## Ηλιακό θερμικό σύστημα

To θερμικό ηλιακό σύστημα είναι μια τεχνολογία που αξιοποιεί την ενέργεια του ήλιου για να παράγει θερμότητα. Αναφέρεται επίσης ως ηλιακή ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλες εφαρμογές, όπως θέρμανση νερού, θέρμανση κτιρίων και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η βασική αρχή πίσω από τα θερμικά ηλιακά συστήματα είναι η μετατροπή του ηλιακού φωτός σε θερμική ενέργεια μέσω της χρήσης ηλιακών συλλεκτών.



### **Περιγραφή συστήματος**

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι το βασικό συστατικό ενός θερμικού ηλιακού συστήματος. Είναι μια συσκευή που έχει σχεδιαστεί για να απορροφά το ηλιακό φως και να το μετατρέπει σε θερμική ενέργεια. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ηλιακών συλλεκτών: οι επίπεδοι συλλέκτες και οι συλλέκτες συγκέντρωσης. Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι ο πιο κοινός τύπος ηλιακών συλλεκτών και αποτελούνται από ένα επίπεδο πάνελ κατασκευασμένο από γυαλί ή πλαστικό που είναι τοποθετημένο σε στέγη ή πλαίσιο. Το πάνελ περιέχει μια σειρά από σωλήνες ή κανάλια που είναι γεμάτα με υγρό μεταφοράς θερμότητας, όπως νερό ή αντιψυκτικό. Όταν το ηλιακό φως πέφτει στο πάνελ, απορροφάται από το ρευστό, το οποίο στη συνέχεια κυκλοφορεί μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για να μεταφέρει τη θερμότητα σε μια δεξαμενή αποθήκευσης ή σε ένα σύστημα θέρμανσης.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες (Concentrating collectors), από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς για να εστιάσουν το ηλιακό φως σε μια μικρή περιοχή, αυξάνοντας την ποσότητα της θερμότητας που παράγεται. Συχνά χρησιμοποιούνται για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθμούς ηλιακής ενέργειας. Το συγκεντρωμένο ηλιακό φως χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ενός ρευστού, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού για την κίνηση μιας τουρμπίνας και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### **Ανάλυση**

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι το μέσο που πραγματοποιεί τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα, η οποία χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των ψυκτικών διατάξεων. Πρόκειται για διατάξεις οι οποίες απορροφούν την ακτινοβολία του ήλιου και με τον τρόπο αυτό θερμαίνουν το ρευστό που διέρχεται εντός τους. Οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες (Bellos et al., 2016): Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες FPC (Flat Plat), οι συλλέκτες με σωλήνες κενού ETC (Evacuated Tube), οι CPC (Compound Parabolic) και οι PTC (Parabolic Trough) ηλιακοί συλλέκτες που αμφότεροι είναι συγκεντρωτικοί.

Οι **επίπεδοι συλλέκτες** είναι ο πιο κοινός τύπος ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιείται σε θερμικά ηλιακά συστήματα. Αποτελούνται από ένα επίπεδο πάνελ από γυαλί ή πλαστικό, το οποίο είναι τοποθετημένο σε στέγη ή πλαίσιο. Το πάνελ περιέχει μια σειρά από σωλήνες ή κανάλια που είναι γεμάτα με υγρό μεταφοράς θερμότητας, όπως νερό ή αντιψυκτικό. Όταν το ηλιακό φως πέφτει στην επιφάνεια του πάνελ, απορροφάται από το ρευστό, το οποίο στη συνέχεια κυκλοφορεί μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για να μεταφέρει τη θερμότητα σε μια δεξαμενή αποθήκευσης ή σε ένα σύστημα θέρμανσης. Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι σχετικά απλοί στη σχεδίαση, εύκολοι στην εγκατάσταση και οικονομικά αποδοτικοί. Ωστόσο, είναι λιγότερο αποτελεσματικά σε υψηλές θερμοκρασίες και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού.

Οι **συλλέκτες με σωλήνες κενού** αποτελούνται από μια σειρά γυάλινων σωλήνων που εκκενώνονται από τον αέρα, δημιουργώντας ένα κενό. Μέσα σε κάθε σωλήνα υπάρχει ένας σωλήνας θερμότητας από χαλκό ή αλουμίνιο που περιέχει μια μικρή ποσότητα υγρού, το οποίο εξατμίζεται όταν θερμαίνεται από τον ήλιο. Ο ατμός ανεβαίνει στην κορυφή του σωλήνα και συμπυκνώνεται, απελευθερώνοντας τη θερμική ενέργεια σε ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας που ρέει μέσω μιας πολλαπλής στην κορυφή των σωλήνων. Οι συλλέκτες με σωλήνες κενού είναι πιο αποτελεσματικοί από τους επίπεδους συλλέκτες, ιδιαίτερα σε κρύο ή συννεφιασμένο καιρό, και μπορούν να παράγουν υψηλότερες θερμοκρασίες. Ωστόσο, είναι πιο ακριβά και απαιτούν περισσότερη συντήρηση.

Οι **σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες (CPC)** έχουν σχεδιαστεί για να συλλαμβάνουν περισσότερο ηλιακό φως από τους επίπεδους συλλέκτες χρησιμοποιώντας ανακλαστικές επιφάνειες που εστιάζουν το φως του ήλιου σε μικρότερη περιοχή. Συχνά χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες, όπως στην επεξεργασία τροφίμων ή στη χημική κατασκευή. Οι CPC ς είναι πιο αποτελεσματικοί από τους επίπεδους συλλέκτες σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά είναι πιο ακριβοί και απαιτούν περισσότερο χώρο.

Οι **παραβολικοί συλλέκτες κοιλότητας** **(PTC)** αποτελούνται από έναν μακρύ, καμπύλο καθρέφτη που εστιάζει το ηλιακό φως σε έναν σωλήνα που περιέχει ένα υγρό μεταφοράς θερμότητας. Ο σωλήνας είναι τοποθετημένος στο εστιακό σημείο του καθρέφτη, όπου το ηλιακό φως είναι πιο συγκεντρωμένο. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την παραγωγή ατμού για την κίνηση ενός στροβίλου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι PTC χρησιμοποιούνται σε μεγάλης κλίμακας ηλιακούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και μπορούν να παράγουν υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, είναι πολύ ακριβά και απαιτούν μεγάλο χώρο.

Οι παραπάνω κατηγορίες διαφέρουν σε αρκετά χαρακτηριστικά αλλά σίγουρα σημαντικότερο από αυτά, ο τρόπος με τον οποίον απορροφούν ηλιακή ενέργεια. Οι πρώτες δύο κατηγορίες απορροφούν την ακτινοβολία με δύο τρόπους : την άμεση και τη μέσω διάχυσης ακτινοβολία. Οι δύο δεύτερες απορροφούν βασικά την άμεση ακτινοβολία: οι PTC μονάχα αυτή και οι CPC κυρίως αυτή. Σε γενικές γραμμές, η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει σε έναν ηλιακό συλλέκτη μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη αριθμητική εξίσωση (Al-Sulaiman and S. Mahmoud, 2014) :

*I = G x cos(θ) x A*

όπου:

* I είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που μετριέται σε Watt / m²
* G είναι η ηλιακή ακτινοβολία που μετριέται σε Watt / m²
* θ είναι η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ των ακτίνων του ήλιου και της επιφάνειας του συλλέκτη, σε μοίρες
* A είναι η επιφάνεια του συλλέκτη, σε τετραγωνικά μέτρα.

Ο όρος G αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα ηλιακής ενέργειας που πέφτει σε μια οριζόντια επιφάνεια και μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας ένα πυρανόμετρο. Ο όρος cos(θ) αντιπροσωπεύει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τον συλλέκτη και ποικίλλει ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης. Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, το cos(θ) είναι ίσο με 1 και ο συλλέκτης απορροφά τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας. Ωστόσο, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι λοξή, το cos(θ) είναι μικρότερο από 1 και ο συλλέκτης απορροφά λιγότερη ενέργεια (Sharma et al., 2009)

Ο όρος Α αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του συλλέκτη και μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις διαστάσεις του συλλέκτη. Η συνολική ποσότητα ενέργειας που απορροφάται από τον συλλέκτη μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (I) με την επιφάνεια του συλλέκτη (Α). Αυτός ο υπολογισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ποσότητας ενέργειας που παράγεται από έναν ηλιακό συλλέκτη υπό συγκεκριμένες συνθήκες (Sharma et al., 2009).

Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παραπάνω εξίσωση είναι μια απλοποιημένη προσέγγιση και υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει σε έναν ηλιακό συλλέκτη, όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η σκίαση και η θέση του ήλιου στον ουρανό. Τα συστατικά της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει σε έναν ηλιακό συλλέκτη περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

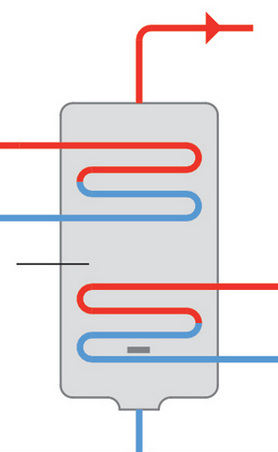
* Μήκος κύματος: Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα με εύρος μηκών κύματος, από το υπεριώδες έως το υπέρυθρο. Η ποσότητα ενέργειας που απορροφάται από τον συλλέκτη εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, με μικρότερα μήκη κύματος (όπως το υπεριώδες) να μεταφέρουν περισσότερη ενέργεια από τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (όπως το υπέρυθρο).
* Ένταση: Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας που πέφτει στον συλλέκτη. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ποικίλλει ανάλογα με τη θέση του ήλιου, τη γωνία πρόσπτωσης και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.
* Γωνία πρόσπτωσης: Η γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία με την οποία η ηλιακή ακτινοβολία χτυπά τον συλλέκτη. Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, ο συλλέκτης απορροφά τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας. Ωστόσο, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι λοξή, ο συλλέκτης απορροφά λιγότερη ενέργεια.
* Φασματική Κατανομή: Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας αναφέρεται στην κατανομή της ενέργειας σε διαφορετικά μήκη κύματος. Η φασματική κατανομή ποικίλλει ανάλογα με τη θέση του ήλιου και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Αμέσως μετά τη συλλογή της θερμότητας από τους ηλιακούς συλλέκτες, η επόμενη διαδικασία που πραγματοποιεί ένα τέτοιο σύστημα, είναι η αποθήκευση της. Το κεφάλαιο αυτό αναλύει τον τρόπο που αποθηκεύεται η θερμότητα σε συγκεκριμένες δεξαμενές αποθήκευσης. Η δεξαμενή αποθήκευσης έχει την εξής λειτουργία:

* Δέχεται θερμό ρευστό από την άνω είσοδο , η οποία είναι η έξοδος των ηλιακών συλλεκτών.
* Τροφοδοτεί με κρύο ρευστό από την κάτω έξοδο, τον ηλιακό συλλέκτη.
* Από τη δεξαμενή απορρέει ένα θερμό ρεύμα από το άνω μέρος και ένα κρύο ρεύμα από το κάτω μέρος προς τους ηλιακούς συλλέκτες, γεγονός που αποτυπώνει την διαβάθμιση της θερμοκρασίας εντός της δεξαμενής.

Η διάταξη της δεξαμενής αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα.

*Εικόνα 1 – Παράδειγμα δεξαμενής θερμότητας*



*(Πηγή: ktirio.gr)*

Η αριθμητική εξίσωση μιας δεξαμενής αποθήκευσης βασίζεται στην ειδική θερμοχωρητικότητα του αποθηκευτικού μέσου και στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχόμενου και εξερχόμενου νερού. Συνεπώς, η γενική αριθμητική εξίσωση για μια δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας όπως η παραπάνω, είναι:

Q = ρ \* c \* V \* ΔT

όπου:

* Q είναι η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που αποθηκεύεται στη δεξαμενή, μετρημένη σε joules (J)
* ρ είναι η πυκνότητα του αποθηκευτικού μέσου, μετρούμενη σε κιλά ανά κυβικό μέτρο (kg/m³)
* c είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αποθηκευτικού μέσου, μετρούμενη σε τζάουλ ανά κιλό ανά βαθμό Κελσίου (J/kg°C)
* V είναι ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης, μετρημένος σε κυβικά μέτρα (m³)
* ΔT είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχόμενου και του εξερχόμενου νερού, μετρούμενη σε βαθμούς Κελσίου (°C).

Αυτή η εξίσωση υποθέτει ότι η θερμοκρασία του μέσου αποθήκευσης είναι ομοιόμορφη σε όλη τη δεξαμενή και ότι δεν υπάρχει απώλεια θερμότητας από τη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης. Η ειδική θερμοχωρητικότητα του αποθηκευτικού μέσου ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται. Το νερό έχει σχετικά υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα περίπου 4,18 J/kg°C, που σημαίνει ότι μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλη ποσότητα θερμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται για δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας περιλαμβάνουν πέτρες, σκυρόδεμα και υλικά αλλαγής φάσης, τα οποία έχουν διαφορετική ειδική θερμική ικανότητα. Σε πρακτικές εφαρμογές, η αριθμητική εξίσωση για μια δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ποσότητας θερμικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί και να απελευθερωθεί σε μια ορισμένη χρονική περίοδο και για να προσδιοριστεί το μέγεθος και η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης που απαιτείται για ένα δεδομένο εφαρμογή.

## Βασικές κατηγορίες συστημάτων ηλιακής ψύξης

Σε αυτό το τμήμα αναλύονται τέσσερις βασικές διαδικασίες. Η διαδικασία της ψύξης που πραγματοποιείται μέσω Απορρόφησης, μέσω Προσρόφησης, μέσω του Ανοιχτού Εξατμιστικού κύκλου και μέσω της Μηχανικής συμπίεσης ατμού.



### **Απορρόφηση**

Η αυξανόμενη ζήτηση για ψύξη και η ανάγκη μετριασμού της κλιματικής αλλαγής έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη βιώσιμων και ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών ψύξης (IPCC, 2014). Τα συστήματα ψύξης απορρόφησης έχουν κερδίσει εξέχουσα θέση λόγω των δυνατοτήτων τους για μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, χρήση πηγών θερμότητας χαμηλής ποιότητας και μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα ψύξης (Li and Wang, 2013; Moeini et al., 2020).

Τα συστήματα ψύξης απορρόφησης λειτουργούν με βάση την αρχή της ψύξης με απορρόφηση, η οποία χρησιμοποιεί ένα δυαδικό μείγμα ψυκτικού μέσου (κοινώς νερό) και ενός απορροφητικού (π.χ. βρωμιούχο λίθιο ή αμμωνία) για την παροχή ψύξης (Li and Wang, 2013). Το σύστημα αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία: τον εξατμιστή, τον απορροφητή, τη γεννήτρια και τον συμπυκνωτή (Kareem et al., 2017).

1. Εξατμιστήρας: Στον εξατμιστή, το ψυκτικό απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον, εξατμίζεται και ψύχει τον αέρα ή το νερό που πρόκειται να ρυθμιστεί. Ο ατμός του ψυκτικού μέσου χαμηλής πίεσης στη συνέχεια μετακινείται στον απορροφητή (Li and Wang, 2013).
2. Απορροφητής: Στον απορροφητή, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου απορροφώνται από το συμπυκνωμένο απορροφητικό διάλυμα, παράγοντας ένα αραιωμένο διάλυμα. Η θερμότητα που παράγεται στον απορροφητή απομακρύνεται χρησιμοποιώντας ένα ψυκτικό μέσο, όπως νερό ή αέρας (Li and Wang, 2013; Kareem et al., 2017).
3. Γεννήτρια: Το αραιωμένο διάλυμα στη συνέχεια αντλείται στη γεννήτρια, όπου θερμαίνεται, είτε με άχρηστη θερμότητα είτε με ηλιακή ενέργεια, προκαλώντας την εξάτμιση του ψυκτικού και τον διαχωρισμό του από το απορροφητικό (Li and Wang, 2013). Στη συνέχεια, οι ατμοί του ψυκτικού υγρού υψηλής πίεσης μετακινούνται στον συμπυκνωτή.
4. Συμπυκνωτής: Στον συμπυκνωτή, ο ατμός του ψυκτικού μέσου συμπυκνώνεται, απελευθερώνοντας τη λανθάνουσα θερμότητά του στο ψυκτικό μέσο (π.χ. νερό ή αέρα). Το συμπυκνωμένο απορροφητικό διάλυμα επιστρέφει στον απορροφητή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται (Kareem et al., 2017).

Στην παρακάτω εικόνα παρατίθεται ένα τυπικό σύστημα ψύξης μεαπορρόφηση.

*Εικόνα 2 - Σύστημα ψύξης με απορρόφηση*

Εικόνα που περιέχει διάγραμμα

Περιγραφή που δημιουργήθηκε αυτόματα

*(Πηγή: Praene et al., 2007)*

Η απόδοση ενός συστήματος ψύξης απορρόφησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής ζεύγους απορροφητικού-ψυκτικού, του σχεδιασμού του συστήματος και των συνθηκών λειτουργίας (Li and Wang, 2013; Moeini et al., 2020). Οι βασικοί δείκτες απόδοσης περιλαμβάνουν τον συντελεστή απόδοσης (COP), την ειδική ισχύ ψύξης (SCP) και την ικανότητα ψύξης (Kareem et al., 2017).

Η πρόσφατη έρευνα επικεντρώθηκε στη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων ψύξης απορρόφησης βελτιστοποιώντας το σχεδιασμό του συστήματος, χρησιμοποιώντας προηγμένα υλικά και εναλλάκτες θερμότητας και ενσωματώνοντας το σύστημα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Moeini et al., 2020; Wu et al., 2019). Επιπλέον, η ανάπτυξη προηγμένων στρατηγικών ελέγχου και η εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης έχουν δείξει δυνατότητες ενίσχυσης της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας των συστημάτων ψύξης απορρόφησης (Wu et al., 2019; Zhang et al., 2021).

Αντίστοιχα, οι μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας περιλαμβάνουν τη διερεύνηση νέων ζευγών απορροφητικού-ψυκτικού για τη βελτίωση της θερμοδυναμικής απόδοσης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων ψύξης απορρόφησης (Li and Wang, 2013). Επιπλέον, περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει την ενοποίηση συστημάτων ψύξης απορρόφησης με άλλες βιώσιμες τεχνολογίες, όπως συστήματα ανάκτησης απορριμμάτων θερμότητας και αποθήκευσης ενέργειας, για τη δημιουργία ολοκληρωμένων, φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων ενέργειας (Moeini et al., 2020).

### **Προσρόφηση**

Με την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για ψύξη και την ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, είναι ζωτικής σημασίας να αναπτυχθούν βιώσιμες και ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες ψύξης (IPCC, 2014). Τα συστήματα ψύξης με προσρόφηση έχουν κερδίσει την προσοχή λόγω της ικανότητάς τους να χρησιμοποιούν πηγές θερμικής ενέργειας χαμηλής ποιότητας και να παράγουν ψύξη χωρίς τη χρήση επιβλαβών ψυκτικών ουσιών (Wang and Ng, 2006; Aristov et al., 2010).

Τα συστήματα ψύξης προσρόφησης λειτουργούν με βάση την αρχή της προσρόφησης, μια διαδικασία κατά την οποία ένα ψυκτικό μέσο (συνήθως νερό ή αμμωνία) προσροφάται στην επιφάνεια ενός πορώδους στερεού προσροφητικού υλικού, όπως πήκτωμα πυριτίου, ζεόλιθοι ή μεταλλικά-οργανικά πλαίσια (MOFs). (Wang and Ng, 2006; Aristov et al., 2010; Bae and Snurr, 2011). Ο κύκλος ψύξης της προσρόφησης αποτελείται από δύο κύριες φάσεις: τη φάση προσρόφησης και τη φάση εκρόφησης (Wang and Ng, 2006).

1. Φάση προσρόφησης: Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, ο ατμός του ψυκτικού μέσου προσροφάται από το προσροφητικό υλικό, το οποίο συνήθως διατηρείται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το ψυκτικό (Wang and Ng, 2006). Η διαδικασία προσρόφησης είναι εξώθερμη, απελευθερώνοντας θερμότητα στο περιβάλλον. Εν τω μεταξύ, το προσροφημένο ψυκτικό υφίσταται μια αλλαγή φάσης από ατμό σε υγρό, το οποίο ψύχει τον αέρα ή το νερό που πρόκειται να ρυθμιστεί (Aristov et al., 2010).
2. Φάση εκρόφησης: Σε αυτή τη φάση, το προσροφητικό υλικό θερμαίνεται, είτε με άχρηστη θερμότητα, ηλιακή ενέργεια ή άλλη θερμική πηγή χαμηλής ποιότητας, η οποία προκαλεί την εκρόφηση του ψυκτικού από την επιφάνεια του προσροφητή και την εξάτμιση (Wang and Ng, 2006). Το εξατμισμένο ψυκτικό στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε έναν συμπυκνωτή, απελευθερώνοντας τη λανθάνουσα θερμότητά του στο ψυκτικό μέσο (π.χ. νερό ή αέρα). Το συμπυκνωμένο ψυκτικό επιστρέφει στον εξατμιστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται (Aristov et al., 2010).

Η απόδοση ενός συστήματος ψύξης προσρόφησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η επιλογή ζεύγους προσροφητικού-ψυκτικού, ο σχεδιασμός του συστήματος και οι συνθήκες λειτουργίας (Wang and Ng, 2006; Bae and Snurr, 2011). Οι βασικοί δείκτες απόδοσης περιλαμβάνουν τον συντελεστή απόδοσης (COP), την ειδική ισχύ ψύξης (SCP) και την ικανότητα ψύξης (Aristov et al., 2010).

Η πρόσφατη βιβλιογραφία έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη προηγμένων προσροφητικών υλικών, όπως τα MOF και οι ζεόλιθοι, τα οποία παρουσιάζουν υψηλότερες ικανότητες προσρόφησης, ταχύτερη κινητική προσρόφησης-εκρόφησης και καλύτερη θερμική σταθερότητα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά προσροφητικά (Bae and Snurr, 2011; Furukawa et al., 2013). Επιπλέον, έχουν γίνει προσπάθειες για τη βελτίωση του σχεδιασμού του συστήματος και τη βελτιστοποίηση των συνθηκών λειτουργίας για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των συστημάτων ψύξης προσρόφησης (Wang and Ng, 2006; Aristov et al., 2010).

Η έρευνα του μέλλοντος θα πρέπει να διερευνήσει την ενσωμάτωση συστημάτων ψύξης προσρόφησης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανάκτησης απορριμμάτων θερμότητας και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για τη δημιουργία ολοκληρωμένων, φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων ενέργειας (Choudhury et al., 2013; Diarce et al., 2015). Επιπλέον, περαιτέρω έρευνα για την ανάπτυξη προηγμένων στρατηγικών ελέγχου και την εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας των συστημάτων ψύξης προσρόφησης (Wang and Ng, 2006; Zhang et al., 2018).

### **Ανοιχτός εξατμιστικός κύκλος**

Τα τελευταία χρόνια, η ζήτηση για ενεργειακά αποδοτικά συστήματα ψύξης έχει αυξηθεί λόγω των αυξανόμενων ανησυχιών για την κλιματική αλλαγή και την εξάντληση των πόρων ορυκτών καυσίμων (IPCC, 2014). Μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που έχει τραβήξει την προσοχή είναι το σύστημα ψύξης με Open Vaporative Cycle Absorption (OECA). Αυτό το σύστημα συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των συστημάτων ψύξης απορρόφησης και της ψύξης με εξάτμιση, με αποτέλεσμα μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα συμπίεσης ατμών (Li and Wang, 2013; Moeini et al., 2020).

Το σύστημα ψύξης OECA λειτουργεί με βάση την αρχή της ψύξης με απορρόφηση, η οποία χρησιμοποιεί ένα δυαδικό μείγμα ψυκτικού μέσου (κοινώς νερό) και απορροφητικού (π.χ. βρωμιούχο λίθιο ή αμμωνία) για να παρέχει ψύξη (Li and Wang, 2013). Το σύστημα αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία: τον εξατμιστή, τον απορροφητή, τη γεννήτρια και τον συμπυκνωτή (Kareem et al., 2017).

Στον εξατμιστή, το ψυκτικό απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον, εξατμίζεται και ψύχει τον αέρα ή το νερό που πρόκειται να ρυθμιστεί. Ο ατμός του ψυκτικού μέσου χαμηλής πίεσης στη συνέχεια μετακινείται στον απορροφητή, όπου απορροφάται από το συμπυκνωμένο απορροφητικό διάλυμα, παράγοντας ένα αραιωμένο διάλυμα (Li and Wang, 2013). Η θερμότητα που παράγεται στον απορροφητή απομακρύνεται χρησιμοποιώντας μια διαδικασία ψύξης με εξάτμιση, η οποία περιλαμβάνει την άμεση επαφή του περιβάλλοντος αέρα και του νερού (Kareem et al., 2017; Moeini et al., 2020).

Το αραιωμένο διάλυμα στη συνέχεια αντλείται στη γεννήτρια, όπου θερμαίνεται, είτε με άχρηστη θερμότητα είτε με ηλιακή ενέργεια, προκαλώντας την εξάτμιση του ψυκτικού και τον διαχωρισμό του από το απορροφητικό (Li and Wang, 2013). Ο ατμός του ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσης συμπυκνώνεται στη συνέχεια στον συμπυκνωτή, απελευθερώνοντας τη λανθάνουσα θερμότητά του στο ψυκτικό μέσο (π.χ. νερό ή αέρας). Το συμπυκνωμένο απορροφητικό διάλυμα επιστρέφει στον απορροφητή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται (Kareem et al., 2017).

Τα συστήματα ψύξης του OECA προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα συμπίεσης ατμών, όπως χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, χρήση πηγών θερμότητας χαμηλής ποιότητας και μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Li and Wang, 2013; Moeini et al., 2020). Επιπλέον, η διαδικασία ψύξης με εξάτμιση ενισχύει τη συνολική απόδοση του συστήματος μειώνοντας τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και αυξάνοντας την ικανότητα ψύξης (Kareem et al., 2017). Ωστόσο, τα συστήματα ψύξης του OECA έχουν επίσης ορισμένους περιορισμούς, όπως υψηλότερο κόστος αρχικής επένδυσης, την απαίτηση επαρκούς παροχής νερού για ψύξη με εξάτμιση και την ανάγκη τακτικής συντήρησης για την πρόληψη της διάβρωσης και της απολέπισης (Li and Wang, 2013; Moeini et al., 2020).

Οι πρόσφατες μελέτες έχουν επικεντρώθηκε στη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων ψύξης του OECA βελτιστοποιώντας το σχεδιασμό του συστήματος, χρησιμοποιώντας προηγμένα υλικά και εναλλάκτες θερμότητας και ενσωματώνοντας το σύστημα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Moeini et al., 2020; Wu et al., 2019). Επιπλέον, η ανάπτυξη προηγμένων στρατηγικών ελέγχου και η εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης έχουν δείξει δυνατότητες για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας των συστημάτων ψύξης του OECA (Wu et al., 2019; Zhang et al., 2021).

Οι μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις περιλαμβάνουν τη διερεύνηση νέων ζευγών απορροφητικού-ψυκτικού για τη βελτίωση της θερμοδυναμικής απόδοσης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων ψύξης του OECA (Li and Wang, 2013). Επιπλέον, περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει την ενοποίηση των συστημάτων ψύξης του OECA με άλλες βιώσιμες τεχνολογίες, όπως συστήματα ανάκτησης απορριμμάτων θερμότητας και αποθήκευσης ενέργειας, για τη δημιουργία ολοκληρωμένων, φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων ενέργειας (Moeini et al., 2020).

### **Μηχανική συμπίεση ατμού**

Η αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμες και ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες ψύξης έχει οδηγήσει στην εξερεύνηση καινοτόμων λύσεων που αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια (IPCC, 2014). Η ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμού (MSC) είναι μια τεχνολογία που μπορεί να τροφοδοτηθεί με ηλιακή ενέργεια για να παρέχει μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα συμβατικά συστήματα ψύξης. Τα συστήματα ψύξης MSC έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, να χρησιμοποιούν την ηλιακή θερμική ενέργεια και να μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Henning, 2004; Chow, 2010).

Τα συστήματα μηχανικής ψύξης συμπίεσης ατμού λειτουργούν με βάση την αρχή της μηχανικής επανασυμπίεσης ατμού (MVR), η οποία χρησιμοποιεί έναν μηχανικό συμπιεστή για να αυξήσει την πίεση και τη θερμοκρασία ενός ατμού (ατμού) που παράγεται σε έναν εξατμιστή (Zhang et al., 2016). Στη συνέχεια, ο ατμός υψηλής πίεσης συμπυκνώνεται, απελευθερώνοντας τη λανθάνουσα θερμότητά του, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του ψυκτικού μέσου στον εξατμιστή, παρέχοντας έτσι ψύξη (Kabeel et al., 2019).

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να ενσωματωθεί σε συστήματα ψύξης MSC χρησιμοποιώντας ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες, όπως επίπεδους συλλέκτες, συλλέκτες κενού σωλήνων ή παραβολικούς συλλέκτες, για να παράγει τη θερμότητα που απαιτείται για τον εξατμιστή (Henning, 2004; Chow, 2010). Εναλλακτικά, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία των μηχανικών συμπιεστών στα συστήματα ψύξης MSC (Zhang et al., 2016).

Η απόδοση ενός συστήματος ψύξης MSC με ηλιακή ενέργεια εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής του ηλιακού συλλέκτη, του σχεδιασμού του συστήματος και των συνθηκών λειτουργίας (Kabeel et al., 2019). Οι βασικοί δείκτες απόδοσης περιλαμβάνουν τον συντελεστή απόδοσης (COP), την ειδική ισχύ ψύξης (SCP) και την ικανότητα ψύξης (Zhang et al., 2016).

## Σχεδιασμοί συστήματος ψύξης με απορρόφηση

Οι κύκλοι ψύξης απορρόφησης διακρίνονται σε τέσσερεις βασικές κατηγορίες σύμφωνα με το σχεδιασμό τους, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια. Πρόκειται για τον μονοβάθμιο, το διαβάθμιο ψύκτη, τον ψύκτη μισού σταδίου και τον ψύκτη με εγχυτήρα. Εκτός από τα παρακάτω σχέδια, μπορούν ακόμη να εφαρμοστούν και συνδυασμοί τους.

**Μονοβάθμιος**

Ο μονοβάθμιος κύκλος είναι ο πιο συχνός τύπος στα συστήματα ψύξης απορρόφησης ο οποίος λειτουργεί με το εργαζόμενο μέσο LiBr - H2O. Για να λειτουργήσουν αυτά τα συστήματα, απαιτείται μια πηγή θερμότητας, η οποία συνήθως προέρχεται από ηλιακούς επίπεδους συλλεκτές ή συλλεκτές κενού. Το σύστημα ψύξης μονοβαθμιακής απορρόφησης βασίζεται στον βασικό κύκλο απορρόφησης, που περιλαμβάνει έναν μοναδικό απορροφητή και έναν αναγεννητή.

Λόγω της θερμότητας, το ψυκτικό χωρίζεται από το απορροφητικό εντός του αναγεννητή, σε μορφή ατμού συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή και στη συνέχεια εισέρχεται στην εκτονωτική βαλβίδα, στην οποία παρατηρείται πτώση πίεσης. Όταν εισέρχεται στον ατμοποιητή, το υγρό εξατμίζεται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία. Στη συνέχεια ο απορροφητής το απορροφάει. Το ασθενές διάλυμα που δημιουργείται μέσα στον απορροφητή (χαμηλής περιεκτικότητας σε LiBr) αντλείται μέσω αντλίας και οδηγείται στον αναγεννητή. Με στόχο τη βελτίωση του κύκλου, ένας εναλλάκτης θερμότητας του διαλύματος παρεμβάλλεται μεταξύ αναγεννητή και απορροφητή. Λόγω της εξώθερμη μεταβολή, ο απορροφητής ψύχεται με νερό ψύξης. Το παραπάνω σύστημα ψύξης αποτελεί τον πιο απλό τύπο συστήματος. Το σύστημα αποδίδει καλύτερα με μη πτητικό ζεύγος, πχ με LiBr – H2O. Αν το σύστημα λειτουργεί με πτητικό ζεύγος, όπως NH3 – H2O, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανορθωτής πριν τον συμπυκνωτή, για να παρέχεται καθαρό ψυκτικό μέσο.

*Εικόνα 3 – Μονοβάθμιος σχεδιασμός*

Εικόνα που περιέχει διάγραμμα, σχηματικό

Περιγραφή που δημιουργήθηκε αυτόματα

*(Πηγή: Prasartkaew, 2014)*

**Μισού σταδίου**

Ένας κύκλος απορρόφησης μισού αποτελέσματος είναι μια παραλλαγή συστημάτων ψύξης απορρόφησης που αυξάνει την απόδοση του βασικού κύκλου απορρόφησης ενός σταδίου χρησιμοποιώντας δύο ζεύγη απορροφητή-γεννήτριας που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και πίεσης (Srikhirin, Aphornratana, and Chungpaibulpatana, 2001). Αυτή η διαμόρφωση ενισχύει τη θερμοδυναμική απόδοση και επιτρέπει στο σύστημα να επιτύχει υψηλότερο συντελεστή απόδοσης (COP) σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα απορρόφησης ενός σταδίου (Aljuwayhel, 2005).

Σε έναν κύκλο απορρόφησης μισού αποτελέσματος, το πρώτο ζεύγος απορροφητή-γεννήτριας (A1-G1) λειτουργεί σε χαμηλότερο επίπεδο πίεσης και θερμοκρασίας από το δεύτερο ζεύγος απορροφητή-γεννήτριας (A2-G2) (Kern Jr., and Nelson, 1997). Οι ατμοί ψυκτικού που παράγονται από την πρώτη γεννήτρια (G1) συμπυκνώνονται και συλλέγονται στον εξατμιστή, ενώ οι ατμοί ψυκτικού που παράγονται από τη δεύτερη γεννήτρια (G2) χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας για την πρώτη γεννήτρια (G1) (Florides et al., 2008). Η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία απορρόφησης στον πρώτο απορροφητή (Α1) χρησιμοποιείται για να οδηγήσει τη διαδικασία εκρόφησης στη δεύτερη γεννήτρια (G2) (Kim et al., 2012). Η μοναδική διάταξη του κύκλου απορρόφησης μισού αποτελέσματος του επιτρέπει να χρησιμοποιεί χαμηλότερης ποιότητας απορρόφηση θερμότητας πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα απορρόφησης (Srikhirin et al., 2001). Επιπλέον, ο κύκλος απορρόφησης μισού αποτελέσματος έχει τη δυνατότητα να μειώσει το μέγεθος και το κόστος του συστήματος ελαχιστοποιώντας την επιφάνεια του εναλλάκτη θερμότητας που απαιτείται για τη μεταφορά θερμότητας (Aljuwayhel, 2005).

*Εικόνα 4 –Σχεδιασμός μισού σταδίου*

Εικόνα που περιέχει διάγραμμα

Περιγραφή που δημιουργήθηκε αυτόματα

*(Πηγή: Crepinsek et al., 2009)*

**Με εγχυτήρα**

Ένας κύκλος απορρόφησης με εγχυτήρα, γνωστός και ως κύκλος εκτίναξης-απορρόφησης, είναι μια τροποποιημένη έκδοση του συμβατικού κύκλου απορρόφησης που ενσωματώνει έναν εκτοξευτήρα για τη βελτίωση της θερμοδυναμικής απόδοσης και της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος (Li and Sun, 2002). Ο εγχυτήρας, μια παθητική συσκευή που χρησιμοποιεί την κινητική ενέργεια ενός υγρού υψηλής πίεσης και υψηλής ταχύτητας για να παρασύρει και να συμπιέσει ένα υγρό χαμηλής πίεσης, μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά τον συντελεστή απόδοσης (COP) του κύκλου απορρόφησης ανακτώντας μέρος του εργασίες διαστολής από το ψυκτικό και μεταφορά του στο ρευστό εργασίας (Chen et al., 2009).

Σε έναν κύκλο απορρόφησης εγχυτήρα, ο εγχυτήρας συνήθως τοποθετείται μεταξύ της γεννήτριας και του συμπυκνωτή, όπου χρησιμοποιεί τους ατμούς ψυκτικού υγρού υψηλής πίεσης από τη γεννήτρια για να συμπαρασύρει και να συμπιέσει τους ατμούς ψυκτικού χαμηλής πίεσης από τον εξατμιστή (Li and Sun, 2002 ). Το αναμεμειγμένο ρευστό από τον εγχυτήρα στη συνέχεια συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή και το υγρό ψυκτικό ρέει στον εξατμιστή, όπου απορροφά θερμότητα και εξατμίζεται σε χαμηλή πίεση (Dincer and Rosen, 2011). Ο ατμός ψυκτικού χαμηλής πίεσης απορροφάται από το συμπυκνωμένο απορροφητικό διάλυμα στον απορροφητή και το αραιωμένο διάλυμα αντλείται στη γεννήτρια, όπου θερμαίνεται και διαχωρίζεται στους ατμούς του ψυκτικού και στο συμπυκνωμένο απορροφητικό διάλυμα (Dincer and Rosen, 2011).

Η ενσωμάτωση ενός εγχυτήρα στον κύκλο απορρόφησης προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, βελτιωμένο COP και μειωμένες απαιτήσεις εισόδου θερμότητας (Li and Sun, 2002). Όπως αναφέρουν οι Chen et al. (2009) Ο εγχυτήρας μπορεί επίσης να επιτρέψει την αποτελεσματικότερη χρήση χαμηλής ποιότητας απορριμμάτων θερμότητας ή ηλιακής ενέργειας, οδηγώντας σε χαμηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Επιπλέον, ο κύκλος απορρόφησης εγχυτήρα έχει τη δυνατότητα να μετριάσει το ζήτημα της κρυστάλλωσης στο απορροφητικό διάλυμα και να μειώσει τον ρυθμό κυκλοφορίας του ρευστού εργασίας, συμβάλλοντας έτσι σε έναν πιο συμπαγή και οικονομικά αποδοτικό σχεδιασμό συστήματος (Li and Sun, 2002).

Ωστόσο, η απόδοση ενός κύκλου εκτίναξης-απορρόφησης επηρεάζεται έντονα από τις συνθήκες λειτουργίας και τις παραμέτρους σχεδιασμού του εγχυτήρα, η βελτιστοποίηση των οποίων μπορεί να είναι δύσκολη (Chen et al., 2009). Παρά αυτές τις προκλήσεις, ο κύκλος εκχυτήρα-απορρόφησης έχει συγκεντρώσει σημαντικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για βιώσιμες εφαρμογές ψύξης και ψύξης κατά τους Dincer and Rosen (2011).

**Διβάθμιος**

Ένας κύκλος απορρόφησης δυο επιπέδων είναι μια προηγμένη διαμόρφωση συστημάτων ψύξης απορρόφησης που βελτιώνει σημαντικά τη θερμοδυναμική απόδοση και τον συντελεστή απόδοσης (COP) σε σύγκριση με τους κύκλους απορρόφησης ενός σταδίου (Srikhirin, Aphornratana, and Chungpaibulpatana, 2001). Το βασικό χαρακτηριστικό του κύκλου διπλού αποτελέσματος είναι η χρήση δύο ζευγών απορροφητή-γεννήτριας που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα πίεσης και θερμοκρασίας, γεγονός που μειώνει την απαίτηση εισόδου θερμότητας και αυξάνει το COP του συστήματος (Chua, Malek, Ng, and Chakraborty, 2010). Σε έναν κύκλο απορρόφησης δυο βαθμών, η πρώτη γεννήτρια (G1) λειτουργεί σε υψηλότερο επίπεδο πίεσης και θερμοκρασίας από τη δεύτερη γεννήτρια (G2) (Kaita, 1997). Ο ατμός ψυκτικού που παράγεται στο G1 συμπυκνώνεται σε έναν ενδιάμεσο εναλλάκτη θερμότητας, μεταφέροντας τη θερμότητά του στο G2, το οποίο κατά συνέπεια οδηγεί τη διαδικασία εκρόφησης σε χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία (Wang et al., 2009). Ο ατμός ψυκτικού που παράγεται στο G2 συμπυκνώνεται στη συνέχεια στον κύριο συμπυκνωτή και συλλέγεται στον εξατμιστή, ενώ το ψυκτικό που απορροφάται στον πρώτο απορροφητή (Α1) χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας για το G1 (Herold, Radermacher, and Klein, 1996).

Ο κύκλος απορρόφησης δυο βαθμών προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κύκλους απορρόφησης ενός σταδίου, όπως μειωμένη απαίτηση εισροής θερμότητας, αυξημένο COP και τη δυνατότητα για πιο αποτελεσματική χρήση χαμηλών θερμοκρασιών απορρόφησης θερμότητας ή ηλιακής ενέργειας (Srikhirin et al., 2001). Η βελτιωμένη απόδοση του κύκλου διπλής επίδρασης μπορεί να αποδοθεί στη μοναδική του διάταξη, η οποία επιτρέπει την καλύτερη χρήση της εισαγόμενης θερμότητας και μια πιο αποτελεσματική διαδικασία μεταφοράς θερμότητας (Chua et al., 2010). Ωστόσο, η εφαρμογή ενός τέτοιου κύκλου απορρόφησης παρουσιάζει ορισμένες προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της υψηλότερης πολυπλοκότητας και του κόστους λόγω των πρόσθετων εξαρτημάτων και των εναλλακτών θερμότητας που απαιτούνται (Herold et al., 1996). Παρά αυτές τις προκλήσεις, ο κύκλος απορρόφησης διπλής επίδρασης έχει κερδίσει σημαντική προσοχή τα τελευταία χρόνια λόγω των δυνατοτήτων του για βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων ψύξης απορρόφησης και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους (Wang et al., 2009).

*Εικόνα 3 – Διβάθμιος σχεδιασμός*

Εικόνα που περιέχει διάγραμμα

Περιγραφή που δημιουργήθηκε αυτόματα

*(Πηγή: Kaynakli et al., 2015)*

## Θερμοδυναμική ανάλυση συστήματος ψύξης με απορρόφηση

H θερμοδυναμική ανάλυση ενός ψύκτη απορρόφησης περιλαμβάνει την εξέταση των ισοζυγίων ενέργειας και μάζας, καθώς και των χαρακτηριστικών απόδοσης του συστήματος, όπως ο συντελεστής απόδοσης (COP) και η ενεργειακή απόδοση (Kim et al., 2009). Όπως αναφέρουν οι Dincer and Rosen (2011) είναι μια ιδιαίτερα σημαντική ανάλυση για την κατανόηση της συμπεριφοράς του ψυκτικού συγκροτήματος απορρόφησης, τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του και τη βελτίωση της απόδοσής του σε διάφορες εφαρμογές.

Τα βασικά συστατικά ενός ψύκτη απορρόφησης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, είναι η γεννήτρια, ο απορροφητής, ο συμπυκνωτής, ο εξατμιστής και ο εναλλάκτης θερμότητας διαλύματος (SHE). Το ρευστό εργασίας αποτελείται από ένα ζεύγος ψυκτικού-απορροφητικού, όπως νερό-βρωμιούχο λίθιο (H2O-LiBr) ή αμμωνία-νερό (NH3-H2O) (Herold et al., 1996). Η θερμοδυναμική ανάλυση ξεκινά με την καθιέρωση εξισώσεων ισοζυγίου ενέργειας και μάζας για κάθε συστατικό, λαμβάνοντας υπόψη τις ενθαλπίες, τους ρυθμούς ροής μάζας και τους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας του ρευστού εργασίας (Dincer and Rosen, 2011).

Η απόδοση ενός ψύκτη απορρόφησης αξιολογείται κυρίως χρησιμοποιώντας το COP, το οποίο είναι ο λόγος του φαινομένου ψύξης στον εξατμιστή προς την εισερχόμενη θερμότητα στη γεννήτρια (Herold et al., 1996). Το COP επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως οι ιδιότητες του ρευστού εργασίας, οι συνθήκες λειτουργίας και η απόδοση των εξαρτημάτων (Dincer and Rosen, 2011). Για να ενισχύσουν το COP, οι ερευνητές έχουν εξερευνήσει διαφορετικές προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένης της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού του εναλλάκτη θερμότητας, της χρήσης κύκλων πολλαπλών επιδράσεων και της ενσωμάτωσης εκτοξευτών ή διαστολέων (Wang et al., 2009).

Η ανάλυση εξεργίας είναι μια άλλη σημαντική πτυχή της θερμοδυναμικής ανάλυσης, καθώς επιτρέπει τον εντοπισμό των πηγών μη αναστρεψιμότητας και την αξιολόγηση της απόδοσης ενεργειακής μετατροπής του ψύκτη απορρόφησης (Dincer and Rosen, 2011). Η απόδοση εξεργίας ορίζεται ως ο λόγος της εξόδου εξεργίας (φαινόμενο ψύξης) προς την είσοδο εξεργίας (εισαγωγή θερμότητας) και αντανακλά την αποτελεσματικότητα του συστήματος στη χρήση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων (Dincer and Rosen, 2011). Διεξάγοντας μια ανάλυση εξεργίας, οι ερευνητές μπορούν να εντοπίσουν τα εξαρτήματα με την υψηλότερη καταστροφή εξεργίας και να αναπτύξουν στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του ψύκτη απορρόφησης (Kim et al., 2009).

## Εφαρμογές συστημάτων

Η ψύξη με ηλιακή απορρόφηση είναι μια φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη προσέγγιση για την παροχή ψύξης και κλιματισμού σε διάφορες εφαρμογές, παραδείγματα τα οποία παραθέτουμε στο κεφάλαιο αυτό. Η διαδικασία γίνεται μέσω χρησιμοποίησης της ηλιακής θερμικής ενέργειας για να οδηγήσει τον κύκλο απορρόφησης ψύξης, μειώνοντας την εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια και τα ορυκτά καύσιμα, και έτσι, μετριάζοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την επιβάρυνση στο ηλεκτρικό δίκτυο (Gomri and Boumedienne, 2011). Τέτοιες εφαρμογές συστημάτων εντοπίζονται στα παρακάτω:

1. Κατοικίες και εμπορικά κτίρια: Τα συστήματα ψύξης ηλιακής απορρόφησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για ψύξη χώρου σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια, όπως σπίτια, γραφεία, ξενοδοχεία και εμπορικά κέντρα (Gomri and Boumedienne, 2011; Henning, 2007). Αυτά τα συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν για να ικανοποιούν διαφορετικές δυνατότητες ψύξης και να ενσωματωθούν με άλλα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ ή ηλιακούς θερμοσίφωνες, για να παρέχουν μια ολοκληρωμένη ενεργειακή λύση για τον κτιριακό τομέα (Henning, 2007; Motta et al., 2013).
2. Βιομηχανικές διεργασίες: Η ψύξη με ηλιακή απορρόφηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ψύξης διεργασιών σε διάφορες βιομηχανίες, όπως στους τομείς τροφίμων και ποτών, χημικών, φαρμακευτικών και κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (Gomri and Boumedienne, 2011; Motta et al., 2013). Η ψύξη της διαδικασίας είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων και για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας των διαδικασιών παραγωγής. Με την υιοθέτηση της ψύξης ηλιακής απορρόφησης, οι βιομηχανίες μπορούν να μειώσουν το ενεργειακό τους κόστος, να βελτιώσουν την περιβαλλοντική τους απόδοση και να συμμορφωθούν με τους ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς κανονισμούς (Gomri and Boumedienne, 2011; Motta et al., 2013).
3. Κέντρα δεδομένων: Η ζήτηση ψύξης στα κέντρα δεδομένων αυξάνεται ραγδαία λόγω της ανάπτυξης του κλάδου της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών και της ανάγκης για υπολογιστές υψηλής απόδοσης και αποθήκευση δεδομένων (Καλογήρου, 2013). Η ψύξη με ηλιακή απορρόφηση μπορεί να προσφέρει μια ενεργειακά αποδοτική και βιώσιμη λύση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων ψύξης στα κέντρα δεδομένων, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας και το αποτύπωμα άνθρακα αυτών των εγκαταστάσεων (Kalogirou, 2013; Ortiz et al., 2015).
4. Γεωργικές εφαρμογές: Η ψύξη ηλιακής απορρόφησης μπορεί να εφαρμοστεί σε γεωργικές εγκαταστάσεις, όπως θερμοκήπια, ψυκτικές αποθήκες και μονάδες επεξεργασίας τροφίμων, για τον έλεγχο των επιπέδων θερμοκρασίας και υγρασίας και τη διατήρηση της φρεσκάδας και της ποιότητας των αγροτικών προϊόντων (Gomri and Boumedienne, 2011; Καλογήρου , 2013). Αυτή η τεχνολογία μπορεί επίσης να υποστηρίξει τις αγροτικές κοινότητες και τις κοινότητες εκτός δικτύου στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια και ψύξη είναι περιορισμένη, βελτιώνοντας την επισιτιστική ασφάλεια και τα μέσα διαβίωσης των αγροτών και του τοπικού πληθυσμού (Gomri and Boumedienne, 2011; Kalogirou, 2013). .
5. Συστήματα σε τοπικές κοινότητες - γειτονιές: Τα συστήματα ψύξης ηλιακής απορρόφησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα περιφερειακής ψύξης για την παροχή υπηρεσιών ψύξης για μια ομάδα κτιρίων ή μια ολόκληρη γειτονιά (Καλογήρου, 2013; Lund et al., 2014). Τα συστήματα περιφερειακής ψύξης μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική ενεργειακή απόδοση και να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την ψύξη του χώρου, συγκεντρώνοντας την παραγωγή και διανομή κρύου νερού και χρησιμοποιώντας την ηλιακή θερμική ενέργεια για την τροφοδοσία των ψυκτών απορρόφησης (Lund et al., 2014).
6. Νοσοκομεία και εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης: Η διατήρηση ενός άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος και των κατάλληλων επιπέδων θερμοκρασίας και υγρασίας είναι κρίσιμης σημασίας στα νοσοκομεία και τις εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης για τη διασφάλιση της ευημερίας των ασθενών και την αποτελεσματικότητα του ιατρικού εξοπλισμού (Henning, 2007; Lund et al., 2014 ). Η ψύξη με ηλιακή απορρόφηση μπορεί να προσφέρει μια αξιόπιστη και βιώσιμη λύση ψύξης για αυτές τις εγκαταστάσεις, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και το λειτουργικό τους κόστος και ενισχύοντας την περιβαλλοντική τους απόδοση (Henning, 2007; Lund et al., 2014).
7. Εκπαιδευτικά ιδρύματα: Η ηλιακή ψύξη απορρόφησης μπορεί να ενσωματωθεί στα ενεργειακά συστήματα σχολείων, πανεπιστημίων και άλλων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων για την παροχή ψύξης χώρου για τάξεις, εργαστήρια, βιβλιοθήκες και αθλητικές εγκαταστάσεις (Henning, 2007; Καλογήρου, 2013). Με την υιοθέτηση αυτής της καθαρής και ανανεώσιμης τεχνολογίας ψύξης, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να επιδείξουν τη δέσμευσή τους στη βιωσιμότητα, να προωθήσουν την περιβαλλοντική συνείδηση και εκπαίδευση και να εμπνεύσουν τις μελλοντικές γενιές να ενστερνιστούν τις αρχές της πράσινης ζωής και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Henning, 2007; Καλογήρου, 2013).

# Βιβλιογραφία στο αντικείμενο

Σε αυτό το τμήμα της εργασίας θα παρατεθούν παραδείγματα από την ελληνική και τη διεθνή βιβλιογραφία που αφορούν παρόμοιες μελέτες και τα ευρήματα τους. Τα παραδείγματα θα είναι εστιασμένα στην ανάλυση συστημάτων μεγάλων κτηριακών εγκαταστάσεων και ξενοδοχείων ανά τον κόσμο, περιπτώσεις παρόμοιες με αυτή που αναλύουμε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Η μελέτη των Kim et al. (1995) επικεντρώνεται στο σχεδιασμό της τεχνολογίας διάχυσης-απορρόφησης (DA) για χρήση ως κλιματιστικό δωματίου ξενοδοχείου. Η τεχνολογία DA βασίζεται στον κύκλο Platen-Munters κατά την εποχή δημοσίευσης της μελέτης χρησιμοποιούταν διεθνώς σε ψυγεία δωματίων ξενοδοχείου και οχημάτων αναψυχής. Τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας είναι (1) ότι μπορεί να λειτουργεί με αέριο χωρίς να απαιτείται ηλεκτρική είσοδος και (2) οι μηχανές που βασίζονται σε έναν κύκλο DA είναι ουσιαστικά αθόρυβοι. Η επέκταση της τεχνολογίας DA στην αγορά κλιματισμού δωματίων ξενοδοχείου φαίνεται εξαιρετικά ελκυστική για την παροχή μιας εναλλακτικής λύσης χαμηλού θορύβου στο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα συμπίεσης ατμών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός που προτείνεται από τους Kim et al. (1995) χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς ανεμιστήρες για να βοηθήσουν τις διαδικασίες απόρριψης θερμότητας. Η μελέτη ανέπτυξε ένα μοντέλο προσομοίωσης του κύκλο DA το οποίο περιλαμβάνει τη σύζευξη μεταξύ του βοηθητικού εναλλάκτη θερμότητας αερίου, του απορροφητή και του εξατμιστή.

Ο Συμεού (2016) μελετάει ένα ηλιακό σύστημα ψύξης των 100 kW για ανάγκες ενός ξενοδοχείου και υπό τις κλιματικές συνθήκες της Αθήνας σε θερινή περίοδο από Μάιο ως Σεπτέμβρο. Εξετάζεται σύστημα το οποίο αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες επιφάνειας 150 ως 600 τετραγωνικά μέτρα με σωλήνες κενού, δοχείο αποθήκευσης του πεπιεσμένου νερού όγκου 6 ως 16 κυβικά μέτρα και έναν μονοβάθμιο ψύκτη απορρόφησης που λειτουργεί με LiBr – H2O. Το σύστημα εξετάζεται μέσω προσομοίωσης στη FORTRAN με στόχο τη βελτιστοποίησή του. Στη συνέχεια η μέθοδος αυτή συγκρίνεται με μια εναλλακτικη μέθοδο που αφορά την καύση βιομάζας για να εντοπιστεί ποια είναι η πιο αποδοτική και να εξεταστεί ο συνδυασμός τους. Η βελτιστοποίηση των συστημάτων αυτών γίνεται με βασικό κριτήριο την οικονομική βιωσιμότητα τους. Το προτεινόμενο ως βέλτιστο σύστημα θα πρέπει να ελαχιστοποιεί την χρήση της βιομάζας στο λέβητα, αλλά ταυτόχρονα να είναι και οικονομικά βιώσιμο, με δεδομένο ότι οι ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού είναι μια ακριβή τεχνολογία.

Η μελέτη του Κώνστα (2014) επικεντρώνεται την ψύξη ενός χώρου που αφορά ένα επαγγελματικό κτήριο 100 τετραγωνικών μέτρων με ηλιακούς συλλέκτες μέσω κύκλου απορρόφησης με σκοπό την εύρεση της απαιτούμενης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων του χώρου. Για την εκπλήρωση αυτής της μελέτης επιλέχθηκε μοντέλο προσομοίωσης μέσω του λογισμικού KlimaCad της εταιρείας TiSoft. Η μελέτη του Κώνστα (2014) καταλήγει ότι το μέγιστο φορτίο ψύξης υπολογίστηκε σε 11,7 𝑘𝑊 , το οποίο θα καλύπτεται από έναν ψύκτη απορρόφησης διαλύματος 𝐿𝑖𝐵𝑟−𝐻2𝑂 ισχύος 15 𝑘𝑊, τον οποίο θα τροφοδοτούν επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες επιφάνειας 38 τετραγωνικά μέτρα και με το συνολικό κόστος της εγκατάστασης να ανέρχεται στα 50.935,00 €.

Η εργασία του Μπασδάνη (2019) αφορά την προσομοίωση της λειτουργίας των συστημάτων ψύξης απορρόφησης και ψύκτη με μηχανική συμπίεση στο λογισμικό Matlab με στόχο την αναζήτηση της βέλτιστης λειτουργίας τους. Στη μοντελοποίηση χρησιμοποιούνται τα συστήματα απορρόφησης, μηχανικής συμπίεσης και ο συνδιασμός τους. Η λειτουργία του ψύκτη με απορρόφηση μελετάται για τα εργαζόμενα ζεύγη λιθιούχο βρώμιο-νερό (LiBr-H2O) και αμμωνία-νερό (NH3-H2O), πραγματοποιείται θερμοδυναμική ανάλυση με την διατύπωση των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας και δημιουργείται πρόγραμμα για την προσομοίωση του και την παραμετρική του μελέτη. Αντίστοιχη προσομοίωση γίνεται και για το υβριδικό σύστημα για το οποίο μελετάται η λειτουργία κατά την διάρκεια μίας μέρας. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η λειτουργία των συστημάτων ψύξης που λειτουργούν με προσρόφηση. Ο Μπασδάνης (2019) μελετάει δύο συγκεκριμένα συστήματα: Το ένα λειτουργεί με ενεργό άνθρακα-μεθανόλη και το άλλο με silica gel-νερό. Το LiBr-H2O παρουσιάζει υψηλότερο COP (0.85) αλλά έχει τη δυνατοτητα να παρέχει ψύξη σε θερμοκρασίες έως και 4-5 βαθμούς Κελσίου. Αντίθετα το NH3-H2O έχει COP κοντά στο 0.65 αλλά μπορεί να ψύξει και σε θερμοκρασίες πολύ κάτω από το 0 βαθμούς. Καθοριστικό ρόλο στην απόδοση διαδραματίζουν οι θερμοκρασίες λειτουργίας. Συγκεκριμένα αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας της ατμογεννήτριας και του εξατμιστή οδηγεί σε υψηλότερο COP, ενώ αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του συμπυκνωτή και του απορροφητή οδηγούν σε χαμηλότερο COP (Μπασδάνης, 2019).

# Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Aljuwayhel, N. F. (2005). Performance of half-effect absorption cooling cycles. International Journal of Refrigeration, 28(1), 19-26.

Aristov, Y. I., Restuccia, G., Cacciola, G., and Parmon, V. N. (2010). A family of new working materials for solid sorption air conditioning systems. Applied Thermal Engineering, 30(2-3), 232-236.

Bae, Y. S., and Snurr, R. Q. (2011). Development and evaluation of porous materials for carbon dioxide separation and capture. Angewandte Chemie International Edition, 50(49), 11586-11596.

Bellos, E., Tzivanidis, C., and Antonopoulos, K. A. (2016). Exergetic, energetic and financial evaluation of a solar driven absorption cooling system with various collector types. *Applied Thermal Engineering*, *102*, 749-759.

Choudhury, B., Chatterjee, P. K., and Sarkar, J. P. (2013). A review on the recent research on solar powered adsorption cooling systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 59-69.

Chen, Y., Dai, Y., Wang, R., Ge, T., and Shi, W. (2009). Performance analysis of a solar ejector cooling system under different condensing temperatures. Applied Energy, 86(9), 1575-1583.

Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Applied Energy, 87(2), 365-379.

Chua, H. T., Malek, A., Ng, K. C., and Chakraborty, A. (2010). Multi-objective optimization of a combined cooling, heating, and power system using the analytical hierarchy process and the entropy weight method. Applied Energy, 87(6), 1928-1936.

Crepinsek, Z., Goricanec, D., and Krope, J. (2009). Comparison of the performances of absorption refrigeration cycles. *WSEAS Trans Heat Mass Transf*, *4*(3), 65-76.

Diarce, G., Campo, I. D., and Sala, J. M. (2015). Design of a solar adsorption cooling system with a metal–organic framework as adsorbent. Energy Conversion and Management, 106, 988-1002.

Dincer, I., and Rosen, M. A. (2011). Thermal energy storage: systems and applications. John Wiley and Sons.

Florides, G., Kalogirou, S., Tassou, S., and Wrobel, L. (2008). Modelling, simulation and warming impact assessment of a domestic-size absorption solar cooling system. Applied Thermal Engineering, 28(11-12), 1377-1388.

Furukawa, H., Cordova, K. E., O’Keeffe, M., and Yaghi, O. M. (2013). The chemistry and applications of metal-organic frameworks. Science, 341(6149), 1230444.

Gomri, R., and Boumedienne, N. (2011). Design and performance analysis of a solar absorption cooling system in Algerian Sahara region. Energy Conversion and Management, 52(8-9), 2847-2853.

Henning, H. M. (2004). Solar-assisted air-conditioning in buildings: A handbook for planners. Springer.

Henning, H. M. (2007). Solar assisted air conditioning of buildings – an overview. Applied Thermal Engineering, 27(10), 1734-1749.

Herold, K. E., Radermacher, R., and Klein, S. A. (1996). Absorption chillers and heat pumps. CRC Press.

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

Praene, J. P., Bastide, A., Lucas, F., Garde, F., and Boyer, H. (2007). Simulation And Optimization of a Solar Absorption Cooling System Using Evacuated Tube Collectors. In 9th REHVA World Congress' WellBeing Indoors', Clima 2007.

Kaita, Y. (1997). U.S. Patent No. 5,647,256. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Kalogirou, S. A. (2013). Solar energy engineering: processes and systems. Academic Press.

Kareem, H. A., Alghoul, M. A., Abed, A. M., and Sopian, K. (2017). Absorption refrigeration cycle configurations: Review and classification. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 7-25.

Kaynakli, O., Saka, K., and Kaynakli, F. (2015). Energy and exergy analysis of a double effect absorption refrigeration system based on different heat sources. *Energy Conversion and Management*, *106*, 21-30.

Kern Jr., S. E., and Nelson, R. M. (1997). U.S. Patent No. 5,638,817. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Kim, D. H., Infante Ferreira, C. A., and Kim, Y. (2009). Exergy analysis of a water-lithium bromide absorption refrigeration system. International Journal of Refrigeration, 32(1), 3-10.

Kim, J. H., Lee, H., Kim, Y., and Jeong, J. (2012). Performance analysis of a half-effect absorption heat transformer for waste heat recovery. Applied Thermal Engineering, 33-34, 72-79.

Kim, K. J., Shi, Z., Chen, J., and Herold, K. E. (1995). *Hotel room air conditioner design based on the Diffusion-Absorption cycle* (No. CONF-950104-). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA (United States).

Li, Z., and Sun, Y. (2002). A theoretical study of an ejector-absorption cycle. Applied Thermal Engineering, 22(14), 1607-1618.

Li, Z., and Wang, R. Z. (2013). Absorption cooling: An appropriate technology for air-conditioning in a sustainable future. Frontiers of Energy and Power Engineering in China, 7(3), 295-302.

Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., and Mathiesen, B. V. (2014). Smart energy and smart energy systems. Energy, 68, 1-11.

Moeini, F., Montoya, L. D., and Pignatta, G. (2020). A review on the recent advances and future perspectives of absorption refrigeration systems. Energies, 13(9), 2369.

Motta, M., Soares, N., and Henning, H. M. (2013). Solar cooling systems for buildings. In Comprehensive Renewable Energy (pp. 405-431). Elsevier.

Ortiz, C., Navarro-Esbrí, J., Mota-Babiloni, A., and Molés, F. (2015). Energy efficiency and environmental impact of data centers powered by photovoltaic and absorption cooling systems. Energy Conversion and Management, 101, 764-774.

Prasartkaew, B. (2014). Performance test of a small size LiBr-H2O absorption chiller. *Energy Procedia*, *56*, 487-497.

Saghafifar, M., and Rosen, M. A. (2014). Energy and exergy analyses of a solar-assisted combined absorption-compression refrigeration cycle. Applied Thermal Engineering, 71(1), 14-23.

Srikhirin, P., Aphornratana, S., and Chungpaibulpatana, S. (2001). A review of absorption refrigeration technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 5(4), 343-372.

Tyagi, H., Buddhi, D., and Ravi Kumar (2015). Review on solar air-conditioning technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 862-880.

Wang, R. Z., and Ng, K. C. (2006). Adsorption refrigeration technology: Theory and application. Wiley.

Wang, R. Z., Oliveira, R. G., Hu, S. J., Zhu, Y., and Yu, Q. (2009). Experimental investigation of a LiBr absorption chiller with double-effect series flow cycle configuration. Applied Energy, 86(10), 2145-2152.

Wang, R. Z., Oliveira, R. G., and Cai, W. (2009). A review on the performance of double effect absorption refrigeration systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7), 1371-1383.

Wu, J., Ding, J., Zhang, Y., and Zhao, F. (2019). A review on the recent developments of absorption heat pumps. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 102, 52-67.

Zhang, Y., Ma, X., Li, Z., Wang, R., and Wang, L. (2018). A review on the absorption heat transformer: Systems, components, and improvement strategies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 136, 110413.

# Ελληνική Βιβλιογραφία

Κώνστας, Γ. (2014). *Ψύξη επαγγελματικού χώρου με χρήση ηλιακών συλλεκτών* (Doctoral dissertation, Κώνστας Γεώργιος).

Συμεού, Χ. (2016). Βελτιστοποίηση και δυναμική προσομοίωση ηλιακού συστήματος ψύξης με απορρόφηση.