



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Θερμότητας

Διπλωματική Εργασία

Ψυκτικά συστήματα απορρόφησης με χρήση ΑΠΕ

Φοιτητής: Ζαρκαδούλας Ιάσων

Αριθμός μητρώου: 06745

Επιβλέπουσα: Ε. Κορωνάκη, Λέκτορας Ε.Μ.Π

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1. Πρόλογος..... | 5 |
| 2. Κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο της ανύψωσης της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming)..... | 6 |
| 2.1 Ενεργειακό πρόβλημα..... | 6 |
| 2.2. Φαινόμενο Θερμοκηπίου..... | 8 |
| 2.3. Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής..... | 12 |
| 3. Το θεσμικό πλαίσιο της Παγκόσμιας Περιβαλλοντικής Πολιτικής..... | 14 |
| 3.1. Η Συνδιάσκεψη του Ρίο..... | 14 |
| 3.2. Από το Ρίο έως την Κανκούν: οι Συνδιασκέψεις των Συμβαλλομένων Μερών[14].... | 15 |
| 4. Συστήματα κλειστού τύπου..... | 17 |
| 4.1 Εισαγωγή..... | 17 |
| 4.2 Συστήματα απορρόφησης..... | 18 |
| 4.2.1. Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας απορρόφησης[30]..... | 18 |
| 4.2.2 Ψύκτες απορρόφησης σήμερα..... | 20 |
| 4.2.3 Αρχές λειτουργίας του κύκλου απορρόφησης..... | 23 |
| 4.2.4. Εργαζόμενα ρευστά στην ψύξη απορρόφησης..... | 26 |
| 4.2.5 Απόδοση απορροφητή ενός ψύκτη απορρόφησης LiBr/H ₂ O..... | 28 |
| 4.2.6. Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης και ηλεκτρικών ψυκτών..... | 31 |
| 4.2.7. Ψύκτες απορρόφησης άμεσης - έμμεσης θέρμανσης (Direct-Indirect Fired Absorption Chillers)..... | 33 |
| 4.2.8. Κρυσταλλοποίηση..... | 36 |
| 4.3. Διάφοροι σχεδιασμοί κύκλων ψύξης με απορρόφηση..... | 39 |
| 4.3.1. Μονοβάθμια συστήματα απορρόφησης..... | 39 |
| 4.3.2. Μεταλλάκτης θερμότητας απορρόφησης..... | 40 |
| 4.3.3. Πολυβάθμιος κύκλος ψύξης με απορρόφηση..... | 42 |
| 4.3.4. Κύκλος ψύξης απορρόφησης με GAX..... | 45 |
| 4.3.5. Κύκλος ψύξης με απορρόφηση χρησιμοποιώντας ανάκτηση θερμότητας του απορροφητή..... | 47 |
| 4.3.6. Κύκλος ψύξης με απορρόφηση μισού σταδίου..... | 48 |
| 4.3.7. Συνδυασμένος κύκλος απορρόφησης - συμπίεσης ατμού..... | 50 |
| 4.3.8. Κύκλος ρόφησης-αναρρόφησης..... | 52 |
| 4.3.9. Ψύξη απορρόφησης διπλού κύκλου..... | 53 |
| 4.3.10. Συνδυασμένος κύκλος ψύξης ψεκαστήρα - απορρόφησης..... | 54 |

| | |
|---|-----|
| 4.3.11. Κύκλος απορρόφησης με οσμωτική μεμβράνη | 59 |
| 4.3.12. Σύστημα απορρόφησης αυτόνομης κυκλοφορίας με χρήση LiBr/νερού | 60 |
| 4.3.13. Ψυκτικό σύστημα διάχυσης απορρόφησης (DAR) | 61 |
| 4.4. Ανάγκη για την περαιτέρω ανάπτυξη στην ψύξη με απορρόφηση..... | 63 |
| 5. Ψύκτης απορρόφησης BCT-16 | 65 |
| 5.1. Περιγραφή συστήματος BCT-16..... | 65 |
| 5.2. Διάγραμμα ροής του BCT-16..... | 68 |
| 5.3 Περιγραφή στοιχείων BCT-16 | 71 |
| 5.3.1 Ατμοποιητής και αντλία ψυχόμενου νερού..... | 71 |
| 5.3.2. Απορροφητής και αντλία διαλύματος | 72 |
| 5.3.3. Ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας..... | 73 |
| 5.3.4. Ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας | 75 |
| 5.3.5. Συμπυκνωτής..... | 76 |
| 5.3.6. Εναλλάκτες θερμότητας | 77 |
| 5.3.7 Πύργος ψύξης..... | 78 |
| 5.3.8. Σύστημα υποπίεσης(κενού) | 80 |
| 5.4. Περιγραφή ισολογισμού BCT-16..... | 81 |
| 5.4.1 Περιγραφή ισολογισμού ενέργειας και μάζας..... | 81 |
| 5.4.2 Επίλυση ισολογισμών BCT-16 σε Mathcad | 86 |
| 6. Συστήματα ΑΠΕ και ψύκτες απορρόφησης | 98 |
| 6.1. Κάλυψη με ηλιακή ενέργεια | 98 |
| 6.1.1. Η ηλιακή ακτινοβολία | 98 |
| 6.1.2. Ηλιακοί συλλέκτες..... | 103 |
| 6.1.3. Μελέτη περίπτωσης | 113 |
| 6.2. Κάλυψη με βιομάζα | 130 |
| 6.2.1. Η βιομάζα ως ΑΠΕ | 130 |
| 6.2.2. Μελέτη περίπτωσης | 138 |
| Αναφορές | 154 |
| Επεξήγηση συμβόλων | 156 |

1. Πρόλογος

Οι αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας, η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και η αισθητή θερμοκρασιακή άνοδος του πλανήτη καθιστούν σαφή την ανάγκη για εύρεση πιο φιλικών προς το περιβάλλον συστημάτων για την κάλυψη των αναγκών μας. Ένας τομέας στον οποίο υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής κατάστασης και εξορθολογισμού της χρήσης της ενέργειας, είναι ο κλιματισμός των κτιρίων και ειδικότερα ο κλιματισμός κτιρίων σε χώρες με θερμό και εύκρατο κλίμα. Τα τελευταία χρόνια οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν εξελιχθεί σημαντικά επιτρέποντας τη χρήση τους σε μικρότερης κλίμακας εφαρμογές και με μικρότερο κόστος επένδυσης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ο κλιματισμός κτιρίων με τη χρήση ψυκτών απορρόφησης. Οι ψύκτες απορρόφησης αποτελούν συσκευές οι οποίες μπορούν να μειώσουν κατά πολύ την απαιτούμενη ενέργεια για παραγωγή ψύξης, βοηθώντας έτσι σημαντικά και στον περιορισμό της εκπομπής ρύπων στο περιβάλλον. Μάλιστα αν συνδυαστούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την τροφοδοσία τους μπορούν να αποτελέσουν φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις για τον κλιματισμό κτιρίων αλλά και οικονομικά βιώσιμες επενδύσεις για την πλήρη κάλυψη των ψυκτικών φορτίων των κτιρίων.

Εξετάζεται λοιπόν η λειτουργία των ψυκτών απορρόφησης καθώς και οι εφαρμογές τους έναντι των συμβατικών ψυκτών συμπίεσης ατμού. Επίσης μελετάται η κάλυψη των θερμικών αναγκών των συστημάτων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης τους.

2. Κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο της ανύψωσης της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming)

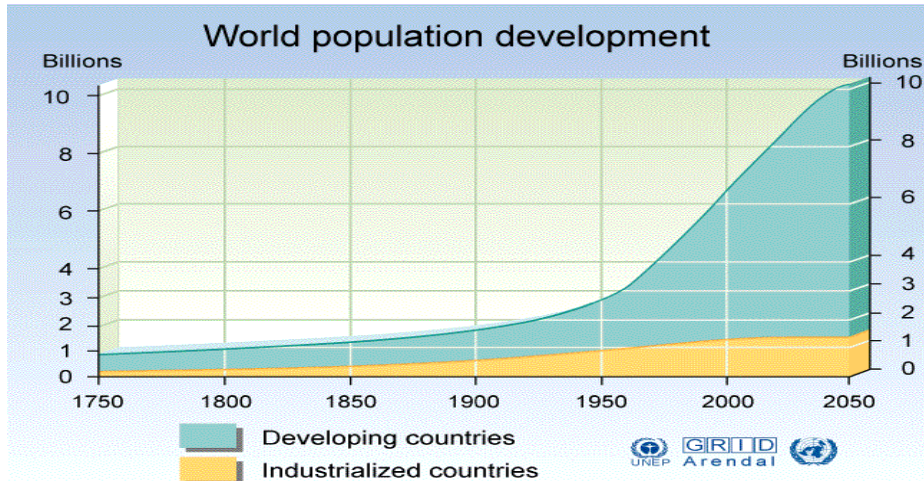
2.1 Ενεργειακό πρόβλημα

Το ενεργειακό πρόβλημα στις μέρες μας, δηλαδή η συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων που διαρκώς μειώνονται, με τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας που διαρκώς αυξάνονται, εμφανίζεται οξύτερο από ποτέ. Είναι αρκετά εύκολο να κατανοήσουμε τι σημαίνει αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται αν αναλογιστούμε το πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών που έχουμε σήμερα στο σπίτι μας σε σχέση με τις συσκευές που είχαμε, ας πούμε, πριν 50 χρόνια, ή τον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν τώρα στους δρόμους σε σχέση με τότε. Στο ίδιο συμπέρασμα θα καταλήξουμε αν παρατηρήσουμε τις ενεργοβόρες εγκαταστάσεις ενός σύγχρονου κτιρίου (πχ νοσοκομείου με κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού, δίκτυο υπολογιστών, ιατρικό εξοπλισμό) και τις συγκρίνουμε με ένα ανάλογο κτίριο που κατασκευάστηκε πριν μερικές δεκαετίες.

Υπολογίζεται ότι ο πρωτόγονος άνθρωπος χρησιμοποιούσε για τις ανάγκες του ενέργεια ίση με 6,3 MJ την ημέρα την οποία έπαιρνε μέσω της τροφής του. Ο σημερινός άνθρωπος χρησιμοποιεί περίπου 1000 MJ δηλαδή 150 φορές περισσότερη.

Το ενεργειακό πρόβλημα ήταν πάντα στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες και πολλές φορές υπήρξε το αίτιο (ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος ή ως πηγή ισχύος) για μεγάλες στρατιωτικο-πολιτικο-οικονομικές ανακατατάξεις στον παγκόσμιο χάρτη. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα και με δεδομένο ότι κάποιοι από τους φυσικούς πόρους είναι πεπερασμένοι (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ο ανταγωνισμός για τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας έχει γίνει ακόμα πιο έντονος.

Ο πληθυσμός της γης έχει φτάσει πια τα 7 δισεκατομμύρια. Οι άνθρωποι χρειάζονται την ενέργεια για να βελτιώσουν το επίπεδο της διαβίωσης τους. Πολλοί επιστήμονες μάλιστα συσχετίζουν την ποιότητα διαβίωσης με την κατανάλωση ενέργειας.[1]



Εικόνα 2.1.1. Αύξηση του πληθυσμού της γης σε δισεκατομμύρια ανθρώπους[2]



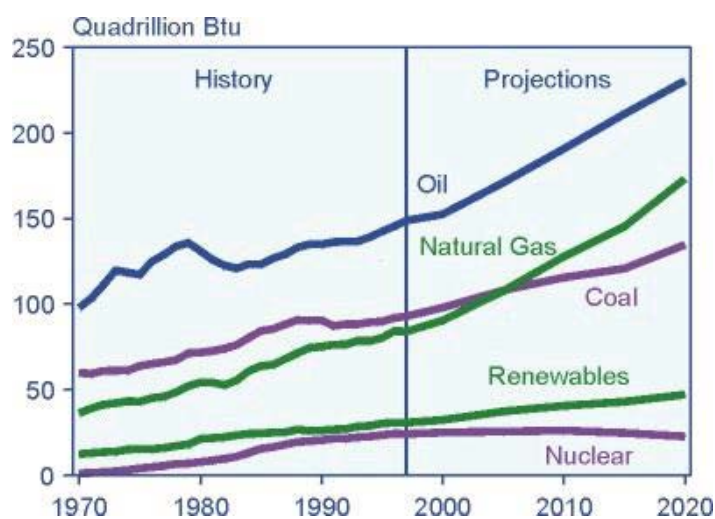
Εικόνα 2.1.2. Αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας[3]

Σημείωση: 1 quadrillion BTU = $1,05505 \times 10^{18}$ Joules

Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες αυξάνουν ραγδαία την εγκατεστημένη ισχύ τους κάτι που είναι και αποτέλεσμα του αυξανόμενου βιοτικού επιπέδου τους. Στην Δημοκρατία της Κίνας το 1997 κατασκευάζονταν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ρυθμό 300MW / εβδομάδα. (Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα είναι

περίπου 13.000MW)[1] . Η κατανάλωση ενέργειας γίνεται παγκοσμίως ολοένα και μεγαλύτερη. Το 2007, η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση έφτασε στα 11.433,9 Mtoes ισοδύναμου πετρελαίου (132.952 δισεκατομμύρια kWh).[4]

Σημείωση: 1 toe = 41,86 x 10⁹ Joule = 1010 cal = 11.627,9 kWh



Εικόνα 2.1.3. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου σε quadrillion BTU[6]

Κατά προσέγγιση, το 86,6 % της παγκόσμιας ζήτησης σε ενέργεια καλύπτεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο: 35,27 %, γαιάνθρακες: 28,02 %, φυσικό αέριο: 23,35 %)[6]

2.2. Φαινόμενο Θερμοκηπίου

Ο ανθρώπινος πολιτισμός, θέλοντας να αναπτυχθεί βιομηχανικά, άντλησε από την γη κοιτάσματα πετρελαίου και άνθρακα και τα χρησιμοποίησε ως πρώτη ύλη για να κινήσει τον βιομηχανικό πολιτισμό. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων ρύπων -διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), διοξείδιο του θείου (SO₂), μεθάνιο (CH₄), χλωρό-φθοριωμένοι

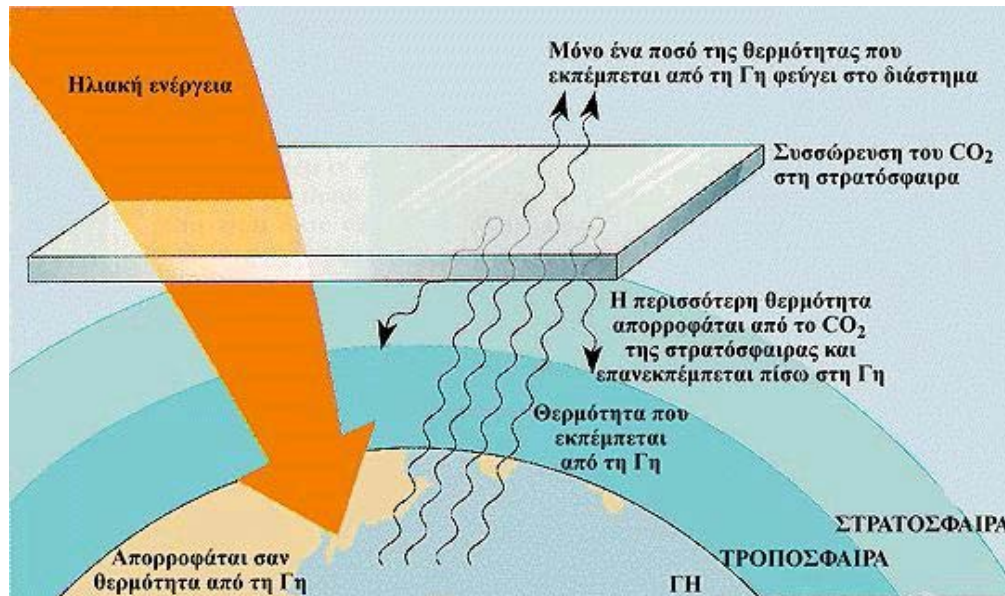
υδρογονάνθρακες (CFCs), που παράγονται από τη χρήση συμβατικών καυσίμων (κυρίως για παραγωγή ενέργειας και μεταφορές) παρεμποδίζει τη διαφυγή της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια της γης έξω από τα ατμοσφαιρικά στρώματα. Συντελώντας με αυτό τον τρόπο στη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο θερμοκηπίου που προκαλεί υπερθέρμανση του πλανήτη οδηγώντας σε σημαντικές κλιματικές αλλαγές με σοβαρές οικονομικοκοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Γενικά με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών.

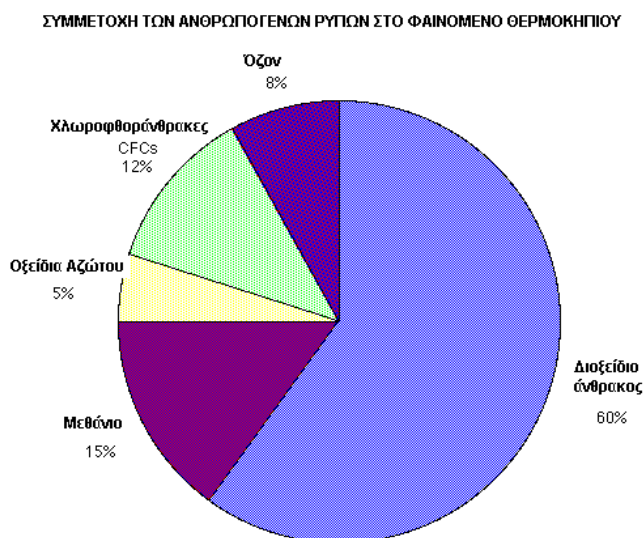
Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια. [7]

Την μεγαλύτερη συνεισφορά στο φαινόμενο Θερμοκηπίου έχουν κατά σειρά οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και τα νέφη, που δεν προέρχονται κατ' ανάγκη από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Συνεπώς, το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι καταρχάς φυσικό φαινόμενο. Όμως οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των φυσικών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και την έκλυση νέων ιχνοστοιχείων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες, αυξάνοντας έτσι τους απορροφητές της γήινης ακτινοβολίας και μειώνοντας την εκπομπή της προς το διάστημα. Τελικά αυξάνει η διαθέσιμη ενέργεια στο σύστημα γήινη επιφάνεια – ατμόσφαιρα, με συνέπεια την αύξηση της

επιφανειακής θερμοκρασίας. Δηλαδή οι ανθρώπινες δραστηριότητες, ενισχύουν το φαινόμενο θερμοκηπίου, δεν το προκαλούν. Η συσσώρευση κυρίως διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης, τον 18ο αιώνα. Ο Arrhenius τον επόμενο αιώνα μάλιστα συνέδεσε την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα με την θέρμανση του πλανήτη.

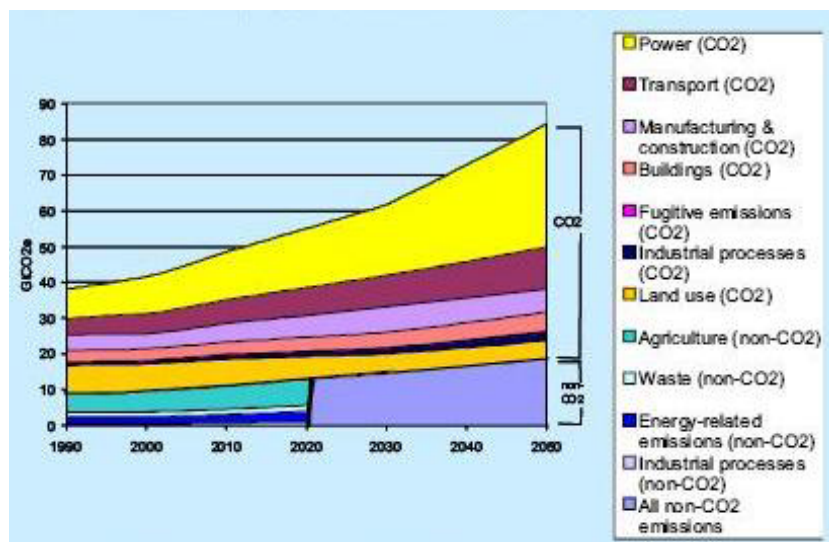


Εικόνα 2.2.1. Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα[8]



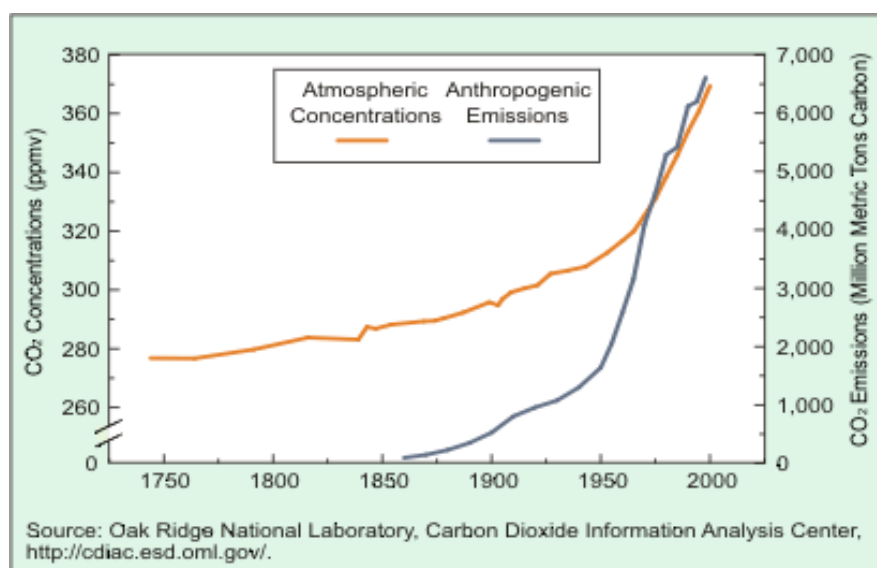
Εικόνα 2.2.2. Συμμετοχή των ανθρωπογενών ρύπων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου[8]

Τα αέρια αυτά μπορούν να μείνουν στην ατμόσφαιρα για ένα σύνολο ετών που εκτείνεται από δεκαετίες έως και εκατοντάδες και χιλιάδες χρόνια. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι ιστορικές και οι προβλεπόμενες εκπομπές ΑΘ από το 1990 μέχρι το 2050, ανά τομέα δραστηριότητας.

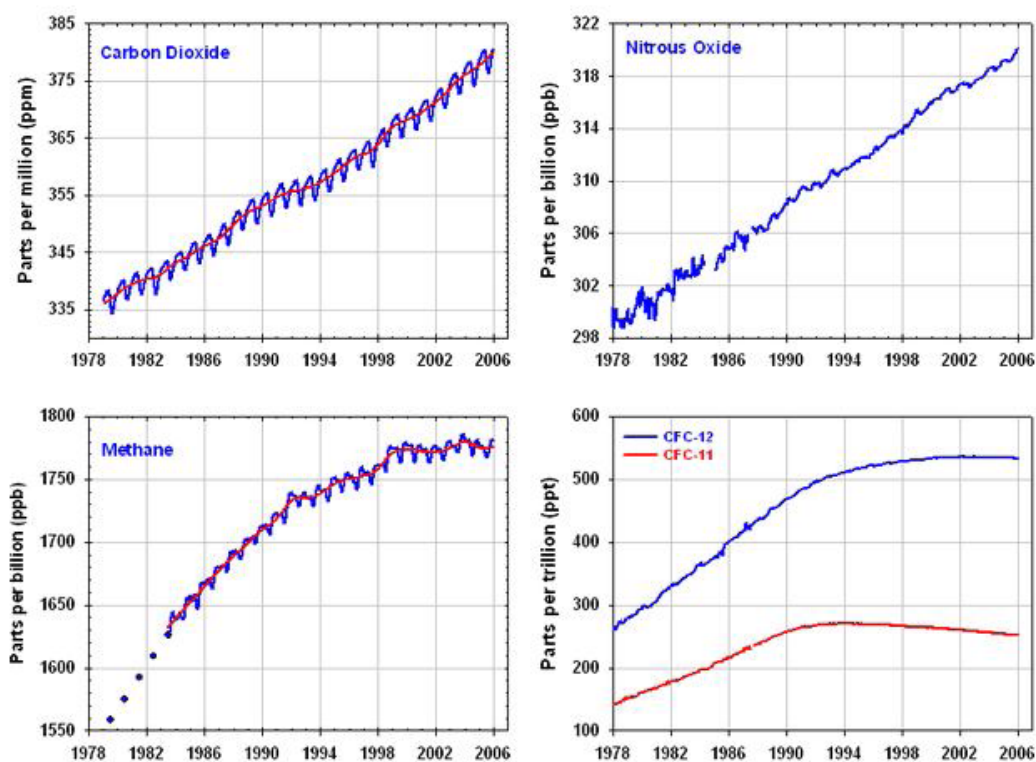


Εικόνα 2.2.3. Ιστορικές και προβλεπόμενες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (ΑΘ) από το 1990 μέχρι το 2050[9]

Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του CO₂ καθώς και των λεγόμενων "αερίων του θερμοκηπίου φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.2.4. Αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα[10]



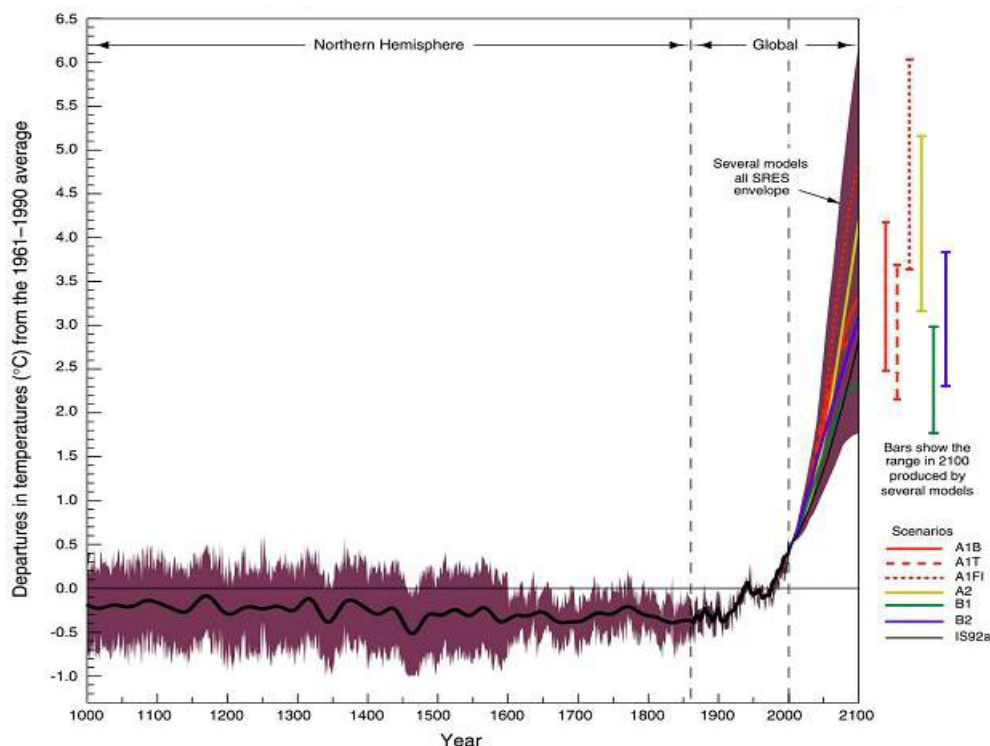
Εικόνα 2.2.5. Αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου[11]

2.3. Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

Επιστήμονες από ολόκληρο τον κόσμο προσπαθούν να εντοπίσουν και "να κοστολογήσουν" τις συνέπειες που θα φέρουν στη Γη, οι κλιματικές αλλαγές. Με κλιματικά μοντέλα, προσπαθούν να προβλέψουν το μέλλον του καιρού και του περιβάλλοντος. Αδιαμφισβήτητο, είναι σύμφωνα με τους περισσότερες ερευνητές, το γεγονός, ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει κάθε πτυχή του περιβάλλοντος αλλά και της κοινωνικής και οικονομικής δραστηριότητας. Η καταστροφική για το κλίμα αντίστροφη μέτρηση έχει ήδη αρχίσει, το μόνο που απομένει είναι να απαριθμήσουμε τις επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης.

Ο πιο χαρακτηριστικός δείκτης της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Σύμφωνα με την έκθεση(2001) του Διακυβερνητικού Πάνελ για την Κλιματική Αλλαγή

(IPCC), η αύξηση αυτή μπορεί να φτάσει τους 6 βαθμούς μέχρι το 2100, ενώ νεώτερες μελέτες την ανεβάζουν στους 10 βαθμούς.[14]



Εικόνα 2.3.1. Αύξηση μέση θερμοκρασίας πλανήτη[9]

Πέρα από την αύξηση της θερμοκρασίας όμως, η κλιματική αλλαγή θα σημαίνει:

- Άνοδο της στάθμης της θάλασσας
- Λιώσιμο των πάγων
- Εξάπλωση ασθενειών
- Αύξηση των τυφώνων
- Φαινόμενα ξηρασίας και έντονα θερμά κύματα
- Οικονομικές επιπτώσεις
- Επιπτώσεις στην πανίδα και τα οικοσυστήματα[15]

3. Το θεσμικό πλαίσιο της Παγκόσμιας Περιβαλλοντικής Πολιτικής

Προκειμένου να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής του πλανήτη, πραγματοποιήθηκαν αρκετές Συνδιασκέψεις και Συμφωνίες μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών σε όλο τον κόσμο. Οι σημαντικότερες συνδιασκέψεις είναι οι εξής:[12]

3.1. Η Συνδιάσκεψη του Ρίο

Η Συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε στο Ρίο Ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας από 3-14 Ιουνίου του 1992. Στο Ρίο, η παγκόσμια κοινότητα έδωσε ένα εντυπωσιακό παρόν. Συμμετείχαν κρατικές αντιπροσωπείες από 178 χώρες, προσήλθαν περισσότεροι από 100 αρχηγοί κρατών και κυβερνήσεων, διαπιστεύτηκαν περισσότερες από 1500 μη κυβερνητικές οργανώσεις, ενώ παραβρέθηκαν περίπου 7000 αντιπρόσωποι των μέσων μαζικής ενημέρωσης. Οι προηγούμενοι εντυπωσιακοί αριθμοί καθιστούν τη Συνδιάσκεψη του Ρίο ως ένα κορυφαίο, αν όχι το πιο κορυφαίο πολιτικό γεγονός των τελευταίων δεκαετιών και είναι ενδιαφέρον βέβαια ότι το γεγονός αυτό αφορά στην παγκόσμια περιβαλλοντική προστασία. Σύμφωνα με τη συνδιάσκεψη για το περιβάλλον και την ανάπτυξη (Ρίο ντε Τζανέιρο, 1992) αποφασίσθηκε:[13]

- Η διατήρηση της ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων.
- Η αειφορική χρήση των φυσικών πόρων.
- Η διατήρηση και διαχείριση των φυσικών συστημάτων και της βιοποικιλότητας.
- Η ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών όψεων σε όλες τις αναπτυξιακές πολιτικές, οι οποίες αφορούν τους διάφορους τομείς δραστηριότητας.

- Η θεώρηση της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και της ενημέρωσης του κοινού, ως δραστηριοτήτων πρώτης προτεραιότητας
- Η προώθηση της συλλογής και της διάδοσης των πληροφοριών.

Ειδικότερα για το φυσικό περιβάλλον, η ίδια έκθεση αναφέρει ότι πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στα ακόλουθα θέματα:

- Αποτελεσματική διαχείριση και προστασία των προστατευόμενων περιοχών και διερευνήσει των ορίων τους.
- Προστασία ενδιαιτημάτων και ειδών
- Δραστηριότητες κατά ζώνες
- Ανόρθωση υποβαθμισμένων φυσικών περιοχών
- Εξασφάλιση ισόρροπης συνύπαρξης των ανθρωπογενών και των φυσικών οικοσυστημάτων
- Πρόληψη των δασικών πυρκαγιών και της διάβρωσης του εδάφους
- Ορθή χρήση υλικών και τεχνικών στην αγροτική παραγωγή

3.2. Από το Ρίο έως την Κανκούν: οι Συνδιασκέψεις των Συμβαλλομένων Μερών[14]

Από το 1992 μέχρι σήμερα, εκπρόσωποι των 192 εθνών συναντιούνται κάθε χρόνο προκειμένου να εξετάσουν τρόπους για την καταπολέμηση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Η πιο σημαντική προγενέστερη συνάντηση ήταν αυτή στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997 με την υπογραφή της συνθήκης για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου από 37

βιομηχανικά κράτη. Οι ΗΠΑ είχαν, ωστόσο, απορρίψει τη συνθήκη. Οι συνδιασκέψεις που έχουν γίνει μέχρι τώρα είναι:

- 1η Διάσκεψη των Μερών, Βερολίνο, Γερμανία, 28 Μαρτίου – 7 Απριλίου 1995
- 2η Διάσκεψη των Μερών, Γενεύη, Ελβετία, 8 – 19 Ιουλίου 1996
- 3η Διάσκεψη των Μερών, Κιότο, Ιαπωνία, 1 – 11 Δεκεμβρίου 1997
- 4η Διάσκεψη των Μερών, Μπουένος Άιρες, Αργεντινή, 2 – 13 Νοεμβρίου 1998
- 5η Διάσκεψη των Μερών, Βόννη, Γερμανία, 25 Οκτωβρίου – 5 Νοεμβρίου 1999
- 6η Διάσκεψη των Μερών, Χάγη, Ολλανδία, 13 – 24 Νοεμβρίου 2000
- 7η Διάσκεψη των Μερών, Μαρακές, Μαρόκο, 29 Οκτωβρίου – 9 Νοεμβρίου 2001
- 8η Διάσκεψη των Μερών, Νέο Δελχί, Ινδία, 23 Οκτωβρίου – 1 Νοεμβρίου 2002
- 9η Διάσκεψη των Μερών, Μιλάνο, Ιταλία, 1 – 12 Δεκεμβρίου 2003
- 10η Διάσκεψη των Μερών, Μπουένος Άιρες, Αργεντινή, 6 – 17 Δεκεμβρίου 2004
- 11η Διάσκεψη των Μερών, Μόντρεαλ, Καναδάς, 28 Νοεμβρίου – 9 Δεκεμβρίου 2005
- 12η Διάσκεψη των Μερών, Ναϊρόμπι Κένυα, 6 – 17 Νοεμβρίου 2006
- 13η Διάσκεψη των Μερών, Μπαλί, Ινδονησία, 3-14 Δεκεμβρίου 2007
- 14η Διάσκεψη των Μερών, Πονζάν, Πολωνία, 1-12 Δεκεμβρίου 2008
- 15η Διάσκεψη των Μερών, Κοπεγχάγη, Δανία, 7-19 Δεκεμβρίου 2009
- 16η Διάσκεψη των Μερών, Κανκούν, Μεξικό, 7-19 Δεκεμβρίου 2010
- 17η Διάσκεψη των Μερών, Ντέρμπαν, Νότιος Αφρική, 28-11 Δεκεμβρίου 2011
- 18η Διάσκεψη των Μερών, Ντόχα, Κατάρ, 26-7 Δεκεμβρίου 2012

4. Συστήματα κλειστού τύπου

4.1 Εισαγωγή

Ως συστήματα κλειστού κύκλου ορίζονται οι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό. Το νερό αυτό είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό, ξηρό) είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils). Στην αγορά σήμερα υπάρχουν διαθέσιμοι οι ψύκτες απορρόφησης (πιο κοινοί) και ψύκτες προσρόφησης (μερικές εκατοντάδες συστήματα παγκοσμίως, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για κλιματισμό ηλιακό).

Σε αντίθεση με τα συστήματα κλειστού κύκλου, υπάρχουν και τα συστήματα ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα ανοικτού κύκλου επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ξηρό και ψυχρό αέρα σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό, δεδομένου ότι είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα. Τα πιο κοινά συστήματα είναι τα συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) που χρησιμοποιούν έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρυνσης με στερεό πορώδες ροφητικό υλικό.

Οι θερμοκίνητοι ψύκτες μπορούν να χαρακτηριστούν από τρία θερμοκρασιακά επίπεδα:

- επίπεδο υψηλής θερμοκρασίας, στο οποίο παρέχεται θερμοκρασία αναγέννησης της διεργασίας ρόφησης (sorption)
- επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας, στο οποίο λειτουργεί η διαδικασία ψύξης,
- επίπεδο μέσης θερμοκρασίας, στο οποίο η θερμότητα που απορρίπτεται από τον κύκλο του ψυχρού νερού καθώς και η θερμότητα αναγέννησης πρέπει να απομακρυνθούν.

Για την απομάκρυνση αυτής της θερμότητας, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πύργος ψύξης υγρού τύπου. Μια βασική παράμετρος που περιγράφει την αποδοτικότητα ενός θερμοκίνητου ψύκτη είναι ο Θερμικός Συντελεστής Απόδοσης (Coefficient of Performance, COP), που ορίζεται ως το κλάσμα της θερμότητας που απορρίπτεται από το κύκλωμα ψυχρού νερού και της απαραίτητης θερμότητας αναγέννησης, δηλαδή $COP_{thermal} = Q_{cold} / Q_{heat}$. Είναι δε διαφορετικός από το COP_{conv} ενός συμβατικού, ηλεκτροκίνητου ψύκτη συμπίεσης, που ορίζεται ως $COP_{conv} = Q_{cold} / E_{electric}$, με τον όρο $E_{electric}$ να αντιπροσωπεύει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ψύκτη. Ο ορισμός του $COP_{thermal}$ δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, μια ρεαλιστική σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών απαιτεί την εκτίμηση της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για τροφοδοσία θερμότητας, για αντλίες, ανεμιστήρες, κλπ.

4.2 Συστήματα απορρόφησης

4.2.1. Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας απορρόφησης[30]

Αν και ο κύκλος ψύξης απορρόφησης έχει μια προηγούμενη προέλευση (Carre, 1857) από τον κύκλο συμπίεσης ατμού (Linde, 1875), η αγορά ψύξης ήταν από την αρχή της συνυφασμένη με τους κύκλους συμπίεσης ατμού, και ειδικά από το 1930 με την εισαγωγή των αλογονοποιημένων υδρογονανθράκων ως ρευστά μέσα από τα ψυγεία. Τα εμπορικά ψυγεία απορρόφησης είναι διαθέσιμα από το 1940 (απλή επίδρασης μηχανή), και 1970–1990 (διπλής επίδρασης μηχανές), αν και οι υψηλές δαπάνες τους και η χαμηλή τιμή της ενέργειας, μαζί με την ευρεία διάδοση των μηχανών συμπίεσης ατμού, περιόρισαν αρκετά την παρουσία τους.

Σήμερα, τα ψυγεία απορρόφησης λαμβάνουν μια επιπλέον προσοχή για τη χρήση τους στην εκμετάλλευση των υπόλοιπων θερμικών

ενεργειακών ροών στις συνδυασμένες εγκαταστάσεις θερμότητας και ενέργειας, εκτός από τη δυνατότητά τους στα ηλιακά συστήματα ψύξης.

Το ενδιαφέρον για τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για να τροφοδοτήσει τα ψυγεία απορρόφησης προέρχεται από πολύ καιρό πριν. Η κύρια θέση για την τεχνολογία ήταν πιθανά στις εφαρμογές συντήρησης τροφίμων με τους ασυνεχείς κύκλους απορρόφησης για τις μακρινές περιοχές στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες, ενώ η εφαρμογή τους στον κλιματισμό άρχισε ακριβώς να εξετάζεται για τα δημόσια κτήρια στις αναπτυγμένες χώρες, με τη χρήση τους στα κατοικημένα κτήρια εντελώς εκτός της σκέψης τους. Στην αρχή, διερευνήθηκαν οι δυνατότητες των ηλιακών συστημάτων απορρόφησης προσαρμοσμένα στα ψυγεία απορρόφησης συμβατικού ατμού προκειμένου να είναι σε θέση να λειτουργήσουν με το καυτό νερό από τον ηλιακό τομέα. Το σχέδιο και οι συνθήκες λειτουργίας των μηχανών απορρόφησης που χρησιμοποιούνται με την ηλιακή ενέργεια αναλύθηκαν επίσης.

Μετά την κρίση στον τομέα του πετρελαίου υπήρξε ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον στην ηλιακή απορρόφηση στον κλιματισμό στις ανεπτυγμένες χώρες, που θεωρούσαν ήδη την ηλιακή απορρόφηση ένα καλό συμπλήρωμα στην ηλιακή θέρμανση και στα συστήματα DHW. Η πιο λεπτομερής ανάλυση για τις εφαρμογές ηλιακής απορρόφησης άρχισε να μεγαλώνει, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι, αντίθετα στις συμβατικές εφαρμογές, τα ηλιακά ψυγεία απορρόφησης λειτουργούν συχνά εκτός περιοχής σχεδιασμού, σε μερικό φορτίο, και υπό μεταβλητές οριακές συνθήκες. Επομένως, και η θεωρητική διαμόρφωση του ψύκτη απορρόφησης και οι προσομοιώσεις της απόδοσης ηλιακών συστημάτων βασισμένης στον πειραματικό χαρακτηρισμό της μηχανής απορρόφησης αναλήφθηκαν, με τα τελευταία που παρουσιάζονται για να είναι πιο κατάλληλα να αξιολογήσουν την απόδοση του συστήματος. Τα πρώτα πειραματικά και αποδεικτικά συστήματα άρχισαν να εμφανίζονται.

Εντούτοις, η μείωση στις τιμές ενέργειας κατά τη διάρκεια των ετών κατόπιν, και η ισχυρή καθιέρωση των μηχανών συμπίεσης ατμού στην αγορά κλιματισμού, απέτρεψαν την επέκταση της τεχνολογίας.

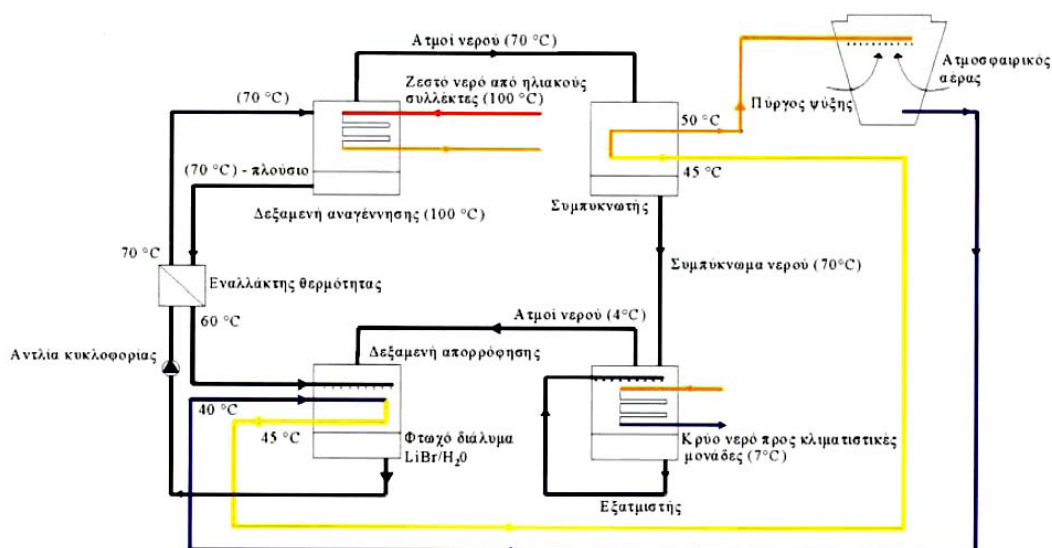
Επομένως, μέχρι τις ημέρες μας οι ηλιακές εγκαταστάσεις απορρόφησης διατηρούν κυρίως έναν επιδεικτικό χαρακτήρα.

4.2.2 Ψύκτες απορρόφησης σήμερα

Οι ψύκτες απορρόφησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως. Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου/ροφητικού υλικού και πηγή θερμότητας, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή. Για ψυχρό νερό άνω των 0°C, όπως απαιτείται στον κλιματισμό, τυπικά χρησιμοποιείται ένα υγρό διάλυμα H₂O/LiBr, με το νερό ως ψυκτικό μέσο.

Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν εσωτερική αντλία για το διάλυμα, καταναλώνοντας όμως μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης H₂O/LiBr, η κρυστάλλωση του διαλύματος πρέπει να αποφευχθεί με εσωτερικό έλεγχο της θερμοκρασίας απόρριψης θερμότητας στη μηχανή. Τα κύρια σημεία ενός ψύκτη απορρόφησης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου (νερό) στον ατμοποιητή σε πολύ χαμηλές πιέσεις. Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορροφάται στον απορροφητή, αραιώνοντας το διάλυμα H₂O/LiBr (για να καταστεί η διαδικασία απορρόφησης αποδοτική, απαιτείται ψύξη σε αυτό το στάδιο της διεργασίας). Το διάλυμα αντλείται συνεχώς στον αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), όπου επιτυγχάνεται η αναγέννηση του διαλύματος χρησιμοποιώντας θερμότητα (θερμότητα αναγέννησης/ τροφοδοσίας) (π.χ. ζεστό νερό από ηλιακά). Το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια, συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και κυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας στραγγαλιστικής /εκτονωτικής βαλβίδας πάλι στον ατμοποιητή. Η ονομαστική ψυκτική ικανότητα των ψυκτών απορρόφησης είναι της τάξης αρκετών εκατοντάδων kW. Τροφοδοτούνται κυρίως μέσω κεντρικής θέρμανσης, απορριπτόμενης θερμότητας ή θερμότητας από

συμπαράγωγη. Η απαιτούμενη θερμοκρασία της θερμικής πηγής είναι συνήθως πάνω από 80°C για τις μηχανές μονής βαθμίδας ενώ ο COP είναι της τάξης του 0,6 έως 0,8. Μηχανές διπλής βαθμίδας με δύο στάδια συμπίεσης, απαιτούν θερμοκρασία άνω των 100°C , αλλά ο COP μπορεί να επιτύχει τιμές μέχρι και 1,2.



Εικόνα 4.2.2.1. Σχηματικό διάγραμμα ψύκτη απορρόφησης (LiBr/H₂O)[31]



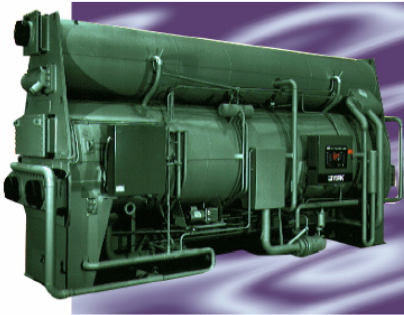
Υπάρχουν επίσης διαθέσιμοι κάποιοι ψύκτες απορρόφησης ψυκτικής ισχύος κάτω των 50 kW. Τέτοιες μικρές μονάδες χρησιμοποιούνται συχνά στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού με ψύκτες απορρόφησης. Ένας πρόσφατα αναπτυγμένος τύπος ψυκτών, μικρής ισχύος, επιτρέπει λειτουργία μερικού φορτίου με μειωμένη ψυκτική ισχύ σε θερμοκρασίες αναγέννησης 65°C και με COP περίπου 0,7. Αυτό δείχνει πως υπάρχει περαιτέρω δυνατότητα για βελτίωση της απόδοσης των ψυκτών απορρόφησης.

Τα ηλιακά κλιματιστικά βασίζονται σε συνεχείς κύκλους απορρόφησης, που βασίζουν την λειτουργία τους σε ηλιακούς συλλέκτες. Ο κλιματισμός με την μέθοδο της απορρόφησης, έχει αποδειχθεί ότι είναι οικονομικά βιώσιμος, όταν υπάρχει μια φθηνή πηγή ενέργειας στο εύρος των θερμοκρασιών από 100 έως 200°C . Επίσης μηχανές απορρόφησης

μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν αναγεννητές , σε τυπικά κλιματιστικά μηχανήματα, με παραγωγή ψυχρού νερού. Έρευνες σε συστήματα που χρησιμοποιούν την μέθοδο της απορρόφησης, στηριζόμενα σε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, για οικιακή χρήση, έχουν σαν στόχο την βελτίωση της προσαρμογής αυτών των τύπων. Επιστήμονες χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό νερού-βρωμιούχου λιθίου, αναζήτησαν το βέλτιστο ψυκτικό μέσο, ανάμεσα σε αρκετά υποψήφια. Ο μέγιστος COP του ψυκτικού κύκλου για την χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των συλλεκτών , επιτυγχάνεται με την χρήση του συνδυασμού νερού-βρωμιούχου λιθίου. Έχουν μελετηθεί και άλλα ψυκτικά μέσα, αλλά χωρίς να έχουν παρατηρηθεί ουσιαστικά πρακτικά αποτελέσματα.

Η αποτελεσματικότητα ενός κύκλου απορρόφησης ,εξαρτάται από τις δύο ουσίες που αποτελούν το ψυκτικό και το απορροφητικό μέσο. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά αυτών των δύο ουσιών είναι τα εξής:

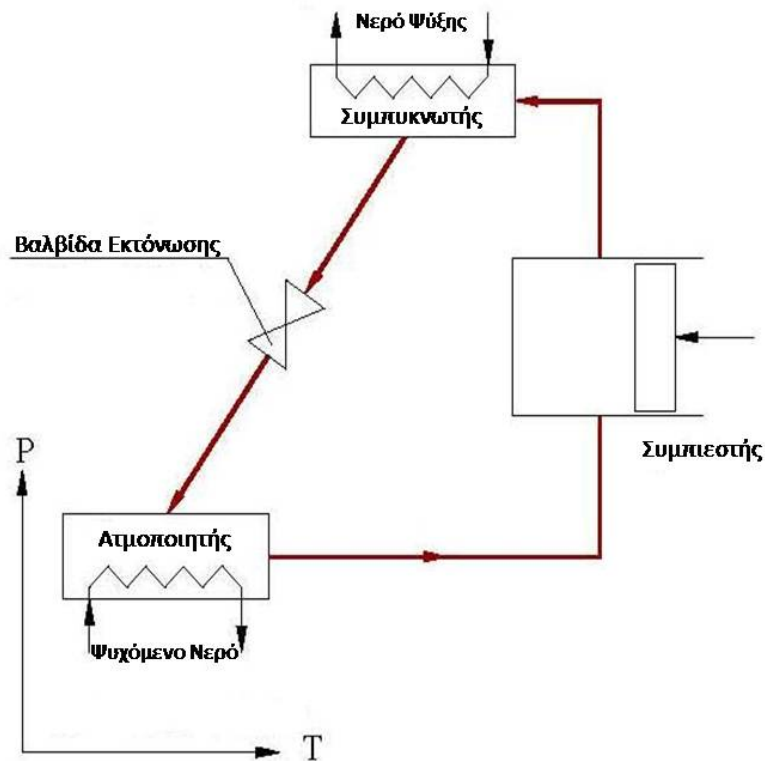
- η απουσία απορροφητή στερεού τύπου
- ένα ψυκτικό που θα είναι περισσότερο πιητικό από τον απορροφητή ώστε να διαχωρίζεται από το απορροφητικό μέσο
- ένα απορροφητικό μέσο που δεν θα έχει συγγένεια με το ψυκτικό
- υψηλού βαθμού χημική σταθερότητα για μακροχρόνια λειτουργία
- ένα ψυκτικό που θα έχει μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα
- μικρό βαθμό διάβρωσης και καθόλου τοξικότητα για λόγους ασφαλείας.

| | | |
|--|--|--|
|  <p>Source: Sonnenklima</p> |  <p>Picture source: Thermax</p> |  <p>Picture source: York</p> |
| <p>Sonnenklima SunInverse, 10kW_{ref}</p> | <p>Thermax Cogenie, 240 kW_{ref}</p> | <p>York YIA Millenium, 422 kW_{ref}</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Table by SOLEM CONSULTING</p> |

Εικόνα 4.2.2.2 Παραδείγματα ψυκτών απορρόφησης

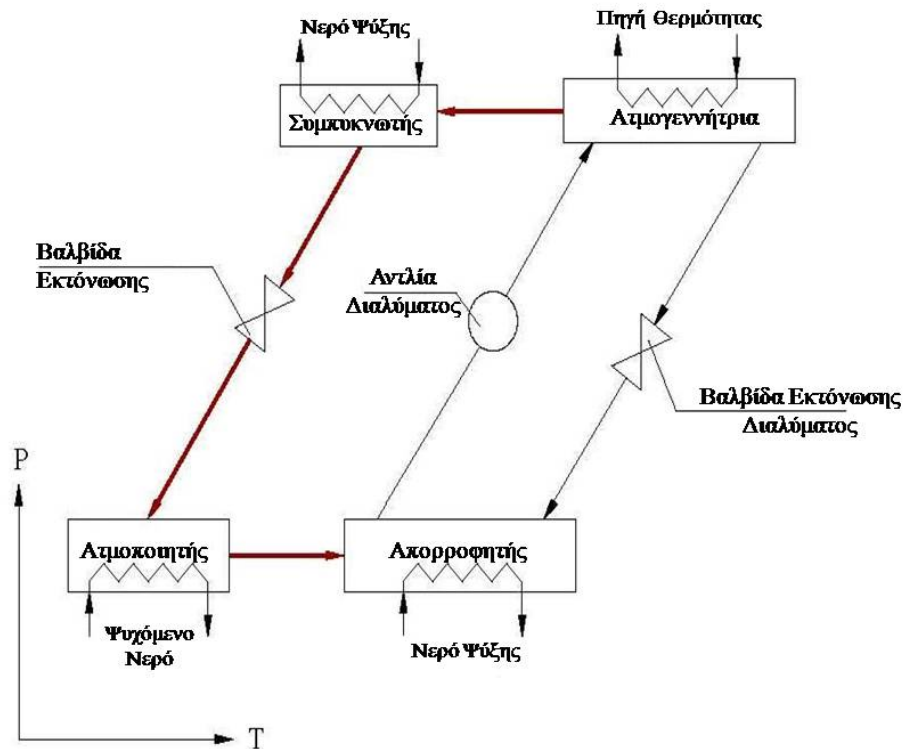
4.2.3 Αρχές λειτουργίας του κύκλου απορρόφησης

Ο ψύκτης παράγει ψυχόμενο νερό αφαιρώντας θερμότητα από αυτό και μεταφέροντάς την σε ένα ψυκτικό μέσο που ατμοποιείται. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στις παρακάτω εικόνες για ένα συμβατικό ψύκτη συμπίεσης ατμού και για ένα ψύκτη απορρόφησης. Και στους δύο, το ψυκτικό υγρό ρέει στον ατμοποιητή, ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, και απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο νερό που ρέει σε σωλήνα μέσα στον ατμοποιητή. Στη διαδικασία συμπίεσης ατμού, ο ατμός ψύξης συμπιέζεται και συμπυκνώνεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, μεταφέροντας θερμότητα στο νερό ψύξης ή στον περιβάλλοντα χώρο του συμπυκνωτή. Το ψυκτικό μέσο, συμπυκνωμένο σε υψηλή πίεση, επιστρέφει έπειτα μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης στον ατμοποιητή σε χαμηλή πίεση, για να απορροφήσει ξανά θερμότητα από την ροή του ψυχόμενου νερού.



Εικόνα 4.2.3.1. Βασικός κύκλος ψύκτη συμπίεσης ατμού[20]

Στη διαδικασία απορρόφησης, ο υδρατμός που παράγεται στον ατμοποιητή απορροφάται σε χαμηλή πίεση μέσα σε ένα διάλυμα απορρόφησης στον απορροφητή. Καθώς ο υδρατμός του ψυκτικού μέσου απορροφάται, απελευθερώνεται θερμότητα. Αυτή η θερμότητα αφαιρείται από το νερό ψύξης που ρέει μέσα στον απορροφητή. Το διάλυμα απορρόφησης αντλείται τότε στην ατμογεννήτρια, όπου ο υδρατμός ψυκτικού μέσου άγεται από το φτωχό διάλυμα με την πρόσδοση θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Ο υδρατμός ψυκτικού μέσου συμπυκνώνεται σε μεγάλη πίεση και θερμοκρασία με την αφαίρεση της θερμότητας στο περιβάλλον ή στο νερό ψύξης. Το υγρό, πλέον, ψυκτικό μέσο επιστρέφει στον ατμοποιητή μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης.



Εικόνα 4.2.3.2. Βασικός κύκλος ψύκτη απορρόφησης[20]

Ο βασικός κύκλος ψύκτη απορρόφησης που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα είναι παρόμοιος με τον παραδοσιακό κύκλο ψύξης υδρατμού με συμπίεση στα εξής :

- ο υδρατμός ψυκτικού μέσου συμπυκνώνεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, αποβάλλοντας θερμότητα στον περιβάλλοντα χώρο.
- ο υδρατμός ψυκτικού μέσου ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, απορροφώντας θερμότητα από την ροή του ψυχόμενου νερού.

και διαφέρει στα εξής :

- η κυκλοφορία μέσω αντλίας του διαλύματος απορρόφησης αντικαθιστά τη συμπίεση του ατμού ψύξης. Η ενέργεια και το έργο που χρειάζεται η αντλία είναι σημαντικά λιγότερα από αυτά που χρειάζεται ο συμπιεστής.

- Θερμότητα πρέπει να παρέχεται στην ατμογεννήτρια ώστε να απελευθερώσει τον υδρατμό του ψυκτικού μέσου σε μεγάλη πίεση για τη συμπύκνωση, και θερμότητα πρέπει να αφαιρεθεί από τον απορροφητή.

Από άποψη θερμοδυναμικής, ο ψύκτης συμπίεσης ατμού είναι μία αντλία θερμότητας, που χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια και έργο για να μεταφέρει θερμότητα από χαμηλή σε υψηλή θερμοκρασία. Ο ψύκτης απορρόφησης είναι το ισοδύναμο μίας μηχανής θερμότητας - απορροφά θερμότητα σε υψηλή θερμοκρασία, απορρίπτει θερμότητα σε χαμηλότερη θερμοκρασία, παράγοντας έργο - που κινεί μία αντλία θερμότητας.

4.2.4. Εργαζόμενα ρευστά στην ψύξη απορρόφησης

Η απόδοση ενός συστήματος ψύξης με απορρόφηση εξαρτάται κρίσιμα από τις χημικές και θερμοδυναμικές ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου. Μια ουσιώδης απαίτηση του συνδυασμού ψυκτικού μέσου/ απορροφητή είναι ότι πρέπει να έχουν ένα περιθώριο ανάμιξης μέσα στο εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας του κύκλου. Το μίγμα του απορροφητικού μέσου - ψυκτικού μέσου πρέπει να είναι χημικά σταθερό, μη τοξικό και να μην εκρήγνυται. Για τα εργαζόμενα μέσα κύκλου απορρόφησης είναι επιθυμητό να ισχύουν τα παρακάτω[16]:

- Η ανύψωση του βρασμού (η διαφορά στο σημείο ζέσεως μεταξύ του καθαρού ψυκτικού και του διαλύματος στην ίδια πίεση) πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.
- Το ψυκτικό πρέπει να έχει μεγάλη θερμότητα εξάτμισης και υψηλή συγκέντρωση μέσα στο μέσο απορρόφησης έτσι ώστε να διατηρήσουμε βαθμό χαμηλής κυκλοφορίας μεταξύ της ατμογεννήτριας και του απορροφητή ανά μονάδα ψυκτικής ικανότητας.

- Ιδιότητες μεταφοράς που επηρεάζουν την μεταφορά θερμότητας και μάζας, όπως το ιξώδες, η θερμική αγωγιμότητα και ο συντελεστής διάχυσης πρέπει να είναι ευνοϊκά.
- Και το ψυκτικό μέσο και το μέσο απορρόφησης πρέπει να είναι μη διαβρωτικά, φιλικά προς το περιβάλλον και χαμηλού κόστους.

Πολλά εργαζόμενα μέσα έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία. Μια έρευνα για τα εργαζόμενα μέσα που έγινε από τον Marcriss [17] βρήκε ότι υπάρχουν περίπου 40 χημικές ενώσεις ψυκτικών και 200 χημικές ενώσεις απορροφητών διαθέσιμες. Παρόλα αυτά τα πιο συνηθισμένα εργαζόμενα μέσα είναι νερό/ NH_3 και LiBr /νερό.

Από την εφεύρεση ακόμα των συστημάτων ψύξης με απορρόφηση, το νερό/ NH_3 ήταν ευρέως διαδεδομένο για σκοπούς ψύξης και θέρμανσης. Και η NH_3 (σαν ψυκτικό) και το νερό (σαν απορροφητής) είναι πολύ σταθερά για ένα ευρύ πεδίο θερμοκρασιών και πιέσεων λειτουργίας. Η αμμωνία έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης, που είναι απαραίτητο για την αποτελεσματική απόδοση του συστήματος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας, καθώς το σημείο που παγώνει η αμμωνία είναι οι -77°C . Καθώς και η αμμωνία και το νερό είναι πτητικά, ο κύκλος απαιτεί ένα διαχωριστή για να απομακρύνει το νερό που έχει εξατμιστεί μαζί με την αμμωνία. Χωρίς ένα διαχωριστή το νερό θα συσσωρευόταν στον ατμοποιητή και θα είχε αντίκτυπο στην απόδοση του συστήματος. Υπάρχουν άλλα μειονεκτήματα όπως η υψηλή της πίεση, η τοξικότητα και η διαβρωτική της δράση στο χαλκό και τα κράματά του. Όμως σαν εργαζόμενο μέσο το νερό/ NH_3 είναι φιλικό προς το περιβάλλον και έχει χαμηλό κόστος.

Η χρήση LiBr /νερού στα συστήματα ψύξης με απορρόφηση ξεκίνησε περίπου το 1930. Τα δύο σημαντικότερα χαρακτηριστικά του LiBr /νερού είναι η μη πτητικότητα του LiBr (οπότε δε χρειάζεται απορροφητής) και η πολύ υψηλή θερμότητα ατμοποίησης του νερού

(ψυκτικό μέσο). Παρόλα αυτά χρησιμοποιώντας το νερό σαν ψυκτικό μέσο περιορίζονται οι εφαρμογές για χαμηλές θερμοκρασίες πάνω από τους 0 °C. Καθώς το νερό είναι το ψυκτικό μέσο το σύστημα πρέπει να λειτουργεί σε συνθήκες υποπίεσης. Σε υψηλές συγκεντρώσεις το σύστημα είναι επικλινές σε κρυσταλλοποίηση. Είναι επίσης διαβρωτικό για μερικά μέταλλα και ακριβό. Μερικά πρόσθετα μπορούν να συμπληρωθούν στο διάλυμα LiBr/νερού για να αποτραπεί η διάβρωση ή να βελτιωθούν η μεταφορά μάζας και θερμότητας.

Παρόλο που το διάλυμα LiBr/νερού νερού/NH₃ είναι ευρέως διαδεδομένα για πολλά χρόνια και οι ιδιότητες τους είναι γνωστές, πολύ εκτεταμένη έρευνα έχει διεξαχθεί στο να βρεθούν νέα εργαζόμενα μέσα. Εργαζόμενα μέσα που βασίζονται σε υδρογονάνθρακες έχουν μελετηθεί. Τα R22 και R21 έχουν ευρέως προταθεί εξαιτίας της καλής διαλυτότητας που έχουν με πολλούς οργανικούς διαλύτες. Οι δύο διαλύτες που έχουν ξεχωρίσει είναι ο διμεθυλαιθέρας της τετρααιθυλενιογλυκόλης (DMETEG) και το διμεθυλοφορμαμίδιο (DMF).

Ένα δυαδικό μείγμα χρησιμοποιώντας ανόργανο απορροφητικό άλας όπως LiBr/νερό ή NaOH/νερό μπορεί να είναι το πιο επιτυχημένο εργαζόμενο μέσο για ένα σύστημα ψύξης με απορρόφηση. Ωστόσο, σε υψηλή συγκέντρωση καθώς και σε υψηλή θερμοκρασία, το διάλυμα κινδυνεύει λόγω κρυστάλλωσης. Έχει διαπιστωθεί ότι η προσθήκη ενός δευτέρου άλατος σε ένα τριμερές μείγμα όπως το LiBr + ZnBr₂ / νερό μπορεί να βελτιώσει τη διαλυτότητα του διαλύματος.

4.2.5 Απόδοση απορροφητή ενός ψύκτη απορρόφησης LiBr/H₂O

Είναι γνωστό ότι ο απορροφητής είναι ένα από το σημαντικότερα συστατικά ενός ψύκτη απορρόφησης, ο οποίος μπορεί να επηρεάσει την

απόδοση του ψύκτη, το κόστος της επένδυσης και της συντήρησης. Το μέγεθος του απορροφητή είναι κανονικά μεγαλύτερο επειδή οι συντελεστές της μεταφοράς θερμότητας και μάζας του απορροφητή για τον ψύκτη απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου (LBAC) είναι χαμηλοί. Επομένως, πολλές έρευνες, που ψάχνουν τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας και μάζας του υδάτινου διαλύματος βρωμιούχου λιθίου (LiBr), έχουν γίνει για να βελτιώσουν την απόδοση του απορροφητή. Ο απορροφητής σε LBAC χρησιμοποιεί ένα κέλυφος-σωλήνα εναλλάκτη θερμότητας και μάζας, όπου το υδάτινο διάλυμα LiBr επιπλέει στο μέρος του κελύφους ενώ το μέσο ψύξης στους σωλήνες. Ο απορροφητής μπορεί να επιτύχει υψηλή απόδοση μεταφοράς θερμότητας και μάζας:

1) Αυξάνοντας την πίεση απορρόφησης και τη συγκέντρωση εισαγωγής στον LBAS ή μειώνοντας την θερμοκρασία εισαγωγής ύδατος ψύξης .

2) Συγκεντρώνοντας την προσοχή σε ένα μονού σωλήνα ή πολλαπλών σωλήνων απορροφητή οριζόντιο ή κάθετο εντός του απορροφητή για να βελτιώσει τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας στον LBAS .

3) Προσθήκη μερικών μέσων απολύμανσης στο LBAS για να εντείνει τη μεταφορά μάζας.

Η αρχή της απορρόφησης υδάτινου διαλύματος LiBr

Το ποσό υδρατμού (που χρησιμοποιείται ως ψυκτική ουσία) από τον ατμοποιητή αποφασίζει την ψυκτική ικανότητα του LBAC και εξαρτάται από την απορροφητική δυνατότητα του απορροφητή. Εντούτοις, η απορροφητική ικανότητα του LBAC είναι μια λειτουργία της μεταφοράς μάζας που όχι μόνο εξαρτάται από τη θερμοκρασία, συγκέντρωση του διαλύματος, αλλά και επηρεάζεται από τη διαφορά πίεσης μεταξύ του κορεσμένου υδρατμού που γεμίζει του απορροφητή και την μερική πίεση υδρατμού της διεπαφής του συγκεντρωμένου υδάτινου διαλύματος LiBr, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta p = p_a - p_c \quad (1)$$

όπου το p_c είναι η μερική πίεση υδρατμού της διεπαφής του διαλύματος, και το p_a είναι η πίεση κορεσμένου υδρατμού από τον ατμοποιητή.

Η εξίσωση (1) δείχνει ότι η αποδοτικότητα απορρόφησης του απορροφητή θα μπορούσε να βελτιωθεί με την αύξηση του Δp . Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί είτε με την αύξηση της p_a είτε με τη μείωση της p_c . Η τιμή του p_a είναι συνήθως ίση με την πίεση εξάτμισης, και εκείνο το p_c είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης κολλοειδούς διαλύματος όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$p_c = f(t, \xi) \quad (2)$$

όπου το t είναι η θερμοκρασία διαλύματος ($^{\circ}\text{C}$) και ξ είναι η συγκέντρωση του διαλύματος (%).

Με βάση την ιδιότητα του διαλύματος βρωμιούχου λιθίου, την τιμή του p_c μπορεί να χαμηλώσουν με τη μείωση του t κρατώντας τη συγκέντρωση σταθερή ή αυξάνοντας το ξ όταν η θερμοκρασία είναι αμετάβλητη.

Επομένως, φαίνεται ότι η απορροφητική δυνατότητα του απορροφητή και η απόδοση του LBAC μπορεί να βελτιωθεί με την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος βρωμιούχου λιθίου. Εντούτοις, δεν έχει πάντα αποτέλεσμα στο συντελεστή της απόδοσης (COP) με την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος επειδή το ποσό θερμότητας αυξάνεται επίσης με την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος και η θερμοκρασία παραγωγής ανεβαίνει. Είναι, επομένως, απαραίτητο να ερευνηθεί σχέση μεταξύ του COP του ψύκτη με τη συγκέντρωση του διαλύματος και τον μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας και μάζας της μεμβράνης του απορροφητή.

4.2.6. Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης και ηλεκτρικών ψυκτών

Πλεονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης

- Έχουν ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση σε αντίθεση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ψύκτες απορρόφησης να εμφανίζουν σημαντικά ενεργειακά πλεονεκτήματα κυρίως όταν τροφοδοτούνται από απορριπτόμενη θερμότητα.
- Οι ψυκτικές μονάδες απορρόφησης που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες τρι-παραγωγής (παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ισχύος). Έτσι προσφέρουν την δυνατότητα σημαντικής αύξησης του συνολικού βαθμού απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής. Με άλλα λόγια αυτές οι μονάδες συνεισφέρουν τα μέγιστα σε οποιαδήποτε προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας, μειώνοντας παράλληλα το συνολικό κόστος λειτουργίας.
- Οι ψύκτες απορρόφησης είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες. Συγκεκριμένα αφού η αρχή λειτουργίας τους δεν στηρίζεται στην χρήση κανενός είδος συμβατικού ψυκτικού μέσου (CFCs, HCFCs και HFCs), έχουν μηδενική επίδραση στην καταστροφή του όζοντος: ODP = 0 (Ozone Depletion Potential) και μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ειδικά οι ψύκτες που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό έχουν αρκετά μικρότερο GWP (Global Potential warming) από τους ψύκτες που καίνε αέριο (gas-fired chillers) και εκπέμπουν CO₂, αν και η καύση αερίου και ειδικά φυσικού αερίου θεωρείται φιλική προς το περιβάλλον αφού δεν παράγονται SO₂, SO, αιθάλη και στερεά σωματίδια, ρύποι ιδιαίτερα ζημιογόνοι για τον ανθρώπινο παράγοντα.
- Οι ψύκτες άμεσης θέρμανσης έχουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης διαφόρων καυσίμων μέσων (Diesel θέρμανσης, φυσικό αέριο, LPG, βιοαέριο κ.α.). Το γεγονός αυτό καθιστά ιδανική την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος σε απομακρυσμένες

περιοχές όπου δεν υπάρχει επαρκής ηλεκτρικής ισχύς για τους παραδοσιακούς ηλεκτρικούς ψύκτες. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια με ήδη επιβαρυσμένη εγκατεστημένη ηλεκτρική εγκατάσταση από άλλες ενεργοβόρες διεργασίες. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι, πολλοί από τους καυστήρες που συνοδεύουν τις μηχανές απορρόφησης είναι "διπλού καυσίμου" (dual fuel) και μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε με φυσικό αέριο είτε με πετρέλαιο. Αυτή η ευελιξία είναι ιδιαίτερα ελκυστική σε εφαρμογές όπου το πετρέλαιο είναι εύκολα διαθέσιμο π.χ. απομακρυσμένες περιοχές.

- Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις απορρόφησης έχουν ελάχιστα κινούμενα μέρη (αντλίες ανακυκλοφορίας ψυκτικού μέσου/απορροφητή). Για παράδειγμα ένας ψύκτης απορρόφησης 500 RT έχει 3 αντλίες που καταναλώνουν περίπου 5 hp (3.7 KW) ανά ώρα. Επομένως έχουν μεγάλο μηχανικό βαθμό απόδοσης, μικρές απαιτήσεις εποπτείας και συντήρησης και υψηλή αξιοπιστία.
- Τέλος παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών. Ένας ψύκτης απορρόφησης ακούγεται όπως ένας ιδίου μεγέθους λέβητας με θορύβους σπηλαιώσης. Οπότε λόγω ανυπαρξίας ταλαντώσεων και θορύβου δεν απαιτείται απομόνωση των κραδασμών και ηχομόνωση του χώρου εγκατάστασης της ψυκτικής μηχανής.

Μειονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης

- Έχουν χαμηλό συντελεστή συμπεριφοράς (COP) σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες:

Ψύκτης Απορρόφησης COP = 0.73-1.23.

Συμβατικός Ψύκτης COP = 2.37.

- Οι ψύκτες απορρόφησης αποβάλλουν μεγαλύτερο ποσό θερμότητας προς το περιβάλλον από ότι οι συμβατικές μονάδες ψύξης. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής :

- Η θερμική ισχύς που παρέχεται μέσω του ατμού στην ατμογεννήτρια του ψύκτη απορρόφησης είναι : $Q_{\text{ατμού}} = Q_{\psi} / \text{COP}$ όπου Q_{ψ} είναι η παραγόμενη ψυκτική ισχύς και COP είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς της ψυκτικής μονάδας.
- Η θερμότητα συμπύκνωσης που απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω του πύργου ψύξης είναι : $Q_{\Sigma} = Q_{\text{ατμού}} + Q_{\psi}$. Οπότε αντικαθιστώντας στην 2η σχέση το $Q_{\text{ατμού}}$ από την 1η σχέση προκύπτει ότι : $Q_{\Sigma} = Q_{\psi} * [1 + (1 / \text{COP})]$

Άρα για τις ανωτέρω τιμές του COP στους ψύκτες απορρόφησης, το απορριπτόμενο ποσό θερμότητας είναι από 1.8 έως 2.5 φορές μεγαλύτερο από την παραγόμενη ψυκτική ισχύ. Αντίθετα στους συμβατικούς ψύκτες το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στο περιβάλλον είναι 30 - 40 % μεγαλύτερο από την ψυκτική ισχύ. Επομένως απαιτείται η εγκατάσταση μεγαλύτερων πύργων ψύξης στις εγκαταστάσεις με απορρόφηση.

- Έχουν σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με τις κλασικές ψυκτικές διατάξεις. Ένας ψύκτης απορρόφησης καταλαμβάνει 50% μεγαλύτερη επιφάνεια από ότι ένας ηλεκτρικός ψύκτης ίδιας ισχύος, με αποτέλεσμα την κάλυψη μεγάλου μέρους του μηχανοστασίου.
- Τέλος έχουν μεγαλύτερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης ανά KW σε σχέση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης.

4.2.7. Ψύκτες απορρόφησης άμεσης - έμμεσης θέρμανσης (Direct-Indirect Fired Absorption Chillers)

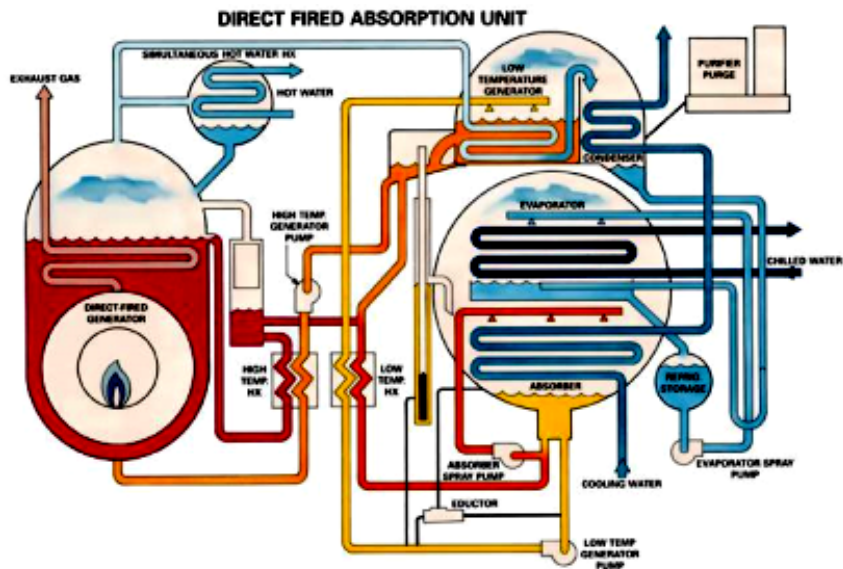
Άμεσης Θέρμανσης (Gas Fired Absorption Chillers)

Οι ψύκτες απορρόφησης άμεσης θέρμανσης που διατίθενται στο εμπόριο έχουν ονομαστική ισχύ που ξεκινούν από τα 105 KW (30 RT) και φθάνουν τα 3800 KW (1080 RT).

Έχουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά :

1. Χρησιμοποιούν ως κύρια πηγή ενέργειας Φυσικό Αέριο ή LPG

2. Μειωμένο κόστος λειτουργίας λόγω της ανταγωνιστικής τιμολογιακής πολιτικής για το Φυσικό Αέριο.
3. Η χρησιμοποίηση Φυσικού Αερίου αντί ηλεκτρισμού πρακτικά μηδενίζει την απαιτούμενη ηλεκτρική εγκατάσταση για κλιματισμό εφόσον η απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς κυμαίνεται από 1.2 έως 2.3 KW.
4. Η λειτουργία τους στηρίζεται στον ψυκτικό κύκλο H₂O-LiBr με διπλό κέλυφος.
5. Οι ψύκτες άμεσης θέρμανσης χρειάζονται 1 BTU (1.055 KJ) από το καύσιμο αέριο (ισχύς καυσίμου) για κάθε BTU ψυκτικής ισχύος που παράγουν (COP = 1.0). Με την κατασκευή όμως διπλού κελύφους καθώς και την χρησιμοποίηση πιεστικού καυστήρα επιτυγχάνεται υψηλός συντελεστής συμπεριφοράς (COP ~ 1.5 για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας) και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 40% σε σχέση με μονοβάθμιες εγκαταστάσεις.
6. Επίσης λόγω του διβάθμιου ψυκτικού κύκλου μειώνεται η απορριπτόμενη θερμότητα και επομένως το μέγεθος του Πύργου Ψύξης κατά 20% σε σχέση με τις μονοβάθμιες μονάδες.
7. Έχουν ταυτόχρονη δυνατότητα παραγωγής νερού ψύξης και θερμού νερού (κοντά στους 80 °C).
8. Έχουν λειτουργικό σχεδιασμό με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η εγκατάσταση και συντήρηση τους.
9. Διαθέτουν καυστήρα χαμηλών εκπομπών NO_x (< 30 ppm).
10. Έχουν αντλία διαλύματος LiBr με μετατροπέα (inverter) : Βέλτιστη απόδοση στο μερικό φορτίο.
11. Τέλος διαθέτουν ενσωματωμένο χειριστήριο με μικροεπεξεργαστή για τον έλεγχο, προγραμματισμό και την διάγνωση λειτουργίας ή βλαβών.



Εικόνα 4.2.7.1. Ψύκτης άμεσης θέρμανσης

Έμμεσης Θέρμανσης (*Steam / Hot Water Fired Absorption Chillers*)

Η ονομαστική ισχύς των μονοβάθμιων εγκαταστάσεων κυμαίνεται από 400 KW (110 RT) έως 6000 KW (1705 RT) ενώ των διβάθμιων κυμαίνεται από 1400 KW (400 RT) έως 4300 KW (1220 RT).

Οι ψύκτες αυτού του είδους παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά :

1. Βελτιωμένος Ψυκτικός Κύκλος :

- Χρησιμοποίηση θερμού νερού θερμοκρασίας 130 °C περίπου ή υπέρθερμου ατμού πίεσης κοντά στο 1 bar ως κύριας πηγή ενέργειας.
- Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση της θερμικής ενέργειας ατμού χαμηλής πίεσης που οδηγείται για απόρριψη για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος.
- Παραγωγή Ψύξης σε Μονάδες Τρι-Παραγωγής (Trigeneration Plants) ή σε Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου.

- Μεγιστοποίηση του συνολικού βαθμού απόδοσης.

2. Ελάχιστα κινούμενα μέρη : Ερμητικά κλειστός συμπιεστής που ψύχεται με αποσταγμένο ψυκτικό μέσο (νερό).

- Αμελητέες μηχανικές απώλειες . Μηδαμινές απαιτήσεις συντήρησης.

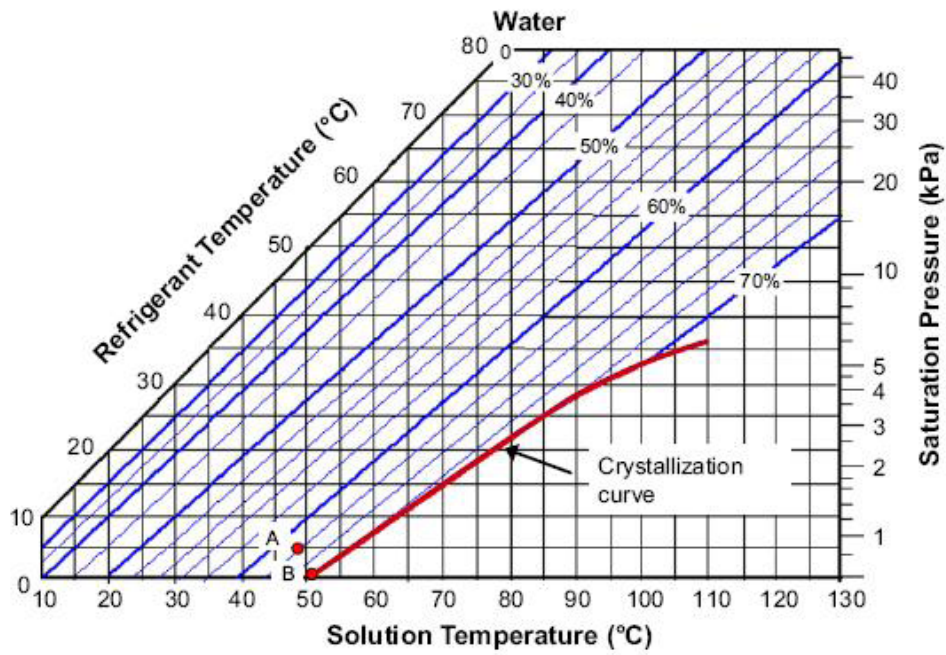
4.2.8. Κρυσταλλοποίηση

Το φαινόμενο αυτό, κατά το οποίο δημιουργείται κρυσταλλοποίηση των αλάτων, όπως είναι το βρωμιούχο λίθιο, παρουσιάζεται στη γεννήτρια. Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου ,που ευτυχώς είναι αναστρέψιμο, οδηγούν στη μείωση της απόδοσης της μηχανής χωρίς όμως να της προκαλεί ζημιές ή φθορές.

Αίτια που το προκαλούν:

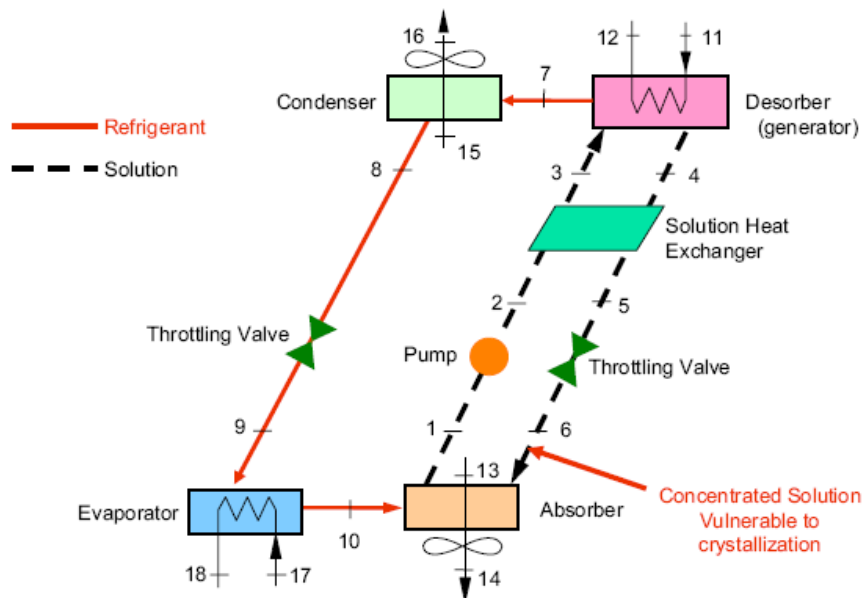
- Χαμηλή θερμοκρασία του ψυχρού ρεύματος κατά τη συμπύκνωση
- Απώλεια κενού
- Απότομη διακοπή λειτουργίας λόγω διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος
- Υπερφόρτωση
- Εισροή μη υγραποιούμενων ρευστών στο κύκλωμα σε ποσότητες μεγαλύτερες από την ικανότητα εξαέρωσης
- Μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση LiBr στο διάλυμα

Στους ψύκτες απορρόφησης με LiBr η γραμμή κρυστάλλωσης βρίσκεται πολύ κοντά στις συγκεντρώσεις του διαλύματος που λειτουργεί ο ψύκτης. Από το παρακάτω σχήμα βλέπουμε πως αν η συγκέντρωση είναι αρκετά υψηλή ή η θερμοκρασία του διαλύματος μειωθεί αρκετά, τότε το σημείο A πλησιάζει το B που ανήκει στην γραμμή κρυστάλλωσης.

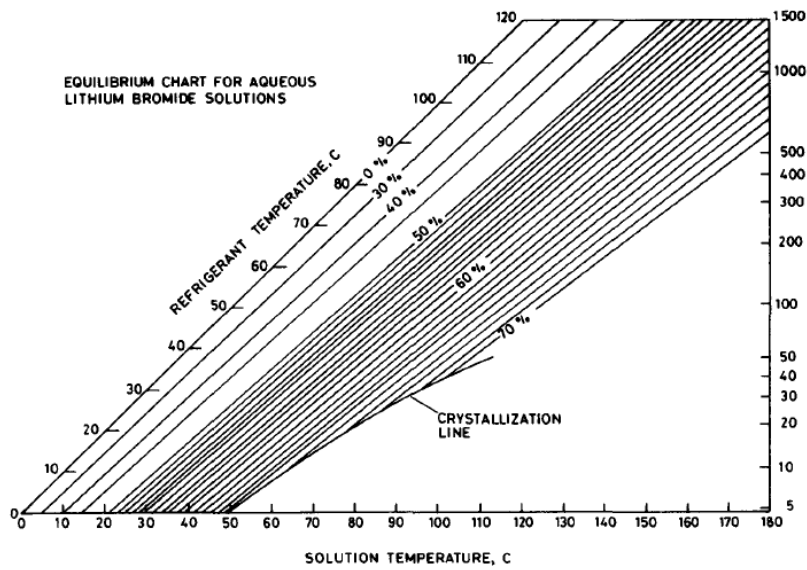


Εικόνα 4.2.8.1. Αναπαράσταση της γραμμής κρυστάλλωσης στον Ψυχομετρικό Χάρτη[18]

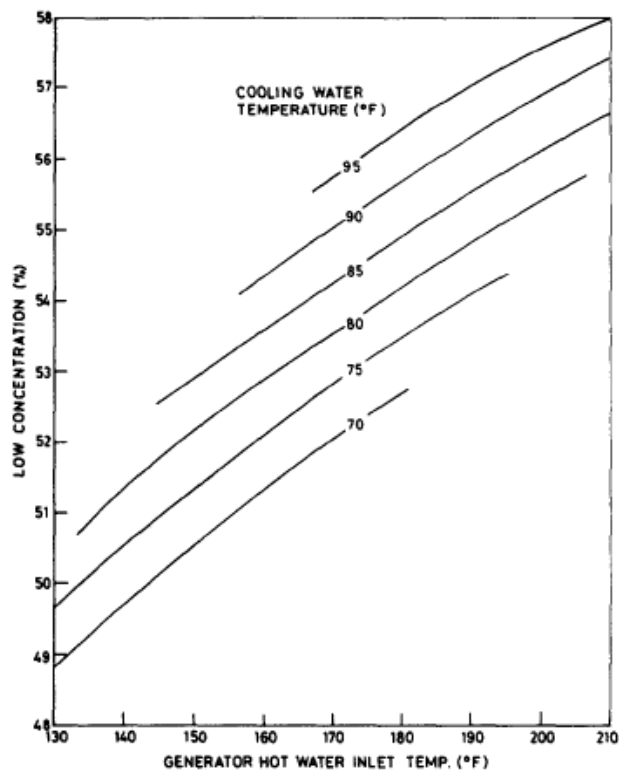
Η θέση στην οποία είναι πιο πιθανή η κρυστάλλωση είναι στο σημείο από όπου εισέρχεται το πλούσιο διάλυμα στον απορροφητή.



Εικόνα 4.2.8.2. Πιθανό σημείο κρυστάλλωσης σε ψύκτη απορρόφησης[18]



Εικόνα 4.2.8.3. Διάγραμμα ισορροπίας για διάλυμα βρωμιούχου λιθίου[19]

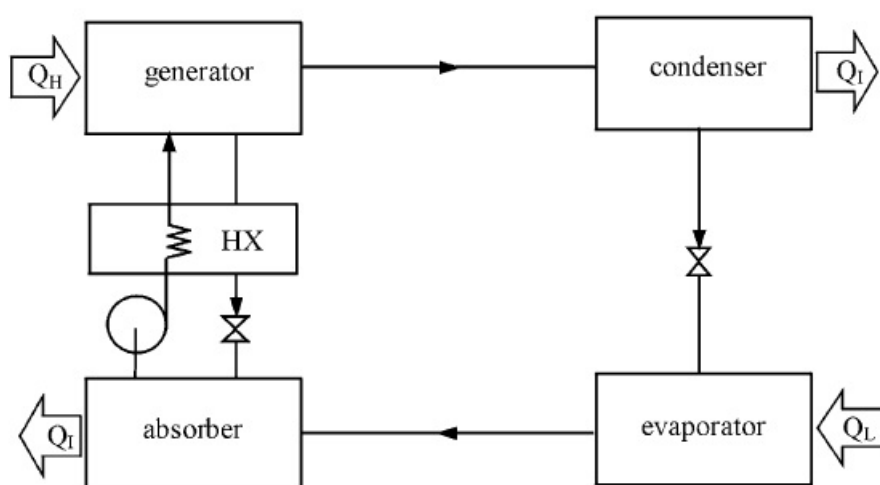


Εικόνα 4.2.8.4. Αναγκαίες ελάχιστες συγκεντρώσεις βάσει των θερμοκρασιών εισόδου του θερμού και ψυχρού ρεύματος[19]

4.3. Διάφοροι σχεδιασμοί κύκλων ψύξης με απορρόφηση

4.3.1. Μονοβάθμια συστήματα απορρόφησης

Ένα μονοβάθμιο σύστημα ψύξης με απορρόφηση έχει τον πιο απλό σχεδιασμό και είναι το πιο διαδεδομένο. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί σχεδιασμοί που εξαρτώνται από το εργαζόμενο μέσο που χρησιμοποιείται. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα μονοβάθμιο σύστημα που χρησιμοποιεί σταθερό μέσο απορρόφησης όπως είναι το LiBr/νερό.



Εικόνα 4.3.1.1. Μονοβάθμιο σύστημα απορρόφησης LiBr/νερού με εναλλάκτη ώστε να μειώνεται η θερμοκρασία εισόδου στην ατμογεννήτρια.[16]

Θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας παρέχεται στην ατμογεννήτρια ώστε να ατμοποιηθεί το ψυκτικό μέσο, που οδηγείται στο συμπυκνωτή, από το πυκνό διάλυμα, το οποίο επιστρέφει στον απορροφητή. Έτσι δημιουργείται μια μη αναστρεψιμότητα καθώς θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας από την ατμογεννήτρια σπαταλιέται στον απορροφητή και το συμπυκνωτή. Για να μειωθεί αυτή η μη αναστρεψιμότητα, μια εναλλαγή θερμότητας του διαλύματος εισάγεται όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Ο εναλλάκτης θερμότητας επιτρέπει στο αραιό διάλυμα από τον απορροφητή να προθερμανθεί πριν να εισέλθει στην ατμογεννήτρια χρησιμοποιώντας τη θερμότητα από το θερμό πυκνό διάλυμα που φεύγει από την ατμογεννήτρια. Μ' αυτόν τον τρόπο ο COP βελτιώνεται καθώς η

πρόσδοση θερμότητας στην ατμογεννήτρια μειώνεται. Επιπλέον το μέγεθος του απορροφητή μπορεί να μειωθεί αφού λιγότερη θερμότητα απορρίπτεται. Πειραματικές μελέτες δείχνουν πως ο COP μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 60% όταν χρησιμοποιείται εναλλάκτης θερμότητας διαλύματος.

Όταν χρησιμοποιείται ασταθές μέσο απορρόφησης όπως νερό/ NH_3 , το σύστημα απαιτεί ένα επιπλέον εξάρτημα που ονομάζεται 'ανορθωτής', ο οποίος θα καθαρίσει το ψυκτικό μέσο πριν να εισέλθει στο συμπυκνωτή. Καθώς το απορροφητικό μέσο που χρησιμοποιείται (νερό) είναι πολύ ασταθές, θα ατμοποιηθεί μαζί με αμμωνία. Χωρίς τον ανορθωτή, αυτό το νερό θα συμπυκνωθεί και θα συσσωρευτεί μέσα στον ατμοποιητή προκαλώντας πτώση της απόδοσής του.

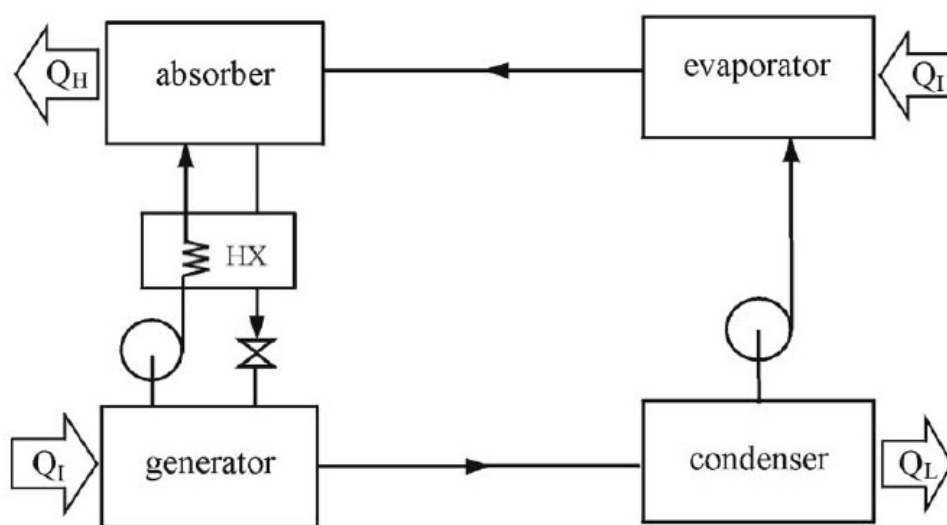
Ακόμη και αν τα πιο κοινά εργαζόμενα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι το $\text{LiBr}/\text{νερό}$ και το $\text{νερό}/\text{NH}_3$, πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την απόδοση μονοβάθμιων συστημάτων απορρόφησης που χρησιμοποιούν άλλα είδη εργαζόμενων μέσων όπως $\text{LiNO}_3/\text{NH}_3$, $\text{LiBr}+\text{ZnBr}_2/\text{CH}_3\text{OH}$, $\text{LiNO}_3+\text{KNO}_3+\text{NaNO}_3/\text{νερό}$, $\text{LiCl}/\text{νερό}$, γλυκερόλη/νερό.

4.3.2. Μεταλλάκτης θερμότητας απορρόφησης

Κάθε κύκλος ψύξης με απορρόφηση ανταλλάσει θερμοκρασία με τρεις εξωτερικές δεξαμενές, χαμηλού, μέσου και υψηλού θερμοκρασιακού επιπέδου. Όταν ένα σύστημα απορρόφησης λειτουργεί σαν ψύκτης ή αντλία θερμότητας, τη θερμότητα που χρειάζεται για να λειτουργήσει την προμηθεύεται από τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας. Η ψύξη παράγεται σε ένα χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο και απορρίπτει θερμότητα σε ένα ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο. Η διαφορά ανάμεσά τους είναι στο ρόλο που επιτελούν. Για ένα ψύκτη, η ωφέλιμη μεταφορά θερμότητας είναι σε μια χαμηλή θερμοκρασία. Για μια αντλία θερμότητας, η ωφέλιμη μεταφορά θερμότητας είναι σε μια ενδιάμεση θερμοκρασία. Συνήθως, το περιβάλλον χρησιμοποιείται σε μια δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας για

μια αντλία θερμότητας ή σε μια δεξαμενή ενδιάμεσης θερμοκρασίας για ένα ψύκτη.

Ένας άλλος τύπος κύκλου απορρόφησης είναι γνωστός ως 'μεταλλάκτης θερμότητας απορρόφησης' ή 'αντλία αντίστροφης θερμότητας απορρόφησης'. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί θερμότητα από μια ενδιάμεσης θερμοκρασίας δεξαμενή για να λειτουργήσει (συνήθως απορριπτόμενη βιομηχανική θερμότητα). Το σύστημα απορρίπτει θερμότητα έξω σε ένα χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο (συνήθως το περιβάλλον). Η χρήσιμη έξοδος διατηρείται στο υψηλότερο θερμοκρασιακό επίπεδο. Η χρήση ενός μεταλλάκτη θερμότητας απορρόφησης επιτρέπει την αναβάθμιση οποιασδήποτε απορριπτόμενης θερμότητας σε ένα υψηλότερο θερμοκρασιακό επίπεδο χωρίς πρόσδοση καμίας άλλης θερμότητας εκτός από το έργο που απαιτείται για την κυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου.



Εικόνα 4.3.2.1. Ο μεταλλάκτης θερμότητας απορρόφησης, απορροφά απορριπτόμενη θερμότητα από την ατμογεννήτρια. Υγρό ψυκτικό μέσο αντλείται στον ατμοποιητή για να απορροφήσει την απορριπτόμενη θερμότητα. Η υψηλής θερμοκρασίας χρήσιμη θερμότητα του απορροφητή είναι η θερμότητα απορρόφησης.[16]

Η παραπάνω εικόνα δείχνει μια σχηματική αναπαράσταση ενός μεταλλάκτη θερμότητας απορρόφησης. Αυτός ο κύκλος έχει όμοια μέρη με ένα μονοβάθμιο κύκλο απορρόφησης. Η διαφορά είναι ότι μια συσκευή εκτόνωσης που βρίσκεται μεταξύ του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή

αντικαθίσταται από μια αντλία. Απορριπτόμενη θερμότητα σε μια σχετική χαμηλή θερμοκρασία τροφοδοτείται στην ατμογεννήτρια για το διαχωρισμό του ψυκτικού υγρού με τον συνήθη τρόπο. Το ψυκτικό υγρό από το συμπυκνωτή πηγαίνει μέσω αντλίας στον ατμοποιητή με αυξημένη πίεση. Στον ατμοποιητή, εξατμίζεται χρησιμοποιώντας την ίδια χαμηλής θερμοκρασίας απορριπτόμενη θερμότητα που χρησιμοποιήθηκε για να λειτουργήσει η ατμογεννήτρια (οι μεταλλάκτες θερμότητας απορρόφησης συνήθως λειτουργούν έτσι ώστε οι θερμοκρασίες της ατμογεννήτριας και του ατμοποιητή να είναι ίσες). Ο ατμός του ψυκτικού μέσου μετά απορροφάται στο διάλυμα στον απορροφητή και απορρίπτεται η χρήσιμη θερμότητα σε ένα υψηλότερο θερμοκρασιακό επίπεδο.

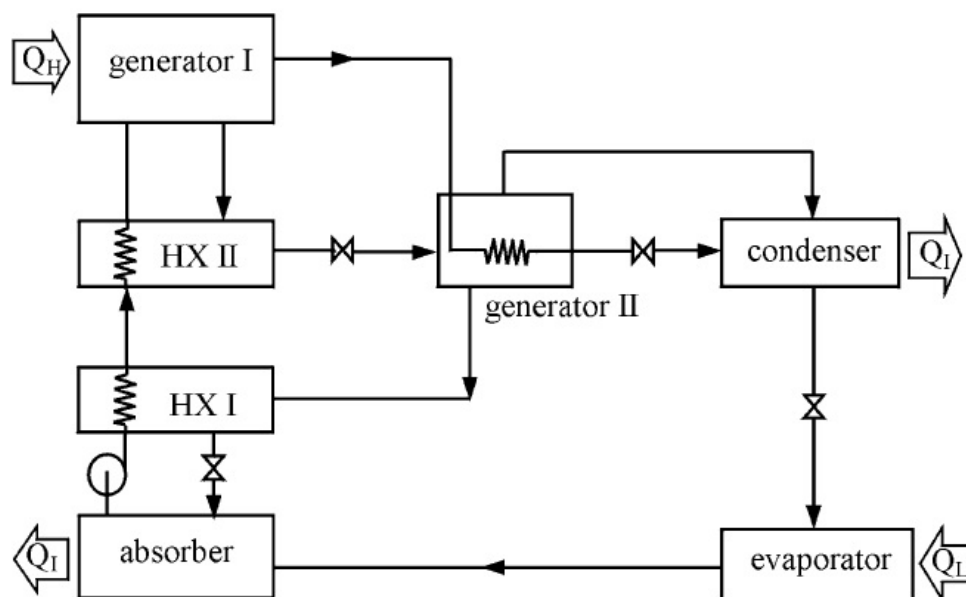
Η χαμηλού βαθμού θερμότητα μπορεί να αναβαθμιστεί χρησιμοποιώντας ένα μεταλλάκτη θερμότητας όπως για παράδειγμα η ηλιακή ενέργεια και η βιομηχανική απορριπτόμενη θερμότητα. Η απόδοση ενός μεταλλάκτη θερμότητας απορρόφησης έχει μελετηθεί για διάφορα εργαζόμενα μέσα όπως $\text{LiBr}/\text{νερό}$, $\text{LiBr}+\text{ZnBr}_2/\text{CH}_3\text{OH}$, $\text{DMETEG}/\text{R21}$ και $\text{DMF}/\text{R21}$.

4.3.3. Πολυβάθμιος κύκλος ψύξης με απορρόφηση

Βασικό αντικείμενο ενός πολυβάθμιου κύκλου είναι να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος όταν είναι διαθέσιμη πηγή θερμότητας υψηλότερης θερμοκρασίας. Με τον όρο πολυβάθμιος, ο κύκλος θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί με ένα τρόπο ώστε η θερμότητα που αποβάλλεται από ένα στάδιο υψηλής θερμοκρασίας να χρησιμοποιείται σαν θερμότητα εισόδου σε ένα στάδιο χαμηλής θερμοκρασίας για να παράγεται επιπλέον ψύξη στο στάδιο αυτό.

Ο διβάθμιος κύκλος απορρόφησης παρουσιάστηκε γύρω στα 1956 με 1958. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα σύστημα που λειτουργεί με $\text{LiBr}/\text{νερό}$. Θερμότητα σε υψηλή θερμοκρασία από μια εξωτερική πηγή εφοδιάζει την πρώτη ατμογεννήτρια. Ο ατμός του ψυκτικού μέσου που

παράγεται, συμπυκνώνεται σε υψηλή πίεση στην δεύτερη ατμογεννήτρια. Η θερμότητα που απορρίπτεται χρησιμοποιείται για να παραχθεί επιπλέον ατμός του ψυκτικού υγρού από το διάλυμα που έρχεται από την πρώτη ατμογεννήτρια. Αυτή η ρύθμιση του συστήματος θεωρείται σαν ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης με ροή εν σειρά.

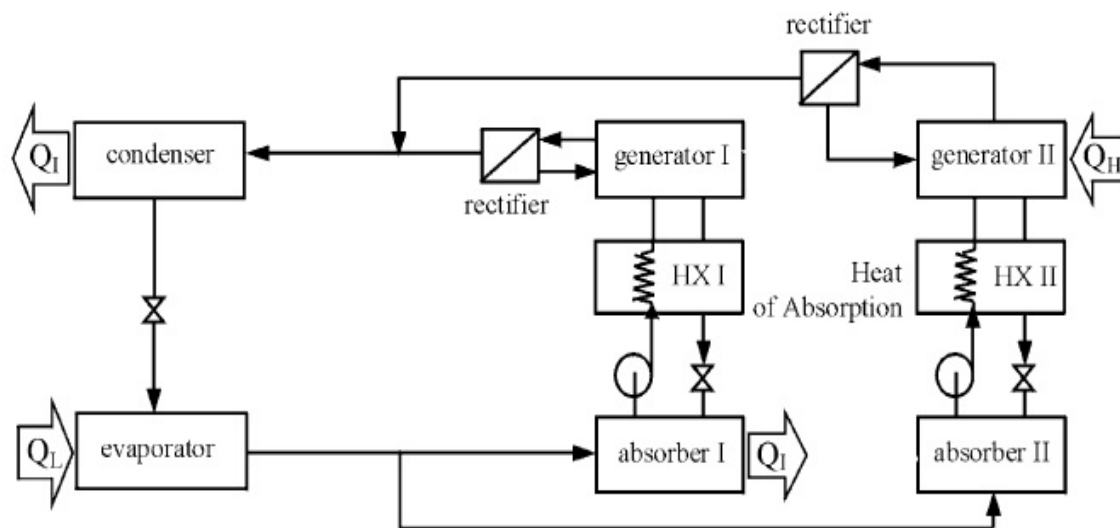


Εικόνα 4.3.3.1. Διβάθμιος κύκλος απορρόφησης LiBr/ νερού. Θερμότητα που απελευθερώνεται από τη συμπύκνωση του ψυκτικού ατμού χρησιμοποιείται σαν θερμότητα εισόδου στη δεύτερη ατμογεννήτρια.[16]

Ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης θεωρείται σαν ένας συνδυασμός δύο μονοβάθμιων συστημάτων απορρόφησης του οποίου ο COP είναι ο COP_{single} . Για μια μονάδα θερμότητας εισόδου από την εξωτερική πηγή, η ψύξη που παράγεται από το ψυκτικό υγρό που εξατμίζεται στην πρώτη ατμογεννήτρια είναι $1 * COP_{single}$. Για κάθε μονοβάθμιο σύστημα απορρόφησης, μπορεί να θεωρηθεί ότι η θερμότητα που απορρίπτεται από το συμπυκνωτή είναι σχεδόν ίση με την ψυκτική ικανότητα που εξασφαλίζεται. Έτσι η θερμότητα που παρέχεται στο δεύτερο ατμοποιητή είναι $1 * COP_{single}$. Η ψύξη που παράγεται τότε από το δεύτερο ατμοποιητή είναι $(1 * COP_{single}) * COP_{single}$. Επομένως, ο COP αυτού του διβάθμιου συστήματος απορρόφησης είναι $COP_{double} = COP_{single} + (COP_{single})^2$. Σύμφωνα με αυτήν την ανάλυση, ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης έχει ένα COP ίσο με 0.96 όταν το αντίστοιχο μονοβάθμιο

σύστημα έχει COP ίσο με 0.6. Θεωρητικές μελέτες για διβάθμια συστήματα απορρόφησης έχουν διεξαχθεί για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

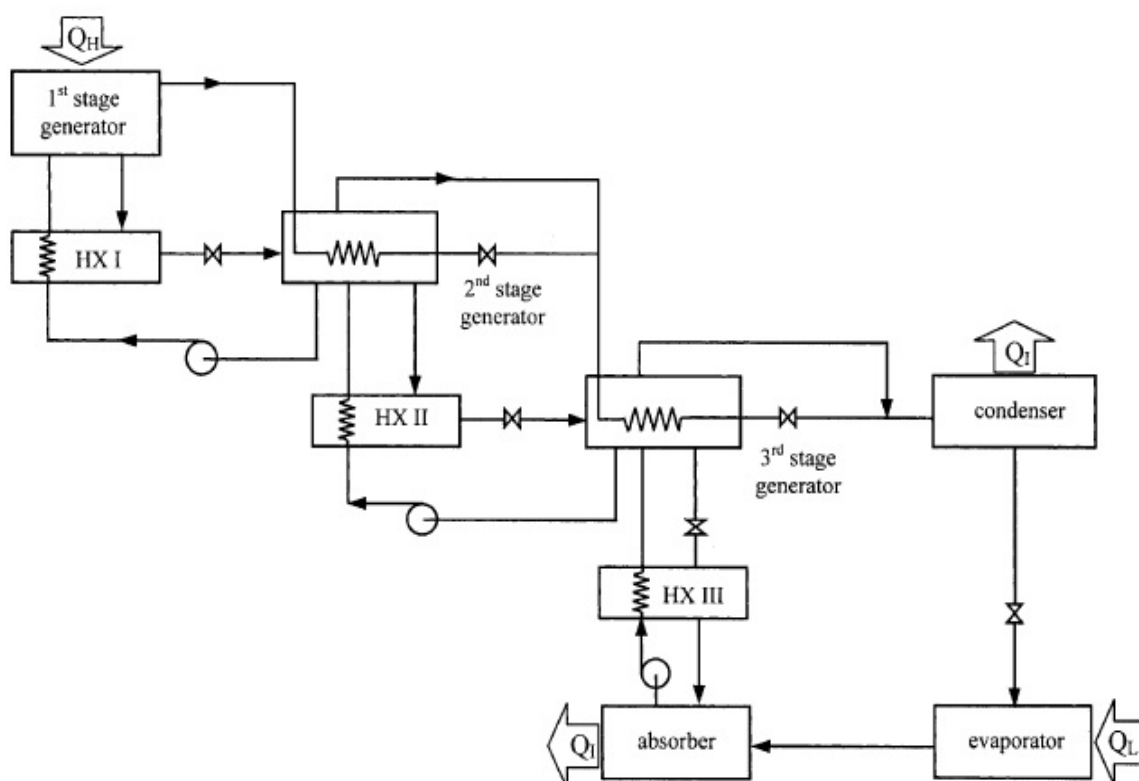
Αν το LiBr/νερό αντικατασταθεί με νερό/NH₃, η μέγιστη πίεση στην πρώτη ατμογεννήτρια υπερβολικά υψηλή. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης που χρησιμοποιεί νερό/NH₃. Σε αντίθεση με το σύστημα LiBr/νερού, αυτό το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός δύο ξεχωριστών μονοβάθμιων κύκλων. Ο ατμοποιητής και οι συμπυκνωτές και των δύο κύκλων είναι ενοποιημένοι μαζί σαν μία μονάδα όπως φαίνεται. Έτσι υπάρχουν μόνο δύο διαφορετικά επίπεδα πιέσεων στο σύστημα και η μέγιστη πίεση μπορεί να περιοριστεί σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Θερμότητα από εξωτερική πηγή προμηθεύει μόνο τη δεύτερη ατμογεννήτρια. Καθώς το νερό είναι ένα απορροφητικό μέσο, δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα κρυσταλλοποίησης στον απορροφητή. Έτσι ο δεύτερος απορροφητής μπορεί να λειτουργήσει σε υψηλή θερμοκρασία και να αποβάλλει θερμότητα στην πρώτη ατμογεννήτρια. Αυτή η διάταξη του συστήματος θεωρείται ως ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης παράλληλης ροής.



Εικόνα 4.3.3.2. Διβάθμιος κύκλος απορρόφησης που λειτουργεί με δύο επίπεδα πίεσης.[16]

Διάφοροι τύποι πολυβάθμιων κύκλων απορρόφησης έχουν αναλυθεί όπως η τριβάθμια απορρόφηση και η τετραβάθμια απορρόφηση

(εικόνα 4.3.3.3.). Όμως η βελτίωση του COP δεν συνδέεται άμεσα με την αύξηση του αριθμού των βαθμών. Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν ο αριθμός των βαθμών αυξάνει, ο COP κάθε σταδίου δεν θα είναι τόσο υψηλός όσο αυτός του μονοβάθμιου συστήματος. Επιπλέον όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταδίων οδηγεί το σύστημα σε μεγαλύτερη πολυπλοκότητα. Γι' αυτό και ο διβάθμιος κύκλος είναι αυτός που διατίθεται εμπορικά.

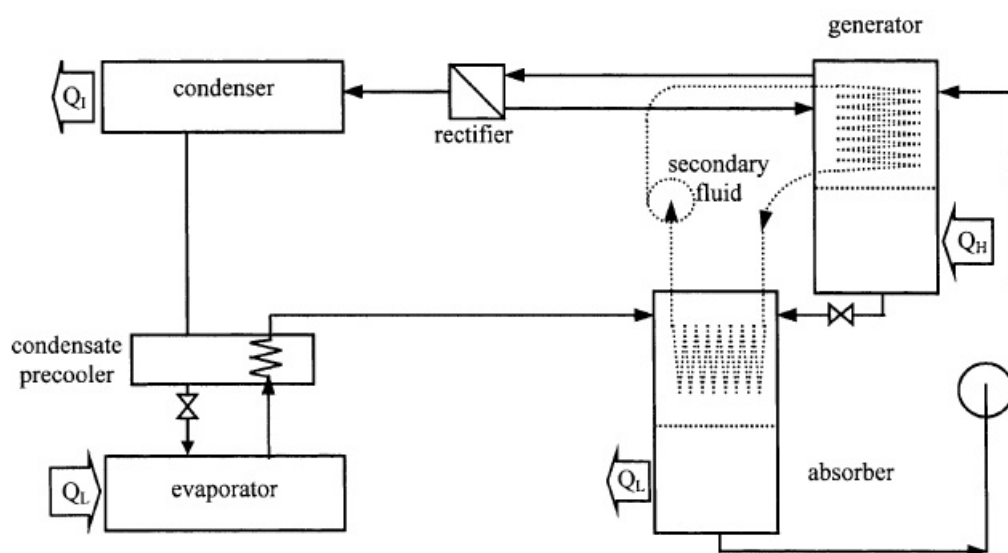


Εικόνα 4.3.3.3. Τριβάθμιος κύκλος απορρόφησης που λειτουργεί με 4 επίπεδα πίεσης. Η θερμότητα συμπύκνωσης από το υψηλότερο επίπεδο πίεσης χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό του ψυκτικού στο χαμηλότερο επίπεδο πίεσης.[16]

4.3.4. Κύκλος ψύξης απορρόφησης με GAX

GAX είναι τα αρχικά για ατμογεννήτρια/απορροφητής εναλλάκτης θερμότητας (generator/absorber heat exchanger) ή μερικές φορές

ονομάζεται DAHX που εκφράζει διαχωριστής/απορροφητής εναλλάκτης θερμότητας (desorber/absorber heat exchanger). Υψηλότερη απόδοση μπορεί να επιτευχθεί με ένα μονοβάθμιο σύστημα απορρόφησης. Σε σχέση με το διβάθμιο σύστημα απορρόφησης με παράλληλη ροή που αναφέρθηκε νωρίτερα, το σύστημα αποτελείται από δύο μονοβάθμιους κύκλους που δουλεύουν με ένα παράλληλο τρόπο. Η ιδέα για το GAX ήταν να αντικαταστήσει τον κύκλο της διβάθμιας απορρόφησης αλλά να συνεχίσει να έχει την ίδια απόδοση. Αυτή η ιδέα παρουσιάστηκε το 1911 από τους Altenkirch και Tenckhoff. Η απλοποιημένη διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4.3.4.1. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει το δευτερεύον υγρό που χρησιμοποιείται για να μεταφερθεί θερμότητα από το τμήμα υψηλής θερμοκρασίας του απορροφητή στο τμήμα χαμηλής θερμοκρασίας της ατμογεννήτριας.[16]

Ένας απορροφητής και μια ατμογεννήτρια μπορούν να θεωρηθούν σαν εναλλάκτες θερμότητας με αντιστροφή όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Στον απορροφητή, πυκνό διάλυμα από την ατμογεννήτρια και ατμός ψυκτικού υγρού από τον ατμοποιητή μπαίνουν από το επάνω μέρος. Η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απορρόφησης πρέπει να απορρίπτεται έτσι ώστε να διατηρείται η δυνατότητα απορρόφησης ψυκτικού υδρατμού. Στο επάνω μέρος, θερμότητα απορρίπτεται σε υψηλή θερμοκρασία. Στο κάτω μέρος, το

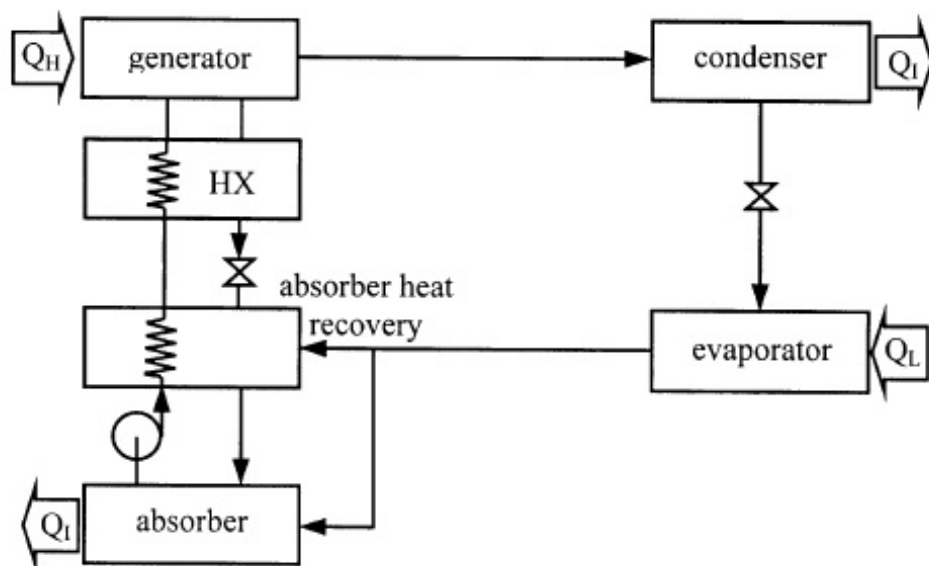
διάλυμα απορροφά επιπλέον ψυκτικό υδρατμό ενώ ψύχεται αποβάλλοντας θερμότητα στο περιβάλλον. Στην ατμογεννήτρια αραιό διάλυμα από τον απορροφητή εισέρχεται στο επάνω μέρος. Σε αυτή τη φάση το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται από το διάλυμα καθώς θερμαίνεται χρησιμοποιώντας τη θερμότητα που απορρίπτεται από το επάνω μέρος του απορροφητή. Στο χαμηλότερο μέρος της ατμογεννήτριας, το διάλυμα συμπυκνώνεται περισσότερο χρησιμοποιώντας τη θερμότητα από την εξωτερική πηγή θερμότητας. Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, υπάρχει ένα επιπλέον δευτερεύον υγρό, που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του απορροφητή και της ατμογεννήτριας. Μ' αυτόν τον τρόπο (χρήση του GAX), ένα μονοβάθμιο σύστημα απορρόφησης μπορεί να παρέχει COP τόσο υψηλό όσο και ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης.

4.3.5. Κύκλος ψύξης με απορρόφηση χρησιμοποιώντας ανάκτηση θερμότητας του απορροφητή

Έχει ήδη αναφερθεί νωρίτερα ότι η χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας διαλύματος βελτιώνει το COP του συστήματος. Το φτωχό διάλυμα από τον απορροφητή μπορεί να προθερμανθεί πριν να εισέλθει στην ατμογεννήτρια μέσω του θερμού πλούσιου διαλύματος που φεύγει από την ατμογεννήτρια. Χρησιμοποιώντας ανάκτηση θερμότητας του απορροφητή η θερμοκρασία του αραιού διαλύματος μπορεί να αυξηθεί περισσότερο.

Παρόμοια με το σύστημα GAX, ο απορροφητής χωρίζεται σε δύο μέρη. Η θερμότητα απορρίπτεται σε μια διαφορετική θερμοκρασία. Το μέρος με τη χαμηλότερη θερμοκρασία απορρίπτει τη θερμότητα στο περιβάλλον ως συνήθως. Όμως το μέρος με την υψηλότερη θερμοκρασία χρησιμοποιείται για να προθερμάνει το αραιό διάλυμα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έτσι η εισερχόμενη θερμότητα στην ατμογεννήτρια ελαττώνεται κάνοντας το COP να αυξηθεί.

Αυτό το σύστημα μελετήθηκε θεωρητικά χρησιμοποιώντας διάφορα εργαζόμενα μέσα όπως νερό/ NH_3 και $\text{LiNO}_3/\text{NH}_3$. Ο κύκλος με την ανάκτηση θερμότητας του απορροφητή βρέθηκε να έχει μια 10% βελτίωση στο COP. Παρόλα αυτά η μηχανή που βασίζεται στην απορρόφηση με αυτό το σχεδιασμό δεν έχει δημιουργηθεί ακόμη.

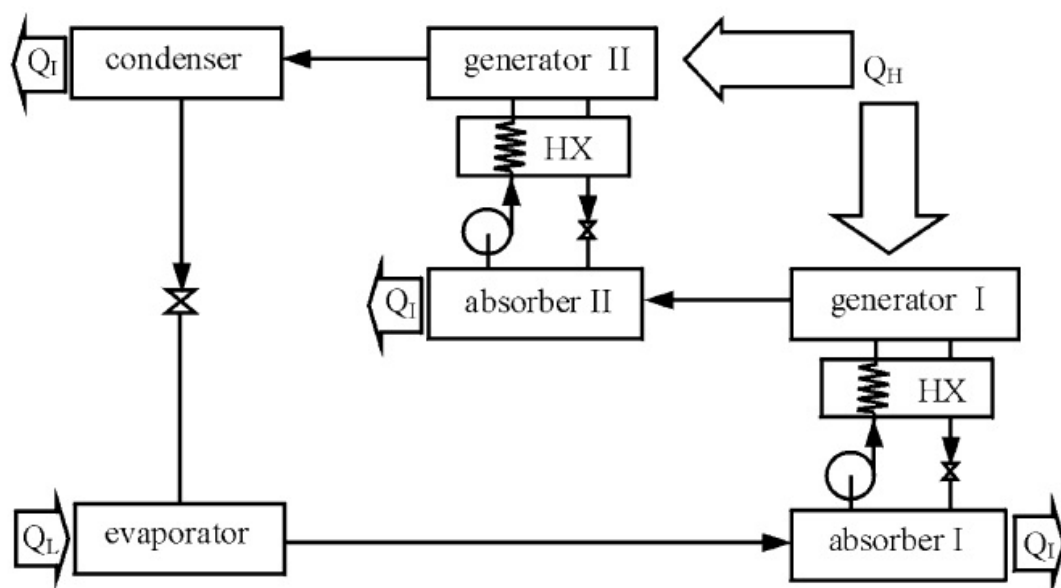


Εικόνα 4.3.5.1. Ο κύκλος με την ανάκτηση θερμότητας του απορροφητή χρησιμοποιεί θερμότητα από τον απορροφητή για να προθερμάνει το ρεύμα που κινείται από τον απορροφητή στην ατμογεννήτρια.[16]

4.3.6. Κύκλος ψύξης με απορρόφηση μισού σταδίου

Πρέπει να σημειωθεί ότι, οποιοδήποτε σύστημα ψύξης με απορρόφηση μπορεί να λειτουργήσει μόνο όταν το διάλυμα στον απορροφητή είναι πιο πλούσιο σε ψυκτικό ατμό απ' ό τι αυτό στην ατμογεννήτρια. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται ή η πίεση πέφτει, το κλάσμα του ψυκτικού μέσου που περιέχεται μειώνεται, και αντίστροφα. Όταν η θερμοκρασία της ατμογεννήτριας πέφτει, η αναλογία του διαλύματος που ανακυκλοφορεί αυξάνεται προκαλώντας πτώση του COP. Αν είναι πολύ χαμηλή το σύστημα δεν μπορεί πλέον να λειτουργήσει.

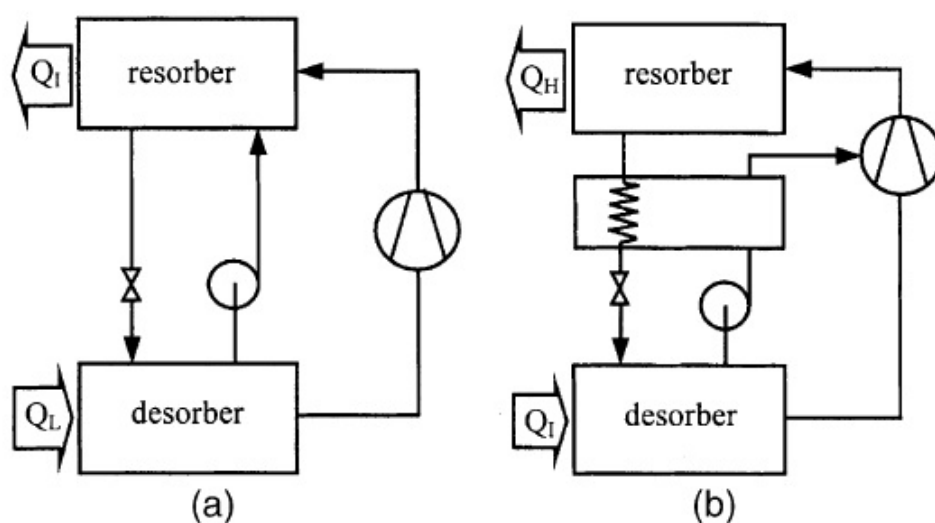
Το σύστημα απορρόφησης μισού σταδίου δημιουργήθηκε για μια εφαρμογή με σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας πηγή θερμότητας. Η εικόνα 4.3.6.1 δείχνει ένα διάγραμμα ενός κύκλου απορρόφησης μισού σταδίου. Η διαμόρφωση του συστήματος είναι ακριβώς η ίδια με ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης που χρησιμοποιεί νερό/ NH_3 (όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3.3.2) μόνο που οι κατευθύνσεις ροής της θερμότητας είναι διαφορετικές. Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, υψηλής θερμοκρασίας θερμότητα από μια εξωτερική πηγή μεταφέρεται και στις δύο ατμογεννήτριες. Και οι δύο απορροφητές απορρίπτουν θερμότητα στο περιβάλλον. Ο δεύτερος απορροφητής και η πρώτη ατμογεννήτρια λειτουργούν σε μια ενδιάμεση πίεση. Έτσι ο βαθμός ανακυκλοφορίας μεταξύ της πρώτης ατμογεννήτριας και του πρώτου απορροφητή, και της δεύτερης ατμογεννήτριας και του δεύτερου ατμοποιητή μπορούν να παραμένουν σε αποδεκτά επίπεδα. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο COP του συστήματος απορρόφησης μισού σταδίου είναι σχετικά χαμηλός καθώς απορρίπτει περίπου 50% περισσότερη θερμότητα από τον κύκλο του μονοβάθμιου απορροφητή. Παρ' όλα αυτά μπορεί να λειτουργήσει με πηγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.3.6.1. Ο κύκλος απορρόφησης μισού σταδίου είναι ο συνδυασμός δύο μονοβάθμιων κύκλων απορρόφησης που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα πίεσης.[16]

4.3.7. Συνδυασμένος κύκλος απορρόφησης - συμπίεσης ατμού

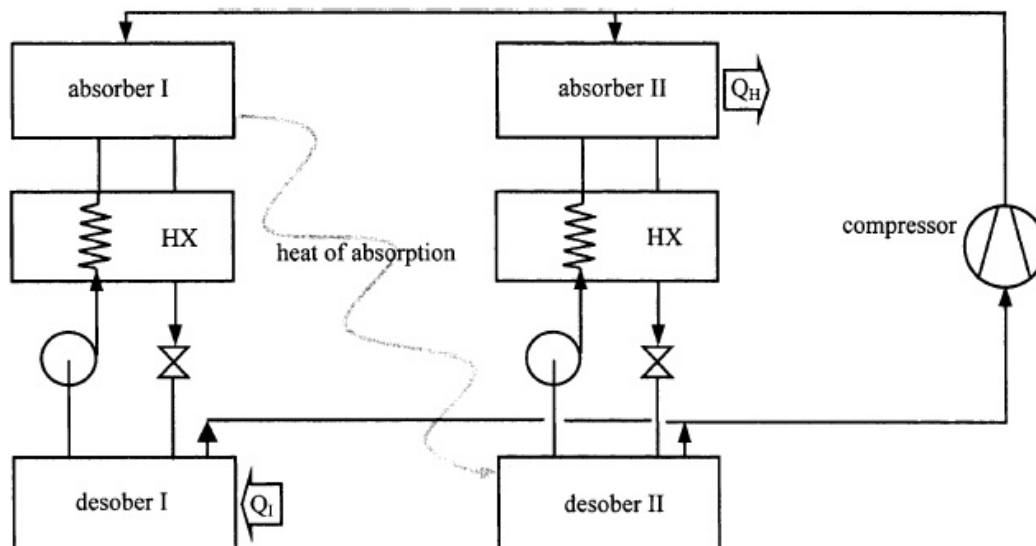
Αυτό το σύστημα είναι συνήθως γνωστό ως σύστημα απορρόφησης - συμπίεσης. Ένα διάγραμμα τυπικού κύκλου απορρόφησης/συμπίεσης φαίνεται στο σχήμα 4.3.7.1(α). Φαίνεται ότι, ένας συμπυκνωτής και ένας ατμοποιητής ενός συμβατικού συστήματος συμπίεσης ατμού έχουν αντικατασταθεί με έναν αναρροφητή (απορροφητή ατμού) και έναν εκροφητή (γεννήτρια ατμού). Για δεδομένη θερμοκρασία περιβάλλοντος και θερμοκρασία ψύξης, η διαφορά πίεσης στο συμπιεστή είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα συμπίεσης ατμού. Έτσι ο COP είναι λογικό να είναι καλύτερος από αυτόν ενός συμβατικού συστήματος συμπίεσης ατμού. Ο Altenkirch έκανε την πρώτη έρευνα το 1950 και πρότεινε μια λύση για εξοικονόμηση ενέργειας. Ο κύκλος μπορεί να ρυθμιστεί σαν ένας κύκλος αντλίας θερμότητας. Ο Machielsen ανέπτυξε ένα κύκλο αντλίας θερμότητας όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3.7.1(β).



Εικόνα 4.3.7.1. Συνδυασμένος κύκλος απορρόφησης-συμπίεσης ατμού[16]

Μια ενδιαφέρουσα παραλλαγή είναι ο διβάθμιος κύκλος απορρόφησης / συμπίεσης όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3.7.2. Η απορριπτόμενη θερμότητα του απορροφητή κατά το πρώτο στάδιο τροφοδοτείται στην ατμογεννήτρια του δεύτερου σταδίου. Η μεταφορά

θερμότητας γίνεται εσωτερικά πράγμα που υπερνικά τη μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά στην ενδιάμεση πίεση. Αυτή η ιδέα φαίνεται επιτυχημένη από διάφορες μελέτες.

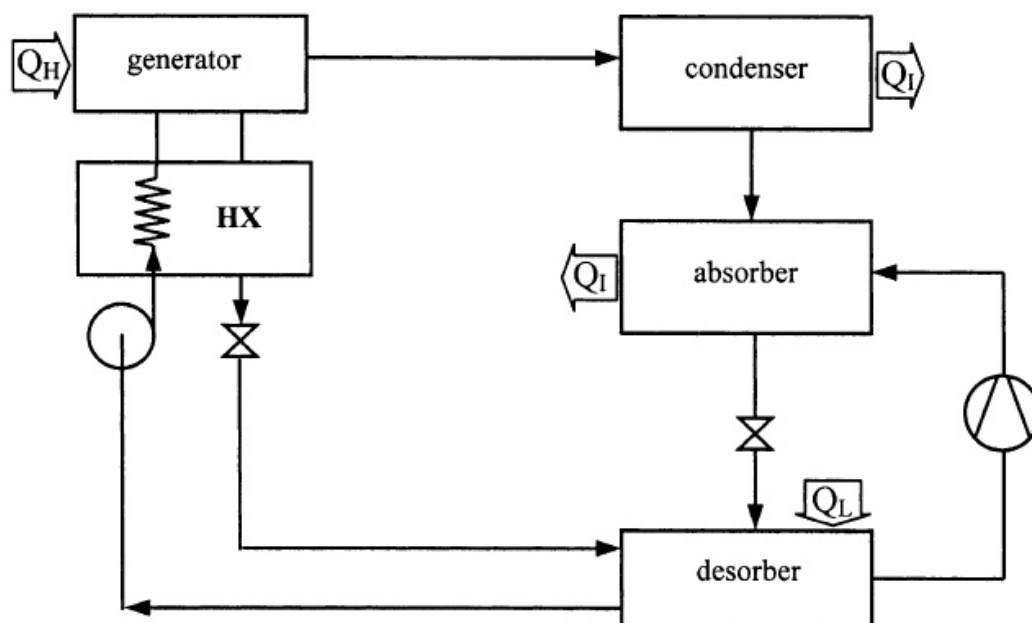


Εικόνα 4.3.7.2. Ένας διβάθμιος κύκλος απορρόφησης- συμπίεσης λειτουργεί σαν μια αντλία θερμότητας. Η θερμότητα απορρόφησης στο πρώτο στάδιο θα τροφοδοτηθεί στο δεύτερο στάδιο για το διαχωρισμό του ψυκτικού μέσου.[16]

Μια άλλη τροποποίηση του κύκλου απορρόφησης/συμπίεσης ατμού που προτάθηκε από τους Cacciola et al. παριστάνεται στο παρακάτω σχήμα και περιλαμβάνει δύο συνδυασμούς εργαζόμενων μέσων, νερό/ NH_3 και KHO /νερό. Αυτός είναι ένας συμβιβασμός των κύκλων νερού/ NH_3 και KHO / νερού. Η υψηλότερη πίεση του συστήματος μειώνεται και ο διαχωριστής του συστήματος νερού/ NH_3 παραλείπεται. Αυτός ο κύκλος μπορεί να λειτουργήσει με μια θερμοκρασία περιβάλλοντος χαμηλότερη των $0\text{ }^\circ\text{C}$ χωρίς προβλήματα παγετού και κρυσταλλοποίησης.

Τα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα ενός κύκλου απορρόφησης/συμπίεσης με άμεση εναλλαγή θερμότητας ανάμεσα στον εκροφητή και τον απορροφητή παρουσιάστηκαν από τους Groll και Radermacher. Αυτό είναι ένα τροποποιημένο σχέδιο από ένα διβάθμιο κύκλωμα διαλύματος που προτάθηκε από τους Rane και Radermacher και Rane et al. Αυτή η τεχνολογία αποτέλεσε τη βάση για τη μελέτη του κύκλου GAX σήμερα.

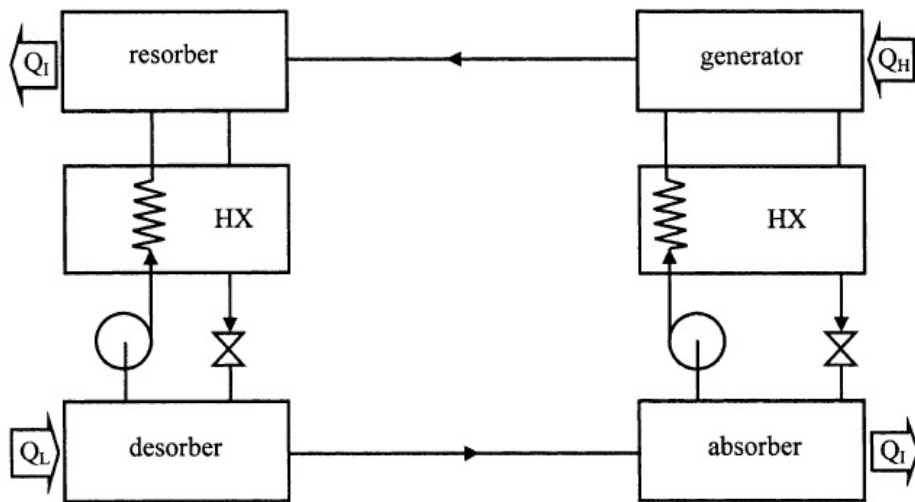
Διάφοροι σχεδιασμοί συνδυασμένων κύκλων απορρόφησης / συμπίεσης έχουν εισηγηθεί. Μπορούν να παράγουν ελκυστικά υψηλούς COP. Όμως είναι πολύπλοκοι και η ενέργεια με την οποία πρέπει να τροφοδοτηθούν είναι σε μορφή μηχανικού έργου. Έτσι δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ένα σύστημα λειτουργίας με θερμότητα.



Εικόνα 4.3.7.3. Ο συνδυασμένος κύκλος που προτάθηκε από τους Cacciola et al. και περιλαμβάνει δύο συνδυασμούς εργαζόμενων μέσων.[16]

4.3.8. Κύκλος ρόφησης-αναρρόφησης

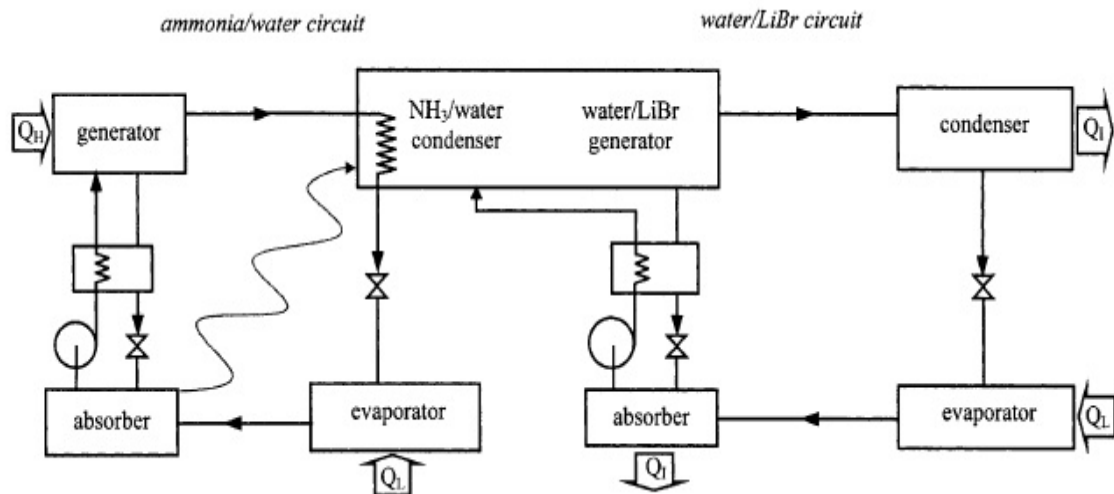
Ο Altenkirch εισήγαγε την ιδέα ενός κύκλου ρόφησης-αναρρόφησης το 1913. Ο κύκλος απαιτεί δύο κυκλώματα διαλυμάτων, αντί για ένα. Το κομμάτι του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή από ένα συμβατικό μονοβάθμιο σύστημα απορρόφησης αντικαθίσταται με έναν αναρροφητή και έναν εκροφητή αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3.8.1. Αυτό παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό του κύκλου και τις λειτουργίες. Οι συγκεντρώσεις του διαλύματος μπορούν να μεταβάλλονται, επιτρέποντας την προσαρμογή των θερμοκρασιών και των πιέσεων των εξαρτημάτων στις απαιτήσεις των εφαρμογών.



Εικόνα 4.3.8.1. Κύκλος αναρρόφησης που προτάθηκε από τον Altenkirch και χρησιμοποιεί δύο κυκλώματα διαλυμάτων.[16]

4.3.9. Ψύξη απορρόφησης διπλού κύκλου

Η ιδέα του συστήματος απορρόφησης διπλού κύκλου είναι όμοια με αυτή ενός διβάθμιου συστήματος απορρόφησης εν παραλλήλω. Όμως το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο εντελώς ξεχωριστούς κύκλους που χρησιμοποιούν διαφορετικά είδη εργαζόμενων μέσων. Οι Hanna et al. εφηύραν μια διπλού κύκλου ψύξη απορρόφησης και αντλία θερμότητας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτό το σύστημα αποτελείται από δύο μονοβάθμιους κύκλους απορρόφησης που χρησιμοποιούν νερό/ NH_3 και LiBr /νερό. Το σύστημα της αμμωνίας τροφοδοτείται από θερμότητα που εξασφαλίζεται από μια εξωτερική πηγή θερμότητας. Η θερμότητα που απορρίπτεται από τον απορροφητή του χρησιμοποιείται για να τροφοδοτηθεί το σύστημα LiBr /νερού. Το σύστημα LiBr /νερού απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον από το συμπυκνωτή και τον απορροφητή ως συνήθως. Η ψύξη μπορεί να ληφθεί και από τους δύο ατμοποιητές.

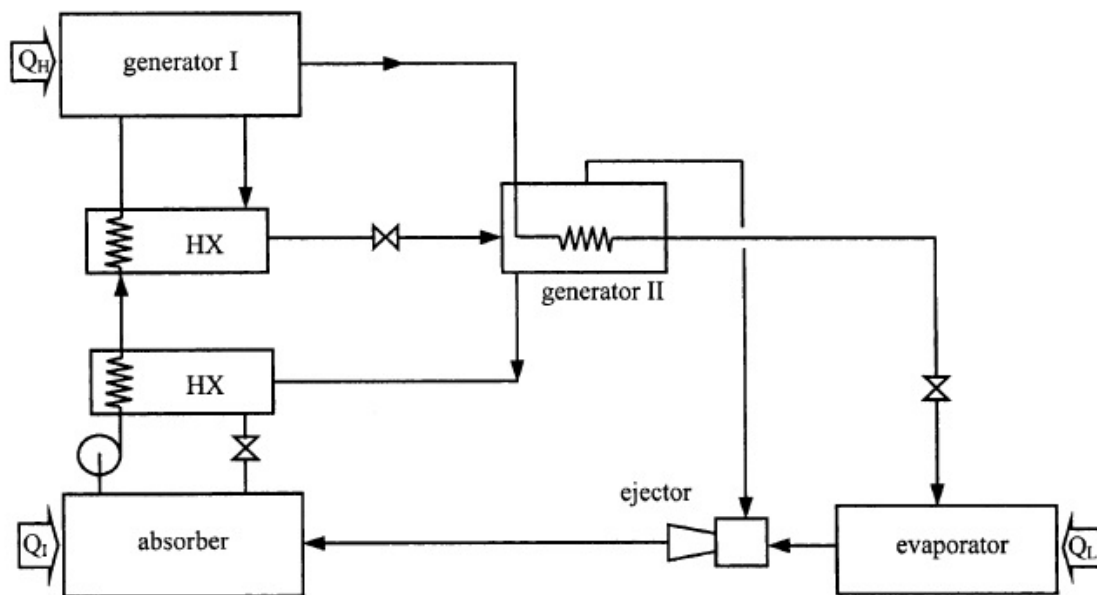


Εικόνα 4.3.9.1. Διπλός κύκλος απορρόφησης που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια και χρειάζεται δύο διαφορετικά εργαζόμενα μέσα όπως $\text{NH}_3/\text{νερό}$ και νερό/ LiBr . Η θερμότητα από την απορρόφηση και η συμπύκνωση από τον κύκλο $\text{NH}_3/\text{νερού}$ παρέχονται στην ατμογεννήτρια του κύκλου νερού/ LiBr [16]

4.3.10. Συνδυασμένος κύκλος ψύξης ψεκαστήρα - απορρόφησης

Ένας ψεκαστήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί η απόδοση ενός συστήματος ψύξης με απορρόφηση. Μια αξιοσημείωτη προσέγγιση που σχεδιάστηκε από τον Kuhlenschmidt φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σκοπός είναι να αναπτυχθεί ένα σύστημα απορρόφησης που να χρησιμοποιεί εργαζόμενο μέσο που να βασίζεται σε απορροφητικό μέσο άλατος, ικανό να λειτουργήσει σε χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποιητή και αερόψυκτο απορροφητή. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί δύο ατμογεννήτριες όμοιες με αυτές που χρησιμοποιεί ένα διβάθμιο σύστημα απορρόφησης. Όμως σε αντίθεση με ένα συμβατικό διβάθμιο σύστημα απορρόφησης, ο χαμηλής πίεσης ατμός του ψυκτικού υγρού από τη δεύτερη ατμογεννήτρια χρησιμοποιείται ως κινούν ρευστό για τον ψεκαστήρα που ψεκάζει ψυκτικό ατμό από τον ατμοποιητή. Ο ψεκαστήρας εκτονώνεται στον απορροφητή, προκαλώντας έτσι αύξηση της πίεσης του απορροφητή κατά ένα επίπεδο μεγαλύτερο από τη πίεση του ατμοποιητή. Ως εκ τούτου, η συγκέντρωση του διαλύματος μέσα στον

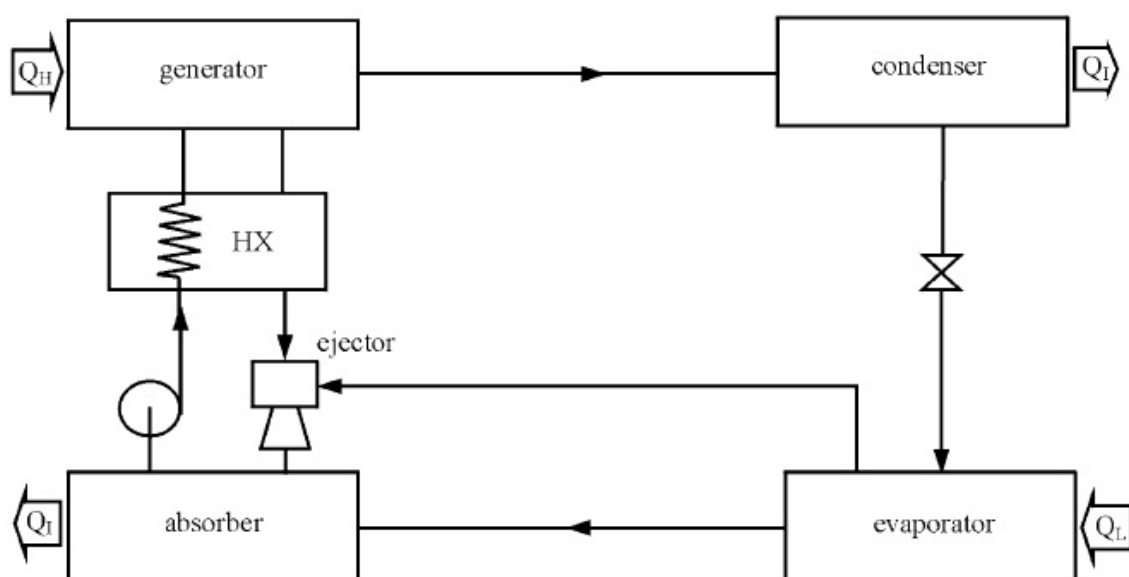
απορροφητή μπορεί να αποτρέψει την κρυσταλλοποίηση όταν το σύστημα πρέπει να λειτουργήσει με χαμηλή θερμοκρασία ατμοποιητή ή με υψηλή θερμοκρασία απορροφητή (όπως σε μια αερόψυκτη μονάδα). Μπορεί να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει συμπυκνωτής στο σύστημα, καθώς ο ατμός του ψυκτικού υγρού που βρίσκεται σε υψηλή πίεση συμπυκνώνεται στη δεύτερη ατμογεννήτρια και ο ατμός του ψυκτικού υγρού που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση χρησιμοποιείται σαν το κινούν ρευστό για τον ψεκαστήρα. Ούτε θεωρητικά ούτε πειραματικά αποτελέσματα είναι διαθέσιμα για αυτό το σύστημα ακόμα. Παρ' όλα αυτά μπορεί κανείς να περιμένει ότι ο COP αυτού του συστήματος δεν θα είναι υψηλότερος από αυτόν ενός μονοβάθμιου συστήματος απορρόφησης. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα μέρος του ψυκτικού ατμού πηγαίνει απ' ευθείας στον απορροφητή χωρίς να παράγει ψυκτικό έργο. Επιπλέον ο απορροφητής που χρησιμοποιείται πρέπει να έχει μια πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα απορρόφησης σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο σύστημα απορρόφησης με την ίδια ψυκτική ικανότητα.



Εικόνα 4.3.10.1. Ένας τροποποιημένος συνδυασμένος κύκλος ψύξης ψεκαστήρα-απορρόφησης που δεν περιλαμβάνει συμπυκνωτή.[16]

Μια άλλη προσέγγιση της χρήσης ψεκαστήρα με σύστημα απορρόφησης εισήχθη από τους Chung et al. και Chen και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Όμοια με τον Kuhlenschmidt , ένας ψεκαστήρας

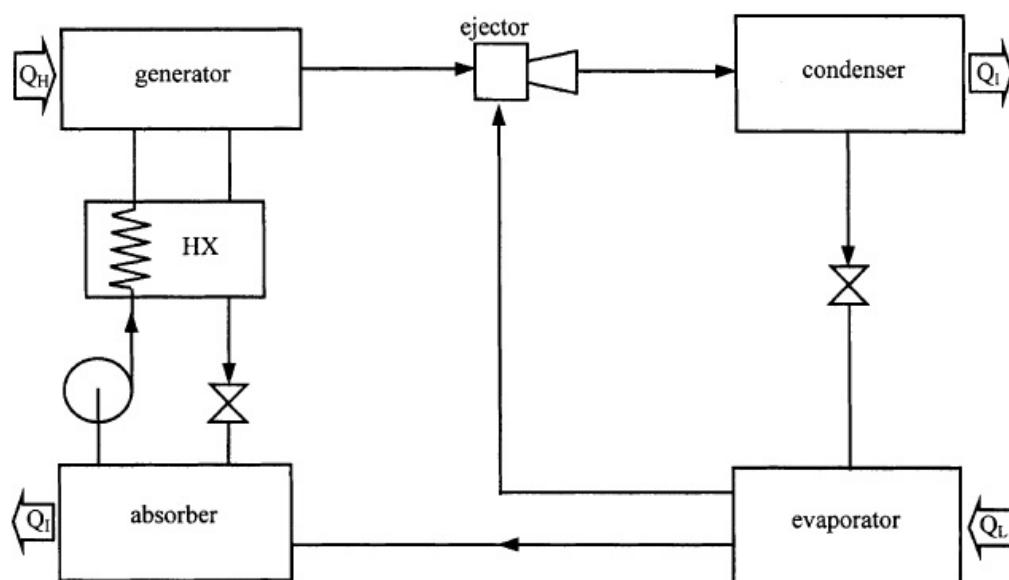
χρησιμοποιείται για να διατηρεί την πίεση του απορροφητή ένα επίπεδο πάνω από την πίεση του ατμοποιητή. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σύστημα, το κινούν ρευστό για τον ψεκαστήρα είναι το υψηλής πίεσης υγρό διάλυμα από την ατμογεννήτρια. Γι αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης και πυκνότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί ένας ψεκαστήρας που τροφοδοτείται με υγρό δεν είναι κατάλληλος να λειτουργεί με χαμηλής πυκνότητας ατμό όπως του νερού, όπως στην περίπτωση των συστημάτων που χρησιμοποιούν LiBr/νερό. Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι χρησιμοποιώντας DMETEG/R22 και DMETEG/R21 σαν εργαζόμενα μέσα, η αναλογία πίεσης μεταξύ του απορροφητή και του ατμοποιητή ήταν 1.2. Η αύξηση στην πίεση του απορροφητή οδηγεί στο να μειωθεί η κυκλοφορία του διαλύματος χαμηλότερα από αυτή ενός συμβατικού συστήματος κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Έτσι, μια βελτίωση στο COP μπορεί να υπάρξει.



Εικόνα 4.3.10.2. Ένα συνδυασμένο σύστημα ψεκαστήρα/απορρόφησης που χρησιμοποιεί DMETEG/R22 και DMETEG/R21 ως εργαζόμενα ρευστά. Το πλούσιο διάλυμα από τη γεννήτρια λειτουργεί ως πρωτεύον ρευστό και ο ψυκτικός ατμός από τον ατμοποιητή ως δευτερεύον ρευστό.[16]

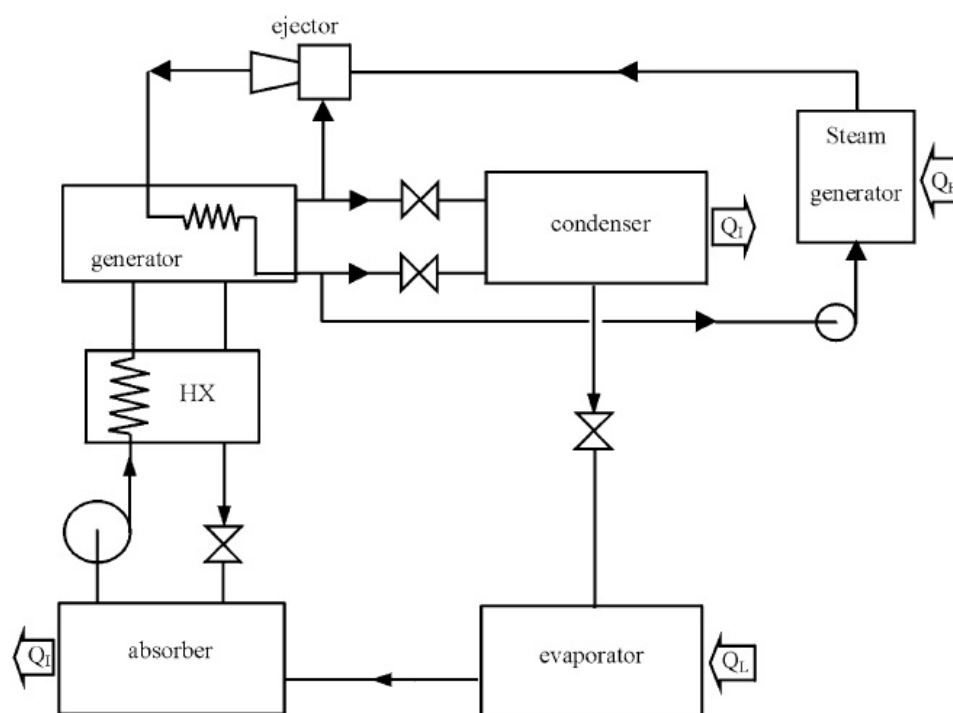
Μια άλλη προσέγγιση που προτάθηκε από τους Aphornratana και Eames φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ένας ψεκαστήρας τοποθετείται

μεταξύ της ατμογεννήτριας και του συμπυκνωτή ενός μονοβάθμιου συστήματος απορρόφησης. LiBr/ νερό χρησιμοποιείται σαν εργαζόμενο μέσο. Ο ψεκαστήρας χρησιμοποιεί υψηλής πίεσης υδρατμό από την ατμογεννήτρια σαν κινούν υγρό. Έτσι η ατμογεννήτρια λειτουργεί σε μια πίεση υψηλότερη του συμπυκνωτή. Αυτό επιτρέπει στη θερμοκρασία του διαλύματος να αυξηθεί χωρίς κίνδυνο κρυσταλλοποίησης. Αν η θερμοκρασία και η πίεση αυξηθούν ταυτόχρονα, η συγκέντρωση του διαλύματος παραμένει σταθερή και μόνο η θερμότητα εισόδου στην ατμογεννήτρια αυξάνεται ελαφρώς. Ο ψεκαστήρας εισάγει ατμό ψυκτικού υγρού από τον ατμοποιητή και έτσι περισσότερη ψύξη παράγεται. Ο COP αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα μονοβάθμιας απορρόφησης. Πειραματική διερεύνηση έχει δείξει ότι προκύπτουν υψηλοί COP από 0.86 έως 1.04. Όμως αυτό το σύστημα πρέπει να λειτουργεί με μια υψηλής θερμοκρασίας πηγή θερμότητας (190 °C έως 210 °C) και αποδεκτή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Καθώς όμως η θερμοκρασία της ατμογεννήτριας είναι υψηλή μπορεί να υπάρξουν προβλήματα διάβρωσης των υλικών κατασκευής.



Εικόνα 4.3.10.3. Συνδυασμένος κύκλος ψεκαστήρα/απορρόφησης έχει προταθεί από τους Arpornratana and Eames. Υψηλής πίεσης ψυκτικός υδρατμός από την ατμογεννήτρια εισέρχεται στον ψεκαστήρα ως κινούν ρευστό για να μεταφέρει τον ψυκτικό υδρατμό από τον ατμοποιητή.[16]

Η προσέγγιση που προτάθηκε από τους Eames και Wu φαίνεται στην εικόνα 4.3.10.4. Αυτός είναι ένας συνδυασμένος κύκλος μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας με ψεκαστήρα ατμού και ενός μονοβάθμιου κύκλου απορρόφησης. Η αντλία θερμότητας προμηθεύει θερμότητα την ατμογεννήτρια του συστήματος απορρόφησης. Ο ψυκτικός ατμός που παράγεται στην ατμογεννήτρια παρασύρεται από τον ψεκαστήρα ατμού και υγροποιείται με τον κινούν ατμό του ψεκαστήρα απορρίπτοντας θερμότητα στο διάλυμα στην ατμογεννήτρια. Σε αυτό το σύστημα το πρόβλημα της διάβρωσης εξαλείφεται καθώς η μέγιστη θερμοκρασία του διαλύματος διατηρείται στους 80 °C. Η θερμότητα τροφοδοσίας (από εξωτερική πηγή) είναι της τάξεως των 200 °C. Ο πειραματικός COP του συστήματος έχει βρεθεί 1.03.

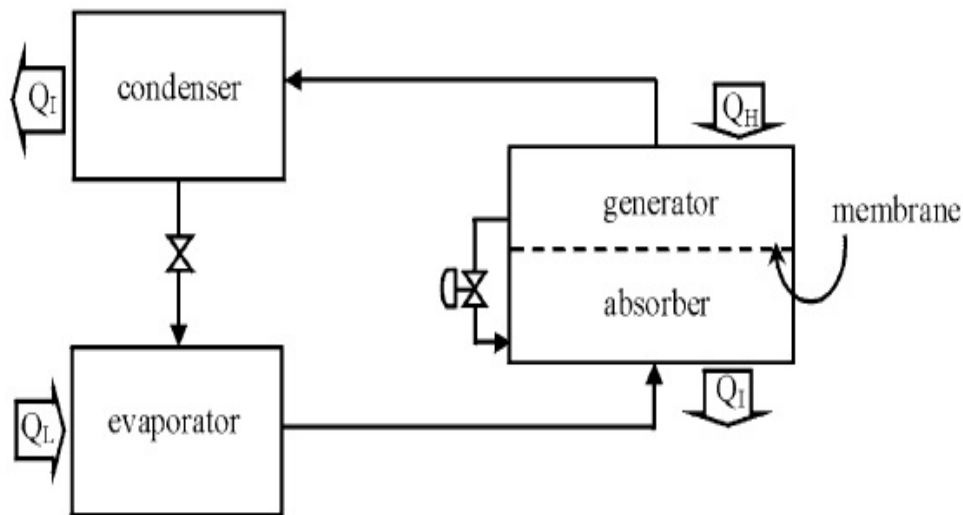


Εικόνα 4.3.10.4. Συνδυασμένος κύκλος που έχει προταθεί από τους Eames και Wu. Η υψηλότερη θερμοκρασία κυκλώματος διαλύματος διατηρείται περίπου στους 80°C. Έτσι, περιορίζεται το πρόβλημα της διάβρωσης.[16]

4.3.11. Κύκλος απορρόφησης με οσμωτική μεμβράνη

Αυτό το σύστημα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα προτάθηκε από τον Zerweck. Το σύστημα αποτελείται από ένα συμπυκνωτή και ένα ατμοποιητή ως συνήθως. Το πλούσιο ψυκτικό διάλυμα στον απορροφητή και το αραιό ψυκτικό διάλυμα στην ατμογεννήτρια διαχωρίζονται το ένα από το άλλο με τη χρήση μιας οσμωτικής μεμβράνης. Η οσμωτική μεμβράνη επιτρέπει μόνο στο ψυκτικό μέσο να περάσει. Συνεπώς, το ψυκτικό μέσο από τον απορροφητή μπορεί να μεταφερθεί στην ατμογεννήτρια με ένα οσμωτικό διαχωρισμό μέσω της μεμβράνης χωρίς καμία μηχανική αντλία.

Η διαφορά πίεσης μέσα στην ατμογεννήτρια και τον ατμοποιητή εξαρτάται επίσης από τον τύπο της μεμβράνης που χρησιμοποιείται. Συνήθως, η μεμβράνη δεν είναι τέλεια, ο απορροφητής μπορεί να διαχυθεί μαζί με το ψυκτικό μέσο στην ατμογεννήτρια. Συνεπώς, μια βαλβίδα χρειάζεται για να διατηρείται η συγκέντρωση του αραιού διαλύματος στον απορροφητή. Στην πραγματικότητα η μεμβράνη πρέπει να είναι ικανή να αντιμετωπίσει όλες τις συνθήκες λειτουργίας : πίεση, θερμοκρασία και εργαζόμενο μέσο. Η μεμβράνη θα πρέπει να ελαχιστοποιεί τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ της ατμογεννήτριας και του απορροφητή. Επιπλέον, μια βαλβίδα μπορεί να χρειαστεί για να διατηρηθεί η συγκέντρωση του αραιού διαλύματος στον απορροφητή αν η μεμβράνη έχει ατέλειες.



Εικόνα 4.3.11.1. Ο κύκλος απορρόφησης με οσμωτική μεμβράνη απαιτεί θερμότητα για το διαχωρισμό του ψυκτικού και την παραγωγή διαφοράς πίεσης εντός του συστήματος.[16]

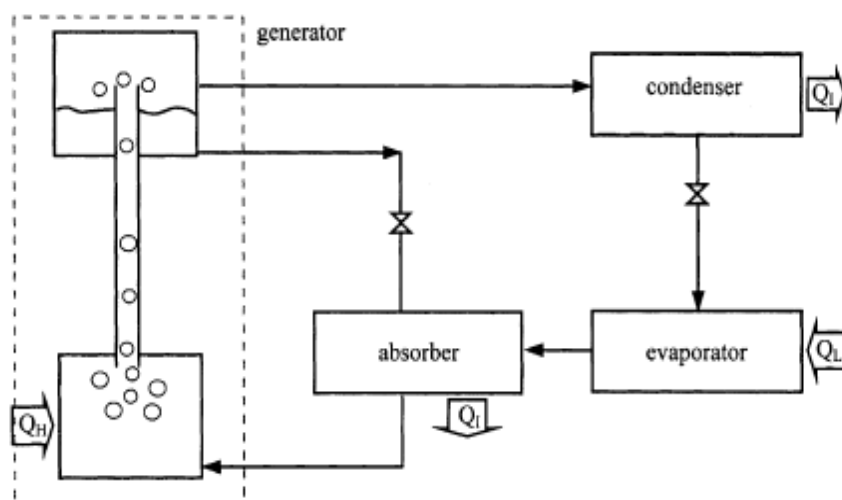
4.3.12. Σύστημα απορρόφησης αυτόνομης κυκλοφορίας με χρήση LiBr/νερού

Ακόμη και αν η πρωταρχική ενέργεια για ένα ψυκτικό σύστημα απορρόφησης είναι με τη μορφή θερμότητας, εξακολουθεί να απαιτείται λίγη ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία της αντλίας κυκλοφορίας. Υπάρχουν μερικά ψυκτικά συστήματα απορρόφησης που δεν χρειάζονται κάποια αντλία κυκλοφορίας. Σε ένα τέτοιο σύστημα, το εργαζόμενο ρευστό κυκλοφορεί με φυσικό τρόπο λόγω επίδρασης του θερμοσίφωνα που είναι γνωστό ως αντλία φυσαλίδας.

Η Ιαπωνική Yazaki Inc. εισήγαγε ένα σύστημα ψύξης με απορρόφηση αυτόνομης κυκλοφορίας, που βασίζεται σε μονοβάθμιο σύστημα LiBr/νερού. Χρησιμοποιώντας το νερό ως ψυκτικό μέσο, η διαφορά πίεσης μεταξύ του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή είναι πολύ χαμηλή και μπορεί να διατηρείται χρησιμοποιώντας την αρχή της υδροστατικής πίεσης. Το διάλυμα από τον απορροφητή μπορεί να κυκλοφορεί στην ατμογεννήτρια από μια αντλία φυσαλίδας. Το φτωχό διάλυμα επιστρέφει με τη βοήθεια της βαρύτητας πίσω στον απορροφητή. Ένα σχηματικό διάγραμμα αυτού του συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Λόγω επίδρασης της ανλίας φυσαλίδας, το διάλυμα

θερμαίνεται και κυκλοφορεί την ίδια στιγμή. Ο Smith και ο Khahra διεξήγαγαν μία μελέτη των επιδόσεων του ψύκτη απορρόφησης CH-900-B Yazaki με ψυκτικό μέσο το νερό, ο οποίος λειτουργεί με αέριο προπανίου.

Ο Eriksson και ο Jernqvist, ανέπτυξαν έναν 10 kW αυτόνομης κυκλοφορίας μετατροπής θερμότητας χρησιμοποιώντας NaOH/νερό. Λόγω της μεγάλης διαφοράς πίεσης και θερμοκρασίας μεταξύ του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή, ο απορροφητής και ο ατμοποιητής βρίσκονται στα 7 και 10 μέτρα πιο κάτω από τον συμπυκνωτή και την ατμογεννήτρια, αντίστοιχα. Το πιο χαμηλό από το πιο υψηλό σημείο αυτής της μηχανής είναι 14 μέτρα που ισοδυναμεί με τη διαφορά πίεσης 1 bar εντός του συστήματος.



Εικόνα 4.3.12.1. Στο διάγραμμα φαίνεται η αντλία φυσαλίδας σε ένα μοντέλο ατμογεννήτριας. Η πρόσδωση θερμότητας στην ατμογεννήτρια χρησιμοποιείται και για την κυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου και για την ατμοποίηση του ψυκτικού.[16]

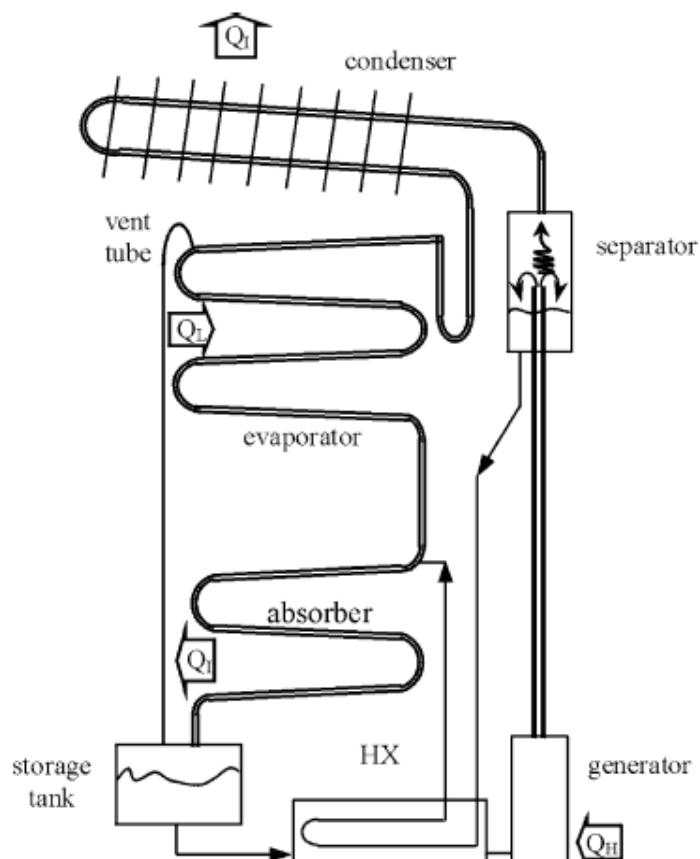
4.3.13. Ψυκτικό σύστημα διάχυσης απορρόφησης (DAR)

Το DAR είναι ένας άλλος τύπος συστήματος απορρόφησης με αυτόνομη κυκλοφορία που χρησιμοποιεί νερό/ NH_3 . Η NH_3 είναι το εργαζόμενο μέσο, ενώ η διαφορά πίεσης μεταξύ του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή είναι πολύ μεγάλη για να αντιμετωπιστεί από την αντλία φυσαλίδας. Η ιδέα του DAR προτάθηκε από τους Platen και Munters, φοιτητές στο Royal Institute of Technology της Στοκχόλμης. Η παρακάτω

εικόνα δείχνει ένα σχηματικό διάγραμμα αυτού του συστήματος. Ένα βοηθητικό αέριο προσδίδεται στον ατμοποιητή και τον απορροφητή. Επομένως, δεν υπάρχει διαφορά στην πίεση και δεν χρειάζεται αντλία φυσαλίδας. Η ψυκτική επίδραση λαμβάνεται με βάση την αρχή της μερικής πίεσης. Επειδή το βοηθητικό αέριο προσδίδεται στον ατμοποιητή και τον απορροφητή, η μερική πίεση της αμμωνίας τόσο στον ατμοποιητή όσο και στον απορροφητή διατηρείται αρκετά χαμηλή ώστε να ανταποκρίνεται με τη θερμοκρασία που απαιτείται στο εσωτερικό του ατμοποιητή. Το βοηθητικό αέριο πρέπει να είναι μη συμπυκνώσιμο όπως το υδρογόνο και το ήλιο.

Μια εξαιρετική δυνατότητα αυτού του συστήματος είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει σε χώρους όπου δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Έχει χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε οικιακά ψυγεία. Δεν περιέχει κινητά μέρη, πράγμα που σημαίνει ότι δεν χρειάζεται συντήρηση και παράγει μικρότερο θόρυβο κατά τη λειτουργία του. Ωστόσο, στα παραδοσιακά μοντέλα, η ψυκτική του ικανότητα είναι πολύ μικρή, λιγότερο από 50 W. Με την ψυκτική αυτή ικανότητα, είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως ψυγείο σε δωμάτιο ξενοδοχείου ή σε οχήματα αναψυχής και δεν επαρκεί για εφαρμογές ψύξης χώρων.

Έχουν πραγματοποιηθεί τροποποιήσεις του παραδοσιακού μοντέλου όπως για παράδειγμα η ενίσχυση της απόδοσης του λέβητα, αλλάζοντας το βοηθητικό αέριο σε ήλιο. Το αρχικό DAR χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως βοηθητικό αέριο. Είναι γνωστό πως το υδρογόνο μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο, εάν υπάρξει διαρροή. Το ήλιο είναι ένα εναλλακτικό βοηθητικό αέριο που παρουσιάστηκε για να αντικαταστήσει το υδρογόνο.



Εικόνα 4.3.13.1. Σχηματικό διάγραμμα ψύκτη απορρόφησης διάχυσης (DAR). Αυτή η διάταξη έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως οικιακό ψυγείο καθώς δεν χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία του. NH_3 / νερό /βοηθητικό αέριο προσδίδεται στη μηχανή ως εργαζόμενο μέσο.[16]

4.4. Ανάγκη για την περαιτέρω ανάπτυξη στην ψύξη με απορρόφηση

Η ηλιακή ψύξη με απορρόφηση έχει την προοπτική να παίξει σημαντικό ρόλο στην βελτίωση της ήδη εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών θερμικών συλλεκτών όπως επίσης συνεισφέρει στις απαιτήσεις στον κτιριακό τομέα, ο οποίος είναι ένας σημαντικός ενεργειακός τομέας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, ακόμα και σήμερα υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί για τους ψύκτες απορρόφησης που μπορεί να ανακόψουν την περαιτέρω ανάπτυξη τους:

- Πολύ υψηλό κόστος για τους ψύκτες απορρόφησης κυρίως σε μικρού εύρους ενέργεια , εφαρμογές όπως είναι οι κτιριακές. Συνήθως το μεγαλύτερο μέρος του κόστους πιστεύεται ότι ανήκει στους ηλιακούς συλλέκτες αλλά αυτό δεν ισχύει πάντα.

- Έλλειψη εμπορικής διαθεσιμότητας ψυκτών απορρόφησης κατάλληλων για ηλιακές εφαρμογές(με τροφοδοσία ζεστού νερού) στην κλίμακα ενέργειας του κτιριακού τομέα κυρίως για τις μικρότερες εφαρμογές σε σπίτια μιας οικογένειας.

- Η αναγκαιότητα ψυκτικών πύργων για την αποθήκευση της υπόλοιπης ενέργειας στις περισσότερες εφαρμογές. Θα ήταν επιθυμητό, ιδίως σε μικρότερες εφαρμογές, να μη χρειαζόταν αυτός ο επιπλέον εξοπλισμός με τα επιπλέον κόστη, την κατανάλωση ενέργειας και την γενικότερη πολυπλοκότητα της κατασκευής.

- Περιορισμένη ικανότητα για αντίστροφη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης ως αντλία θερμότητας στην περίοδο της θέρμανσης, που θα επέτρεπε την χρήση του ίδιου εξοπλισμού στην ψύξη και στην θέρμανση βελτιώνοντας την οικονομική απόδοση.

- Έλλειψη ακριβούς χαρακτηρισμού της πειραματικής λειτουργίας του ψύκτη σε συνθήκες σχεδιασμού και λειτουργίας υπό μερικό φορτίο. Διαφορετικά από άλλες κοινές χρήσεις οι ψύκτες απορρόφησης σε ηλιακές εφαρμογές λειτουργούν υπό διάφορες συνθήκες μακριά από το σημείο σχεδιασμού, σε μερικό φορτίο ακόμα και σε αιφνίδιες μεταβολές της τάσης.

5. Ψύκτης απορρόφησης BCT-16

5.1. Περιγραφή συστήματος BCT-16

Ο ψύκτης απορρόφησης που μελετάμε είναι ένας διβάθμιος, παράλληλης ροής ψύκτης που χρησιμοποιεί ως ψυκτικό μέσο νερό και ως διάλυμα βρωμιούχο λίθιο (LiBr), ενώ η θερμότητα που είναι αναγκαία για τη λειτουργία του παρέχεται από ένα καυστήρα φυσικού αερίου. Ο ψύκτης έχει ψυκτική ικανότητα 16kW.

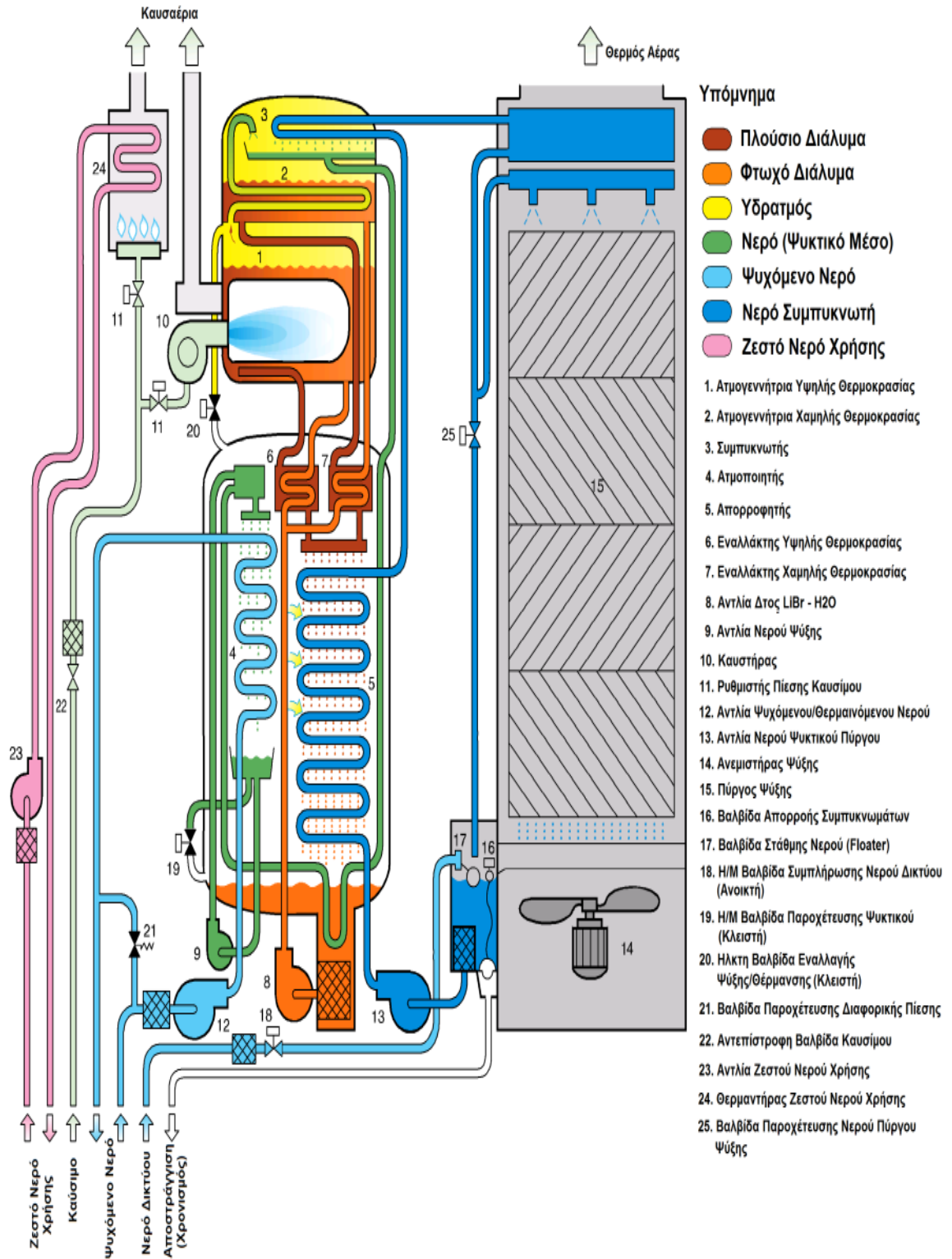
Στις εικόνες φαίνεται ο ψύκτης απορρόφησης που έχει εγκατασταθεί από το εργαστήριο εφαρμοσμένης θερμοδυναμικής του ΕΜΠ.



Εικόνα 5.1.1. Ψύκτης απορρόφησης BCT-16 εγκαταστημένος στο εργαστήριο εφαρμοσμένης θερμοδυναμικής του ΕΜΠ.

Η παροχή του ψυχόμενου νερού και η επιστροφή του, η παροχή καυσίμου, η παροχή ρεύματος και το νερό του δικτύου συνδέονται με τον ψύκτη

κάτω αριστερά. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα ροής του ψύκτη.



Εικόνα 5.1.2. Σχηματικό διάγραμμα ροής ψύκτη απορρόφησης BCT-16.

Ο παραπάνω ψύκτης απορρόφησης αποτελείται από 5 κύρια και 3 δευτερεύοντα στοιχεία μεταφοράς θερμότητας, 3 αντλίες, τον πύργο ψύξης, τον καυστήρα, ένα θερμαντήρα ζεστού νερού χρήσης, μία συσκευή αυτόματης απαγωγής αερίων, συμπυκνωμάτων και τις υπόλοιπες αναγκαίες βαλβίδες και στοιχεία σωληνώσεων. Πιο συγκεκριμένα, τα 5 κύρια στοιχεία είναι :

- ο ατμοποιητής, ένας εναλλάκτης θερμότητας δύο φάσεων με αντιρροή
- ο απορροφητής, ένας εναλλάκτης θερμότητας και μάζας δύο φάσεων με αντιρροή
- η ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, ένας διφασικός εναλλάκτης θερμότητας
- η ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας, ένας διφασικός εναλλάκτης θερμότητας
- ο συμπυκνωτής, ένας εναλλάκτης θερμότητας αντιρροής

Τα τρία δευτερεύοντα στοιχεία είναι :

- ο εναλλάκτης υψηλής θερμοκρασίας, ένας μονοφασικός εναλλάκτης θερμότητας με αντιρροή
- ο εναλλάκτης χαμηλής θερμοκρασίας, ένας μονοφασικός εναλλάκτης θερμότητας με αντιρροή
- ο εναλλάκτης παράκαμψης του ψυκτικού μέσου, ένας μονοφασικός εναλλάκτης θερμότητας

Οι τρεις αντλίες είναι :

- η αντλία διαλύματος, μία μεταβλητής ταχύτητας αντλία
- η αντλία ψυχόμενου νερού, μία σταθερής ταχύτητας αντλία

- η αντλία νερού ψύξης, μία σταθερής ταχύτητας αντλία

Ο πύργος ψύξης περιλαμβάνει :

- την κατακόρυφη στήλη αντιρροής με πλάκες, ένας διφασικός εναλλάκτης θερμότητας και μάζας
- την αντλία νερού ψυκτικού πύργου, σταθερής ταχύτητας
- τον ανεμιστήρα ψύξης, τριών ταχυτήτων

Ο θερμαντήρας ζεστού νερού χρήσης περιλαμβάνει:

- την αντλία ζεστού νερού
- το ρυθμιστή πίεσης καυσίμου

Τα υπόλοιπα αναγκαία μέρη περιλαμβάνουν:

- τον καυστήρα φυσικού αερίου
- τη συσκευή αυτόματης απαγωγής αερίων
- τις αναγκαίες βαλβίδες, ακροφύσια ψεκασμού και στοιχεία σωληνώσεων.

5.2. Διάγραμμα ροής του BCT-16

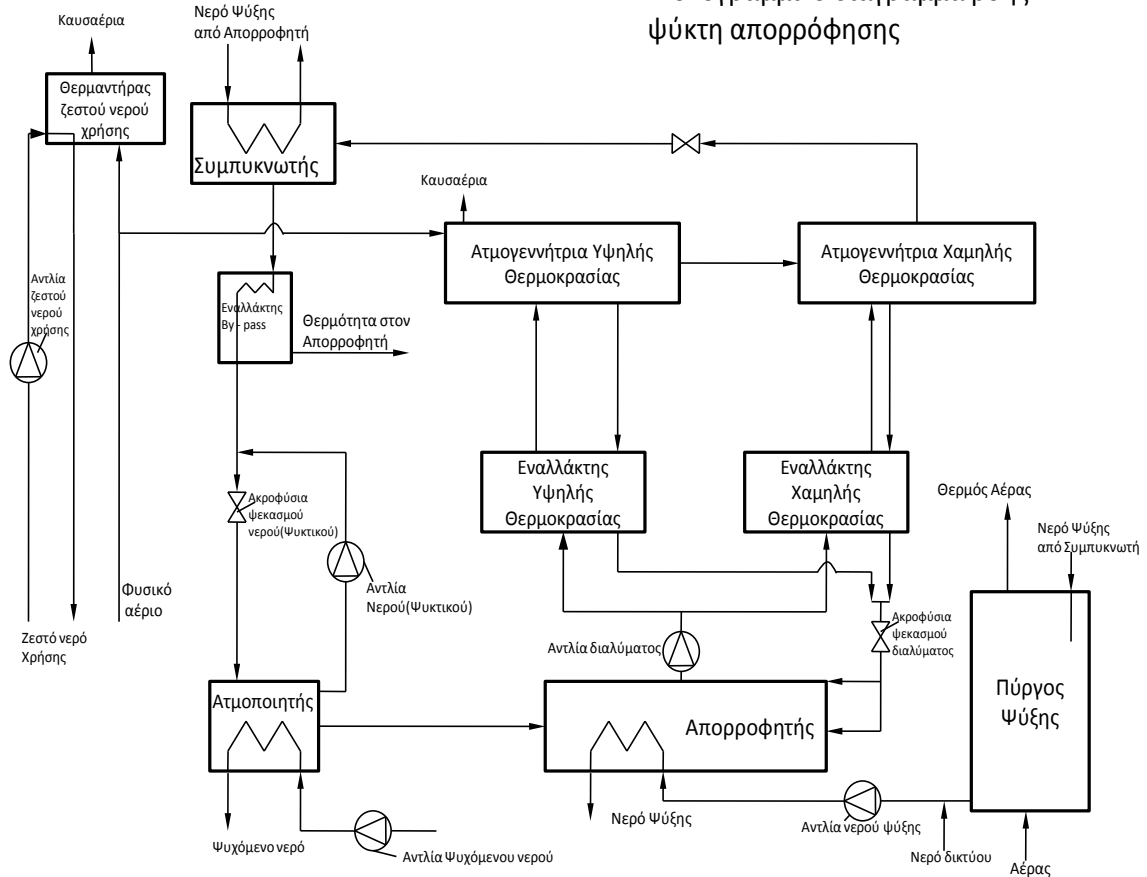
Ο ψύκτης που μελετάμε είναι ένας διβάθμιος, παράλληλης ροής ψύκτης νερού-LiBr που χρησιμοποιεί ως μέσο πρόσδοσης θερμότητας φυσικό αέριο, το οποίο παρέχεται από έναν καυστήρα φυσικού αερίου εντός της διάταξης.

Κατά τη λειτουργία του ψύκτη, το ψυκτικό μέσο (νερό) απορροφά, με την ατμοποίηση του σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, θερμότητα από το νερό που θέλουμε να ψύξουμε. Καθώς το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται, εισέρχεται στον απορροφητή, όπου εκεί ψεκάζεται με πλούσιο διάλυμα LiBr - παράγεται έτσι το φτωχό (πιο αραιό) διάλυμα

LiBr και απελευθερώνεται θερμότητα η οποία δεσμεύεται από το νερό ψύξης. Το φτωχό τώρα διάλυμα LiBr, μέσω μιας αντλίας διαλύματος οδηγείται, αφού διαχωριστεί σε δύο ίσα περίπου ρεύματα και προθερμανθεί στους εναλλάκτες υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας, στις αντίστοιχες ατμογεννήτριες. Στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης, προσδίδουμε στο φτωχό διάλυμα θερμότητα, μέσω του καυστήρα φυσικού αερίου, και έτσι διαχωρίζεται ο υδρατμός από το LiBr και οδηγείται στο συμπυκνωτή σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Το πλούσιο πλέον διάλυμα LiBr οδηγείται και πάλι στον απορροφητή σε χαμηλή πίεση, αφού περάσει από τους εναλλάκτες θερμότητας και εκτονωθεί στη βαλβίδα διαλύματος. Από την άλλη μεριά ο υδρατμός υγροποιείται στο συμπυκνωτή προσδίδοντας θερμότητα στο νερό ψύξης. Από εκεί θα οδηγηθεί ξανά στον ατμοποιητή σε χαμηλή πίεση, αφού εκτονωθεί στη βαλβίδα εκτόνωσης του ψυκτικού μέσου και προθερμάνει και το φτωχό διάλυμα LiBr μέσω ενός by pass εναλλάκτη θερμότητας. Στον ατμοποιητή θα ψεκαστεί πάνω στο κύκλωμα του ψυχόμενου νερού, μέσω ακροφύσιων, ώστε να απορροφήσει θερμότητα και να εξατμιστεί. Το μέρος του ψυκτικού μέσου που δεν θα προλάβει να εξατμιστεί, θα συλλεχθεί και θα ξαναοδηγηθεί, μέσω της αντλίας ψυκτικού μέσου, πάλι στα ακροφύσια. Το νερό ψύξης μετά την έξοδό του από το συμπυκνωτή θα οδηγηθεί στον πύργο ψύξης, ώστε να ελαττωθεί η θερμοκρασία του απελευθερώνοντας θερμότητα στο περιβάλλον, και από εκεί, μέσω της αντλίας του συμπυκνώματος, να επανακυκλοφορήσει στον απορροφητή.

Παράλληλα με το κύκλωμα ψύξης του νερού ο συγκεκριμένος ψύκτης έχει τη δυνατότητα να παράγει και ζεστό νερό χρήσης. Γι' αυτό το λόγο διαθέτει ένα ξεχωριστό κύκλωμα, στο οποίο μέσω μιας αντλίας κυκλοφορεί το ζεστό νερό χρήσης. Καίγοντας ένα μέρος καυσίμου μπορούμε να διατηρούμε το νερό στη θερμοκρασία που θέλουμε.

Μονογραμμικό διάγραμμα ροής ψύκτη απορρόφησης



Εικόνα 5.2.1. Μονογραμμικό διάγραμμα ροής ψύκτη απορρόφησης BCT-16

Το κύριο μέρος του ψύκτη αποτελείται από δύο αεροστεγή σφραγισμένα δοχεία: το πάνω δοχείο υψηλής πίεσης και το κάτω χαμηλής πίεσης. Το πάνω δοχείο περιλαμβάνει την ατμογεννήτρια υψηλής πίεσης, την ατμογεννήτρια χαμηλής πίεσης και το συμπυκνωτή. Το κάτω δοχείο περιλαμβάνει τον απορροφητή, τον ατμοποιητή, τον εναλλάκτη παράκαμψης, τον εναλλάκτη υψηλής θερμοκρασίας και τον εναλλάκτη χαμηλής θερμοκρασίας. Η ροή του διαλύματος, του ψυκτικού μέσου και του νερού ψύξης γίνεται με σωλήνες που διεισδύουν από το ένα δοχείο στο άλλο. Το κενό στο κάτω δοχείο ελέγχεται από μια συσκευή αυτόματης εκκαθάρισης αερίων και μια μηχανική αντλία κενού ξεχωριστή από τον ψύκτη. Το ψυχόμενο νερό και το νερό ψύξης κυκλοφορούν με τη βοήθεια μιας αντλίας ψυχόμενου νερού και μιας αντλίας συμπυκνώματος αντίστοιχα. Η ενσωμάτωση του πύργου ψύξης επιτρέπει την

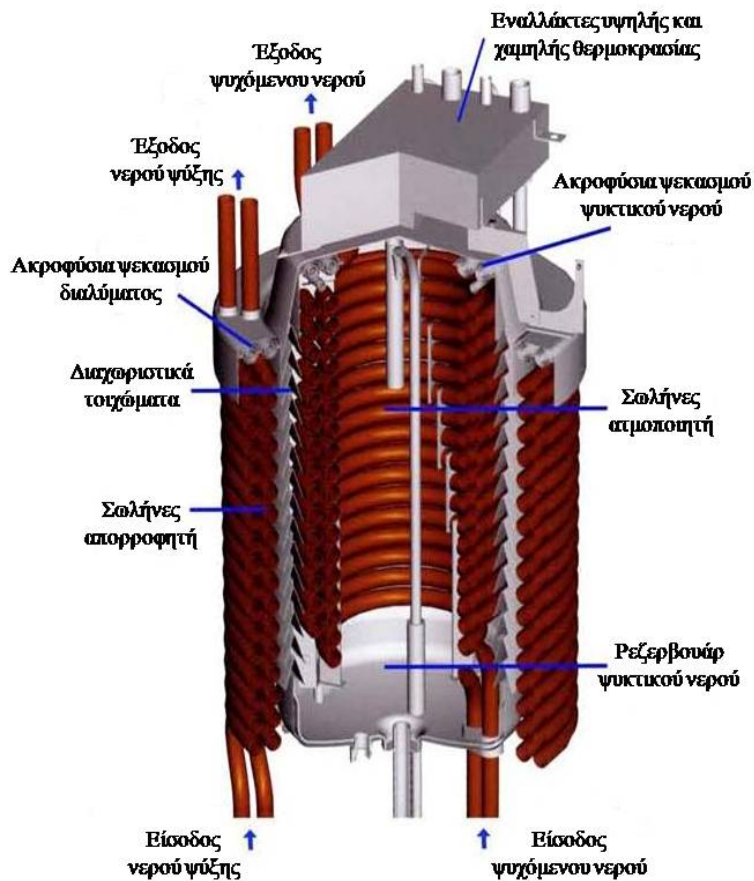
εγκατάσταση του ψύκτη εκεί όπου το νερό ψύξης μπορεί να μην είναι διαθέσιμο.

5.3 Περιγραφή στοιχείων BCT-16

5.3.1 Ατμοποιητής και αντλία ψυχόμενου νερού

Ο ατμοποιητής του ψύκτη που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, βρίσκεται στο κάτω δοχείο. Η συστοιχία σωλήνων του ατμοποιητή περιλαμβάνει δύο παράλληλους σωλήνες που περιτυλίσσονται 18 φορές από κάτω προς τα πάνω στο δοχείο. Το ψυκτικό νερό διανέμεται εξίσου στους σωλήνες μέσα στο δοχείο από ακροφύσια που ψεκάζουν νερό από το συμπυκνωτή. Το νερό το οποίο δεν εξατμίστηκε στο πρώτο πέρασμα μαζεύεται στον ψυκτικό δίσκο στη βάση του ατμοποιητή και ανακυκλοφορεί από την αντλία ψυκτικού νερού. Το ψυκτικό νερό ατμοποιείται στον ατμοποιητή σε χαμηλή πίεση, περίπου 0.8 - 1.0 kPa , και χαμηλή θερμοκρασία , περίπου 3 - 4 °C. Η ατμοποίηση απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο νερό που ρέει μέσα στο τύλιγμα του ατμοποιητή , ψύχοντας την ροή από τους 14 °C στους 7 °C.

Σε σταθερή ροή των 2 m³/h και πίεσης των 8 m H₂O για να αντιμετωπίσει την απώλεια πίεσης, ο ατμοποιητής λειτουργεί ως διφασικός εναλλάκτης θερμότητας αντιρροής. Η καύση του φυσικού αερίου στην ατμογεννήτρια έχει προσαρμοστεί για να διατηρεί μια σταθερή στάθμη στο δίσκο του ρεζερβουάρ του ψυκτικού νερού - χαμηλή στάθμη απαιτεί αύξηση του φυσικού αερίου για να παρέχει περισσότερο ψυκτικό.



Εικόνα 5.3.1.1. Διαμόρφωση του κάτω δοχείου της διάταξης[20]

5.3.2. Απορροφητής και αντλία διαλύματος

Ο απορροφητής, που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, διατηρεί τη χαμηλή πίεση λειτουργίας που απαιτείται στον ατμοποιητή. Αποτελείται από δύο σωλήνες που περιτυλίσσονται από κάτω προς τα πάνω στο δοχείο. Το τύλιγμα περικυκλώνει τον ατμοποιητή αλλά είναι διαχωρισμένο από αυτόν με ένα διαχωριστή Chevron για να εμποδίσει την μεταφορά του ψυκτικού υγρού. Πλούσιο διάλυμα νερού-LiBr διανέμεται εξίσου στους σωλήνες στο τύλιγμα του απορροφητή από ακροφύσια που ψεκάζουν διάλυμα από τις δύο ατμογεννήτριες, αφού έχει ψυχθεί στους εναλλάκτες θερμότητας υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας. Ο ψυκτικός υδρατμός από τον ατμοποιητή διαπερνάει τον Chevron διαχωριστή, εισέρχεται στον απορροφητή και απορροφάται στο διάλυμα νερού-LiBr που ρέει με $5 \text{ m}^3/\text{h}$ στο τύλιγμα. Η θερμότητα που απελευθερώνεται από

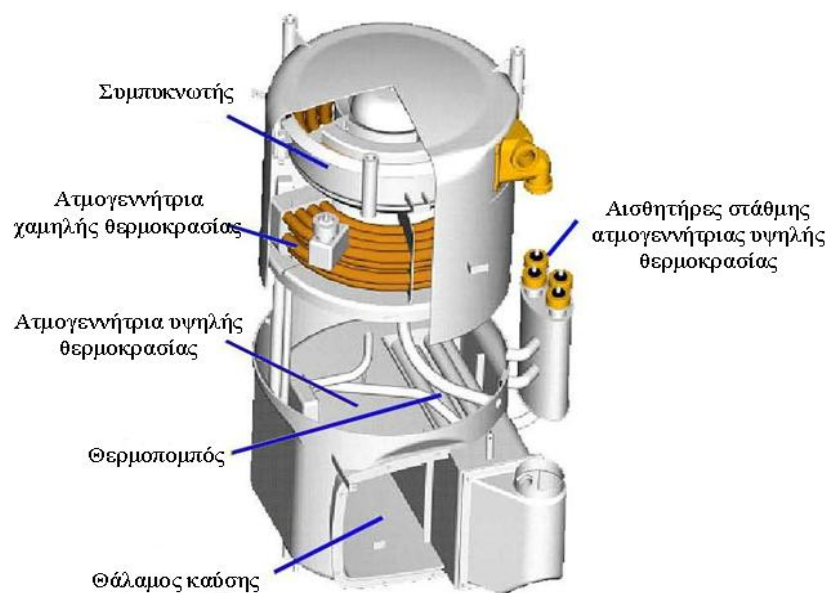
την προσρόφηση του ψυκτικού στο διάλυμα μεταφέρεται στο νερό του συμπυκνωτή(πύργου ψύξης) που ρέει στους σωλήνες του τυλίγματος, αυξάνοντας την θερμοκρασία του κατά 30 °C. Το νερό του συμπυκνωτή οδηγείται στον συμπυκνωτή και έπειτα στον πύργο ψύξης του ψύκτη όπου η απορροφούμενη θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον με ατμοποίηση. Το πλούσιο διάλυμα γίνεται φτωχό απορροφώντας τον ψυκτικό υδρατμό. Το φτωχό διάλυμα συλλέγεται στο ρεζερβουάρ διαλύματος στον πυθμένα του δοχείου και οδηγείται εν παραλλήλω, μέσω της αντλίας διαλύματος, στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής θερμοκρασίας με πίεση περίπου 100 kPa και 10 kPa αντίστοιχα.

5.3.3. Ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας

Το διάλυμα νερού-LiBr, που γίνεται φτωχό όταν απορροφά τον ψυκτικό υδρατμό, οδηγείται, μέσω αντλίας, εν παραλλήλω στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας και στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας. Σε κάθε ατμογεννήτρια, ο ψυκτικός υδρατμός που προστίθεται στο διάλυμα στον απορροφητή, αφαιρείται με ατμοποίηση σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Περίπου ίσες ποσότητες του διαλύματος οδηγούνται σε κάθε ατμογεννήτρια, η οποία ελέγχεται από μια συσκευή περιορισμού της ροής μέσα στον σωλήνα μετά την αντλία διαλύματος. Στον καυστήρα της ατμογεννήτριας υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται φυσικό αέριο για να εξατμίσει τον ψυκτικό υδρατμό από το διάλυμα. Η θερμοκρασία και η πίεση του ψυκτικού υδρατμού που παράγεται στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας είναι αρκετά υψηλή για να παράγει μία περίπου ίση ποσότητα ψυκτικού υδρατμού από το διάλυμα στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας που λειτουργεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Αυτό καθιστά τον κύκλο απορρόφησης μία διβάθμια διαδικασία. Η παραγωγή επιπλέον ψυκτικού από μια δοθείσα είσοδο θερμότητας βελτιώνει αισθητά την απόδοση του κύκλου.

Ο σχεδιασμός της ατμογεννήτριας υψηλής θερμοκρασίας διαφέρει ανάλογα με το μέσο θέρμανσης , αέριο ή υγρό, και στην θερμοκρασία. Πολλές μορφές της θερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας για την λειτουργία του ψύκτη, όπως ο ατμός, ζεστό νερό, καυσαέριο, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, και υγραποποιημένο αέριο.

Το διάλυμα νερού-LiBr, αφού ξαναγίνει πλούσιο στις ατμογεννήτριες, επιστρέφει στον απορροφητή ελέγχοντας τη ροή έτσι ώστε να διατηρηθεί κατάλληλη στάθμη του υγρού με σκοπό να είναι καλυμμένοι οι σωλήνες στις. Η συχνότητα της αντλίας του διαλύματος προσαρμόζεται έτσι ώστε να καθορίσει μία σταθερή στάθμη στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας.



Εικόνα 5.3.3.1. Διαμόρφωση του πάνω δοχείου της διάταξης[20]

Και οι δύο ατμογεννήτριες (υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας) χρησιμοποιούν τον υδρατμό ως μέσο θερμότητας και έχουν παρόμοιες λειτουργίες και δομή. Η διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας περιλαμβάνει συμπύκνωση μέσα στους σωλήνες και βρασμό στην εξωτερική επιφάνειά τους. Η διαμόρφωση του πάνω δοχείου του ψύκτη απορρόφησης φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το κυρίως μέρος της ατμογεννήτριας υψηλής θερμοκρασίας είναι ο καυστήρας που βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο του πάνω δοχείου. Το φτωχό διάλυμα οδηγείται μέσω αντλίας από το κάτω μέρος της δεξαμενής μέσα στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, και το πλούσιο διάλυμα εξέρχεται από την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας από το κάτω μέρος της δεξαμενής και αυτό, αλλά από πιο απόμακρο σημείο. Η έντονη μίξη, αποτέλεσμα του βρασμού μέσα στην ατμογεννήτρια, ελαχιστοποιεί τις διαφορές στην συγκέντρωση στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας. Ενώ εμπλέκεται μεταφορά μάζας όσο το νερό διαχέεται και ατμοποιείται από την διεπαφή του διαλύματος-υδρατμού, η έντονη μίξη ελαχιστοποιεί την αντίσταση της μεταφοράς της μάζας. Συνεπώς, η ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας λειτουργεί ως ένας διφασικός ανακομιστής θερμότητας καλής μίξης.

5.3.4. Ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας

Η ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας είναι ένας τμηματικός θάλαμος σωλήνων με 14 παράλληλους σωλήνες που περιτυλίσσονται μία φορά. Υδρατμός από την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας εισέρχεται από την μια μεριά του κάθε παράλληλου σωλήνα, και το συμπύκνωμα εξέρχεται από την άλλη μεριά των σωλήνων και εισέρχεται στον συμπυκνωτή. Η μια μεριά του κάθε σωλήνα συνδέεται με την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας και η άλλη με τον συμπυκνωτή. Το ψυκτικό νερό και ο υδρατμός από την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας περνάει μέσα από τους σωλήνες της ατμογεννήτριας χαμηλής θερμοκρασίας και μεταφέρει την θερμότητα του συμπυκνώματος στο διάλυμα που περιβάλλει τον θάλαμο σωλήνων. Το

φτωχό διάλυμα εισέρχεται στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας από την κορυφή - το πλούσιο διάλυμα εξέρχεται από το κάτω μέρος. Ο υδρατμός ψυκτικού εξατμίζεται και το φτωχό διάλυμα γίνεται πλούσιο. Παρόμοια με την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, η διαδικασία βρασμού στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας είναι έντονη- το διάλυμα γεμίζει φυσαλίδες. Η συγκέντρωση του διαλύματος στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας είναι επομένως σχεδόν ομοιόμορφη κοντά στις τιμές εξόδου, και η μεταφορά μάζας δεν είναι μια περιορισμένη διαδικασία. Όπως η ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, έτσι και η ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργεί ως ένας διφασικός ανακομιστής θερμότητας καλής-μίξης.

Η ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση βρασμού από την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας. Σε συνθήκες σχεδιασμού, μία μέτρια πίεση, τυπικά σε μία πίεση κορεσμένου ατμού των 10 kPa, παρέχει θερμοκρασία ατμοποίησης περίπου 45 °C. Η ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας δεν έχει έλεγχο στάθμης διαλύματος όπως η ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, αλλά η μέγιστη στάθμη διαλύματος μετριέται στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας ώστε να αποφευχθεί η κρυσταλλοποίηση στον εναλλάκτη θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας.

5.3.5. Συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής και η ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας βρίσκονται στο ίδιο δοχείο με την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, και λειτουργούν στην ίδια ενδιάμεση πίεση. Το συμπύκνωμα από την ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας εισέρχεται στον συμπυκνωτή που λειτουργεί σε ενδιάμεση πίεση. Ο συμπυκνωτής συμπυκνώνει και τον υδρατμό που παράγεται από το συμπύκνωμα και τον υδρατμό που προέρχεται από την ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας, μεταφέροντας θερμότητα στο νερό του συμπυκνωτή που ρέει μέσα στο

τύλιγμα του συμπυκνωτή. Αυτό το συμπύκνωμα επιστρέφει στον ατμοποιητή.

Ο συμπυκνωτής είναι ένας σπειροειδής χάλκινων σωλήνων θάλαμος με τρεις παράλληλους σωλήνες που περιτυλίσσονται τρεις φορές από κάτω προς τα πάνω. Το νερό του συμπυκνωτή που ρέει από τον απορροφητή εισέρχεται στον συμπυκνωτή από κάτω και εξέρχεται από τον συμπυκνωτή από την κορυφή. Το υγρό που δημιουργήθηκε από την συμπύκνωση του υδρατμού σαν μία μεμβράνη στην επιφάνεια του (θαλάμου σωλήνων) στάζει σε ένα ταψί αποστράγγισης, το οποίο διαχωρίζει τον συμπυκνωτή από την ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας. Ο συμπυκνωτής λειτουργεί σαν ένας διφασικός εναλλάκτης θερμότητας αντιροής.

5.3.6. Εναλλάκτες θερμότητας

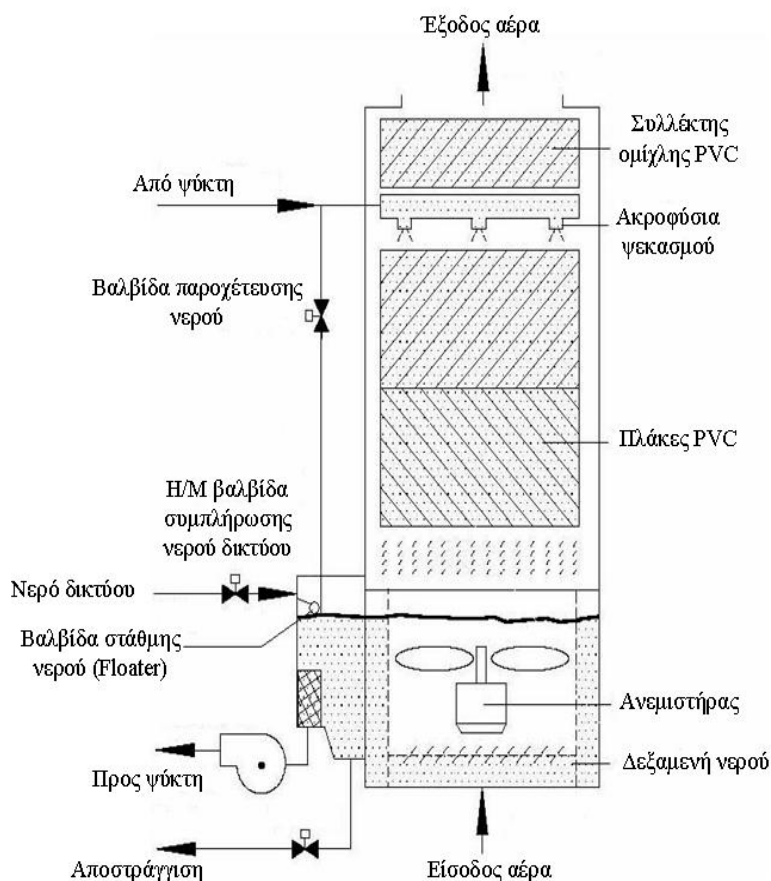
Είναι τα μικρότερα στοιχεία μεταφοράς θερμότητας στον ψύκτη που χρησιμοποιούνται για να ανακτήσουν θερμική ενέργεια μέσω ανταλλαγής θερμότητας ανάμεσα στα ρεύματα ψυκτικού νερού και διαλύματος. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι μονοφασικοί εναλλάκτες αντιροής που ανακτούν θερμότητα από ένα θερμό ρεύμα ρευστού και την παραδίδουν στο ψυχρό ρεύμα ρευστού. Ο ένας είναι ο εναλλάκτης θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας και ο άλλος είναι ο εναλλάκτης θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας. Μειώνουν τις απαιτήσεις θερμότητας των ατμογεννητριών και την ψυκτική απαίτηση του απορροφητή. Στον ψύκτη η θερμοκρασία του συμπυκνώματος που εξέρχεται από την ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας είναι αρκετά υψηλή για να χρησιμοποιηθεί ώστε να προθερμάνει το φτωχό διάλυμα από τον εναλλάκτη χαμηλής θερμοκρασίας πριν εισέρθει στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας. Ένας εναλλάκτης θερμότητας ανάμεσα στο ψυκτικό νερό που εξέρχεται από τον συμπυκνωτή και το διάλυμα (που βρίσκεται στον πυθμένα του απορροφητή), που ονομάζεται by-pass εναλλάκτης θερμότητας, αυξάνει την ψύξη στον ατμοποιητή. Σε

αυτόν, το υγρό ψυκτικό που έχει συμπυκνωθεί στον συμπυκνωτή απελευθερώνει μία μικρή ποσότητα θερμότητας στο φτωχό διάλυμα στον απορροφητή.

5.3.7 Πύργος ψύξης

Ο πύργος ψύξης χρησιμοποιείται ευρέως για να αποβάλλει την θερμότητα από ένα σύστημα ψύξης με νερό στο περιβάλλον. Ο συγκεκριμένος ψύκτης απορρόφησης έχει ενσωματωμένο πύργο ψύξης, που φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Ο συμπαγής σχεδιασμός του διευκολύνει την εγκατάσταση και την λειτουργία του ψύκτη. Το νερό του συμπυκνωτή στον ψύκτη ρέει σε σειρά μέσω του απορροφητή, τον συμπυκνωτή, και έπειτα μέσω του πύργου ψύξης. Αυτός ο τρόπος προβλέπει σε μία ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας στον απορροφητή, που απαιτείται για να επιτύχουμε μία χαμηλή θερμοκρασία ψυχόμενου νερού - η μεγάλη ροή στον απορροφητή και το συμπυκνωτή προβλέπει σε υψηλούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας αυτών των εξαρτημάτων. Το νερό ανακυκλοφορίας του συμπυκνωτή ρέει προς τα κάτω στις κατακόρυφες πλάκες και έρχεται σε επαφή με αέρα περιβάλλοντος αντιστροφής.

Ατμοποίηση ενός μικρού μέρους του νερού που ρέει προς τα κάτω στον πύργο ψύξης, μειώνει την θερμοκρασία του, ενώ νερό δικτύου προστίθεται στον πύργο ψύξης αντικαθιστώντας το νερό που ατμοποιήθηκε. Η θερμοκρασία του αέρα επίσης μειώνεται, αλλά η υγρασία αυξάνεται αισθητά. Συνεπώς, ο πύργος ψύξης λειτουργεί σαν ένας διφασικός εναλλάκτης θερμότητας και μάζας αντιστροφής.



Εικόνα 5.3.7.1. Πύργος ψύκτη απορρόφησης BCT-16[20]

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, ο πύργος ψύξης που είναι συνδεδεμένος στον ψύκτη περιλαμβάνει ακροφύσια που ψεκάζουν, κατακόρυφες PVC πλάκες, ένα PVC συλλέκτη ομίχλης, μία δεξαμενή νερού του συμπυκνωτή, μία αντλία νερού του συμπυκνωτή, μία βαλβίδα παροχέτευσης νερού του πύργου ψύξης, ανεμιστήρα ψύξης, την βαλβίδα στάθμης του νερού (Floater) και την βαλβίδα απορροής συμπυκνωμάτων. Τα κυρίως εξαρτήματα του πύργου ψύξης είναι οι κατακόρυφες PVC πλάκες (ένα μέσο μεταφοράς θερμότητας και μάζας), οι οποίες αυξάνουν την επαφή επιφανείας του νερού/αέρα αλλά και την διάρκεια της επαφής. Αυτές είναι κατανομημένες με εναλλασσόμενες μπάρες εγκατεστημένες κάτω από τα ακροφύσια εκεί από όπου περνάει ο αέρας. Σε συνθήκες σχεδιασμού, το νερό ψύξης διανέμεται από την κορυφή του πύργου μέσω των ακροφυσίων σε θερμοκρασία των 35.5 °C. Η ταχύτητα του ανεμιστήρα

του πύργου ψύξης μεταβάλλεται ώστε να διατηρήσει την παροχή του νερού του πύργου ψύξης στους 30 °C.

5.3.8. Σύστημα υποπίεσης(κενού)

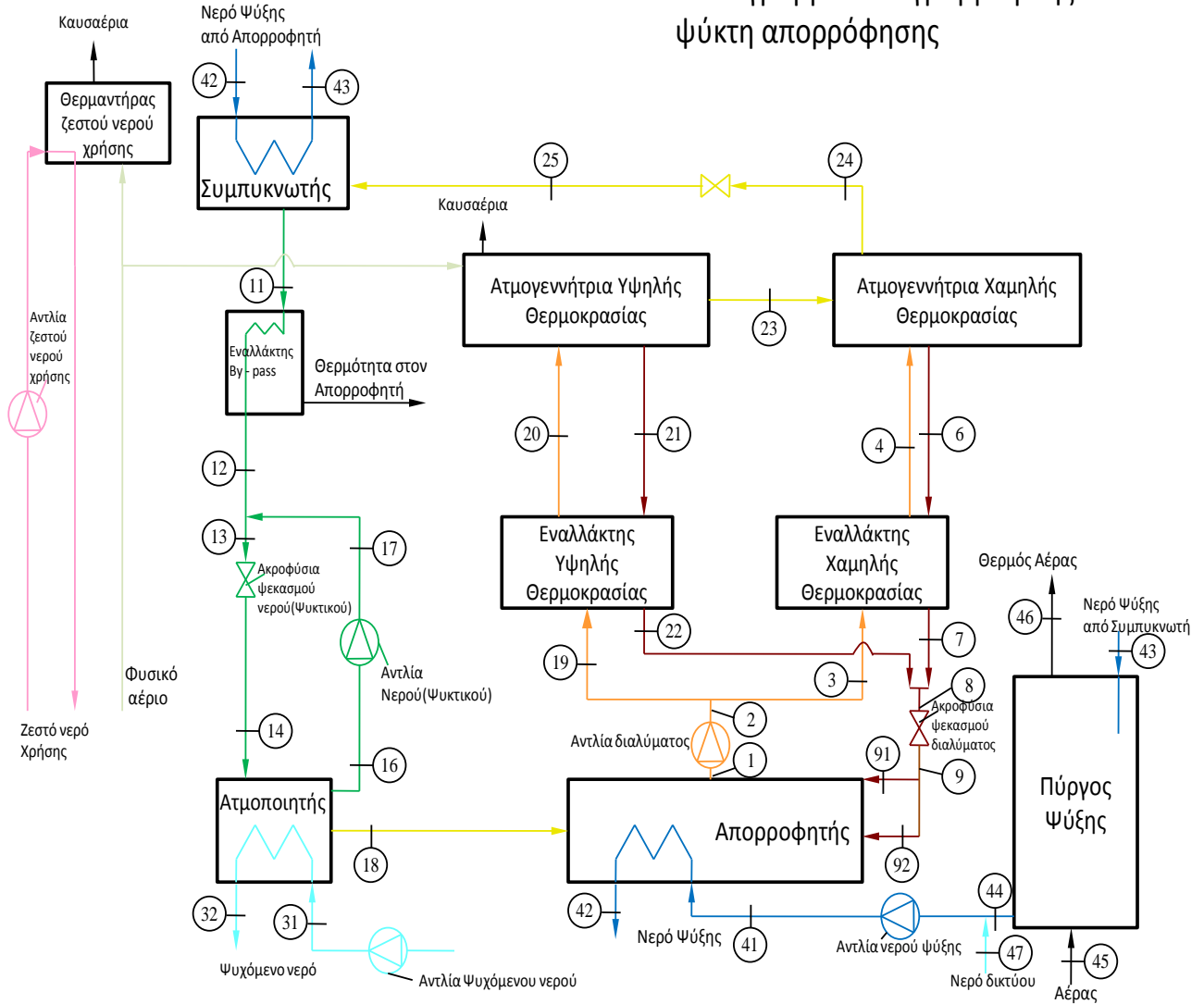
Ο ατμοποιητής και ο απορροφητής βρίσκονται σε πίεση σημαντικά χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική και έτσι αέρας μπορεί να διαρρεύσει μέσα στον ψύκτη απορρόφησης. Επίσης διάβρωση μπορεί να προκύψει στον ψύκτη, παράγοντας ένα άλλο ασυμπύκνωτο αέριο, το υδρογόνο (H₂). Ο αέρας και άλλα ασυμπύκνωτα αέρια στον ατμοποιητή και τον απορροφητή μπορούν να μειώσουν σοβαρά το ποσοστό της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας και μάζας εκεί και συνεπώς να μειώσουν τη συνολική ψυκτική ικανότητα του ψύκτη. Ένα κατάλληλο μέσο για την αφαίρεση των μη συμπυκνώσιμων αερίων είναι απαραίτητο για τη λειτουργία των ψυκτών απορρόφησης μικρής κλίμακας.

Ο ψύκτης έχει εφοδιαστεί με μια αυτόματη συσκευή απαλλαγής αερίων για να αφαιρούνται συνεχώς τα μη συμπυκνώσιμα αέρια από τον απορροφητή και τον ατμοποιητή και να διατηρείται η απαραίτητη χαμηλή πίεση. Η χαμηλή πίεση μπορεί να διατηρείται μέσω της αυτόματης συσκευής απαλλαγής αερίων ή και από περιοδική μηχανική αφαίρεση με εκκένωση. Το πλεονέκτημα από τη χρήση της αυτόματης συσκευής απαλλαγής αερίων είναι ότι τα μη συμπυκνώσιμα αέρια αφαιρούνται συνεχώς από τον ατμό του ψυκτικού μέσου, έτσι ώστε η πίεση στο δοχείο του απορροφητή και του ατμοποιητή να παραμένει σταθερή μέχρι ο θάλαμος αποθήκευσης να γεμίσει. Τα μη συμπυκνώσιμα αέρια που παράγονται στο πάνω δοχείο (στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας και στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας) είναι δύσκολο να αφαιρεθούν με την αυτόματη συσκευή απαλλαγής αερίων. Ακόμη και αν εγκατασταθεί μια αυτόματη μονάδα απαλλαγής για το σκοπό αυτό, μηχανική αφαίρεση με εκκένωση ακόμη απαιτείται για να εξαλειφθούν τα μη συμπυκνώσιμα αέρια από το θάλαμο αποθήκευσης και το πάνω δοχείο.

5.4. Περιγραφή ισολογισμού BCT-16

5.4.1 Περιγραφή ισολογισμού ενέργειας και μάζας

Μονογραμμικό διάγραμμα ροής ψύκτη απορρόφησης



- Πλούσιο Διάλυμα
- Φτωχό Διάλυμα
- Υδρατμός
- Νερό (Ψυκτικό Μέσο)
- Ψυχόμενο Νερό
- Νερό Συμπυκνωτή
- Ζεστό Νερό Χρήσης
- Φυσικό Αέριο

Στον ενεργειακό ισολογισμό της παραπάνω διάταξης ξεκινάμε από τον ατμοποιητή. Πιο συγκεκριμένα από την (ανα)κυκλοφορία του ψυκτικού μας μέσου που είναι το νερό. Γνωρίζουμε την μάζα του νερού που γίνεται κορεσμένος ατμός (σημείο 18) καθώς και την αναλογία του ψυκτικού που διαχωρίζεται σε κορεσμένο νερό (σημείο 16) και σε κορεσμένο ατμό. Από αυτά βρίσκουμε την συνολική μάζα του ψυκτικού (σημείο 14) και την μάζα του κορεσμένου νερού που δεν ατμοποιήθηκε.

Ακόμα , γνωρίζουμε την μάζα του ψυχόμενου νερού που θα χρησιμοποιήσουμε στον ατμοποιητή (σημεία 31 , 32) καθώς και τις θερμοκρασίες αυτών. Έτσι, από το ισοζύγιο ενέργειας που εφαρμόζουμε στον ατμοποιητή μπορούμε εύκολα να βρούμε την ισχύ που καταναλώνει. Στη συνέχεια, με δεδομένη την πίεση που επικρατεί (χαμηλή πίεση) και τις ενθαλπίες των σημείων 16 και 18 (ως κορεσμένο νερό και κορεσμένος ατμός), με τη βοήθεια της ισχύς του ατμοποιητή βρίσκουμε την ενθαλπία του σημείου 14, η οποία θα είναι ίδια με την ενθαλπία στο σημείο 13. Στο σημείο 13 θα είναι ίδια και η μάζα με αυτή του σημείου 14, όμως επικρατεί διαφορετική πίεση (μέση πίεση) και έτσι μπορούμε να βρούμε τη θερμοκρασία του. Η μάζα στο σημείο 14 θα είναι η μάζα που προέρχεται από το συμπυκνωτή μαζί με τη μάζα της ανακυκλοφορίας. Όμως, η μάζα του σημείου 14 θα είναι ίση με αυτήν που εξέρχεται από την ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας, δηλαδή τη μάζα στο σημείο 24. Αυτή έχει υπολογιστεί ως το άθροισμα των μαζών της ατμογεννήτριας υψηλής θερμοκρασίας (σημείο 23) και αυτής που ρέει από τον απορροφητή μέσω του εναλλάκτη χαμηλής θερμοκρασίας (σημείο 4), μείον τη μάζα του διαλύματος που διαχωρίζεται στην ατμογεννήτρια , δηλαδή στο σημείο 6. Οι μάζες των σημείων αυτών είναι γνωστές.

Έπειτα, συνεχίζουμε τον ισολογισμό μας με την αντλία ανακυκλοφορίας του ψυκτικού νερού. Έχοντας ήδη βρει τη μάζα του κορεσμένου νερού (σημείο 16) και γνωρίζοντας τον ειδικό όγκο (η θερμοκρασία στο σημείο αυτό είναι ίδια με αυτή του σημείου 18 που είναι ο κορεσμένος ατμός), βρίσκουμε το έργο της αντλίας. Οπότε στο σημείο 17 θα έχουμε ,λόγω αντλίας, λίγο μεγαλύτερη ενθαλπία από αυτή του

σημείου 16. Τώρα, από τον ενεργειακό ισολογισμό στο συνδυαστή του ψυκτικού (σημείο 13) βρίσκουμε την ενθαλπία του σημείου 12. Ακόμα, με γνωστή την ενθαλπία και την πίεση (μέση πίεση) του σημείου 12, υπολογίζουμε και τη θερμοκρασία του.

Έχουμε ήδη υπολογίσει τη μάζα και την ενθαλπία στο σημείο 13. Αυτό, θα μας βοηθήσει να κάνουμε το ισοζύγιο στον by-pass εναλλάκτη της διάταξής μας. Στο σημείο 11 έχουμε κορεσμένο νερό από το συμπυκνωτή και με δεδομένη θερμοκρασία βρίσκουμε την ενθαλπία του. Οπότε από τον ενεργειακό ισολογισμό στον εναλλάκτη έχουμε και την ισχύ του.

Το επόμενο βήμα είναι το ισοζύγιο στο συμπυκνωτή της διάταξης. Γνωρίζουμε τη μάζα του νερού ψύξης, δηλαδή των σημείων 41,42,43, καθώς και τις θερμοκρασίες τους. Έτσι, βρίσκουμε εύκολα από το ισοζύγιο την ισχύ του συμπυκνωτή. Μέσω της ισχύς του συμπυκνωτή υπολογίζεται και η ενθαλπία του σημείου 25.

Στη συνέχεια, κάνουμε τους ισολογισμούς στον απορροφητή. Γνωρίζουμε ήδη τη μάζα και τη θερμοκρασία των σημείων 41 και 42 και μέσω του ενεργειακού ισολογισμού, υπολογίζουμε την ισχύ του απορροφητή. Για το σημείο 1 που βρίσκεται μετά τον απορροφητή αλλά πριν την αντλία διαλύματος (φτωχό διάλυμα), με γνωστά τη θερμοκρασία του καθώς και τη συγκέντρωσή του, βρίσκουμε την ενθαλπία του από τα διαγράμματα του βρωμιούχου λιθίου. Το σημείο 1 είναι το φτωχό διάλυμα που χρησιμοποιούμε (βρωμιούχο λίθιο με νερό). Έπειτα, από τον ενεργειακό ισολογισμό στον απορροφητή προκύπτει η ενθαλπία του σημείου 9, το οποίο είναι το πλούσιο διάλυμα. Με τα δεδομένα αυτά υπολογίζουμε τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία του.

Σειρά έχει η αντλία του διαλύματος που βρίσκεται ανάμεσα στα σημεία 1 και 2. Παρόμοια με την αντλία ανακυκλοφορίας, η μάζα και η συγκέντρωση του διαλύματος δεν επηρεάζεται από την αντλία διαλύματος. Αφού υπολογιστεί ο όγκος του διαλύματος από τα διαγράμματα του βρωμιούχου λιθίου, βρίσκουμε το έργο της αντλίας.

Λόγω του έργου, η ενθαλπία του σημείου 2 θα είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του σημείου 1.

Από τα διαγράμματα LiBr υπολογίζεται η ενθαλπία του σημείου 4, με γνωστή τη συγκέντρωση (ίδια με τη συγκέντρωση του σημείου 1) και τη θερμοκρασία. Η ενθαλπία του σημείου 3 (όπως και η ενθαλπία του σημείου 19) θα είναι ίδια με την ενθαλπία του σημείου 2. Η μάζα του σημείου 3 θα είναι ίδια με τη μάζα του σημείου 4, η οποία είναι γνωστή. Έτσι, εύκολα υπολογίζεται η ισχύς του εναλλάκτη χαμηλής θερμοκρασίας με ισολογισμό ενέργειας. Στη συνέχεια, υπολογίζεται εύκολα η συγκέντρωση στο σημείο 6 από το ισοζύγιο μάζας του εναλλάκτη, η οποία θα είναι ίδια με τη συγκέντρωση του σημείου 7. Με δεδομένη, επιπλέον, τη θερμοκρασία του σημείου 7 υπολογίζουμε από τα διαγράμματα LiBr την ενθαλπία του. Τώρα, με τη βοήθεια της ισχύς καθώς και με τη μάζα του σημείου 6, η οποία είναι ήδη γνωστή, βρίσκουμε την ενθαλπία του σημείου 6.

Σειρά έχει το ισοζύγιο στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας. Εδώ, η ενθαλπία του σημείου 24 είναι ίδια με την ενθαλπία του σημείου 25 που έχουμε ήδη βρει από τον ισολογισμό στο συμπυκνωτή. Για το σημείο 23 και για το σημείο 21 γνωρίζουμε την θερμοκρασία τους, η οποία είναι αυτή που επικρατεί στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας. Οπότε, με γνωστή την πίεση που επίσης επικρατεί στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, βρίσκουμε την ενθαλπία του σημείου 23, η οποία είναι αναγκαία για την επίλυση του ενεργειακού ισολογισμού στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας. Εύκολα τώρα, από τον ενεργειακό ισολογισμό στην ατμογεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας, βρίσκουμε την ισχύ της.

Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε τον ενεργειακό ισολογισμό στην ατμογεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας. Με δεδομένα τις θερμοκρασίες και τις συγκεντρώσεις των σημείων 20 και 21 (η συγκέντρωση στο σημείο 20 είναι ίδια με αυτή του σημείου 1), από τα διαγράμματα LiBr βρίσκουμε τις ενθαλπίες τους. Η ενθαλπία του σημείου 23 έχει βρεθεί από τον ισολογισμό της ατμογεννήτριας χαμηλής

θερμοκρασίας, οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ της ατμογεννήτριας υψηλής θερμοκρασίας.

Τώρα, για τον υπολογισμό της ενθαλπίας του σημείου 22 χρειαζόμαστε το ισοζύγιο του εναλλάκτη υψηλής θερμοκρασίας. Οι μάζες και οι συγκεντρώσεις των σημείων 19 και 22 θα είναι ίδιες με αυτές των σημείων 20 και 21 αντίστοιχα. Οπότε με γνωστή την μάζα στο σημείο 19 και τις ενθαλπίες των σημείων 19 και 20 υπολογίζεται η ισχύς του εναλλάκτη υψηλής θερμοκρασίας. Με τη βοήθεια της ισχύς βρίσκουμε την ενθαλπία στο σημείο 22.

Σειρά έχει το ισοζύγιο στο συνδυαστή του διαλύματος, δηλαδή στο σημείο 8. Εφαρμόζοντας ενεργειακό ισολογισμό στα ρεύματα που διέρχονται από τα σημεία 7 και 18, υπολογίζουμε την ενθαλπία του σημείου 8. Η ενθαλπία αυτή θα είναι ίδια με την ενθαλπία του σημείου 9 που ήδη έχουμε υπολογίσει. Ακόμα από τον ισολογισμό μάζας μπορούμε να υπολογίσουμε και τη συγκέντρωση του σημείου 8.

Τέλος, κάνουμε υπολογισμούς για τον πύργο ψύξης της διάταξης μας. Γνωρίζουμε τη θερμοκρασία του σημείου 45 και του 47 καθώς και τη σχετική υγρασία του σημείου 45. Οπότε, για δεδομένη πίεση (πίεση περιβάλλοντος) βρίσκουμε εύκολα τις ενθαλπίες των σημείων 41, 43, 45 και 47. Έπειτα, για γνωστή μάζα στο σημείο 47, μπορούμε να βρούμε μέσω ενεργειακού ισολογισμού την ενθαλπία στο σημείο 44. Έτσι, είναι πλέον εφικτό να υπολογίσουμε και την ισχύ στον πύργο ψύξης. Αν γνωρίζουμε και τη μάζα αέρα που περνάει από το σημείο 45, με τη βοήθεια της ισχύς μπορούμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία του σημείου 46.

Ο COP υπολογίζεται εύκολα ως το πηλίκο της ισχύς του ατμοποιητή προς την ισχύ της ατμογεννήτριας υψηλής θερμοκρασίας.

5.4.2 Επίλυση ισολογισμών BCT-16 σε Mathcad

Από μετρήσεις που έγιναν σε διάφορα σημεία στη διάταξη[20] καθώς και με τη βοήθεια του προγράμματος Mathcad, υπολογίστηκε ο βαθμός συμπεριφοράς για θερμοκρασία εξόδου ψυχόμενου νερού 6.9 °C.

Σημείωση: Με κίτρινο χρώμα είναι οι μετρήσεις που έγιναν σε συγκεκριμένα σημεία.[20]

Τα μεγέθη είναι μετρομημένα στις εξής μονάδες :

P : bar

m : kg/s

V : m³/kg

T : °C

ρ : kg/m³

Q,W : kW

C_p : kJ/kg-°C

$$m_1 := 0.09366 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{18} := 0.006575 \text{ [kg/s]}$$

$$m_9 := m_1 - m_{18} \quad m_9 = 0.087085 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{20} := 0.05567 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{23} := 0.003725 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{21} := m_{20} - m_{23} \quad m_{21} = 0.051945 \text{ [kg/s]}$$

$$m_4 := 0.03799 \text{ [kg/s]}$$

$$m_6 := 0.03514 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{10} := m_4 - m_6 \quad m_{10} = 0.00285 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{24} := m_{23} + m_4 - m_6 \quad m_{24} = 0.006575 \text{ [kg/s]}$$

$$\begin{aligned}
m_{25} &:= m_{24} & m_{25} &= 0.006575 \text{ [kg/s]} \\
m_{12} &:= m_{25} & m_{12} &= 0.006575 \text{ [kg/s]} \\
m_{11} &:= m_{12} & m_{11} &= 0.006575 \text{ [kg/s]} \\
m_7 &:= m_6 & m_7 &= 0.03514 \text{ [kg/s]} \\
m_{22} &:= m_{21} & m_{22} &= 0.051945 \text{ [kg/s]} \\
m_8 &:= m_7 + m_{22} & m_8 &= 0.087085 \text{ [kg/s]}
\end{aligned}$$

Ανακυκλοφορία ψυκτικού μέσου :

$$m_{18} = 0.006575 \text{ [kg/s]}$$

$$RSR := 0.3$$

όπου RSR η αναλογία διαχωρισμού του ψυκτικού

$$m_{14} := \frac{m_{18}}{(1 - RSR)} \quad m_{14} = 0.009393 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{16} := RSR \cdot m_{14} \quad m_{16} = 0.002818 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{17} := m_{16} \quad m_{17} = 0.002818 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{13} := m_{12} + m_{17} \quad m_{13} = 0.0093929 \text{ [kg/s]}$$

Από ισοζύγιο ενέργειας στον Ατμοποιητή έχω :

$$m_{31} := 0.55 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{32} := m_{31}$$

$$c_p := 4.2 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{°C]}$$

$$T_{31} := 13.5 \text{ [°C]}$$

$$T_{32} := 6.9 \text{ [°C]}$$

$$Q_{EVP} := m_{31} \cdot c_p \cdot (T_{31} - T_{32})$$

$$Q_{EVP} = 15.246 \text{ [kW]}$$

Για το σημείο 16 θεωρούμε κορεσμένο νερό χαμηλής πίεσης, ενώ για το σημείο 18 θεωρούμε κορεσμένο ατμό χαμηλής πίεσης. Από τα διαγράμματα νερού ατμού προκύπτουν οι ενθαλπίες[21]

$$P_{low} := 0.007807 \text{ [bar]}$$

$$h_{16} := 14.36 \text{ [kJ/kg]} \quad h_{18} := 2507.85 \text{ [kJ/kg]}$$

$$T_{18} := 3.42 \text{ [°C]} \quad T_{16} := T_{18}$$

$$h_{14} := \frac{(m_{16} \cdot h_{16} + m_{18} \cdot h_{18} - Q_{EVP})}{m_{14}}$$

$$h_{14} = 136.655 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{13} := h_{14}$$

$$h_{13} = 136.655 \text{ [kJ/kg]}$$

$$m_{13} = 0.009393 \text{ [kg/s]}$$

Με γνωστή ενθαλπία για μέση πίεση είναι :

$$T_{13} := 32.6 \text{ [°C]}$$

Το έργο της αντλίας του ψυκτικού νερού W_{RCP} , για ειδικό όγκο νερού κατάστασης 16 θα είναι :

$$P_{med} := 0.08741 \text{ [bar]}$$

$$V_{16} := 0.0010001 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$W_{\text{RCP}} := m_{16} \cdot (P_{\text{med}} - P_{\text{low}}) \cdot V_{16} \cdot (10^2) \quad W_{\text{RCP}} = 2.243 \times 10^{-5} \text{ [kW]}$$

$$h_{17} := h_{16} + \frac{W_{\text{RCP}}}{m_{16}} \quad h_{17} = 14.368 \text{ [kJ/kg]} \quad T_{17} := 3.42 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Γνωρίζοντας τις ενθαλπίες 13 και 17 μπορώ να βρω τη 12:

$$h_{12} := \frac{(m_{13} \cdot h_{13} - m_{17} \cdot h_{17})}{m_{12}} \quad h_{12} = 189.063 \text{ [kJ/kg]} \quad T_{12} := 45.2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Στη θέση 11 μετά το Συμπυκνωτή έχουμε κορεσμένο νερό και γνωστή θερμοκρασία, άρα γνωρίζουμε και την ενθαλπία του:

$$T_{11} := 43.2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_{11} := P_{\text{med}}$$

$$h_{11} := 180.826 \text{ [kJ/kg]}$$

Έτσι τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε και το ποσό θερμότητας που μεταφέρει ο By-Pass Εναλλάκτης στον Απορροφητή:

$$Q_{\text{BP}} := m_{11} \cdot (h_{11} - h_{12}) \quad Q_{\text{BP}} = -0.05416 \text{ [kW]}$$

Για το Συμπυκνωτή γνωρίζουμε τις θερμοκρασίες του νερού ψύξης και την παροχή μάζας του.

$$T_{42} := 36.2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{43} := 39.45 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$m_{42} := 1.15 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{43} := m_{42}$$

$$m_{43} = 1.15 \text{ [kg/s]}$$

Άρα από το ισοζύγιο ενέργειας βρίσκω και την ενθαλπία του σημείου 25:

$$Q_{\text{CON}} := m_{42} \cdot c_p \cdot (T_{43} - T_{42}) \quad Q_{\text{CON}} = 15.697 \text{ [kW]}$$

$$m_{25} = 0.006575 \text{ [kg/s]}$$

$$h_{25} := \frac{Q_{\text{CON}} + m_{11} \cdot h_{11}}{m_{25}} \quad h_{25} = 2568.278 \text{ [kJ/kg]}$$

Για τον Απορροφητή γνωρίζουμε τις θερμοκρασίες του νερού ψύξης, την παροχή μάζας του καθώς και τη συγκέντρωση του αραιού διαλύματος:

$$T_{41} := 32.0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$m_{41} := m_{42}$$

$$x_1 := 0.5753$$

$$Q_{\text{ABS}} := m_{41} \cdot c_p \cdot (T_{42} - T_{41}) \quad Q_{\text{ABS}} = 20.286 \text{ [kW]}$$

Για την ενθαλπία του σημείου 1 γνωρίζοντας τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση, προκύπτει από τα διαγράμματα LiBr[22] και η ενθαλπία:

$$T_1 := 36.9 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h_1 := h_{\text{LiBr}}(x_1, T_1) \quad h_1 = 97.97 \text{ [kJ/kg]}$$

Για το σημείο 9 γνωρίζουμε και τη συγκέντρωση, άρα μπορούμε να βρούμε και τη θερμοκρασία:

$$x_9 := \frac{m_1}{m_9} \cdot x_1 \quad x_9 = 0.618736$$

Έτσι υπολογίζοντας το ισοζύγιο ενέργειας στον Απορροφητή προκύπτει και η ενθαλπία του σημείου 9:

$$h_9 := \frac{(Q_{ABS} - Q_{BP} + m_1 \cdot h_1 - m_{18} \cdot h_{18})}{m_9} \quad h_9 = 149.588 \text{ [kJ/kg]} \quad T_9 := 52.65 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Υπολογίζουμε την ενθαλπία στο σημείο 2, αφού πρώτα υπολογίσουμε το έργο της αντλίας του διαλύματος W_{sp} :

$$\rho_1 := \rho_{LiBr}(T_1, x_1) \quad \rho_1 = 1662.18 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_1 := \frac{1}{\rho_1} \quad V_1 = 6.016 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$P_{high} := 0.8863 \text{ [bar]}$$

$$W_{sp} := m_1 \cdot V_1 \cdot (P_{high} - P_{low}) \cdot (10^2) \quad W_{sp} = 0.00495 \text{ [kW]}$$

$$h_2 := h_1 + \frac{W_{sp}}{m_1} \quad h_1 = 97.97 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_2 = 98.023 \text{ [kJ/kg]}$$

Γνωρίζουμε τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του ρεύματος 4, άρα μπορούμε να βρούμε την ενθαλπία του με σκοπό να υπολογίσουμε την ισχύ του Εναλλάκτη Χαμηλής Θερμοκρασίας.

$$x_4 := x_1$$

$$T_4 := 74.0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_6 := 92.9 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h_4 := h_{LiBr}(x_4, T_4) \quad h_4 = 171.648 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_3 := h_2$$

$$h_{19} := h_2$$

$$m_3 := m_4 \quad m_3 = 0.03799 \text{ [kg/s]}$$

$$Q_{LTHX} := m_3 \cdot (h_4 - h_3) = 2.797$$

$$Q_{LTHX} = 2.797 \text{ [kW]}$$

Από το ισοζύγιο ενέργειας στον Εναλλάκτη Χαμηλής Θερμοκρασίας μπορούμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία του ρεύματος 7:

$$T_7 := 49.3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$x_6 := x_4 \cdot \frac{m_4}{m_6} \quad x_6 = 0.62196$$

$$x_7 := x_6 \quad x_7 = 0.62196$$

$$h_7 := h_{\text{LiBr}}(x_7, T_7) \quad h_7 = 145.086 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_6 := h_7 + \frac{Q_{LTHX}}{m_6} \quad h_6 = 224.684 \text{ [kJ/kg]}$$

Για την Ατμογεννήτρια Χαμηλής Θερμοκρασίας έχουμε:

$$h_{24} := h_{25} \quad h_{24} = 2568.278 \text{ [kJ/kg]}$$

$$T_{21} := 154.1$$

$$T_{23} := T_{21} \quad T_{23} = 154.1 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_{21} := P_{\text{high}}$$

$$P_{23} := P_{\text{high}} \quad P_{23} = 0.8863 \text{ [bar]}$$

άρα για υψηλή πίεση η ενθαλπία είναι ίση με:

$$h_{23} := h(T_{23}, P_{23}) = 2785.29 \text{ [kJ/kg]}$$

$$Q_{LTRG} := m_{24} \cdot h_{24} - m_{23} \cdot h_{23} + m_6 \cdot h_6 - m_4 \cdot h_4$$

$$Q_{LTRG} = 7.886 \text{ [kW]}$$

Επίσης γνωρίζουμε τη συγκέντρωση του ρεύματος 21 και τη θερμοκρασία του, οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε την ενθαλπία του καθώς και τη θερμοκρασία του ρεύματος 20 βρίσκοντας στη συνέχεια και την ενθαλπία του 20:

$$x_{20} := x_1$$

$$T_{20} := 127.5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$x_{21} := 0.6166$$

$$h_{20} := h_{\text{LiBr}}(x_{20}, T_{20}) \quad h_{20} = 278.535 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{21} := h_{\text{LiBr}}(x_{21}, T_{21}) \quad h_{21} = 338.731 \text{ [kJ/kg]}$$

$$Q_{\text{HTRG}} := m_{23} \cdot h_{23} + m_{21} \cdot h_{21} - m_{20} \cdot h_{20} \quad Q_{\text{HTRG}} = 12.465 \text{ [kW]}$$

Από το ισοζύγιο ενέργειας στον Εναλλάκτη Υψηλής Θερμοκρασίας μπορούμε να βρούμε την ενθαλπία του ρεύματος 22:

$$m_{19} := m_{20} = 0.05567 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{22} := m_{21} = 0.05194 \text{ [kg/s]}$$

$$x_{22} := x_{21} = 0.6166$$

$$x_{19} := x_{20} = 0.5753$$

$$Q_{\text{HTHX}} := m_{19} \cdot (h_{20} - h_{19}) \quad Q_{\text{HTHX}} = 10.049 \text{ [kW]}$$

$$h_{22} := h_{21} - \frac{Q_{\text{HTHX}}}{m_{21}} \quad h_{22} = 145.274 \text{ [kJ/kg]}$$

Από το ισοζύγιο ενέργειας στον Συνδυαστή του διαλύματος (Combiner) προκύπτει:

$$h_8 := \frac{(m_{22} \cdot h_{22} + m_7 \cdot h_7)}{m_8} \quad h_8 = 145.198 \text{ [kJ/kg]}$$

$$x_8 := \frac{m_{22} \cdot x_{22} + m_7 \cdot x_7}{m_8} \quad x_8 = 0.61876$$

Για τον Πύργο Ψύξης έχουμε:

$$T_{45} := 28.8 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$rh_{45} := 0.409$$

$$T_{47} := 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Με γνωστές θερμοκρασίες, για πίεση περιβάλλοντος $P_0 = 1,01325 \text{ bar}$, έχουμε από τους πίνακες[21] τις ενθαλπίες:

$$h_{41} := 134.14 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{43} := 159.16 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{47} := 84 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{45} := 29.23 \text{ [kJ/kg]}$$

Με δεδομένα την παροχή αέρα στο σημείο 45 και την παροχή νερού δικτύου στο σημείο 47 μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ του πύργου ψύκτη:

$$m_{45} := 1.1 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{47} := 0.05 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{44} := m_{43} - m_{47}$$

$$h_{44} := \frac{m_{41} \cdot h_{41} - m_{47} \cdot h_{47}}{m_{44}}$$

$$Q_{CT} := m_{43} \cdot (h_{43} - h_{44})$$

$$h_{46} := h_{45} + \frac{Q_{CT}}{m_{45}}$$

$$m_{43} = 1.15 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{44} = 1.1 \text{ [kg/s]}$$

$$h_{44} = 136.419 \text{ [kJ/kg]}$$

$$Q_{CT} = 26.152 \text{ [kW]}$$

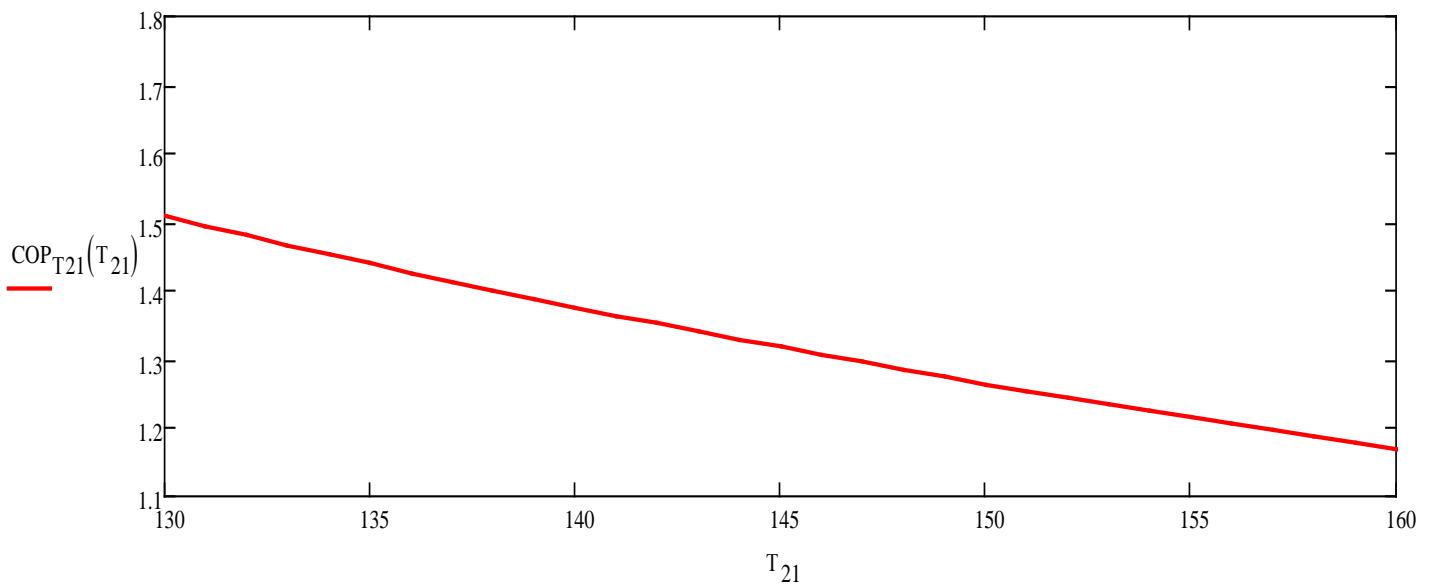
$$h_{46} = 53.005 \text{ [kJ/kg]}$$

Τέλος ο COP υπολογίζεται :

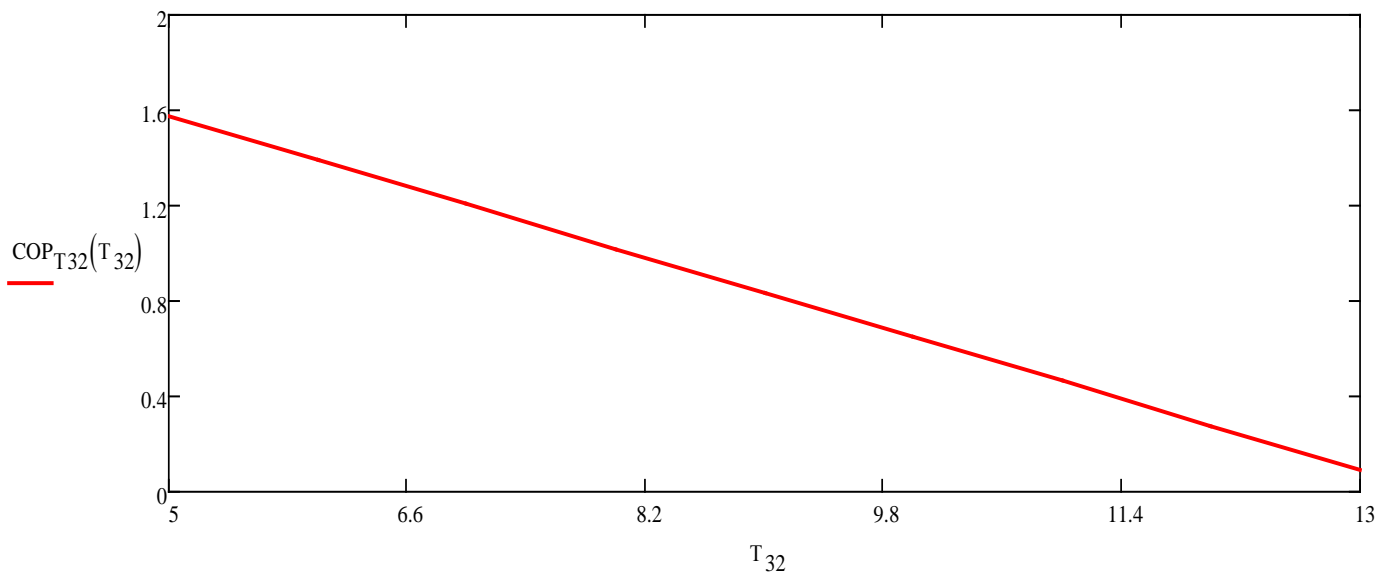
$$\text{COP} := \frac{Q_{\text{EVP}}}{Q_{\text{HTRG}}}$$

$$\text{COP} = 1.223$$

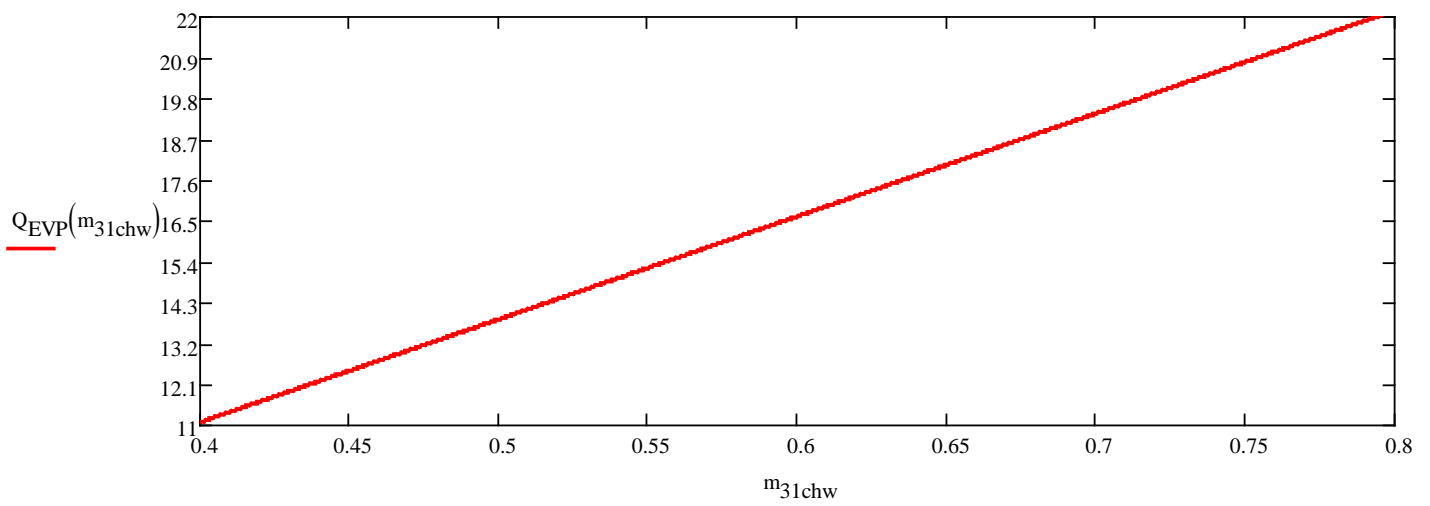
Στα παρακάτω διαγράμματα μπορούμε να δούμε τις μεταβολές του συντελεστή συμπεριφοράς (COP) για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και ροής μάζας νερού.



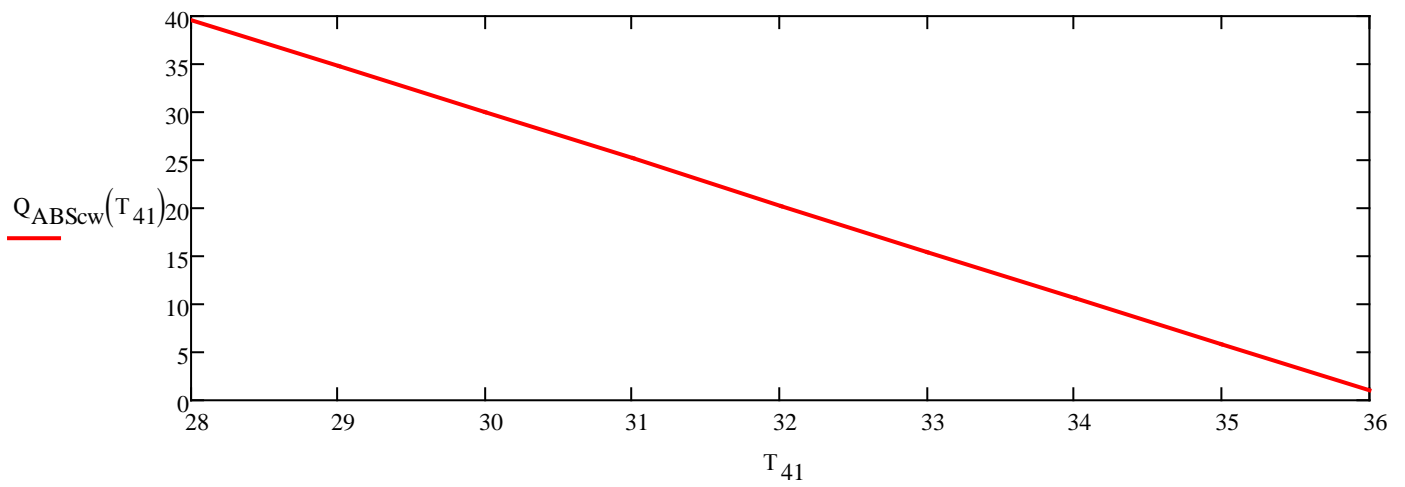
Διάγραμμα 5.4.2.1. Μεταβολή του COP συναρτήσει της θερμοκρασίας του Φυσικού αερίου που λειτουργεί ως πηγή πρόσδοσης θερμότητας.



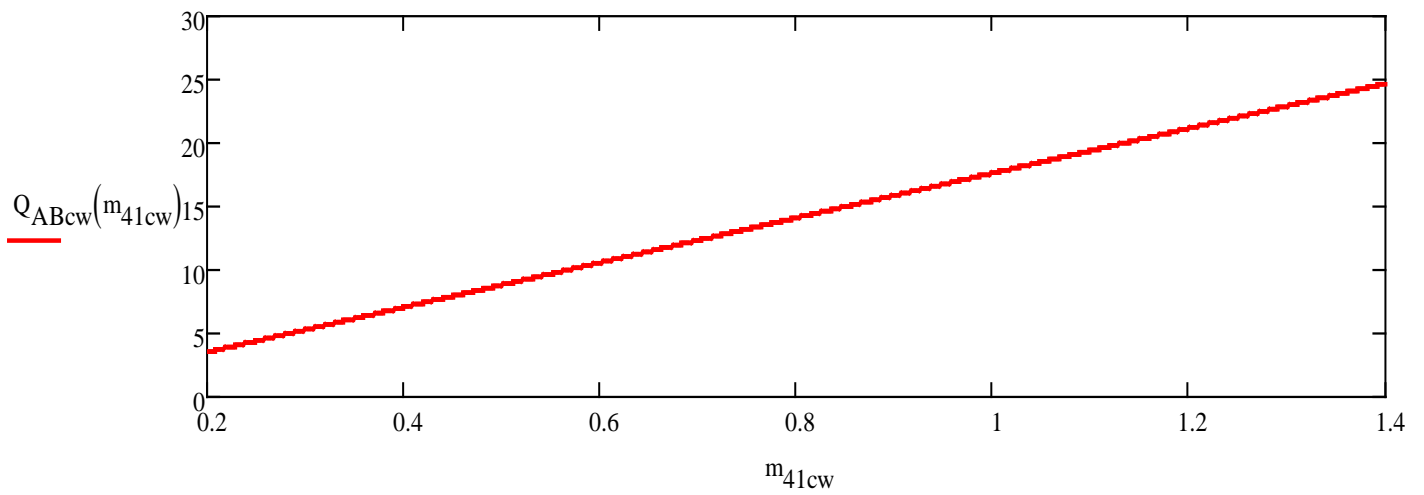
Διάγραμμα 5.4.2.2. Μεταβολή του COP συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του ψυχόμενου



Διάγραμμα 5.4.2.3. Μεταβολή της ισχύος του ατμοποιητή συναρτήσει της ροής μάζας του ψυχόμενου νερού στον Ατμοποιητή.



Διάγραμμα 5.4.2.4. Μεταβολή της ισχύς του απορροφητή συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού ψύξης.



Διάγραμμα 5.4.2.5. Μεταβολή της ισχύς του απορροφητή συναρτήσει της μάζας ροής του νερού ψύξης.

6. Συστήματα ΑΠΕ και ψύκτες απορρόφησης

6.1. Κάλυψη με ηλιακή ενέργεια

6.1.1. Η ηλιακή ακτινοβολία

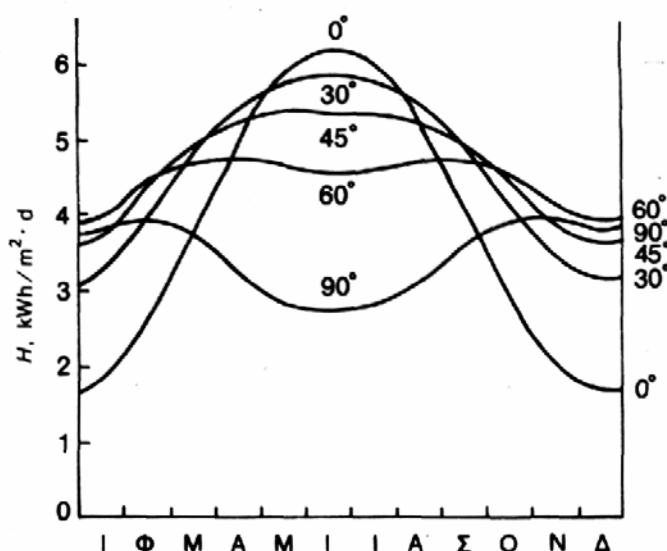
Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια αστείρευτη ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, καθώς ανά πάσα χρονική στιγμή περίπου 173.000 TW ηλιακής ισχύος διασχίζουν τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Παράλληλα, η ηλιακή ενέργεια είναι η πλέον αξιοποιούμενη από τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας στον τομέα κάλυψης των θερμικών αναγκών, ενώ η αντίστοιχη τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς επιδιώκοντας να καταστεί πλήρως ανταγωνιστική των συμβατικών πηγών ενέργειας. Για τη μελέτη και αποδοτική λειτουργία ενός οποιουδήποτε ηλιακού συστήματος είναι απαραίτητη η γνώση της διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας, μέσω του προσδιορισμού της προσπίπτουσας σε μια επιφάνεια ακτινοβολίας, συνυπολογίζοντας την κλίση και τον προσανατολισμό αυτής καθώς και το χρόνο και τον τόπο της μελέτης. Το θέμα του προσδιορισμού της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας είναι άκρως επίκαιρο για την περίπτωση της χώρας μας, η οποία εμφανίζει υψηλή ηλιοφάνεια σε όλη τη διάρκεια του έτους, καθιστώντας τις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας ιδιαίτερα αποδοτικές και οικονομικά συμφέρουσες.

Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται με την ηλιακή ακτινοβολία από τον ήλιο, ο οποίος βρίσκεται σε μια μέση απόσταση $149,6 \cdot 10^6$ km (το μήκος αυτό αντιστοιχεί σε μία αστρονομική μονάδα, 1AU) από τη γη. Η ετήσια μεταβολή της απόστασης ήλιου-γης, λόγω της ελλειπτικής μορφής της τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο είναι $\pm 1.7\%$ και επαναλαμβάνεται με μικρές μεταβολές από χρόνο σε χρόνο. Η αντίστοιχη διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του πλανήτη μας εκτιμάται στα επίπεδα του $\pm 3,4\%$.

Από υφιστάμενες αναλύσεις υπολογίζεται ότι ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια (ανά μονάδα χρόνου) υπό μορφή ακτινοβολίας ισχύος $3,72 \cdot 10^{23}$ kW. Η ποσότητα εκπεμπόμενης ενέργειας, ανά μονάδα χρόνου, που φτάνει σε μια μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση της ακτινοβολίας, στη μέση ετήσια απόσταση γης - ήλιου, ονομάζεται ηλιακή σταθερά, G_{sc} και ισούται με 1367 W/m^2 . Η ηλιακή ακτινοβολία κατανέμεται σε ένα ευρύ φάσμα μήκους κύματος, δηλαδή από 2500 έως 40000 Angstrom ($1 \text{ Angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$). Σύμφωνα με τις πλέον σύγχρονες αναλύσεις, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται στα μικρά μήκη κύματος, δηλαδή έως τα 3 με 4 μm . Συνεπώς, ακτινοβολία μεγαλύτερη των 4 μm ονομάζεται ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Από τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι το 99% της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνεται σε μήκη κύματος από 0.25 έως 4 μm . Στο ορατό τμήμα της ακτινοβολίας (0.39 - 0.77 μm) περιέχεται το 46.41% της ενέργειας, ενώ στο υπεριώδες (μήκος κύματος < 0.4 μm) περιέχεται το 8.03%. Τέλος η φασματική περιοχή του ηλιακού φωτός με μήκος κύματος > 0.77 μm περιέχει το υπόλοιπο 45.56% της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, χωρίζεται σε άμεση και διάχυτη, ενώ το άθροισμα αυτών είναι η ολική ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία συμβολίζεται με G σε (W/m^2) όταν έχουμε στιγμιαία ένταση. Αντίστοιχα με I σε (J/m^2) περιγράφεται η ωριαία ποσότητα ηλιακής ενέργειας, ενώ με H σε (J/m^2) συμβολίζεται η ημερήσια ή μηνιαία ηλιακή ενέργεια. Άμεση ακτινοβολία καλείται η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει κατ' ευθείαν στην επιφάνεια της γης χωρίς σκέδαση κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα και συμβολίζεται με το δείκτη b , (π.χ. G_b ή I_b κ.λπ.).

Σύμφωνα με αναλύσεις η αριθμητική τιμή της άμεσης ακτινοβολίας εξαρτάται από την απόσταση ήλιου-γης, την ηλιακή απόκλιση δ , το ηλιακό ύψος α , το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ϕ , το υψόμετρο του τόπου Z , την κλίση του εδάφους καθώς και την απορρόφηση και διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα. Διάχυτη ακτινοβολία καλείται η ηλιακή ακτινοβολία που

φτάνει στην επιφάνεια της γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνση της λόγω ανάκλασης ή σκέδασης μέσα στην ατμόσφαιρα. Το τμήμα αυτό της διάχυτης ακτινοβολίας συμβολίζεται με δείκτη s , π.χ. I_s σε (J/m^2). Το υπόλοιπο της διάχυτης ακτινοβολίας προέρχεται από ανάκλαση στην επιφάνεια της γης και συμβολίζεται με δείκτη r , π.χ. I_r σε (J/m^2) κ.λπ. Η συνολική διάχυτη ακτινοβολία, είναι το άθροισμα των επιμέρους I_s και I_r και περιγράφεται με το δείκτη d (π.χ. G_d ή I_d κ.λπ.). Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος, το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία των σωματιδίων και αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Τέλος, η ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας και συμβολίζεται με G ή I ή H . Από την υφιστάμενη εμπειρία είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει μια ηλιακή ακτίνα μέσα στην ατμόσφαιρα τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Αντίστοιχα όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της.



Εικόνα 6.1.1.1. Εξάρτηση μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας μιας επίπεδης επιφάνειας σε συνάρτηση με την κλίση της[25]

Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας

Αισθητήρες θερμοηλεκτρικού τύπου

Ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος αποτελείται από δύο διαφορετικούς μεταλλικούς αγωγούς συνδεδεμένους στα άκρα τους (θερμοστοιχείο). Όταν οι δύο επαφές βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού, η οποία είναι ανάλογη προς τη διαφορά θερμοκρασίας και εξαρτάται από το υλικό των δύο μετάλλων. Για την εφαρμογή του φαινομένου αυτού στη μέτρηση της ακτινοβολίας, η μια επαφή εκτίθεται στην ακτινοβολία, ενώ η άλλη προστατεύεται από αυτήν. Η θερμή επαφή καλύπτεται με μαύρο χρώμα, ώστε να απορροφά την ακτινοβολία, ενώ η ψυχρή επαφή με λευκό χρώμα για να προστατεύεται από αυτή. Επειδή η αναπτυσσόμενη διαφορά δυναμικού από το ένα θερμοζεύγος είναι μικρή, πολλά θερμοζεύγη συνδέονται εν σειρά, ώστε να αυξηθεί η τάση εξόδου. Τα όργανα μέτρησης ακτινοβολίας τέτοιου τύπου έχουν συνήθως τάση εξόδου μερικών mV σε πλήρη κλίμακα ($1000\text{W}/\text{m}^2$).



Εικόνα 6.1.1.2. Αισθητήρας θερμοηλεκτρικού τύπου (πυρανόμετρο)[23]

Αισθητήρες φωτοηλεκτρικού τύπου

Συνηθισμένος τρόπος στον τομέα της ηλιακής ακτινοβολίας με αυτή τη κατηγορία αισθητήρων είναι με τη χρήση του φ/β στοιχείου. Ένα φ/β στοιχείο σχηματίζεται από ημιαγώγιμο υλικό όπως το πυρίτιο. Για κάθε τιμή της ακτινοβολίας αναπτύσσεται μια χαρακτηριστική τιμή ρεύματος-τάσης. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως παρουσιάζει μεγάλη εξάρτηση από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος δεν επηρεάζεται πολύ. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως μεταβάλλεται ανάλογα με τη προσπίπτουσα ακτινοβολία και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση αυτής. Για το σκοπό αυτό συνδέεται μια μικρή αντίσταση στα άκρα του φ/β στοιχείου, ώστε το ρεύμα που θα διέλθει να είναι το δυνατόν κοντύτερα στο ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα της αντίστασης είναι ανάλογη του ρεύματος και συνεπώς και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Όργανα που μετρούν την ακτινοβολία με φ/β στοιχεία έχουν συνήθως τάση εξόδου της τάξης μερικών δεκάδων mV σε πλήρη κλίμακα (1000 W/m²). Τα όργανα αυτού του είδους είναι φθηνότερα από τα αντίστοιχα θερμοηλεκτρικού τύπου. Μειονέκτημα τους είναι ένα μικρό σφάλμα σε μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και η απόκριση σε μικρότερο εύρος του φάσματος.



Εικόνα 6.1.1.3. Αισθητήρες φωτοηλεκτρικού τύπου[23]

6.1.2. Ηλιακοί συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι οι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολύ καλή απόδοση στην θέρμανση χώρων. Η λειτουργία των συλλεκτών βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχάς η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω στην (συνήθως μαύρη) απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας της θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σ' επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σ' αυτή). Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη. Τα υλικά που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό χρωματισμένη μαύρη. Ο βαθμός απορρόφησης των διάφορων απορροφητήρων κυμαίνεται από 0,8 μέχρι 0,98 με το υπόλοιπο 0,2 και 0,02 αντίστοιχα να ανακλάται. Οι ηλιακοί συλλέκτες λοιπόν εκμεταλλεύονται το φαινόμενο του θερμοκηπίου που περιγράφηκε παραπάνω είναι οι μηχανισμοί που πραγματοποιούν τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα. Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στους επίπεδους και τους συγκεντρωτικούς.

Στους επίπεδους συλλέκτες η ηλιακή ενέργεια (άμεση και διάχυτη) απορροφάται κατευθείαν και μετατρέπεται σε θερμότητα στην απορροφητική επιφάνεια. Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες αξιοποιείται μόνο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συλλέγεται από μία μεγάλη

επιφάνεια και με την βοήθεια κατάλληλων οπτικών συστημάτων συγκεντρώνεται για να απορροφηθεί από μία πολύ μικρότερη επιφάνεια.

Ένας βελτιωμένος τύπος επίπεδου συλλέκτη είναι ο συλλέκτης κενού. Βασική ιδέα της κατασκευής είναι η δημιουργία κενού αέρα μεταξύ της διαφανούς και της απορροφητικής επιφάνειας, το οποίο μειώνει τις θερμικές απώλειες και αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη.

Τέλος ανάλογα με το ρευστό που απάγει την θερμότητα οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στους συλλέκτες υγρού και τους συλλέκτες αερίου. Στους πρώτους το ρευστό είναι συνήθως το νερό με διάφορα πρόσθετα και στους δεύτερους είναι συνήθως ο αέρας.[24]

Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

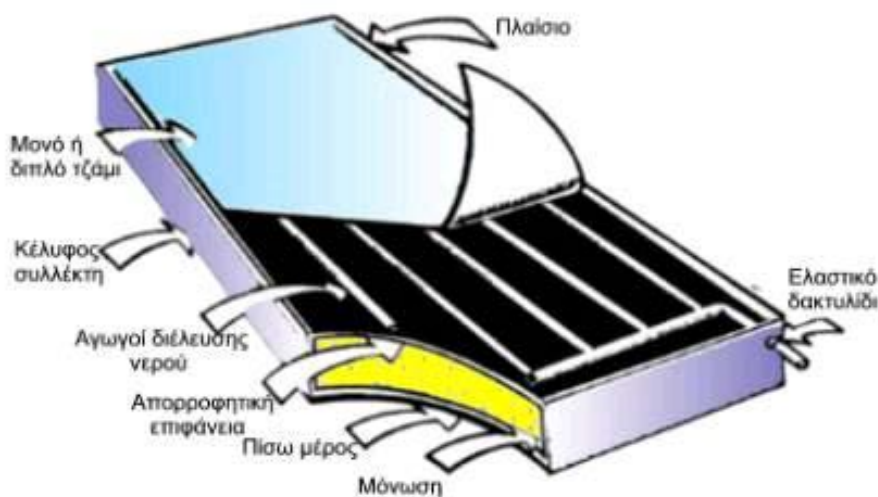
Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία αξιοποιείται για την θέρμανση του νερού και των χώρων ενός κτιρίου. Η σχετικά χαμηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη και οι αυξημένες θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον λόγω των μεγάλων επιφανειών δεν μας επιτρέπουν να πετύχουμε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150°C. Η συνήθης περιοχή λειτουργίας τους είναι από 40°C έως 100°C. Το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας (άμεσης και διάχυτης) απορροφάται από μία επιφάνεια, που συμπεριφέρεται σαν μέλαν σώμα στην ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της απορροφούμενης ακτινοβολίας μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό, ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο περιβάλλον. Το ποσό της θερμότητας που απάγεται από το ρευστό είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη και αποθηκεύεται ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο. Το κέρδος αυτό για ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι 350-400 kWh/m²έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000 kWh/m²έτος.

Μερικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες είναι:

- Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες δια

συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον. Το κάλυμμα είναι συνήθως από γυαλί αλλά μπορεί να είναι και από διαφανές πλαστικό.

- Ο απορροφητήρας ή πλάκα απορρόφησης , η οποία είναι μία μεταλλική επιφάνεια με υψηλή θερμική αγωγιμότητα (συνήθως από χαλκό ή αλουμίνιο) και σκουρόχρωμη επικάλυψη.
- Το δίκτυο μεταφοράς του ρευστού. Αποτελείται από σωλήνες ή αεραγωγούς που κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και είναι σε επαφή με τον απορροφητήρα. Μέσα σε αυτούς κυκλοφορεί το ρευστό που απάγει την θερμότητα από τον απορροφητήρα.
- Η μόνωση της πίσω και των παράπλευρων επιφανειών ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Μόνωση πάχους μεγαλύτερου από 15cm για την πίσω πλευρά του συλλέκτη θεωρείται συνήθως επαρκής.
- Το περίβλημα , μεταλλικό ή πλαστικό πλαίσιο , που συγκρατεί την κατασκευή και προσφέρει προστασία από το περιβάλλον (βροχή, υγρασία, σκόνη).[24]



Εικόνα 6.1.2.1. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

Το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη πρέπει να αφήνει να περάσει το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας και παράλληλα να απορροφά και να ανακλά το μικρότερο τμήμα της. Δηλαδή θα πρέπει να έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας τ και μικρούς συντελεστές απορροφητικότητας α και ανακλαστικότητας ρ . Η διερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία θεωρείται χρήσιμη και απορροφάται στη συνέχεια από τον απορροφητήρα ο οποίος βρίσκεται πίσω από το διαφανές κάλυμμα. Αυτό σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας του απορροφητήρα και εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από αυτόν. Έτσι το διαφανές κάλυμμα θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να εμποδίσει την υπέρυθρη ακτινοβολία να απομακρυνθεί από τον ηλιακό συλλέκτη. Με απλά λόγια το κάλυμμα του συλλέκτη πρέπει να είναι διαφανές για ακτινοβολίες από 0,2 μm έως 2,7 μm και αδιαφανές για ακτινοβολίες μεγαλύτερου μήκους κύματος.

Οι επίπεδοι συλλέκτες τοποθετούνται στραμμένοι προς τον ισημερινό ($\gamma = 0^\circ$) και με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο β τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την περίοδο του έτους που ενδιαφέρει η χρησιμοποίηση του συλλέκτη.

Το ισοζύγιο ενέργειας σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη δίνει την ποσότητα θερμότητας που αποδίδει ο συλλέκτης συναρτήσει του εμβαδού της επιφανείας του, την απορροφούμενη από τον απορροφητήρα ηλιακή ακτινοβολία, το συνολικό συντελεστή θερμικών απωλειών του συλλέκτη και της διαφοράς ανάμεσα στην μέση θερμοκρασία του συλλέκτη και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα:[25]

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_m - T_a)]$$

Όπου:

Q_u , η ωφέλιμη θερμότητα (ισχύς) που αποδίδεται από τον συλλέκτη (W)

A_c , η επιφάνεια του συλλέκτη (επιφάνεια καλύμματος) σε m^2

S , η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία , δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των οπτικών απωλειών (W/m^2)

U_L , ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη, που αντιστοιχεί στις θερμικές απώλειες από το συλλέκτη στο περιβάλλον διά αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_m , η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα ($^\circ C$)

T_a , η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ($^\circ C$)

Ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη U_L αποτελείται από τρεις όρους :

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Όπου:

U_t , ο συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής

U_b , ο συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένα

U_e , ο συντελεστής πλευρικών θερμικών απωλειών

Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία από τον απορροφητήρα υπολογίζεται θεωρώντας ότι στον κεκλιμένο συλλέκτη κλίσης β προσπίπτει ακτινοβολία

(i) άμεση

(ii) διάχυτη από τον ουρανό και

(iii) διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος.

Συνεπώς σε ωριαία βάση ισχύει:

$$S = I_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

Όπου:

β , η γωνία κλίσης της επιφάνειας

ρ , ο συντελεστής ανακλάσεως του εδάφους

I_b , η ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

$$R = \frac{I_T}{I}, R_b = \frac{I_{bT}}{I_b}, R_d = \frac{I_{dT}}{I_d}$$

I_d , η ωριαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
 $(\tau\alpha)_b$, $(\tau\alpha)_d$, $(\tau\alpha)_g$, τα γινόμενα διαπερατότητας-απορροφητικότητας για την άμεση, την διάχυτη από τον ουρανό και την διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος.

Η παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό της απορροφούμενης ενέργειας από τον απορροφητήρα μπορεί να απλοποιηθεί θεωρώντας αντί των τριών γινομένων διαπερατότητας-απορροφητικότητας ένα μέσο γινόμενο $(\tau\alpha)_m$ οπότε:

$$S = (\tau\alpha)_m \cdot I_T$$

Όπου I_T είναι η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη.

Το γινόμενο της διαπερατότητας του καλύμματος επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα $(\tau\alpha)$ είναι ένα μέγεθος που απαιτείται για τους υπολογισμούς των ηλιακών φορτίων. Η ηλιακή ακτινοβολία, αφού διαβεί το διαφανές κάλυμμα και φθάσει στην απορροφητική επιφάνεια, χωρίζεται, και ένα μέρος της απορροφάται, ενώ ένα άλλο ανακλάται πίσω στο κάλυμμα προκαλώντας μια διαδοχική σειρά ανακλάσεων και απορροφήσεων. Για συνήθεις πρακτικές εφαρμογές μπορεί να γίνεται χρήση της προσέγγισης

$$(\tau\alpha) = 1,01 \cdot \tau \cdot \alpha$$

Όπου:

τ , ο συντελεστής διάβασης του γυάλινου καλύμματος

α , ο συντελεστής απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας.

Όμως η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Για το λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, ο Παράγων Θερμικής Απολαβής του συλλέκτη F_R , ο οποίος εκφράζει το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης ισχύος Q_u προς την θερμική ισχύ που θα είχε αποδοθεί αν

ολόκληρος ο απορροφητήρας είχε την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$:

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]}$$

Όπου:

$T_{f,o}$, η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον συλλέκτη (°C)

$T_{f,i}$, η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη (°C)

T_a , η θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

C_p , η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού (J/Kg °C)

\dot{m} , η συνολική παροχή μάζας του συλλέκτη (Kg/s)

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε ένα ηλιακό συλλέκτη επιτυγχάνεται, όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στην θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος είναι:

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]$$

Μέτρο της συμπεριφοράς του συλλέκτη είναι ο βαθμός απόδοσης η δηλαδή ο λόγος της ωφελίμου αποδιδόμενης ενέργειας κατά την διάρκεια χρονικού διαστήματος τ προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Σαν στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη η_i ορίζεται ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος Q_u προς την αντίστοιχη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία $A_c \cdot G_T$:

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{G_T}$$

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μπορεί επίσης να εκφραστεί και συναρτήσει των θερμοκρασιών εισόδου T_i και εξόδου T_o του θερμαινόμενου ρευστού δηλαδή:

$$n_i = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G_T}$$

Συλλέκτες κενού

Η ανάγκη για μείωση των θερμικών απωλειών του συλλέκτη τόσο κατά τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, όσο και κατά τη μετάδοση της θερμότητας από τον απορροφητήρα στο ρευστό, οδήγησε στην επινόηση των συλλεκτών κενού. Οι συλλέκτες αυτοί είναι επίπεδοι συλλέκτες βελτιωμένου τύπου και έχουν σαν βασική κατασκευαστική αρχή την δημιουργία κενού αέρα μεταξύ της διαφανούς επιφάνειας και του απορροφητήρα.

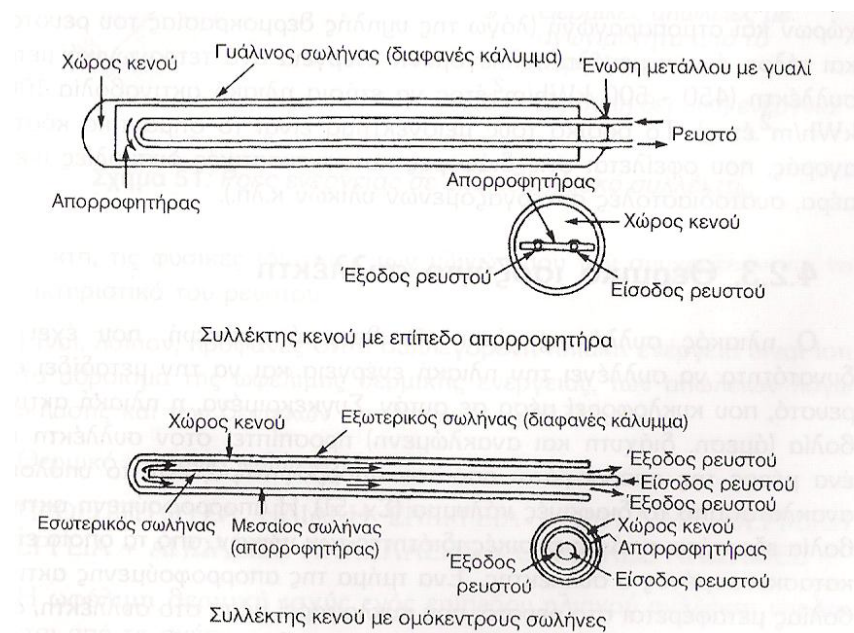
Δύο χαρακτηριστικοί τύποι τέτοιων συλλεκτών είναι ο συλλέκτης κενού με επίπεδο απορροφητήρα και ο συλλέκτης κενού με ομόκεντρους σωλήνες. Στην πρώτη περίπτωση ο απορροφητήρας είναι μία επίπεδη επιφάνεια, που περιλαμβάνει τους σωλήνες εισόδου και εξόδου του ρευστού, η οποία τοποθετείται μέσα σε γυάλινο σωλήνα χωρίς αέρα.

Στην δεύτερη περίπτωση ο συλλέκτης αποτελείται από τρεις ομόκεντρους σωλήνες. Ο εξωτερικός σωλήνας κατασκευάζεται από γυαλί και αποτελεί το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη. Ο μεσαίος σωλήνας είναι ο απορροφητήρας και μεταξύ αυτού και του εξωτερικού σωλήνα υπάρχει κενό αέρα. Ο εσωτερικός σωλήνας αποτελεί τον σωλήνα προσαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη, το οποίο απάγει την θερμότητα και εξέρχεται από τον χώρο μεταξύ εσωτερικού και μεσαίου σωλήνα.

Το χρησιμοποιούμενο ρευστό είναι υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης, αλλά στο συλλέκτη κενού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αέριο. Για να αποφύγουμε τους διαβρωτικούς ατμούς

στα τοιχώματα των σωλήνων, οι οποίοι οφείλονται στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο υγρό, θεωρείται απαραίτητη η χρήση ειδικών πρόσθετων.

Οι συλλέκτες κενού μεταφέρονται εύκολα λόγω του μικρού βάρους τους, μπορούν να τοποθετηθούν οριζόντια σε επίπεδη οροφή, έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης ακόμα και για μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ απορροφητήρα και περιβάλλοντος, είναι κατάλληλοι για θέρμανση ή ψύξη χώρων και ατμοπαραγωγή (λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του ρευστού) και τέλος έχουν μεγάλη συλλεγόμενη ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη ($450-500 \text{ kWh/m}^2$ έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000 kWh/m^2 έτος). Το βασικό τους μειονέκτημα είναι το σημαντικό κόστος αγοράς, που οφείλεται στις διάφορες κατασκευαστικές δυσκολίες (κενό αέρα, συστοδιαστολές συνεργαζόμενων υλικών κτλ).



Εικόνα 6.1.2.2. Συλλέκτες κενού[24]

Συγκεντρωτικοί Ηλιακοί Συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι συσκευές που συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με οπτικά μέσα και στην συνέχεια την απορροφούν και την μετατρέπουν σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας επιτρέπει τη συλλογή θερμότητας σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες ($>180^{\circ}\text{C}$), η οποία αξιοποιείται σε βιομηχανικές χρήσεις και στην παραγωγή ηλεκτρισμού.



Εικόνα 6.1.2.3. Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Ένας συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από το οπτικό σύστημα ή συγκεντρωτήρα και τον δέκτη. Ο συγκεντρωτήρας δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, την συγκεντρώνει και την οδηγεί στον δέκτη, ο οποίος την απορροφά. Η πολλαπλασιασμένη ένταση της προσπίπτουσας στον δέκτη ακτινοβολίας συνεπάγεται μικρότερη επιφάνεια για ένα δεδομένο ποσό ενέργειας, άρα και μειωμένες απώλειες προς το περιβάλλον.

Ο συγκεντρωτήρας μπορεί να είναι καθρέπτης και να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία ή να είναι φακός και να την διαθλά. Ακόμα μπορεί να είναι επίπεδος, παραβολικός, ή να αποτελείται από μία σειρά κινούμενων επίπεδων κατόπτρων, τα οποία με κατάλληλους μηχανισμούς παρακολουθούν την πορεία του ήλιου. Ο δέκτης μπορεί να είναι σημείο, γραμμή, επίπεδη επιφάνεια, κυρτή ή κοίλη επιφάνεια.

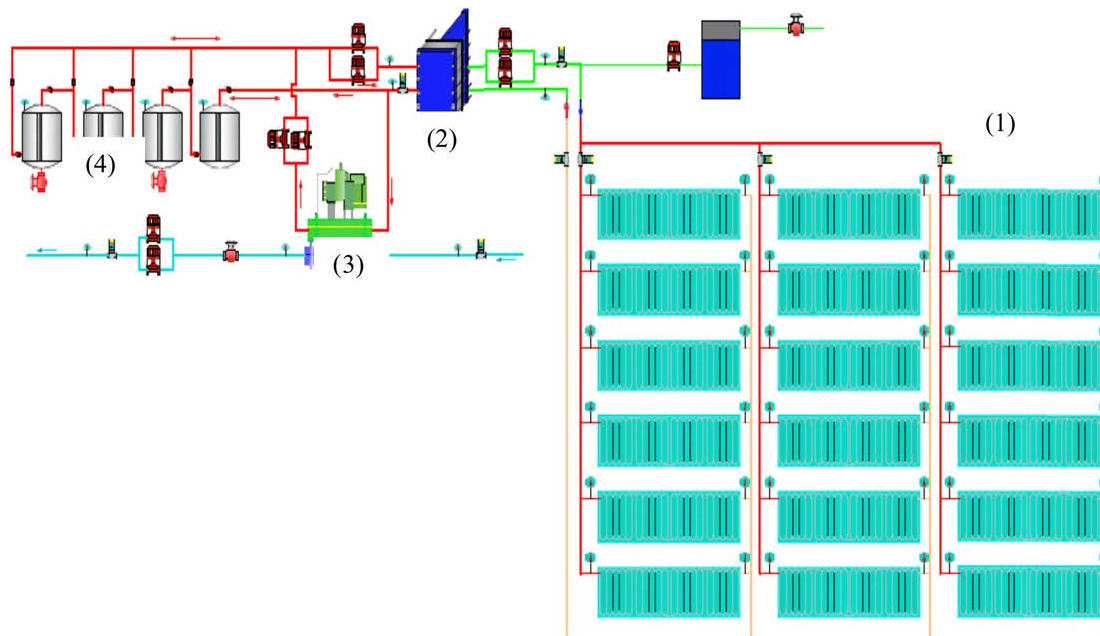
Χαρακτηριστικό μέγεθος των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι ο δείκτης συγκέντρωσης C , που ορίζεται ως το πηλίκο της επιφανείας του συγκεντρωτήρα F_a προς την επιφάνεια του δέκτη F_r . Δηλαδή $C = F_a / F_r$. Οι βασικότεροι τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι οι εξής:

- A. Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επίπεδα κάτοπτρα
- B. Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επιμήκη παραβολικά κάτοπτρα
- Γ. Συγκεντρωτικός συλλέκτης με παραβολοειδές κάτοπτρο
- Δ. Συγκεντρωτικός συλλέκτης με φακό Fresnel
- E. Ηλιακός πύργος

6.1.3. Μελέτη περίπτωσης

Περιγραφή συστήματος[26]

Η παρακάτω εικόνα δείχνει μια σχηματική διάταξη ενός ολοκληρωμένου ηλιακού συστήματος ψύξης, σαν αυτό που εγκαταστάθηκε στο κτίριο του Κέντρο Βιώσιμων Τεχνολογιών Ενέργειας στο University of Nottingham, Νίνκμπο της Κίνας. Αποτελείται από μια συστοιχία ηλιακών συλλεκτών κενού (1), ένα σετ επίπεδων εναλλακτών θερμότητας με πλάκες (2), έναν ψύκτη απορρόφησης (3) και τέσσερις δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού (4).



Εικόνα 6.1.3.1. Σχηματική διάταξη ηλιακού συστήματος ψύξης[26]

Ηλιακός συλλέκτης με σωλήνες κενού

Με σκοπό την εκμετάλλευση της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας, η συστοιχία των ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού τύπου -U, τοποθετήθηκε ώστε να βλέπει απευθείας στο νότο με μια γωνία 25° και μια καθαρή επιφάνεια απορρόφησης 220m^2 . Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να λειτουργεί με απόδοση 84% όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του υγρού στην είσοδο και του αέρα του περιβάλλοντος είναι $\Delta T=0^\circ\text{C}$ και με απόδοση 70% όταν η διαφορά είναι $\Delta T=60^\circ\text{C}$. Το σύστημα έχει τοποθετηθεί με ένα δοχείο διαστολής ώστε να παραλαμβάνει οποιεσδήποτε θερμικές διαστολές που μπορεί να υπάρξουν. Οι σωληνώσεις είναι μονωμένες ώστε να περιορίζεται το ποσοστό των απωλειών ενέργειας κατά τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ των συλλεκτών και των δεξαμενών αποθήκευσης του ζεστού νερού.



Εικόνα 6.1.3.2. Συστοιχία ηλιακών συλλεκτών[26]

Γωνία κλίσης ηλιακών συλλεκτών

Η περιοχή συστοιχίας του συλλέκτη υπερδιαστασιολογήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή ηλιακής ακτινοβολίας του μήνα Ιουλίου (αφού είναι ο θερμότερος μήνας του έτους), αντί για τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία του καλοκαιριού. Αυτό έγινε για να σιγουρευτεί η διαθεσιμότητα επαρκούς παροχής θερμότητας κατά την περίπτωση χαμηλού επιπέδου ηλιακής ακτινοβολίας. Για να βρεθεί η καλύτερη γωνία κατά τη διάρκεια του έτους, διεξήχθη αρχική άσκηση προσομοίωσης και για τη χειμερινή και για την καλοκαιρινή περίοδο. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με τις σχετικές ρουτίνες του Energy Plus με δεδομένα για την πόλη Χανγκτσού (Lat. 30°N), η οποία είναι η κοντινότερη πόλη στο Νίνγκμπο που υπάρχει στη βάση δεδομένων του Energy Plus.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι διαφορετικές γωνίες κλίσης δεν παίζουν τόσο μεγάλο ρόλο και επιπλέον ότι η ενέργεια που συλλέγεται κατά την καλοκαιρινή περίοδο (την πιο σημαντική σε αυτή την περίπτωση) είναι υψηλότερη για χαμηλότερες γωνίες κλίσης. Μια γωνία κλίσης 25° θεωρείται όμως ότι είναι η βέλτιστη για την τοποθέτηση.

Εναλλάκτης θερμότητας

Ένας επίπεδος εναλλάκτης θερμότητας με πλάκες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, εγκαταστάθηκε και έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

Εναλλάκτης θερμότητας πλακών νερού με νερό 160kW

Κύριο υγρό : διάλυμα Γλυκόζη/Νερό σε ποσοστά 30% γλυκόζη / 70% νερό

Θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου = 100/90°C

Διάμετρος εισόδου/ εξόδου = 70mm

Παροχή νερού = 15m³/h

Δευτερεύον υγρό : Νερό

Θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου = 88/98°C

Διάμετρος εισόδου/ εξόδου = 50mm

Παροχή νερού = 15m³/h



Εικόνα 6.1.3.3. Επίπεδος εναλλάκτης θερμότητας[26]

Δεξαμενές αποθήκευσης νερού

Οι δεξαμενές νερού έχουν μια συνολική χωρητικότητα 16,000L (4000L /δεξαμενή) και όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, έχουν τοποθετηθεί σε σειρά ώστε να παραμένει ελεγχόμενη η θερμοκρασία διαστρωμάτωσης. Οι θερμικά διαστρωματωμένες δεξαμενές αποθήκευσης είναι αποτελεσματικά μέσα για την αποθήκευση διακοπτόμενων πηγών ενέργειας και σε περιπτώσεις όπου υπάρχει διαφορά χρόνου ανάμεσα στην παραγωγή και τη ζήτηση.

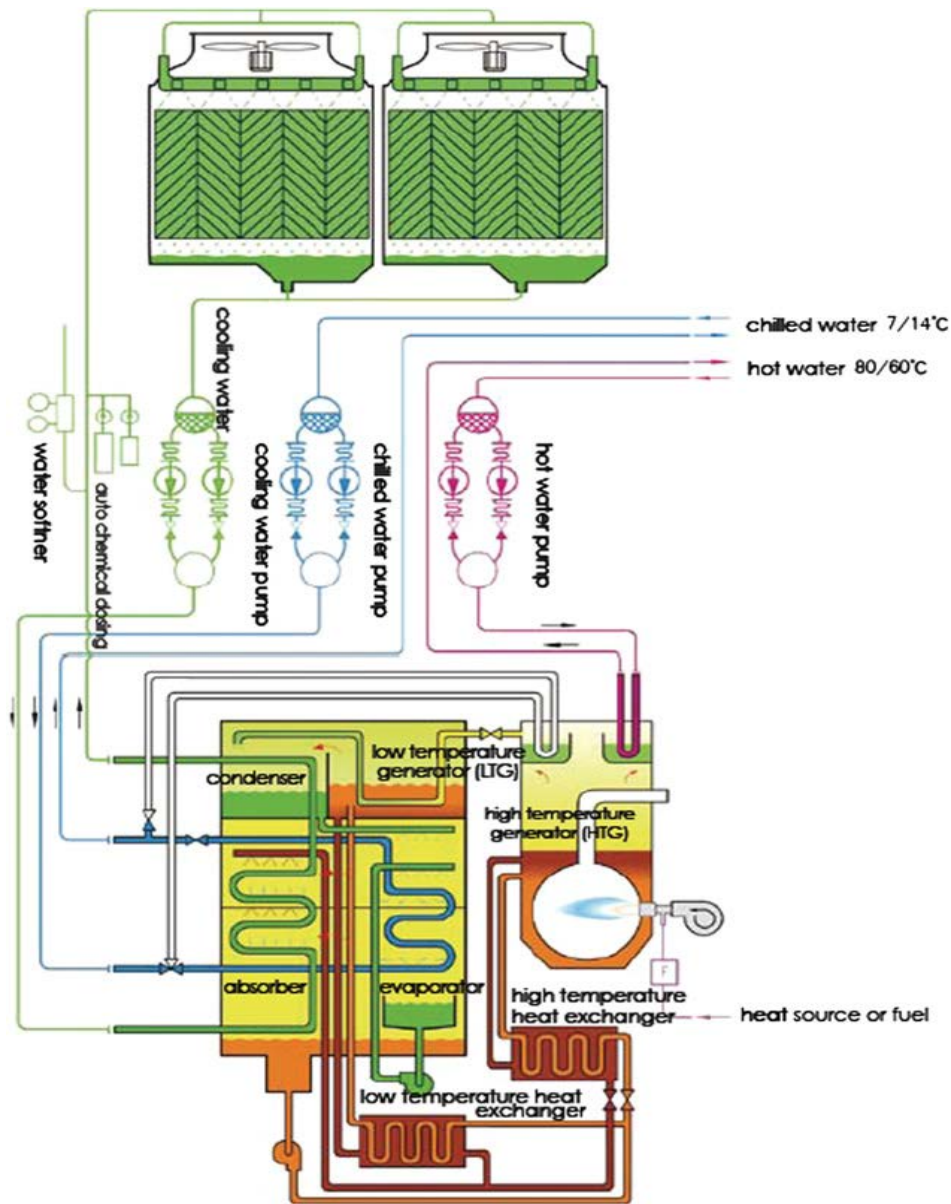


Εικόνα 6.1.3.4. Δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού[26]

Ψύκτης απορρόφησης

Η παρακάτω εικόνα δείχνει μια σχηματική αναπαράσταση του ψύκτη απορρόφησης που τροφοδοτείται με ζεστό νερό, τύπου SYBCTDH115. Το σύστημα χρησιμοποιεί διάλυμα LiBr-νερού ως εργαζόμενο μέσο για να παράγει ψυχόμενο νερό στους 7°C για τις μονάδες διαχείρισης του αέρα.

Έχει μια ψυκτική ικανότητα 55kW με θερμοκρασίες εισόδου/ εξόδου του ζεστού νερού 90/ 80°C αντίστοιχα και COP ίσο με 0.7.



Εικόνα 6.1.3.4. Σχηματική αναπαράσταση ψύκτη απορρόφησης που τροφοδοτείται με ζεστό νερό[26]

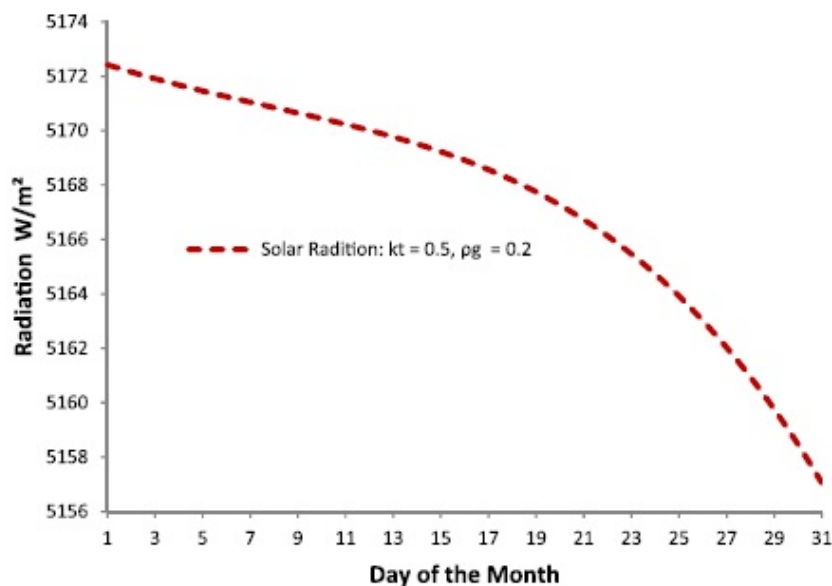
Καιρός και δεδομένα λειτουργίας

Η παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία και τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Λόγω λανθασμένης λειτουργίας των αισθητήρων, συλλέχθηκαν τα δεδομένα για το μήνα

Αύγουστο αντί για τον Ιούλιο που είναι ο πιο ζεστός μήνας του έτους. Τα δεδομένα λειτουργίας μετρήθηκαν από τις 12 το βράδυ έως τις 4 το απόγευμα για μια περίοδο 7 ημερών (9-10,16,19,23-26) τον Αύγουστο του 2010 και είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση.

Καιρός - Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία

Θεωρήθηκε ένα απλοποιημένο μοντέλο ηλιακής ακτινοβολίας που βασίζεται στο γεωγραφικό πλάτος, την ημέρα του έτους και τη γωνία της επιφάνειας του συλλέκτη. Με αυτόν τον τρόπο έγινε δυνατό να υπολογιστεί η διαθέσιμη ακτινοβολία που είχαν οι ηλιακοί συλλέκτες κατά το μήνα Αύγουστο και τα αποτελέσματά του φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 6.1.3.5. Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία για τον Αύγουστο[26]

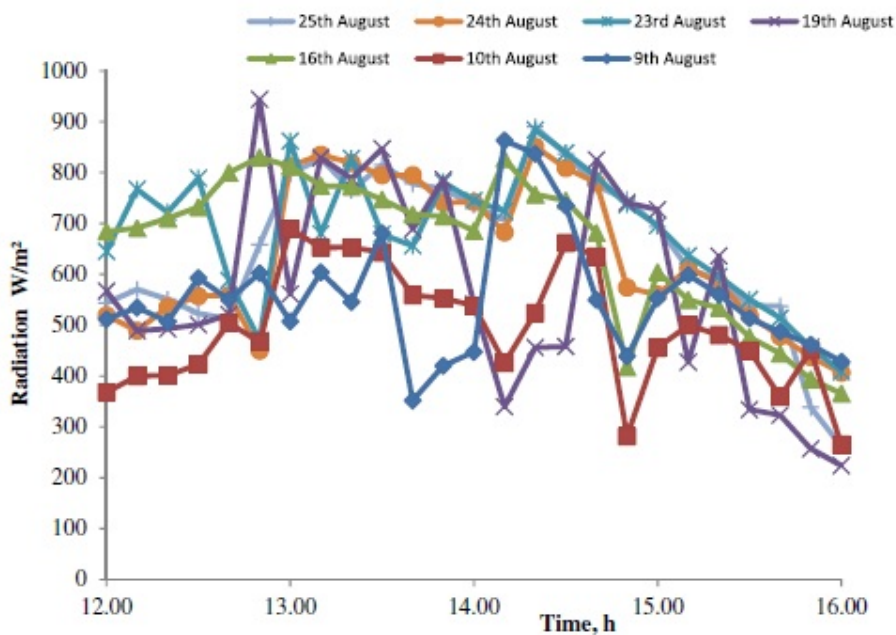
Δεδομένα :

- Οι ηλιακοί συλλέκτες στραμμένοι προς το νότο (Αζιμούθιο = 0) και έχουν γωνία κλίσης $\beta = 25^\circ$.

- $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$.
- Με δεδομένο ότι οι συλλέκτες είναι τοποθετημένοι σε μέρος με χαμηλό γρασίδι η ανακλαστικότητα του εδάφους (ρ_g) ορίστηκε 0.2.
- Ο δείκτης αιθριότητας του καιρού (k_t) θεωρήθηκε 0.5 βασισμένο στη γενικότερη κατάσταση του καιρού στο Νίνγκμπο τη δεδομένη στιγμή του χρόνου.

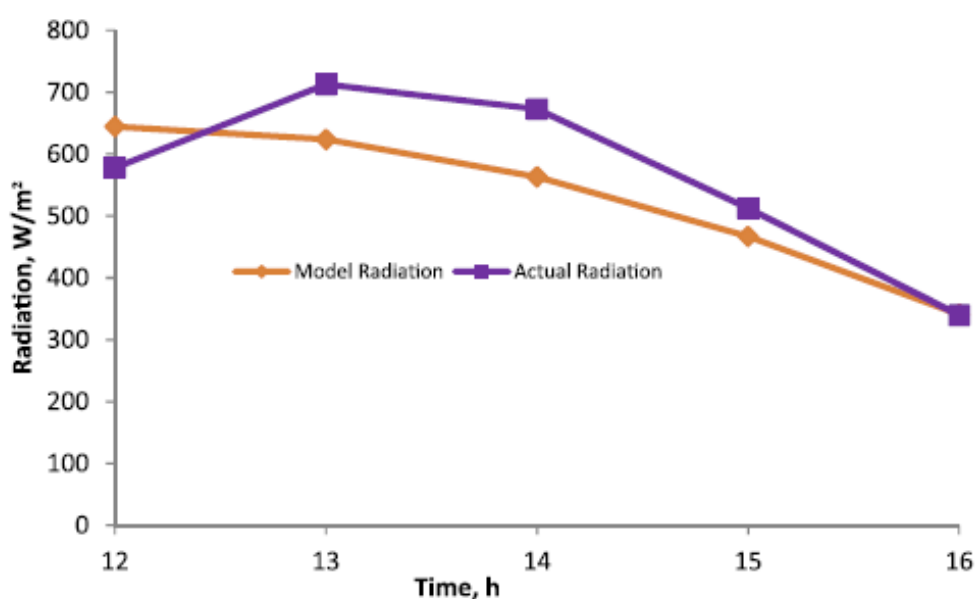
Μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία

Το επόμενο σχήμα δείχνει τα στιγμιαία μετρούμενα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας για τις συγκεκριμένες ημέρες οι οποίες εμφανίζονται να κυμαίνονται λίγο περισσότερο από τη μια ημέρα στην άλλη. Αλλά είναι ξεκάθαρο πως τα επίπεδα ακτινοβολίας έφταναν στο μέγιστο μεταξύ 12:50 και 14:30 για τις περισσότερες ημέρες. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία ίση με 944 W/m^2 καταγράφηκε στις 19 Αυγούστου περίπου στις 12:50.



Εικόνα 6.1.3.6. Προφίλ στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας[26]

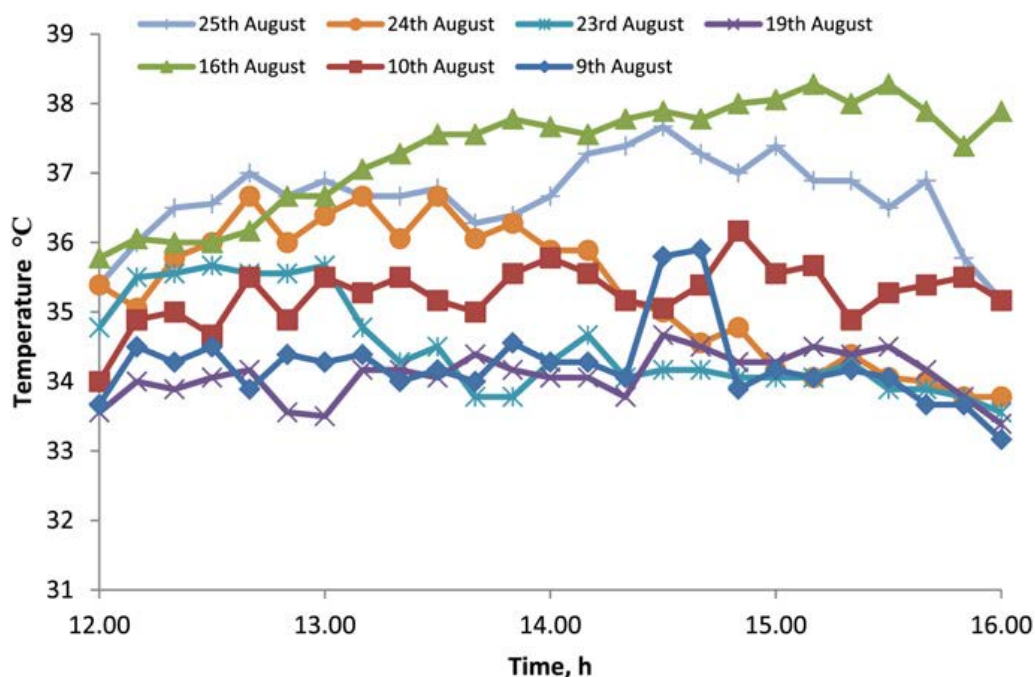
Το παρακάτω σχήμα συγκρίνει τη μέση ωριαία και μετρούμενη ακτινοβολία για τις συγκεκριμένες ημερομηνίες. Όπως ήταν φυσικό τα πραγματικά επίπεδα ακτινοβολίας όντως κυμαίνονται πολύ περισσότερο σε σχέση με το θεωρητικό μοντέλο που δε λαμβάνει υπ' όψη του τα επίπεδα της ομίχλης και της συννεφιάς από μέρα σε μέρα, αλλά αντί για αυτό χρησιμοποιεί ένα δεδομένο δείκτη αιθριότητας για μια γενική εκτίμηση. Παρόλα αυτά οι δύο τρόποι ακολούθησαν ίδιες τάσεις και πέτυχαν ίδιες τιμές στις 16:00.



Εικόνα 6.1.3.7. Προφίλ μέσης ωριαίας ακτινοβολίας για επιλεγμένες μέρες[26]

Μετρούμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται τα προφίλ των στιγμιαίων θερμοκρασιών περιβάλλοντος κατά τις συγκεκριμένες ημερομηνίες. Η μέγιστη μέση θερμοκρασία καταγράφηκε κατά την 16^η Αυγούστου και ήταν 37.2°C ενώ η μέση για τις υπόλοιπες ημέρες κυμαινόταν μεταξύ 30°C και 31.5°C.



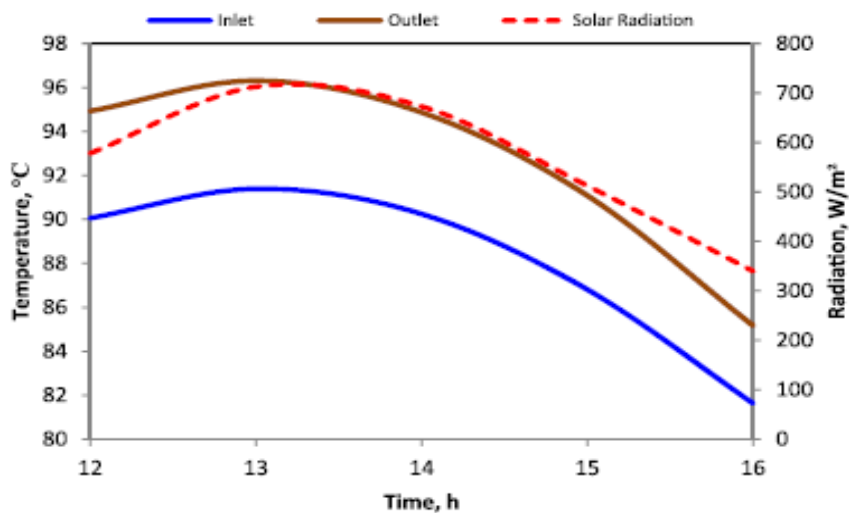
Εικόνα 6.1.3.8. Προφίλ στιγμιαίας θερμοκρασίας περιβάλλοντος[26]

Δεδομένα λειτουργίας

Τα δεδομένα λειτουργίας από τους συλλέκτες κενού και τον ψύκτη απορρόφησης συλλέγονταν κάθε 10 λεπτά χρησιμοποιώντας το Honeywell Building Management System. Τα δεδομένα για τους συλλέκτες κενού αποτελούνταν από τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του κυκλοφορούντος υγρού, ενώ για τον ψύκτη απορρόφησης καταγράφονταν οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των ατμογεννητριών και του ατμοποιητή.

Ηλιακός συλλέκτης

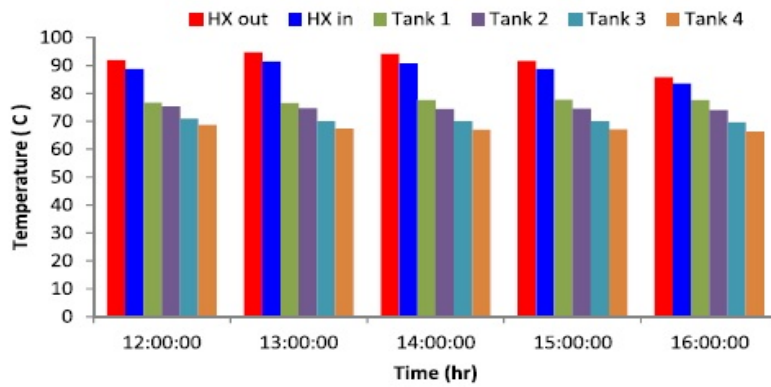
Η μέση ωριαία θερμοκρασία εισόδου και εξόδου για τους ηλιακούς συλλέκτες παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Φαίνεται εύκολα ότι η υψηλότερη θερμοκρασία εισόδου/ εξόδου – 91.4°C / 96.3°C εμφανίστηκε μεταξύ 13:00 και 14:00 για κάθε ημέρα. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο υγρών ήταν σχεδόν σταθερή μεταξύ 12:00 και 14:00 έως ότου σταθερά εξασθένησε λόγω της μείωσης των επιπέδων της ακτινοβολίας.



Εικόνα 6.1.3.9. Μέσα ωριαία επίπεδα θερμοκρασίας και ακτινοβολίας[26]

Δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού

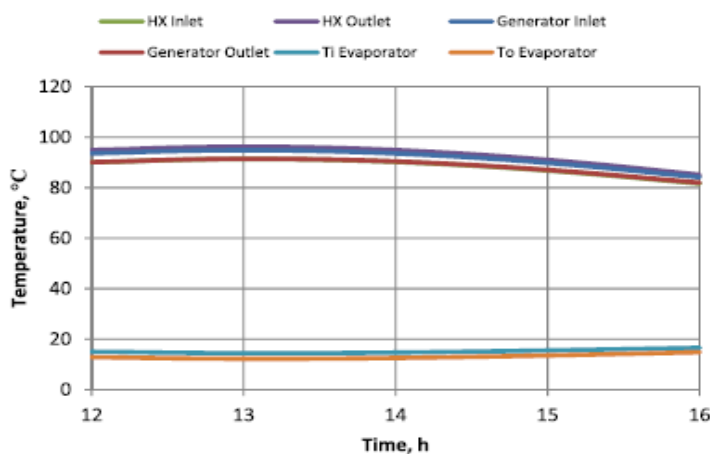
Η παρακάτω εικόνα δείχνει τη μέση ωριαία θερμοκρασία μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης και τη ροή του νερού μέσα και έξω από τις δεξαμενές (εναλλάκτης θερμότητας). Το διάγραμμα δείχνει ότι η δεξαμενή 1 κατέγραψε τη μέγιστη θερμοκρασία των 77.7°C στις 3 το μεσημέρι ενώ η δεξαμενή 4 κατέγραψε την ελάχιστη θερμοκρασία των 66.3°C στις 4 το απόγευμα. Αυτές οι τιμές υποστηρίζουν τη διάταξη εγκατάστασης του σχήματος 6.1.3.4. όπου η δεξαμενή 1 είναι η πρώτη που εφοδιάζεται από τον εναλλάκτη θερμότητας πριν από τις υπόλοιπες δεξαμενές. Η διάταξη επίσης ελέγχει τη θερμοκρασία διαστρωμάτωσης όπως σχεδιάστηκε και εξασφαλίζει διανομή σταθερής θερμοκρασίας αποθήκευσης στις δεξαμενές.



Εικόνα 6.1.3.10. Προφίλ μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για τις συγκεκριμένες μέρες[26]

Ψύκτης απορρόφησης

Οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες εξακριβώθηκαν τόσο για τον ατμοποιητή όσο και για τις ατμογεννήτριες κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η περισσότερη ψύξη από τον ατμοποιητή υπήρξε μεταξύ 13:00 και 14:00 με μια μέση θερμοκρασία ψύξης 12.2°C. Προφανώς η μέγιστη απόδοση των ατμογεννητριών, του ατμοποιητή και του εναλλάκτη εμφανίστηκε μέσα στην ίδια χρονική περίοδο. Σαν αποτέλεσμα η μέση θερμοκρασία εισόδου του εναλλάκτη και η θερμοκρασία εξόδου των ατμογεννητριών ήταν περίπου ίδιες. Το ίδιο ισχύει και για τις θερμοκρασίες στην είσοδο των ατμογεννητριών και την έξοδο του συλλέκτη, με τις πρώτες να έχουν ελαφρά μικρότερη από το δεύτερο λόγω κάποιων απωλειών στην έξοδο του εναλλάκτη.



Εικόνα 6.1.3.11. Προφίλ θερμοκρασίας στον συλλέκτη, τον ατμοποιητή και τη γεννήτρια[26]

Απόδοση του συστήματος

Απόδοση του συλλέκτη

Οι στιγμιαίες θεωρητικές και πραγματικές αποδόσεις για τον ηλιακό συλλέκτη υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\eta = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_i - T_o)}{I \cdot A}$$

Όπου:

m , η παροχή μάζας του υγρού (4.2 kg/s),

c_p , η θερμοχωρητικότητα (4.2 kJ/kg/K),

A , η καθαρή επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη (220m²),

T_i η θερμοκρασία εισόδου του υγρού,

T_o η θερμοκρασία εξόδου του υγρού,

I , η ηλιακή ακτινοβολία (θεωρητική ή από μετρήσεις).

Για να γίνει η σύγκριση, η απόδοση του κατασκευαστή που βασίζεται σε γνωστούς συντελεστές απωλειών υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\eta_{\Delta t} = \eta_0 - \vartheta_1 \cdot \Delta t - \vartheta_2 \cdot I \cdot \Delta t^2$$

$$\eta_{\Delta t} = 0.717 - 1.52 \cdot \left[\frac{T_m - T_a}{I} \right] - 0.0085 \cdot I \cdot \left[\frac{T_m - T_a}{I} \right]^2$$

Όπου:

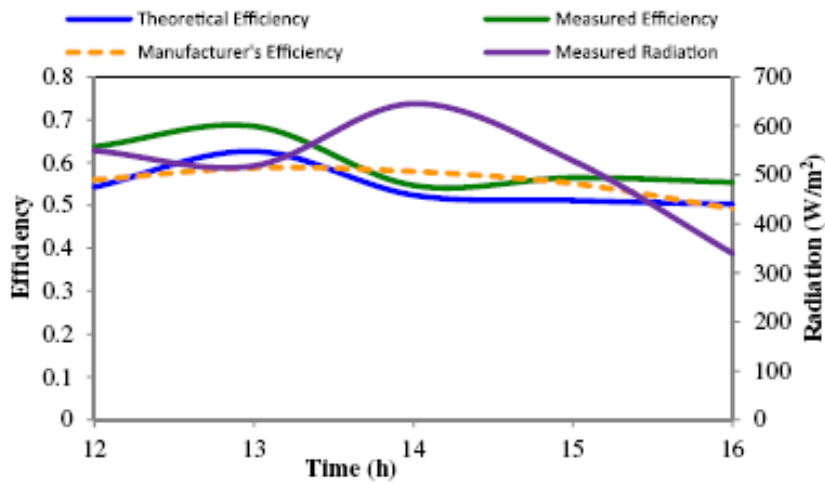
η_0 , είναι ο παράγοντας μετατροπής του κατασκευαστή και ϑ_1 , ϑ_2 οι συντελεστές απωλειών του κατασκευαστή.

$$\Delta T = [T_m - T_a] / I$$

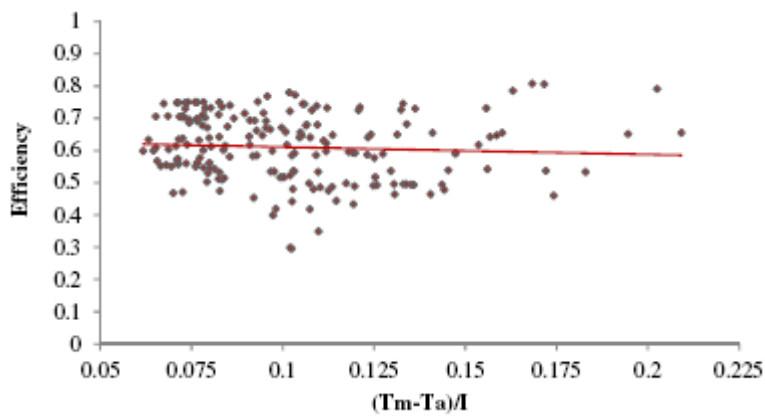
Όπου T_m η μέση θερμοκρασία του υγρού που κυκλοφορεί και T_a η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Ο μέσος όρος της θεωρητικής απόδοσης και ο μέσος όρος της πραγματικής απόδοσης, λαμβάνοντας υπ' όψη τα αντίστοιχα επίπεδα ακτινοβολίας φαίνεται στο σχήμα 6.1.3.12. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι καμπύλες της θεωρητικής και της πραγματικής απόδοσης διέφεραν αισθητά κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς καθοδηγούνταν από τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας. Οι αποδόσεις έπεσαν αρκετά όταν τα επίπεδα ακτινοβολίας έφτασαν στο μέγιστό τους μεταξύ 1:30 και 2:30 το μεσημέρι πριν να αυξηθούν ξανά αργότερα το απόγευμα καθώς το ποσοστό της ακτινοβολίας σταδιακά εξασθενούσε. Η καμπύλη του κατασκευαστή όμως ακολουθούσε περίπου τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας.

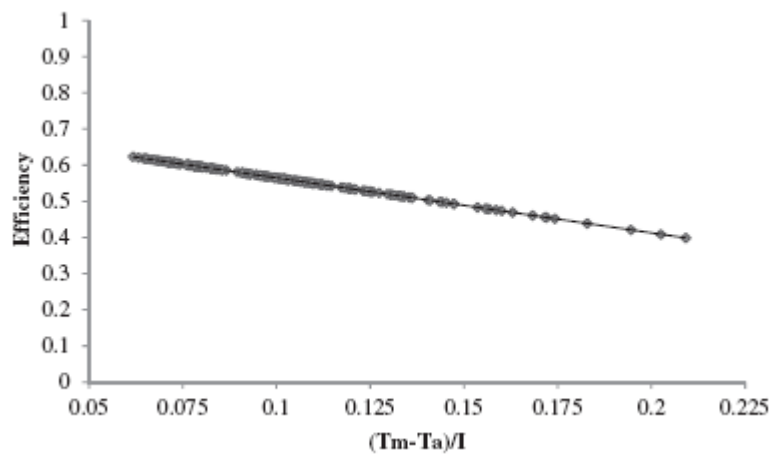
Οι μέσες στιγμιαίες αποδόσεις του συλλέκτη υπολογίστηκαν επίσης και παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων δίνει μια μέση απόδοση λειτουργίας 61% σε σύγκριση με 56% που είναι η απόδοση που υπολογίζει ο κατασκευαστής. Στην πραγματικότητα η μετρούμενη απόδοση λειτουργίας περιμέναμε να είναι λίγο χαμηλότερη αφού οι υπολογισμοί του κατασκευαστή λαμβάνουν υπ' όψη τους συντελεστές απωλειών θερμότητας και τον παράγοντα αφαίρεσης. Επιπλέον ανάλυση έδειξε ότι οι ηλιακοί συλλέκτες υπολειτουργούν όταν συγκρίνονται με τις εκτιμήσεις του κατασκευαστή οι οποίες αναφέρουν ότι η απόδοση για $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ θα έπρεπε να ήταν 84% και για $\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$ θα έπρεπε να ήταν 70% (όπου ΔT είναι η διαφορά μεταξύ του υγρού στην είσοδο και της θερμοκρασίας του αέρα περιβάλλοντος). Σε όλες τις περιπτώσεις που καταγράφηκαν η ΔT ήταν χαμηλότερη των 60°C καθώς η μέση τιμή έφθανε τους 51.3°C .



Εικόνα 6.1.3.12. Προφίλ μέσης ωριαίας αποδοτικότητας και ακτινοβολίας[26]



Εικόνα 6.1.3.13. Πρακτικό στιγμιαίο πεδίο αποδοτικότητας συλλέκτη[26]



Εικόνα 6.1.3.14. Κατασκευαστικό στιγμιαίο πεδίο αποδοτικότητας συλλέκτη[26]

Βαθμός απόδοσης (COP) του ψύκτη

Ο συντελεστής απόδοσης του ψύκτη υπολογίζεται από την σχέση:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g}$$

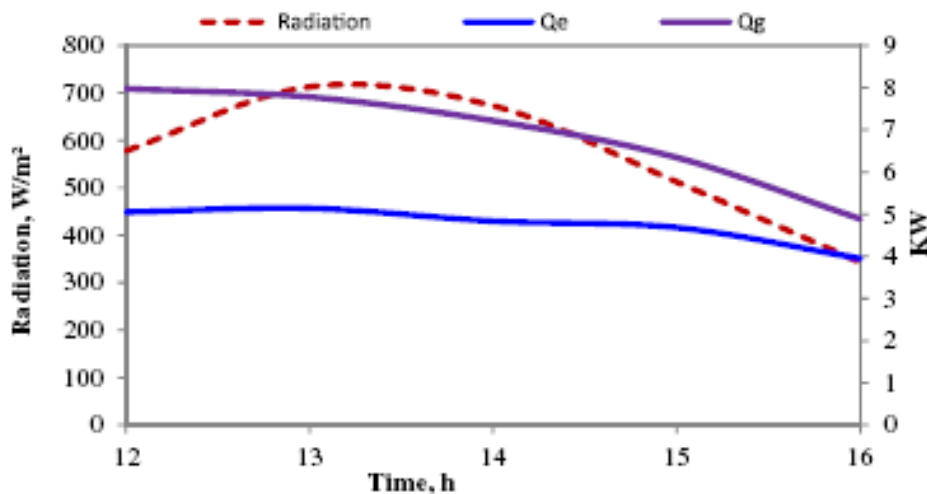
όπου, ψυκτική ικανότητα του ατμοποιητή:

$$Q_e = m_{f_e} \Delta T_e$$

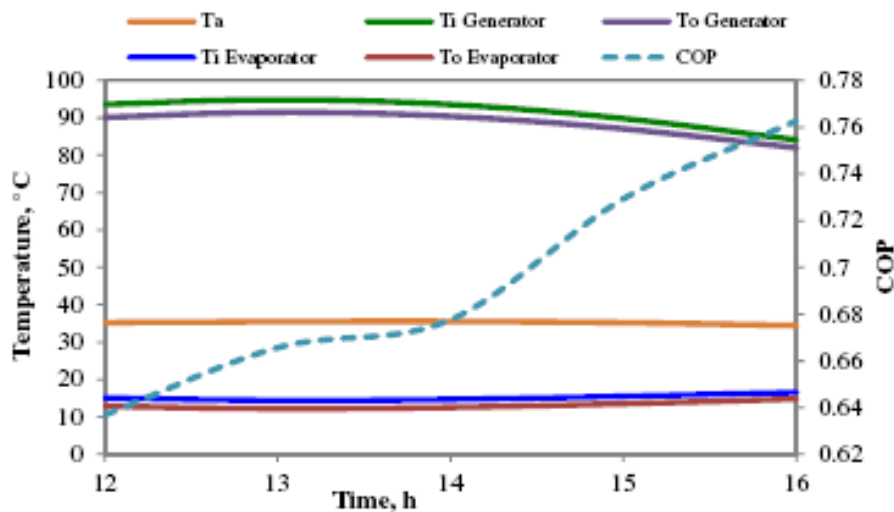
και θερμότητα στη γεννήτρια:

$$Q_g = m_{f_g} \Delta T_g$$

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα η Q_e παρέμεινε περισσότερο σταθερή από τη Q_g η οποία ήταν επιρρεπής στις διακυμάνσεις από τα επίπεδα ακτινοβολίας. Γενικά, το χάσμα μεταξύ των δύο προφίλ ήταν μεγαλύτερο από τις 12:00 και τη 1:00 μμ και στη συνέχεια μειώθηκε σιγά-σιγά σύμφωνα με τα εξασθετισμένα επίπεδα ακτινοβολίας. Ο COP αυξήθηκε ωστόσο σταθερά από 0.64 το μεσημέρι, σε 0.76 μέχρι τις 16:00. Ο μέσος COP του ψύκτη απορρόφησης ήταν 0.69, ο οποίος είναι σχεδόν ίδιος με αυτόν του κατασκευαστή (0.7).



Εικόνα 6.1.3.15. Μέσα ωριαία προφίλ της ακτινοβολίας, Q_e , Q_g [26]



Εικόνα 6.1.3.16. Μέσος ωριαίος COP ψύκτη[26]

Συμπεράσματα

Για τον ψύκτη απορρόφησης, ο συντελεστής απόδοσης καθορίστηκε με βάση τη μετρούμενη προσδιδόμενη θερμότητα και τη ψυκτική ικανότητα.

Συνοψίζοντας:

- Η θεωρητική απόδοση του συλλέκτη ήταν 69%.
- Η πρακτική ή λειτουργική απόδοση του συλλέκτη ήταν 61% σε μια μέση διαφορά θερμοκρασίας 51 °C.
- Η κατασκευαστική απόδοση του συλλέκτη ήταν 56%.
- Ο ψύκτης απορρόφησης είχε συντελεστή απόδοσης (COP) ίσο με 0,69.

Υπήρχε όμως μια μικρή απόκλιση της πρακτικής απόδοσης του συλλέκτη σε σύγκριση με τον κατασκευαστή. Αν και η θεωρητική απόδοση πληροί σχεδόν αυτήν την απόδοση δεν λαμβάνει υπόψη τον συντελεστή απώλειας θερμότητας και τους εκκενωμένους σωλήνες. Από την άλλη, ο ψύκτης απορρόφησης απέδωσε αρκετά ικανοποιητικά με ένα COP ίσο με 0,69 έναντι του κατασκευαστή με 0,7. Επομένως, το ηλιακό σύστημα απορρόφησης έχει αποδείξει τις δυνατότητες του ως μια βιώσιμη τεχνολογία ψύξης για τα κτίρια. Ωστόσο, για να βασίζονται αποκλειστικά

σε ηλιακά ψυκτικά συστήματα απορρόφησης τα κτίρια, ίσως είναι αναγκαία η προσθήκη συμπληρωματικής θερμότητας όπως αέριο ή βιομάζα, για τη διατήρηση της κατάλληλης παροχής ζεστού νερού.

6.2. Κάλυψη με βιομάζα

6.2.1. Η βιομάζα ως ΑΠΕ

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν, χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.). Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια.

Με τον όρο βιομάζα αναφερόμαστε στο σύνολο της οργανικής ύλης που βρίσκεται στο λεπτό στρώμα του φλοιού της γης, την βίοςφαιρα. Είναι ένας πολύ γενικός όρος που περιγράφει το υλικό πρόσφατων βιολογικών διεργασιών που είναι διαθέσιμο να χρησιμοποιηθεί είτε ως πηγή ενέργειας είτε για εκμετάλλευση των χημικών του ιδιοτήτων. Η βιομάζα αντιπροσωπεύει ένα πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής μάζας της γης αλλά σε ανθρώπινους όρους είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας, η οποία ανανεώνεται συνεχώς. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από τον ήλιο και αποθηκεύεται στους χημικούς δεσμούς της οργανικής ύλης με την φωτοσύνθεση. Η εγκλωβισμένη αυτή βιοενέργεια

ανακυκλώνεται με τη βοήθεια μιας σειράς χημικών και φυσικών διεργασιών στα φυτά, το έδαφος, το χώρο γύρω από τα φυτά και την υπόλοιπη έμβια ύλη, μέχρι που τελικά ακτινοβολείται από τη γη ως θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας. Εξαίρεση αποτελεί ένα μικρό κλάσμα, το οποίο παραμένει στο έδαφος και μετατρέπεται σταδιακά σε στερεό καύσιμο.

Το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και το νερό που απορροφάται από τις ρίζες των φυτών συνδυάζονται κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης για να παράγουν υδατάνθρακες (σάκχαρα) που αποτελούν τη βιομάζα. Η ηλιακή ενέργεια που απαιτείται και δημιουργεί τη φωτοσύνθεση δεσμεύεται στους χημικούς δεσμούς των δομικών συστατικών της βιομάζας. Κατά τη διάρκεια της καύσης της βιομάζας το οξυγόνο της ατμόσφαιρας αντιδρά με τον άνθρακα της βιομάζας και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η διαδικασία είναι κυκλική αφού το διοξείδιο του άνθρακα είναι πάλι διαθέσιμο για να παράγει νέα βιομάζα. Με την προϋπόθεση λοιπόν ότι η κατανάλωση της βιομάζας από τον άνθρωπο δεν ξεπερνά τα φυσικά επίπεδα κατανάλωσης, η χρήση των βιοκαυσίμων δεν απελευθερώνει περισσότερη ενέργεια ή περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι θα παραγόταν από τις φυσικές διεργασίες. Φαίνεται λοιπόν ότι πρόκειται για μια πηγή ενέργειας, η χρήση της οποίας δεν έχει καμία περιβαλλοντική επίπτωση.

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας, που είναι άφθονα στη φύση. Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα, που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις, υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοϊσχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών

καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα), για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της, δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία και χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια, το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας, παραμένει υψηλό. Τέλος, ο νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Ν.3468/06, παρέχει κίνητρα για την εκμετάλλευση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας.

Πλεονεκτήματα

1. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας, δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
2. Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO_2), που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
3. Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από

εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.

4. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ), τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλιάνθος κ.ά) και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης, τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

Μειονεκτήματα

1. Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
2. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας, δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
3. Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση της βιομάζας, που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
4. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

Η χρήση της βιομάζας σήμερα με την τεχνολογική εξέλιξη, μπορεί να προσφέρει μεγάλες αποδόσεις από άποψη συγκέντρωσης ισχύος και αυτονομίας του συστήματος. Η χρήση της σε κεντρικές εγκαταστάσεις μπορεί να προσφέρει την καύσιμη ύλη είτε για συμπαραγωγή ή άμεσα για θέρμανση και ψύξη χώρων. Τα δασικά και αγροτικά υπολείμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τοπικά ενώ σήμερα παραμένουν

ανεκμετάλλευτα, δημιουργώντας προβλήματα στην απομάκρυνσή τους. Η βιομάζα είναι εκμεταλλεύσιμη, τόσο σε επίπεδο κτιρίου όσο και σε επίπεδο οικιστικού συνόλου. Η αντίστοιχη τεχνολογία και στα δύο επίπεδα είναι ώριμη με πολλά παραδείγματα σύγχρονων εφαρμογών θέρμανσης κτιρίων ή οικιστικών συνόλων. Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει να δοθεί βάρος από τη μια πλευρά στην εκλογή του είδους της βιομάζας που θα χρησιμοποιηθεί και από την άλλη στο καταλληλότερο σύστημα κλιματισμού του κτιρίου. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η αναφορά στα συστήματα κλιματισμού που μπορούν να αποτελέσουν αναπόσπαστο κομμάτι της όλης εφαρμογής.

Για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος χρησιμοποιούνται μερικά βασικά συστήματα:

1. Συστήματα παραγωγής ψυκτικής ισχύος με συμπίεση ψυκτικού μέσου (κύκλος ψύξης με συμπίεση ατμών ψυκτικού μέσου).
2. Συστήματα ψυκτικής ισχύος με απορρόφηση ατμών ψυκτικού μέσου.
3. Συστήματα παραγωγής ισχύος με προσρόφηση ψυκτικού μέσου.

Το σύστημα με συμπίεση του ψυκτικού μέσου είναι γνωστό από τις εφαρμογές στα οικιακά ψυγεία, τα επαγγελματικά ψυγεία, τη βιομηχανική ψύξη και τον κλιματισμό, το απορροφητικό χρησιμοποιήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου υπήρχε διαθέσιμη απορριπτόμενη θερμική ενέργεια (καυσαέρια, ατμός κ.τ.λ.) καθώς επίσης και σε μικρά οικιακά ψυγεία, όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο στην περιοχή (το διάλυμα θερμαίνεται λ.χ. με φυσικό αέριο), ενώ το προσροφητικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε σε περιπτώσεις όπου υπήρχε περιοδικά διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής σχετικά συγκέντρωσης ισχύος με παράλληλη δύσκολη πρόσβαση σε άλλες μορφές ενέργειας (ηλιακής κ.τ.λ.).

Πηγές βιομάζας

Η βιομάζα σήμερα αποτελεί την πιο διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καλύπτοντας το 35% και 3% των αναγκών σε πρωτογενή ενέργεια των χωρών του αναπτυσσόμενου και του βιομηχανικού κόσμου αντίστοιχα. Η φυσική ανανέωση της βιομάζας αντιπροσωπεύει μια πηγή ενέργειας ισοδύναμη με 3000 EJ το χρόνο. Οι πηγές της βιομάζας κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Ξυλώδης βιομάζα
 - i. Δασικά υπολείμματα που προκύπτουν μετά την υλοτόμηση.
 - ii. Ξυλεία αποκλειστικά για καύση.
 - iii. Υπολείμματα ξύλου μετά την επεξεργασία του σε αντίστοιχες βιομηχανίες.
 - iv. Υπολείμματα από επεξεργασία αστικών αποβλήτων από κήπους.
- Μη ξυλώδης βιομάζα
 - i. Ενεργειακές καλλιέργειες
- Άλλα οργανικά υπολείμματα
 - i. Αστικά απόβλητα
- Τα υπολείμματα της κτηνοτροφίας.

Συσσωματώματα Ξύλου-Wood Pellets[27]



Εικόνα 6.2.1.1 Pellets (συσσωματώματα). Μηχανικά συμπιεσμένο πριονίδι, χωρίς πρόσθετα χημικά ή συγκολλητικές ουσίες.

Μια μορφή βιοκαυσίμων είναι τα λεγόμενα pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση προιονιδίων σε πρέσες, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών. Προέρχονται από τα υπολείμματα των βιομηχανιών ξυλείας και των υλοτομικών δραστηριοτήτων και επεξεργάζονται κατάλληλα με κύριο σκοπό την αφαίρεση της υγρασίας τους και την συμπίεση τους ώσπου να αποκτήσουν κυλινδρικό σχήμα. Η θερμική τους απόδοση ανέρχεται στα 4000-4500 kcal/kg .

Τα pellets ξύλου συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα καύσιμα αποτελούν μια νέα και ελκυστική μορφή καυσίμου. Όταν καίγονται, γίνεται εκμετάλλευση μιας πηγής ενέργειας που θα είχε γίνει απόβλητο και θα είχε εναποτεθεί σε μια χωματερή. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες από συστήματα θέρμανσης στην περιφέρεια. Απαντώνται σε μήκη από 1-3 cm και πάχος περίπου 1 cm . Είναι καθαρά, ευχάριστα στην οσμή , και απαλά (λεία) στην αφή. Έχουν αρκετά χαμηλό περιεχόμενο σε υγρασία (κάτω από 10-12% κ.β.) ιδιότητα που τους προσδίδει υψηλότερη αξία καύσης από τα υπόλοιπα καυσόξυλα .

Το γεγονός ότι πιέζονται (πρεσάζονται) σημαίνει ότι καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο και έχουν υψηλή πυκνότητα, άρα έχουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου (υψηλότερη ογκομετρική ενέργεια). Η μείωση του όγκου συμβάλει και στην ευκολότερη και οικονομικότερη αποθήκευση τους. Η διαδικασία της καύσης τους είναι υψηλής ποιότητας, ενώ κατά την καύση τους δεν μένει μεγάλο υπόλειμμα. Ορισμένες χώρες έχουν απαλλάξει (εξαιρέσει) τις συσκευές που χρησιμοποιούν pellets από τις απαιτήσεις για εκπομπές αιθάλης .

Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός pellet ξύλου είναι τα κάτωθι :

Διάμετρος : 6-8 mm

Μήκος : max. 30 mm

Πυκνότητα : min. 650 kg/m³

Υγρασία : max. 8% του βάρους

Ενεργειακό Περιεχόμενο : 4.5-5.2 kWh/kg

2 kg pellets = 1 liter πετρελαίου θέρμανσης

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης pellets ως καύσιμη ύλη είναι τα εξής :

A. Για την δημιουργία των pellets δεν απαιτείται να κοπούν δέντρα αφού παρασκευάζονται από τα κατάλοιπα των ξυλουργικών και υλοτομικών διαδικασιών.

B. Η καύση των pellets βοηθά ουσιαστικά στην μείωση των δασικών αποβλήτων , των αποβλήτων από την παραγωγή ξυλείας και των αποβλήτων από την βιομηχανία επίπλων.

Γ. Παρασκευάζονται από παρθένα ξυλεία και έτσι δεν είναι επεξεργασμένα με καυστικές ουσίες, κόλλες ή χρώμα.

Δ. Η καύση τους έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και έτσι δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου – αφού όπως είδαμε οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.

Ε. Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.

Στ. Ο μικρός χώρος που καταλαμβάνουν τα καύσιμα και η μεγάλη περιεκτικότητα των δοχείων αποθήκευσης.

Τα δε πλεονεκτήματα κατά την καύση των pellets, σε σχέση με την καύση ακατέργαστων απόβλητων ξύλου είναι:

A. Έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση

B. Έχουν υψηλή θερμοδική αξία (μέχρι 19 GJ/τόνο)

Γ. Έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα (έως 1%)

Δ. Έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (περίπου 10%)

Ε. Λόγω της μείωσης του όγκου έχουμε χαμηλή ζήτηση για αποθηκευτικούς χώρους (περίπου 650 kg/m³)

Στ. Έχουμε πλήρως αυτόματη λειτουργία χωρίς επίβλεψη και ρύθμιση

Z. Έχουμε παραγωγή χαμηλών εκπομπών ρύπων καύσης

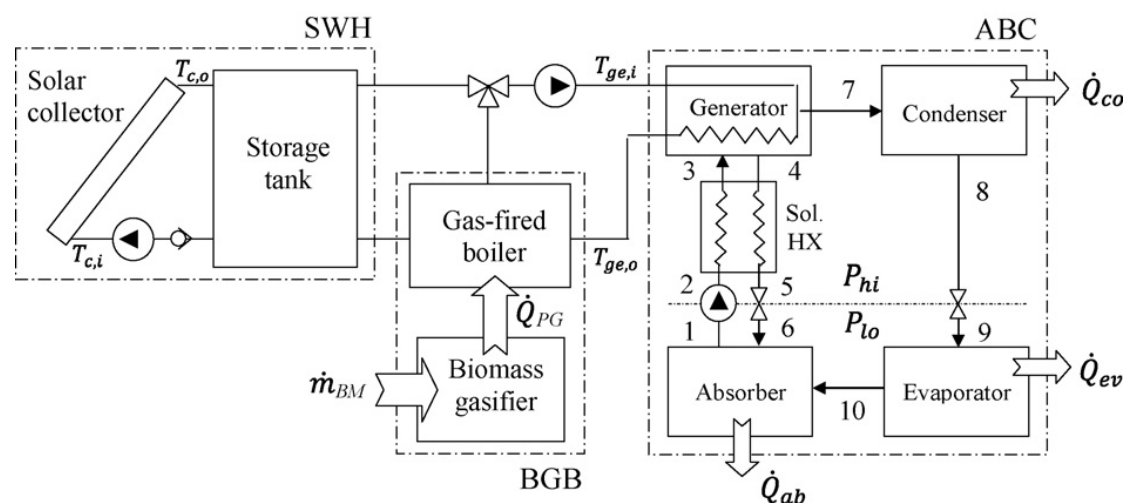
H. Αποτελούν ένα πλήρες υποκατάστατο για άλλα είδη καυσίμων

Μια σόμπα pellets καίει κατά μέσο όρο από 0,6 έως 2,5 κιλά καυσίμου την ώρα, ενώ το κόστος των pellets αυτή τη στιγμή είναι περίπου 0,20 Ευρώ ανά κιλό. Δηλαδή είναι σαν να αγοράζουμε πετρέλαιο με 0,40 Ευρώ ανά λίτρο, δεδομένου ότι τα 2 κιλά pellets έχουν την ίδια θερμογόνο δύναμη με 1 λίτρο πετρελαίου. Αυτή η τεχνολογία εκτός από τη χρήση της σε σπίτια είναι πολύτιμη και σε μη οικιακά κτίσματα όπως ξενοδοχεία, καταφύγια, εστιατόρια, καταστήματα, γραφεία, νοσοκομεία και σχολεία. Στη Νότιο Αμερική ήδη χρησιμοποιούνται με επιτυχία σε πάνω από 500.000 σπίτια.

Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα pellets καθώς λειτουργούν 5 εργοστάσια παραγωγής των, με δυναμικό παραγωγής 60.000 tn/έτος, ενώ κατασκευάζονται ακόμα τρία, το μεγαλύτερο εκ των οποίων θα έχει δυναμικό 70.000 tn/έτος.

6.2.2. Μελέτη περίπτωσης

Ένα υβριδικό σύστημα απορρόφησης με ηλιακή ενέργεια και βιομάζα μελετάται από τους B. Prasartkaew και S. Kumar[29] και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αποτελείται από τρία κυρίως μέρη: το τμήμα ηλιακής θέρμανσης νερού και τη δεξαμενή αποθήκευσης, τον καυστήρα αεριοποιημένης βιομάζας για τη θέρμανση ζεστού νερού, και το μονοβάθμιο ψύκτη απορρόφησης.



Εικόνα 6.2.2.1. Σχηματικό διάγραμμα υβριδικού συστήματος(ηλιακό - βιομάζα) ψύξης[29]

Η ηλιακή ενέργεια θερμαίνει το νερό στην περιοχή των συλλεκτών και αντλείται στη δεξαμενή μέσω μιας αντλίας που ενεργοποιείται από έναν ελεγκτή. Η αντλία ενεργοποιείται και απενεργοποιείται μέσω του ελεγκτή ανάλογα με τη θερμοκρασιακή διάφορα ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο του συλλέκτη. Επίσης μια βαλβίδα αποτρέπει την αντίστροφη κυκλοφορία και τις θερμικές απώλειες από το συλλέκτη κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Ο καυστήρας αεριοποιημένης βιομάζας για την παραγωγή ζεστού νερού έχει τοποθετηθεί μεταξύ των δεξαμενών αποθήκευσης του ζεστού νερού και του ψύκτη απορρόφησης. Ο καυστήρας έχει δύο λειτουργίες: λειτουργεί σαν βοηθητικός καυστήρας όταν η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή και σαν κύρια πηγή θερμότητας όταν η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη. Ο καυστήρας αεριοποιημένης βιομάζας ελέγχεται ηλεκτρονικά και προμηθεύει ζεστό νερό τον ψύκτη.

Η ψύξη παρέχεται από ένα μονοβάθμιο ψύκτη απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου (LiBr). Θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες ή από τον καυστήρα βιομάζας ατμοποιεί το νερό του φτωχού διαλύματος LiBr στην ατμογεννήτρια του ψύκτη. Αυτό οδηγείται στο συμπυκνωτή όπου απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον και συμπυκνώνεται.

Από εκεί πηγαίνει στον ατμοποιητή (μέσω μιας εκτονωτικής βαλβίδας), όπου παίρνει θερμότητα από το χώρο που πρέπει να ψυχθεί, και ατμοποιείται. Έτσι το ατμοποιημένο ψυκτικό υγρό απορροφάται από το πλούσιο διάλυμα (που έχει έρθει από την ατμογεννήτρια) στον απορροφητή. Η διαδικασία απορρόφησης απελευθερώνει επίσης θερμότητα στο περιβάλλον και το διάλυμα, φτωχό πλέον, μέσω αντλίας μεταφέρεται στην ατμογεννήτρια για να ολοκληρωθεί ο κύκλος. Η θερμότητα που χρειάζεται η ατμογεννήτρια προέρχεται από το ζεστό νερό των δεξαμενών που προήλθε από τους ηλιακούς συλλέκτες ή/και τον καυστήρα βιομάζας. Ο συμπυκνωτής και ο απορροφητής του ψύκτη, ψύχονται από νερό ψύξης μέσω ενός πύργου ψύξης. Το ψυχόμενο νερό που παράγεται από τον ατμοποιητή χρησιμοποιείται για ψύξη.

Μοντέλο ψύξης με ηλιακή ενέργεια και βιομάζα

Σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες και τη δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού. Η απόδοσή του συλλέκτη δίνεται από το ποσοστό της χρήσιμης ενέργειας που δεσμεύεται προς την ενέργεια εισόδου. Σαν είσοδος στο μοντέλο λαμβάνονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη.

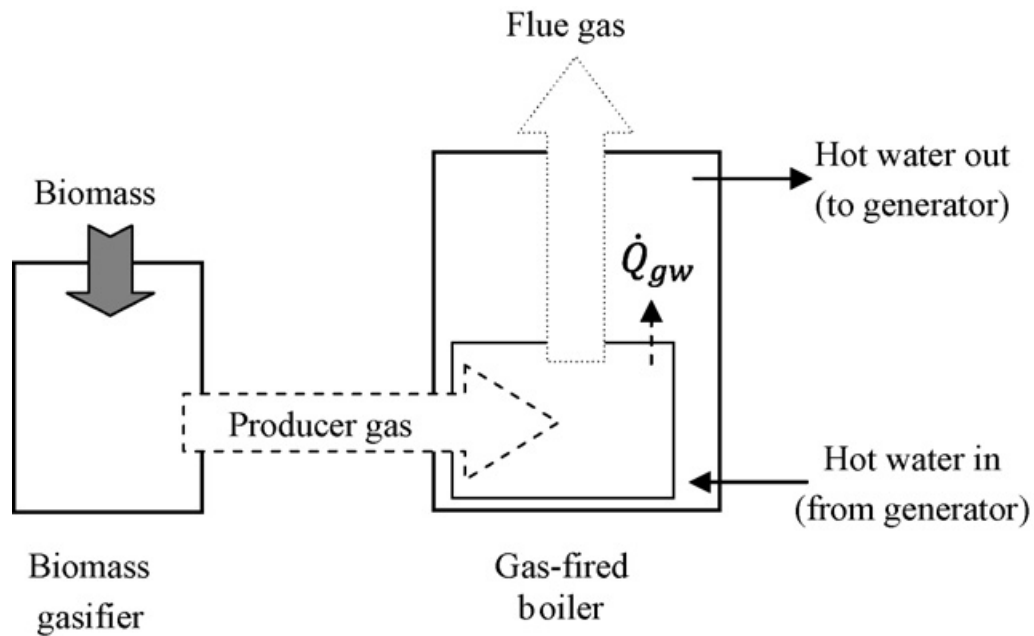
Όσον αφορά τη δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού μοντελοποιήθηκε σαν μια δεξαμενή πλήρους ανάμειξης χωρίς βοηθητική θέρμανση. Σα συνολικές απώλειες της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού λαμβάνονται αυτές από την εξωτερική επιφάνεια βασιζόμενες στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Όταν η θερμοκρασία του ζεστού νερού, με το οποίο προμηθεύεται ο ψύκτης, γίνεται χαμηλότερη της θερμοκρασίας που έχει οριστεί, τότε χρειάζεται επιπλέον θερμότητα και είναι αυτή που παρέχει ο καυστήρας της αεριοποιημένης βιομάζας.

Καυστήρας αεριοποιημένης βιομάζας

Ο καυστήρας αεριοποιημένης βιομάζας έχει χωριστεί για τη μοντελοποίηση του σε δύο μέρη, στον αεριοποιητή βιομάζας και στον καυστήρα αερίου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Ο καυστήρας αερίου μοντελοποιήθηκε σαν ένας εναλλάκτης θερμότητας, όπου θερμότητα μεταφέρεται μεταξύ των προϊόντων της καύσης και του νερού. Οι απώλειες ενέργειας από τα καυσαέρια και την επιφάνεια του καυστήρα προς το περιβάλλον έχουν συμπεριληφθεί στη συνολική ενέργεια που παρέχει ο καυστήρας αεριοποιημένης βιομάζας.



Εικόνα 6.2.2.2. Λέβητας αεριοποιημένης βιομάζας[29]

Ψύκτης απορρόφησης

Το σύστημα απορρόφησης αποτελείται από ένα μονοβάθμιο ψύκτη απορρόφησης LiBr όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2.2.1. Για να μοντελοποιηθούν τα θερμοδυναμικά του χαρακτηριστικά έγιναν ισοζύγια μάζας και ενέργειας για όλα τα μέρη του θεωρώντας τα ξεχωριστούς όγκους ελέγχου. Έτσι η πρόσληψη ή η απόρριψη θερμότητας, στα όρια κάθε μέρους του ψύκτη, λόγω συναλλαγής θερμότητας φάνηκε από τα ισοζύγια ενέργειας. Επιπλέον γνωρίζοντας τη θερμοκρασία τροφοδοσίας ζεστού νερού στην ατμογεννήτρια, το κλάσμα μάζας του διαλύματος LiBr-νερού και τις παροχές μάζας υπολογίζονται μέσω ισοζυγίων και τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά καθώς και ο COP του ψύκτη αλλά και ολόκληρης της μονάδας αντίστοιχα από τους τύπους:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_{ge}}$$

$$COP_{sys} = \frac{\dot{Q}_{ev}}{(G_T A_c + \dot{m}_{BM} LHV_{BM})}$$

Δεδομένα προσομοίωσης

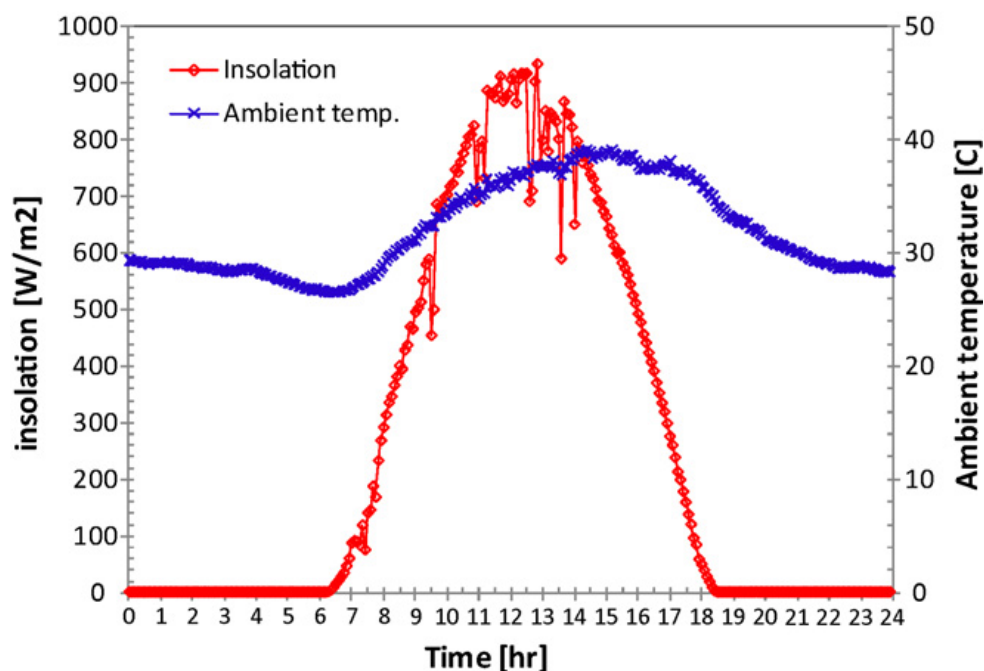
Η απόδοση του συστήματος αναλύθηκε με βάση το μοντέλο που περιγράφηκε πιο πάνω και χρησιμοποιώντας τα στοιχεία και τις τιμές που δίνονται στον παρακάτω πίνακα και προέρχονται από τους πίνακες των κατασκευαστών ή από άλλα εγχειρίδια.

| Component | Inputs | Value | Unit | Outputs | Unit |
|--|--|---|---|---|--|
| Weather data | Global rad. on tilted surf., G_T Ambient temperature, T_a | | W/m^2 °C | | |
| Solar water heating system (SWH) | | | | | |
| Collector | Area, A_c Intercept efficiency, $F_R(\tau\alpha)$ Loss efficiency coefficient, $F_R U_L$ Specific heat of water, C_p Collector flow rate, \dot{m}_c | 40 0.705 1.62 4.19 0.42 | m^2 - W/m^2K kJ/kgK kg/s | Solar useful energy, \dot{Q}_u Collector efficiency, η_c Coll. outlet temperature, T_{co} Storage tank temperature, T_{st} Coll. inlet temperature, T_{ci} Gen. inlet temperature, $R_{gr,i}$ | kW - °C °C °C °C |
| Tank | Volume, V_t Mass of fluid in tank, M_{st} Initial tank temperature, $T_{st,0}$ Tank heat loss, $(UA)_{st}$ Hot water set temperature, T_{set} | 300 2 2000 75 0.025 83 | s m^3 kg °C kW/K °C | | |
| Biomass gasifier boiler (BGB) | Combustion gas density, ρ_{cg} Combustion gas $C_{p,flg}$ Volume (water), V_B Mass of fluid in boiler, M_b Initial boiler temperature, $T_{b,0}$ Gas-H ₂ O $(UA)_{gw}$ Water-env. heat loss, $(UA)_{we}$ Flue gas temperature, T_{flu} Producer gas LHV_{PG} Gasifier efficiency, η_G Biomass heating value, LHV_{BM} | 1.18 1.00 0.1 100 70 40 0.025 300 5.417 0.70 30 | kg/m^3 kJ/kgK m^3 kg °C kW/K kW/K °C MJ/m^3 % MJ/kg | Gen. inlet temperature, $T_{gr,i}$ Boiler temperature, T_b Gas-water heat rate, \dot{Q}_{gw} Gas-water effectiveness, ϵ_{gw} Producer gas heat rate, \dot{Q}_{PG} Flue gas flow rate, \dot{m}_{flu} Producer gas flow rate, \dot{V}_{PG} | °C °C kW - kW kg/s m^3/s |
| Absorption chiller (ABC) | Generator $(UA)_{ge}$ Generator water flow rate, \dot{m}_{ge} Initial generator exit temp., T_3 Weak sol. mass fraction, x_1 Strong sol. mass fraction, x_4 | 10 0.47 65 55.0 60.0 | kW/K kg/s °C %LiBr %LiBr | Generator temperature, $T_{gr,o}$ Generator heat rate, \dot{Q}_{ge} Generator temperature, T_{gr} Condenser heat rate, \dot{Q}_{cd} Absorber heat rate, \dot{Q}_{ab} Cooling capacity/rate, \dot{Q}_{cr} Chiller performance, COP | °C kW °C kW kW kW - |
| Solar-biomass hybrid A/C system (SBAC) | | | | Auxiliary heat rate, \dot{Q}_{aux} Tank extracted heat, \dot{Q}_{st} Boiler extracted heat, \dot{Q}_{bl} Biomass consume rate, \dot{m}_{BM} SWH efficiency, η_{SWH} BGB efficiency, η_{BGB} System performance, COP _{sys} | kW kW kW kg/hr - - - |

Πίνακας 6.2.2.3. Τιμές εσόδου και εξόδου που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση[29]

Επίσης η προσομοίωση έγινε χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά στοιχεία από το μετεωρολογικό σταθμό στο Ασιατικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μπανκόγκ στην Ταϊλάνδη (γεωγραφικό πλάτος 14.08B). Ηλιακή ακτινοβολία μιας ημέρας (03/ 04/ 2008) και θερμοκρασία περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται σαν τιμές τυπικής ημέρας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι υπολογισμοί των αποτελεσμάτων του μοντέλου έγιναν με το Microsoft Office Excel 2007. Για την ετήσια ανάλυση απόδοσης

του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ο μηνιαίος μέσος όρος ημερήσιας ακτινοβολίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.



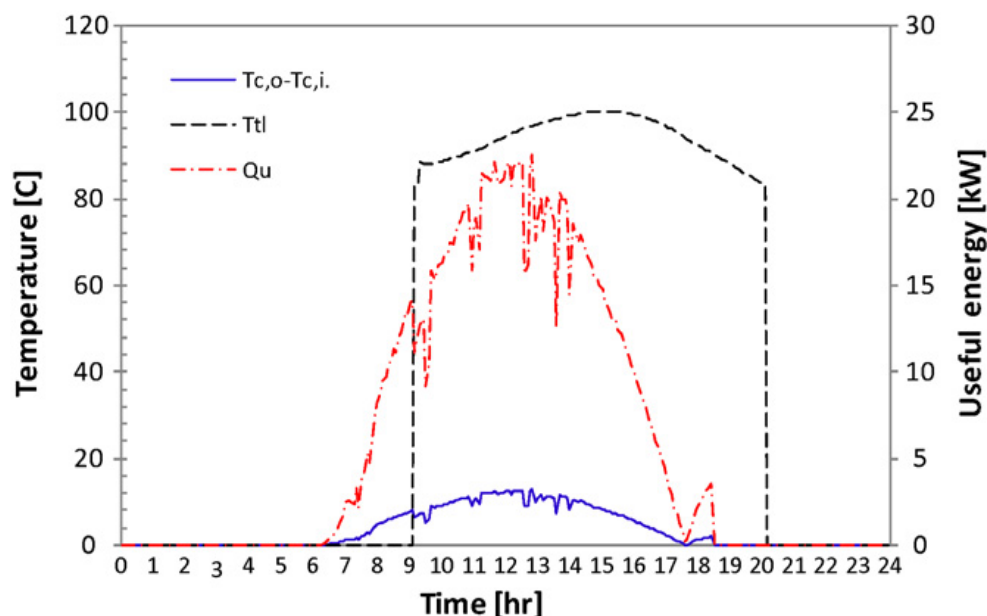
Εικόνα 6.2.2.4. Ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία περιβάλλοντος που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στην προσομοίωση[29]

Αποτελέσματα

Οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και περιβάλλοντος έγιναν για την προσομοίωση ενός υβριδικού συστήματος ψύξης με ηλιακή ενέργεια και βιομάζα 7kW. Η απόδοση κάθε μέρους ξεχωριστά και η συνολική απόδοση του συστήματος υπολογίστηκαν για την περίπτωση μετρήσεων μιας συγκεκριμένης ημέρας και για το μηνιαίο μέσο όρο.

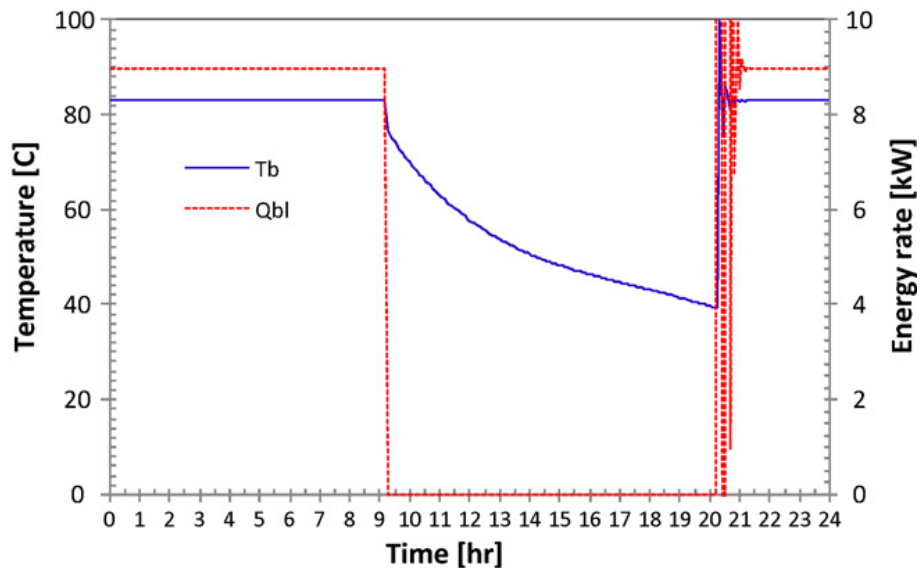
Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα προφίλ της αξιοποιήσιμης ημερήσιας ενέργειας και της θερμοκρασίας του ζεστού νερού του ηλιακού συλλέκτη. Η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη είναι χαμηλή το πρωί αλλά αυξάνεται καθώς ο ήλιος ανατέλλει. Σε συγκεκριμένη παροχή η αντλία του συλλέκτη ενεργοποιείται οπότε η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη είναι υψηλότερη της θερμοκρασίας της δεξαμενής. Η μέγιστη αξιοποιήσιμη ενέργεια στο συλλέκτη είναι 22.54kW. Το νερό του ηλιακού

συλλέκτη ενεργοποιεί τον ψύκτη από τις 9πμ ως τις 8μμ παρέχοντας θερμοκρασία από 83 ως 100 °C. Η θερμοκρασία της δεξαμενής πέφτει κατά τη διάρκεια της νύχτας.



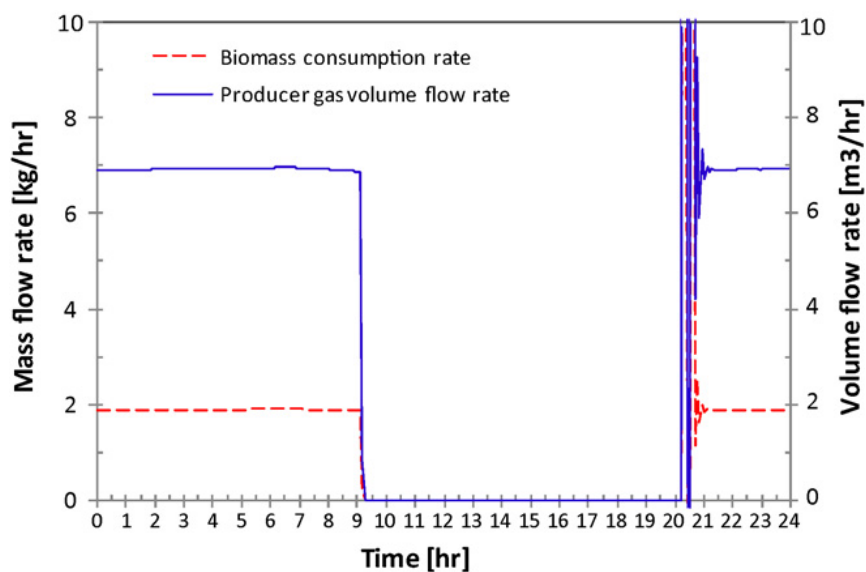
Εικόνα 6.2.2.5. Χρήσιμη ενέργεια και θερμοκρασία ζεστού νερού του συλλέκτη κατά τη διάρκεια μιας ημέρας[29]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα ποσά ενέργειας και τη θερμοκρασία του καυστήρα βιομάζας κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας. Ο καυστήρας βιομάζας ενεργοποιείται (όταν το νερό από τον ηλιακό συλλέκτη σταματά) στις 8 μμ και σταματά κατά τις 9πμ. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η απαιτούμενη βοηθητική θερμότητα κυμαίνεται κατά την έναρξη της λειτουργίας μέχρι να φτάσει στη σταθερή κατάσταση λειτουργίας και μετά παραμένει σχεδόν σταθερή στα 9kW.



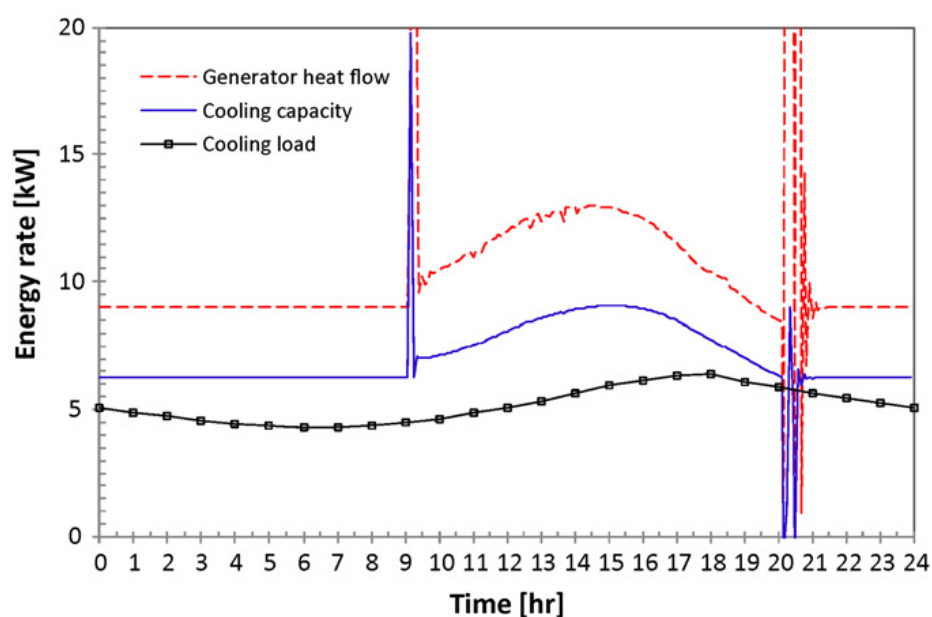
Εικόνα 6.2.2.6. Ενέργεια και θερμοκρασία του καυστήρα βιομάζας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας[29]

Η απόδοση του καυστήρα αεριοποιημένης βιομάζας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα . Κατά τη διάρκεια λειτουργίας, ο αεριοποιητής παράγει αέριο με μέσο όρο παροχής όγκου και μάζας $6.91\text{m}^3/\text{h}$ και $8.15\text{kg}/\text{h}$, αντίστοιχα. Για έναν υψηλής απόδοσης αεριοποιητή η κατανάλωση βιομάζας είναι περίπου $1.89\text{kg}/\text{h}$. Για λειτουργία $24^{\text{ωv}}$ ωρών η μέση κατανάλωση βιομάζας είναι $23.72\text{kg}/\text{h}$ και για 12ωρη λειτουργία (7πμ έως 7μμ) είναι περίπου $4.18\text{kg}/\text{ημέρα}$.



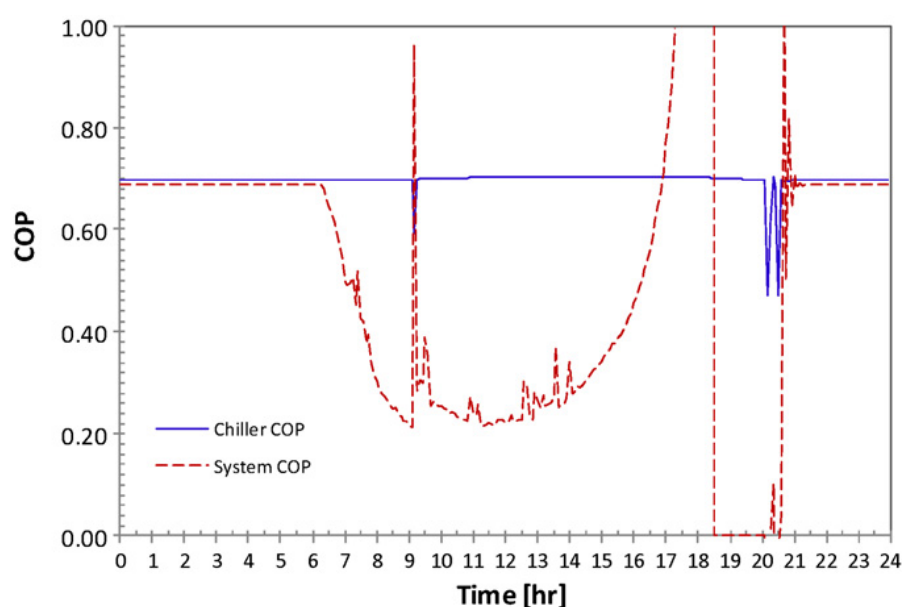
Εικόνα 6.2.2.7. Κατανάλωση βιομάζας και παραγόμενο αέριο[29]

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τα προφίλ των ποσών ενέργειας και της θερμοκρασίας μέσα στον ψύκτη απορρόφησης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όταν το ζεστό νερό προέρχεται από τον καυστήρα βιομάζας στους 85°C, ο ψύκτης μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά με θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου στην ατμογεννήτρια 83°C και 87°C αντίστοιχα. Οι ροές θερμότητας για την ατμογεννήτρια, το συμπυκνωτή, τον ατμοποιητή και τον απορροφητή είναι 8.98 , 6.54 , 6.25 και 8.69 kW αντίστοιχα. Όταν το σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού ενεργοποιείται, το υψηλότερης θερμοκρασίας νερό τροφοδοτείται στην ατμογεννήτρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ροή θερμότητας στην ατμογεννήτρια να αυξάνεται. Γι' αυτό η ψυκτική ικανότητα αυξάνεται στα 9kW μέχρι η θερμοκρασία της δεξαμενής να πέσει. Η ψυκτική ικανότητα αυξάνεται μέχρι το σύστημα ηλιακής θέρμανσης να απενεργοποιηθεί και ο καυστήρας βιομάζας να ενεργοποιηθεί. Κατά τη διάρκεια της ημέρας το ψυκτικό φορτίο του χώρου αυξάνεται λόγω της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της ηλιακής ακτινοβολίας. Το ψυκτικό φορτίο φτάνει σε ένα μέγιστο 6.4 kW στο τέλος της ημέρας και μειώνεται το βράδυ.



Εικόνα 6.2.2.8. Ποσά ενέργειας στον ψύκτη απορρόφησης συναρτήσεϊ του χρόνου[29]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο συντελεστής απόδοσης του ψύκτη και όλης της εγκατάστασης κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Ο COP του ψύκτη είναι σχεδόν σταθερός με μια μέση περίπου τιμή 0.7, ενώ ο COP ολόκληρου του συστήματος είναι σταθερός μόνο κατά τη διάρκεια λειτουργίας του καυστήρα βιομάζας περίπου στο 0.69 αλλά μειώνεται όταν ενεργοποιείται η αντλία του συλλέκτη και αυξάνεται η ενέργεια εισόδου του συστήματος.

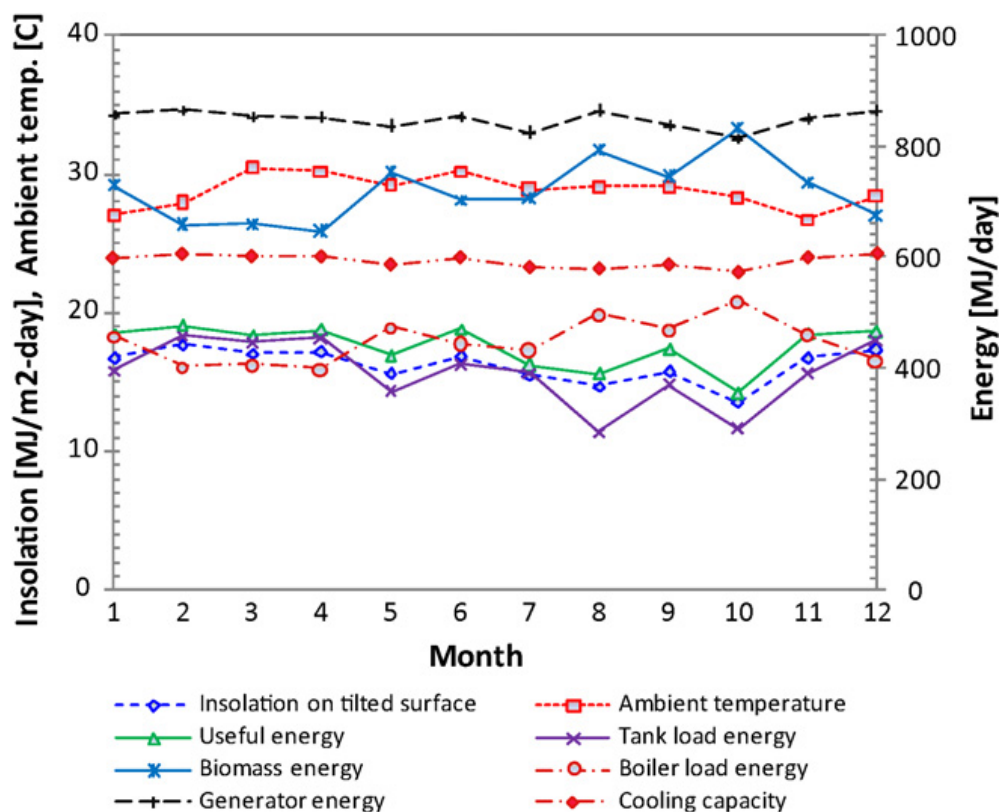


Εικόνα 6.2.2.9. Συντελεστής απόδοσης (COP) του ψύκτη και του συστήματος[29]

Αυτό όμως αντισταθμίζεται όταν απενεργοποιείται ο καυστήρας βιομάζας επειδή η θερμοκρασία στη δεξαμενή είναι αρκετά υψηλή, αλλά μειώνεται ξανά εξαιτίας της αύξησης του ποσοστού της χρήσιμης ηλιακής ενέργειας σαν εισόδο σε σχέση με το ποσοστό ψύξης. Μετά το ηλιακό μεσημέρι, ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος αυξάνεται εξαιτίας της μείωσης της ηλιακής ενέργειας εισόδου. Στο τέλος της ημέρας όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι αρκετά υψηλή ώστε να τροφοδοτήσει την ατμογεννήτρια, δεν προσδίδεται ενέργεια εισόδου στο σύστημα. Κατά

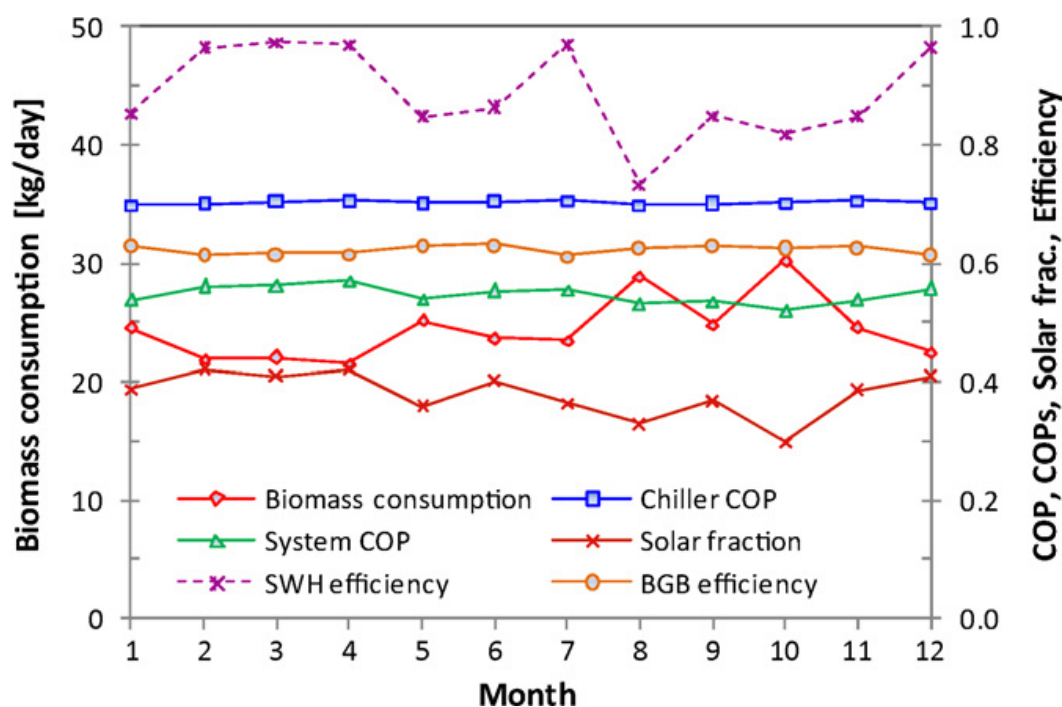
την περίοδο αυτή ο COP είναι μεγαλύτερος της μονάδας και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα έναν υψηλό συντελεστή απόδοσης για το σύστημα.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η μέση μηνιαία ημερήσια απόδοση του συστήματος για ένα χρόνο. Ο Φεβρουάριος έχει την υψηλότερη μέση ημερήσια ακτινοβολία των 17.71 MJ/m² και έτσι το σύστημα λαμβάνει την υψηλότερη χρήσιμη ηλιακή ενέργεια των 477 MJ, ενώ τον Οκτώβρη έχει το χαμηλότερη μέση μηνιαία ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ίση με 355 MJ. Το Δεκέμβριο την υψηλότερη ημερήσια ψυκτική ενέργεια (που παρέχει ψυκτική ικανότητα) ίση με 607 MJ. Τον Οκτώβρη το σύστημα απαιτεί ενέργεια από βιομάζα για μεγαλύτερες περιόδους, και έτσι αυτό το μήνα το σύστημα έχει τη χαμηλότερη ενέργεια ψύξης ίση με 573 MJ. Εξαιτίας αυτού του ποσοστού ψυκτικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενεργοποίησης του συστήματος βιομάζας, η θερμοκρασία στον καυστήρα βιομάζας είναι 83 °C, χαμηλότερη από ότι κατά τη λειτουργία με ηλιακή ενέργεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2.2.8.



Εικόνα 6.2.2.10. Μέσα μηνιαία ημερήσια καιρικά δεδομένα και ποσοστό ενέργειας[29]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο μηνιαίος μέσος όρος ημερήσιας απόδοσης του συστήματος. Οι μήνες Φεβρουάριος και Οκτώβριος έχουν τα υψηλότερα και χαμηλότερα ηλιακά ποσοστά, 42 και 30 αντίστοιχα. Ο Οκτώβρης έχει την υψηλότερη ημερήσια κατανάλωση βιομάζας στα 30.25 kg/ημέρα. Το Μάρτιο η μέση μηνιαία ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι η υψηλότερη και έτσι η απόδοση του ηλιακού συστήματος φτάνει την υψηλότερη τιμή της 97%. Η απόδοση του συστήματος βιομάζας είναι συνεχώς σταθερή ίση με 62%. Ο COP του ψύκτη απορρόφησης είναι σταθερός στο 0.7, ενώ ο COP ολόκληρου του συστήματος κυμαίνεται από 0.51 έως 0.57. Η υψηλότερη και η χαμηλότερη τιμή του COP ολόκληρου του συστήματος εμφανίζονται για τον Απρίλιο και τον Οκτώβριο αντίστοιχα.

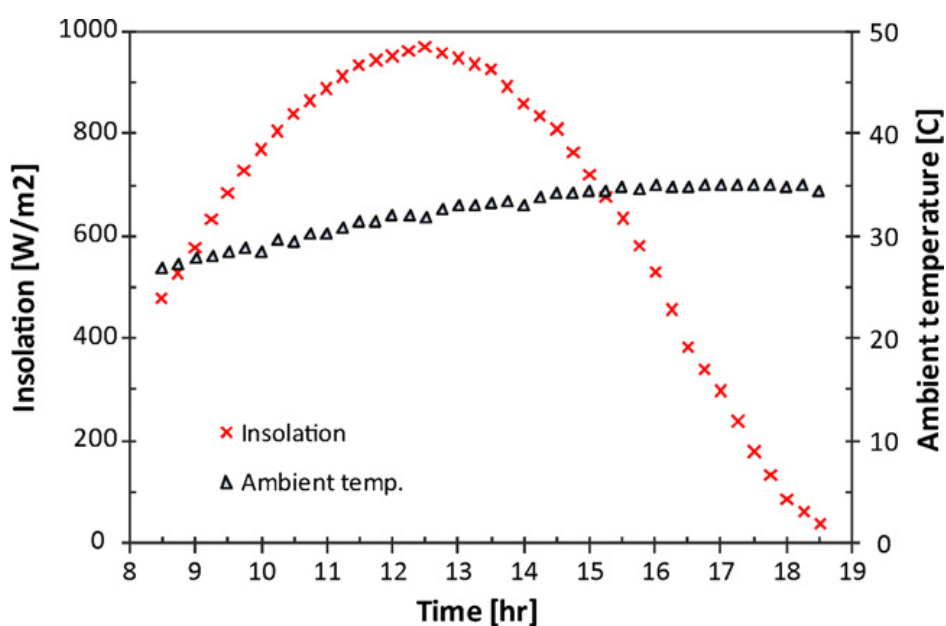


Εικόνα 6.2.2.11. Μέσα μηνιαία ημερήσια απόδοση του συστήματος[29]

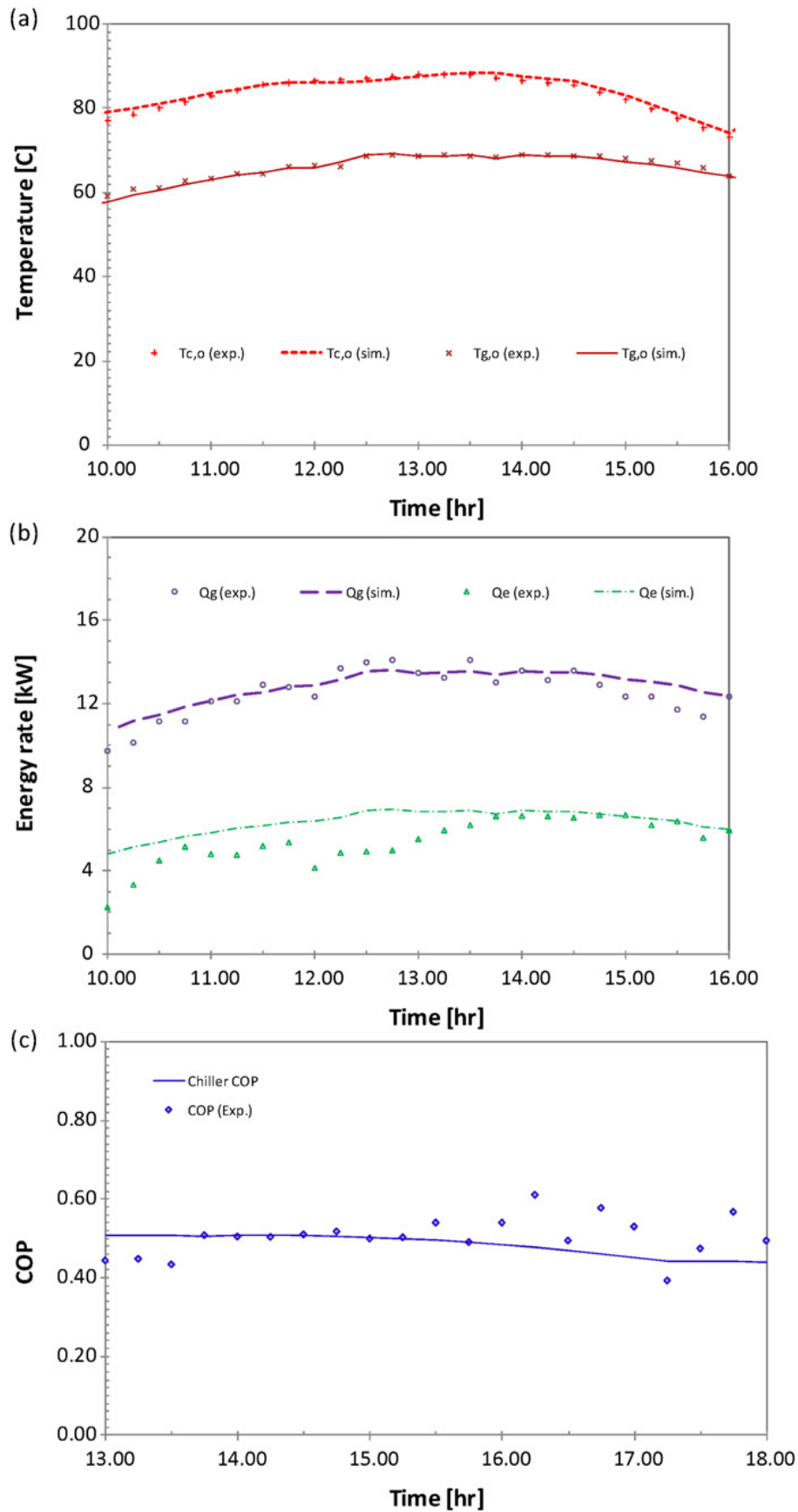
Εξακρίβωση του μοντέλου

Για να εξακριβωθεί το προτεινόμενο μοντέλο και η διαδικασία που υιοθετήθηκε, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με πειραματικά δεδομένα. Η σύγκριση έγινε για μέγεθος ψύκτη 35kW. Τα αποτελέσματα που προβλέφθηκαν όσον αφορά τη θερμοκρασία του

νερού στην έξοδο του συλλέκτη και την έξοδο της ατμογεννήτριας του ψύκτη συγκρίθηκαν χρησιμοποιώντας τα ίδια κλιματολογικά δεδομένα (Εικόνα 6.2.2.12.). Τα προφίλ των θερμοκρασιών του νερού στην έξοδο του συλλέκτη και της ατμογεννήτριας, καθώς και τα ποσά ενέργειας της ατμογεννήτριας και του ατμοποιητή του ψύκτη, από τις πειραματικές παρατηρήσεις και από τις προβλέψεις του μοντέλου, σε σταθερές συνθήκες λειτουργίας φαίνονται στην εικόνα 6.2.2.13. Η σύγκριση γίνεται για τη θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη, τη θερμότητα της ατμογεννήτριας, την ψυκτική ικανότητα και το COP του ψύκτη. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν πως το μέσο απόλυτο σφάλμα, για 25 δεδομένα της κάθε παραμέτρου που συγκρίθηκε, ήταν 1.88 και 0.11°C για τις θερμοκρασίες εξόδου του συλλέκτη και της ατμογεννήτριας αντίστοιχα, 0.5 και 0.97 kW για τα ποσά ενέργειας της ατμογεννήτριας και του ατμοποιητή, και 0.03 για το COP του ψύκτη. Αυτό αποδεικνύει την κοντινή πρόβλεψη του μοντέλου σε σχέση με τα πειραματικά αποτελέσματα και πως τα μοντέλα του συλλέκτη, της δεξαμενής αποθήκευσης και του ψύκτη απορρόφησης παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα.



Εικόνα 6.2.2.12. Δεδομένα εισόδου του καιρού για την εξακρίβωση του μοντέλου[29]



Εικόνα 6.2.2.13. Σύγκριση αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των πειραματικών δεδομένων.(a) προφίλ θερμοκρασίας, (b) ποσοστά ενέργειας, (c) COP του ψύκτη σε σταθερή κατάσταση[29]

Συμπεράσματα

Ένα ευέλικτο μαθηματικό μοντέλο αναπτύχθηκε για το υβριδικό σύστημα ψύξης (ηλιακό - βιομάζας) με LiBr/νερό χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα και εμπορικές προδιαγραφές για τις προβλέψεις απόδοσης. Για να προσδιορίσουμε την ακρίβεια του μοντέλου, τα προτεινόμενα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι προβλεπόμενες τιμές από το μοντέλο συγκλίνουν με τα πειραματικά αποτελέσματα. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την πρόβλεψη της ημερησίας και της μηνιαίας μέσης απόδοσης του SBAC (υβριδικό σύστημα ψύξης). Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι ο SWH (ηλιακός συλλέκτης) μπορεί να δώσει ενέργεια στον ψύκτη για περίπου 11 ώρες ημερησίως παρέχοντας θερμοκρασία νερού δεξαμενής στους 83–100°C. Για 24 και 12 ώρες λειτουργία, η ημερησία μέση κατανάλωση βιομάζας είναι 23.72 και 4.18 kg/ημέρα, αντίστοιχα. Η μέση τιμή του συντελεστή απόδοσης του ψύκτη είναι 0.7, ενώ ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του συστήματος είναι σταθερός (περίπου 0.69) μόνο κατά τη διάρκεια της χρήσης της βιομάζας. Με βάση τα αριθμητικά στοιχεία της απόδοσης του συστήματος, οι προοπτικές των υβριδικών (ηλιακό-βιομάζας) ψυκτικών συστημάτων φαίνονται ελπιδοφόρες για κατοικίες καθώς και για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, αυτό το ψυκτικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με άλλες ανανεώσιμες πηγές θερμότητας (π.χ. γεωθερμική, απορριπτόμενη θερμότητα) ή άλλους τύπους συλλεκτών (π.χ. συλλέκτες σωλήνων κενού).

Τα συστήματα ηλιακής ψύξης που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια ή φυσικό αέριο ή πετρέλαιο σαν βοηθητική πηγή θερμότητας. Έτσι αυτά τα συστήματα βασίζονται σε μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και λειτουργούν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το προτεινόμενο όμως σύστημα ψύξης με απορρόφηση που χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια και βιομάζα, βασίζεται

ολοκληρωτικά σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με το συμβατικό σύστημα, μείωση της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τον κλιματισμό, μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αγροτικά μέρη όπου υπάρχει επαρκής βιομάζα και μπορεί να λειτουργεί κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας.

Η βιωσιμότητα του συστήματος στηριζόμενη στα αποτελέσματα του μοντέλου πρέπει να εξεταστεί, όχι μόνο για να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία του μοντέλου αλλά και για να επιδειχθεί η λειτουργία του συστήματος που βασίζεται μόνο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα των κτιρίων και των κατοικιών στο μέλλον στις αναπτυσσόμενες οικονομίες, η ζήτηση για τέτοιου είδους συστήματα, που στηρίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα αυξηθεί. Επίσης είναι ξεκάθαρο πως τέτοια απομονωμένα συστήματα έχουν σημαντικές πιθανότητες να συμπεριλάβουν ποικίλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τεχνολογίες ηλιακών επίπεδων συλλεκτών, συλλεκτών κενού, συστήματα καύσης βιομάζας, συστήματα που βασίζονται στην αεριοποίηση βιομάζας, συστήματα βιοαερίου, συστήματα στερεών αποβλήτων και γεωθερμικά συστήματα, ανάλογα με την τοποθεσία και τις ανάγκες.

Αναφορές

1. <http://www.selasenergy.gr>
2. <http://www.treehugger.com>
3. <http://www.solarcentral.org>
4. <http://www.iea.org>
5. <http://www.telstar.ote.cmu.edu>
6. <http://www.climate.wwf.gr>
7. United Nations Framework Convention on Climate Change (1992), United Nations, Αρ.1, παρ.3
8. <http://www.users.att.sch.gr>
9. <http://www.wri.com>
10. <http://www.eia.gov>
11. <http://www.bioage.typepad.com>
12. Σαμιώτης Γ. και Τσάλτας Γρ. (1990), Διεθνής Προστασία του Περιβάλλοντος (Τόμος 1ος), Διεθνείς πολιτικές και το Δίκαιο του Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Παπαζήση
13. Γρηγορίου Π.Η., Σαμιώτης Γ.Δ. και Τσάλτας Γ. Ι. (1993), Η συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών (Rio de Janeiro) για το περιβάλλον και την ανάπτυξη, Εκδόσεις Παπαζήση
14. <http://www.ipcc.ch>
15. <http://www.wwf.gr>
16. Srihirin P., Aphornratana S., Chungpaibulpatana S. (2001), Renewable and Sustainable energy reviews: A review of absorption refrigeration technologies
17. Marciss RA, Gutraj JM, ZAwacki TS. (1988), Absorption fluid data survey; final report on worldwide data, ORLN/sub/8447989/3, Inst. Gas Tech
18. Arzoz D., Rodriguez P., Izquierdo M. Experimental study on the adiabatic absorption of water vapor into LiBr-H₂O solutions, <http://www.sciencedirect.com>
19. Grossman G., Johansenn A., Solar cooling and air-conditioning, <http://www.sciencedirect.com>
20. Hongxi Yin, An absorption chiller in a Micro BCHP Application: Model based Design and Performance Analysis, Carnegie Mellon University
21. Schmidt E., Grigull U., Πίνακες Ιδιοτήτων νερού - υδρατμού, Εκδόσεις Fountas
22. Κίλιανις C. (2006), Διαγράμματα βρωμιούχου λιθίου (LiBr)
23. wikipedia, <http://www.el.wikipedia.org/wiki>
24. Περγίδιος Δ. Σταμάτης (2009), Ηλιοθερμικές Εγκαταστάσεις, Αθήνα
25. Αντωνόπουλος Α. Κίμων (2004), Θερμικά - Ηλιακά συστήματα (Μέρος Πρώτο), Αθήνα

26. J.Darkwa, S. Fraser, D.H.C. Chow (2011), Theoretical and practical analysis of an integrated solar hot water-powered absorption cooling system, University of Nottingham Ningbo, <http://www.sciencedirect.com>
27. Βιοκαύσιμα, <http://www.biofuels.com>
28. Ελληνική εταιρεία βιομάζας, <http://www.hellabiom.gr>
29. Boonrit Prasartkaew, S. Kumar (2010), A low carbon cooling system using renewable energy resources and technologies, <http://www.sciencedirect.com>
30. Καμπύλης Νικόλαος (2009), Ηλιακός κλιματισμός με την χρήση Desiccant υλικών, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π, Αθήνα
31. <http://www.ydravlikos.gr>

Επεξήγηση συμβόλων

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| ABS | Absorber |
| CON | Condenser |
| CT | Cooling tower |
| COP | Coefficient of performance |
| C _p | Specific heat capacity |
| CFCs | Chlorofluorocarbons |
| CO ₂ | Carbon dioxide |
| CH ₄ | Methane |
| CH ₃ OH | Methanol |
| DHW | Domestic hot water |
| DAHX | Desorber/absorber heat exchanger |
| DAR | Diffusion absorption refrigeration |
| GAX | Generator/absorber heat exchanger |
| EVP | Evaporator |
| HTRG | High temperature regenerator |
| HTHX | High temperature heat exchanger |
| HCFCs | Hydrochlorofluorocarbons |
| HFCs | Hydrofluorocarbons |
| IRR | Internal rate of return |
| h | Enthalpy [kg/kJ] |
| KOH | Potassium hydroxide |
| KNO ₃ | Potassium Nitrate |

| | |
|-------------------|--------------------------------------|
| LTRG | Low temperature regenerator |
| LTHX | Low temperature heat exchanger |
| LBAC | LiBr air conditioner |
| LBAS | LiBr absorber |
| LiBr | Lithium bromide |
| LiCl | Lithium chloride |
| LPG | Liquefied petroleum gas |
| LiNO ₃ | Lithium nitrate |
| m | Mass [kg/s] |
| NaOH | Sodium hydroxide |
| NH ₃ | Ammonia |
| NaNO ₃ | Sodium nitrate |
| NO _x | Mono-nitrogen oxides |
| NPV | Net present value |
| p | Pressure [Pa] |
| Q | Heat [kJ] |
| SO ₂ | Sulfur dioxide |
| T | Temperature [°C] |
| v | Specific volume [m ³ /kg] |
| W | Work [kW] |
| x | Mass fraction |
| ZnBr ₂ | Zinc bromide |
| SWH | Solar water heating |

BGB Biomass gasifier boiler

ABC Absorber chiller