας και των φωτοβολταϊκών αυξάνεται ραγδαία, αντιπροσωπεύοντας περίπου 7% της συνολικής προσφοράς ανανεώσιμων της ΕΕ. Άλλες σημαντικές ανανεώσιμες πηγές περιλαμβάνουν το βιοαέριο, τα ανανεώσιμα απόβλητα, τη γεωθερμία και τη θερμική ηλιακή ενέργεια (Eurostat, 2023).

Μακροπρόθεσμα, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει υπερδιπλασιαστεί από το 2005 έως το 2022, λόγω των αφιερωμένων πολιτικών, των προγραμμάτων υποστήριξης και της αυξημένης οικονομικής ανταγωνιστικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η

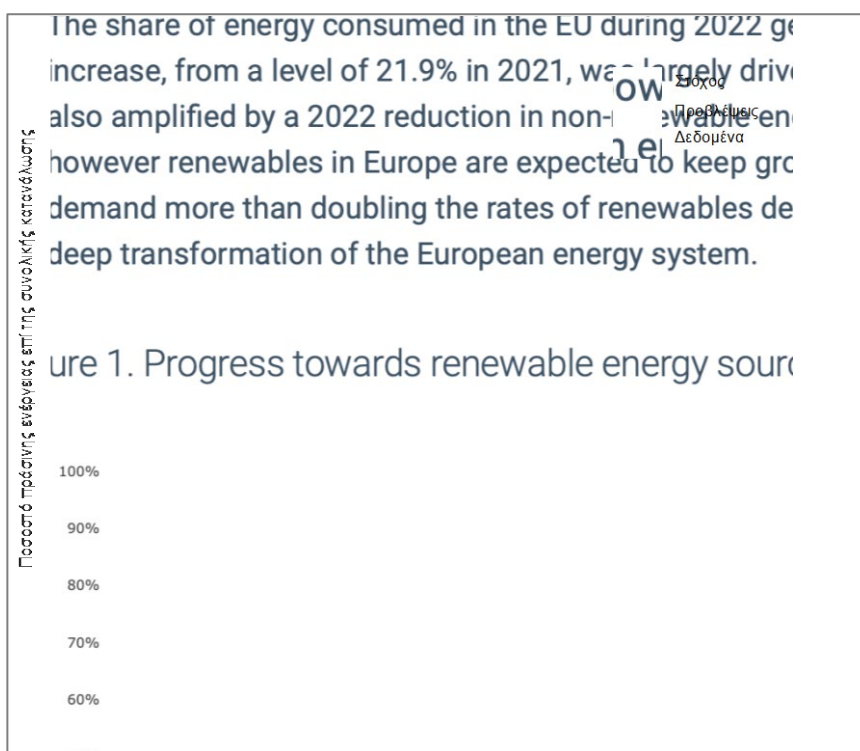
αύξηση αντιπροσωπεύει έναν σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 3,7% την τελευταία δεκαετία (Eurostat, 2023).

Σύμφωνα με μοντέλα του Διεθνούς Οργανισμού

Ενέργειας (IEA) και της Ember, η επίτευξη του νέου στόχου του 42,5% μπορεί να είναι εφικτή με ταχεία και αποφασιστική δράση για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η ταχεία ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών και των αντλιών

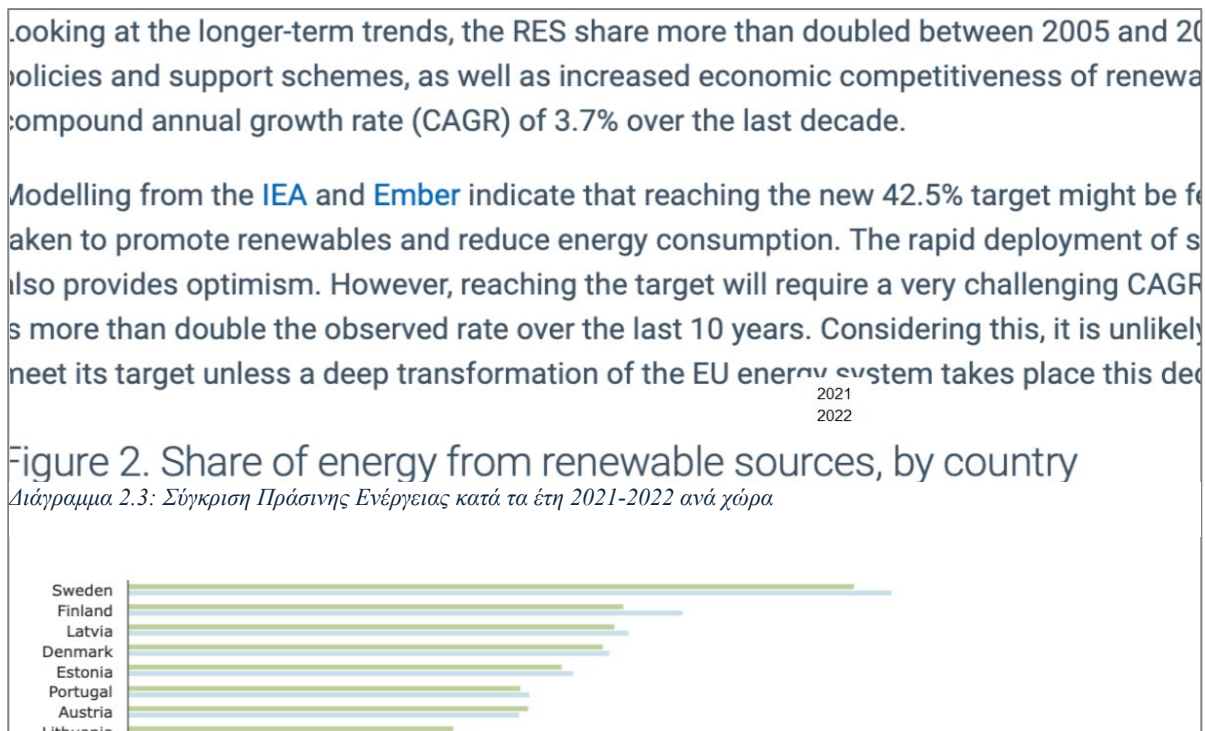
θερμότητας παρέχει αισιοδοξία. Ωστόσο, η επίτευξη του στόχου θα

απαιτήσει έναν πολύ δύσκολο σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 8% μέχρι το 2030, διπλάσιο από τον παρατηρηθέντα ρυθμό την τελευταία δεκαετία. Μια βαθιά μεταμόρφωση του ενεργειακού συστήματος της ΕΕ είναι απαραίτητη για την επίτευξη αυτού του στόχου, καλύπτοντας όλους τους τομείς. (Energy, 2023)



Διάγραμμα 2.2: Ποσοστό Πράσινης Ενέργειας επί της Συνολικής Πηγής : European Environment Agency

Το 2022, η Σουηδία, η Φινλανδία και η Λετονία είχαν τα υψηλότερα μερίδια ΑΠΕ μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ, λόγω των ισχυρών υδροηλεκτρικών βιομηχανιών και της εκτεταμένης χρήσης στερεών βιοκαυσίμων. Αντίθετα, η Ιρλανδία και η Μάλτα ανέφεραν τη χαμηλότερη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, περίπου 13% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Μακροπρόθεσμα, η Σουηδία, η Δανία και η Εσθονία έχουν σημειώσει τη μεγαλύτερη αύξηση στα μερίδια ΑΠΕ, με περισσότερες από 20 ποσοστιαίες μονάδες αύξηση από το 2005. Αντίθετα, η Ρουμανία και η Σλοβενία έχουν δει αύξηση λιγότερη από επτά ποσοστιαίες μονάδες την ίδια περίοδο (Eurostat, 2023).



Πηγή: European Environment Agency

Στον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο, η Νορβηγία και η Ισλανδία έχουν μερίδια ΑΠΕ άνω του 70%, παράγοντας το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής τους ενέργειας από υδροηλεκτρική ενέργεια και, στην περίπτωση της Ισλανδίας, γεωθερμική ενέργεια για θέρμανση. Αυτά τα στοιχεία αντικατοπτρίζουν την πρόοδο της ΕΕ προς την επίτευξη των στόχων της για το 2020 και το 2030 σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος, 2023).

Ωστόσο, με τις τρέχουσες πολιτικές και τις συνθήκες της αγοράς, η αναμενόμενη ανάπτυξη προβλέπεται να φτάσει μόνο τα 7.300 GW έως το 2028, το οποίο είναι ανεπαρκές για την επίτευξη αυτού του στόχου. Η άριστη ανάπτυξη απαιτεί ενισχυμένους χρηματοδοτικούς μηχανισμούς και υποστηρικτικές πολιτικές, ιδιαίτερα στις αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες οικονομίες. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων είναι κρίσιμη για την ισότιμη πρόσβαση στην ενέργεια και τη βιώσιμη ανάπτυξη παγκοσμίως. Για να διατηρηθεί η δυναμική και να διασφαλιστεί ότι τα οφέλη από την επέκταση της ανανεώσιμης ενέργειας διανέμονται καθολικά, είναι απαραίτητες συνεχείς καινοτομίες στην πολιτική και η διεθνής συνεργασία. Οι κυβερνήσεις στρέφονται ολοένα και περισσότερο σε διάφορα μέτρα πολιτικής, όπως

κίνητρα που συνδέονται με την παραγωγή και φορολογικές ελαφρύνσεις, τα οποία έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στην υποστήριξη του τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, οι τεχνολογικές καινοτομίες συνεχίζουν να παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντος των ανανεώσιμων πηγών. Οι πρόοδοι στις υποδομές δικτύων, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και τις τεχνολογίες πρόγνωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι κρίσιμες για την ενσωμάτωση της αυξανόμενης συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μείγμα. Η μετάβαση στην ανανεώσιμη ενέργεια δεν είναι απλώς μια αναγκαία απάντηση στην κλιματική αλλαγή, αλλά και μια ευκαιρία για την προώθηση ενός βιώσιμου, ασφαλούς και δίκαιου παγκόσμιου ενεργειακού μέλλοντος. Τα δεδομένα του 2023 χρησιμεύουν τόσο ως σημείο αναφοράς όσο και ως έκκληση για επιταχυνόμενες προσπάθειες και στρατηγικά πολιτικά πλαίσια για την επίτευξη και την υπέρβαση των φιλόδοξων στόχων που έχουν τεθεί από τις παγκόσμιες κοινότητες.

2.1.2 Εξέλιξη Τεχνολογιών Α.Π.Ε.

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι κάθε άλλο παρά ένα σύγχρονο φαινόμενο. Στο παρόν κεφάλαιο συνοψίζεται η εξελικτική πορεία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από την αρχαιότητα έως σήμερα.

ο Α.Π.Ε κατά την αρχαιότητα

Οι αρχαίοι πολιτισμοί αξιοποιούσαν τις φυσικές δυνάμεις για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες πολύ πριν από την έλευση των σύγχρονων τεχνολογιών. Η χρήση ανανεώσιμης ενέργειας στην αρχαιότητα υπογραμμίζει την μακροχρόνια εξάρτηση της ανθρωπότητας από τους φυσικούς πόρους για την επιβίωση και την ανάπτυξη. Αυτές οι πρώιμες τεχνολογίες έθεσαν τα θεμέλια για τις σύγχρονες λύσεις ανανεώσιμης ενέργειας. Επίσης, καταδεικνύουν μια πρώιμη κατανόηση των βιώσιμων πρακτικών, καθώς οι αρχαίοι λαοί χρησιμοποιούσαν ανανεώσιμους πόρους για να καλύψουν τις ανάγκες τους χωρίς να τους εξαντλούν.

Ακολουθεί μια επισκόπηση του πώς χρησιμοποιήθηκαν μερικές από αυτές τις πρώιμες τεχνολογίες:

ο Αιολική Ενέργεια:

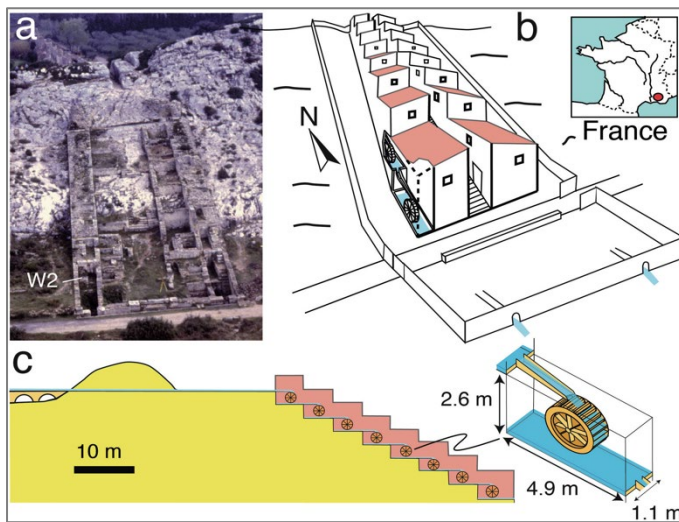
Οι αρχαίοι Πέρσες ήταν από τους πρώτους που αξιοποίησαν την αιολική ενέργεια, χρησιμοποιώντας ανεμόμυλους ήδη από το 500-900 μ.Χ. για να αλέθουν σιτηρά και να αντλούν νερό. Αυτοί οι πρώιμοι ανεμόμυλοι ήταν κατασκευασμένοι συνήθως από ψάθες και ξύλο και αποτελούσαν βασικό μέρος των γεωργικών και υδάτινων πρακτικών διαχείρισης σε άνυδρες περιοχές (MDPI).



Εικόνα 2.1: Πρώτη Τεχνολογία Αιολικής Ενέργειας Πηγή: *Ancient Origins, Early Uses of Wind and Watern Energy. National Geographic*

ο Υδροηλεκτρική Ενέργεια:

Οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι ήταν πρωτοπόροι στη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ανέπτυξαν νερόμυλους για να εκτελούν μηχανικές εργασίες όπως η άλεση των σιτηρών σε αλεύρι. Οι ρωμαϊκοί υδρόμυλοι ήταν εξαιρετικά προηγμένοι για την εποχή τους, χρησιμοποιώντας συνδυασμό γραναζιών και μηχανικής για να μετατρέψουν αποδοτικά την κινητική ενέργεια του ρέοντος νερού σε μηχανική ενέργεια. Ένα από τα πιο διάσημα παραδείγματα είναι το συγκρότημα μύλων Barbegal στη Γαλλία, το οποίο μπορούσε να παράγει σημαντική ποσότητα αλευριού καθημερινά (Oxford Academic).



Εικόνα 2.2: Πρώτη Τεχνολογία Υδροηλεκτρικής Ενέργειας Πηγή: *Ancient Origins, Early Uses of Wind and Watern Energy. National Geographic*

ο Ηλιακή Ενέργεια:

Οι αρχαίοι πολιτισμοί κατανοούσαν επίσης τη δύναμη του ήλιου. Οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι σχεδίαζαν τα σπίτια και τα δημόσια κτίριά τους για να μεγιστοποιούν την ηλιακή θέρμανση. Προσανατόλιζαν τα κτίρια για να συλλαμβάνουν τον περισσότερο ήλιο κατά τους χειμερινούς μήνες, παρέχοντας παράλληλα σκιά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Αυτός ο παθητικός ηλιακός σχεδιασμός περιλάμβανε τη χρήση μεγάλων παραθύρων με νότιο προσανατολισμό και υλικών θερμικής μάζας όπως η πέτρα και το τούβλο για να απορροφούν και να αποθηκεύουν ηλιακή θερμότητα

ο Βιομάζα:

Η βιομάζα χρησιμοποιείται από τότε που οι άνθρωποι ανακάλυψαν τη φωτιά. Οι αρχαίοι λαοί έκαιγαν ξύλο και άλλα οργανικά υλικά για μαγείρεμα, θέρμανση και φως. Αυτή η πρακτική ήταν όχι μόνο απαραίτητη για την καθημερινή ζωή αλλά και για την επεξεργασία μετάλλων

και κεραμικής. Με τον καιρό, εξελίχθηκαν πιο εξελιγμένες μέθοδοι χρήσης βιομάζας, όπως η παραγωγή ξυλοκάρβουνου, το οποίο καίγεται πιο θερμά και καθαρά από το ξύλο

ο A.Π.Ε. Σήμερα

Σήμερα, η εξέλιξη των τεχνολογιών πράσινης ενέργειας αποτελεί ένα παιχνίδι καινοτομίας, καθοδηγούμενο από την επείγουσα ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και βελτίωσης της ενεργειακής ασφάλειας. Αυτή η εξέλιξη μπορεί να εντοπιστεί μέσα από διάφορες βασικές φάσεις και προόδους σε διαφορετικούς τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα και η γεωθερμική ενέργεια.

ο Υδροηλεκτρική Ενέργεια:

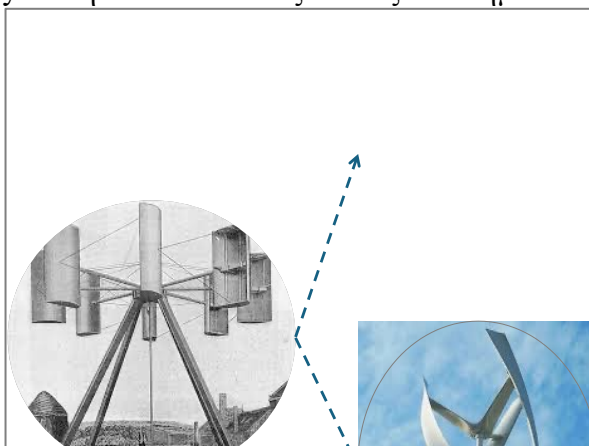
Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια από τις αρχαιότερες μορφές βιώσιμης ενέργειας, με τους νερόμυλους να χρησιμοποιούνται για μηχανικές εργασίες από την αρχαία Ελλάδα. Το πρώτο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο κατασκευάστηκε το 1882 στο Ουισκόνσιν, ΗΠΑ. Από τότε, η τεχνολογία υδροηλεκτρικής ενέργειας έχει εξελιχθεί σημαντικά, με σύγχρονα μεγάλης κλίμακας εργοστάσια να ενσωματώνουν εξελιγμένες τουρμπίνες και γεννήτριες για να μεγιστοποιήσουν την αποδοτικότητα και την ενεργειακή απόδοση.



Εικόνα 2.3: Ενδεικτικό Σύστημα Υδροηλεκτρικής Ενέργειας Μεγάλης Κλίμακας Πηγή: *Ancient Origins, Early Uses of Wind and Watern Energy. National Geographic*

ο Αιολική Ενέργεια:

Η πρώτη ανεμογεννήτρια που παρήγαγε ηλεκτρικό ρεύμα αναπτύχθηκε το 1887 από τον James Blyth στη Σκωτία. Ο 20ός αιώνας είδε σημαντικές τεχνολογικές βελτιώσεις, ιδιαίτερα με την ανάπτυξη των ανεμογεννητριών με οριζόντιο άξονα, που έγιναν το πρότυπο σχέδιο. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες έχουν εξελιχθεί για να γίνουν εξαιρετικά αποδοτικές, με προόδους στην αεροδυναμική, τα υλικά και τα συστήματα ελέγχου. Καινοτομίες όπως οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν ανοίξει νέους ορίζοντες για την αιολική ενέργεια, με τη δυνατότητα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες και υψηλότερες ταχύτητες ανέμου στη θάλασσα. Οι πλωτές ανεμογεννήτριες είναι μια καινοτομική

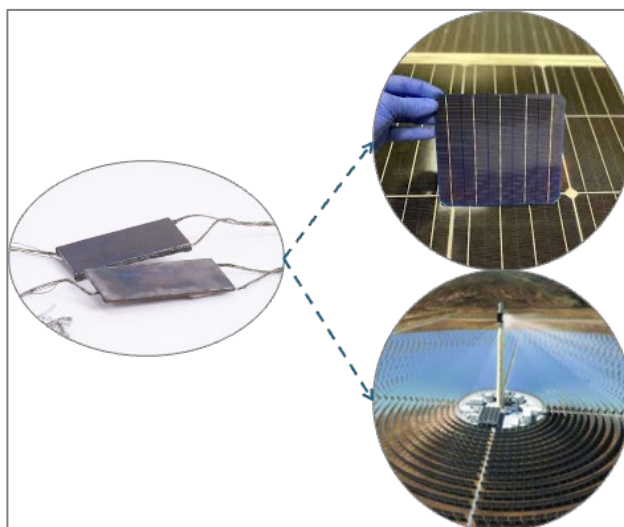


Εικόνα 2.4: Εξέλιξη Αιολικής Ενέργειας Πηγή: *Ancient Origins, Early Uses of Wind and Watern Energy. National Geographic*

τεχνολογία, η οποία επιτρέπει την ανάπτυξη συστημάτων σε βαθύτερα νερά όπου οι εγκατάσταση σταθερών ανεμογεννητριών δεν είναι εφικτή. (Ζορμπαδάκης, 2023)

ο Ηλιακή Ενέργεια:

Η ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου από τον Edmond Becquerel το 1839 έθεσε τα θεμέλια για τις διάφορες τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας. Το πρώτο πρακτικό φωτοβολταϊκό (PV) κύτταρο αναπτύχθηκε στα Bell Labs το 1954. Αρχικά, η τεχνολογία ηλιακών φωτοβολταϊκών χρησιμοποιήθηκε κυρίως για διαστημικές εφαρμογές. Με τα χρόνια, οι εξελίξεις στην επιστήμη των υλικών και τις διαδικασίες κατασκευής μείωσαν σημαντικά το κόστος και αύξησαν την αποδοτικότητα των ηλιακών πάνελ, καθιστώντας τα βιώσιμα για ευρεία χρήση στη γη. Η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών κυττάρων έχει αυξηθεί σημαντικά, από περίπου 6% τη δεκαετία



Εικόνα 2.5: Εξέλιξη Ηλιακής Ενέργειας Πηγή: Ancient Origins, Early Uses of Wind and Water Energy. National Geographic

του 1950 σε πάνω από 22% για ορισμένα εμπορικά προϊόντα σήμερα. Όσον αφορά τον ηλιακό θερμοσίφωνα αναπτύχθηκε στις αρχές του 20ού αιώνα, γνώρισε σημαντική εξάπλωση τη δεκαετία του 1970 λόγω της ενεργειακής κρίσης, προσφέροντας μια οικονομική και αποδοτική λύση για τη θέρμανση νερού. Με την πάροδο των δεκαετιών, η τεχνολογία του βελτιώθηκε με την εισαγωγή επιλεκτικών συλλεκτών και ανθεκτικών υλικών, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας τις θερμικές απώλειες. Σήμερα, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες αποτελούν ώριμη και αξιόπιστη τεχνολογία, συμβάλλοντας στη μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και στην προστασία του περιβάλλοντος, ενώ η συνεχής έρευνα υπόσχεται περαιτέρω βελτιώσεις στο μέλλον. (Khaled Obaideen, Abdul Ghani Olabi, Yaser AI Swailmeen, Nabila Shehata, Mohammad Ali Abdelkareem, Abdul Hai Alami, Cristina Rodriguez, Enas Taha Sayed, 2023)

Κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί πως στο "Solar Energy: Applications, Trends Analysis, Bibliometric Analysis and Research Contribution to Sustainable Development Goals (SDGs)" αναδεικνύεται η ξεχωριστή θέση της ηλιακής ενέργειας τόσο για την σταθερότητα και αξιοπιστία της, όσο και για την σχέση κόστους απόδοσης.

ο Αποθήκευση Ενέργειας:

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, ιδιαίτερα οι μπαταρίες, έχουν σημειώσει ραγδαίες εξελίξεις, καθοδηγούμενες από την ανάγκη ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης για ασφαθε·

ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή και η αιολική. Οι μπαταρίες λιθίου-ιόντων έχουν γίνει η κυρίαρχη τεχνολογία λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και της πτώσης του κόστους τους. Άλλες τεχνολογίες, όπως οι ροής μπαταρίες και οι στερεάς κατάστασης μπαταρίες, αναπτύσσονται για να προσφέρουν λύσεις αποθήκευσης μεγαλύτερης διάρκειας.

- ο Ενσωμάτωση Δικτύου και Έξυπνα Δίκτυα:

Καθώς το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μείγμα αυξάνεται, η ενσωμάτωση αυτών των μεταβλητών πηγών στο δίκτυο αποτελεί μια πρόκληση. Οι τεχνολογίες έξυπνων δικτύων, που χρησιμοποιούν ψηφιακές επικοινωνίες και αυτοματισμούς για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του συστήματος ισχύος, είναι απαραίτητες για τη διαχείριση της μεταβλητής απόδοσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Καινοτομίες στη διαχείριση δικτύου, όπως η απόκριση στη ζήτηση και οι προηγμένες τεχνικές πρόβλεψης, είναι επίσης κρίσιμες για τη μέγιστη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών.

- ο Βιοενέργεια:

Οι τεχνολογίες βιοενέργειας έχουν εξελιχθεί από απλά συστήματα καύσης σε προηγμένα βιοκαύσιμα και παραγωγή βιοαερίου. Τα δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμα, που προέρχονται από μη τροφική βιομάζα, και τα τρίτης γενιάς βιοκαύσιμα, όπως τα καύσιμα από άλγη, είναι περιοχές ενεργούς έρευνας. Οι προόδοι στην τεχνολογία ενζύμων και τις διαδικασίες ζύμωσης βελτιώνουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα της παραγωγής βιοκαυσίμων.

- ο Γεωθερμική Ενέργεια (Γεωθερμία):

Η γεωθερμική τεχνολογία έχει επεκταθεί από τους παραδοσιακούς υδροθερμικούς πόρους, που απαιτούν φυσικές θερμοπηγές, σε προηγμένα γεωθερμικά συστήματα (EGS) που δημιουργούν γεωθερμικές δεξαμενές σε ζεστό ξηρό πέτρωμα μέσω υδραυλικής διέγερσης. Αυτό έχει τη δυνατότητα να απελευθερώσει τεράστιες ποσότητες γεωθερμικής ενέργειας από προηγούμενως απρόσιτους πόρους.

Το μέλλον των τεχνολογιών πράσινης ενέργειας έγκειται στη συνεχιζόμενη καινοτομία και στην αντιμετώπιση των υπαρχόντων προκλήσεων. Κλάδοι όπως τα προηγμένα υλικά, η τεχνητή νοημοσύνη για προληπτική συντήρηση και διαχείριση δικτύου, και τα υβριδικά ανανεώσιμα συστήματα που συνδυάζουν πολλαπλούς τύπους πηγών ενέργειας αναμένεται να εξελιχθούν ραγδαία και να οδηγήσουν σε περαιτέρω προόδους. Επιπλέον, η διεθνής συνεργασία και οι υποστηρικτικές πολιτικές θα είναι κρίσιμες για την επιτάχυνση της παγκόσμιας μετάβασης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας σε συστήματα θερμοσίφωνα αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία βιώσιμης ενέργειας. Με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση του νερού ή την παραγωγή ατμού, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες

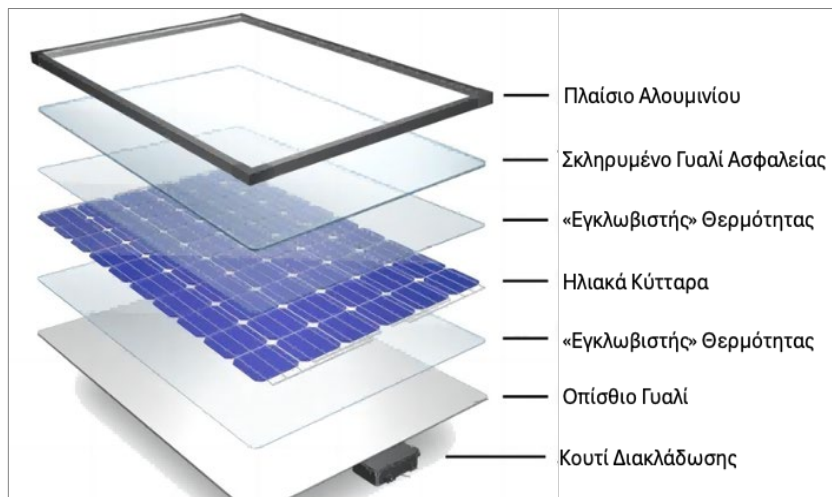
μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο μειώνει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα αλλά και μειώνει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στη διατήρηση του περιβάλλοντος και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής (Rouhollah FarhadiMorteza, TakiMorteza Taki, 2020)

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες λειτουργούν με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι μετατρέπουν το ηλιακό φως σε θερμική ενέργεια. Αυτή η θερμική ενέργεια στη συνέχεια μεταφέρεται σε ένα λειτουργικό ρευστό, συνήθως νερό, το οποίο θερμαίνεται και αποθηκεύεται για μετέπειτα χρήση. Η απόδοση και η αποτελεσματικότητα των ηλιακών θερμοσιφώνων εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου των ηλιακών συλλεκτών (επιλεκτικούς, κενού) που χρησιμοποιούνται, του σχεδιασμού του συστήματος (θερμοσιφωνικό σύστημα, βεβιασμένης κυκλοφορίας) της γεωγραφικής τοποθεσίας και της κλιματικής ζώνης (Andaş Batur Çolak , Safak Metin Kirkar , Alişan Gönül , Ahmet Selim Dalkilic, 2024)

Τα επόμενα κεφάλαια θα εξετάσουν διάφορες πτυχές της ηλιακής ενέργειας και των θερμοσιφώνων, προσφέροντας μια συνολική ανάλυση της λειτουργίας τους, των πλεονεκτημάτων τους και του μελλοντικού δυναμικού τους.

2.2.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Οι φωτοβολταϊκά αποτελούνται από ηλιακά κύτταρα κατασκευασμένα από ημιαγωγικά



Εικόνα 2.6: Μέρη Φωτοβολταϊκού Συστήματος Πηγή: <https://www.fotovoltaiika.gr>

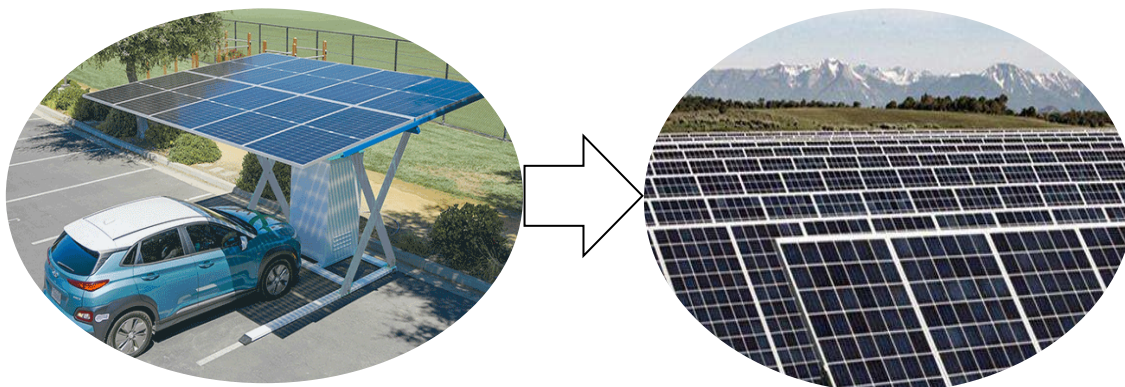
υλικά, κυρίως όπως το πυρίτιο και σκοπός τους είναι η μετατροπή των ηλιακών ακτίνων όχι σε θερμότητα αλλά σε ηλεκτρισμό.

Όταν το ηλιακό φως χτυπά αυτά τα κύτταρα, διεγείρει τα ηλεκτρόνια, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των

φωτοβολταϊκών έχουν αυξήσει σημαντικά την απόδοση και μειώσει το κόστος των ηλιακών πάνελ, καθιστώντας τα μια βιώσιμη επιλογή για τις ενεργειακές ανάγκες τόσο των κατοικιών όσο και των εμπορικών εφαρμογών.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να αναπτυχθούν σε διάφορες κλίμακες, από μικρές εγκαταστάσεις σε ταράτσες έως μεγάλες ηλιακές φάρμες.



Εικόνα 2.7: Κλίμακα Μεγέθους Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Πηγή : <https://www.fotovoltaiika.gr>

Η ευελιξία και η κλιμακωτότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων τα καθιστούν κρίσιμο στοιχείο της παγκόσμιας μετάβασης προς την ανανεώσιμη ενέργεια. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), τα φωτοβολταϊκά συστήματα ήταν υπεύθυνα για σχεδόν το 75% της παγκόσμιας αύξησης της ανανεώσιμης ενεργειακής χωρητικότητας το 2023, υπογραμμίζοντας τη συνεχώς αυξανόμενη σημασία τους (IEA, 2024).

2.2.2 Ηλιακά Θερμικά Συστήματα

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα αποτελούν βασική πτυχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σχεδιασμένα για να αξιοποιούν την ενέργεια του ήλιου για εφαρμογές θέρμανσης. Αυτά τα συστήματα συλλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια, μέσω συστήματος που θα αναλυθεί παρακάτω. Αυτή η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τη θέρμανση νερού, χώρων ή σε βιομηχανικές διαδικασίες, ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλιακούς θερμικούς σταθμούς. Τα βασικά στοιχεία και οι τύποι των ηλιακών θερμικών συστημάτων είναι καθοριστικά για την κατανόηση της λειτουργίας τους και των πλεονεκτημάτων τους.



Εικόνα 2.9: Ηλιακό Θερμικό Σύστημα

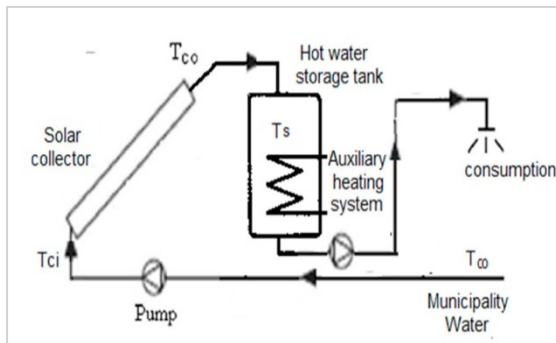
Πηγή: Olympic_sun Εταιρεία κατασκευής ηλιακών θερμοσιφώνων:
<https://olympicsun.gr>



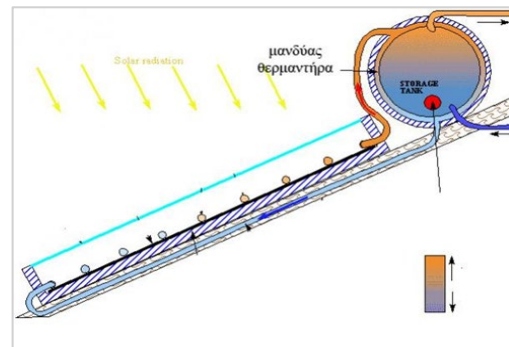
Εικόνα 2.8: Δεξαμενή Λεβητοστασίου

Τα συστήματα ηλιακής θέρμανσης νερού ταξινομούνται σε θερμοσιφωνικά ή βεβιασμένης κυκλοφορίας και σε ανοικτού κυκλώματος ή κλειστού κυκλώματος. Τα θερμοσιφωνικά συστήματα βασίζονται στη φυσική κυκλοφορία του νερού μέσω των συλλεκτών αποτελούνται από ένα ή δύο συλλέκτες (αναλόγως τα λίτρα) τη δεξαμενή αποθήκευσης και μια βάση στήριξης. Τα θερμοσιφωνικά συστήματα αποτελούν την πιο διαδεδομένη και οικονομικότερη λύση. Τα βεβιασμένης κυκλοφορίας συστήματα αποτελούνται από τους συλλέκτες και μια δεξαμενή αποθήκευσης λεβητοστασίου και χρησιμοποιούν ηλεκτρικές αντλίες και βαλβίδες για τον έλεγχο της κυκλοφορίας του θερμικού υγρού, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία, καθώς η δεξαμενή ζεστού νερού δεν χρειάζεται να είναι πάνω ή κοντά στους συλλέκτες. Όλα τα συστήματα ηλιακής θέρμανσης νερού μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανοικτού ή κλειστού κυκλώματος, ανάλογα με το αν το νερό του σπιτιού θερμαίνεται απευθείας στον συλλέκτη ή μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος, το υγρό που θερμαίνεται στους συλλέκτες είναι πόσιμο νερό, το οποίο ρέει απευθείας στη βρύση. Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος το δοχείο αποθήκευσης θερμαίνεται μέσω ενός μανδύα (εναλλάκτης θερμότητας) στον οποίο ρέει το θερμαινόμενο υγρό (προπυλενογλυκόλη) προτείνεται συνήθως όπου υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης ή πάγωσης του υγρού, όπου ο εναλλάκτης θερμότητας γίνεται απαραίτητο στοιχείο. Ο εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να είναι αποσπώμενος ή να βρίσκεται στο δοχείο αποθήκευσης ZNX είτε ως μανδύας είτε ως σερπαντίνα. Όταν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί για να παρέχει την επιθυμητή θερμοκρασία, χρησιμοποιείται μια βοηθητική πηγή θερμότητας όπως Α/Θ Λέβητας ηλεκτρική αντίσταση κλπ. Τα βασικά στοιχεία των ηλιακών θερμοσιφώνων μπορούν να διαμορφωθούν σε διάφορες διατάξεις συστημάτων, με την απόδοσή τους να έχει μελετηθεί εκτενώς σε πρόσφατες έρευνες. Το σχηματικό διάγραμμα των ηλιακών συστημάτων απεικονίζεται στα Σχήματα 1. και 2. Όταν υπάρχει έλλειψη ηλιακής ενέργειας, ενεργοποιείται το βοηθητικό σύστημα για να διατηρήσει τη θερμοκρασία του νερού. Η μοντελοποίηση της

θερμικής απόδοσης του συστήματος εκτελέστηκε για να προσδιοριστεί η απόδοση και να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας και σχεδίασης.



Σχήμα 1: Σύστημα ηλιακής θέρμανσης με βεβαιωμένη κυκλοφορία Πηγή: <https://iliakoi.wordpress.com>



Σχήμα 2: Ηλιακό θερμοσιφωνικό σύστημα Πηγή: <https://iliakoi.wordpress.com>

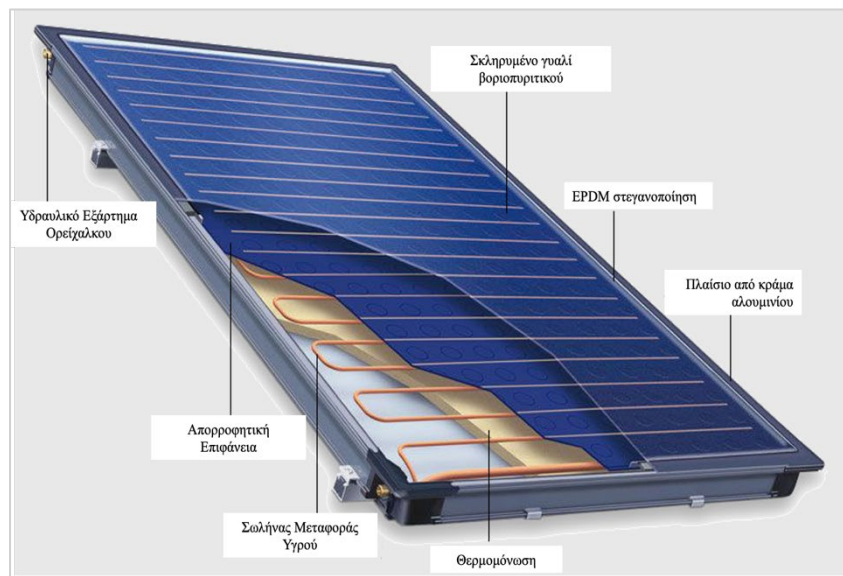
ο Τύποι Ηλιακών Συλλεκτών

Ο ηλιακός συλλέκτης θεωρείται ο πυρήνας οποιουδήποτε ηλιακού συστήματος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι ταξινομούνται ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Παρακάτω αναλύονται οι διάφορες τεχνολογίες ηλιακών θερμικών συστημάτων, βάσει του συλλέκτη που χρησιμοποιούν, ταξινομημένες σύμφωνα με το εύρος εφαρμογών τους, από τις πιο περιορισμένης χρήσης έως τις τεχνολογίες που ενδείκνυνται για εκτεταμένες εφαρμογές

ο Συλλέκτες Επίπεδων Πλακών (Flat-Plate Collectors):

Οι συλλέκτες επίπεδων πλακών είναι μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες ηλιακής θέρμανσης. Αποτελούνται από ένα επίπεδο, μονωμένο σκαφάκι συνήθως κατασκευασμένο από αλουμίνιο με ένα διαφανές κρύσταλλο ασφαλείας και την απορροφητική πλάκα. Η απορροφητική πλάκα συλλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία και μεταφέρει τη θερμότητα σε ένα ρευστό (συνήθως νερό ή διάλυμα αντιψυκτικού) που ρέει μέσα από τον χάλκινο υδροσκελετό. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως για οικιακή θέρμανση νερού βιομηχανικές εγκαταστάσεις και ξενοδοχειακές μονάδες λόγω της απλότητας και της αποτελεσματικότητάς τους (Duffie & Beckman, 2013; Kalogirou, 2014).

Η ωφέλιμη ενέργεια του συλλέκτη (Q_u) υπολογίζεται με βάση συγκεκριμένους τύπους που λαμβάνουν υπόψη την επιφάνεια του συλλέκτη, τη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου, και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 2.10 Μέρη Συλλεκτών Επίπεδων Πλακών

Πηγή: <https://master-el.decorapro.com>

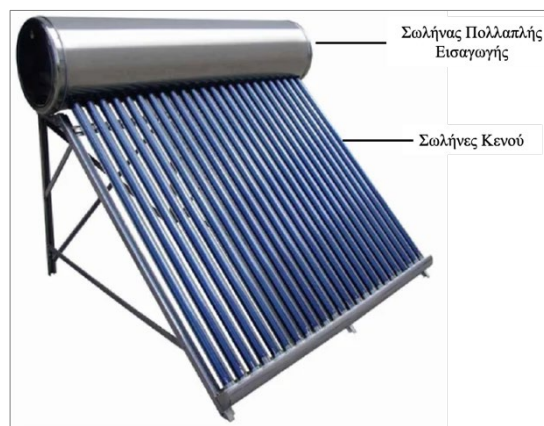
$$Q_u = \eta_c H A_c$$

$$T_{co} = 3600 Q_u / (m_c C_p) + T_{ci}$$

Όπου A_c είναι η επιφάνεια του συλλέκτη [m^2], C_p είναι η ειδική θερμότητα [$J/kg/K$], η παροχή μάζας του νερού [kg/hr], T_{ci} και T_{co} είναι οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού στον ηλιακό συλλέκτη αντίστοιχα [$^{\circ}C$], H είναι η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον συλλέκτη [W/m^2] και η συνολική απόδοση του ηλιακού συλλέκτη.

- Συλλέκτες Σωλήνων Κενού (Vacuum Tube Collectors):

Οι συλλέκτες σωλήνων κενού είναι πιο αποδοτικοί από τους συλλέκτες επίπεδων πλακών, ιδιαίτερα σε ψυχρότερα κλίματα. Αποτελούνται από παράλληλες σειρές γυάλινων σωλήνων, καθένας από τους οποίους περιέχει έναν χάλκινο απορροφητή που περιβάλλεται από κενό. Το κενό μειώνει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας, επιτρέποντας σε αυτούς τους συλλέκτες να επιτυγχάνουν υψηλότερες θερμοκρασίες. Είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή θερμοκρασία, όπως βιομηχανικές διεργασίες και θέρμανση μεγάλης κλίμακας (Jitendra Satpute, 2018). Στις χώρες με έντονη ηλιοφάνεια όπως η Ελλάδα δεν ενδείκνυνται η χρήση τους λόγω προβλημάτων υπερθέρμανσης στις εγκαταστάσεις.



Εικόνα 2.11: Μέρη Συλλεκτών Σωληνών Κενού
Πηγή: <https://master-el.decorpro.com>

- Συγκεντρωτικοί Ηλιακοί Συλλέκτες (Concentrating Solar Collectors):

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς για να εστιάσουν την ηλιακή ακτινοβολία σε μια μικρή περιοχή, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του απορροφητή. Αυτά τα συστήματα μπορούν να επιτύχουν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας παραγωγής ενέργειας και βιομηχανικών διεργασιών. Κοινοί τύποι περιλαμβάνουν παραβολικούς κατόπτρους, ηλιακούς πύργους και παραβολικά πιάτα (Boyle, 2012; Duffie & Beckman, 2013).



Εικόνα 2.12: Τεχνολογίες Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων Πηγή: Boyle, 2012; Duffie & Beckman, 2013)

- Κύρια Στοιχεία

- Ηλιακοί Συλλέκτες:

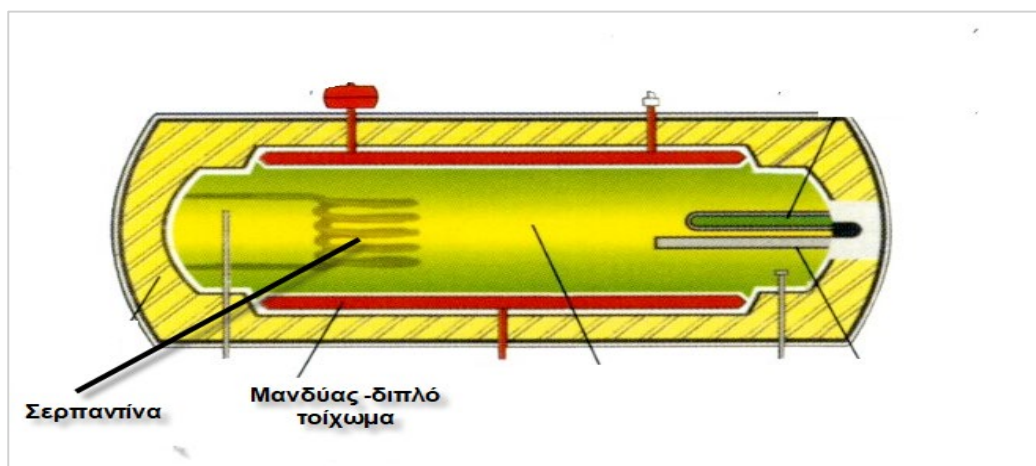
Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι το κύριο στοιχείο που συλλαμβάνει και μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Ο σχεδιασμός και η αποδοτικότητά τους είναι κρίσιμα για τον καθορισμό της συνολικής απόδοσης του ηλιακού θερμικού συστήματος.

- ο Ρευστό Μεταφοράς Θερμότητας:

Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί μέσω των συλλεκτών, απορροφώντας θερμότητα και τη μεταφέρει στο σημείο αποθήκευσης ή χρήσης. Συνηθισμένα ρευστά περιλαμβάνουν το νερό και διαλύματα αντιψυκτικών όπως η προπυλενογλυκόλη, επιλεγμένα με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις θερμοκρασίας και εφαρμογής (Çengel, Y.A. and Ghajar, 2011).

- ο Εναλλάκτες Θερμότητας:

Οι εναλλάκτες θερμότητας μεταφέρουν τη θερμότητα από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας στην τελική χρήση, όπως το νερό σε μια δεξαμενή αποθήκευσης ή άμεσα σε μια βιομηχανική διαδικασία. Οι εναλλάκτες θερμότητας πρέπει να είναι αποδοτικοί και σωστά διαστασιολογισμένοι για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος. Οι συνηθέστερες μορφές εναλλακτών σε ένα σύστημα είναι ο μανδύας (tank in tank) και η σερπαντίνα (Holman, 2010)



Εικόνα 2.13: Εναλλάκτης Θερμότητας, Πηγή: <https://oaedhlectrologoi.blogspot.com>

- ο Δεξαμενές Αποθήκευσης:

Οι δεξαμενές αποθήκευσης κρατούν το θερμαινόμενο ρευστό. Η σωστή μόνωση και ο σχεδιασμός των δεξαμενών αποθήκευσης είναι απαραίτητα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας και τη διατήρηση της αποδοτικότητας του συστήματος (John A. Duffie & William A. Beckman, 2013). Συνήθως στα βεβιασμένης κυκλοφορίας συστήματα η μόνωση αποτελείται από ελαστική πολουρεθάνη επενδυμένη με δερματίνη ενώ στα θεμοσιφωνικά συστήματα από υγρό αφρό πολουρεθάνης επενδυμένη με προβαμμένη λαμαρίνα για την προστασία από τον ήλιο.

- ο Εφαρμογές

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- ο Οικιακή Θέρμανση Νερού:

Χρησιμοποιείται εκτενώς σε οικιακές εγκαταστάσεις για την παροχή ζεστού νερού για τις ανάγκες του σπιτιού.

- ο Θέρμανση Χώρων:

Εφαρμόζεται σε οικιακά και εμπορικά κτίρια για τη θέρμανση χώρων.

- ο Βιομηχανικές Διεργασίες:

Χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες όπου απαιτείται υψηλή θερμοκρασία για διεργασίες όπως η ξήρανση, η παστερίωση και οι χημικές αντιδράσεις.

- ο Παραγωγή Ενέργειας:

Τα συστήματα συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) παράγουν ηλεκτρισμό σε μεγάλη κλίμακα εστιάζοντας την ηλιακή ενέργεια για να παράγουν ατμό, ο οποίος κινεί τις τουρμπίνες.

Η παρούσα εργασία αφορά στην πρώτη αναγραφόμενη χρήση, ήτοι «οικιακή θέρμανση νερού» και για τον σκοπό αυτό στο πείραμα που διεξήχθη χρησιμοποιήθηκαν συλλέκτες επίπεδων πλακών.

2.2.3 Ηλιακοί Θερμοσίφωνες

Αφού αναλύσαμε τις βασικές αρχές και τους τύπους των ηλιακών θερμικών συστημάτων, θα επικεντρωθούμε τώρα σε μία από τις πιο κοινές και ευρέως χρησιμοποιούμενες εφαρμογές αυτών των συστημάτων, τους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες αποτελούν μια αποδοτική λύση για την παροχή ζεστού νερού κυρίως για οικιακή χρήση αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη των καθημερινών αναγκών θέρμανσης νερού.



Εικόνα 2.14: Ηλιακός Θερμοσίφωνας
Πηγή: <https://www.4green.gr/news/data>

- ο Πλεονεκτήματα Χρήσης

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ανάγκη για συμβατική θέρμανση νερού, οδηγώντας σε σημαντική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας κατά 50% έως 80%.

Μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες βοηθούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Τέλος, παρά το αρχικό κόστος της εγκατάστασης των ηλιακών συστημάτων, η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση στους λογαριασμούς ενέργειας τα καταστούν μια οικονομικά αποδοτική λύση.

- ο Ενσωμάτωση με Άλλες Τεχνολογίες

Τόσο οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας όσο και οι ηλιακοί θερμοσίφωνες μπορούν να ενσωματωθούν με άλλα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για να βελτιώσουν την ενεργειακή εξοικονόμηση. Πιο συγκεκριμένα οι ηλιακοί θερμοσίφωνες μπορούν να συνδυαστούν με θερμικά συστήματα όπως λέβητες βιομάζας ή αντλίες θερμότητας προσφέροντας μια πιο συνεπή και αξιόπιστη παροχή ζεστού νερού κατά τις περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας. Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει τη βέλτιστη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μειώνει την εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, παρέχοντας παράλληλα μια σταθερή και αποδοτική λύση θέρμανσης.

- ο Σημαντικές Τεχνολογικές Καινοτομίες

Οι τεχνολογικές καινοτομίες στον κλάδο των ηλιακών θερμοσιφώνων έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της αποδοτικότητας και κατ' επέκταση της χρηστικότητάς των ηλιακών συστημάτων. Αυτό το κεφάλαιο αποσκοπεί στο να παρουσιάσει μια επισκόπηση των πιο σημαντικών καινοτομιών στην τεχνολογία των ηλιακών θερμοσιφώνων.

- ο Προηγμένα Υλικά κατασκευής

Η ανάπτυξη νέων υλικών που είναι ανθεκτικότερα και πιο αποδοτικά στη μεταφορά θερμότητας έχει επιτρέψει την κατασκευή θερμοσιφώνων που μπορούν να λειτουργούν επιτυχώς υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Τα υλικά όπως ο χαλκός, το ανοξείδωτο ατσάλι και η εφυάλωση (glass) προσφέρουν βελτιωμένη αντοχή και θερμική απόδοση. Οι θερμοσίφωνες κατασκευασμένοι από αυτά τα υλικά παρουσιάζουν μικρότερες θερμικές απώλειες και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση του κόστους συντήρησης και της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

- ο Καινοτόμες Τεχνικές Θερμικής Μόνωσης

Η εξέλιξη στις τεχνικές θερμικής μόνωσης επιτρέπει τη συγκράτηση της θερμότητας για πολύ μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, μειώνοντας τις θερμικές απώλειες και ενισχύοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος. Υλικά όπως η πολυουρεθάνη χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως για τη μόνωση των ηλιακών θερμοσιφώνων, επιτρέποντας την αποδοτική αποθήκευση της θερμότητας ακόμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας.

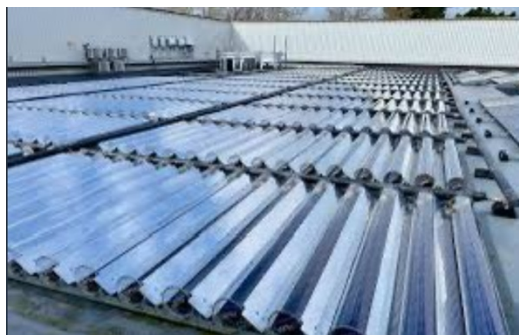
- ο Έξυπνα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας

Η ένταξη έξυπνων τεχνολογιών στη διαχείριση των θερμοσιφώνων μέσω της χρήσης αισθητήρων και συστημάτων αυτοματισμού επιτρέπει την ακριβέστερη ρύθμιση των

θερμοκρασιών, την άμεση αντίδραση σε αλλαγές του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος. Τα εξαρτήματα αυτά μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχουν τη λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο μειώνοντας τις ενεργειακές απώλειες και βελτιστοποιώντας τη χρήση της ηλιακής ενέργειας.

- ο Υβριδικά συστήματα

Η συνένωση των φωτοβολταϊκών πάνελ με τους θερμοσίφωνες δίνει τη δυνατότητα στα συστήματα να παράγουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση που μειώνει την εξάρτηση από τα συμβατικά δίκτυα ενέργειας και ενισχύει τη βιωσιμότητα. Αυτά τα υβριδικά συστήματα μπορούν να αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια σε μπαταρίες για χρήση όταν η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι επαρκής, εξασφαλίζοντας έτσι μια συνεχή και αποδοτική παροχή ενέργειας. Αν και σε πρώιμο στάδιο τα συστήματα αυτά εξελίσσονται διαρκώς και θα καταλαμβάνουν μερίδιο της αγοράς στο μέλλον.



Εικόνα 2.15: Ενδεικτικό Υβριδικό Σύστημα
Πηγή: Solar Energy Industries Association (2023).
Hybrid Solar Heating Systems.

3. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

Η ανάλυση της θερμοδυναμικής λειτουργίας των ηλιακών συστημάτων είναι κρίσιμη για την ενεργειακή αποδοτικότητα, τη μείωση των θερμικών απωλειών την προώθηση της ασφάλειας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσω της κατανόησης αυτών των αρχών, μπορούμε να βελτιώσουμε την αποδοτικότητα των συστημάτων ηλιακής θέρμανσης να αναπτύξουμε νέες τεχνολογίες και να ενσωματώσουμε αποτελεσματικά τους ηλιακούς θερμοσίφωνες.

3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η κατανόηση των βασικών αρχών της θερμοδυναμικής είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση και βελτιστοποίηση της απόδοσης των ηλιακών θερμοσίφωνων. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να θερμάνουν το ζεστό νερό χρήσης μετατρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια. Οι θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τη λειτουργία αυτών των συστημάτων περιλαμβάνουν τον Πρώτο και Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής ο Νόμος του Boyle, καθώς και έννοιες όπως η απορρόφηση θερμότητας και η απόδοση.

3.1.1 *Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής*

Ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής, γνωστός και ως νόμος διατήρησης της ενέργειας, αναφέρει ότι η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί, μόνο να μετασχηματιστεί από μία μορφή σε άλλη. Στο πλαίσιο ενός ηλιακού θερμοσίφωνα, αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια εισόδου από την ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού.

$$\Delta U = Q - W$$

όπου ΔU είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος, Q είναι η θερμότητα που προστίθεται στο σύστημα, και W είναι το έργο που εκτελείται από το σύστημα. Για τους ηλιακούς θερμοσίφωνες, η κύρια εστίαση είναι στη μεγιστοποίηση του Q , της θερμικής ενέργειας που απορροφάται από τον ήλιο, και στη μείωση των ενεργειακών απωλειών για μεγιστοποίηση της απόδοσης (Cengel, 2015)

Σε ένα σύστημα ηλιακού θερμοσίφωνα, η ενέργεια εισόδου προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η ενέργεια απορροφάται από τους ηλιακούς συλλέκτες και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού.

Για τους ηλιακούς λέβητες, το W είναι συνήθως μικρό ή αμελητέο, καθώς το σύστημα δεν εκτελεί σημαντικό έργο εκτός από τη θέρμανση του νερού. Έτσι, η εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί σε:

$$\Delta U = Q$$

3.1.2 Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Ο Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής αναφέρει ότι σε οποιαδήποτε μεταφορά ενέργειας, η συνολική εντροπία ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του πάντα αυξάνεται. Για τους ηλιακούς θερμοσίφωνες, αυτό σημαίνει ότι πάντα θα υπάρχει κάποια ενεργειακή απώλεια και ο στόχος είναι να σχεδιαστεί το σύστημα έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν αυτές οι απώλειες και να βελτιωθεί η συνολική απόδοση.

Στην πράξη, η απόδοση ενός ηλιακού θερμοσίφωνα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως ο σχεδιασμός των ηλιακών συλλεκτών, τα υλικά που χρησιμοποιούνται και η διαμόρφωση της διαδικασίας ανταλλαγής θερμότητας. Οι πρόοδοι στην επιστήμη των υλικών και στη μηχανική έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών δοχείων αποθήκευσης για την μικρότερη απώλεια θερμότητας καθώς και ηλιακών συλλεκτών που μπορούν να συλλάβουν και να μετατρέψουν περισσότερη ηλιακή ενέργεια σε χρήσιμη θερμότητα (Duffie & Beckman, 2013; Kalogirou, 2014).

3.1.3 Απορρόφηση Θερμότητας και Απόδοση

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χρησιμοποιούν συλλέκτες για να απορροφήσουν το ηλιακό φως και να το μετατρέψουν σε θερμότητα. Η απόδοση αυτής της διαδικασίας εξαρτάται από την ικανότητα του συλλέκτη να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και να ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας. Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την απόδοση είναι η επιφάνεια των συλλεκτών, η κλίση τους σε σχέση με τον ήλιο ο προσανατολισμός και η θερμική αγωγιμότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Η επιφάνεια των συλλεκτών πρέπει να είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μεγιστοποιεί την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση επιλεκτικών επικαλύψεων (βαφή τιτανίου) που είναι ειδικά σχεδιασμένες για να απορροφούν περισσότερο φως και να μειώνουν τις ακτινοβολούμενες απώλειες θερμότητας. Οι επιλεκτικές επικαλύψεις συνήθως περιέχουν υλικά όπως οξείδια μετάλλων, τα οποία έχουν την ιδιότητα να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία αλλά να μην εκπέμπουν τη θερμότητα πίσω στο περιβάλλον.

Η κλίση των συλλεκτών και ο προσανατολισμός σε σχέση με τον ήλιο είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αποδοτικότητα. Για να μεγιστοποιηθεί η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας, οι συλλέκτες πρέπει να τοποθετούνται σε μια γωνία που

τους επιτρέπει να δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία κάθετα όσο το δυνατόν περισσότερο χρόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και με νότιο προσανατολισμό. Η ιδανική κλίση εξαρτάται από διάφορες συνιστώσες με κυριότερες την γεωγραφική τοποθεσία και την εποχή του χρόνου, καθώς η θέση του ήλιου στον ουρανό μεταβάλλεται.

Η θερμική αγωγιμότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται στους συλλέκτες και στο σύστημα αποθήκευσης θερμότητας είναι επίσης σημαντική για την αποδοτικότητα. Υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, όπως ο χαλκός ή το αλουμίνιο, χρησιμοποιούνται συχνά για την κατασκευή συστημάτων, καθώς μπορούν να μεταφέρουν τη θερμότητα πιο αποτελεσματικά από την επιφάνεια του συλλέκτη στο νερό ή το θερμικό υγρό μέσα στο σύστημα.

Σημαντικά στοιχεία που αφορούν στην απόδοση των ηλιακών θερμοσιφώνων παρέχονται από τη μελέτη που δημοσιεύθηκε στο *International Journal of Low-Carbon Technologies* το 2022, όπου εξετάζεται η απόδοση ενός ηλιακού θερμοσίφωνα επίπεδης πλάκας μέσω θεωρητικής και πειραματικής έρευνας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέγιστη θερμική απόδοση του συστήματος έφτασε το 67% στη θεωρητική ανάλυση και το 66% στην πειραματική ανάλυση, με τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα να παρατηρείται κατά το μεσημέρι, όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν στο υψηλότερο επίπεδο. Επιπλέον, σημειώθηκε ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να καταγράφονται τις ίδιες μεσημεριανές ώρες. Η μελέτη υποδεικνύει ότι η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται σημαντικά από τις κλιματικές συνθήκες και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, υπογραμμίζοντας την αποτελεσματικότητα του συστήματος σε διάφορες καιρικές συνθήκες. (Academy, 2022)

Οι συνεχείς βελτιώσεις στις μεθόδους κατασκευής και τα υλικά των ηλιακών συλλεκτών, σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, συμβάλλουν στη διαρκή βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών θερμοσιφώνων. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα στη χρήση της ηλιακής ενέργειας και στη μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ

Η μεταφορά θερμότητας είναι μια θεμελιώδης πτυχή της λειτουργίας του θερμοσίφωνα, κρίσιμη για την αποδοτικότητα και την απόδοσή του. Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες, οι αποτελεσματικοί μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας διασφαλίζουν ότι η ηλιακή ενέργεια που συλλαμβάνεται από τους συλλέκτες μετατρέπεται αποδοτικά σε θερμική ενέργεια και μεταφέρεται στο ρευστό εργασίας, συνήθως νερό. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν οι κύριοι τρόποι μεταφοράς θερμότητας, ήτοι αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία και τους ρόλους τους στα ηλιακά συστήματα .

ο Αγωγή

Η αγωγή είναι η μεταφορά θερμότητας μέσω ενός υλικού χωρίς την κίνηση του ίδιου του υλικού. Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες η αγωγή συμβαίνει κυρίως στις μεταλλικές επιφάνειες του εναλλάκτη θερμότητας, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από το θερμό ρευστό (ή την επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη) στο ψυχρότερο νερό ή ρευστό εργασίας. Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μέσω αγωγής δίνεται από τον νόμο του Fourier:

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

όπου q είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, k είναι η θερμική αγωγιμότητα του υλικού, A είναι η διατομή μέσω της οποίας μεταφέρεται η θερμότητα, και dT/dx είναι η θερμοκρασιακή κλίση.

Υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, όπως ο χαλκός ή το αλουμίνιο, χρησιμοποιούνται συχνά στους εναλλάκτες θερμότητας των ηλιακών θερμοσιφώνων για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας μεταφοράς θερμότητας . (FRANK P. INCROPERA, 2007)

ο Συναγωγή

Η συναγωγή είναι η μεταφορά θερμότητας μέσω της κίνησης ρευστών. Στα ηλιακά συστήματα, η συναγωγή μπορεί να είναι φυσική (λόγω δυνάμεων άνωσης) ή εξαναγκασμένη (με τη χρήση αντλιών κλπ.). Η συναγωγή συμβαίνει τόσο στον ηλιακό συλλέκτη (όπου η θερμότητα από τον ήλιο θερμαίνει τον αέρα ή το ρευστό στον συλλέκτη) όσο και εντός του δοχείου (όπου κυκλοφορεί το θερμό νερό).

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μέσω συναγωγής περιγράφεται από τον νόμο ψύξης του Newton:

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

όπου q είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, h είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας συναγωγής, A είναι η επιφάνεια, T_s είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας, και T_∞ είναι η θερμοκρασία του ρευστού.

- ο Ακτινοβολία

Η ακτινοβολία είναι η μεταφορά θερμότητας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και δεν απαιτεί μέσο. Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες, η ακτινοβολία παίζει κρίσιμο ρόλο στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας. Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν σχεδιαστεί για να μεγιστοποιούν την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ ελαχιστοποιούν την αντανάκλαση και την επανεκπομπή.

Ο νόμος του Stefan-Boltzmann περιγράφει τη μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας:

$$q = \epsilon \sigma A (T - T_{\infty})$$

όπου q είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, ϵ είναι η εκπεμπιμότητα της επιφάνειας, σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzmann, A είναι η επιφάνεια, και T είναι η θερμοκρασία του ακτινοβολούντος σώματος.

Επιλεκτικές επιστρώσεις και προηγμένα υλικά χρησιμοποιούνται στους ηλιακούς συλλέκτες για να βελτιώσουν την απορροφητικότητα τους και να μειώσουν την εκπεμπιμότητα, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα του συστήματος (Duffie & Beckman, 2013; Kalogirou, 2014).

- ο Συνδυασμένοι Μηχανισμοί Μεταφοράς Θερμότητας

Και οι τρεις τρόποι μεταφοράς θερμότητας - αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία - συμβαίνουν ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, σε ένα ηλιακό θερμικό σύστημα, η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει την επιφάνεια του συλλέκτη, η οποία με τη σειρά της μεταφέρει θερμότητα στο ρευστό μέσα στους σωλήνες μέσω αγωγής και περνάει στο δοχείο αποθήκευσης. Το θερμό ρευστό στη συνέχεια μεταφέρει θερμότητα μέσω συναγωγής στο νερό στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Ο σχεδιασμός αποδοτικών συστημάτων αποθήκευσης απαιτεί μια συνολική κατανόηση αυτών των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας. Προηγμένες υπολογιστικές μέθοδοι και προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται συχνά για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας των ηλιακών θερμοσίφωνων διασφαλίζοντας τη μέγιστη αποδοτικότητα και ελαχιστοποιώντας τις ενεργειακές απώλειες (Bejan, 2013; Cengel & Boles, 2015).

3.3 ΠΗΓΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η κατανόηση των απωλειών ενέργειας και της αποδοτικότητας είναι κρίσιμη για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ηλιακών θερμοσιφωνων. Διάφοροι παράγοντες συμβάλλουν στις απώλειες ενέργειας σε αυτά τα συστήματα, επηρεάζοντας τη συνολική αποδοτικότητα τους. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τις κύριες πηγές απώλειας ενέργειας και τις μεθόδους για τη βελτίωση της αποδοτικότητας.

3.3.1 Πηγές Απώλειας Ενέργειας

- Θερμικές Απώλειες

Οι θερμικές απώλειες στους ηλιακούς θερμοσιφωνες συμβαίνουν λόγω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας. Αυτές οι απώλειες μπορούν να εμφανιστούν σε πολλαπλά στάδια, όπως οι ηλιακοί συλλέκτες, οι εναλλάκτες θερμότητας και οι δεξαμενές αποθήκευσης. Η θερμότητα συχνά χάνεται στο περιβάλλον, μειώνοντας την ποσότητα χρήσιμης ενέργειας που είναι διαθέσιμη για τη θέρμανση του νερού ή του λειτουργικού ρευστού.

- Απώλειες Αγωγής

Η θερμότητα που μεταδίδεται μέσω των υλικών του δοχείου και των εξαρτημάτων του μπορεί να διαφύγει στο περιβάλλον. Αυτή η απώλεια επηρεάζεται από τη θερμική αγωγιμότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δοχείου και του εξωτερικού περιβάλλοντος (Cengel & Ghajar, 2011).

- Απώλειες Συναγωγής

Η θερμότητα μπορεί να μεταφέρεται μακριά από τον αέρα ή το ρευστό που κινείται γύρω από τον λέβητα. Η σωστή μόνωση και η ελαχιστοποίηση των εκτεθειμένων επιφανειών μπορούν να μειώσουν αυτές τις απώλειες (Incropera et al., 2007).

- Απώλειες Ακτινοβολίας

Οι ηλιακοί συλλέκτες και άλλες θερμαινόμενες επιφάνειες μπορούν να χάνουν ενέργεια μέσω της θερμικής ακτινοβολίας. Αυτή η απώλεια μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση υλικών με χαμηλή εκπεμπιμότητα και την εφαρμογή επιλεκτικών επιστρώσεων που απορροφούν περισσότερο ηλιακό φως και εκπέμπουν λιγότερη θερμική ακτινοβολία (Duffie & Beckman, 2013).

- Κακή διαστασιολόγηση και χρήσης υλικού Εναλλακτών Θερμότητας

Η αποδοτικότητα των εναλλακτών θερμότητας στη μεταφορά θερμότητας από τους ηλιακούς συλλέκτες στο λειτουργικό ρευστό είναι σημαντική. Αναποτελεσματικότητα μπορεί να προκύψει από κακή θερμική αγωγιμότητα και ακατάλληλο σχεδιασμό. Η τακτική συντήρηση και η χρήση υλικών με υψηλή θερμική αγωγιμότητα μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των εναλλακτών θερμότητας. Για παράδειγμα, ένας χαλύβδινος εναλλάκτης είναι λιγότερο αποδοτικός από έναν χάλκινο εναλλάκτη. (Bergman, 2020)

- ο Απώλειες Αποθήκευσης

Στα ηλιακά θερμικά συστήματα, απώλειες ενέργειας μπορούν να συμβούν όταν το θερμαινόμενο νερό ή το λειτουργικό ρευστό αποθηκεύεται για μεταγενέστερη χρήση. Θερμότητα μπορεί να χαθεί μέσω των τοιχωμάτων της δεξαμενής αποθήκευσης ή μέσω των σωλήνων. Η μόνωση των δεξαμενών αποθήκευσης και η χρήση κατάλληλων υλικών για θερμική αποθήκευση μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση αυτών των απωλειών. (Kalogirou, 2009)

- ο Κακή διαστασιολόγηση Αντλιών (κυκλοφορητών) και Μηχανικών εξαρτημάτων

Μηχανικά εξαρτήματα όπως αντλίες που χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία ρευστών στα συστήματα ηλιακών θερμοσίφωνων μπορούν επίσης να συμβάλλουν σε απώλειες ενέργειας. (Cengel & Boles, 2015).

3.3.2 Βελτίωση της Αποδοτικότητας

- ο Βελτίωση της Αποδοτικότητας των Συλλεκτών

Η αποδοτικότητα των ηλιακών συλλεκτών μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση προηγμένων υλικών και σχεδίων. Επιλεκτικές επιστρώσεις στις επιφάνειες απορρόφησης μπορούν να αυξήσουν την ηλιακή απορρόφηση ενώ μειώνουν την θερμική εκπεμπτικότητα. (Duffie & Beckman, 2013).

- ο Βελτιστοποίηση του Σχεδιασμού του Συστήματος

Ο σχεδιασμός του συστήματος ηλιακού θερμοσίφωνου παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα του. Η σωστή διαστασιολόγηση των συλλεκτών, των δεξαμενών αποθήκευσης (περίπου 1m² ανά και των εναλλακτών θερμότητας εξασφαλίζει βέλτιστη απόδοση. λίτρα).Επιπλέον, η ενσωμάτωση έξυπνων ελεγκτών που προσαρμόζουν τη λειτουργία του συστήματος με βάση πραγματικά δεδομένα μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και να μειώσει τη σπατάλη ενέργειας (Holman, 2010).

- ο Χρήση Υψηλής Αποδοτικότητας Εναλλακτών Θερμότητας

Η χρήση εναλλακτών θερμότητας με υψηλή θερμική αγωγιμότητα και ελάχιστη αντίσταση στη ροή θερμότητας μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη μεταφορά ενέργειας. Καινοτομίες όπως οι εναλλάκτες θερμότητας και οι σχεδιασμοί με πτερύγια χαλκού μπορούν να ενισχύσουν τα ποσοστά μεταφοράς θερμότητας και να μειώσουν τις απώλειες (Bergman et al., 2011).

- ο Μόνωση και Θερμική Αποθήκευση

Η μόνωση όλων των εξαρτημάτων του συστήματος ηλιακού θερμοσίφωνα, συμπεριλαμβανομένων των σωλήνων, των δεξαμενών αποθήκευσης και των συλλεκτών, είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών. Προηγμένα μονωτικά υλικά με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και υψηλή αντοχή θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Οι

δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να αποθηκεύουν την πλεονάζουσα θερμότητα και να την απελευθερώνουν όταν χρειάζεται, βελτιώνοντας τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος (Kalogirou, 2014).

- ο Τακτική Συντήρηση και Παρακολούθηση

Η τακτική συντήρηση του συστήματος ηλιακού συστήματος εξασφαλίζει ότι όλα τα εξαρτήματα λειτουργούν στην κορυφαία αποδοτικότητα τους. Ο καθαρισμός των ηλιακών συλλεκτών, ο έλεγχος της μόνωσης και η συντήρηση του ηλιακού θερμοσίφωνου παίζει σημαντικό ρόλο για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών. Η εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης που παρακολουθούν τους δείκτες απόδοσης μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση αναποτελεσματικότητας άμεσα (Cengel & Boles, 2015).

Με την κατανόηση και την αντιμετώπιση των διάφορων πηγών ενεργειακών απωλειών, είναι δυνατόν να βελτιωθεί σημαντικά η αποδοτικότητα των συστημάτων ηλιακών θεροσιφώνων. Αυτό όχι μόνο μειώνει τα λειτουργικά κόστη αλλά και μεγιστοποιεί τη χρήση της ανανεώσιμης ενέργειας, συμβάλλοντας σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΩΝ

Η επιλογή των υλικών για τους θερμοσίφωνες για την απόδοσή τους, την ανθεκτικότητα και την αποδοτικότητά τους. Διάφορα μέρη των θερμοσιφώνων, συμπεριλαμβανομένων της δεξαμενής αποθήκευσης και της κατασκευάζονται από διαφορετικά υλικά, επιλεγμένα με βάση τις θερμικές τους ιδιότητες, την αντοχή στη διάβρωση και τη συνολική μακροζωία.

4.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.1.1 Χάλκινα Συστήματα

Ιδιότητες και Πλεονεκτήματα: Ο χαλκός είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό στην κατασκευή θερμοσιφώνων λόγω της εξαιρετικής θερμικής αγωγιμότητας και της αντοχής του στη διάβρωση. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τον χαλκό ιδανική επιλογή για τους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Η υψηλή θερμική αγωγιμότητα του χαλκού επιτρέπει την αποδοτική μεταφορά θερμότητας, η οποία μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση των συστημάτων θέρμανσης νερού (Duffie & Beckman, 2013).

Αντοχή στη Διάβρωση: Η αντοχή του χαλκού στη διάβρωση εξασφαλίζει τη μακροζωία του συστήματος θέρμανσης νερού. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε συστήματα που εκτίθενται σε νερό με ποικίλες χημικές συνθέσεις, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ταχεία φθορά άλλων υλικών (Cengel & Ghajar, 2011) καθώς και για την οικονομική απόσβεση του ηλιακού συστήματος.

Συντήρηση και Ανθεκτικότητα: Τα χάλκινα συστήματα απαιτούν σχετικά λίγη συντήρηση και είναι ανθεκτικά, προσφέροντας μεγάλη διάρκεια ζωής με ελάχιστη φροντίδα. Αυτή η ανθεκτικότητα, σε συνδυασμό με τις αντιμικροβιακές ιδιότητες του χαλκού, μειώνει τον κίνδυνο ανάπτυξης βακτηρίων μέσα στο σύστημα, εξασφαλίζοντας υγιεινό νερό (Boyle, 2012).

Εφαρμογές: Ο χαλκός χρησιμοποιείται συνήθως σε οικιακά και εμπορικά συστήματα θέρμανσης νερού. Η ευελιξία και η αξιοπιστία του τον καθιστούν προτιμώμενο υλικό σε διάφορες εφαρμογές, από μικρές οικιακές μονάδες έως μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Kalogirou, 2014).

4.1.2 Ανοξείδωτα Συστήματα

Ιδιότητες και Πλεονεκτήματα: Ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι ένα άλλο σημαντικό υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή θερμοσιφώνων. Γνωστός για την υψηλή αντοχή και την αντοχή του στη διάβρωση, ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ανθεκτικότητα και ελάχιστη συντήρηση (Holman, 2010).

Αντοχή στη Διάβρωση: Η αντοχή του ανοξείδωτου χάλυβα στη διάβρωση οφείλεται στην παρουσία χρωμίου, το οποίο σχηματίζει ένα παθητικό στρώμα οξειδίου του χρωμίου στην

επιφάνεια. Αυτό το στρώμα αποτρέπει περαιτέρω οξείδωση, εξασφαλίζοντας ότι το υλικό παραμένει άθικτο για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Bergman et al., 2011).

Διατήρηση Θερμότητας και Απόδοση: Τα συστήματα από ανοξείδωτο χάλυβα είναι γνωστά για τις εξαιρετικές δυνατότητες διατήρησης θερμότητας. Αυτή η ιδιότητα ενισχύει την απόδοση των θερμοσίφωνων, καθώς απαιτείται λιγότερη ενέργεια για τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας του νερού (Duffie & Beckman, 2013).

Συντήρηση και Διάρκεια Ζωής: Οι θερμοσίφωνες από ανοξείδωτο χάλυβα απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, καθιστώντας τους μια οικονομικά αποδοτική επιλογή μακροπρόθεσμα. Η ικανότητά τους να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις συμβάλλει επίσης στη ευρεία χρήση τους τόσο σε οικιακές όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές (Cengel & Boles, 2015).

Εφαρμογές: Ο ανοξείδωτος χάλυβας χρησιμοποιείται εκτενώς σε θερμοσίφωνες υψηλών προδιαγραφών και σε βιομηχανικά συστήματα όπου η υψηλή απόδοση και η μακροζωία είναι απαιτούμενο (Kalogirou, 2014).

4.1.3 *Επισμαλτωμένα (Εφυσωμένα) Δοχεία Συστημάτων*

Ιδιότητες και Πλεονεκτήματα: Τα συστήματα με επικάλυψη σμάλτου χρησιμοποιούν χαλύβδινες δεξαμενές επικαλυμμένες με ένα στρώμα σμάλτου για προστασία από τη διάβρωση. Αυτός ο συνδυασμός εκμεταλλεύεται την αντοχή του χάλυβα και τις αντιδιαβρωτικές ιδιότητες που προκύπτουν από την επισμάλτωση (Duffie & Beckman, 2013).

Αντοχή στη Διάβρωση: Η επισμάλτωση λειτουργεί ως φραγμός, αποτρέποντας το νερό από το να έρχεται σε άμεση επαφή με το χάλυβα, μειώνοντας έτσι σημαντικά τον κίνδυνο σκουριάς και διάβρωσης. Αυτό το προστατευτικό στρώμα είναι κρίσιμο για την παράταση της ζωής του θερμοσίφωνα, ειδικά σε περιοχές με σκληρό νερό (Cengel & Ghajar, 2011).

Διατήρηση Θερμότητας και Απόδοση: Τα συστήματα με επικάλυψη σμάλτου προσφέρουν καλή διατήρηση της θερμότητας, η οποία βοηθά στη διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού αποδοτικά. Ωστόσο, γενικά θεωρούνται λιγότερο αποδοτικά στη μεταφορά θερμότητας σε σύγκριση με τα χάλκινα συστήματα λόγω του επιπλέον στρώματος (Boyle, 2012).

Συντήρηση και Ανθεκτικότητα: Ενώ τα συστήματα με επικάλυψη σμάλτου είναι αποτελεσματικά στην αποτροπή της διάβρωσης, μπορούν να είναι ευάλωτα σε ρωγμές ή θρυμματισμούς με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που μπορεί να εκθέσει τον υποκείμενο χάλυβα στη σκουριά. Η τακτική επιθεώρηση και συντήρηση είναι απαραίτητες για να εξασφαλιστεί η μακροζωία αυτών των συστημάτων (Kalogirou, 2014). Συνίσταται μια φορά τον χρόνο η αλλαγή ράβδου μαγνησίου και ένα γενικό service ανά 2 χρόνια.

Εφαρμογές: Τα συστήματα με επικάλυψη σμάλτου χρησιμοποιούνται συνήθως σε οικιακούς θερμοσίφωνες όπου η οικονομική αποδοτικότητα και η επαρκής απόδοση είναι οι κύριες προτεραιότητες (Holman, 2010).

4.1.4 Υλικά Θερμαντικών Στοιχείων

Χαλκός: Ο χαλκός είναι ένα κοινό υλικό για θερμαντικά στοιχεία λόγω της εξαιρετικής θερμικής αγωγιμότητας και του σχετικά χαμηλού κόστους. Τα χάλκινα θερμαντικά στοιχεία μεταφέρουν αποτελεσματικά τη θερμότητα στο νερό, εξασφαλίζοντας γρήγορους χρόνους θέρμανσης (Cengel & Boles, 2015).

Incoloy (Κράμα Νικελίου-Χρωμίου): Τα θερμαντικά στοιχεία Incoloy χρησιμοποιούνται σε ηλιακούς θερμοσίφωνες υψηλών προδιαγραφών. Αυτό το κράμα είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στην οξείδωση και τη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας το ιδανικό για περιβάλλοντα με σκληρό νερό ή όπου η επικάλυψη είναι πρόβλημα. Τα στοιχεία Incoloy έχουν συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα χάλκινα στοιχεία (Duffie & Beckman, 2013).

4.1.5 Υλικά Μόνωσης

Πολυουρεθάνη (Polyurethane Foam): Η πολυουρεθάνη χρησιμοποιείται ευρέως ως μονωτικό υλικό για θερμοσίφωνες λόγω των εξαιρετικών θερμομονωτικών ιδιοτήτων της. Εφαρμόζεται ως σπρέι που διαστέλλεται και σκληραίνει, σχηματίζοντας ένα παχύ μονωτικό στρώμα γύρω από τη δεξαμενή. Αυτό βοηθά στην ελαχιστοποίηση της απώλειας θερμότητας και βελτιώνει την ενεργειακή αποδοτικότητα. Είναι το ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό για την μόνωση του δοχείου αποθήκευσης. (Duffie & Beckman, 2013)

Glasswool: Η μόνωση από υαλοβάμβακα είναι μια άλλη κοινή επιλογή για θερμοσίφωνες. Τυλίγεται γύρω από τη δεξαμενή και περικλείεται σε εξωτερικό κέλυφος. Αν και δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσο η πολυουρεθάνη, η μόνωση από υαλοβάμβακα είναι καλός μονωτής και χρησιμοποιείται συχνά σε λιγότερο ακριβά μοντέλα. Παρόλα αυτά, είναι το ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό για την μόνωση του ηλιακού συλλέκτη. (Holman, 2010).

Ελαστομερής Αφρός (Elastomeric Foam): Ο ελαστομερής αφρός είναι ένα μονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται για να παρέχει θερμομόνωση και προστασία από την υγρασία. Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και προσφέρει υψηλή απόδοση θερμομόνωσης. Ο ελαστομερής αφρός είναι επίσης εύκαμπτος και μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα σε διάφορα σχήματα και μεγέθη δεξαμενών (Cengel & Boles, 2015).

Μονωτικά Πάνελ Κενού (Vacuum Insulation Panels - VIPs): Τα μονωτικά πάνελ κενού προσφέρουν εξαιρετική θερμομόνωση λόγω της χαμηλής αγωγιμότητας του κενού. Χρησιμοποιούνται σε προηγμένες εφαρμογές όπου η μέγιστη θερμομόνωση είναι απαραίτητη. Τα VIPs είναι ελαφριά και λεπτά, καθιστώντας τα ιδανικά για συστήματα με περιορισμένο χώρο (Duffie & Beckman, 2013).

4.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η διάταξη των συστημάτων θερμοσίφωνων επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή τους, την ευκολία εγκατάστασης και τη συντήρηση. Οι δύο κύριες διατάξεις που συζητούνται εδώ είναι η οριζόντια και η κατακόρυφη.

4.2.1 Οριζόντια Διάταξη

Σχεδιασμός και Εφαρμογές: Οι οριζόντιες δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης είναι ο πιο κοινός τύπος στα ηλιακά θερμοσίφωνα εξωτερικού χώρου που βλέπουμε στις ταράτσες. Αυτές οι δεξαμενές τοποθετούνται οριζόντια σε υψηλότερο σημείο από τον ηλιακό

επιτρέποντας έτσι την φυσική κυκλοφορία.

Πλεονεκτήματα:

- **Αισθητικό κομμάτι:** Οι οριζόντιες δεξαμενές είναι η πιο συνηθισμένη μορφή τοποθέτησης των θερμοσιφωνικών συστημάτων όπου οι συλλέκτες τοποθετούνται στην ίδια ευθεία με τη δεξαμενή δημιουργώντας ένα ενιαίο πλαίσιο με ωραίο αισθητικό αποτέλεσμα.
- **Προσβασιμότητα για Συντήρηση:** Οι οριζόντιες μονάδες είναι εύκολα προσβάσιμες για συντήρηση και τοποθέτηση.

Προκλήσεις:

- **Θερμοκρασιακή Διαστρωμάτωση:** Οι οριζόντιοι θερμοσίφωνες έχουν κακή θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση και απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για να εξισορροπηθεί η θερμοκρασία σε όλη την ποσότητα του ζεστού νερού του δοχείου για να μπορέσουμε να πάρουμε υψηλή θερμοκρασία. Αυτή η κακή διαστρωμάτωση μειώνει τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος.

Εφαρμογές: Οι οριζόντιοι θερμοσίφωνες χρησιμοποιούνται συνήθως στα θερμοσιφωνικά ηλιακά συστήματα.

4.2.2 Κατακόρυφη Διάταξη

Σχεδιασμός και Εφαρμογές: Οι κατακόρυφοι θερμοσίφωνες είναι ο πιο κοινός τύπος (για συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας), σχεδιασμένοι για εγκατάσταση σε υπόγεια, βοηθητικούς χώρους ή άλλες περιοχές όπου υπάρχει διαθέσιμος κατακόρυφος χώρος. Στα θερμοσιφωνικά συστήματα αυτές οι δεξαμενές τοποθετούνται όρθιοι, επιτρέποντας τη φυσική κυκλοφορία και έχουν καλύτερη κατανομή της θερμότητας. Επιπλέον η συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων βεβιασμένης κυκλοφορίας είναι κατακόρυφες δεξαμενές (Duffie & Beckman, 2013).

Πλεονεκτήματα:

- Απομαστεύεται γρήγορα το ζεστό νερό καθώς συσσωρεύεται στην κορυφή του δοχείου.
- **Μεγαλύτερη Εργονομία:** Οι κατακόρυφες μονάδες μπορούν να φιλοξενήσουν μεγαλύτερες χωρητικότητες δεξαμενών σε μικρότερο χώρο, καθιστώντας τις κατάλληλες για σπίτια με υψηλότερες ανάγκες σε ζεστό νερό ή για βιομηχανικές εφαρμογές (Boyle, 2012).

Προκλήσεις:

- **Απαιτήσεις Χώρου:** Οι κατακόρυφοι θερμοσίφωνες απαιτούν περισσότερο κατακόρυφο χώρο για εγκατάσταση, ο οποίος μπορεί να μην είναι διαθέσιμος σε όλες τις ρυθμίσεις (Kalogirou, 2014).

Εφαρμογές: Οι κατακόρυφοι θερμοσίφωνες χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας λόγω της αποδοτικότητάς τους και της ικανότητάς τους να παρέχουν σταθερή παροχή ζεστού νερού (Holman, 2010).

Με την περαιτέρω ανάλυση και ανάπτυξη αυτών των εννοιών, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα πώς τα διάφορα υλικά και οι σχεδιαστικές επιλογές επηρεάζουν την απόδοση, την ανθεκτικότητα και την αποδοτικότητα των θερμοσιφώνων. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού και σχεδιασμού μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική λειτουργία και μακροζωία των συστημάτων θέρμανσης νερού.

5. Πειραματική Σύγκριση και Ανάλυση

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξεταστεί η πειραματική διαδικασία που αφορά τη σύγκριση της απόδοσης μεταξύ κάθετων και οριζόντιων θερμοσιφώνων. Αρχικά, θα περιγράψουμε η μεθοδολογία και ο τρόπος διεξαγωγής του πειράματος, ενώ στη συνέχεια θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τα αποτελέσματα.

5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με στόχο τη σύγκριση της απόδοσης δύο τύπων ηλιακών θερμοσιφώνων, ενός κατακόρυφου και ενός οριζόντιου. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν δύο φορές την ημέρα, μία το πρωί πριν την ανατολή του ηλίου και μία το βράδυ λίγο πριν τη δύση του, για συνολικό διάστημα επτά ημερών. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καταγράφηκαν οι θερμοκρασίες εξόδου των θερμοσιφώνων, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ηλιακή ακτινοβολία.

Η επιλογή των δύο χρονικών διαστημάτων, πρωί και βράδυ, επιτρέπει την αξιολόγηση της απόδοσης των θερμοσιφώνων κατά την έναρξη και το τέλος της ημέρας, όπου η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφέρουν σημαντικά καθώς και την απώλεια θερμότητας τις βραδινές ώρες. Η σύγκριση αυτών των δεδομένων παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της απόδοσης των θερμοσιφώνων υπό διαφορετικές συνθήκες. Για την πειραματική αυτή μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο δοχεία ηλιακού θερμοσίφωνου, ένα οριζόντιο και ένα κάθετο, τα οποία κατασκευάστηκαν από την εταιρεία μας (Olympic Sun), ένας ηλιακός συλλέκτης ο οποίος ήταν ίδιος προκειμένου να μην διαστρεβλωθούν οι θερμοκρασίες λόγω τυχόν διαφοράς απόδοσης μεταξύ κάποιων συλλεκτών καθώς και θερμομέτρα με τις θερμοθήκες τους συνδεδεμένα στα δοχεία με σκοπό την ακριβής ένδειξη θερμοκρασίας και διάφορα μικρά εξαρτήματα συνδεσμολογίας για τις ενώσεις του συστήματος.



Εικόνα 5.0: Θερμόμε Πηγή: Olympic sun Εταιρεία κατασκευής ηλιακών θερμοσιφώνων: <https://olympicsun.gr>



Εικόνα 5.1: Ηλιακός θερμοσίφωνας πειράματος. Πηγή: Olympic sun Εταιρεία κατασκευής ηλιακών θερμοσιφώνων: <https://olympicsun.gr>

5.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν ως εξής:

- **Θερμοκρασία εξόδου κατακόρυφου θερμοσίφωνα ($^{\circ}\text{C}$):** Η θερμοκρασία του νερού στην έξοδο του κατακόρυφου θερμοσίφωνα.
- **Θερμοκρασία εξόδου οριζόντιου θερμοσίφωνα ($^{\circ}\text{C}$):** Η θερμοκρασία του νερού στην έξοδο του οριζόντιου θερμοσίφωνα.
- **Θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$):** Η θερμοκρασία του αέρα στον περιβάλλοντα χώρο.
- **Ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2):** Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στους συλλέκτες των θερμοσιφώνων.
- **Υπενθυμίζεται** ότι οι μετρήσεις έγιναν με τον ίδιο ηλιακό συλλέκτη και στις δύο περιπτώσεις και χωρίς κατανάλωση νερού από τις δεξαμενές.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος:

Πίνακας 5.1: Δεδομένα Πειράματος

Ημέρα	Ωρα	Θερμοκρασία Εξόδου Κατακόρυφου Θερμοσίφωνα (°C)	Θερμοκρασία Εξόδου Οριζόντιου Θερμοσίφωνα (°C)	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
1	Πρωί	55.3	48.2	24.3	560.5
	Απόγευμα	68.4	66.1	35.2	
2	Πρωί	56.4	47.1	23.2	552.3
	Απόγευμα	67.5	65.7	34.1	
3	Πρωί	55.9	46.3	26.4	540.2
	Απόγευμα	66.2	64.5	36.5	
4	Πρωί	54.8	45.0	23.2	534.4
	Απόγευμα	65.8	63.2	35.7	
5	Πρωί	53.7	44.7	22.3	520.7
	Απόγευμα	64.9	62.4	33.8	
6	Πρωί	52.6	43.5	24.4	510.1
	Απόγευμα	63.6	61.3	33.6	
7	Πρωί	51.5	42.1	19.9	507.6
	Απόγευμα	62.3	60.2	32.5	

5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτουν τα εξής:

5.3.1 Σύγκριση Θερμοκρασίας Εξόδου

Οι θερμοκρασίες εξόδου των θερμοσιφώνων δείχνουν μια σαφή διαφορά μεταξύ πρωινών και βραδινών μετρήσεων. Οι θερμοκρασίες εξόδου του κατακόρυφου θερμοσίφωνα είναι σταθερά υψηλότερες σε σχέση με τον οριζόντιο όλη την διάρκεια της ημέρα. Η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη τις πρωινές ώρες καθώς κατά την διάρκεια της ημέρας όταν υπάρχει αλομάτευση εξομαλύνεται.

5.3.2 Επίδραση Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα την απόδοση των θερμοσιφώνων. Οι θερμοκρασίες εξόδου και των δύο θερμοσιφώνων είναι υψηλότερες τις ημέρες με υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό υποδεικνύει ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος παίζει

σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα των θερμοσιφώνων, καθώς επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα και τις απώλειες θερμότητας.

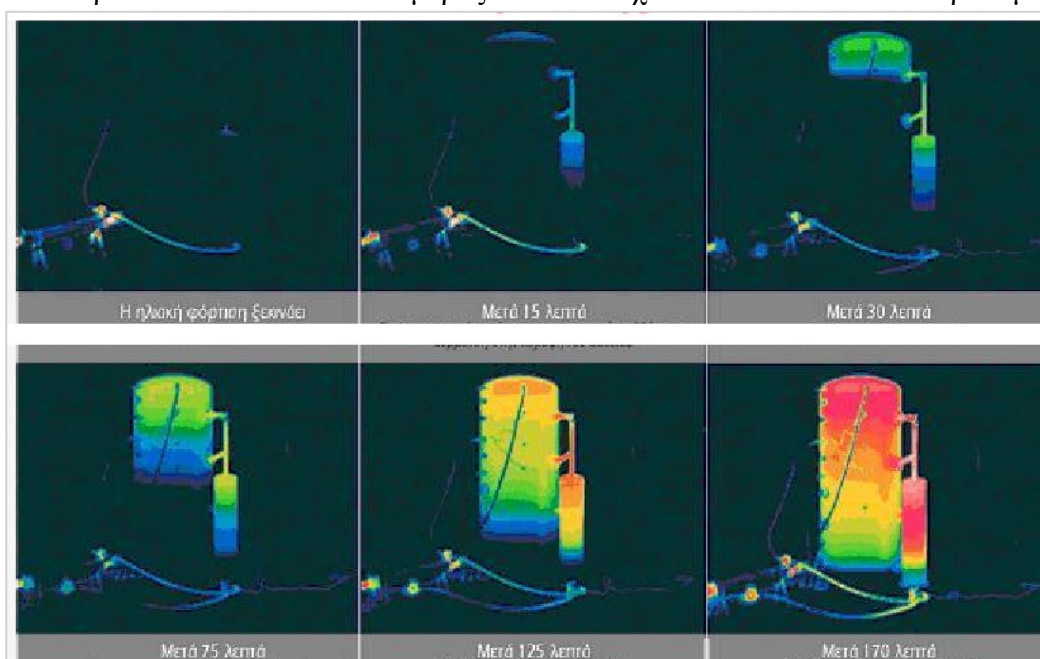
5.3.3 *Ηλιακή Ακτινοβολία*

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των ηλιακών θερμοσιφώνων. Τα δεδομένα δείχνουν ότι οι θερμοκρασίες εξόδου είναι υψηλότερες κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή (12.00μ.μ.) ενώ το απόγευμα παρόλο που η ηλιακή ακτινοβολία έχει μειωθεί, το δοχείο έχει συσσωρεύσει ενέργεια δηλαδή ζεστό νερό χρήσης. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η απόδοση των ηλιακών θερμοσιφώνων εξαρτάται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία.

5.3.4 *Συγκριτική Αποδοτικότητα*

Ο κατακόρυφος θερμοσίφωνας εμφανίζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα τις ώρες της ημέρας. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική σχεδίαση και διάταξη των δύο θερμοσιφώνων. Αιτία είναι ότι το κατακόρυφο δοχείο είναι ένα διαστρωματικό μπόιλερ για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από ηλιακά. Είναι σχεδιασμένο για να εκμεταλλεύεται τον ήλιο από τις πρώτες πρωινές ώρες.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που έχει το διαστρωματικό μπόιλερ ηλιακών σε σχέση με ένα απλό μπόιλερ ηλιακών είναι ότι επειδή επιτυγχάνει άριστη διαστρωμάτωση με φυσικό τρόπο, ο εναλλάκτης των ηλιακών βρίσκεται διαρκώς εμβαπτισμένος με όσο το δυνατόν περισσότερο ψυχρό νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η θερμότητα μεταξύ του υγρού των ηλιακών και του νερού χρήσης του διαστρωματικού μπόιλερ ηλιακών να ρέει με μεγάλη ευκολία, στην πραγματικότητα αυξάνοντας τον βαθμό απόδοσης του συστήματος των ηλιακών και να συσσωρεύεται στο πάνω μέρος του δοχείου οπότε το παίρνουμε ΑΜΕΣΑ.



Εικόνα 5.2: Θερμική Φόρτιση Κάθετου Δοχείου Αποθήκευσης ZNX

Αυτός ο κάθετος τρόπος κατασκευής του επιτρέπει την κατανομή της θερμοκρασίας των ηλιακών εντός του όγκου του με πολύ μεγάλη ακρίβεια από επάνω προς τα κάτω χωρίς αυτή να διασκορπίζεται σε ολόκληρο τον όγκο του δοχείου όπως συμβαίνει στα οριζόντια δοχεία όπου η διαστρωμάτωση είναι χειρότερη! Με αυτό τον έξυπνο τρόπο αυξάνεται σημαντικά η απόδοση του η οποία παραμένει υψηλή ακόμη και κάτω από αντίξοες συνθήκες λειτουργίας όπως τον Χειμώνα ή μέρες με συννεφιά.

Στα οριζόντια δοχεία η θερμότητα από τον Ήλιο διαχέεται μέσα σε ολόκληρο τον όγκο του δοχείου με αποτέλεσμα το ζεστό νερό να είναι διαθέσιμο μόνο για πραγματική χρήση μόνο αφότου το δοχείο έχει δουλέψει ήδη αρκετές ώρες και το νερό - καθώς η θερμοκρασία των ηλιακών διαμοιράζεται - έχει πιάσει τελικά την επιθυμητή θερμοκρασία στο επάνω μέρος. Αυτό τεκμηριώνεται από τα αποτελέσματα που φαίνεται μικρότερη διαφορά στο τέλος της ημέρας σε σχέση με την αιχμή της ηλιακής ακτινοβολίας.

5.3.5 Εξαγωγή Συμπερασμάτων

Η ανάλυση των δεδομένων δείχνει ότι ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των θερμοσιφώνων παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητά τους. Οι θερμοκρασίες εξόδου επηρεάζονται άμεσα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για σωστό σχεδιασμό και τοποθέτηση ανάλογα με τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Σε κάθε περίπτωση ο κατακόρυφος θερμοσίφοντας έχει μεγαλύτερη απόδοση. Ο λόγος που έχει καταργηθεί από τις ταρατσες των κτηρίων είναι καθαρά αισθητικός και δεν ανταποκρίνεται στα σύγχρονα απαιτητικά αρχιτεκτονικά πρότυπα.

5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

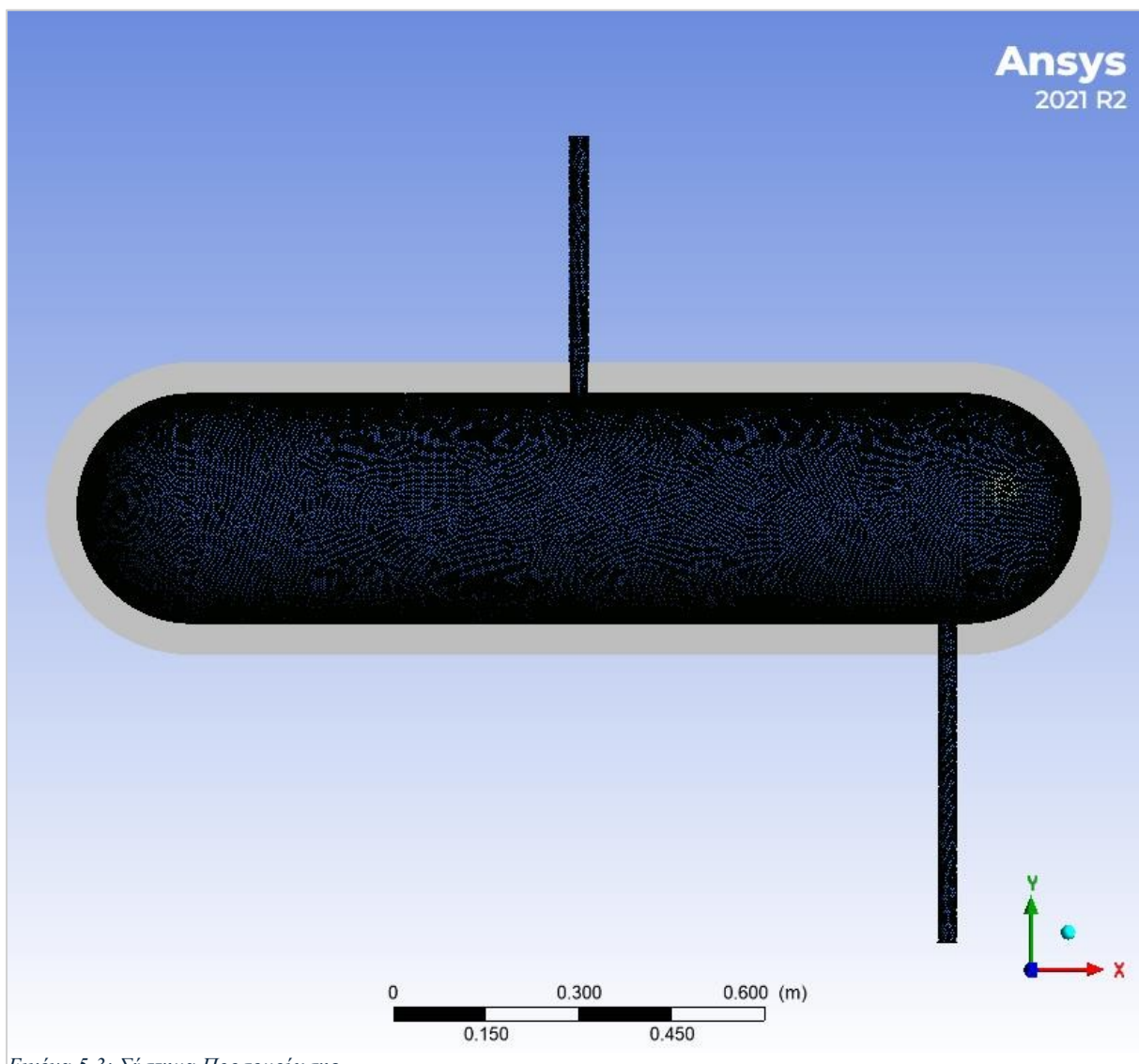
Στη παρούσα ενότητα πραγματοποιείται οπτική ανάλυση μέσω προσομοίωσης. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιείται το Ansys (2021 R2). Το ANSYS 2021 R2 είναι ένα ισχυρό λογισμικό που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση και την ανάλυση μηχανικών και φυσικών προβλημάτων. Αξιοποιεί μεθόδους όπως η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEM) για να παρέχει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα σε τομείς όπως η ροή των ρευστών (CFD), η μηχανική των στερεών, η θερμική ανάλυση και η ηλεκτρομαγνητική ανάλυση. Η έκδοση 2021 R2 περιλαμβάνει βελτιώσεις στην απόδοση και την ακρίβεια των προσομοιώσεων και προσφέρει μια πιο φιλική προς τον χρήστη διεπαφή. Με δυνατότητες ενσωμάτωσης με άλλα εργαλεία σχεδίασης και ανάλυσης, το ANSYS 2021 R2 αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για μηχανικούς και επιστήμονες που επιδιώκουν την ανάπτυξη και την αξιολόγηση προηγμένων συστημάτων και κατασκευών.

5.4.1 Σκοπός της Προσομοίωσης

Ο σκοπός της προσομοίωσης είναι η σύγκριση της κατανομής θερμοκρασίας σε τέσσερις διατάξεις δεξαμενών με διαφορετικές χωρητικότητες και προσανατολισμούς. Οι διατάξεις δεξαμενών περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.2: Διατάξεις δεξαμενών προς ανάλυση

Δεξαμενή	Τύπος	Χωρ/τητα (L)	Θερ/σία εισόδου (C°)	Θερ/σία περιβάλλοντος (C°)
C1	Οριζόντια	160	80	20
C2		60		
C3	Κάθετη	160		
C4		60		



Εικόνα 5.3: Σύστημα Προσομοίωσης

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις διατάξεις δεξαμενών που αναλύονται στην προσομοίωση θερμικής ανάλυσης. Οι δεξαμενές διακρίνονται βάσει του τύπου τους (οριζόντια ή κάθετη), της χωρητικότητάς τους σε λίτρα, της θερμοκρασίας εισόδου και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κάποια συγκεκριμένη πρωινή ώρα. Συγκεκριμένα, δύο δεξαμενές (C1 και C3) έχουν χωρητικότητα 160 λίτρα, ενώ οι άλλες δύο (C2 και C4) έχουν χωρητικότητα 60 λίτρα. Η θερμοκρασία εισόδου και η θερμοκρασία περιβάλλοντος για τις δεξαμενές C1 και C3 είναι 79.85°C και 19.85°C αντίστοιχα, ενώ για τις δεξαμενές C2 και C4 οι θερμοκρασίες αυτές δεν είναι προσδιορισμένες στον πίνακα. Η κατηγοριοποίηση αυτή επιτρέπει την αξιολόγηση της απόδοσης και της κατανομής θερμοκρασίας σε διαφορετικές διατάξεις και συνθήκες λειτουργίας

5.4.2 Αναφορά Πλέγματος

Ο πίνακας που ακολουθεί παρέχει μια αναφορά για το πλέγμα που χρησιμοποιείται στις προσομοιώσεις:

Πίνακας 5.3: Αναφορά Πλέγματος

Περιοχή	Κόμβοι	Στοιχεία
Νερό	259.390	1.347.047
Δεξαμενή	135.104	404.677
Μόνωση	270.332	1.382.850
Σύνολο	664.826	3.134.574

ο Περιγραφή του Πλέγματος

Το πλέγμα (mesh) είναι ένα κρίσιμο στοιχείο στις προσομοιώσεις υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) και άλλων αριθμητικών αναλύσεων. Χρησιμοποιείται για να διακριτοποιήσει το συνεχή χώρο σε μικρότερα, διαχειρίσιμα τμήματα, επιτρέποντας στους υπολογιστές να επιλύουν πολύπλοκες εξισώσεις στις διάφορες περιοχές του μοντέλου. Ορισμένα από τα βασικά στοιχεία και οι λειτουργίες του πλέγματος περιλαμβάνουν:

1. Κόμβοι (Nodes):

- ο Οι κόμβοι είναι τα σημεία στο χώρο όπου οι τιμές των μεταβλητών (όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η ταχύτητα κ.λπ.) υπολογίζονται.
- ο Αυτοί οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας τα στοιχεία του πλέγματος.

2. Στοιχεία (Elements):

- ο Τα στοιχεία είναι τα τμήματα του πλέγματος που περιβάλλουν τους κόμβους. Μπορούν να έχουν διάφορες γεωμετρίες, όπως τρίγωνα, τετράεδρα, τετράγωνα ή εξάεδρα.
- ο Τα στοιχεία χρησιμοποιούνται για να προσεγγίσουν την πραγματική γεωμετρία του μοντέλου και να επιτρέψουν την αριθμητική λύση των εξισώσεων που περιγράφουν το φυσικό φαινόμενο.

3. Περιοχές του Πλέγματος:

- ο Το πλέγμα μπορεί να αποτελείται από διάφορες περιοχές, όπως η περιοχή του νερού, η δεξαμενή και η μόνωση, κάθε μια από τις οποίες απαιτεί διαφορετική λεπτομέρεια και πυκνότητα πλέγματος για την ακριβή προσομοίωση.

4. Σημασία και Χρήση:

- ο Το πλέγμα είναι καθοριστικής σημασίας για την ακρίβεια και την αποδοτικότητα της προσομοίωσης. Ένα πυκνό πλέγμα μπορεί να παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα, αλλά απαιτεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ και χρόνο.
- ο Η επιλογή της σωστής πυκνότητας και δομής του πλέγματος είναι κρίσιμη για την ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και απόδοσης.

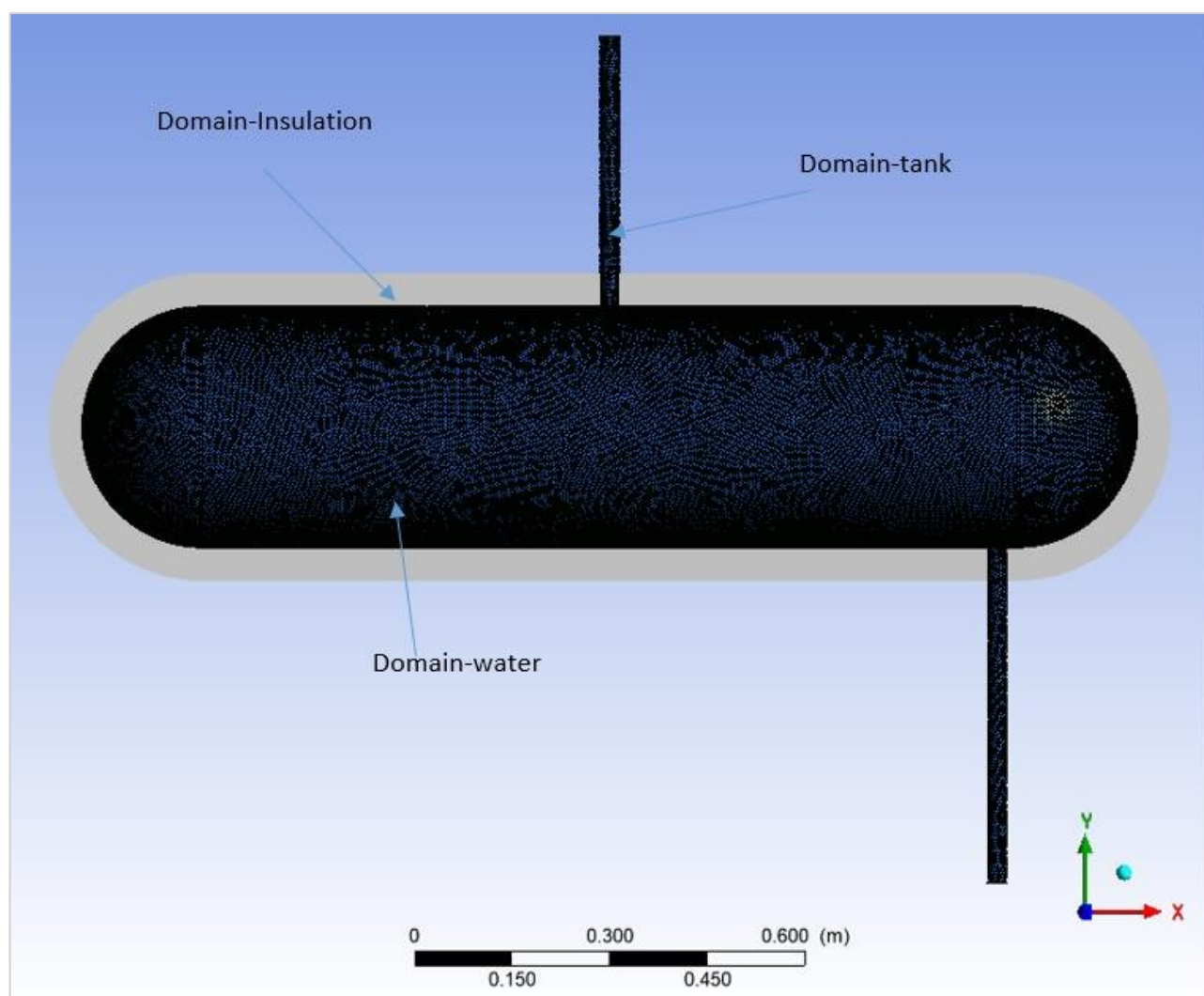
Στην περίπτωση της παρούσας προσομοίωσης, το πλέγμα αποτελείται από συνολικά 664.826 κόμβους και 3.134.574 στοιχεία, διαχωρισμένα σε τρεις περιοχές: νερό, δεξαμενή και μόνωση. Αυτή η λεπτομερής διακριτοποίηση επιτρέπει την ακριβή προσομοίωση της θερμικής απόδοσης και των δυναμικών φαινομένων στο σύστημα.

5.4.3 Περιοχές Πλέγματος και Υλικά

Ο ακόλουθος πίνακας περιγράφει τις περιοχές του πλέγματος και τα υλικά που τους αντιστοιχούν:

Πίνακας 5.4: Περιοχές Πλέγματος και Υλικά

Τύπος	Τοποθεσία
Στερεό	Domain-Insulation
Ρευστό	Domain-water
Στερεό	Domain-tank



Εικόνα 5.4: Περιοχές Πλέγματος και Υλικά Προσομοίωσης

ο Περιγραφή των Περιοχών Πλέγματος και Υλικών

1. **Domain-Insulation (Μόνωση):**

- ο **Τύπος:** Στερεό
- ο **Περιγραφή:** Αυτή η περιοχή αντιπροσωπεύει το υλικό μόνωσης που περιβάλλει τη δεξαμενή του θερμοσίφωνα. Η μόνωση παίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού μειώνοντας τις θερμικές απώλειες. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μόνωση περιλαμβάνουν αφρώδες πολυουρεθάνιο, υαλοβάμβακα ή άλλα θερμομονωτικά υλικά.

2. **Domain-water (Νερό):**

- ο **Τύπος:** Ρευστό
- ο **Περιγραφή:** Αυτή η περιοχή αντιπροσωπεύει τον όγκο του νερού εντός της δεξαμενής. Το νερό είναι το μέσο που αποθηκεύει και μεταφέρει τη θερμική ενέργεια που συλλέγεται από το ηλιακό σύστημα. Η ανάλυση της συμπεριφοράς του νερού, όπως η κατανομή της θερμοκρασίας και η ροή, είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του θερμοσίφωνα.

3. **Domain-tank (Δεξαμενή):**

- ο **Τύπος:** Στερεό
- ο **Περιγραφή:** Αυτή η περιοχή αντιπροσωπεύει τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένη η δεξαμενή. Συνήθως, οι δεξαμενές κατασκευάζονται από υλικά όπως glass, χαλκός, ανοξείδωτο ατσάλι ή άλλες ανθεκτικές μεταλλικές ενώσεις, τα οποία είναι ανθεκτικά στη διάβρωση και έχουν καλή θερμική αγωγιμότητα.

ο Σημασία και Ρόλος των Περιοχών και Υλικών

Η σωστή επιλογή των υλικών και η διαχείριση των περιοχών του πλέγματος είναι κρίσιμη για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των προσομοιώσεων. Κάθε περιοχή έχει μοναδικά χαρακτηριστικά και συμπεριφορές που επηρεάζουν τη συνολική απόδοση του θερμοσίφωνα:

- **Μόνωση:** Η ποιότητα και το πάχος της μόνωσης καθορίζουν την αποτελεσματικότητά της στη μείωση των θερμικών απωλειών, επιτρέποντας τη διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- **Νερό:** Η συμπεριφορά του νερού, όπως η κυκλοφορία και η θερμική αγωγιμότητα, επηρεάζει άμεσα την απόδοση της θέρμανσης και την ταχύτητα με την οποία το νερό φτάνει στην επιθυμητή θερμοκρασία.
- **Δεξαμενή:** Το υλικό της δεξαμενής πρέπει να είναι ανθεκτικό στις θερμικές καταπονήσεις και τη διάβρωση, διασφαλίζοντας τη μακροχρόνια λειτουργία και ασφάλεια του συστήματος.

Η ανάλυση των περιοχών του πλέγματος και των υλικών είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση και τη βελτίωση των συστημάτων ηλιακών θερμοσιφώνων.

5.4.4 Οριακές Συνθήκες

Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5.5: Οριακές Συνθήκες

Περιοχή	Οριακή Συνθήκη	Τύπος	Τοποθεσία
Domain-Insulation	Boundary - ambient wall	WALL	ambient wall
Domain-Insulation	Boundary - interior part model1_objects tank	WALL	interior-part-model1_objects- tank
Domain-water	Boundary - inlet	VELOCITY-INLET	inlet
Domain-water	Boundary - outlet	MASS-FLOW-OUTLET	outlet
Domain-water	Boundary - repaired_ tankwalls	WALL	repaired_ - tankwalls
Domain-tank	Boundary - interior part model1_objects tank shadow	WALL	interior-part-model1_objects- tank-shadow
Domain-tank	Boundary - repaired_ tankwalls shadow	WALL	repaired_ - tankwalls-shadow
Domain-tank	Boundary - wall tank	WALL	wall-tank
Domain-tank	Boundary - water shadow	WALL	water-shadow

ο Περιγραφή των Οριακών Συνθηκών

Οι οριακές συνθήκες είναι σημαντικές για την ακριβή προσομοίωση των φυσικών φαινομένων και τον καθορισμό της συμπεριφοράς των υλικών και των ρευστών στις διάφορες περιοχές του μοντέλου. Κάθε περιοχή έχει συγκεκριμένες οριακές συνθήκες που εφαρμόζονται για να προσομοιωθεί η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και άλλες περιοχές του μοντέλου. Ακολουθεί μια λεπτομερής περιγραφή των οριακών συνθηκών που χρησιμοποιούνται:

1. Domain-Insulation:

- ο **Boundary - ambient_wall (WALL)**: Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στην εξωτερική επιφάνεια της μόνωσης, που βρίσκεται σε επαφή με το περιβάλλον. Η συνθήκη αυτή αναπαριστά τη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ της μόνωσης και του περιβάλλοντος αέρα.
- ο **Boundary - interior part model1_objects tank (WALL)**: Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στην εσωτερική επιφάνεια της μόνωσης, που είναι σε επαφή με τη δεξαμενή. Αυτή η συνθήκη αναπαριστά τη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ της μόνωσης και της δεξαμενής.

2. Domain-water:

- ο **Boundary - inlet (VELOCITY-INLET)**: Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στην είσοδο του νερού στη δεξαμενή. Καθορίζει την ταχύτητα και τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στη δεξαμενή.
- ο **Boundary - outlet (MASS-FLOW-OUTLET)**: Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στην έξοδο του νερού από τη δεξαμενή. Καθορίζει τη ροή μάζας και τις συνθήκες πίεσης στο σημείο εξόδου.

- **Boundary - repaired__tankwalls (WALL):** Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στους τοίχους της δεξαμενής που έχουν επιδιορθωθεί, καθορίζοντας τη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ του νερού και των τοίχων της δεξαμενής.

3. Domain-tank:

- **Boundary - interior part model1_objects tank shadow (WALL):** Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στην εσωτερική επιφάνεια της σκιάς της δεξαμενής. Καθορίζει τη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ της σκιάς και της δεξαμενής.
- **Boundary - repaired__tankwalls shadow (WALL):** Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στους επιδιορθωμένους τοίχους της σκιάς της δεξαμενής, καθορίζοντας τη θερμική αγωγιμότητα.
- **Boundary - wall tank (WALL):** Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στους τοίχους της δεξαμενής, καθορίζοντας τη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ της δεξαμενής και του περιεχομένου της.
- **Boundary - water shadow (WALL):** Αυτή η συνθήκη εφαρμόζεται στους τοίχους της σκιάς που έρχονται σε επαφή με το νερό, καθορίζοντας τη θερμική αγωγιμότητα.

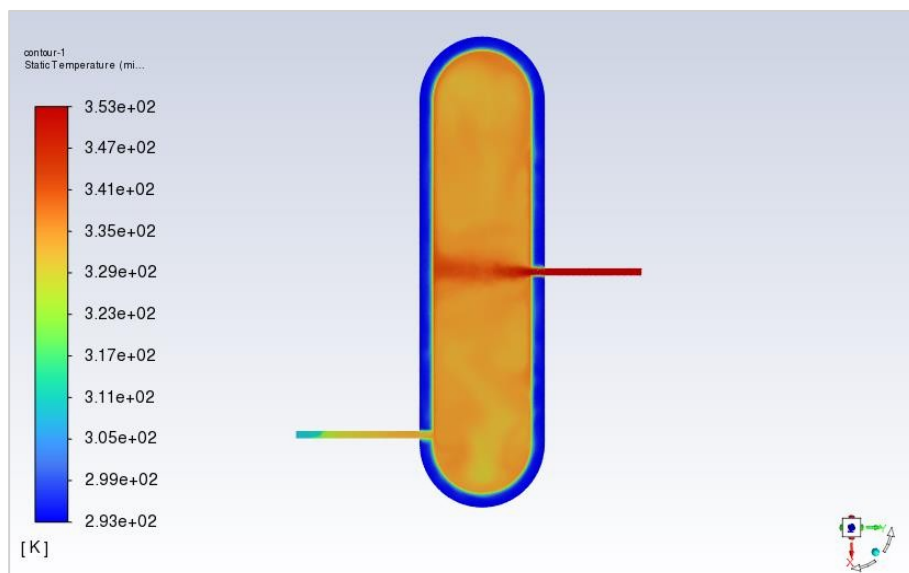
- Σημασία των Οριακών Συνθηκών

Η σωστή εφαρμογή των οριακών συνθηκών είναι ζωτικής σημασίας για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των προσομοιώσεων. Οι οριακές συνθήκες καθορίζουν πώς τα υλικά και τα ρευστά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον, επηρεάζοντας τη θερμική και υδραυλική απόδοση του συστήματος. Η ανάλυση και η ρύθμιση αυτών των συνθηκών επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των συστημάτων ηλιακών θερμοσιφώνων και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητάς τους.

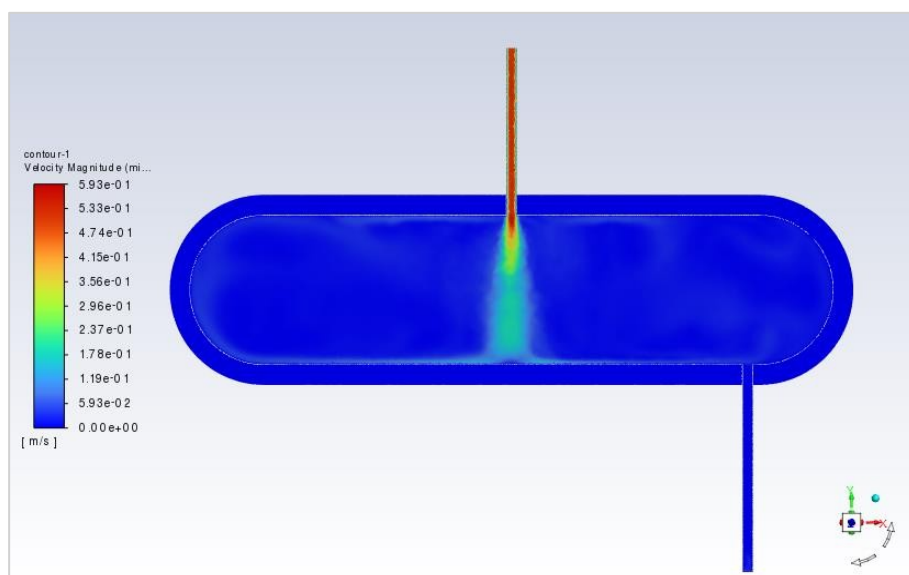
5.4.5 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων περιλαμβάνουν τις κατανομές θερμοκρασίας, ταχύτητας και πίεσης για κάθε διάταξη δεξαμενής. Κάθε σύνολο αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τις εξής κατηγορίες:

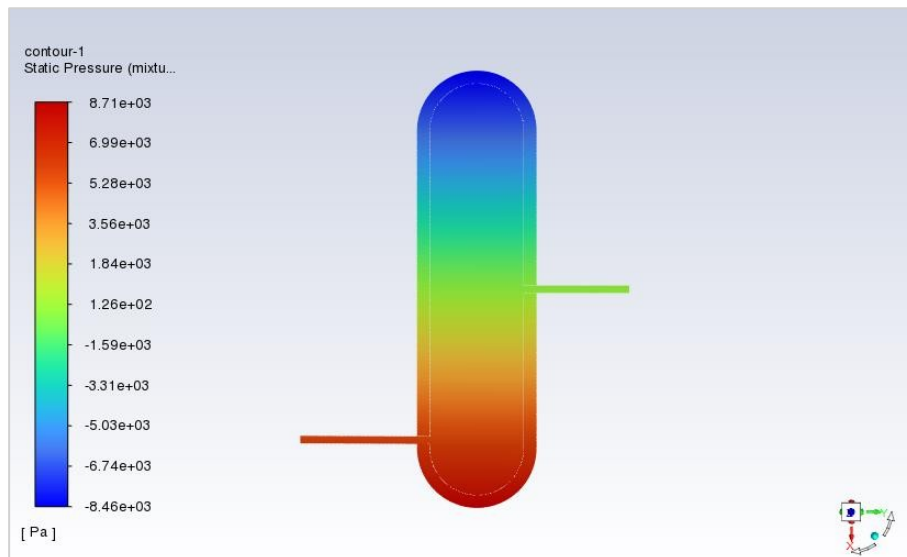
Κατανομή Θερμοκρασίας για C1:



Εικόνα 5.5: Κατανομή Θερμοκρασίας

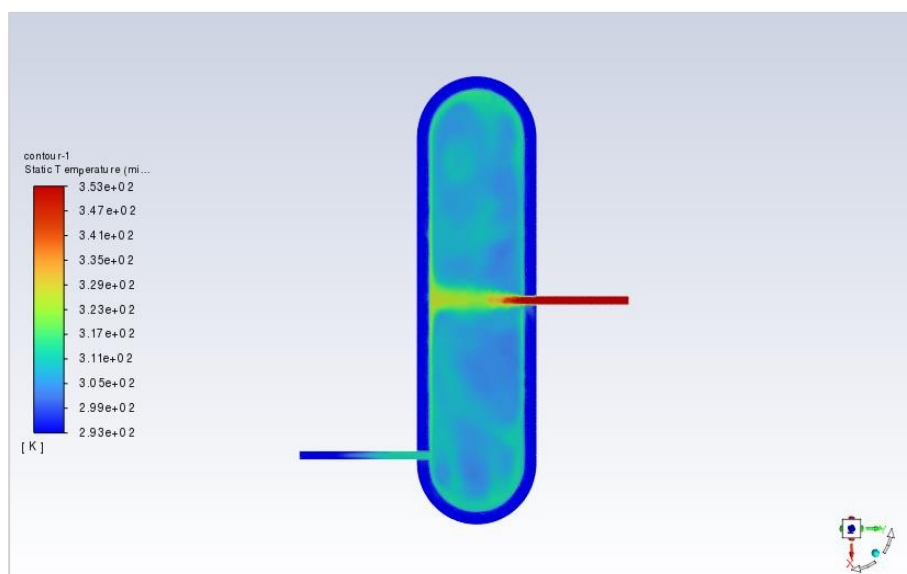


Εικόνα 5.6: Κατανομή Ταχύτητας

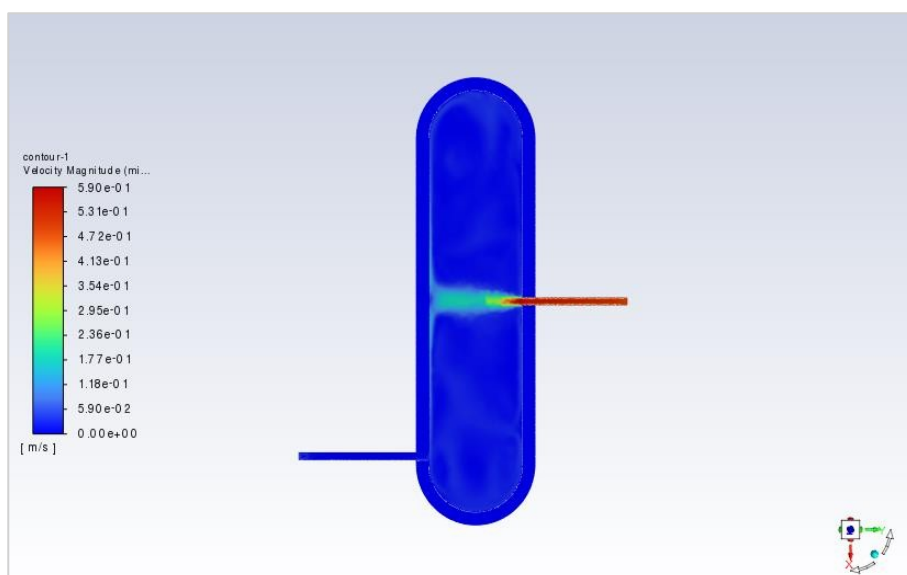


Εικόνα 5.7: Κατανομή Πίεσης

Κατανομή Θερμοκρασίας για C2:

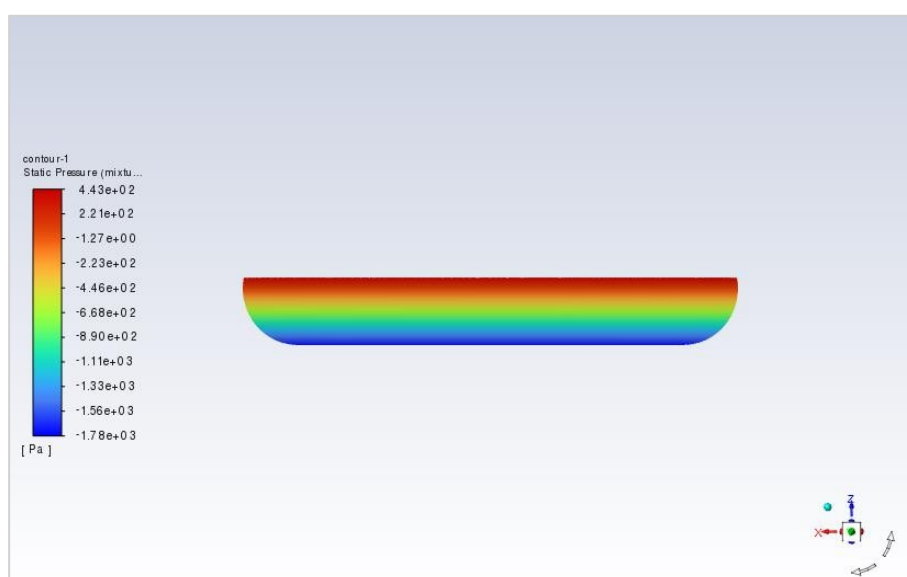


Εικόνα 5.8: Κατανομή Θερμοκρασίας

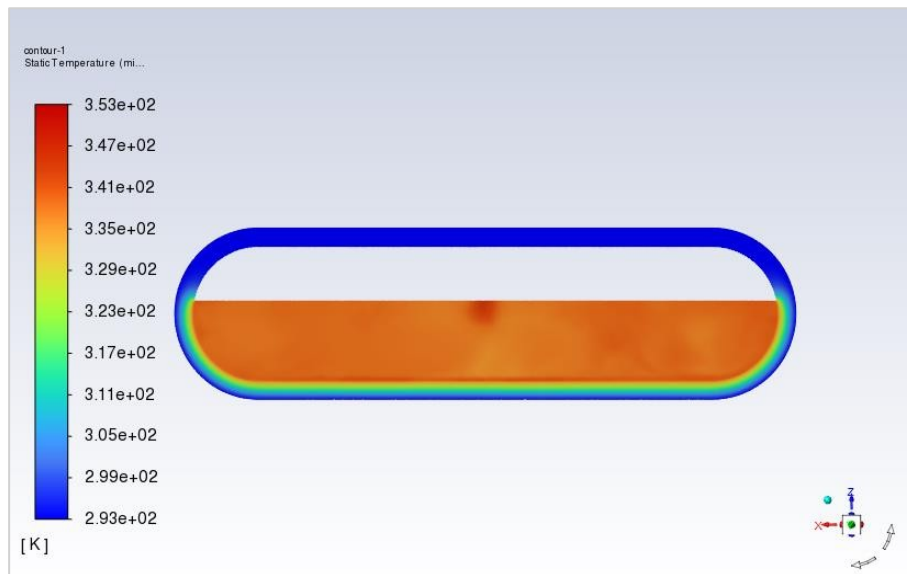


Εικόνα 5.9: Κατανομή Ταχύτητα

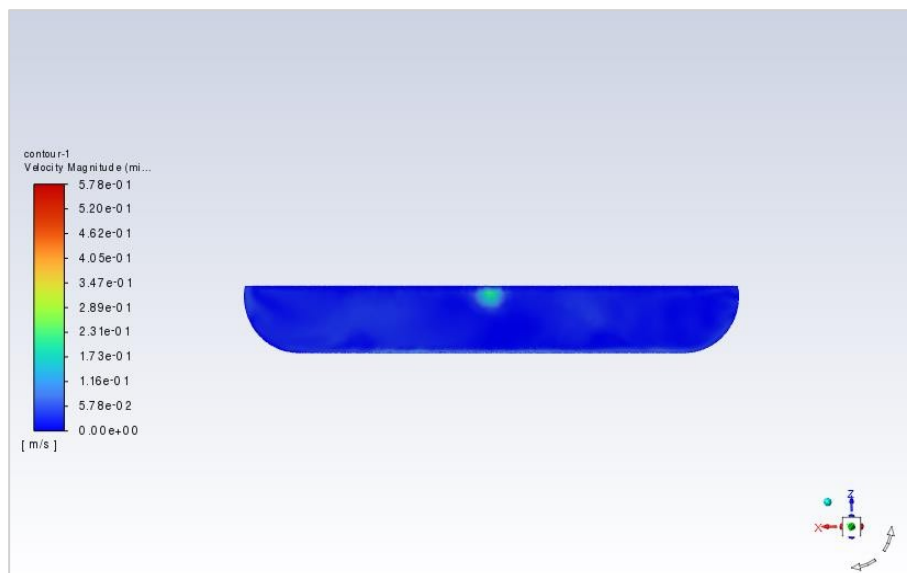
Κατανομή Θερμοκρασίας για C3:



Εικόνα 5.10: Κατανομή Θερμοκρασίας

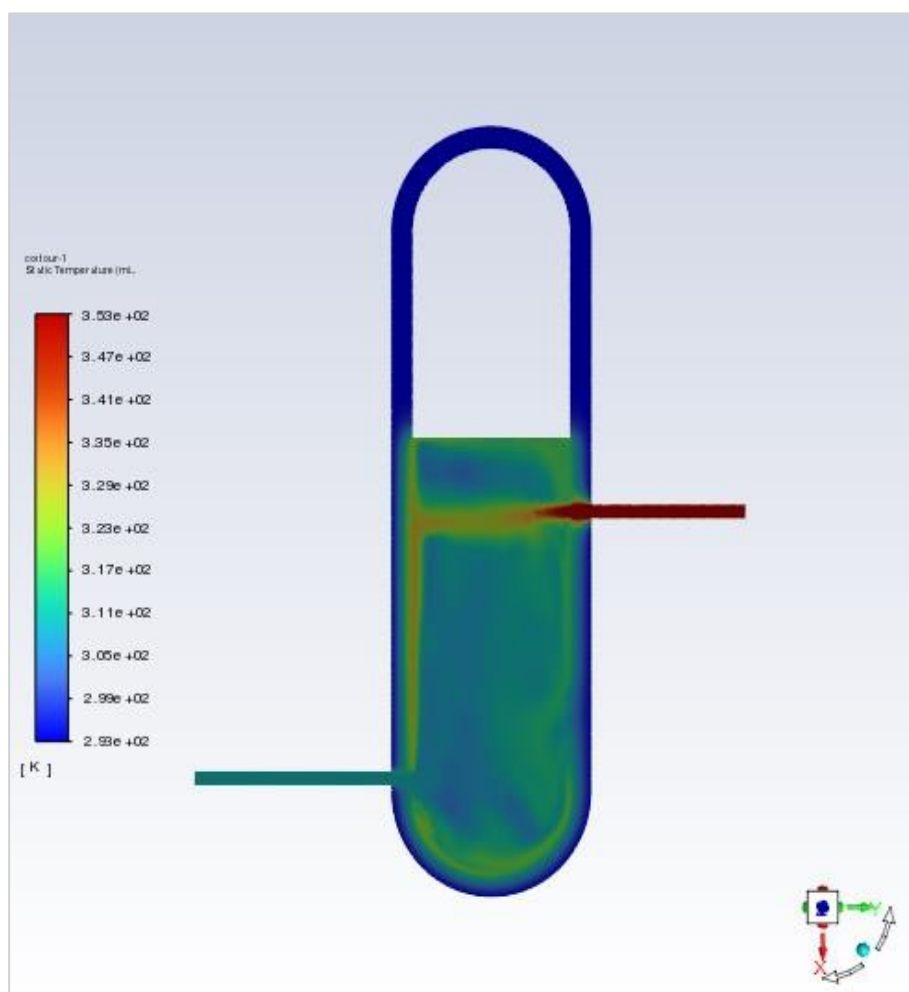


Εικόνα 5.11: Κατανομή Πίεσης

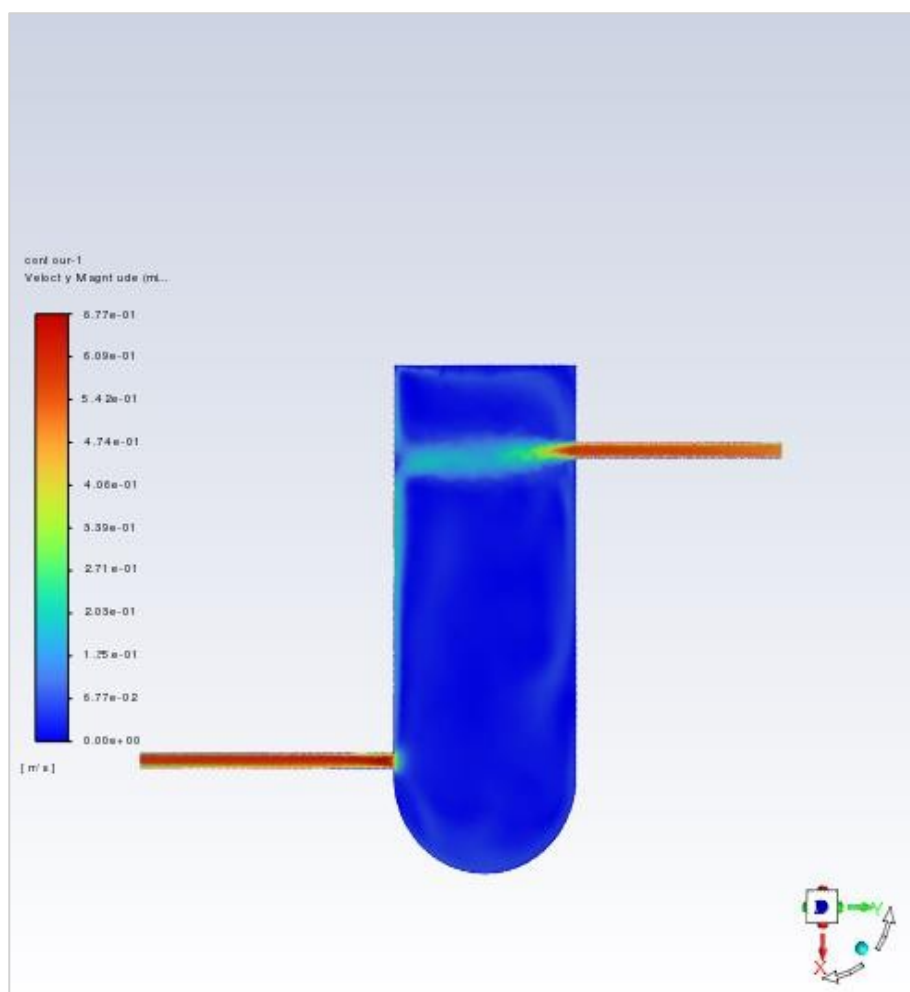


Εικόνα 5.2: Κατανομή ταχύτητας

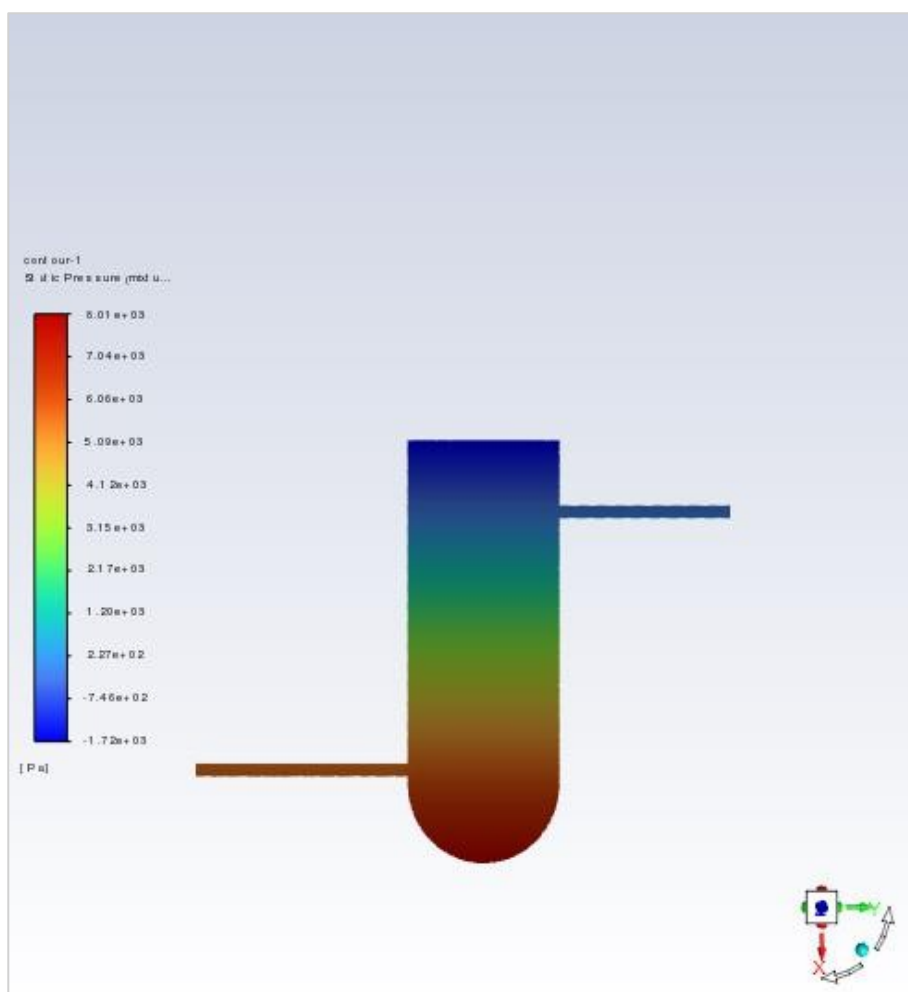
Κατανομή Θερμοκρασίας για C4:



Εικόνα 5.3: Κατανομή Θερμοκρασίας



Εικόνα 5.14: Κατανομή Ταχύτητας



Εικόνα 5.4: Κατανομή Πίεσης

Ακολουθεί μια περιγραφή των ευρημάτων και των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις, καθώς και σύγκριση των διαφορετικών διατάξεων δεξαμενών ως προς την αποδοτικότητά τους.

6. Συμπεράσματα και Συστάσεις

Στην παρούσα εργασία, διεξήχθη λεπτομερής θερμική ανάλυση των δοχείων ηλιακών θερμοσιφώνων με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της βιωσιμότητας αυτών των συστημάτων. Τα κύρια ευρήματα της μελέτης περιλαμβάνουν:

6.1 ΚΥΡΙΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ

- **Αποδοτικότητα Υλικών Κατασκευής:** Τα πειράματα έδειξαν ότι οι θερμική μόνωση του δοχείου ηλιακού θερμοσίφωνα καθορίζεται κυρίως από το υλικό μόνωσης του δοχείου με το εξωτερικό περιβάλλον και όχι τόσο από το υλικό κατασκευής του δοχείου. Συνεπώς είτε είναι κατασκευασμένος από επισμαλτωμένη λαμαρίνα είτε ανοξείδωτη είτε από χάλκινη δεν έχει ιδιαίτερη βαρύτητα.
- **Θερμοδυναμικές Βελτιώσεις:** Η χρήση προηγμένων υλικών και τεχνολογιών θερμικής μόνωσης συνέβαλε στη μείωση των θερμικών απωλειών και στην αύξηση της συνολικής απόδοσης των θερμοσιφώνων. Οι μονώσεις με σύγχρονα υλικά, όπως η πολυορεθάνη, απέδειξαν ότι μπορούν να μειώσουν τις απώλειες θερμότητας κατά 25%.
- **Σχεδιασμός και Διάταξη Συστημάτων:** Όπως φάνηκε και από το πείραμα αλλά και από την προσομοίωση που κάναμε οι κατακόρυφες διατάξεις των συστημάτων παρουσίασαν καλύτερη απόδοση σε σχέση με τις οριζόντιες, λόγω της βελτιωμένης κυκλοφορίας του νερού και της πιο ομοιόμορφης κατανομής της θερμότητας. Η κατακόρυφη διάταξη επέτρεψε επίσης την καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Συνεπώς μπορούμε να δηλώσουμε ότι η σχεδιασμένη κάθετα δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης είναι αποδοτικότερη.

6.2 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Βάσει των ευρημάτων της παρούσας έρευνας, προτείνονται οι εξής συστάσεις για τη βελτίωση των ηλιακών θερμοσιφώνων:

- **Επιλογή Υλικών:** Η επιλογή υλικών με υψηλή θερμική αγωγιμότητα και ανθεκτικότητα γενιάς μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής των θερμοσιφώνων. Συνιστάται επίσης η χρήση επιλεκτικών επιστρώσεων που μειώνουν τις ακτινοβολούμενες απώλειες.
- **Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού:** Ο σχεδιασμός των θερμοσιφώνων θα πρέπει να περιλαμβάνει προηγμένες τεχνολογίες μόνωσης και συστήματα ελέγχου θερμοκρασίας για τη μείωση των ενεργειακών απωλειών. Οι αυτοματοποιημένοι αισθητήρες και τα συστήματα ελέγχου μπορούν να ρυθμίζουν τις θερμοκρασίες σε πραγματικό χρόνο, βελτιστοποιώντας τη χρήση της ενέργειας.

- **Υβριδικά συστήματα :** Με την βελτίωση της τεχνολογίας και την μείωση του κατασκευαστικού κόστους τα υβριδικά συστήματα αν και ακόμη βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο θα μας απασχολήσουν πολύ στο μέλλον.

6.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να εστιάσει σε διάφορους τομείς για την περαιτέρω βελτίωση και εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλιακών θερμοσιφώνων:

- **Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης:** Η ενσωμάτωση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης για την αυτοματοποιημένη διαχείριση της θερμικής ενέργειας και την πρόβλεψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα των συστημάτων. Τα συστήματα AI μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση της ηλιακής ενέργειας με βάση τις καιρικές προβλέψεις και τις απαιτήσεις των χρηστών.
- **Νέες Τεχνολογίες Υλικών:** Η έρευνα σε νέα υλικά και επιστρώσεις με υψηλή ανθεκτικότητα και θερμική αγωγιμότητα μπορεί να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στην απόδοση και τη διάρκεια ζωής των θερμοσιφώνων. Οι νανοτεχνολογίες και τα σύνθετα υλικά υψηλής απόδοσης μπορούν να μειώσουν τις ενεργειακές απώλειες και να αυξήσουν την αποδοτικότητα.
- **Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις:** Η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών κατασκευής και ανακύκλωσης μπορεί να ενισχύσει τη βιωσιμότητα της τεχνολογίας. Η μελέτη του κύκλου ζωής των υλικών και των συστημάτων μπορεί να προσφέρει κατευθυντήριες γραμμές για την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Η εργασία αυτή παρέχει σημαντικά δεδομένα και κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση των ηλιακών θερμοσιφώνων, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και την ενεργειακή αποδοτικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνεχής έρευνα και η εφαρμογή των προτεινόμενων βελτιώσεων μπορούν να οδηγήσουν σε πιο αποδοτικά και βιώσιμα συστήματα θέρμανσης, βοηθώντας στην επίτευξη των στόχων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την ενεργειακή ασφάλεια.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

-
- Panwar, Kaushik, & Kothar (2011), Assessment of heat transfer characteristics of a corrugated heat exchanger based on various corrugation parameters using artificial neural network approach, σελ..11
 - Academy, Oxford (2022), International Journal of Low-Carbon Technologies, σελ. 33
 - Andaç Batur Çolak , Safak Metin Kırkar , Alişan Gönül , Ahmet Selim Dalkılıç (2024), Assessment of heat transfer characteristics of a corrugated heat exchanger based on various corrugation parameters using artificial neural network approach, σελ. 21
 - Bergman & Lavine (2018), Fundamentals of Heat and Mass Transfer, σελ. 36
 - Bergman et al. (2011), Introduction to Heat Transfer, σελ. 37,40
 - Cengel (2015), Thermodynamics: An Engineering Approach, σελ. 31
 - Energy (2023), World Energy Outlook, σελ..14
 - Eurostat (2023), Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος, σελ.13,15
 - Frank P. Incropera (2006), Fundamentals of Heat and Mass Transfer, σελ..34
 - Holman (2010), Heat Transfer, σελ. 27, 37, 39, 40, 41,43
 - Jitendra Satpute (2018), Thermal Performance Investigation of Concentrated Solar Collector Using Novel Aluminum Absorber, σελ. 26
 - John A. Duffie & William A. Beckman (2013), Solar Engineering of Thermal Processes , σελ. 25-27, 32, 35-37, 39, 40-42)
 - Kalogirou, Industrial Process Heat (2009), Chemistry Applications, and Solar Dryers, σελ. 37-40, 43
 - Khaled Obaideen, Abdul Ghani Olabi, Yaser Al Swailmeen, Nabila Shehata, Mohammad Ali Abdelkareem (2023), Abdul Hai Alami, Cristina Rodriguez, Enas Taha Sayed, Solar Energy: Applications, Trends Analysis, Bibliometric Analysis and Research Contribution to Sustainable Development Goals (SDGs), , σελ. 19

-
- Panwar, Kaushik, & Kothar (2011), Role of renewable energy sources in environmental protection, σελ.11
 - Rouhollah FarhadiMorteza, TakiMorteza Taki (2020), Determination of the Proper Distance between the Absorber Plate and One-layer Cover in Flat-plateSolar Collectors Using Numerical Method, , σελ.21
 - Çengel, Y.A. and Ghajar (2011), Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications. McGraw-Hill, , σελ. 35-37, 38-41
 - Διογένης (2021), Παραγωγή βιοαιθανόλης από υπολείμματα τροφών σε πιλοτική κλίμακα, σελ. 13
 - Ζορμπαδάκης (2023), Εγκατάσταση Συστήματος Ανεμογεννητριών σε Υπεράκτια Περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, σελ. 19