



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Θερμότητας

Διπλωματική εργασία
Ψυκτικά συστήματα απορρόφησης με χρήση
μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου.

Φοιτητής: Αλέξης Σπυρίδων

Αριθμός μητρώου:02107675

Επιβλέπουσα: Κορωνάκη Ειρήνη, Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα 2016

Αθήνα 2016

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα θερμότητας από τον Σεπτέμβριο 2014 μέχρι τον Σεπτέμβριο 2016, υπό την επίβλεψη της Επίκουρου Καθηγήτριας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Ε. Μ. Π. κ. Κορωνάκης Ειρήνης από τον προπτυχιακό φοιτητή Αλέξη Σπυρίδων, με σκοπό την απόκτηση του διπλώματος του Μηχανολόγου Μηχανικού από το Ε.Μ.Π.

Επιθυμώ να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Ειρήνη Κορωνάκη, τόσο για την εμπιστοσύνη την οποία επέδειξε προς το πρόσωπο μου με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής όσο και για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με αυτό το πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο. Η άψογη συνεργασία και η υποδειγματική καθοδήγηση της στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής ήταν πολύτιμες.

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η σύγκριση των επιδόσεων πέντε διαφορετικών διαμορφώσεων του ψυκτικού συστήματος απορρόφησης που λειτουργεί με χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου ($\text{NH}_3 - \text{LiNO}_3$). Αρχικά αναφέρεται η συμβολή των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης στην προστασία του περιβάλλοντος και η ανάγκη για περαιτέρω διεξαγωγή ερευνών πάνω σε νέα εργαζόμενα μέσα. Ακόμα, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης γίνεται φανερό ότι υπάρχει μικρός αριθμός ερευνών που αφορούν το μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι επιπτώσεις της χρήσης συμβατικών καυσίμων στο πλανήτη και περιγράφεται η λειτουργία των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης. Επιπλέον, αναλύονται οι πέντε τύποι ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης που λειτουργούν με μίγμα $\text{NH}_3 - \text{LiNO}_3$, οι οποίοι είναι: i) το μονής-βαθμίδας σύστημα, ii) το μισής-βαθμίδας σύστημα, iii) το διπλής-βαθμίδας σύστημα σε σειρά, iv) το διπλής βαθμίδας αντίστροφο σύστημα και v) το τριπλής-βαθμίδας σύστημα. Μαθηματικά μοντέλα αναπτύχθηκαν με την βοήθεια της προγραμματιστικής γλώσσας matlab, προκειμένου να προσδιοριστούν οι συντελεστές απόδοσης ως συνάρτηση των κύριων θερμοκρασιών λειτουργίας (αναγεννητή, απορροφητή, συμπυκνωτή, ατμοποιητή) για κάθε ένα από τα συστήματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης επιτεύχθηκε με το μισής-βαθμίδας σύστημα. Το μονής βαθμίδας σύστημα έχει την πιο απλή διαμόρφωση και επιτυγχάνει σχεδόν τον διπλάσιο βαθμό απόδοσης συγκριτικά με το μισής βαθμίδας. Με το διπλής βαθμίδας σύστημα είναι δυνατόν να επιτευχθεί βαθμός απόδοσης, περίπου 1.12. Ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί με το τριπλής-βαθμίδας σύστημα, το οποίο είναι το πιο περίπλοκο και η χρήση του ενδείκνυται κυρίως για κλιματισμό χώρων.

Λέξεις κλειδιά: ηλιακή ψύξη, αναγέννηση θερμότητας, προχωρημένα συστήματα απορρόφησης, αμμωνία-νιτρικό λίθιο

ABSTRACT

This thesis presents the performance comparison of five different configurations of absorption cooling systems operating with ammonia-lithium nitrate. First of all, it presents the contribution of refrigeration absorption systems to environmental protection and the need to conduct further research on new working mixtures. Still, through literature review it is apparent that there have been few studies of the ammonia-lithium nitrate mixture. Then, it presents the impact of using fossil fuels in planet and describes the operation of absorption refrigeration systems. Furthermore, five types of absorption refrigeration systems operating with a mixture of NH₃ – LiNO₃ are analyzed. The configurations are: i) single-effect, ii) half-effect, iii) double-effect in series, iv) double-effect inverse and v) triple-effect. Mathematical models were developed for each one of the systems with the use of programming language matlab. Coefficients of performance are reported for the systems as function of their main operating temperatures, such as: generation, absorption, condensation, and evaporation. The results showed that the lowest evaporator temperatures can be achieved with half effect systems. The single-effect system is the simplest configuration. Its coefficients of performance are almost twice higher than those obtained with half effect systems. With double-effect systems it is possible to obtain coefficients of performance as high as 1.12. The highest coefficients of performance can be achieved with triple-effect systems but they are the most complex, and they should be mainly used for air conditioning.

Keywords: solar cooling, heat regeneration systems, advanced absorption systems, ammonia-lithium nitrate

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1 Γενική ανασκόπηση.....	10
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	11
1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°	14
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ.....	14
2.1 Εισαγωγή	14
2.2 Έρευνες από τη διεθνή Βιβλιογραφία.....	14
2.3 Συμπεράσματα.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°	19
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΑΝΥΨΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ... 19	
3.1 Ενεργειακό πρόβλημα	19
3.2 Μειονεκτήματα χρήσης συμβατικών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας	22
3.2.1 Φαινόμενο Θερμοκηπίου.....	23
3.3:Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής	30
3.4 Το θεσμικό πλαίσιο της Παγκόσμιας Περιβαλλοντικής Πολιτικής.....	31
3.4.1. Η Συνδιάσκεψη του Ρίο.....	31
3.4.2 Από το Ρίο έως την Κανκούν: οι Συνδιασκέψεις των Συμβαλλομένων Μερών.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°	35
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ.....	35
4.1 Εισαγωγή	35
4.2 Συστήματα απορρόφησης.....	39
4.2.1 Ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας απορρόφησης	39
4.2.2 Αρχές λειτουργίας του κύκλου απορρόφησης	40
4.2.3 Σύγκριση συμβατικού κύκλου ψύξης συμπίεσης με ψυκτικό κύκλο απορρόφησης.....	44
4.2.4 Εργαζόμενα ρευστά στην ψύξη απορρόφησης.....	46
4.2.5 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης ($\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$).....	48
4.2.6 Θερμοδυναμική Απεικόνιση Ψυκτικού Κύκλου $\text{H}_2\text{O}-\text{LiBr}$	50

4.2.7 Ψυκτικός Κύκλος απορρόφησης (NH ₃ -H ₂ O).....	53
4.2.8 Σύγκριση μεθόδου NH ₃ /H ₂ O με LiBr/H ₂ O.....	55
4.2.9 Διβάθμια ψυκτική μονάδα απορρόφησης.....	57
4.2.10 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ψυκτικών μονάδων απορρόφησης.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	60
ΨΥΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ-ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΛΙΘΙΟΥ	60
5.1 Εισαγωγή	60
5.2 Περιγραφή συστημάτων	60
5.2.1 Μονής-βαθμίδας	60
5.2.2 Μισής-βαθμίδας	63
5.2.3 Διπλής -βαθμίδας σε σειρά.....	67
5.2.4 Διπλής -βαθμίδας αντίστροφο σύστημα	71
5.2.5 τριπλής -βαθμίδας σε σειρά	75
5.3 Ανάλυση των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης.....	79
5.3.1 Βασικές παραδοχές της ανάλυσης των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης.....	79
5.3.2 Αλγόριθμος υπολογισμού των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°	83
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΜΙΓΜΑ NH ₃ -LiNO ₃	83
6.1. Εισαγωγή	83
6.1.1 Μονής-Βαθμίδας	83
6.1.2 Μισής-Βαθμίδας	87
6.1.3 Διπλής-Βαθμίδας σε Σειρά	90
6.1.4 Διπλής-Βαθμίδας Αντίστροφο Σύστημα	92
6.1.5 Τριπλής-Βαθμίδας σε Σειρά.....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°	98
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
7.1 Σύγκριση ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης με χρήση NH ₃ – LiNO ₃	98
7.2 Σύγκριση των Ψυκτικών Συστημάτων Απορρόφησης με χρήση Μίγματος NH ₃ – LiNO ₃ έναντι H ₂ O-LiBr	100
7.3 Συμπεράσματα.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	106

ΕΙΚΟΝΕΣ-ΠΙΝΑΚΕΣ

Εικόνα 3.1: Εκτίμηση ΕΙΑ για την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ως το 2030 [6]	20
Εικόνα 3.2: Αύξηση του πληθυσμού της γης σε δισεκατομμύρια ανθρώπους [7].....	20
Εικόνα 3.3: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου σε quadrillion BTU [8]	21
Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ της πηγής(ήλιος),της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας.[19]	26
Εικόνα 3.5: Η παγκόσμια κατάσταση αερίων του θερμοκηπίου και η συμβολή τους[20].....	27
Εικόνα 3.6: Προβλέψεις σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας στην γη.[22]	28
Εικόνα 3.7: Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα[20]...	28
Εικόνα 3.8: Αύξηση του CO ₂ στην ατμόσφαιρα.[23]	29
Εικόνα 3.9: Αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου[24].....	29
Εικόνα 1. 10: Αύξηση μέσης θερμοκρασίας πλανήτη.[22]	30
Πίνακας 3. 1: Εκτιμώμενα παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα συμβατικών καυσίμων.[11].....	22
Εικόνα 4.1: Ψυκτικός κύκλος αερίου.....	36
Εικόνα 4.2: Βασικός κύκλος συμπίεσης ψυκτικού ατμού[31]	41
Εικόνα 4.3: Βασικός κύκλος απορρόφησης[31]	42
Εικόνα 4.4: Σχηματική αναπαράσταση ψυκτικού κύκλου απορρόφησης.....	45
Εικόνα 4.5: Διάγραμμα ψυκτικού συστήματος απορρόφησης LiBr-H ₂ O [33]	49
Εικόνα 4.6: Παράσταση των μεταβολών του δ/τος LiBr διατάξεως απορρόφησης H ₂ O–LiBr. [32].....	51
Εικόνα 4.7: Σχηματική παράσταση στοιχειώδους ψυκτικής διάταξης απορρόφησης H ₂ O– LiBr. [32]	52
Εικόνα 4.8: Διάγραμμα ψυκτικής μονάδας αμμωνίας-νερού[34]	55
Εικόνα 4. 9: Διβάθμιος ψύκτης που θερμαίνεται με ατμό [28].....	57
Εικόνα 5.1: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονής-βαθμίδας. ...	61
Εικόνα 5.2: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μισής-βαθμίδας. ...	64
Εικόνα 5.3: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησης διπλής-βαθμίδας σε σειρά.....	68
Εικόνα 5.4: Διάγραμμα P-T αντίστροφου ψυκτικού συστήματος απορρόφησης διπλής-βαθμίδας	72
Εικόνα 5.5: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησηςτριπλής- βαθμίδας.76	
Εικόνα 6.1: Διάγραμμα COP-Te, μονής βαθμίδας, Ta = Tc = 30 °C.....	84
Εικόνα 6.2: Διάγραμμα COP-Te, μονής βαθμίδας, Ta = Tc = 40 °C.....	85
Εικόνα 6.3: Διάγραμμα COP-Te, μονής βαθμίδας, Ta = Tc = 50 °C.....	86
Εικόνα 6 4: Διάγραμμα COP-Te, μισής βαθμίδας, Ta = Tc = 30 °C	87
Εικόνα 6. 5: Διάγραμμα COP-Te, μισής βαθμίδας, Ta = Tc = 40 °C.....	88
Εικόνα 6. 6: Διάγραμμα COP-Te, μισής βαθμίδας, Ta = Tc = 50 °C	89
Εικόνα 6.7: Διάγραμμα COP-Tg, διπλής βαθμίδας σε σειρά, Ta = Tc = 30 °C.....	90

Εικόνα 6. 8: Διάγραμμα COP-Tg, διπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 40\text{ }^\circ\text{C}$	91
Εικόνα 6. 9: Διάγραμμα COP-Tg, διπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 50\text{ }^\circ\text{C}$	92
Εικόνα 6. 10: Διάγραμμα COP-Tg, διπλής βαθμίδας αντίστροφο, $T_a = T_c = 30\text{ }^\circ\text{C}$	93
Εικόνα 6. 11: Διάγραμμα COP-Tg, διπλής βαθμίδας αντίστροφο, $T_a = T_c = 40\text{ }^\circ\text{C}$	94
Εικόνα 6. 12: Διάγραμμα COP-Tg, διπλής βαθμίδας αντίστροφο, $T_a = T_c = 50\text{ }^\circ\text{C}$	95
Εικόνα 6. 13: Διάγραμμα COP-Tg, τριπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 30\text{ }^\circ\text{C}$	96
Εικόνα 6. 14: Διάγραμμα COP-Tg, τριπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 40\text{ }^\circ\text{C}$	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική ανασκόπηση

Στην περίοδο αυτή, των έντονων κλιματικών αλλαγών, ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν την διεθνή κοινότητα είναι η εξασφάλιση του ενεργειακού μέλλοντος του πλανήτη. Επομένως, γίνεται επιτακτική ανάγκη η εύρεση νέων μεθόδων αξιοποίησης των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων για όλα τα αναπτυγμένα κράτη.

Εκτιμάται πως περίπου το 15% της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται για ψύξη και κλιματισμό χώρων καθώς τα συνηθισμένα συστήματα ψύξης απαιτούν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργήσουν.[1] Λόγω της συγκεκριμένη κατανάλωση αλλά κυρίως λόγω της κοινωνικής και επιστημονικής συνειδητοποίησης για περιβαλλοντική υποβάθμιση, τα συστήματα ψύξης με απορρόφηση έχουν κερδίσει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Τα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης μπορούν να μειώσουν κατά πολύ την απαιτούμενη ενέργεια για παραγωγή ψύξης αν συνδυαστούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την τροφοδοσία τους όπως η ηλιακή θερμική ενέργεια, ή οποιαδήποτε άλλη θερμική ενέργεια βοηθώντας έτσι σημαντικά και στον περιορισμό της εκπομπής ρύπων στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα αφού η αρχή λειτουργίας τους δεν στηρίζεται στην χρήση κανενός είδους συμβατικού ψυκτικού μέσου, έχουν μηδενική επίδραση στην καταστροφή του όζοντος και μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για αυτούς τους λόγους, τα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης μπορούν να αποτελέσουν μία φιλική προς το περιβάλλον λύση για την κάλυψη των ψυκτικών αναγκών .

Τα συνηθέστερα εργαζόμενα μέσα στα συστήματα ψύξης είναι τα μίγματα αμμωνίας-νερού($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$) και νερού-λιθικού βρομίου ($\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$).

Τα μίγματα αυτά παρουσιάζουν πληθώρα μειονεκτημάτων. Για το λόγο αυτό, η προσοχή των ερευνητών έχει στραφεί προς την μελέτη άλλων μιγμάτων όπως αυτό της αμμωνίας-νιτρικού λιθίου.

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στη γενική ανασκόπηση, διαφαίνεται η σημαντικότητα να διεξαχθεί μια ολοκληρωμένη έρευνα σε ότι αφορά την χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου στα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που ακολουθεί, δεν υπάρχει μελέτη για τη σύγκριση των επιδόσεων της μονής-βαθμίδας, μισής-βαθμίδας, διπλής-βαθμίδας σε σειρά και αντίστροφα και τριπλής-βαθμίδας ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης που λειτουργούν με μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου. Σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι να παρουσιαστεί μία σχετική έρευνα κατά την οποία θα γίνει η περιγραφή των πέντε διαφορετικών τύπων ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης και να υπολογιστούν οι βαθμοί αποδόσεις για κάθε τύπο συστήματος ξεχωριστά.

Στην συνέχεια, μέσω λεπτομερούς σύγκρισης της αποδοτικότητας του μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου με τα μίγματα αμμωνίας-νερού (NH₃ – H₂O) και νερού-λιθικού βρομίου (H₂O – LiBr) θα αναφερθεί σε ποιές περιπτώσεις ενδείκνυται η χρήση του κάθε μίγματος αναλόγως τον τύπο του ψυκτικού συστήματος.

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Τα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολουθούν την παρακάτω δομή:

Το 1^ο **κεφάλαιο** είναι εισαγωγικό και ο σκοπός του είναι να δώσει στον αναγνώστη μια γενική εικόνα για το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα

διπλωματική εργασία. Αναφέρεται η συμβολή των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης στην προσπάθεια κάλυψης των ψυκτικών αναγκών με φιλικά προς το περιβάλλον μέσα. Στην συνέχεια, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του αντικειμένου μελέτης. Ακόμα, γίνεται εκτενής αναφορά στην αναγκαιότητα ύπαρξης περισσότερων μελετών πάνω στα εργαζόμενα μέσα που χρησιμοποιούν τα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης και καθορίζεται ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας. Το εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της δομής της εργασίας.

Το **2^ο κεφάλαιο** περιλαμβάνει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, που αφορά στην ανάλυση ερευνών από τη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τη μελέτη του μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου. Η μελέτη του συγκεκριμένου μίγματος πραγματοποιείται με μια πληθώρα μεθόδων. Επίσης, η βιβλιογραφική ανασκόπηση περιλαμβάνει έρευνες που αφορούν τα προχωρημένα συστήματα απορρόφησης. Παρατίθενται, επιπλέον, και τα σχετικά αποτελέσματα των ερευνών αυτών. Τέλος, αναφέρεται η έλλειψη σχετικών ερευνών και η αναγκαιότητα μιας πιο ολοκληρωμένης έρευνας σχετικής με τα εργαζόμενα μέσα στην ψύξη απορρόφησης. Με αυτό τον τρόπο παρουσιάζεται η σημαντικότητα της έρευνας που εκπονείται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Το **3^ο κεφάλαιο** αναφέρεται στην κλιματική αλλαγή και στην ανύψωση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αντιληπτή η φθορά που προκαλείται στον πλανήτη λόγω της άμετρης κατανάλωση ενέργειας.. Αρχικά αναφέρεται το ενεργειακό πρόβλημα και τα μειονεκτήματα της χρήσης συμβατικών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας. Στη συνέχεια, περιγράφεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην γη αλλά και στην ζωή των ανθρώπων. Τέλος, αναφέρονται οι Συνδιασκέψεις που έχουν πραγματοποιηθεί μεταξύ κρατών από όλο τον κόσμο με σκοπό την λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος.

Το 4^ο κεφάλαιο αναφέρεται στα συστήματα κλειστού τύπου. Αρχικά περιγράφεται ο ψυκτικός κύκλος αερίου και στην συνέχεια γίνεται ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας απορρόφησης. Έπειτα αναφέρονται οι αρχές λειτουργίας του κύκλου απορρόφησης και αναλύεται ο ψυκτικός κύκλος απορρόφησης για τα συνηθέστερα εργαζόμενα μέσα. Τέλος, γίνεται λεπτομερής σύγκριση του μίγματος αμμωνίας-νερού (NH₃/H₂O) με το μίγμα λιθικού βρομίου-νερού (LiBr/H₂O).

Το 5^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει την περιγραφή των πέντε διαφορετικών τύπων ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης που λειτουργούν με χρήση μίγματος NH₃-LiNO₃. Οι τύποι αυτοί είναι i)το μονής-βαθμίδας σύστημα, ii)το μισής-βαθμίδας σύστημα, iii)το διπλής-βαθμίδας σύστημα σε σειρά iv)το διπλής-βαθμίδας αντίστροφο σύστημα, v)το τριπλής-βαθμίδας σύστημα. Στην συνέχεια αναφέρονται οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του εργαζόμενου μέσου.

Το 6^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας. Για την ακρίβεια, παρατίθενται τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης έναντι των κύριων θερμοκρασιών λειτουργίας για τους πέντε διαφορετικούς τύπους ψυκτικών συστήματος απορρόφησης.

Το 7^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει την σύγκριση των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης και τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας. Για την ακρίβεια, συγκρίνεται η απόδοση των πέντε τύπων ψυκτικών συστημάτων που χρησιμοποιούν αμμωνία-νιτρικό λίθιο με βάση τον συντελεστή συμπεριφοράς τους. Επιπλέον γίνεται σύγκριση των συστημάτων απορρόφησης που λειτουργούν με νερό-λιθικό βρώμιο έναντι αυτών που χρησιμοποιούν αμμωνία-νιτρικό λίθιο. Μέσω της σύγκρισης αυτής προκύπτουν τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας τα οποία παρατίθενται στο τέλος του κεφαλαίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Μέχρι τώρα τα μίγματα αμμωνίας-νερού($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$) και νερού-λιθικού βρομίου ($\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$) αποτελούν τα πιο συνηθισμένα εργαζόμενα μέσα στα συστήματα ψύξης. Ωστόσο λόγω των γνωστών μειονεκτημάτων τους, καινούργια εργαζόμενα μίγματα όπως αυτό της αμμωνίας-νιτρικού λιθίου έχουν κερδίσει το ενδιαφέρον των ερευνητών.

2.2 Έρευνες από τη διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτες του μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου.

Το 1991 πραγματοποιήθηκε από τους R. Best, L. Porras, F.A. Holland, μία έρευνα με τίτλο <<Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on ammonia-lithium nitrate-part one>>. Σκοπός αυτής της έρευνας ήταν η καταγραφή του θεωρητικού βαθμού απόδοσης ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονής-βαθμίδας, το οποίο λειτουργεί με χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου στην κύρια θερμοκρασία λειτουργίας. Προέκυψε πως ο βαθμός απόδοσης του συστήματος μπορούσε να φτάσει το 0,7.

Το 1995 διεξήχθη μία έρευνα από τους K.A.Antonopoulos, E.D. Rogdakis με τίτλο <<Performance of solar-driven ammonia/lithium nitrate and ammonia/sodium thiocyanate absorption systems operating as coolers or heat pumps in Athens>>, κατά την οποία συγκρίθηκαν οι αποδόσεις συστημάτων ηλιακής απορρόφησης για ψύξη και θέρμανση που λειτουργούν χρησιμοποιώντας μίγματα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου και αμμωνίας-θειοκυανικού νατρίου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πώς ο υψηλότερος βαθμός απόδοσης για θέρμανση εξασφαλίστηκε με την χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου ($\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$).

Για σκοπούς ψύξης το μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου πέτυχε το υψηλότερο ψυκτικό φορτίο. Μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης(COP) επιτεύχθηκε με μίγμα αμμωνίας-θειοκυανικού νατρίου($\text{NH}_3 - \text{NaSCN}$).

Το 1996 και 1997 πραγματοποιήθηκε μία έρευνα από τους R. Ayala, C.L. Heard, F.A. Holland με τίτλο << Ammonia-lithium nitrate absorption compression refrigeration cycle>> όπου μελετήθηκε ένα πρωτότυπο υβριδικό ψυκτικό σύστημα απορρόφησης-συμπίεσης που λειτουργούσε με μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου. Αποδείχθηκε ότι η αποδοτικότητα του συστήματος αυξάνεται έως και 10% συγκριτικά με αυτήν που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας συστήματα συμπίεσης ή απορρόφησης μεμονωμένα.

Το 2003 διεξήχθη μία έρευνα από τους C.O. Rivera, W. Rivera με τίτλο <<Modeling of an intermittent solar absorption refrigeration system operating with ammonia-lithium nitrate mixture>>. Σκοπός της έρευνα ήταν η μοντελοποίηση ενός διακοπτόμενου συστήματος ψύξης με ηλιακή απορρόφηση που λειτουργούσε με μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου χρησιμοποιώντας ένα κυλινδρικό παραβολικό συλλέκτη σαν αναγεννητή-απορροφητή. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το συγκεκριμένο σύστημα ήταν πιθανό να παράγει πάνω από 8kg πάγου καθημερινά.

Το 2010 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα από τους R. Ventas, A. Lecuona, A. Zacarías, M. Venegas με τίτλο << Ammonia-lithium nitrate absorption chiller with an integrated low-pressure compression booster cycle for low driving temperatures>> κατά την οποία διαμορφώθηκε ένας υβριδικός κύκλος βασισμένος στο σύστημα απορρόφησης μονής-βαθμίδας με έναν επιπλέον συμπιεστή ενσωματωμένο μεταξύ του ατμοποιητή και του απορροφητή. Το σύστημα χρησιμοποιούσε διάλυμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως αυτός ο κύκλος λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τον συνηθισμένο κύκλο μονής-βαθμίδας και έχει χαμηλή ηλεκτρική κατανάλωση.

Το 2011 διεξήχθη μία έρευνα από τους A. Zacarías, M. Venegas, R. Ventas, A. Lecuona με τίτλο << Experimental assessment of ammonia adiabatic absorption into ammonia-lithium nitrate solution using a flat fan nozzle >> Σκοπός της έρευνας ήταν η καταγραφή πειραματικών εκτιμήσεων της αδιαβατικής απορρόφησης της αμμωνίας μέσα στο διάλυμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου με την χρήση ενός επίπεδου ακροφύσιου ψεκασμού και ενός ψύκτη μονού περάσματος. Από την έρευνα αυτή προέκυψαν συσχετίσεις για τον συντελεστή ισορροπίας και τον αριθμό Sherwood, χρήσιμα στοιχεία για την σχεδίαση αδιαβατικών απορροφητών.

Το 2011 πραγματοποιήθηκε μία έρευνα από τους W. Rivera, G. Moreno-Quintanar, C.O. Rivera, R. Best, F. Martínez με τίτλο << Evaluation of a solar intermittent refrigeration system for ice production operating with ammonia/lithium nitrate >> κατά την οποία αξιολογήθηκε ένα διακοπτόμενο σύστημα ηλιακής ψύξης το οποίο χρησίμευε για την παραγωγή πάγου. Το σύστημα αυτό λειτουργούσε με μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως θα μπορούσε να επιτευχθεί βαθμός απόδοσης μέχρι 0.08 σε θερμοκρασία ατμοποίησης που έφτανε τους -11 °C.

Το 2012 διεξήχθη μία έρευνα από τους A. Acuña, N. Velázquez, J. Cerezo, με τίτλο <<Energy analysis of a diffusion absorption cooling system using lithium nitrate, sodium thiocyanate and water as absorbent substances and ammonia as the refrigerant>> όπου πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική ανάλυση για ένα ψυκτικό σύστημα απορρόφησης που χρησιμοποιεί νιτρικό λίθιο, θειοκυανικό νάτριο, νερό σαν απορροφητική ουσία και αμμωνία ως το ψυκτικό μέσο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου ήταν πιο αποτελεσματικό σε συγκεκριμένες συνθήκες από τα άλλα δύο μίγματα απαιτώντας χαμηλότερες θερμοκρασίες αναγεννητή συγκριτικά με το μίγμα αμμωνίας-νερού.

Το 2013 δημοσιεύτηκε μια θεωρητική μελέτη από τους C. Vasilescu, C.I. Ferreira με τίτλο <<Solar driven double-effect absorption cycles for subzero Temperatures>> ενός ηλιακού συστήματος απορρόφησης διπλής-βαθμίδας.

Το σύστημα λειτουργούσε με $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$ υπό καλοκαιρινές συνθήκες. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως με την χρήση 1000m^2 ηλιακών συλλεκτών ήταν δυνατόν να εξασφαλιστούν 600 kW ψυκτικού φορτίου.

Προχωρημένα συστήματα απορρόφησης.

Όσον αφορά την ανάπτυξη προχωρημένων συστημάτων απορρόφησης, το 2002 δημοσιεύθηκε από τον Y. Kaita έρευνα με τίτλο <<Simulation results of triple-effect absorption cycles>> κατά την οποία αναλύθηκαν τρεις τύποι του συστήματος απορρόφησης τριπλής βαθμίδας με την χρήση ενός νέου προγράμματος προσομοίωσης. Οι τύποι αυτοί είναι τα συστήματα απορρόφησης τριπλής-βαθμίδας σε παραλληλία, σε σειρά και αντίστροφα . Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το σύστημα τριπλής-βαθμίδας σε παραλληλία μπορεί να επιτύχει τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης(COP), ενώ το αντίστροφο σύστημα τριπλής-βαθμίδας μπορεί να λειτουργήσει στις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Το 2006 διεξήχθη μία έρευνα από τους Z. Wan, S. Shu, X. Hu με τίτλο <<Novel high-efficient solar absorption refrigeration cycles>> κατά την οποία προτάθηκε ένας νέος ψυκτικός κύκλος ηλιακής απορρόφησης δύο σταδίων που λειτουργεί με την χρήση μίγματος νερού-λιθικού βρομίου . Για την ακρίβεια αναμειχθηκε το διάλυμα λιθικού βρομίου που φεύγει από αναγεννητή υψηλής πίεσης με διάλυμα που έρχεται από έναν χαμηλής πίεσης απορροφητή ,με σκοπό να αυξηθούν οι συγκεντρώσεις λιθικού βρομίου στον αναγεννητή υψηλής πίεσης και να μειωθεί η πίεση στον υψηλής πίεσης απορροφητή. Τα θεωρητικά αποτελέσματα έδειξαν πως ο υψηλότερος βαθμός απόδοσης(COP) που επιτεύχθηκε ήταν $0,605$ και η υψηλότερη δυνατή θερμοκρασιακή διαφορά έφθανε τους $33,5^\circ\text{C}$ σε θερμοκρασίες από 75°C έως 85°C .

Το 2007 πραγματοποιήθηκε μία έρευνα από τους Muhsin Kilic, Omer Kaynakli με τίτλο <<Second law-based thermodynamic analysis of water-lithium bromide absorption refrigeration system>>.

Στην έρευνα διεξήχθη μελέτη για την απόδοση κύκλου ψύξης μονής βαθμίδας που λειτουργεί με μίγμα H₂O – LiBr, μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου με την χρήση του πρώτου και δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως ο COP του συστήματος αυξάνεται καθώς οι θερμοκρασίες του αναγεννητή και του ατμοποιητή αυξάνονται ενώ ο COP μειώνεται καθώς η θερμοκρασία συμπύκνωσης και απορρόφησης αυξάνεται.

Το 2010 διεξήχθη μία έρευνα από τους B.H. Gebreslassie, M. Medrano, D. Boer με τίτλο << Exergy analysis of multi-effect water-LiBr absorption systems>> κατά την οποία πραγματοποιήθηκε μια εξεργειακή ανάλυση για συστήματα απορρόφησης που λειτουργούν με μίγμα νερού-βρωμιούχου λιθίου. Από την έρευνα προέκυψε ότι οι απορροφητές και οι αναγεννητές παθαίνουν την μεγαλύτερη καταστροφή εξέργειας, ειδικότερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες θερμικής προελεύσεως.

2.3 Συμπεράσματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συμβολή των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης στην προσπάθεια κάλυψης των ψυκτικών αναγκών με φιλικά προς το περιβάλλον μέσα, είναι μεγάλη. Τα συνηθισμένα εργαζόμενα μέσα παρουσιάζουν πολλά μειονεκτήματα. Για αυτό το λόγο η μελέτη νέων εργαζόμενων μέσων γίνεται επιτακτική ανάγκη.

Από την παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει μια πληθώρα μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη του μίγματος, τόσο υπολογιστικές, όσο και πειραματικές, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης των ψυκτικών συστημάτων. Επιπλέον, από την παρουσίαση των σχετικών ερευνών που έχουν γίνει για την χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου, φανερώνεται η ανάγκη μιας λεπτομερέστερης μελέτης πάνω στην χρήση του μίγματος. Μία τέτοια μελέτη παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΑΝΥΨΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ

3.1 Ενεργειακό πρόβλημα

Καθώς ο πληθυσμός της γης αυξάνεται συνεχώς ,ενώ παράλληλα η συνεχείς βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων στις υποανάπτυκτες αλλά και στις αναπτυγμένες χώρες είναι δεδομένη, γίνεται προφανές ότι η αύξηση της κατανάλωσης και ζήτησης ενέργειας είναι μία αναπόφευκτη κατάσταση.

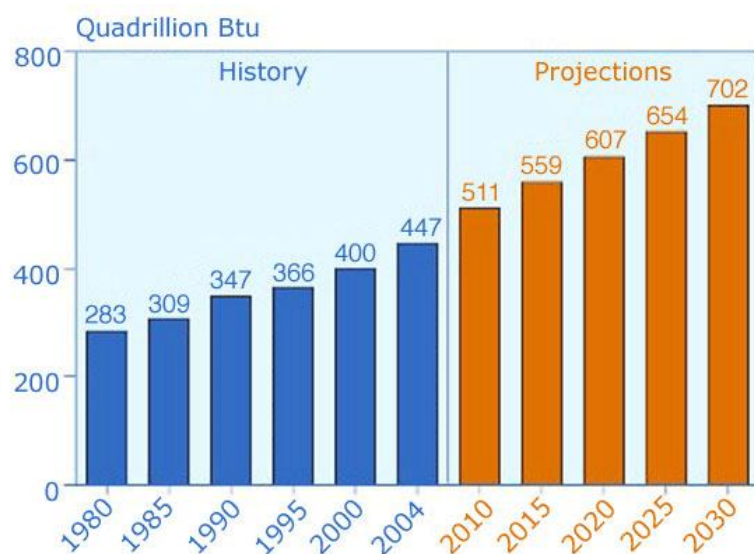
Είναι αρκετά εύκολο να κατανοήσουμε τι σημαίνει αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται αν αναλογιστούμε το πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών που έχουμε σήμερα στο σπίτι μας σε σχέση με τις συσκευές που είχαμε, ας πούμε, πριν 50 χρόνια, ή τον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν τώρα στους δρόμους σε σχέση με τότε.. Στο ίδιο συμπέρασμα θα οδηγηθούμε 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.

Πλέον ο πληθυσμός της γης φτάνει τα 7 δισεκατομμύρια. Οι άνθρωποι έχουν ανάγκη την ενέργεια για να καλυτερέψουν το επίπεδο ζωής τους. Πολλοί επιστήμονες μάλιστα συσχετίζουν την ποιότητα διαβίωσης με την κατανάλωση ενέργειας.[4]

Υπολογίζεται προσεγγιστικά πως οι ενεργειακές ανάγκες του πρωτόγονου άνθρωπου έφταναν τα 6,3 MJ την ημέρα, οι οποίες καλύπτονταν εξολοκλήρου από την τροφή τού. Στην σημερινή ημέρα ο άνθρωπος χρησιμοποιεί περίπου 1000 MJ δηλαδή 150 φορές περισσότερη. [5]

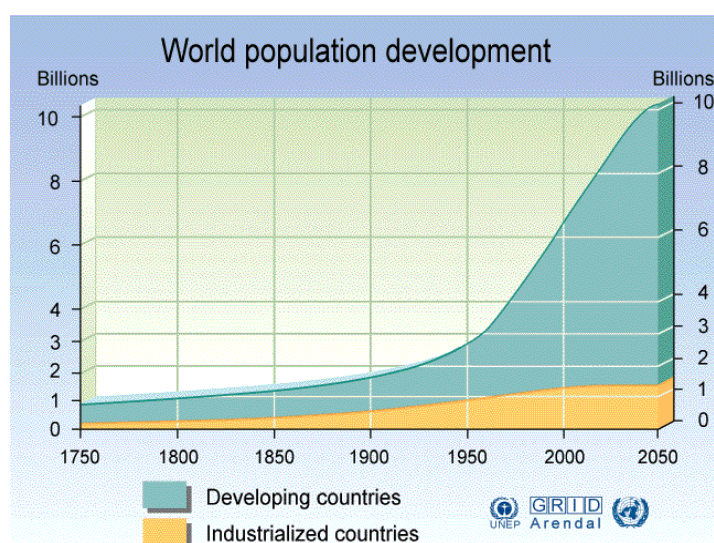
Επιπλέον, σύμφωνα με την εκτίμηση του U.S Energy Information Administration [Εικόνα 3.1], η συνολική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αναμένεται ότι θα αυξηθεί κατά 56%, από το 2010 έως το 2040.

Για την ακρίβεια από 524 τετράκις εκατομμύρια Btu το 2010, σε 630 τετράκις εκατομμύρια Btu το 2020 και σε 820 τετράκις εκατομμύρια Btu το 2040.



Εικόνα 3.1: Εκτίμηση ΕΙΑ για την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ως το 2030 [6]

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

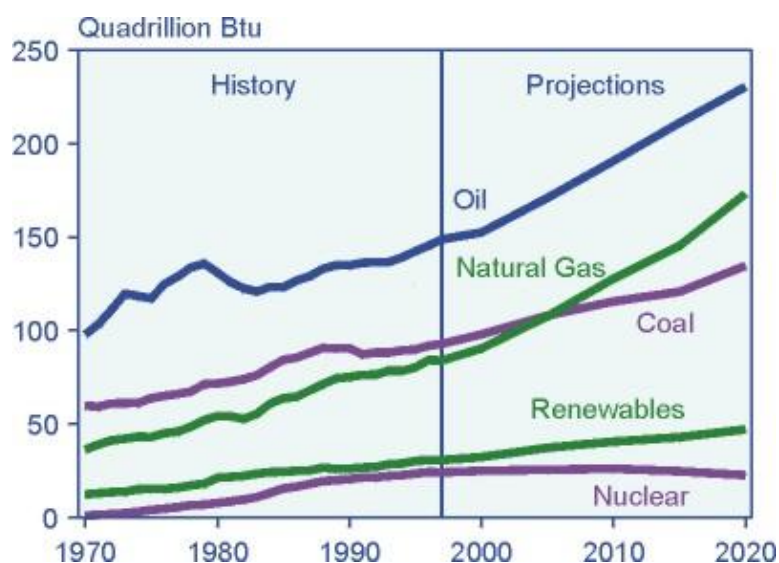


Εικόνα 3.2: Αύξηση του πληθυσμού της γης σε δισεκατομμύρια ανθρώπους [7]

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) [5]

Η κύρια εγχώρια πηγή ενέργειας είναι ο λιγνίτης, ο οποίος χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα 4/5(85,7%) της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτονται από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, λιγνίτης).

Το φυσικό αέριο εισήχθη για πρώτη φορά το 1996 και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εξαιρουμένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών, άρχισαν να αποτελούν αξιοσημείωτη πηγή για την παραγωγή ενέργειας από τα τέλη της δεκαετίας του '90.



Εικόνα 3.3: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου σε quadrillion BTU [8]

Προσεγγιστικά, το 86,6 % της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης καλύπτεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων.[9]

Η συνεχείς αύξηση των ενεργειακών αναγκών σε συνδυασμό με τα περιορισμένα αποθέματα συμβατικής ενέργειας είναι οι κύριοι παράγοντες που συντελούν στην δημιουργία του ενεργειακού προβλήματος.

3.2 Μειονεκτήματα χρήσης των συμβατικών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας

Η χρήση συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας συνηθίζεται στην σύγχρονη εποχή. Όμως τα συμβατικά καύσιμα αποτελούν εξαντλήσιμες πηγές ενέργειας καθώς οι ποσότητες τους είναι περιορισμένες και αν η εξόρυξη τους συνεχισθεί με τους σημερινούς ρυθμούς σύντομα θα εξαντληθούν.

Για παράδειγμα, μελέτες με σύγχρονα ηλεκτρικά συστήματα έχουν προσδιορίσει τα αποθέματα υδρογονανθράκων σε ποσότητες αρκετές για περίπου 100 χρόνια ακόμη (πηγή:International Energy Association). [10]

Εκτιμώμενα Παγκόσμια Ενεργειακά Αποθέματα $\times 10^{21}$ Joules		
Ενεργειακή πηγή	Αποδεδειγμένα αποθέματα	Εκτιμώμενα Υπόλοιπα
Άνθρακας	25,3	177,2
Αργό Πετρέλαιο-Υγρό φυσικό αέριο	3,7	12,7
Φυσικό Αέριο	2,1	11,6
Σχάσιμα Υλικά	1,4	2,6

Πίνακας 3. 1: Εκτιμώμενα παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα συμβατικών καυσίμων.[11]

Επιπλέον κατά την καύση των συμβατικών καυσίμων εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα ρύποι, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση φαινομένων όπως αυτό του θερμοκηπίου αλλά και της όξινης βροχής. [10]

3.2.1 Φαινόμενο Θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου που παρατηρείται στην ατμόσφαιρα έχει πάρει το όνομα του από τα θερμοκήπια, τα οποία ζεσταίνονται από το ηλιακό φως παρότι ο μηχανισμός με τον οποίο η ατμόσφαιρα διατηρεί τη θερμότητα είναι διαφορετικός. Ένα θερμοκήπιο λειτουργεί κυρίως επιτρέποντας το φως του ηλίου να θερμάνει επιφάνειες εσωτερικά μίας γυάλινης υπερκατασκευής ή θόλου και στην συνέχεια εμποδίζοντας την απορροφούμενη θερμότητα να δραπετεύσει μέσω μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό θερμαίνεται το εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να διατηρούνται οι καλλιέργειες πάντα σε κατάλληλη και σχετικά σταθερή θερμοκρασία. Ένα θερμοκήπιο είναι χτισμένο από οποιοδήποτε υλικό που περνάει το φως του ήλιου, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό. [12]

Η θερμοκρασία αυξάνεται καθώς ο ήλιος θερμαίνει το έδαφος στο εσωτερικό της κατασκευής, το οποίο στην συνέχεια θερμαίνει τον αέρα του θερμοκηπίου. Ο αέρας συνεχίζει να θερμαίνεται καθώς περιορίζεται μέσα στο θερμοκήπιο, σε αντίθεση με το περιβάλλον έξω από το θερμοκήπιο όπου θερμός αέρας κοντά στην επιφάνεια ανεβαίνει και αναμιγνύεται με ψυχρότερο αέρα από ψηλά. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί με το άνοιγμα ενός μικρού παραθύρου στην κορυφή του, όπου στην περίπτωση αυτή η θερμοκρασία θα μειωθεί αισθητά. Ο μηχανισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου συχνά ταυτίζεται με τη λειτουργία ενός πραγματικού θερμοκηπίου, ωστόσο η ταύτιση αυτή αποτελεί υπεραπλούστευση, καθώς τα θερμοκήπια στηρίζονται στην "απομόνωση" της θερμότητας και την εξάλειψη φαινομένων μεταφοράς της ενώ το φαινόμενο του θερμοκηπίου λειτουργεί με διαφορετικό μηχανισμό.[13]

Το φαινόμενο ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο μαθηματικό, αστρολόγο και φυσικό Ζοζέφ Φουριέ, το 1824, ενώ διερευνήθηκε συστηματικά από τον Σβάντε Αρρένιους το 1896. [14]

Τα τελευταία χρόνια, ο όρος συνδέεται με την παγκόσμια θέρμανση (global warming), ενώ θεωρείται πως το φαινόμενο έχει ενισχυθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Παρατηρείται δε σε όλους τους πλανήτες που διαθέτουν ατμόσφαιρα.

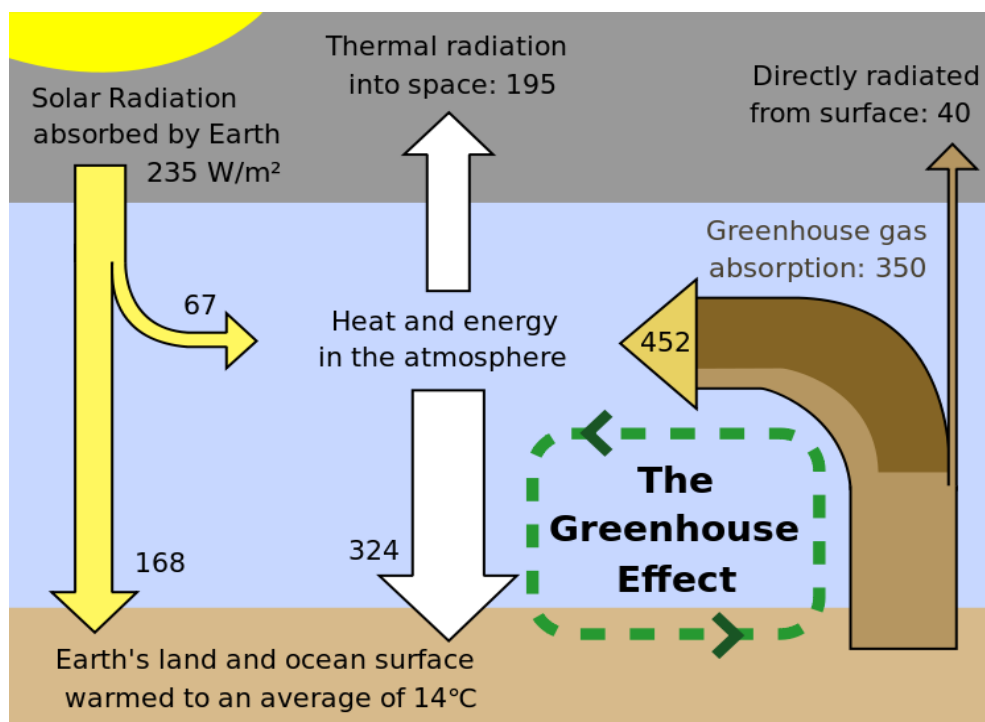
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία κατά την οποία η θερμική ακτινοβολία μιας πλανητικής επιφάνειας απορροφάται από ατμοσφαιρικά αέρια θερμοκηπίου και εκ νέου ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Ένα μέρος της επανεκπεμπόμενης ακτινοβολίας επιστρέφει πίσω στην επιφάνεια και στην κατώτερη ατμόσφαιρα προκαλώντας ανύψωση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας, συγκριτικά ανώτερης από την θερμοκρασία που θα επικρατούσε στην περίπτωση απουσίας των αερίων. Η ηλιακή ακτινοβολία, σε συχνότητες του ορατού φωτός διέρχεται σε μεγάλο βαθμό μέσω της ατμόσφαιρας για να θερμάνει την πλανητική επιφάνεια, η οποία στην συνέχεια εκπέμπει την ενέργεια αυτή στις χαμηλές συχνότητες της υπέρυθρης θερμικής ακτινοβολίας. Στην συνέχεια η υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάται από τα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία με τη σειρά τους ακτινοβολούν εκ νέου ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας προς την επιφάνεια και την ατμόσφαιρα. [14]

Τα βασικά χαρακτηριστικά του φαινόμενο του θερμοκηπίου συνοψίζονται στα παρακάτω

- Η ακτινοβολία από τον ήλιο εισέρχεται κατά κύριο λόγο σε μορφή ορατού φωτός και μήκων κύματος, κυρίως στο εύρος από 0,2 έως 4 μm , που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία του ήλιου ίση με 6000 K. Σχεδόν το ήμισυ της ακτινοβολίας αυτής είναι στην μορφή του ορατού φωτός, στο οποίο τα μάτια μας είναι προσαρμοσμένα. [15]

- Περίπου το 50% της ενέργειας του ήλιου απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και το υπόλοιπο ανακλάται ή απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Η αντανάκλαση του φωτός πίσω στο διάστημα γίνεται σε μεγάλο βαθμό από τα σύννεφα και δεν επηρεάζει πολύ τον βασικό μηχανισμό. Αυτό το φως, ουσιαστικά, χάνεται στο σύστημα. [16]
- Η απορροφούμενη ενέργεια θερμαίνει την επιφάνεια της γης. Απλοποιημένες παρουσιάσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου, όπως το εξιδανικευμένο μοντέλο του θερμοκηπίου, δείχνουν αυτή την θερμότητα να χάνεται σαν θερμική ακτινοβολία. Η πραγματικότητα είναι πιο περίπλοκη: η ατμόσφαιρα κοντά στην επιφάνεια είναι σε μεγάλο βαθμό αδιαφανής σε θερμική ακτινοβολία και οι περισσότερες απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια είναι με αισθητή και λανθάνουσα μεταφορά θερμότητας. Οι ακτινοβολούμενες απώλειες ενέργειας γίνονται όλο και περισσότερες στην ατμόσφαιρα κυρίως λόγω της μειωμένης συγκέντρωσης υδρατμών, ένα σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου. [17]
- Η ενίσχυση του φαινομένου από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η παγκόσμια θερμοκρασία ενδέχεται να αυξηθεί έως και 4 βαθμούς Κελσίου έως τα μέσα της δεκαετίας του 2050 .
εάν συνεχισθούν οι σημερινές εκπομπές αερίων CO₂. Το φαινόμενο αυτό, της αύξησης της συνολικής θερμοκρασίας του πλανήτη, μπορεί να έχει ανυπολόγιστες συνέπειες για τους ζωντανούς οργανισμούς .Οι συνέπειες αυτές μπορεί να είναι άμεσες (εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών, ερημοποίηση «πράσινων» περιοχών) ή μελλοντικές (συνολική αλλαγή του κλίματος, λιώσιμο των πάγων, άνοδος του επιπέδου της θάλασσας, καταποντισμός παράκτιων περιοχών). [18]

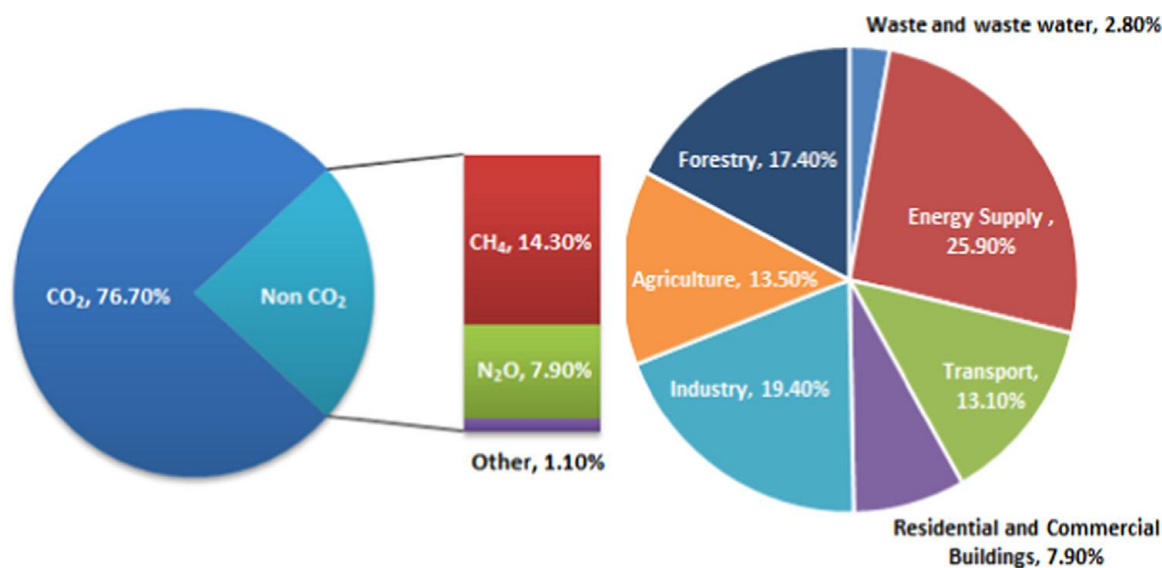


Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ της πηγής(ήλιος),της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας.[19]

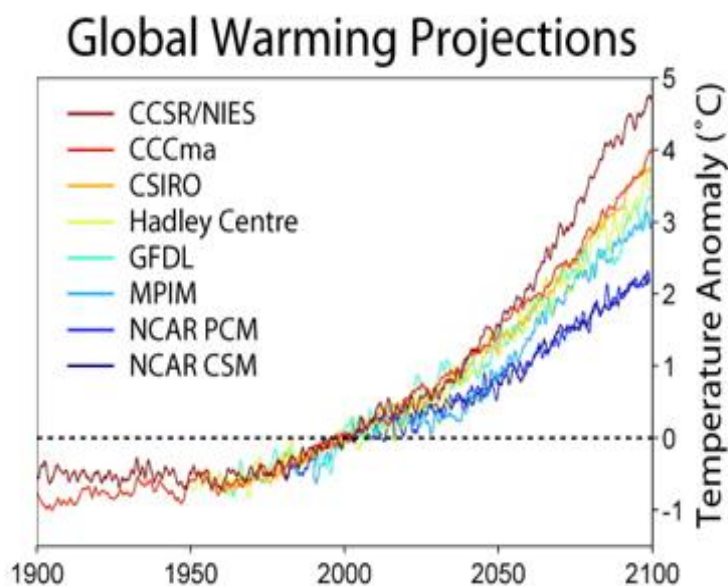
- Οι ανθρωπίνες δραστηριότητες έχουν οδηγήσει σε τεράστιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO_2 – 76.7%, CH_4 – 14.37%, N_2O – 7.9%, άλλα αέρια – 1.1%) προκαλώντας σοβαρή υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Σχεδόν όλες οι χώρες παγκοσμίως κάνουν τεράστιες προσπάθειες για τη μείωση αυτών των εκπομπών αερίων, όπως ορίζει η σύμβαση πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC). Σύμφωνα με τη διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC), από το 1970 έως το 2004 οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν από 28,7 σε 49,0 Gt CO_2 δηλαδή αύξηση γύρω στο 70%. Η μεγαλύτερη συμβολή σε αυτή την αύξηση, σχεδόν το 80%, προήλθε από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), ακολουθούν οι εκπομπές μεθανίου (CH_4), που αυξήθηκαν κατά 40% από την αρχική τιμή τους. Και οι δύο αυτοί ρύποι που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου προέρχονται από διάφορους τομείς, αλλά οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι της ενέργειας, των μεταφορών, της βιομηχανίας, της γεωργίας, της κτηνοτροφίας και της παραγωγής αποβλήτων.

Ενώ οι μεγαλύτερες ποσότητες διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) προέρχονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις μεταφορές και τις βιομηχανικές διεργασίες οι βασικές πηγές εκπομπής μεθανίου (CH_4) είναι η γεωργία, τα ορυκτά καύσιμα (ανάκτηση, επεξεργασία και διανομή) και ο τομέας αποβλήτων (διάθεσης και επεξεργασίας). [20]

- Οι χώρες που συμμετέχουν στο πρωτόκολλο του Κιότο είναι υποχρεωμένες να υποβάλουν ετήσια απογραφή των αερίων εκπομπών που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι υποβληθείσες απογραφές διαδίδονται αργότερα μέσω εκθέσεων και ιστοσελίδων στο διαδίκτυο.
- Σύμφωνα με την σύμβαση πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) από τις τριάντα χώρες με τις περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το 1990 έως το 2008, η Κίνα βρίσκεται στην κορυφή της λίστας με 7500 Mt CO_2 , ακολουθούν οι ΗΠΑ με 7.000 Mt CO_2 και τρίτη στην σειρά βρίσκεται η Ρωσία με 3.300 Mt CO_2 . [21]

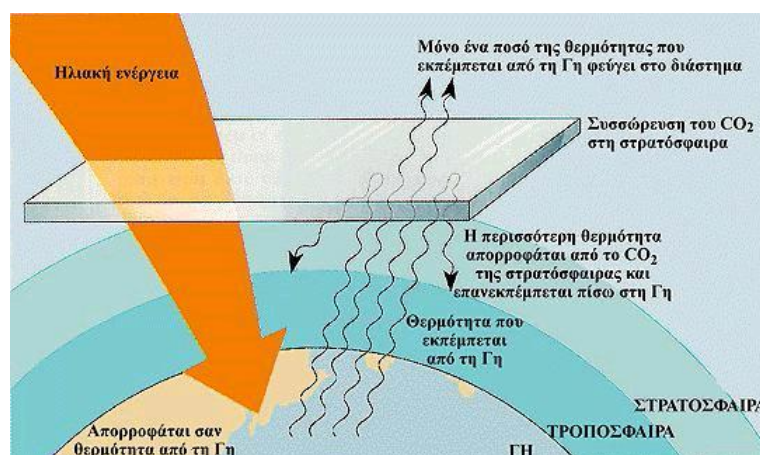


Εικόνα 3.5: Η παγκόσμια κατάσταση αερίων του θερμοκηπίου και η συμβολή τους [20]



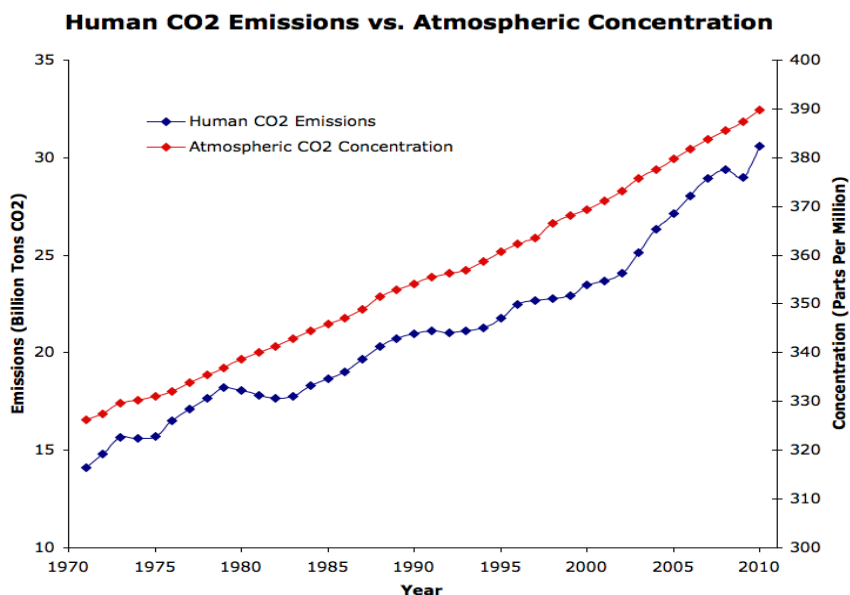
Εικόνα 3.6: Προβλέψεις σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας στην γη.[22]

Παρότι έχει γίνει αντιληπτός ο κίνδυνος και πολλά κράτη και διάφοροι φορείς έχουν ευαισθητοποιηθεί και είναι αισθητή μια κινητικότητα, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια ριζική αντιμετώπιση του προβλήματος. Η απαισιοδοξία απορρέει από το γεγονός ότι άπαντες έχουν ως πρώτη προτεραιότητα το κέρδος ενώ η λήψη μέτρων σημαίνει κόστος. Έτσι ναι μεν συνέρχονται σε παγκόσμιες συσκέψεις με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, τα οικονομικά συμφέροντα όμως δεν επιτρέπουν την λήψη αποτελεσματικών μέτρων. [20]

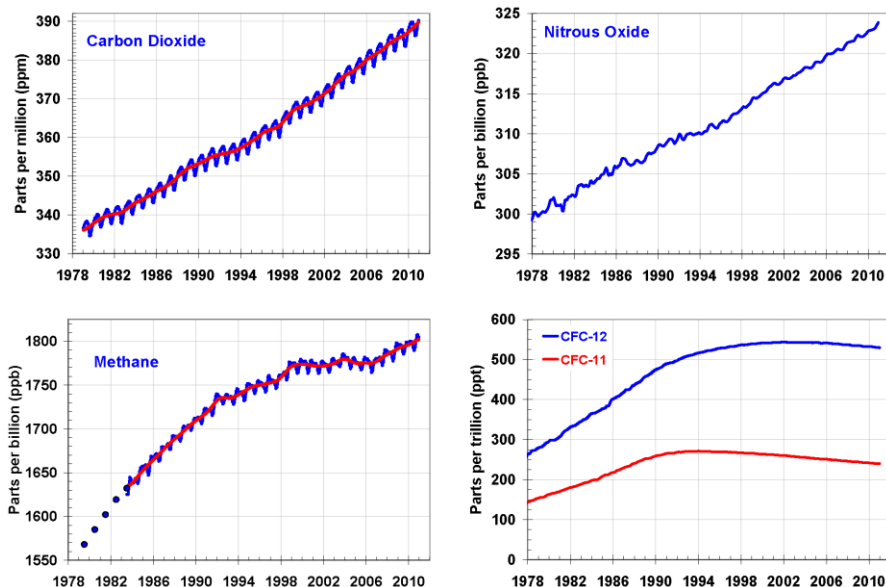


Εικόνα 3.7: Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα[20]

Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του CO_2 καθώς και των λεγόμενων "αερίων του θερμοκηπίου φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



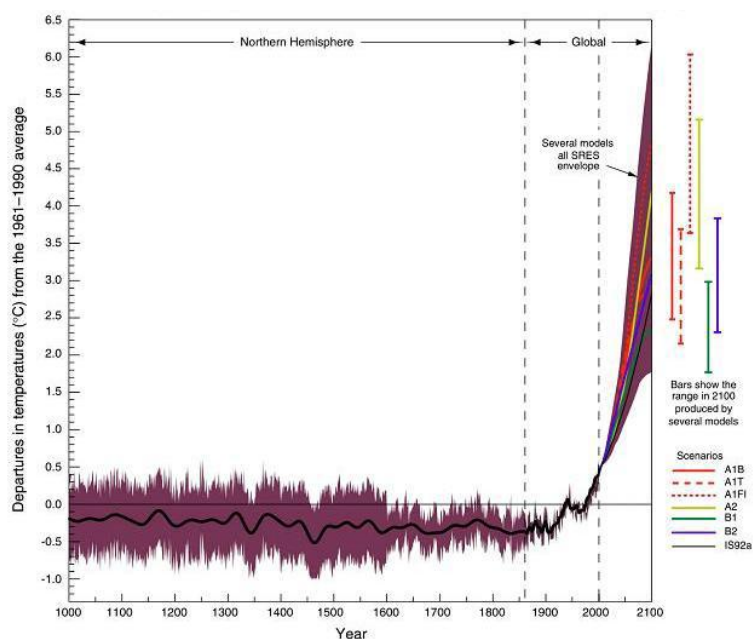
Εικόνα 3.8: Αύξηση του CO_2 στην ατμόσφαιρα.[23]



Εικόνα 3.9: Αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου[24]

3.3: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.



Εικόνα 1. 10: Αύξηση μέσης θερμοκρασίας πλανήτη.[22]

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. Ένας από τους πιο χαρακτηριστικούς δείκτες της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη.

Σύμφωνα με την έκθεση(2001) του Διακυβερνητικού Πάνελ για την Κλιματική αλλαγή η αύξηση αυτή μπορεί να φτάσει τους 6 βαθμούς μέχρι το 2100, ενώ νεώτερες μελέτες την ανεβάζουν στους 10 βαθμούς.[25]

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 [9]

3.4 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: [26]

3.4.1. 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:[27]

- 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
- 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

3.4.2 Από το Ρίο έως την Κανκούν: οι Συνδιασκέψεις των Συμβαλλομένων Μερών [25]

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 Διάσκεψης των Μερών, Ντόχα, Κατάρ, 26-7 Δεκεμβρίου 2012
- 19η Διάσκεψης των Μερών, Βαρσοβία, Πολωνία, 11-23 Νοεμβρίου 2013
- 20η Διάσκεψης των Μερών, Λίμα, Περού, 1-12 Δεκεμβρίου 2014
- 21η Διάσκεψης των Μερών, Παρίσι, Γαλλία, 30 Νοεμβρίου-12 Δεκεμβρίου 2015

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Ο κλιματισμός μπορεί να επιτευχθεί με ποικίλους τρόπους. Η πλειοψηφία αυτών προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο, όπως π.χ. τα ορυκτά καύσιμα. Στην περίπτωση όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο άμεσος παράγοντας κλιματισμού συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ο όρος «ηλιακός κλιματισμός».

Οι βασικές κατηγορίες κλιματισμού είναι δύο, τα ηλεκτρικά συστήματα και τα θερμικά συστήματα. Τα θερμικά συστήματα, σύμφωνα με τον Henning, διαχωρίζονται σε θερμομηχανικά και σε συστήματα μετατροπής θερμότητας.

Ο συμπιεστής Rankine αποτελεί ένα παράδειγμα θερμοδυναμικής διαδικασίας, όπου η ψύξη προκαλείται με τον συμβατικό τρόπο, μέσω ενός συμπιεστή. Αυτός ο συμπιεστής λειτουργεί μέσω ενός κύκλου rankine χρησιμοποιώντας ατμό σε πίεση και όχι ηλεκτρισμό ή κάποιον εναλλασσόμενο κινητήρα. Βέβαια η συγκεκριμένη τεχνολογική μέθοδος δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις εκτεταμένης χρήσης.

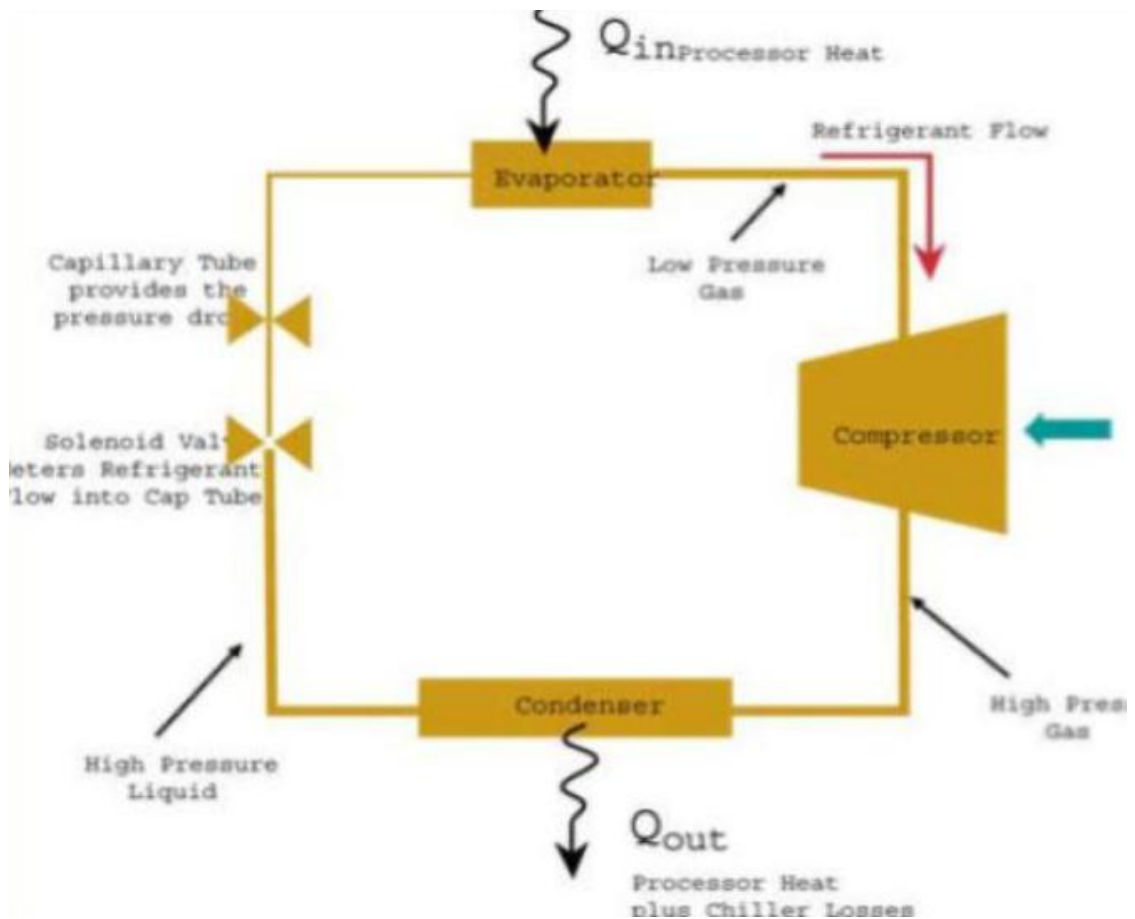
Τα συστήματα μετατροπής θερμότητας χωρίζονται σε:

- ανοιχτού κύκλου
- κλειστού κύκλου

Στο κλειστό κύκλο χρησιμοποιείται υγρό ή στερεό μέσο απορρόφησης.

Αν το μέσο απορρόφησης είναι υγρό, τότε το ψυκτικό μέσο αραιώνεται και διέρχεται μέσα από διάφορα διαχωριστικά (απορρόφηση).

Αν το μέσο απορρόφησης είναι σε στερεά μορφή, τότε η μετακίνηση του είναι αδύνατη και ο κλιματιζόμενος χώρος θερμαίνεται και ψύχεται προκειμένου το ψυκτικό μέσο να απορροφηθεί και να αναπαραχθεί (προσορόφηση).



Εικόνα 4.1: Ψυκτικός κύκλος αερίου

Η χρήση μεθόδων απορρόφησης και προσρόφησης σε διαδικασίες κλιματισμού ενδείκνυνται, λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που παρέχει, τόσο σε καινούργια κτίρια αλλά και σε ήδη υπάρχοντα.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως το εργαζόμενο μέσο στον κλιματισμό είναι το νερό, το οποίο είναι συμβατό με την πλειοψηφία των ήδη χρησιμοποιούμενων κλιματιστικών.

Ο συμβατικός κλιματισμός αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο κλιματισμού και συνήθως συναντάται σε βιομηχανικό εξοπλισμό ψύξης, οικιακές και εμπορικές μονάδες κλιματισμού και σε ψυγεία.

Στην εικόνα 4.1 απεικονίζεται ο ψυκτικός κύκλος του αερίου. Το ψυκτικό μέσο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία στον ατμοποιητή, απορροφώντας θερμότητα και παράγοντας το ψυκτικό αποτέλεσμα. Στην συνέχεια το εξατμισμένο ψυκτικό μέσο οδηγείται στον συμπιεστή ώστε να αυξήσει την πίεση και την θερμοκρασία του.

Έπειτα, υφίσταται την αντίστροφη διαδικασία από ότι στον ατμοποιητή καθώς συμπυκνώνεται απελευθερώνοντας θερμότητα.

Τελικώς, το μέσο επανέρχεται στην πίεση του ατμοποιητή περνώντας μέσω στραγγαλιστικής βαλβίδας και ξεκινώντας τον κύκλο από την αρχή.

Μια βαλβίδα διαστολής κλείνει τον κύκλο επιφέροντας μια πτώση πίεσης στο ψυκτικό μέσο τέτοια ώστε να επανέλθει στην πίεση που έχει ο ατμοποιητής. Ο συμπιεστής παίρνει συνήθως ισχύ από έναν ηλεκτροκινητήρα, αλλά σε ψύκτες μεγάλης ισχύος μερικές φορές γίνεται χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Η αναλογία μεταξύ αποδιδόμενης ισχύος (Q_c) και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος (P_{el}) λέγεται «συντελεστής συμπεριφοράς» (COP) και αποτελεί το μέτρο της απόδοσης του συστήματος:

Η αξιολόγηση ενός ψυκτικού συστήματος ως προς την απόδοσης του συνίσταται στον υπολογισμό του συντελεστή συμπεριφοράς του. Με τον όρο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) ενός ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ορίζεται η αναλογία μεταξύ αποδιδόμενης ισχύος (Q_G) και παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος P_{el}

$$COP = \frac{Q_G}{P_{el}}$$

Ο COP εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι πιο σημαντικοί όμως είναι:

- Ο σχεδιασμός των διαφόρων στοιχείων σε σχέση με τον ψύκτη (π.χ. πόσο καλά μονωμένοι είναι ο ατμοποιητής και ο συμπυκνωτής, περιορίζοντας έτσι τις θερμικές απώλειες) .
- Η ικανότητα ανταλλαγής θερμότητας του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή.
- Η απόδοση του συμπιεστή.

Ένας τρόπος για να βελτιωθεί ο COP του ψύκτη είναι να μειωθεί η θερμοκρασία του μέσου που λαμβάνει την πλεονάζουσα θερμότητα από τον συμπυκνωτή, αυξάνοντας έτσι τον ρυθμό που μεταφέρεται η θερμότητας στον συμπυκνωτή. [28]

Ο μέγιστος COP του ψυκτικού κύκλου για τη χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας με συλλεκτες επιτυγχάνεται με τη χρήση του συνδυασμού νερού-βρωμιούχου λιθίου

Επιστήμονες, χρησιμοποιώντας το συνδυασμό νερού βρωμιούχου λιθίου, αναζήτησαν το βέλτιστο ψυκτικό μέσο, ανάμεσα σε αρκετά υποψήφια. Έχουν μελετηθεί και άλλα ψυκτικά μέσα, αλλά χωρίς να έχουν παρατηρηθεί ουσιαστικά πρακτικά αποτελέσματα

Ο κλιματισμός με τη μέθοδο της απορρόφησης, έχει αποδειχτεί ότι είναι οικονομικά βιώσιμος, όταν υπάρχει μια φτηνή πηγή ενέργειας, στο εύρος των θερμοκρασιών από 100–200°C.

Επίσης, μηχανές απορρόφησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναγεννητές, σε τυπικά κλιματιστικά μηχανήματα, με παράγωγή ψυχρού αέρα. Έρευνες σε συστήματα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της απορρόφησης, στηριζόμενα σε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, για οικιακή χρήση, έχουν ως στόχο τη βελτίωση της προσαρμογής αυτών των τύπων. [29]

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.

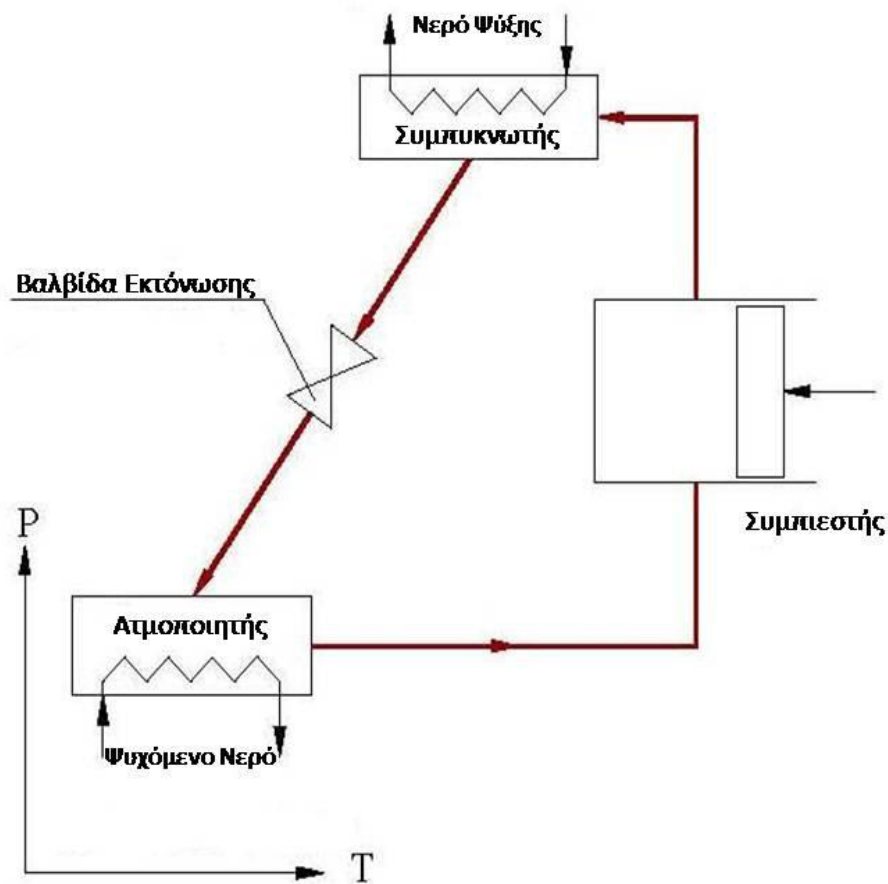
Μετά την κρίση στον τομέα του πετρελαίου υπήρξε ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον στην ηλιακή απορρόφηση στον κλιματισμό στις ανεπτυγμένες χώρες, που θεωρούσαν ήδη την ηλιακή απορρόφηση ένα καλό συμπλήρωμα στην ηλιακή θέρμανση και στα συστήματα ζεστού νερού χρήσης. Η πιο λεπτομερής ανάλυση για τις εφαρμογές 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 Αρχές λειτουργίας του κύκλου απορρόφησης

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διαδικασία παραγωγής ψυχόμενου νερού από τον συμπυκνωτή συμβατού ψύκτη συμπίεσης ατμού. Η ψύξη επιτυγχάνεται μέσω απορρόφησης της θερμότητας του νερού από ψυκτικό μέσο το οποίο ατμοποιείται. Το ψυκτικό υγρό ρέει στον ατμοποιητή όπου κι ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία απορροφώντας θερμότητα από το ψυχόμενο νερό που ρέει σε σωλήνα μέσα στον ατμοποιητή.

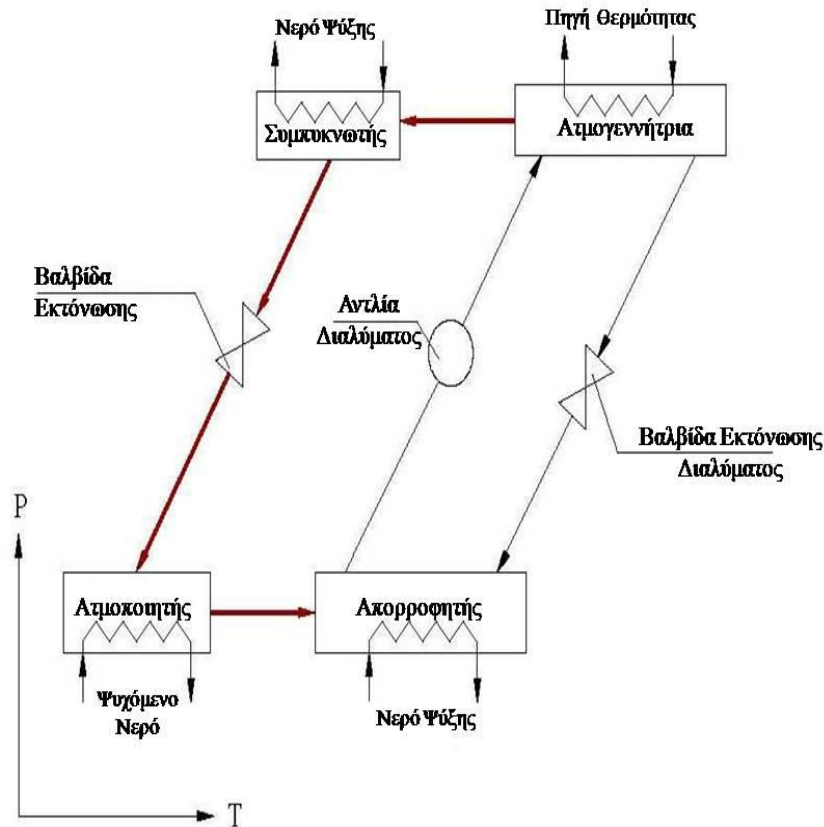


Εικόνα 4.2: Βασικός κύκλος συμπίεσης ψυκτικού ατμού[31]

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2 στη διαδικασία συμπίεσης ατμού ο ατμός ψύξης συμπυκνώνεται και συμπιέζεται 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. Σκοπός της συμπίεσης είναι να αυξήσει την πίεση των ατμών του ψυκτικού εργαζόμενου μέσου ώστε να μπορεί να γίνει η συμπύκνωση σε υψηλή θερμοκρασία.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3 η διαδικασία της συμπίεσης στα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης που συμβαίνει στον συνηθισμένο ψυκτικό κύκλο, αντικαθίσταται από μια θερμική διαδικασία. Η ψύξη αυτή επιτυγχάνεται μέσω απορρόφησης της θερμότητας του νερού από ψυκτικό μέσο το οποίο ατμοποιείται.



Εικόνα 4.3: Βασικός κύκλος απορρόφησης[31]

Και σε αυτό το σύστημα, το ψυκτικό υγρό ρέει στον ατμοποιητή όπου κι ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία απορροφώντας θερμότητα από το ψυχόμενο νερό που ρέει σε σωλήνα μέσα στον ατμοποιητή.

Την συμπίεση στα ψυκτικά συστήματα πραγματοποιεί ένας υγρός απορροφητικός διαλύτης (νερό ή LiBr), ο οποίος απορροφά τους ατμούς του ψυκτικού μέσου, που έρχονται από τον ατμοποιητή.

Στην συνέχεια ακολουθεί η απελευθέρωση τους στον αναγεννητή σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, ώστε έπειτα να οδηγηθούν στον συμπυκνωτή. Οι ατμοί αποχωρώντας από τον ατμοποιητή οδηγούνται στον απορροφητή όπου απορροφούνται από διάλυμα που έρχεται από τον αναγεννητή.

Στην συνέχεια το διάλυμα που προκύπτει οδηγείται στον αναγεννητή με την βοήθεια αντλίας, όπου διοχετεύεται θερμότητα προκειμένου να ατμοποιηθεί μέρος του ψυκτικού εργαζόμενου μέσου σε υψηλή πίεση και το υπόλοιπο διάλυμα οδηγείται πάλι στον απορροφητή. Οι ατμοί του ψυκτικού μέσου οδηγούνται στον συμπυκνωτή όπου υγροποιούνται διαχέοντας θερμότητα στην ατμόσφαιρα.

Το συμπύκνωμα του ψυκτικού μέσου περνά μέσα από στραγγαλιστική βαλβίδα ελαττώνοντας την πίεση και την θερμοκρασία του και οδηγείται πίσω στον ατμοποιητή σε μορφή υδρατμού όπου και παράγει το ψυκτικό αποτέλεσμα.

Το σύστημα απορρόφησης με απορροφητή το νερό και ψυκτικό μέσο την αμμωνία χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε εφαρμογές χαμηλών και μέσων θερμοκρασιών. Αναπτύχθηκε και μια παραλλαγή του συστήματος απορρόφησης αμμωνίας για χρήση σε οικιακά ψυγεία, η οποία σε παλιότερες εποχές γνώρισε μεγάλη εφαρμογή σε περιοχές όπου υπήρχε διαθέσιμη θερμική ενέργεια, ενώ δεν ήταν εύκολα διαθέσιμη η ηλεκτρική ενέργεια.

Για την επίτευξη καλύτερου βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης, μπορεί να τοποθετηθεί ένας εναλλάκτης θερμότητας ανάμεσα στο ψυχρότερο πυκνό διάλυμα που πηγαίνει από τον απορροφητήρα προς τη γεννήτρια ατμών και στο αραιό θερμό διάλυμα που πηγαίνει από τη γεννήτρια ατμών προς τον απορροφητήρα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυκνού διαλύματος που μπαίνει στη γεννήτρια ατμών συνεπάγεται την ελάττωση της κατανάλωσης θερμότητας.

Επίσης, η ελάττωση της θερμοκρασίας του αραιού διαλύματος που οδεύει προς τον απορροφητήρα συνεπάγεται αυξημένη ικανότητα απορρόφησης και μειωμένες απαιτήσεις ψύξης του απορροφητήρα.

4.2.3 Σύγκριση συμβατικού κύκλου ψύξης συμπίεσης με ψυκτικό κύκλο απορρόφησης.

Ο βασικός ψυκτικός κύκλος απορρόφησης μοιάζει με τον παραδοσιακό κύκλο ψύξης υδρατμού με συμπίεση στα εξής:

- ο υδρατμός ψυκτικού μέσου απορροφάει θερμότητα από την ροή του ψυχόμενου υγρού και ατμοποιείται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία.
- ο υδρατμός ψυκτικού μέσου αποβάλλει θερμότητα στον περιβάλλοντα χώρο κατά την συμπύκνωση του σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία.

και διαφέρει στα εξής :

- Η απελευθέρωση υδρατμού του ψυκτικού μέσου γίνεται μέσω τις παροχής θερμότητας στην ατμογεννήτρια καθώς το μέσο πρέπει να αποκτήσει μεγάλη πίεση προτού οδηγηθεί στον συμπυκνωτή.
- Η συμπίεση του ατμού ψύξης αντικαθίσταται από την κυκλοφορία του διαλύματος απορρόφησης μέσω αντλίας. Η αντλία χρειάζεται αισθητά πιο μικρά ποσά ενέργειας συγκριτικά με αυτά που καταναλώνει ο συμπιεστής.

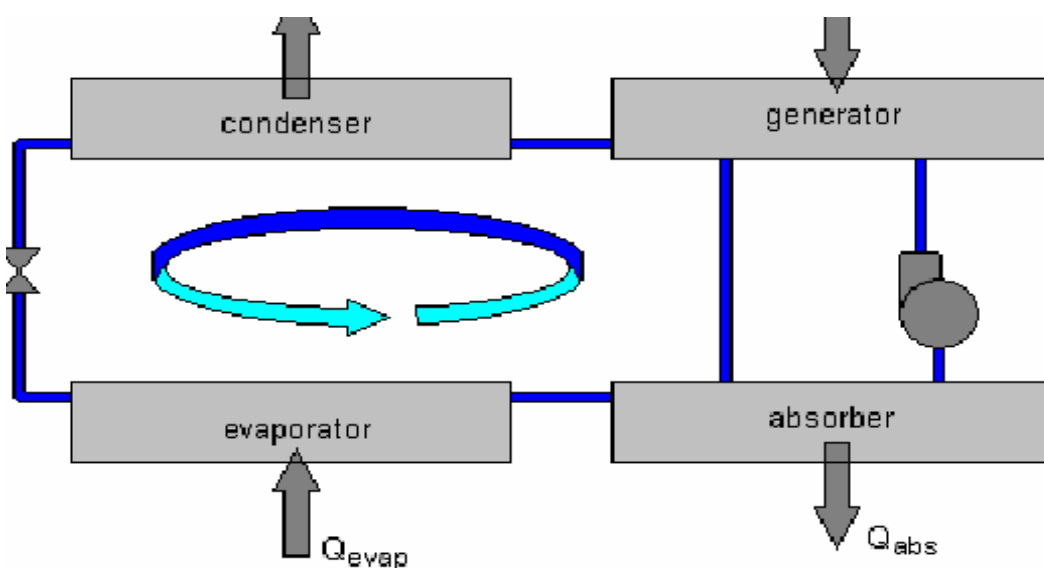
Η ψύξη με απορρόφηση έχει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα, έναντι των συστημάτων που συμπιέζουν τον ατμό. Προκειμένου να αντληθεί ένα υγρό απαιτείται πολύ λιγότερο έργο συγκριτικά με αυτό που απαιτείται στην περίπτωση συμπίεσης ατμού στις ίδιες πιέσεις.

Εν αντιθέσει όμως, τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα: είναι αρκετά πολύπλοκα και ακριβά. Επιπλέον, είναι οικονομικά ανταγωνίστηκα μόνο στην περίπτωση που υπάρχει φθηνή πηγή ενέργειας. Συνηθίζεται η χρήση τους σε χημικές μηχανές και η συντήρησή τους είναι δύσκολη καθώς δεν είναι ευρέως διαδεδομένα.

Στις ψυκτικές διατάξεις απορρόφησης χρησιμοποιείται το φαινόμενο της ατμοποίησης προκειμένου να παραχθεί η ψυκτική ισχύς.

Σε αντίθεση με τις κλασσικές διατάξεις συμπίεσης ατμού, οι διατάξεις απορρόφησης δεν κάνουν χρήση συμπιεστή ατμού ψυκτικού μέσου κανενός είδους. Το φαινόμενο της απορρόφησης χρησιμοποιείται για την μεταφορά του ψυκτικού μέσου από την χαμηλή πίεση ατμοποίησης στην υψηλή πίεση συμπύκνωσης.

Επειδή λοιπόν το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορροφάται από το μέσο απορρόφησης και προκύπτει στην χαμηλή πίεση υγρό διάλυμα και όχι ατμός, το οποίο στην συνέχεια πρέπει να μεταφερθεί στην υψηλή πίεση. Η μεταφορά αυτή γίνεται με την βοήθεια μηχανικής αντλίας. Οι ψυκτικές διατάξεις απορρόφησης παράγουν την ψυκτική ισχύ μόνο με χρήση θερμικής ενέργειας και απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου μηχανική ενέργεια.



Εικόνα 4.4: Σχηματική αναπαράσταση ψυκτικού κύκλου απορρόφησης

Ουσιαστικά, 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.

Ο ψύκτης συμπίεσης ατμού είναι μία αντλία θερμότητας, που χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια και έργο προκειμένου να μεταφέρει θερμότητα από χαμηλή σε υψηλή θερμοκρασία.

4.2.4 Εργαζόμενα ρευστά στην ψύξη απορρόφησης.

Σήμερα, η έρευνα πάνω στα συστήματα απορρόφησης επικεντρώνεται στην μελέτη νέων εργαζόμενων υγρών και στην ανάπτυξη προηγμένων κύκλων λειτουργίας. Η αποτελεσματικότητα ενός ψυκτικού κύκλου απορρόφησης εξαρτάται από το εργαζόμενο μέσο. Οι ψύκτες απορρόφησης, προκειμένου να λειτουργήσουν, χρειάζονται δύο ουσίες. Ένα ψυκτικό μέσο και έναν απορροφητή. [32]
Δύο είναι τα κυριότερα μείγματα που βρίσκουν εφαρμογή στην πράξη:

- μείγμα νερού/αμμωνίας (H₂O/NH₃)
- μείγμα λιθικού βρομίου/νερού (LiBr/H₂O)

Από την εφεύρεση ακόμα των συστημάτων ψύξης με απορρόφηση, το νερό/NH₃) ήταν ευρέως διαδεδομένο για σκοπούς ψύξης και θέρμανσης. Και η NH₃ (σαν ψυκτικό) και το νερό (σαν απορροφητής) είναι πολύ σταθερά για ένα ευρύ πεδίο θερμοκρασιών και πιέσεων λειτουργίας.

Εκτός από τα συνηθισμένα ζεύγη που αναφέρθηκαν, είναι δυνατή η χρήση οργανικών ενώσεων αλλά μόνο στις περιπτώσεις όπου οι θερμοκρασίες δεν είναι υψηλές. [32]

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.

Η αποτελεσματικότητα ενός κύκλου απορρόφησης εξαρτάται από το ζεύγος των δύο ουσιών, τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των οποίων είναι:

- Ψυκτικό μέσο το οποίο θα παρουσιάζει μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα.
- Υψηλού βαθμού χημική θερμότητα για μακροχρόνια λειτουργία.
- Η απουσία απορροφητή στερεού τύπου
- Ψυκτικό μέσο το οποίο θα είναι περισσότερο πτητικό σε σχέση με τον απορροφητή, ώστε να γίνεται εύκολα ο διαχωρισμός του από το απορροφητικό μέσο.
- Για λόγους ασφάλειας το μείγμα θα πρέπει να έχει μικρό βαθμό διάβρωσης.
- Ψυκτικό μέσο που δεν θα συγγενεύει με το απορροφητικό. [32]

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). [32]

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 και ZnBr₂ / νερό μπορεί να βελτιώσει τη διαλυτότητα του διαλύματος. [32]

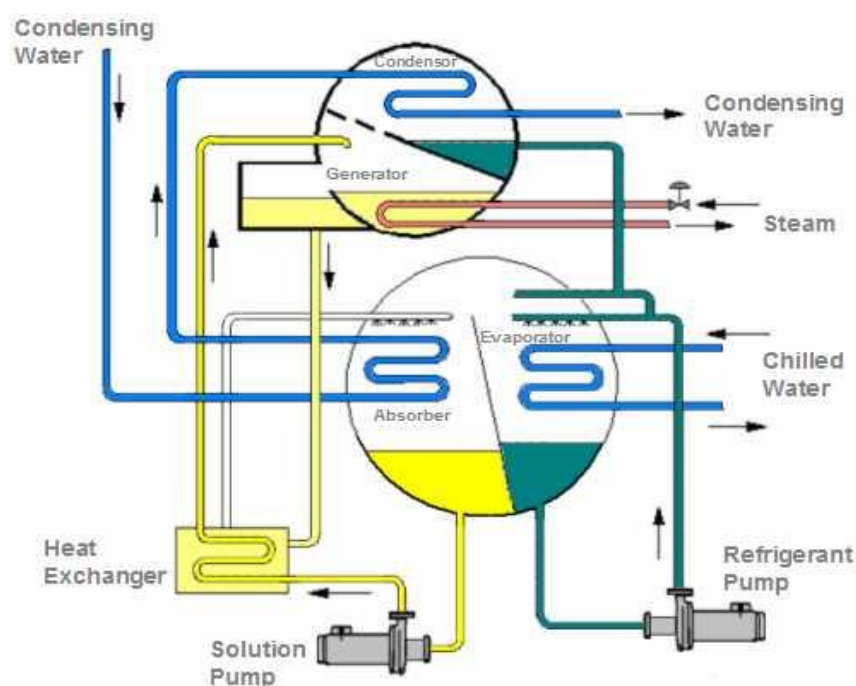
4.2.5 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης (LiBr/H₂O)

Η λειτουργία ψυκτικής διάταξης λιθικού βρομίου-νερού (LiBr/H₂O) απεικονίζεται στην εικόνα 4.5 Το ασθενές μέσο απορρόφησης οδηγείται στην ατμογεννήτρια μέσω αντλίας διαλύματος, όπου και ατμοποιείται με την παροχή θερμικής ενέργειας Q_G.

Μέσω της ατμοποίησης επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του διμερούς μίγματος και η παραγωγή υδρατμών που οδηγούνται προς τον συμπυκνωτή. Στην συνέχεια, το ισχυρό μέσο απορρόφησης (LiBr) αποχωρεί από την ατμογεννήτρια και επιστρέφει στον ατμοποιητή μέσω στραγγαλιστικής βαλβίδας.

Ο υδρατμός οδηγείται προς τον συμπυκνωτή όπου και συμπυκνώνεται αποβάλλοντας της θερμότητα συμπύκνωσης.

Το συμπύκνωμα οδηγείται μέσω της δεύτερης στραγγαλιστικής βαλβίδας στον ατμοποιητή, δηλαδή στο τμήμα της εγκατάστασης με την χαμηλή πίεση, όπου και παράγει το ψυκτικό φαινόμενο μέσω της ατμοποίησης του. Τέλος ο ατμός χαμηλής πίεσης αποχωρεί από τον ατμοποιητή και οδηγείται προς τον απορροφητή όπου και απορροφάται από το ισχυρό μέσω απορρόφησης. Αποτέλεσμα αυτής της απορρόφησης είναι η δημιουργία ενός ασθενούς μέσου απορρόφησης το οποίο καταθλίβεται εκ νέου στην ατμογεννήτρια μέσω της αντλίας διαλύματος. [32]



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα ψυκτικού συστήματος απορρόφησης $LiBr-H_2O$ [33]

Μια ψυκτική εγκατάσταση $LiBr-H_2O$, εκτός από τα στοιχεία που απεικονίζονται στην εικόνα 4.5, είναι δυνατόν να περιλαμβάνει έναν δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του θερμού συμπυκνώματος και του ψυχρού ατμού που εξέρχεται από τον ατμοποιητή. Ο δεύτερος αυτός εναλλάκτης λέγεται εναλλάκτης Πρόψυξη.

Δεδομένου ότι το νερό είναι το ψυκτικό μέσο η εγκατάσταση λειτουργεί με κενό, δηλαδή, οι πιέσεις λειτουργίας είναι μικρότερες απ' την ατμοσφαιρική. Λόγω του ότι η διαφορά ανάμεσα στη χαμηλή και στην υψηλή πίεση είναι μικρή, αυτή εξισορροπείται από την υδροστατική πίεση στις σωληνώσεις και το στραγγαλισμό στα ακροφύσια ψεκασμού.

Στις εγκαταστάσεις αυτές υπάρχει κίνδυνος κρυστάλλωσης του μείγματος μέσα στους σωλήνες, αν δεν τηρηθούν ορισμένες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη διακοπή λειτουργίας και ενδεχόμενης αχρήστευσης τμημάτων σωληνώσεων.

Οι ψυκτικές μηχανές απορρόφησης $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ υπάρχουν στο εμπόριο ως ολοκληρωμένες μονάδες, οι οποίες περιέχουν τις απαραίτητες ποσότητες εργαζομένων μέσων και για τη λειτουργία τους απαιτείται μόνο η σύνδεση με το θερμαντικό νερό ή τον ατμό, την ηλεκτρική παροχή για τις αντλίες και με το νερό ψύξης. [32]

Το πλεονέκτημα του βρωμιούχου λιθίου ως μέσο απορρόφησης είναι ότι εφόσον είναι στερεό δεν παράγονται ατμοί του και δεν συμπαρασύρεται στο συμπυκνωτή και στον ψύκτη, όπως συμβαίνει στις εγκαταστάσεις $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, όπου χρησιμοποιείται νερό ως απορροφητής.

Έτσι, οι εγκαταστάσεις $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ διαφέρουν από τις εγκαταστάσεις $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ στο ότι δεν περιλαμβάνουν αναλυτή και καθαριστήρα.

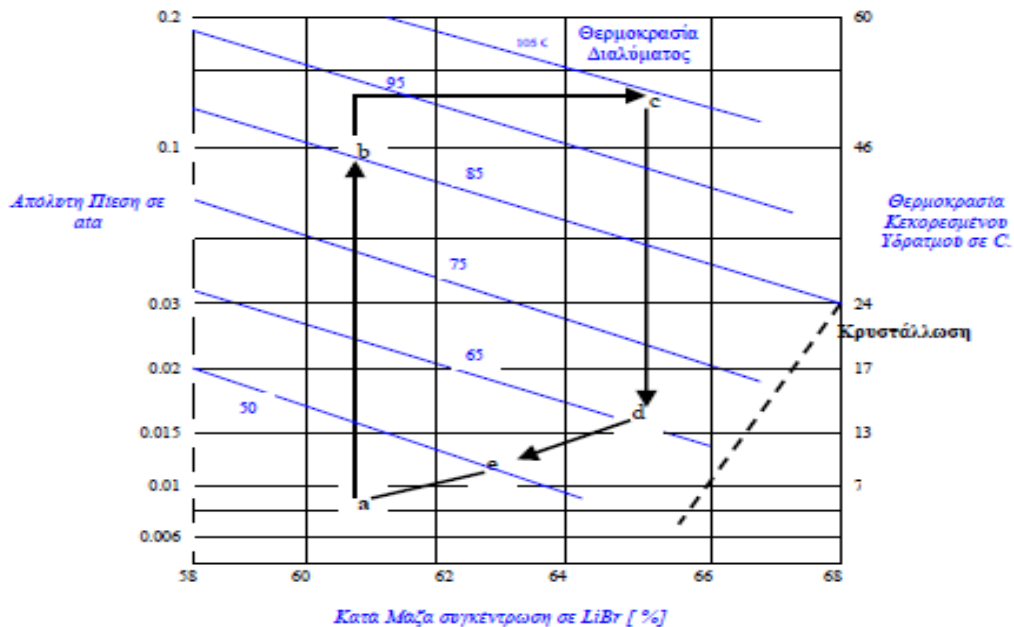
4.2.6 Θερμοδυναμική Απεικόνιση Ψυκτικού Κύκλου $\text{H}_2\text{O-LiBr}$

Στην εικόνα 4.6 απεικονίζονται σε διάγραμμα οι μεταβολές του διαλύματος, με άξονες την κατά μάζα συγκέντρωση και την πίεση θερμοότητας. Στην μεταβολή ab απεικονίζεται η θέρμανση του ασθενούς μέσου απορρόφησης στον εναλλάκτη.

Η επιπλέον θερμοότητα προσδίδεται στο μέσο εντός της ατμογεννήτριας, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα από το σημείο b μέχρι την «υψηλή» πίεση.

Στην συνέχεια έχουμε την παραγωγή ατμού ψυκτικού μέσου κατά μήκος της ισόθλιπτης μέχρι το σημείο c.

Στην μεταβολή cd απεικονίζεται η ψύξη του ισχυρού μέσου απορρόφησης και η ακολουθούσα απορρόφηση στην μεταβολή da. Στις μεταβολές ab και cb τα διαλύματα έχουν συγκεντρώσεις 61% και 65% αντίστοιχα. Στο διάγραμμα της εικόνας 4.6 το σημείο d βρίσκεται κοντά στην οριακή γραμμή κρυστάλλωσης.



Εικόνα 4.6: Παράσταση των μεταβολών του δ/τος LiBr διατάξεως απορρόφησης $H_2O-LiBr$. [32]

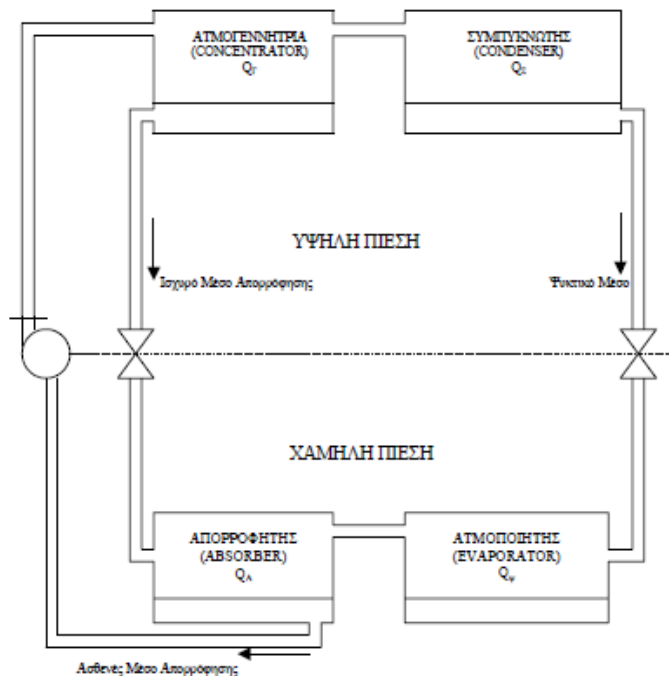
Η εμφάνιση κρυστάλλων είναι ένα από τα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιάσουν οι ψυκτικές διατάξεις και πιθανόν να προκαλέσουν διακοπή της ομαλής λειτουργίας του συστήματος.

Προκειμένου να έχουμε μεγαλύτερη ασφάλεια λειτουργίας, το ισχυρό μέσο απορρόφησης ερχόμενο από την ατμογεννήτρια, αναμιγνύεται με διάλυμα από τον απορροφητή προ της εισόδου αυτού στον απορροφητή.

Παρά το γεγονός ότι η πίεση ατμοποίησης παραμένει χαμηλή η ανάμειξη αυτή επιτρέπει την χρήση μεγαλύτερης συγκεντρώσεως για το ισχυρό μέσο απορρόφησης

Τα μέσα απορρόφησης κατά ASHRAE διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- Ασθενές Μέσο Απορρόφησης= $\Delta/\mu\alpha$ το οποίο απορρόφησε ατμό ψυκτικού μέσου στον απορροφητή και δεν έχει μεγάλη ικανότητα περαιτέρω απορρόφησης
- Ισχυρό Μέσο Απορρόφησης = $\Delta/\mu\alpha$ που απέδωσε στην ατμογεννήτρια ατμό ψυκτικού μέσου και έτσι αποκτά αυξημένη ικανότητα απορρόφησης ατμού ψυκτικού μέσου εκ νέου. [32]



Εικόνα 4.7: Σχηματική παράσταση στοιχειώδους ψυκτικής διάταξης απορρόφησης $\text{H}_2\text{O}-\text{LiBr}$. [32]

4.2.7 Ψυκτικός Κύκλος απορρόφησης (NH₃-H₂O).

Τα συστήματα αμμωνίας-νερού χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές βιομηχανικής ψύξης και σε οικιακά ψυγεία. Η αμμωνία αποτελεί το ψυκτικό μέσο και διαλύεται στο νερό που είναι ο απορροφητής σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, ενώ και τα δύο υγρά είναι χημικά σταθερά και συμβατά με σίδηρο ή χάλυβα, εκτός του χαλκού, αλουμινίου και των κραμάτων του.

Η αμμωνία έχει χημικό τύπο NH₃ μοριακό βάρος 17 και στις κανονικές συνθήκες είναι αέριο. Η θερμοκρασία υγροποίησής της σε ατμοσφαιρική πίεση είναι -33,4°C. Πλεονέκτημα της αμμωνίας είναι η μεγάλη ειδική θερμότητα ατμοποίησης που έχει, η οποία συνεπάγεται μικρή παροχή υγρού στον ψύκτη και γενικά μειωμένο μέγεθος εγκατάστασης. Η αμμωνία έχει έντονη οσμή και είναι τοξική.

Το θεσμοθετημένο όριο ασφαλείας για τη συγκέντρωση αμμωνίας στον αέρα είναι τα 50 ppm (35 mg/m³). Η αμμωνία λόγω της οσμής της είναι ανιχνεύσιμη από τον άνθρωπο σε συγκέντρωση από 15 ppm, αλλά τα άτομα που εκτίθενται στην αμμωνία συνηθίζουν την οσμή της και μπορεί να μην την εντοπίζουν μέχρι τη συγκέντρωση των 100 ppm. Το όριο για ασφαλή έκθεση σε ατμούς αμμωνίας είναι 15 λεπτά σε συγκέντρωση 35 ppm ή 8 ώρες σε συγκέντρωση 25 ppm. Επίσης, οι άνθρωποι με άσθμα είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην έκθεση στην αμμωνία. Η έκθεση σε αέρα που περιέχει μεγάλες συγκεντρώσεις αμμωνίας προκαλεί πονοκεφάλους, εμετούς, ερεθισμούς στο δέρμα, στα μάτια, στην τραχεία και μπορεί να επιφέρει βλάβη των πνευμόνων και θάνατο. Γι' αυτούς τους λόγους είναι πρωταρχικής σημασίας ο καλός αερισμός των χώρων εργασίας, όταν εντοπιστεί οσμή αμμωνίας που προέρχεται από κάποια διαρροή. [32]

Επί πλέον η αμμωνία μπορεί να προκαλέσει μικρή έκρηξη όταν έρθει σε επαφή με γυμνή φλόγα ή πυρακτωμένα μέταλλα, οπότε πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα προφυλάξεως.

Απαραίτητη η ύπαρξη προστατευτικής μάσκας αερίων κατάλληλης για NH_3 . Η τοξικότητα και η οσμή της αμμωνίας καθιστούν απαγορευτική τη χρήση της σε εφαρμογές κλιματισμού.

Επί πλέον, στον κύκλο αμμωνίας-νερού απαιτούνται μεγάλες πιέσεις λειτουργίας. Ένα ακόμα μειονέκτημα του συνδυασμού αμμωνίας- νερού είναι ότι ένα μέρος του νερού ατμοποιείται στη γεννήτρια ατμών και οι παραγόμενοι υδρατμοί παρασύρονται προς το συμπυκνωτή και στη συνέχεια προς τον ψύκτη. Οι υδρατμοί συσσωρεύονται στον ψύκτη, διαλύουν την υγρή αμμωνία και την παρασύρουν έξω από τον ψύκτη, χωρίς αυτή να έχει αλλάξει φάση, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα παραγωγής ψύξης. Το φαινόμενο αυτό ελαττώνεται με χρήση στήλης ενίσχυσης (rectifier). Μία εγκατάσταση νερού-αμμωνίας (Εικόνα 4.8) περιλαμβάνει διατάξεις απομάκρυνσης υδρατμών από την αμμωνία που οδηγείται στο συμπυκνωτή.

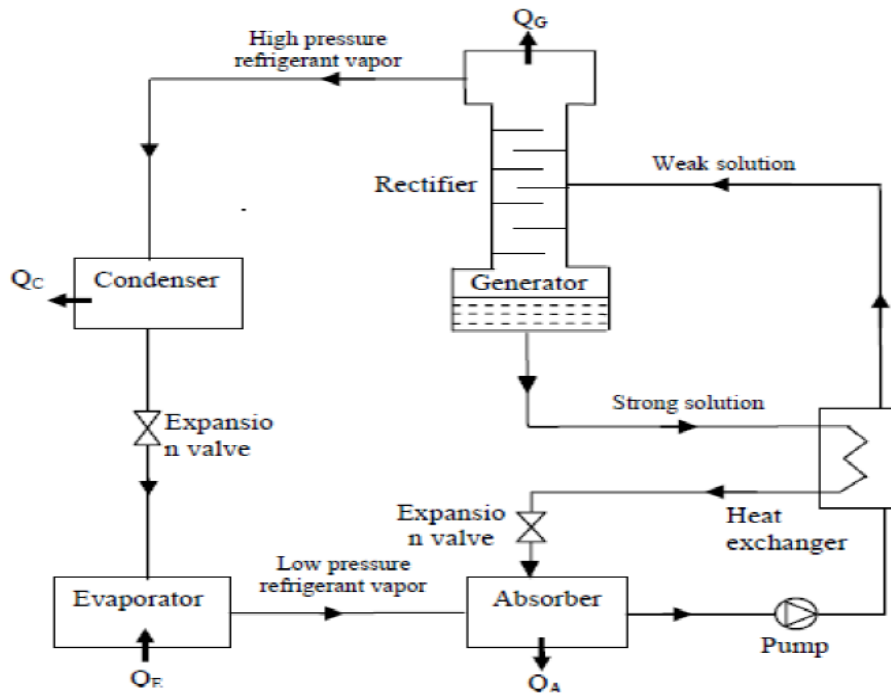
Για να αποφεύγεται η ανάμειξη υδρατμών με τους ατμούς αμμωνίας, μετά τη γεννήτρια ατμών τοποθετείται ένας αναλυτής (analyzer), ο οποίος είναι στην ουσία μία στήλη αποστάξεως και στη συνέχεια ένας καθαριστήρας (rectifier).

Το μείγμα των υδρατμών και των ατμών της αμμωνίας που εξέρχεται από τη γεννήτρια ατμών, καθώς ανεβαίνει στη στήλη ενίσχυσης ψύχεται, οπότε οι υδρατμοί που έχουν μικρότερη θερμοκρασία συμπύκνωσης υγροποιούνται και πέφτουν πάλι στη γεννήτρια ατμών, ενώ οι ατμοί της αμμωνίας διαφεύγουν προς τον καθαριστήρα. Στον καθαριστήρα οι ατμοί αμμωνίας ψύχονται και έτσι οι εναπομείναντες υδρατμοί μ' ένα μέρος ατμών αμμωνίας υγροποιούνται και επιστρέφουν στην πάνω μεριά.

Η ψύξη στον καθαριστήρα επιτυγχάνεται με παροχή νερού συμπύκνωσης, η ροή του οποίου ρυθμίζεται κατάλληλα, ώστε να υπάρχει σταθερή ροή συμπυκνώματος από τον καθαριστήρα προς τον αναλυτή.

Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις απορρόφησης αμμωνίας-νερού κατασκευάζονται σε μεγέθη διαφόρων ψυκτικών ισχύων στο εύρος από λίγες εκατοντάδες Watt μέχρι 2 και 3 MW. Οι χημικές βιομηχανίες όπως και τα διυλιστήρια υγρών καυσίμων συνήθως λαμβάνουν χώρα σε μεγάλες εγκαταστάσεις.

Με χρήση ψυκτικού συστήματος μονής βαθμίδας γίνεται δυνατή η παραγωγή ψυκτικής ισχύος στους $45^{\circ}C$ ή ακόμα και στους $75^{\circ}C$. Την θερμοκρασία αυτήν δεν μπορούν να επιτύχουν τα μονής βαθμίδας συστήματα συμπίεσης ατμού, λόγω του εξαιρετικά μεγάλου λόγου συμπίεσης που απαιτείται.



Εικόνα 4.8: Διάγραμμα ψυκτικής μονάδας αμμωνίας-νερού[34]

4.2.8 Σύγκριση μεθόδου NH_3/H_2O με $LiBr/H_2O$

Το ψυκτικό σύστημα λιθικού βρομίου-νερού ($LiBr/H_2O$) χρησιμοποιεί το νερό ως ψυκτικό μέσο και η υγροποίηση του κατά την φάση της απορρόφησης εξασφαλίζει την διατήρηση σταθερής πίεσης.

Επομένως, η λύση είναι να αποκτήσουμε υψηλή πίεση με μια κοινή αντλία υγρού. Επιπλέον, η παρεχόμενη θερμότητα στον αναγεννητή διαχωρίζει το ψυκτικό μέσο το οποίο έχει χαμηλό σημείο βρασμού. [34]

Με αυτόν τον τρόπο ο ψυχρός ατμός συμπιέζεται χωρίς να καταναλωθούν μεγάλα ποσά μηχανικής ενέργειας, όπως απαιτούν τα συστήματα κλιματισμού. Το ψυκτικό σύστημα αμμωνίας-νερού (NH₃/H₂O) είναι πιο πολύπλοκο από αυτό του λιθικού βρομίου-νερού (LiBr/H₂O). Έτσι γίνεται απαραίτητη η χρήση διορθωτικής στήλης ώστε να αποτραπεί η είσοδος του ατμοποιημένου νερού στον ατμοποιητή, όπου είναι πιθανό να ψυχτεί. Το σύστημα NH₃/H₂O απαιτεί θερμοκρασίες αναγεννητή από 125°C έως 170°C με έναν απορροφητή ψυχρού αέρα και έναν συμπυκνωτή με φάσμα θερμοκρασιών από 80°C έως 120°C όταν το νερό χρησιμοποιείται ως εργαζόμενο μέσο. Αυτές οι θερμοκρασίες δεν μπορούν να συγκρατηθούν με επίπεδους συλλέκτες. Ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) κυμαίνεται μεταξύ 0.6–0.7.

Το ψυκτικό σύστημα λιθικού βρομίου-νερού (LiBr-H₂O) χρησιμοποιεί το νερό ως ψυκτικό μέσο στον απορροφητή και στον συμπυκνωτή και έχει συντελεστή συμπεριφοράς (COP) μεταξύ 0.6 και 0.8, δηλαδή μεγαλύτερο από το σύστημα αμμωνίας-νερού. Επιπλέον, ο ατμοποιητής του συστήματος λιθικού βρομίου-νερού δεν μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες που είναι χαμηλότερες από 5°C εκτός και αν το ψυκτικό μέσο είναι υδρατμός.

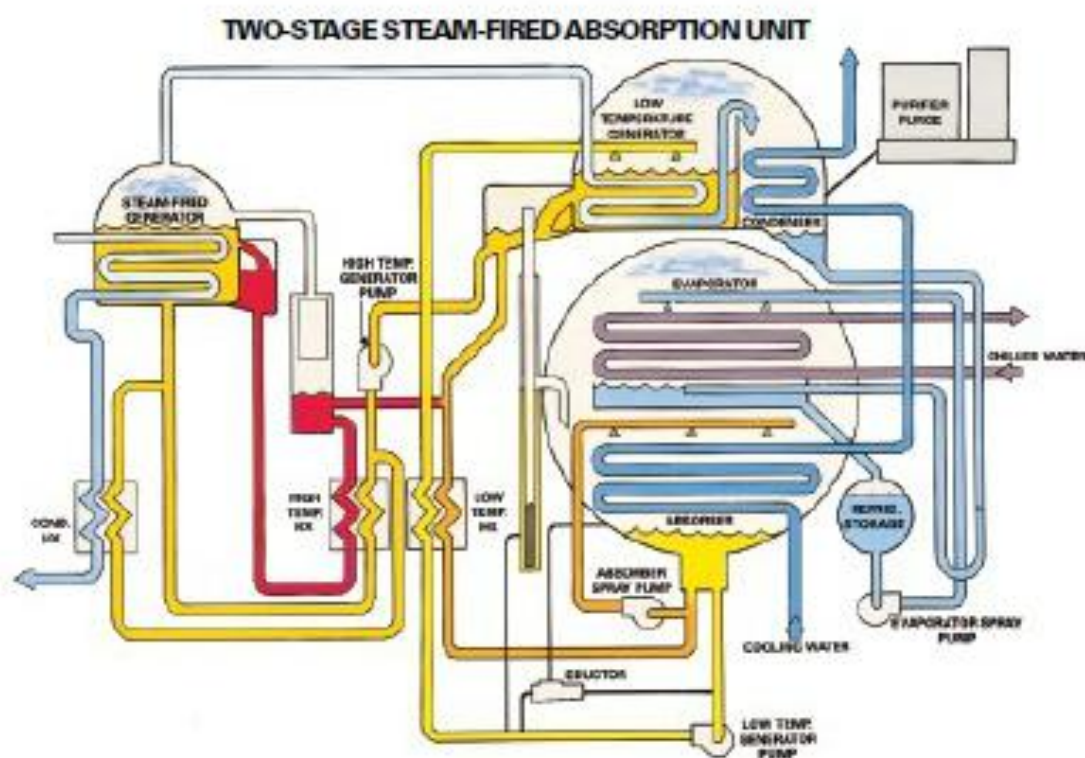
Τα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης ενδείκνυνται για εφαρμογές κλιματισμού και συνήθως χρησιμοποιείται το μίγμα λιθικού βρομίου-νερού για την λειτουργία τους. Επιπλέον είναι δυνατή η χρήση νερού ή ατμού σαν πηγή θερμότητας.

Η αμμωνία ατμοποιείται στους -33°C υπό πίεση 10Pa⁵ και κατά συνέπεια ενδείκνυται η χρήση της τόσο για εφαρμογές κλιματισμού όσο και για εφαρμογές ψύξης. Εν αντιθέσει οι θερμοκρασίες ατμοποίησης του νερού είναι άνω των 0°C, επομένως η χρήση του ενδείκνυται μόνο για εφαρμογές κλιματισμού. [34]

4.2.9 Διβάθμια ψυκτική μονάδα απορρόφησης

Οι διβάθμιοι ψύκτες συνήθως τροφοδοτούνται με ατμό πίεσης 100 psig (6.9 bar) και καταναλώνουν περίπου 10 lb/h ατμό για κάθε παραγόμενο RT (1.3 Kgr/h ατμό για κάθε KW ψυκτικής ισχύος). Η πίεση του ατμού μπορεί να κυμανθεί από 144 psig (9.94 bar) μέχρι 60 psig (4.14 bar).

Είναι προφανές ότι όσο χαμηλότερη είναι η πίεση του ατμού τροφοδοσίας του ψύκτη τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση της παραγόμενης ψυκτικής ισχύος και του συντελεστή συμπεριφοράς. Στην Εικόνα 4.9 εικονίζεται ένας διβάθμιος ψύκτης που θερμαίνεται με ατμό. [28]



Εικόνα 4. 9: Διβάθμιος ψύκτης που θερμαίνεται με ατμό [28]

4.2.10 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ψυκτικών μονάδων απορρόφησης

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 έχουν μηδενική επίδραση στην καταστροφή του όζοντος: ODP=0 (Ozone Depletion Potential) και μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εφόσον η αρχή λειτουργίας τους δεν στηρίζεται στην χρήση κανενός είδους συμβατικού ψυκτικού μέσου (CFCs, HCFCs και HFCs). Ειδικά οι ψύκτες που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό έχουν αρκετά μικρότερο GWP (Global Potential Warming-Ολικό Δυναμικό Υπερθέρμανσης του πλανήτη) από τους ψύκτες που έχουν ως καύσιμο 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 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 ίδιου 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 : $Q_g = Q_E / COP$ όπου Q_E 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 : $Q_C = Q_{vapour} + Q_E$. Οπότε αντικαθιστώντας στην 2η σχέση το Q_{vapour} από την 1η σχέση προκύπτει ότι : $Q_C = Q_E * [1 + (1/COP)]$. 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. [28]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

ΨΥΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ-ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΛΙΘΙΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η περιγραφή των διαφόρων τύπων ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης που λειτουργούν με χρήση μίγματος $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$. Στην συνέχεια, αναλύονται τα βασικά μέρη και εξαρτήματα που τα απαρτίζουν, οι αρχές λειτουργίας τους και οι μαθηματικές σχέσεις που τα διέπουν.

5.2 Περιγραφή συστημάτων

5.2.1 Μονής-βαθμίδας

Ένα μονής-βαθμίδας ψυκτικό σύστημα απορρόφησης αποτελείται από:

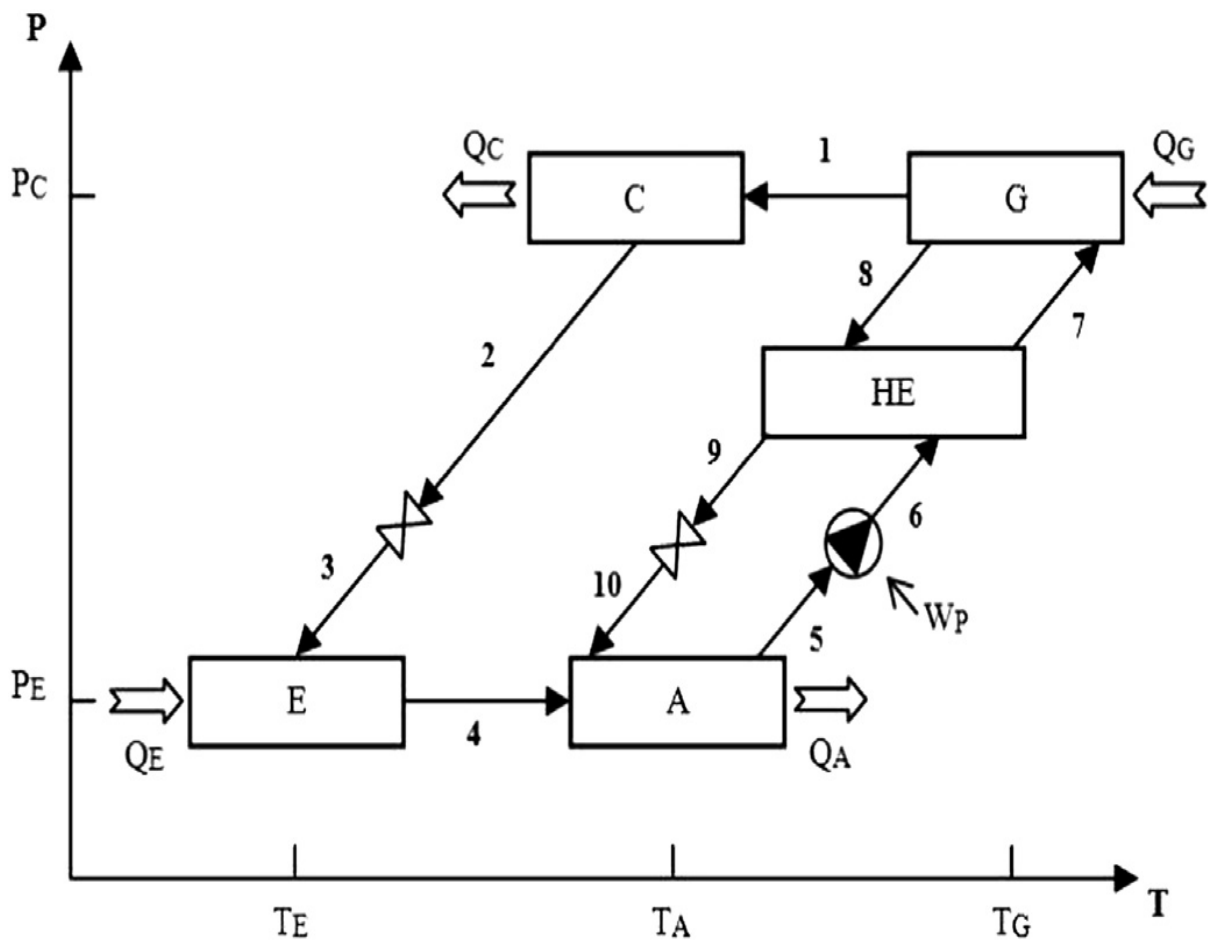
- έναν αναγεννητή (G)generator
- έναν απορροφητή (A) absorber
- ένα συμπυκνωτή (C)condenser
- έναν ατμοποιητή (E)evaporator
- έναν εναλλάκτη θερμότητας (HE)heat exchanger
- δύο στραγγαλιστικές βαλβίδες valves
- μία αντλία pump

Το ψυκτικό σύστημα απορρόφησης μονής βαθμίδας που φαίνεται στην Εικόνα 5.1 αποτελείται από δύο κύκλους:

- το ψυκτικό κύκλο (1-4)
- το κύκλο διαλύματος (5-10) αμμωνίας-νιτρικού λιθίου ($NH_3 - LiNO_3$)

Μία ποσότητα θερμότητας διοχετεύεται στον αναγεννητή προκειμένου να διαχωρίσει μέρος της αμμωνίας από το διάλυμα σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Μόλις η αμμωνία εξατμιστεί οδηγείται στον συμπυκνωτή όπου υγροποιείται διαχέοντας θερμότητα στην ατμόσφαιρα.

Στην συνέχεια η αμμωνία σε υγρή φάση περνά μέσα από την στραγγαλιστική βαλβίδα ελαττώνοντας την πίεση και την θερμοκρασία της και οδηγείται στον ατμοποιητή σε μορφή υδρατμού όπου απορροφά θερμότητα παράγοντας το ψυκτικό αποτέλεσμα .



Εικόνα 5.1: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονής-βαθμίδας.

Ο ατμός αμμωνίας εξέρχεται από τον ατμοποιητή και οδηγείται στον απορροφητή όπου απορροφάται από το διάλυμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου, το οποίο έρχεται από τον αναγεννητή.

Τέλος, το διάλυμα αντλείται στον αναγεννητή ξεκινώντας και πάλι τον κύκλο.

Προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση θερμότητας ένας εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται μεταξύ του απορροφητή και του αναγεννητή για την ανάκτηση θερμότητας από το διάλυμα που κατευθύνεται από τον αναγεννητή στον απορροφητή.

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν το σύστημα μονής-βαθμίδας είναι :

Αναγεννητής(G)

Ισολογισμός μάζας:

- $m_7 = m_1 + m_8$
- $m_7 x_7 = m_1 x_1 + m_8 x_8$
- $Q_G = m_1 h_1 + m_8 h_8 - m_7 h_7$

Απορροφητής(A)

- $m_5 = m_4 + m_{10}$
- $m_5 x_5 = m_4 x_4 + m_{10} x_{10}$
- $Q_A = m_4 h_4 + m_{10} h_{10} - m_5 h_5$

Συμπυκνωτής (C)

- $Q_C = m_1 (h_1 - h_2)$

Ατμοποιητής (E)

- $Q_E = m_3 (h_4 - h_3)$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE)

- $\eta_{\text{HE}} = (h_7 - h_6)/(h_8 - h_6)$

Έργο της αντλίας(WP)

- $W_p = m_5(h_6 - h_5)$

Λόγος ροής

- $RF = m_5/m_4$

Συντελεστής απόδοσης συστήματος μονής-βαθμίδας

- $COP = Q_E/(Q_G + W_p)$

5.2.2 Μισής-βαθμίδας

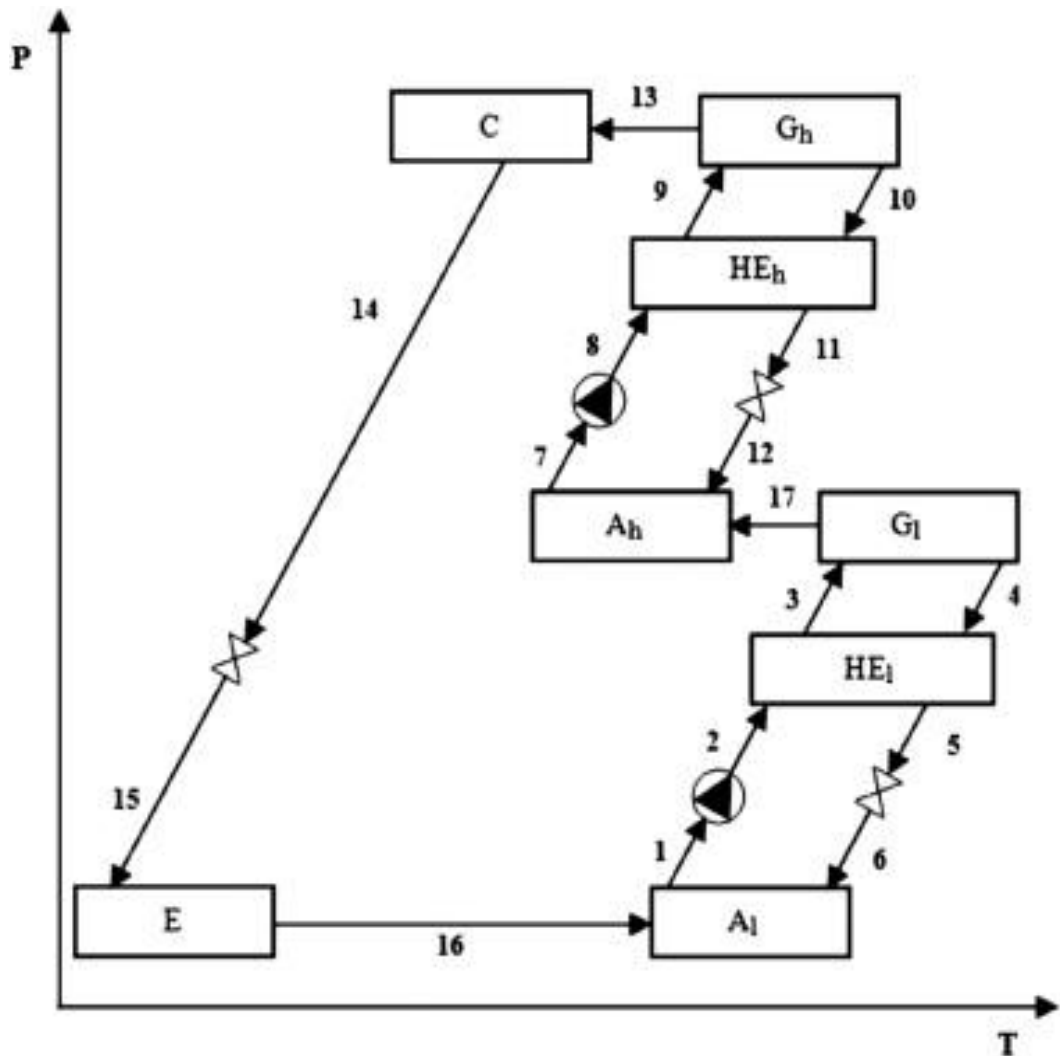
Ένα μισής-βαθμίδας ψυκτικό σύστημα απορρόφησης αποτελείται από δύο κύκλους διαλύματος ,έναν στην χαμηλή πίεση και έναν στην υψηλή.

- δύο αναγεννητές (G) generator
- δύο απορροφητές (A) absorber
- ένα συμπυκνωτή (C) condenser
- έναν ατμοποιητή (E) evaporator
- δύο εναλλάκτες θερμότητας (HE) heat exchanger
- -δύο στραγγαλιστικές βαλβίδες valves
- δύο αντλίες pumps

Η παρεχόμενη θερμότητα στους δύο αναγεννητές(G_h και G_l) μπορεί να βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία.

Η αμμωνία αποτελεί το ψυκτικό μέσο και ο ατμός της παράγεται στον αναγεννητή υψηλής πίεσης από θερμότητα που του παρέχεται. Μετά τον αναγεννητή η αμμωνία συμπυκνώνεται, εκτονώνεται και ατμοποιείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που συνέβη και στο μονής-βαθμίδας ψυκτικό σύστημα.

Στην συνέχεια το ψυκτικό μέσο εγκαταλείπει τον ατμοποιητή και κατευθύνεται στον χαμηλής πίεσης απορροφητή (A_l) όπου και απορροφάται από διάλυμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία, το οποίο έρχεται από τον αναγεννητή χαμηλής πίεσης (G_l).



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μισής-βαθμίδας.

Έπειτα το διάλυμα που προέκυψε, με ενδιάμεση συγκέντρωση αμμωνίας, αντλείται προς τον χαμηλής πίεσης αναγεννητή(G_l)περνώντας πρώτα από έναν εναλλάκτη θερμότητας(HE_l). Στον αναγεννητή χαμηλής πίεσης παρέχεται θερμότητα ώστε ένα μέρος της αμμωνίας να ατμοποιηθεί .

Στην συνέχεια ο ατμός οδηγείται στον απορροφητή υψηλής πίεσης (A_h) όπου και απορροφάται απο μίγμα αμμωνίας-νιτρικού λιθίου που έρχεται από τον αναγεννητή υψηλής πίεσης (G_h).

Το νέο διάλυμα που σχηματίζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας αντλείται στον αναγεννητή υψηλής πίεσης μέσω του εναλλάκτη θερμότητας (HE_h) ξεκινώντας ξανά τον κύκλο.

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν το σύστημα μισής-βαθμίδας είναι :

Χαμηλής πίεσης αναγεννητής(G_l)

Ισολογισμός μάζας:

- $m_3 = m_4 + m_{17}$
- $m_3x_3 = m_4x_4 + m_{17}x_{17}$
- $Q_{G_l} = m_4h_4 + m_{17}h_{17} - m_3h_3$

Χαμηλής πίεσης Απορροφητής(A_l)

- $m_1 = m_6 + m_{16}$
- $m_1x_1 = m_6x_6 + m_{16}x_{16}$
- $Q_{A_1} = m_6h_6 + m_{16}h_{16} - m_1h_1$

Υψηλής πίεσης αναγεννητής(G_h)

- $m_9 = m_{13} + m_{10}$
- $m_9x_9 = m_{13}x_{13} + m_{10}x_{10}$
- $Q_{G_h} = m_{13}h_{13} + m_{10}h_{10} - m_9h_9$

Υψηλής πίεσης Απορροφητής (A_h)

- $m_7 = m_{12} + m_{17}$
- $m_7 x_7 = m_{12} x_{12} + m_{17} x_{17}$
- $Q_{A_1} = m_6 h_6 + m_{16} h_{16} - m_1 h_1$

Συμπυκνωτής (C)

- $Q_C = m_{13}(h_{13} - h_{14})$

Ατμοποιητής (E)

- $Q_E = m_{15}(h_{16} - h_{15})$

Αποδοτικότητα των εναλλακτών θερμότητας (HE_l, HE_h)

- $\eta_{HE_l} = (h_3 - h_2)/(h_4 - h_2)$
- $\eta_{HE_h} = (h_9 - h_8)/(h_{10} - h_8)$

Έργο των αντλιών (W_{p_l}, W_{p_h})

- $W_{p_l} = m_1(h_2 - h_1)$
- $W_{p_h} = m_7(h_8 - h_7)$

Λόγος ροής

- $RF = m_7/m_{13}$

Συντελεστής απόδοσης συστήματος μονής-βαθμίδας

- $COP = Q_E/(Q_{Gl} + W_{p_l} + Q_{Gh} + W_{p_h})$

5.2.3 Διπλής-βαθμίδας σε σειρά

Ένα ψυκτικό σύστημα απορρόφησης διπλής-βαθμίδας σε σειρά, συγκριτικά με το μονής-βαθμίδας σύστημα, έχει τα εξής επιπλέον εξαρτήματα σε υψηλή πίεση: έναν αναγεννητή, ένα συμπυκνωτή και έναν εναλλάκτη θερμότητας.

Έτσι λοιπόν έχουμε:

- έναν αναγεννητή (G) generator
- έναν απορροφητή (A) absorber
- ένα συμπυκνωτή (C) condenser
- έναν ατμοποιητή (E) evaporator
- δύο εναλλάκτες θερμότητας (HE) heat exchanger
- τέσσερις στραγγαλιστικές βαλβίδες valves
- μία αντλία pump
- δύο συμπυκνωτές-αναγεννητές (CG) condenser-generator

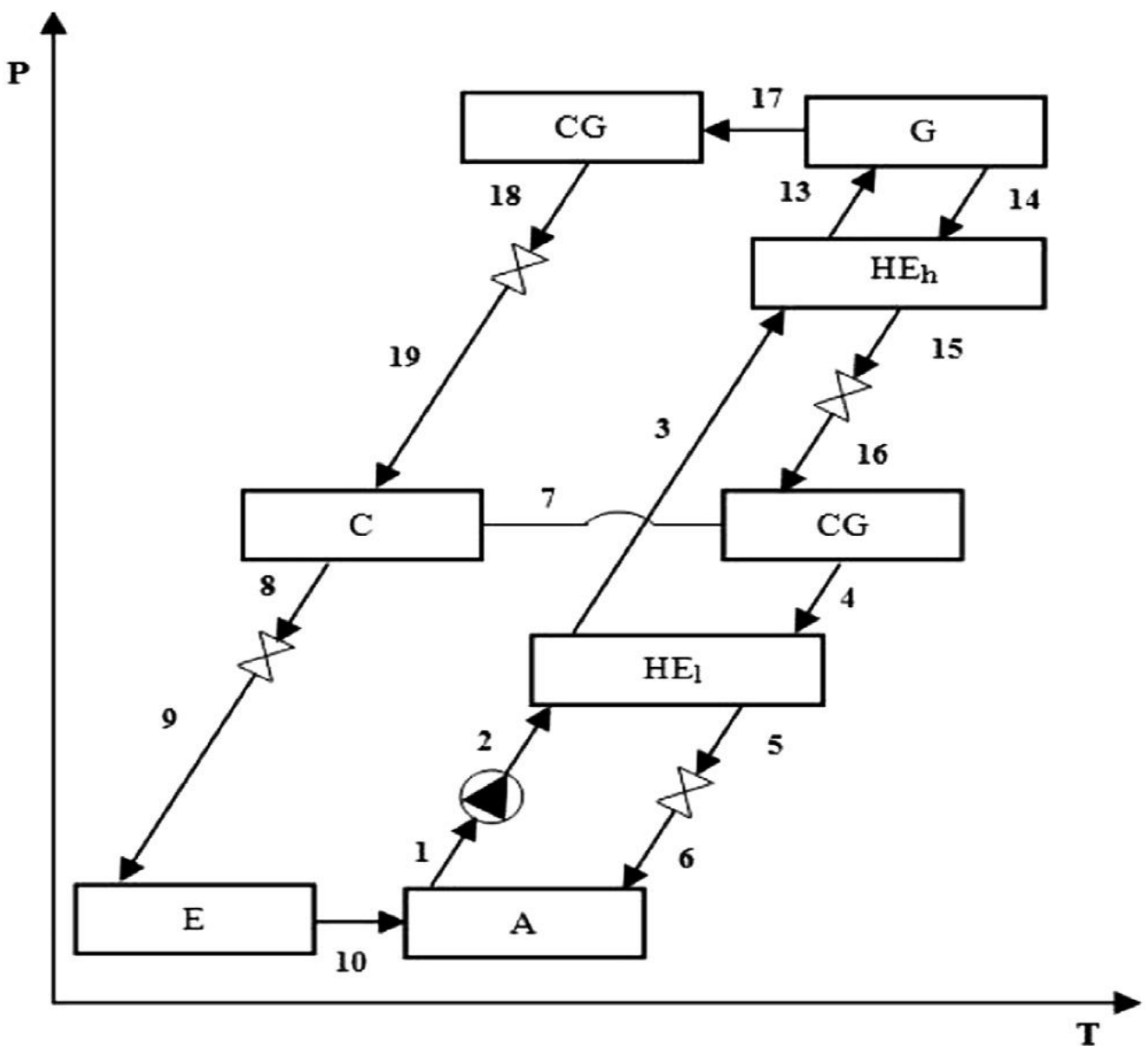
Ο σκοπός της προσθήκης των εξαρτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι η βελτίωση του βαθμού απόδοσης του συστήματος (COP: coefficient of performance).

Το σύστημα ονομάζεται "διπλής-βαθμίδας στην σειρά" επειδή ο ατμός αμμωνία παράγεται στον αναγεννητή (G) αλλά και στον συμπυκνωτή-αναγεννητή (CG) σε υψηλές και ενδιάμεσες πιέσεις αντίστοιχα, και επειδή το διάλυμα με την υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία οδηγείται απευθείας από τον απορροφητή στον αναγεννητή περνώντας πρώτα από τους εναλλάκτες θερμότητας.

Σε αυτό το σύστημα η θερμότητα παρέχεται μόνο στον αναγεννητή σε υψηλή θερμοκρασία με σκοπό να παράγει τον ατμό αμμωνίας.

Μόλις ο ατμός αμμωνίας παραχθεί στον αναγεννητή(G) οδηγείται στον συμπυκνωτή-αναγεννητή (CG) προκειμένου να υγροποιηθεί.

Στο συγκεκριμένο τμήμα του συστήματος η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την διάρκεια της συμπύκνωσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή περισσότερου ατμού αμμωνίας σε ενδιάμεση πίεση, ο οποίος στην συνέχεια συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή.



Εικόνα 5.3: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησης διπλής-βαθμίδας σε σειρά.

Τα δύο ρεύματα με την υγρή αμμωνία ενώνονται σε ενδιάμεση πίεση και περνούν διαμέσου της βαλβίδας εκτόνωσης στον ατμοποιητή προκειμένου να παραχθεί το ψυκτικό φαινόμενο. Η αμμωνία εγκαταλείπει τον ατμοποιητή και οδηγείται στον απορροφητή όπου απορροφάται από το διάλυμα που έρχεται από τον συμπυκνωτή-αναγεννητή (CG).

Τελικώς, το διάλυμα με την υψηλή περιεκτικότητα σε αμμωνία αντλείται στον αναγεννητή μέσω του εναλλάκτη θερμότητας ξεκινώντας και πάλι τον κύκλο

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν το σύστημα διπλής-βαθμίδας σε σειρά είναι :

αναγεννητής(G)

Ισολογισμός μάζας:

- $m_{13} = m_{14} + m_{17}$
- $m_{13}x_{13} = m_{14}x_{14} + m_{17}x_{17}$
- $Q_G = m_{14}h_{14} + m_{17}h_{17} - m_{13}h_{13}$

Απορροφητής(A)

- $m_1 = m_6 + m_{10}$
- $m_1x_1 = m_6x_6 + m_{10}x_{10}$
- $Q_A = m_6h_6 + m_{10}h_{10} - m_1h_1$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν αναγεννητής(CG):

- $m_{16} = m_4 + m_7$
- $m_{16}x_{16} = m_4x_4 + m_7x_7$
- $Q_{CG} = m_4h_4 + m_7h_7 - m_{16}h_{16}$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν συμπυκνωτή (CG):

- $m_{17} = m_{18}$
- $m_{17}x_{17} = m_{18}x_{18}$
- $Q_{CG} = m_{17}(h_{17} - h_{18})$

Συμπυκνωτής (C)

- $m_8 = m_7 + m_{19}$
- $Q_C = m_7h_7 + m_{19}h_{19} - m_8h_8$

Ατμοποιητής (E)

- $Q_E = m_{10}(h_{10} - h_9)$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE_l)

- $\eta_{HE_l} = (h_3 - h_2)/(h_4 - h_2)$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE_h)

- $\eta_{HE_h} = (h_{13} - h_3)/(h_{14} - h_3)$

Έργο της αντλίας (W_{p_l})

- $W_{p_l} = m_1(h_2 - h_1)$

Λόγος ροής

- $RF = m_1/m_{10}$

Συντελεστής απόδοσης συστήματος διπλής-βαθμίδας σε σειρά

- $COP = Q_E/(Q_G + W_{p_l})$

5.2.4 Διπλής-βαθμίδας αντίστροφο σύστημα

Ο αντίστροφος κύκλος διπλής-βαθμίδας, συγκριτικά με το κύκλο διπλής-βαθμίδας σε σειρά, έχει μία επιπλέον αντλία και μία στραγγαλιστική βαλβίδα λιγότερη. Έτσι λοιπόν έχουμε:

- έναν αναγεννητή (G) generator
- έναν απορροφητή (A) absorber
- ένα συμπυκνωτή (C) condenser
- έναν ατμοποιητή (E) evaporator
- δύο εναλλάκτες θερμότητας (HE) heat exchanger
- τρεις στραγγαλιστικές βαλβίδες valves
- δύο αντλία pump
- δύο συμπυκνωτές-αναγεννητές (CG) condenser-generator

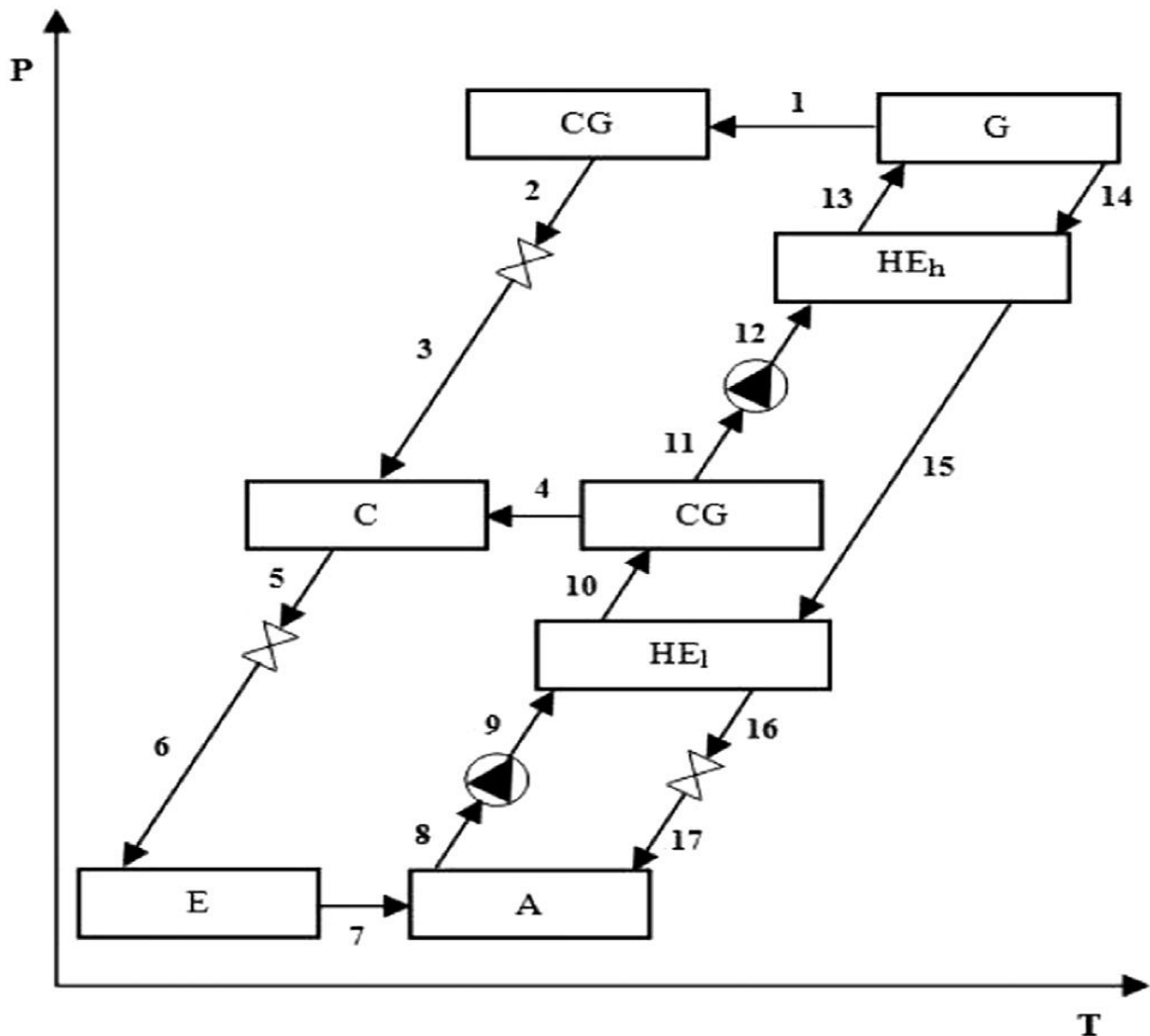
Από την άλλη πλευρά, ενώ στο διπλής-βαθμίδας σε σειρά σύστημα το διάλυμα αποχωρεί από τον απορροφητή και οδηγείται στον αναγεννητή, στην διαμόρφωση του αντίστροφου συστήματος διπλής-βαθμίδας το διάλυμα φεύγει από την απορροφητή ,οδηγείται στον συμπυκνωτή-ανεγεννητή και έπειτα στον αναγεννητή .

Το διάλυμα με την χαμηλή συγκέντρωση αμμωνίας εγκαταλείπει τον αναγεννητή και οδηγείται απευθείας στον απορροφητή μέσω του εναλλάκτη θερμότητας.

Για το λόγο αυτό η διαμόρφωση που απεικονίζεται στην Εικόνα 5.4 ονομάζεται "διπλής-βαθμίδας αντίστροφο σύστημα ".Η υπόλοιπη λειτουργία του συστήματος είναι παρόμοια με αυτήν που περιγράφηκε προηγουμένως για το διπλής-βαθμίδας σε σειρά σύστημα.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως προκειμένου να παράγουμε την επιπλέον ψυκτική ποσότητα στον συμπυκνωτή-αναγεννητή της διαμόρφωσης του συστήματος διπλής-βαθμίδας, η θερμότητα που παρέχεται στον αναγεννητή πρέπει να είναι σε υψηλότερη θερμοκρασία συγκριτικά με αυτήν που παρέχεται στον αναγεννητή των συστημάτων μονής-βαθμίδας και μισής-βαθμίδας.

Αν και υπάρχουν διαφορετικές διαμορφώσεις του ψυκτικού συστήματος απορρόφησης διπλής-βαθμίδας μερικές από τις πιο κοινές είναι σε σειρά, αντίστροφα και παράλληλα.



Εικόνα 5.4: Διάγραμμα P-T αντίστροφου ψυκτικού συστήματος απορρόφησης διπλής-βαθμίδας

Στην προκειμένη ,αναλύθηκαν μόνο τα συστήματα διπλής-βαθμίδας σε σειρά και αντίστροφα αφού όπως έχει αναφερθεί τα ποσοστά καταστροφής εξέργειας στον αναγεννητή στη παράλληλη διαμόρφωση είναι υψηλότερα σε σχέση με αυτά που λαμβάνονται στις άλλες δύο διαμορφώσεις.

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν το αντίστροφο σύστημα διπλής-βαθμίδας είναι:

αναγεννητής(G)

Ισολογισμός μάζας:

- $m_{13} = m_{14} + m_1$
- $m_{13}x_{13} = m_{14}x_{14} + m_1x_1$
- $Q_G = m_{14}h_{14} + m_1h_1 - m_{13}h_{13}$

Απορροφητής(A)

- $m_8 = m_7 + m_{17}$
- $m_8x_8 = m_7x_7 + m_{17}x_{17}$
- $Q_A = m_7h_7 + m_{17}h_{17} - m_8h_8$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν αναγεννητής(CG):

- $m_{10} = m_4 + m_{11}$
- $m_{10}x_{10} = m_4x_4 + m_{11}x_{11}$
- $Q_{CG} = m_{11}h_{11} + m_4h_4 - m_{10}h_{10}$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν συμπυκνωτής (CG):

- $m_1 = m_2$
- $m_1x_1 = m_2x_2$
- $Q_{CG} = m_1(h_1 - h_2)$

Συμπυκνωτής (C)

- $m_5 = m_3 + m_4$
- $Q_C = m_3 h_3 + m_4 h_4 - m_5 h_5$

Ατμοποιητής (E)

- $Q_E = m_7 (h_7 - h_6)$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE_l)

- $\eta_{HE_l} = (h_{10} - h_9) / (h_{15} - h_9)$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE_h)

- $\eta_{HE_h} = (h_{13} - h_{12}) / (h_{14} - h_{12})$

Έργο της αντλίας (W_{p_l})

- $W_{p_l} = m_8 (h_9 - h_8)$

Έργο της αντλίας (W_{p_h})

- $W_{p_h} = m_{11} (h_{12} - h_{11})$

Λόγος ροής

- $RF = m_8 / m_7$

Συντελεστής απόδοσης συστήματος διπλής-βαθμίδας, αντίστροφο

- $COP = Q_E / (Q_G + W_{p_l} + W_{p_h})$

5.2.5 Τριπλής-βαθμίδας σε σειρά

Τα τριπλής-βαθμίδας συστήματα είναι παρόμοια με τα διπλής-βαθμίδας συστήματα αλλά ένας επιπλέον αναγεννητής, συμπυκνωτής-αναγεννητής και ένας εναλλάκτης θερμότητας έχουν ενσωματωθεί στο σύστημα. Έτσι λοιπόν έχουμε:

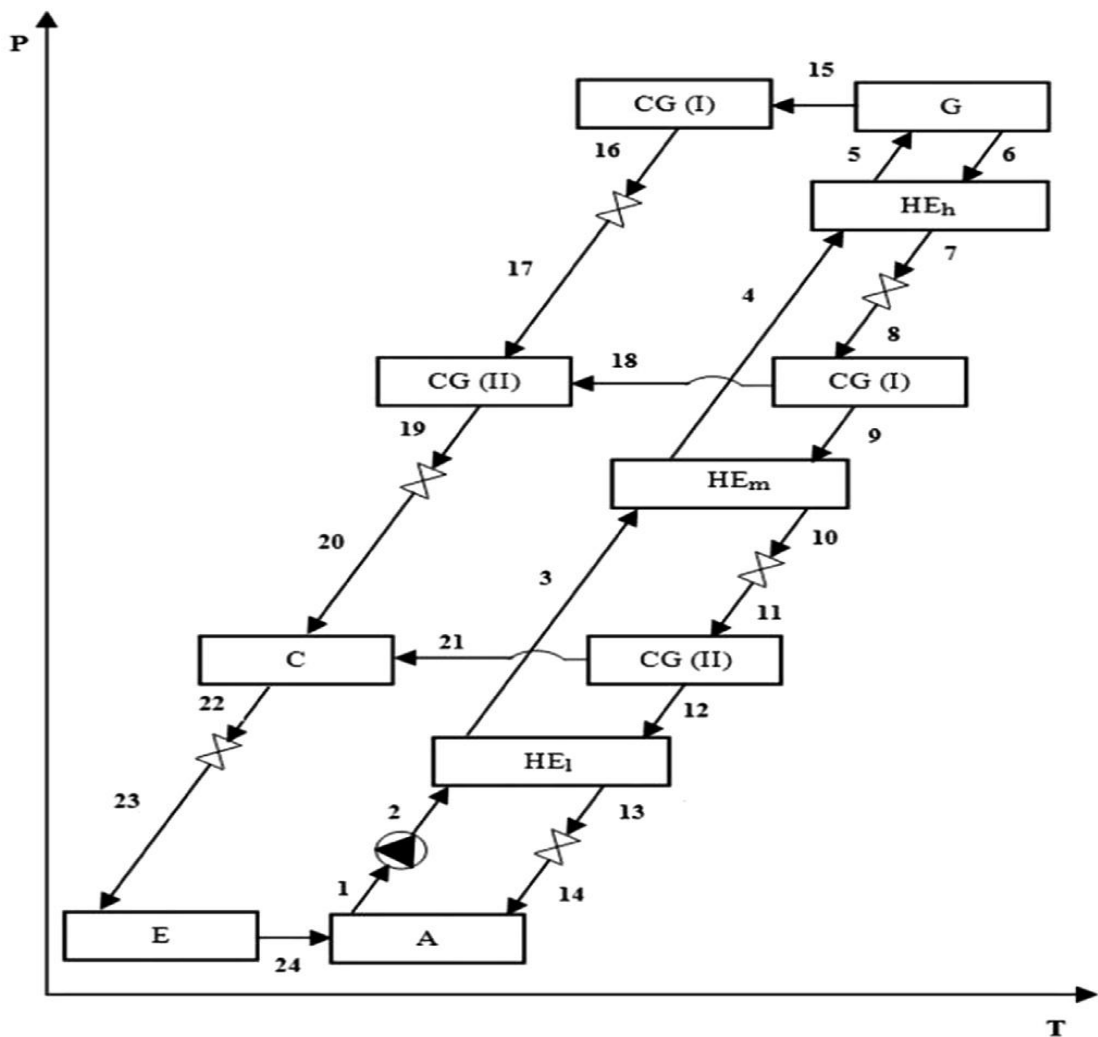
- έναν αναγεννητή (G) generator
- έναν απορροφητή (A) absorber
- ένα συμπυκνωτή (C) condenser
- έναν ατμοποιητή (E) evaporator
- τρεις εναλλάκτες θερμότητας (HE) heat exchanger
- έξι στραγγαλιστικές βαλβίδες valves
- μία αντλία pump
- τρεις συμπυκνωτές-αναγεννητές (CG) condenser-generator

Σε αυτό το σύστημα η θερμότητα παρέχεται μόνο στον αναγεννητή για να παράγει τον ατμό αμμωνίας αλλά και η θερμότητα που ανακτάται από τους συμπυκνωτές-αναγεννητές [CG(I) και CG(II)] χρησιμοποιείται και αυτή για να παραχθεί επιπλέον ψύξη σε ενδιάμεσες πιέσεις.

Ως εκ τούτου, στα τριπλής-βαθμίδας συστήματα το ψυκτικό μέσο παράγεται σε τρία διαφορετικά στάδια ή μέρη του συστήματος.

Το σύστημα που απεικονίζεται στην Εικόνα 5.5 είναι ένα άμεσου τύπου σύστημα, δεδομένου ότι το υψηλής συγκέντρωσης διάλυμα αμμωνίας, αφήνοντας τον απορροφητή οδηγείται απευθείας στον αναγεννητή περνώντας μόνο μέσα από τους εναλλάκτες θερμότητας.

Όπως είναι φανερό από την Εικόνα 5.5 το τριπλής-βαθμίδας σύστημα είναι το πιο περίπλοκο συγκριτικά με τα άλλα συστήματα που περιγράφηκαν προηγουμένως.



Εικόνα 5.5: Διάγραμμα P-T ψυκτικού συστήματος απορρόφησης τριπλής- βαθμίδας.

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν το σύστημα τριπλής-βαθμίδας σε σειρά αναγράφονται παρακάτω.

αναγεννητήης(G)

- Ισολογισμός μάζας:
- $m_5 = m_{15} + m_6$
- $m_5 x_5 = m_{15} x_{15} + m_6 x_6$
- $Q_G = m_{15} h_{15} + m_6 h_6 - m_5 h_5$

Απορροφητήης(A)

- $m_1 = m_{14} + m_{24}$

- $m_1 x_1 = m_{14} x_{14} + m_{24} x_{24}$
- $Q_A = m_{14} h_{14} + m_{24} h_{24} - m_1 h_1$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν αναγεννητής (CG I):

- $m_8 = m_9 + m_{18}$
- $m_8 x_8 = m_9 x_9 + m_{18} x_{18}$
- $Q_{CG_G(I)} = m_9 h_9 + m_{18} h_{18} - m_8 h_8$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν συμπυκνωτής (CG I):

- $m_{15} = m_{16}$
- $m_{15} x_{15} = m_{16} x_{16}$
- $Q_{CG_G(I)} = m_{15} (h_{15} - h_{16})$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν αναγεννητής (CG II):

- $m_{11} = m_{21} + m_{12}$
- $m_{11} x_{11} = m_{21} x_{21} + m_{12} x_{12}$
- $Q_{CG_G(II)} = m_{21} h_{21} + m_{12} h_{12} - m_{11} h_{11}$

συμπυκνωτής-αναγεννητής

σαν συμπυκνωτής (CG II):

- $m_{19} = m_{16} + m_{18}$
- $m_{19} x_{19} = m_{17} x_{17} + m_{18} x_{18}$
- $Q_{CG_G(II)} = (m_{17} h_{17} + m_{18} h_{18} - m_{19} h_{19})$

Συμπυκνωτής (C)

- $m_{22} = m_{20} + m_{21}$

- $m_{22}x_{22} = m_{20}x_{20} + m_{21}x_{21}$
- $Q_C = m_{20}h_{20} + m_{21}h_{21} - m_{22}h_{22}$

Ατμοποιητής (E)

- $m_{24} = m_{23}$
- $m_{24}x_{24} = m_{23}x_{23}$
- $Q_E = m_{24}(h_{24} - h_{23})$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE_l)

- $\eta_{HE_l} = (h_3 - h_2)/(h_{12} - h_2)$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE_m)

- $\eta_{HE_m} = (h_4 - h_3)/(h_9 - h_3)$

Αποδοτικότητα του εναλλάκτη θερμότητας (HE_h)

- $\eta_{HE_h} = (h_5 - h_4)/(h_6 - h_4)$

Έργο της αντλίας (W_{pl})

- $W_{pl} = m_1(h_2 - h_1)$

Συντελεστής απόδοσης συστήματος τριπλής-βαθμίδας σε σειρά

- $COP = Q_E/(Q_G + W_{pl})$

5.3 Ανάλυση των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης

5.3.1 Βασικές παραδοχές της ανάλυσης των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης

Η εκτίμηση των φυσικών και θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας σχέσεις που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία. [2],[3]

Προκειμένου να αναλυθεί η απόδοση των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης έγιναν συγκεκριμένες παραδοχές στην ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων των συστημάτων οι οποίες αναφέρονται παρακάτω:

- Σε ολόκληρο το σύστημα επικρατεί θερμοδυναμική ισορροπία.
- Η ανάλυση πραγματοποιείται υπό συνθήκες σταθερής κατάστασης.
- Δεν απαιτείται η χρήση ανορθωτή αφού υπό το θεωρούμενο θερμοκρασιακό εύρος το απορροφητικό μέσο δεν ατμοποιείται.
- Το διάλυμα είναι σε κορεσμένη κατάσταση κατά την έξοδο του από τον αναγεννητή και από τον απορροφητή. Επίσης το ψυκτικό μέσο αναχωρεί από τον συμπυκνωτή και από τον ατμοποιητή σε κορεσμένη κατάσταση.
- Οι απώλειες θερμότητας και η πτώση πίεση στις σωληνώσεις και στα μέρη του συστήματος θεωρούνται αμελητέες.
- Η ροή διαμέσου των βαλβίδων και των αντλιών θεωρείται ισενθαλπική.
- Οι θερμοκρασίες εξόδου στα κύρια μέρη του συστήματος θεωρούνται γνωστές. Το θερμικό φορτίο στον ατμοποιητή Q_E είναι ίσο με 10KW και ο βαθμός απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας η_{HE} είναι ίσος με 0,8.

5.3.2 Αλγόριθμος υπολογισμού των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης

Στην συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του εργαζόμενου μέσου στην είσοδο και στην έξοδο του κάθε στοιχείου που συνθέτει την εκάστοτε ψυκτική εγκατάσταση.

Αναγεννητής(G)

Έξοδος αμμωνίας προς συμπυκνωτή: υπέρθερμος ατμός αμμωνίας με γνωστή θερμοκρασία T_G και πίεση ίση με αυτή που επικρατεί στον συμπυκνωτή p_c . Ο υπολογισμός της ενθαλπίας πραγματοποιείται με χρήση του υπολογιστικού κώδικα σε matlab Coolprop.

Έξοδος διαλύματος: διάλυμα $NH_3 - LiNO_3$ σε κορεσμένη κατάσταση με γνωστή θερμοκρασία T_G και πίεση p_c . Για τον προσδιορισμό της ενθαλπίας απαιτείται ο καταρχήν προσδιορισμός της σύστασης του κορεσμένου μίγματος που πραγματοποιείται επαναληπτικά χρησιμοποιώντας παρακάτω σχέση

$$\text{➤ } p_c = 0.01 \exp [16.2900 + 3.859(1 - X)^3 - [2802 + 4192(1 - X)^3]/T_G]$$

όπου X τα $kg NH_3/kg$ διαλύματος

Ο υπολογισμός της ενθαλπίας πραγματοποιείται στην συνέχεια με βάση την σχέση:

$$\text{➤ } h_{sat} = h1 + h2 * (T_G - 273.16) + h3 * (T_G - 273.16)^2 + h4 * (T_G - 273.16)^3$$

Όπου

Αν $X < 0.54$

$$h1 = 1570 * (0.54 - X)^2 - 215$$

Αλλιώς

$$h1 = 689 * (X - 0.54)^{3/2} - 215$$

Ενώ παράλληλα ισχύει:

$$h2 = 3.2382678 * X + 1.15125$$

$$h3 = 0.0023965 * X + 0.001099$$

$$h4 = 0.0000393 * X$$

Απορροφητής(A)

Έξοδος διαλύματος: διάλυμα $NH_3 - LiNO_3$ σε κορεσμένη κατάσταση με γνωστή θερμοκρασία T_A και πίεση p_E . Για τον προσδιορισμό της ενθαλπίας απαιτείται ο καταρχήν προσδιορισμός της σύστασης του κορεσμένου μείγματος που πραγματοποιείται επαναληπτικά χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση

$$\text{➤ } p_E = 0.01 \exp [16.2900 + 3.859(1 - X)^3 - [2802 + 4192(1 - X)^3]/T_G]$$

όπου X τα kg_3/kg διαλύματος

Ο υπολογισμός της ενθαλπίας πραγματοποιείται στην συνέχεια με βάση την σχέση:

$$\text{➤ } h_{sat} = h_1 + h_2 * (T_A - 273.16) + h_3 * (T_A - 273.16)^2 + h_4 * (T_A - 273.16)^3$$

Όπου,

Αν $x < 0.54$

$$h_1 = 1570 * (0.54 - X)^2 - 215$$

Αλλιώς

$$h_1 = 689 * (X - 0.54)^{3/2} - 215$$

Ενώ ισχύει

$$h_2 = 3.2382678 * x + 1.15125$$

$$h_3 = 0.0023965 * x + 0.001099$$

$$h_4 = 0.0000393 * x$$

Συμπυκνωτής (C)

Έξοδος αμμωνίας: κορεσμένο συμπύκνωμα αμμωνίας σε γνωστή θερμοκρασία T_c . Ο υπολογισμός της ενθαλπίας του κορεσμένου συμπυκνώματος αμμωνίας γίνεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση που προτείνεται στην βιβλιογραφία [2].

$$\text{➤ } h_l = -25163.8 + 13589.390966T_c - 2699.1848526T_c^2 + 401.5487406T_c^3 + 33.018410822p_c - 3.1201078504p_2T_c^2$$

Η πίεση κορεσμού για δεδομένη θερμοκρασία δίνεται από την σχέση της βιβλιογραφίας [2]:

$$\text{➤ } p_c = 0.01 \exp(15.26075 - 2234.09497T_c^{-1} - 76156.125T_c^{-2})$$

Ατμοποιητής (E)

Έξοδος αμμωνίας: κορεσμένος ατμός αμμωνίας σε γνωστή θερμοκρασία T_E . Ο υπολογισμός της ενθαλπίας του κορεσμένου ατμού αμμωνίας γίνεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση που προτείνεται στην βιβλιογραφία [2].

$$\begin{aligned} \text{➤ } h_v = & 13322.9 + 3054.2701158T_E + 41.526887753T_E^2 + 10.025636436T_E^3 - \\ & 8.724520378p_4 - 27563.317734pT_E^{-3} - 6631835.3638pT_E^{-11} - \\ & 10127622.611p^3T_E^{-11} \end{aligned}$$

όπου η πίεση κορεσμού δίνεται από την σχέση:

$$\text{➤ } p_E = 0.01\exp(15.26075 - 2234.09497T_E^{-1} - 76156.125T_E^{-2})$$

Εναλλάκτης θερμοότητας (HE)

Ο προσδιορισμός της ενθαλπίας του ρεύματος που εισάγεται στον αναγεννητή πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την σχέση ορισμού της αποδοτικότητας του εναλλάκτη, ενώ ο υπολογισμός της ενθαλπίας του μείγματος που οδηγείται στον απορροφητή γίνεται χρησιμοποιώντας τον ισολογισμό θερμοότητας στα όρια του εναλλάκτη σύμφωνα με τις σχέσεις που έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά για κάθε σύστημα παραπάνω.

Ο προσδιορισμός των παροχών συνίσταται στον υπολογισμό καταρχάς με δεδομένη την ψυκτική ισχύ της εγκατάστασης, της παροχής μάζας που διαρρέει τον ατμοποιητή και στην συνέχεια στον προσδιορισμό όλων των υπολοίπων με βάση τους ισολογισμούς συνολικής μάζας διαλύματος και διαλυμένης ουσίας που ισχύουν σε κάθε κύκλωμα και έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΜΙΓΜΑ NH₃-LiNO₃

6.1. Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε η συμπεριφορά του ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονής-βαθμίδας, μισής-βαθμίδας, διπλής βαθμίδας σε σειρά και αντίστροφα και τριπλής βαθμίδας που λειτουργεί με χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου. Προκειμένου να γίνει η σύγκριση μεταξύ των συστημάτων, χαράχθηκαν τα διαγράμματα του θεωρητικού βαθμού απόδοσης για το κάθε σύστημα ξεχωριστά συναρτήσει των κύριων θερμοκρασιών λειτουργίας, οι οποίες θεωρήθηκαν γνώστες.

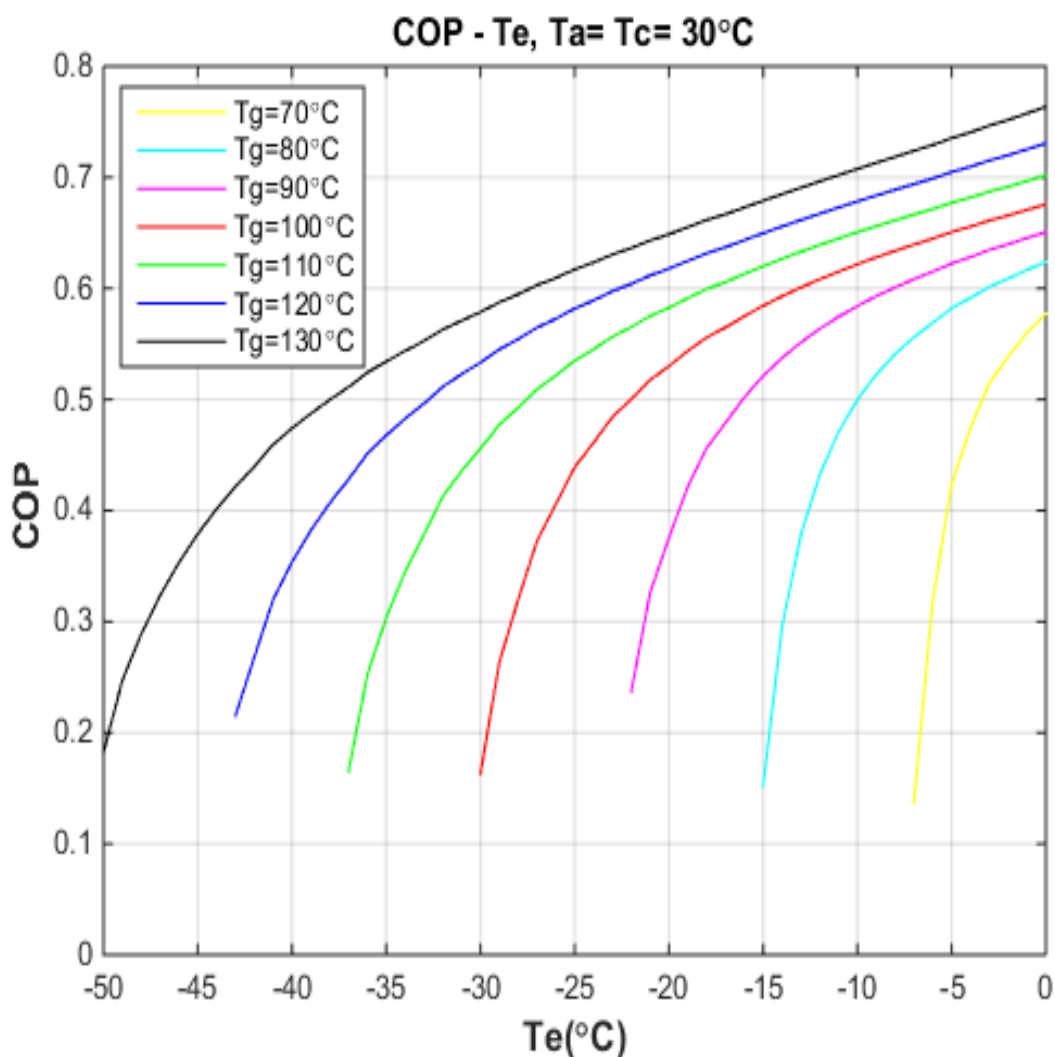
6.1.1 Μονής-Βαθμίδας

Οι Εικόνες 6.1-6.3 απεικονίζουν τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης για ένα ψυκτικό σύστημα μονής βαθμίδας, το οποίο λειτουργεί με χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου, συναρτήσει της θερμοκρασίας του ατμοποιητή για διάφορες θερμοκρασίες αναγεννητή και για θερμοκρασίες συμπύκνωσης 30 °C, 40 °C και 50 °C, αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ατμοποίησης, γεγονός αναμενόμενο σύμφωνα με τον αντίστροφο κύκλο Carnot. Επίσης, ο βαθμός απόδοσης μεγαλώνει όταν η θερμοκρασία στον αναγεννητή αυξάνεται λόγω της παραγωγής περισσότερου ατμού ψυκτικού μέσου στον αναγεννητή.

Από την Εικόνα 6.1 φαίνεται ότι ένα σύστημα μονής βαθμίδας μπορεί να φτάσει να έχει χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης μέχρι $-50\text{ }^\circ\text{C}$.

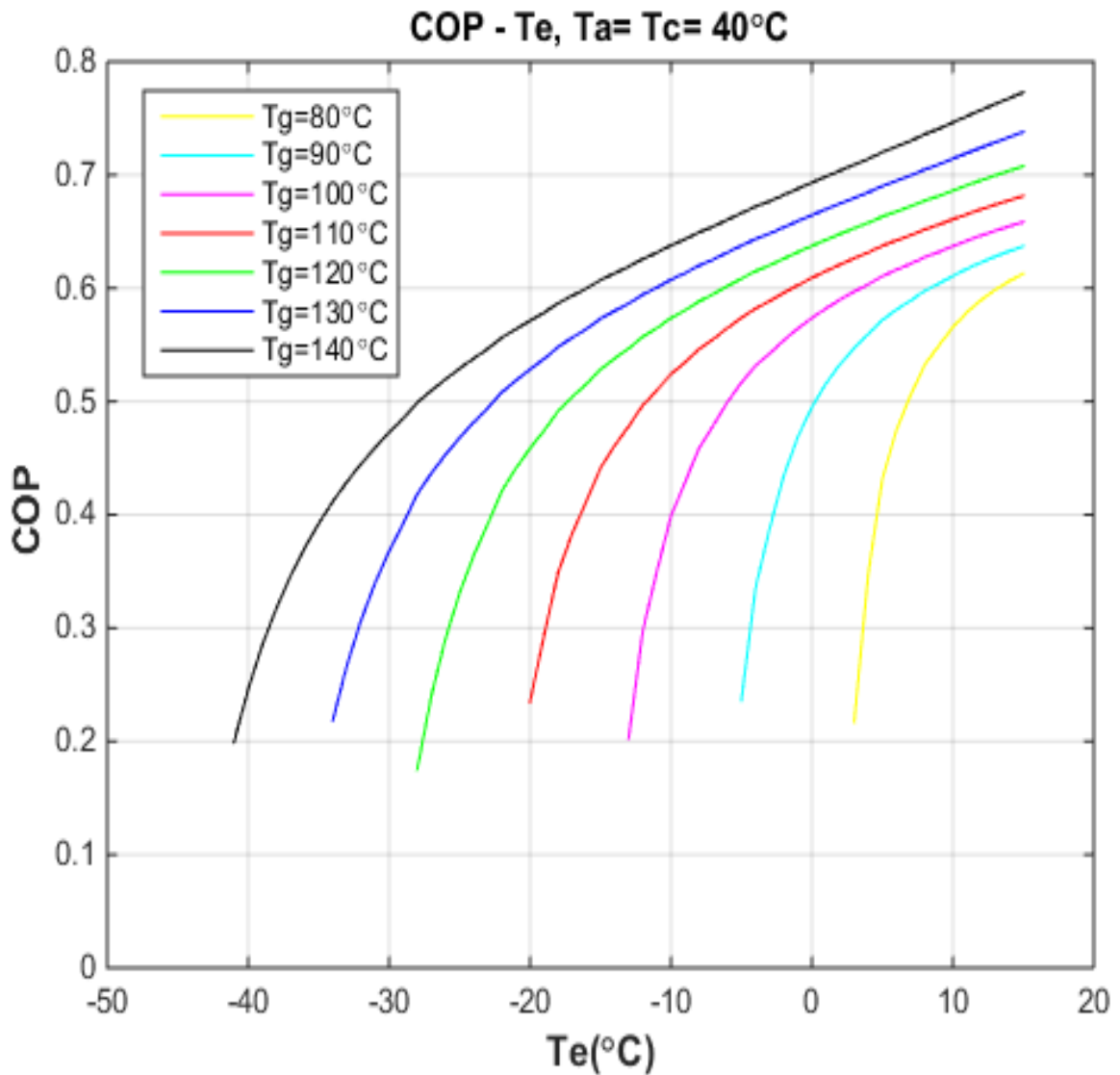
Αυτό συμβαίνει όταν η θερμότητα που παρέχεται στον αναγεννητή είναι στους $130\text{ }^\circ\text{C}$ και μεταφέρεται στον συμπυκνωτή και στον απορροφητή στους $30\text{ }^\circ\text{C}$. Ο βαθμός απόδοσης είναι ίσος με 0.19.



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα COP- T_e , μονής βαθμίδας, $T_a = T_c = 30\text{ }^\circ\text{C}$

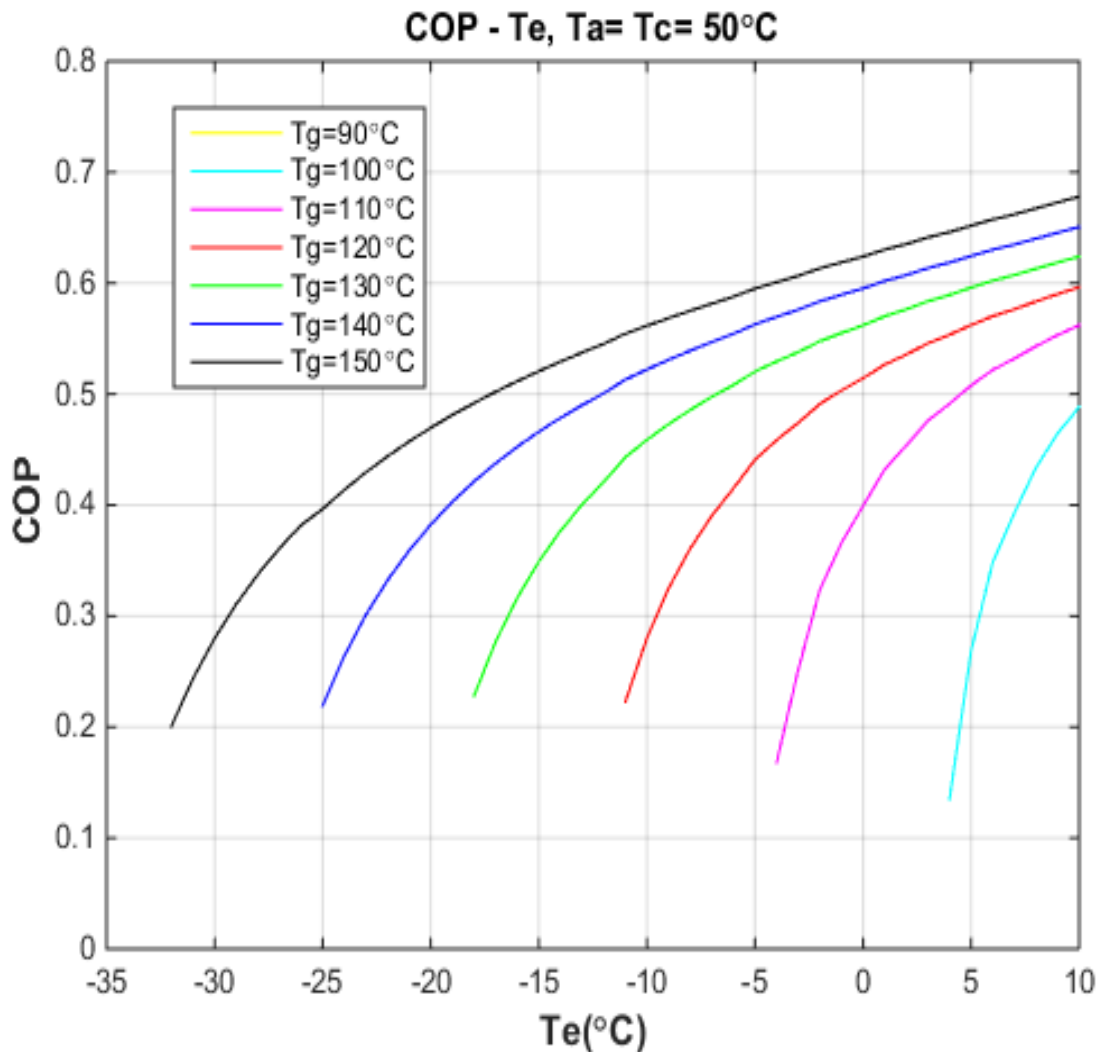
Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί ότι το σύστημα μπορεί λειτουργεί σε θερμοκρασίες αναγέννησης από $70\text{ }^\circ\text{C}$ έως $130\text{ }^\circ\text{C}$ και να έχει μέγιστο βαθμό απόδοσης 0.73.

Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και στην Εικόνα 6.2, αλλά σε αυτήν την περίπτωση η χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης ήταν -41°C και επετεύχθη όταν η θερμοκρασία αναγέννησης ήταν 140°C .



Εικόνα 6.2: Διάγραμμα COP- T_e , μόνης βαθμίδας, $T_a = T_c = 40^\circ\text{C}$

Η Εικόνα 6.3 δείχνει ότι για θερμοκρασία αναγέννησης 150°C η χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης ήταν -33°C με πολύ χαμηλές τιμές COP, αλλά ότι στην θερμοκρασία ατμοποίησης των -25°C ο COP ήταν περίπου 0.4.



Εικόνα 6.3: Διάγραμμα COP- T_e , μόνης βαθμίδας, $T_a = T_c = 50^\circ\text{C}$

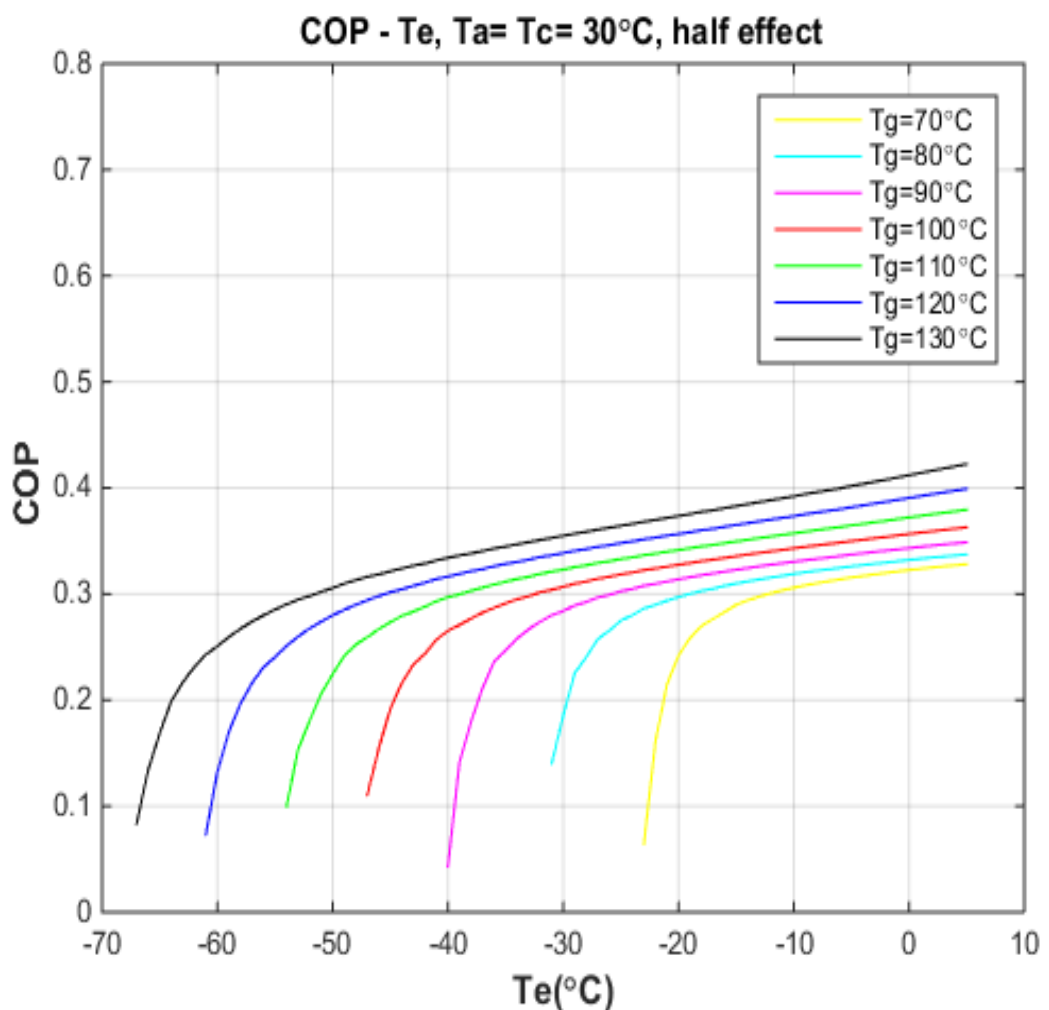
Συγκρίνοντας τα τρία σχήματα προκύπτει ότι ο βαθμός απόδοσης (COP) για μία σταθερή θερμοκρασία αναγέννησης διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την θερμοκρασία συμπύκνωσης και απορρόφησης. Για παράδειγμα για θερμοκρασία αναγεννητή σταθερή και ίση με 100°C και θερμοκρασία ατμοποίησης -10°C , ο COP είναι περίπου 0.65 για θερμοκρασία συμπυκνωτή και απορροφητή ίση με 30°C .

Ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος με 0,4 για θερμοκρασία συμπυκνωτή και απορροφητή ίση με 40°C και για θερμοκρασία συμπυκνωτή και απορροφητή ίση με 50°C το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει.

Αναφορικά με την πίεση του συστήματος, η μέγιστη και η ελάχιστη πίεση είναι 2026,2kPa και 40,8kPa που αντιστοιχούν σε θερμοκρασία συμπύκνωσης 50 °C και σε θερμοκρασία ατμοποίησης -50°C, αντίστοιχα.

6.1.2 Μισής-Βαθμίδας

Οι Εικόνες 6.4-6.6 απεικονίζουν τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης για ένα σύστημα μισής βαθμίδας, το οποίο λειτουργεί με χρήση μίγματος αμμωνίας-νιτρικού λιθίου, συναρτήσει της θερμοκρασίας του ατμοποιητή για διάφορες θερμοκρασίες αναγεννητή και για θερμοκρασίες συμπύκνωσης 30 °C, 40 °C, 50 °C αντίστοιχα.

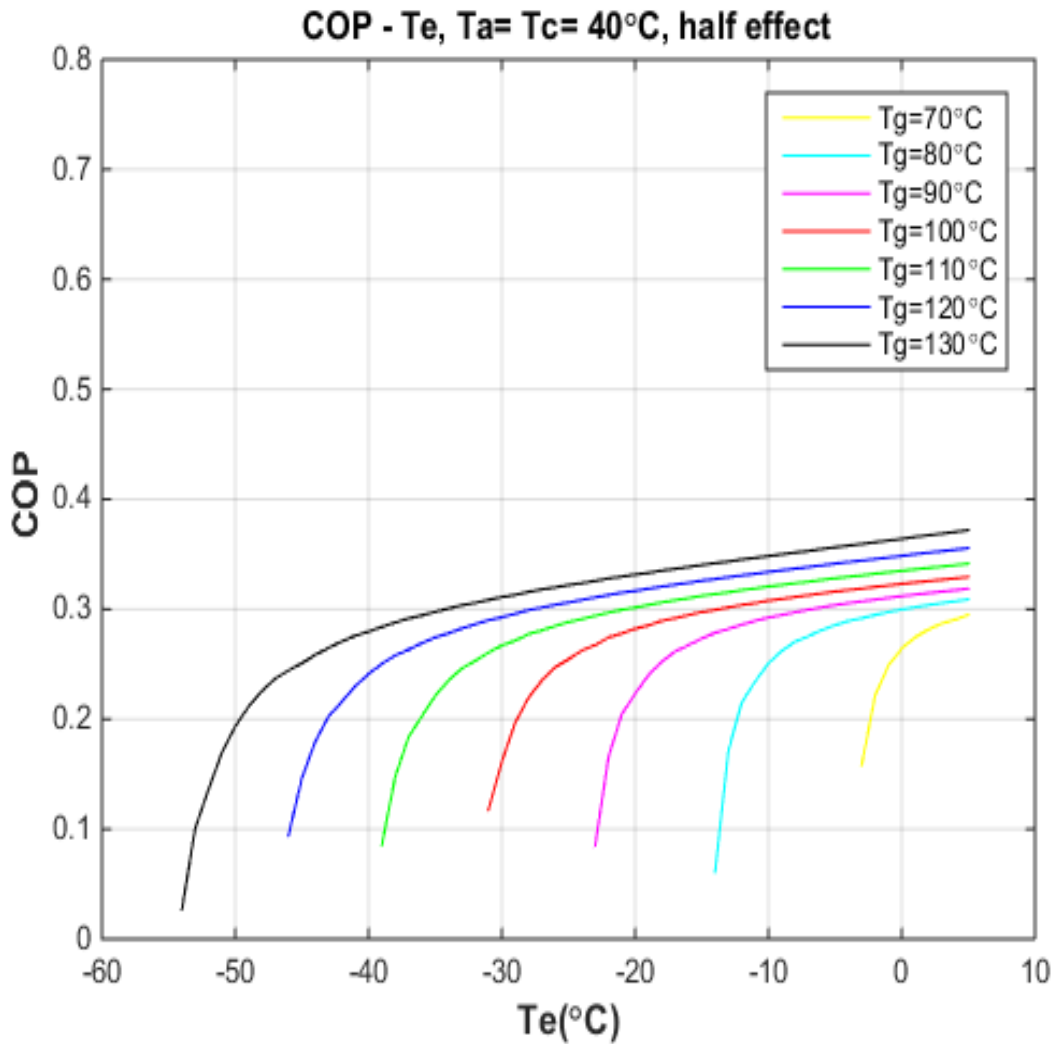


Εικόνα 6 4: Διάγραμμα COP- T_e , μισής βαθμίδας, $T_a = T_c = 30^\circ\text{C}$

Από τα σχήματα αυτά παρατηρείται και πάλι ότι ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται με την αύξηση στην θερμοκρασία του αναγεννητή και του ατμοποιητή και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή και του απορροφητή.

Ανάλογα με την θερμοκρασία του συμπυκνωτή και του απορροφητή, ο υψηλότερος βαθμός απόδοσης θα μπορούσε να είναι κοντά στο 0,3.

Η Εικόνα. 6.4 δείχνει ότι το σύστημα μισής βαθμίδας μπορεί να φτάσει θερμοκρασίες ατμοποίησης περίπου $0\text{ }^\circ\text{C}$ για θερμοκρασίες αναγέννησης τόσο χαμηλές όσο $70\text{ }^\circ\text{C}$.

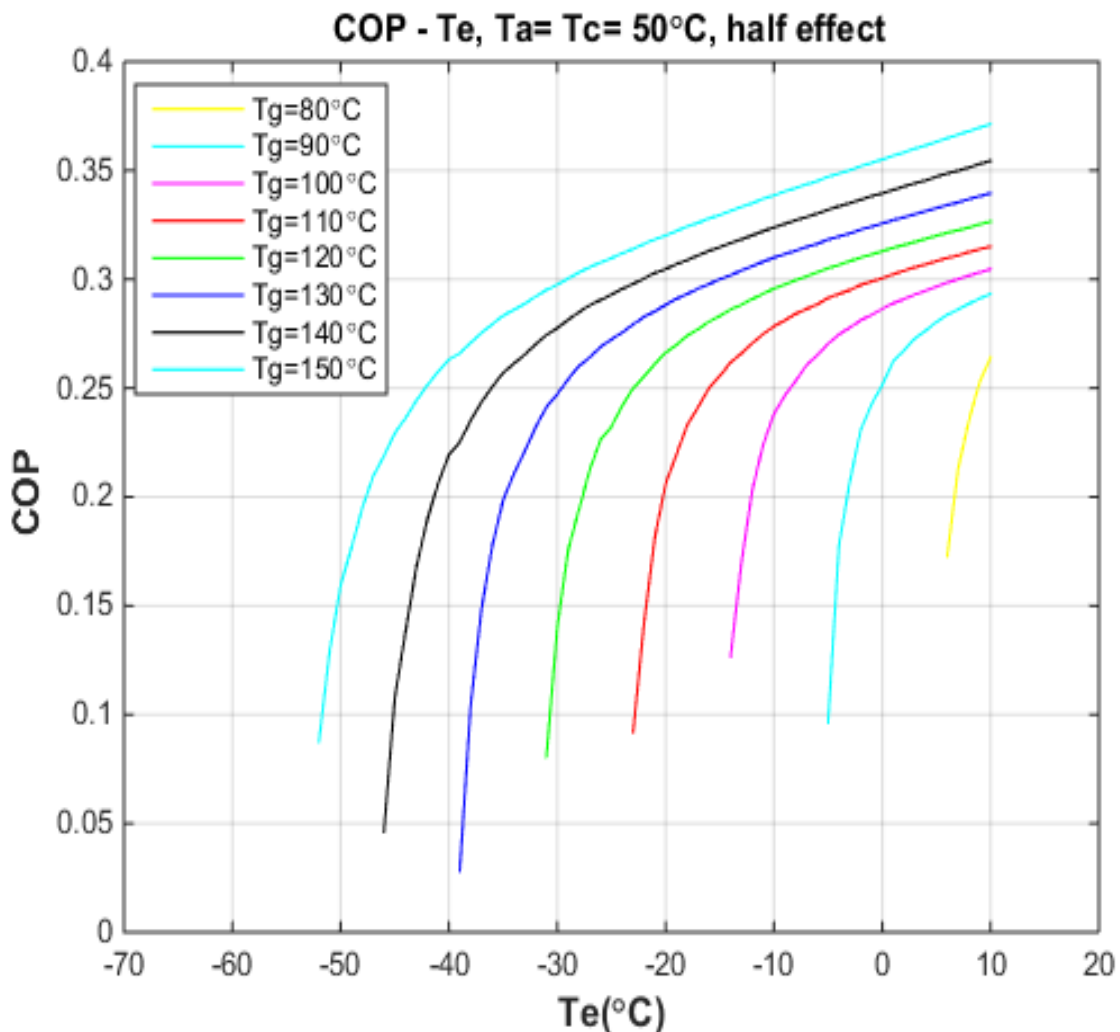


Εικόνα 6. 5: Διάγραμμα COP- T_e , μισής βαθμίδας, $T_a = T_c = 40\text{ }^\circ\text{C}$

Αυτό είναι πολύ σημαντικό αφού συνεπάγεται ότι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί αυτό το σύστημα για τον κλιματισμό χρησιμοποιώντας θερμότητα που είναι σε χαμηλές θερμοκρασίες, η οποία μπορεί να παραχθεί από χαμηλού κόστους ηλιακούς συλλέκτες ή να είναι οποιαδήποτε μορφή απορριπτόμενης θερμότητας.

Είναι επίσης φανερό ότι μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες ατμοποίησης τόσο χαμηλές ίσες με -48°C , για θερμοκρασίες αναγέννησης περίπου 100°C .

Στις Εικόνες 6.5 και 6.6 απεικονίζονται οι ίδιες τάσεις με εκείνες που παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.4 αλλά στα διαγράμματα αυτά οι θερμοκρασίες αναγέννησης έπρεπε να αυξηθούν ανάλογα με την αύξηση των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή και του απορροφητή.

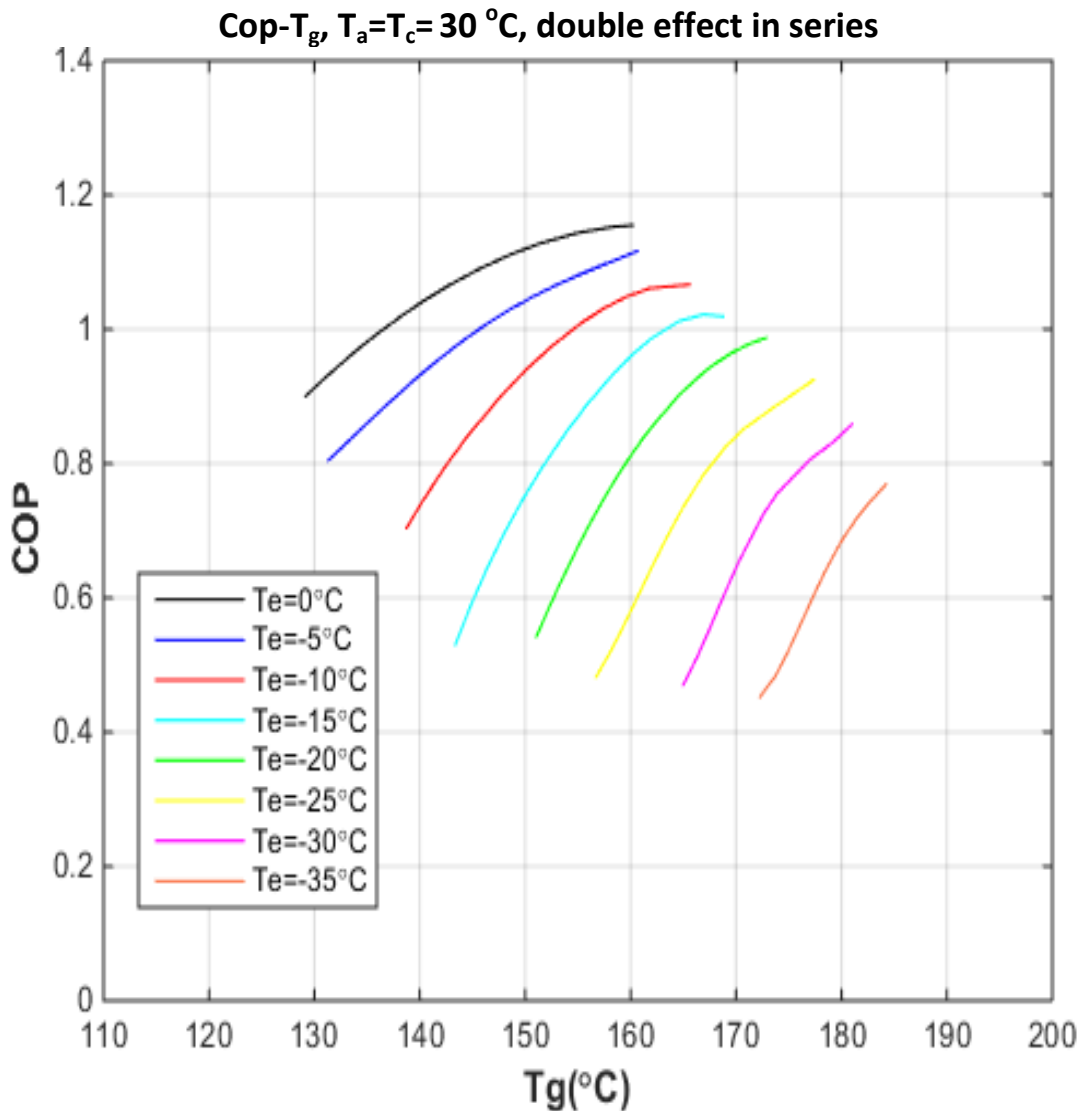


Εικόνα 6. 6: Διάγραμμα COP- T_e , μισής βαθμίδας, $T_a = T_c = 50^\circ\text{C}$

Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες ατμοποίησης που επετεύχθησαν αυξήθηκαν με την αύξηση των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή και του απορροφητή.

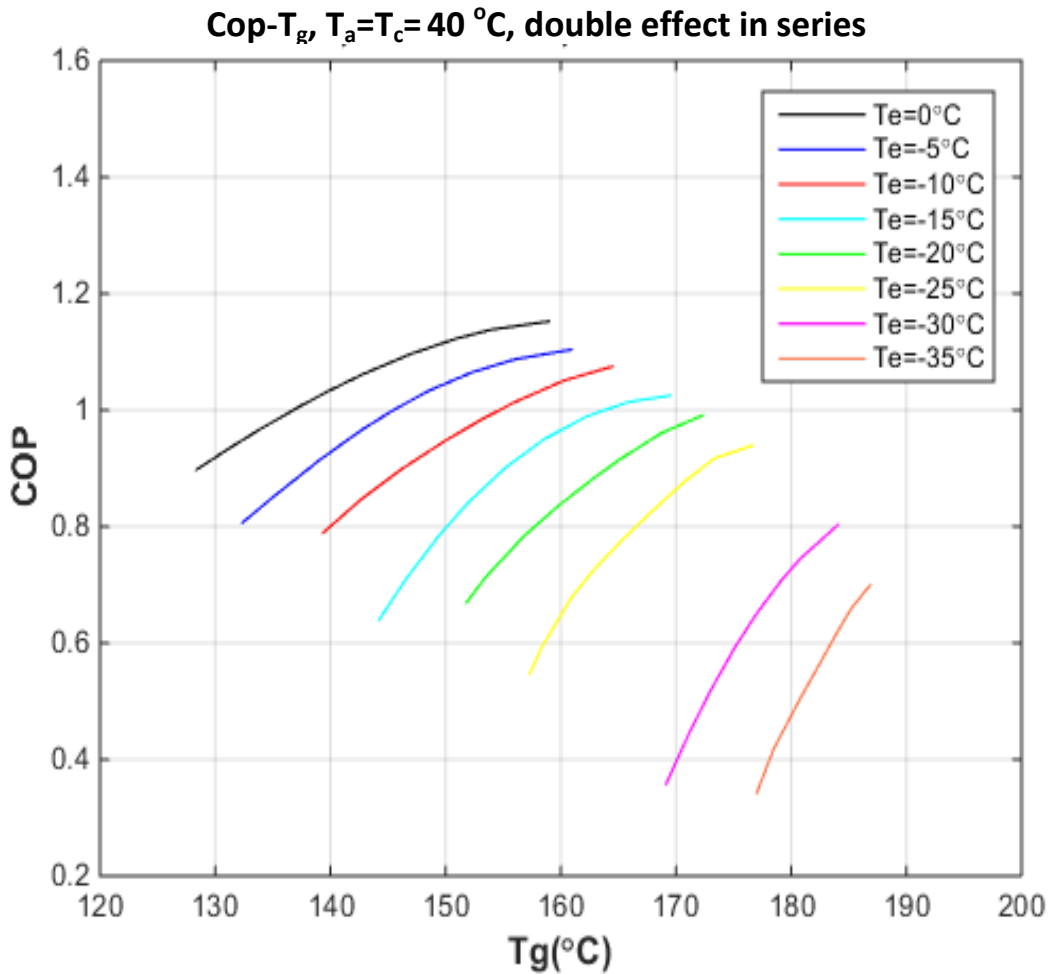
Όσον αφορά τις πιέσεις οι μέγιστες και οι ελάχιστες πιέσεις για μισής βαθμίδας συστήματα είναι 2026.5 kPa και 11,1 kPa και αντιστοιχούν σε θερμοκρασία συμπυκνωτή 50 °C και θερμοκρασίας ατμοποιητή -70 °C, αντίστοιχα.

6.1.3 Διπλής-Βαθμίδας σε Σειρά



Εικόνα 6.7: Διάγραμμα COP- T_g , διπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 30\text{ }^\circ\text{C}$

Οι Εικόνες 6.7-6.9 δείχνουν τον βαθμό απόδοσης για ένα σύστημα ψύξης με απορρόφηση διπλής βαθμίδας σε σειρά σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας του αναγεννητή σε διάφορες θερμοκρασίες ατμοποίησης και σε θερμοκρασίες συμπύκνωσης και απορρόφησης 30 °C, 40 °C, και 50 °C αντίστοιχα.

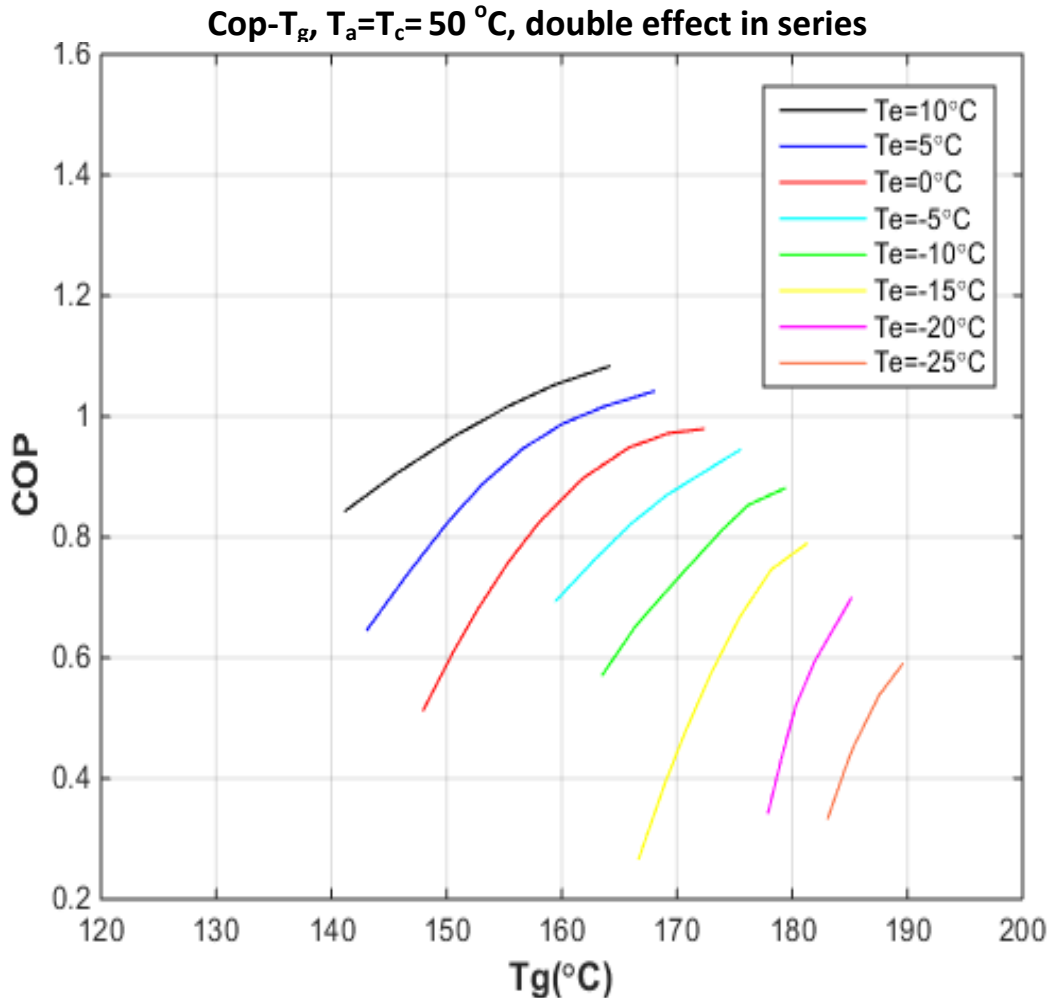


Εικόνα 6. 8: Διάγραμμα COP- T_g , διπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 40$ °C

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι με αυτή την διάταξη ο υψηλότερος COP που μπορεί να επιτευχθεί είναι ίσος με 1.12. Ωστόσο, για να λειτουργήσει το σύστημα η θερμοκρασία στον αναγεννητή θα πρέπει να είναι υψηλότερη από 130°C.

Στην πραγματικότητα, για να επιτευχθεί βαθμός απόδοσης πάνω από 1,0, οι θερμοκρασία στον αναγεννητή θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 150 °C, ανάλογα και με τις θερμοκρασίες του συμπυκνωτή, του απορροφητή και την επιθυμητή θερμοκρασία του ατμοποιητή.

Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί ότι ο βαθμός απόδοσης μειώνεται σημαντικά με την αύξηση των θερμοκρασιών του συμπυκνωτή και του απορροφητή και με την μείωση της θερμοκρασίας του ατμοποιητή

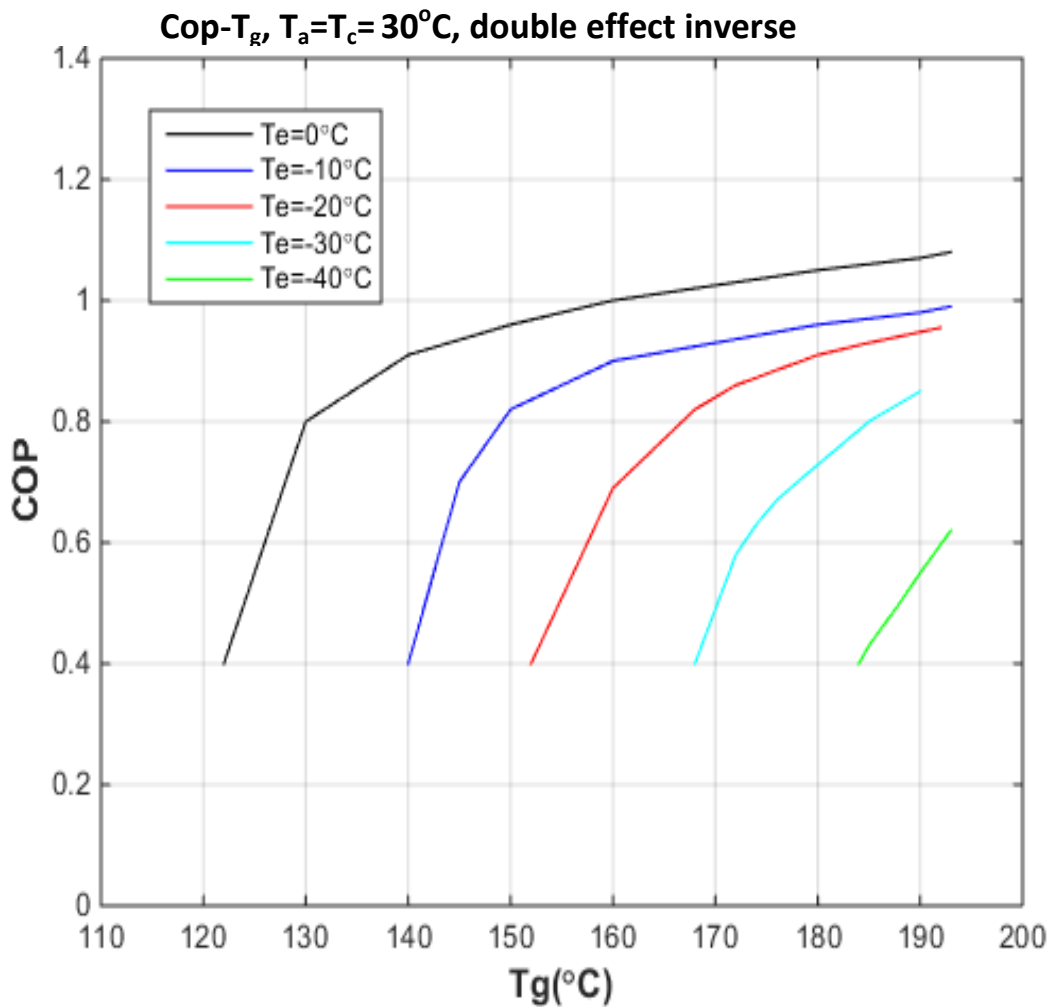


Εικόνα 6. 9: Διάγραμμα COP- T_g , διπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 50^\circ\text{C}$

6.1.4 Διπλής-Βαθμίδας Αντίστροφο Σύστημα

Οι Εικόνες 6.10-6.12 δείχνουν τον βαθμό απόδοσης για ένα αντίστροφο σύστημα διπλής βαθμίδας ψύξης με απορρόφηση, σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας του αναγεννητή σε διάφορες θερμοκρασίες ατμοποίησης και σε θερμοκρασίες συμπύκνωσης και απορρόφησης 30°C , 40°C , και 50°C αντίστοιχα.

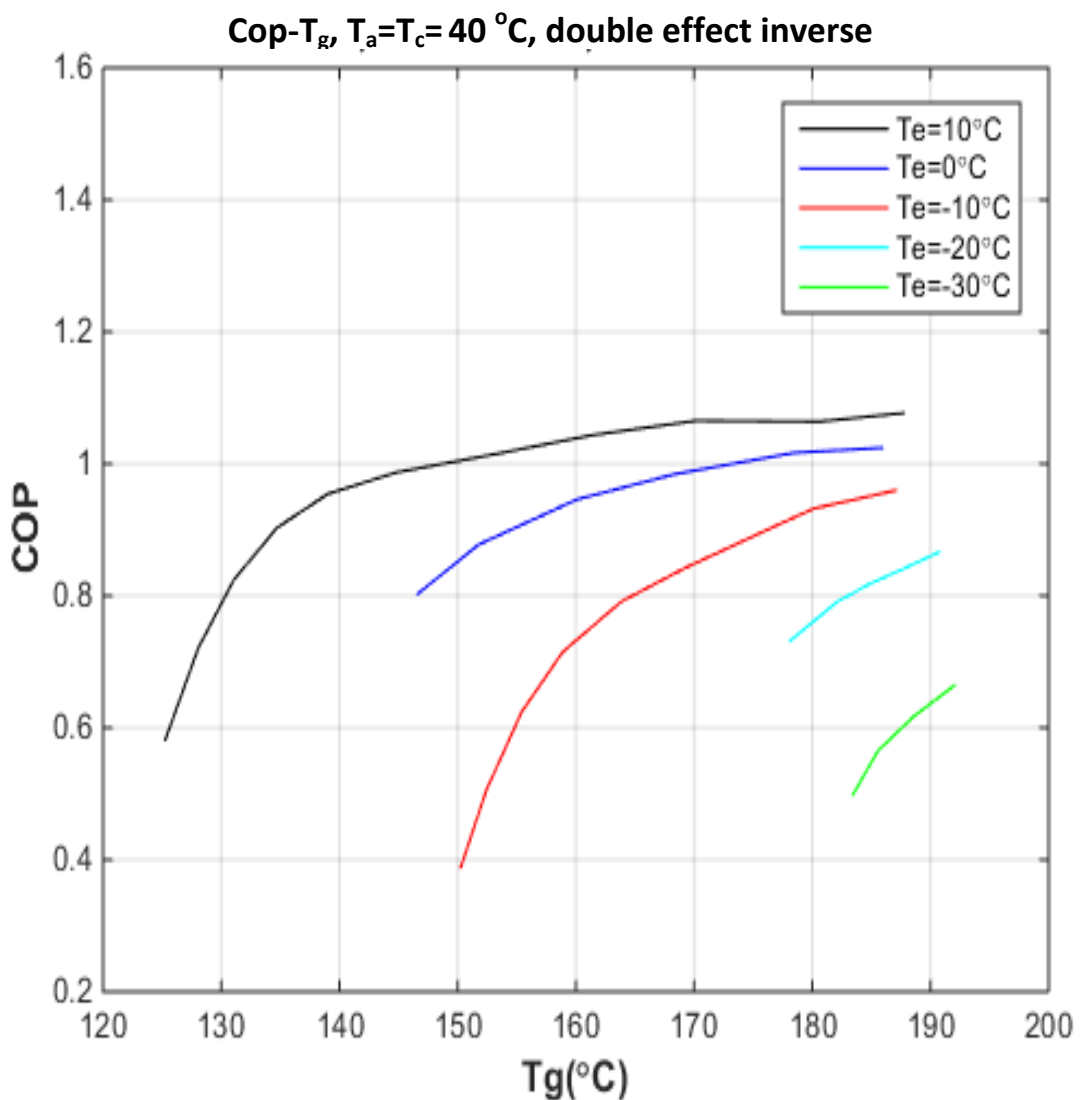
Για αυτή την διάταξη ο μέγιστος βαθμός απόδοσης είναι 1,06 για θερμοκρασία συμπυκνωτή $30^{\circ}C$, και 1.0 για θερμοκρασία συμπυκνωτή $50^{\circ}C$, οι οποίοι είναι ελαφρώς χαμηλότεροι από εκείνους που λαμβάνονται με το διπλής βαθμίδας σε σειρά σύστημα. Ομοίως με το σύστημα διπλής βαθμίδας σε σειρά, ο βαθμός απόδοσης του αντίστροφου συστήματος διπλής βαθμίδας, μειώνεται σημαντικά σε χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποιητή και σε υψηλές θερμοκρασίες συμπυκνωτή και απορροφητή.



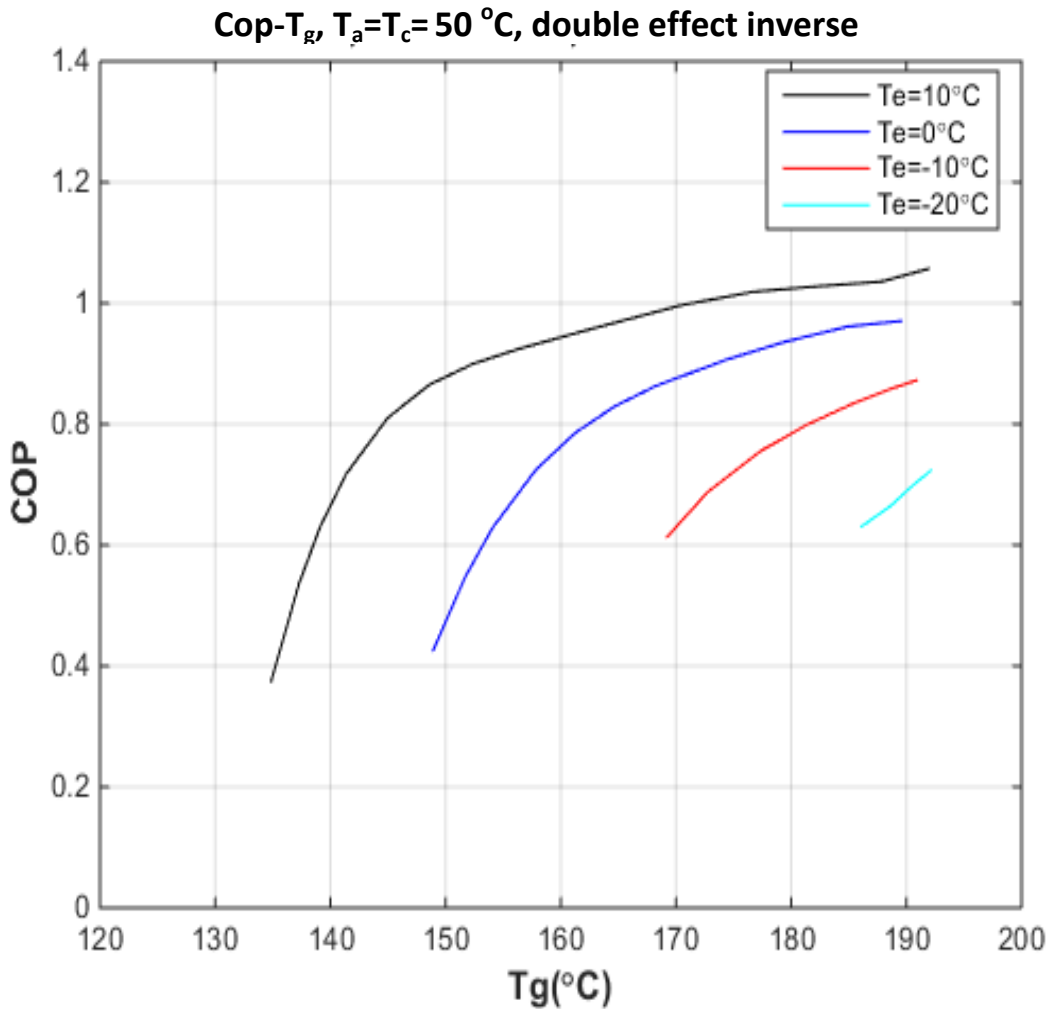
Εικόνα 6. 10: Διάγραμμα COP- T_g , διπλής βαθμίδας αντίστροφο, $T_a = T_c = 30^{\circ}C$

Οι μέγιστες και οι ελάχιστες πιέσεις για τα διπλής βαθμίδας συστήματα είναι 5055.7kPa και 92,7kPa που αντιστοιχούν σε θερμοκρασία συμπυκνωτή - αναγεννητή ίσης με 90°C και σε θερμοκρασία ατμοποιητή -35°C αντίστοιχα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μέγιστη πίεση είναι σημαντική υψηλότερη από εκείνη που επιτυγχάνεται επιτευχθεί με τα συστήματα μισής και μονής βαθμίδας.



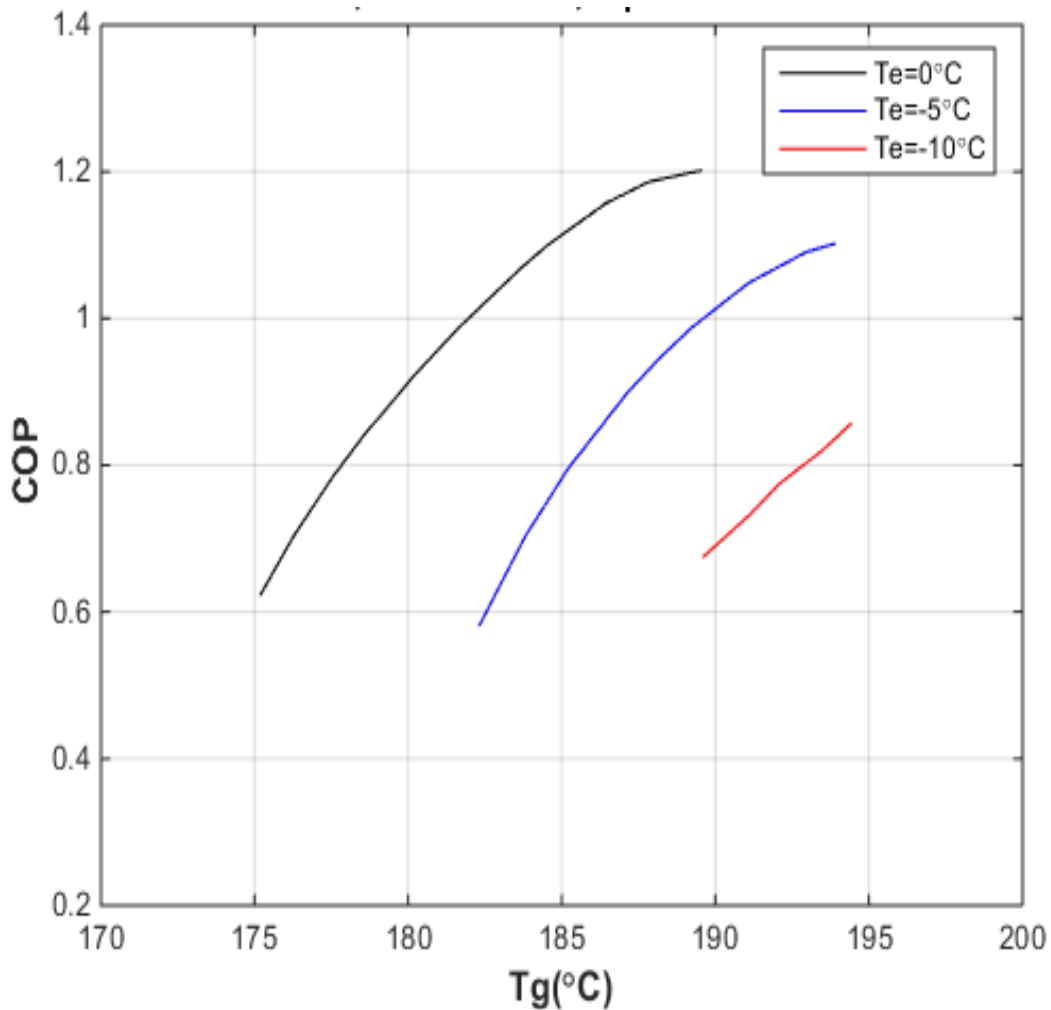
Εικόνα 6. 11: Διάγραμμα COP- T_g , διπλής βαθμίδας αντίστροφο, $T_a = T_c = 40^\circ\text{C}$



Εικόνα 6. 12: Διάγραμμα COP- T_g , διπλής βαθμίδας αντίστροφο, $T_a = T_c = 50^\circ\text{C}$

6.1.5 Τριπλής-Βαθμίδας σε Σειρά

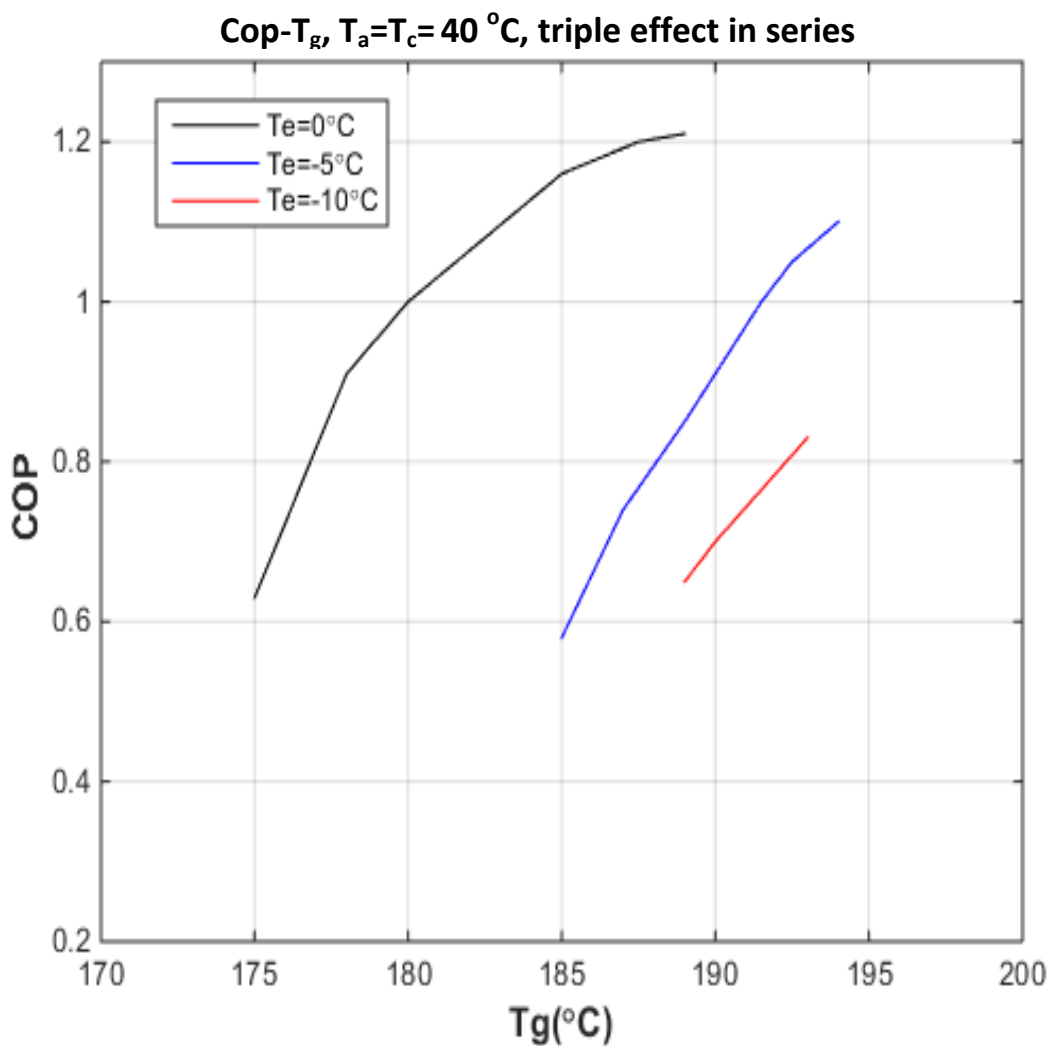
Οι Εικόνες 6.13-6.14 δείχνουν τον βαθμό απόδοσης για ένα τριπλής βαθμίδας σε σειρά σύστημα ψύξης με απορρόφηση, σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας του αναγεννητή σε διάφορες θερμοκρασίες ατμοποίησης και σε θερμοκρασίες συμπύκνωσης και απορρόφησης 30°C και 40°C , αντίστοιχα. Το γράφημα του βαθμού απόδοσης για θερμοκρασία συμπυκνωτή και απορροφητή 50°C , δεν απεικονίζεται γιατί σε αυτήν την συνθήκη δεν μπορεί να λειτουργήσει το τριπλής βαθμίδας σύστημα.

COP- T_g , $T_a=T_c=30^\circ\text{C}$, triple effect in seriesΕικόνα 6. 13: Διάγραμμα COP- T_g , τριπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 30^\circ\text{C}$

Η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης που θα μπορούσε να επιτευχθεί με αυτήν την διαμόρφωση είναι 1,22. Σε αυτά τα σχήματα μπορεί να φανεί ότι ο βαθμός απόδοσης μειώνεται με μείωση της θερμοκρασίας του ατμοποιητή ακόμα πιο δραστικά από ότι μειώνεται στα συστήματα διπλής βαθμίδας. Επίσης, μπορεί να παρατηρηθεί ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης που μπορεί να επιτευχθεί είναι -10°C για θερμοκρασία συμπυκνωτή και απορροφητή ίση με 30°C , ενώ για θερμοκρασία συμπυκνωτή και απορροφητή ίση με 40°C η χαμηλότερη θερμοκρασία του ατμοποιητή είναι 0°C .

Οι μέγιστες και οι ελάχιστες πιέσεις για τα τριπλής βαθμίδας συστήματα είναι 13097.3 kPa και 288.6 kPa που αντιστοιχούν σε θερμοκρασία συμπυκνωτή-αναγεννητή ίσης με 145 °C και σε θερμοκρασία ατμοποιητή -10 °C αντίστοιχα.

Στο σύστημα αυτό η μέγιστη πίεση αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού τα εξαρτήματα όπως ο αναγεννητής, και ο συμπυκνωτής - αναγεννητής πρέπει να είναι κατάλληλα για αντοχή σε υψηλή πίεση.



Εικόνα 6. 14: Διάγραμμα COP- T_g , τριπλής βαθμίδας σε σειρά, $T_a = T_c = 40$ °C

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Σύγκριση ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης με χρήση $\text{NH}_3 - \text{LiNO}_3$

Όπως φαίνεται από την ανάλυση κάθε ψυκτικού συστήματος, το σύστημα μονής βαθμίδας αποτελεί την απλούστερη διάταξη αφού απαιτεί τα λιγότερα εξαρτήματα συγκριτικά με τα άλλα συστήματα. Το ψυκτικό σύστημα αυτής της διάταξης είναι δυνατό να λειτουργήσει για ψύξη και κλιματισμό σε μέτριες θερμοκρασίες αναγέννησης και να επιτευχθούν θερμοκρασίες ατμοποίησης μεταξύ $-30\text{ }^\circ\text{C}$ και $-20\text{ }^\circ\text{C}$ με COP περίπου 0.60 σε μέτριες θερμοκρασίες αναγέννησης μεταξύ $80\text{ }^\circ\text{C}$ και $110\text{ }^\circ\text{C}$.

Από την άλλη, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί με τα μισής βαθμίδας ψυκτικά συστήματα είναι γύρω στο 0.30, που δεν είναι πολύ υψηλός, αλλά αυτή η διάταξης επιτρέπει να επιτευχθούν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες ατμοποίησης σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες αναγέννησης συγκριτικά με τα άλλα συστήματα. Με τα μισής βαθμίδας συστήματα είναι δυνατόν να επιτευχθούν θερμοκρασίες ατμοποίησης χαμηλές ίσες με $-60\text{ }^\circ\text{C}$ με βαθμό απόδοσης περίπου 0.25 σε θερμοκρασία αναγέννησης πάνω από $110\text{ }^\circ\text{C}$, ή θερμοκρασία ατμοποίησης $-30\text{ }^\circ\text{C}$ και βαθμό απόδοσης περίπου 0.30 σε θερμοκρασίας αναγέννησης μεταξύ $70\text{ }^\circ\text{C}$ και $90\text{ }^\circ\text{C}$, ανάλογα με την θερμοκρασία του συμπυκνωτή και του απορροφητή.

Με τα διπλής βαθμίδας συστήματα σε σειρά μπορεί να επιτευχθεί βαθμός απόδοσης υψηλός ίσος με 1.12, ωστόσο απαιτούνται θερμοκρασίες αναγέννησης υψηλότερες από $150\text{ }^\circ\text{C}$ για να λειτουργήσει το σύστημα.

Ένα μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι ο βαθμός απόδοσης μειώνεται δραστικά με αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή και του απορροφητή και με μείωση της θερμοκρασίας ατμοποίησης.

Χαμηλός COP ίσος με 0.25 μπορεί να επιτευχθεί σε θερμοκρασίες ατμοποίησης χαμηλότερες από -15 °C και σε θερμοκρασίες αναγέννησης υψηλότερες από 160 °C, κάνοντας φανερό ότι τα διπλής βαθμίδας συστήματα δεν είναι η καλύτερη επιλογή για αυτές τις συνθήκες, αφού υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης μπορούν να επιτευχθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες αναγέννησης με τα μονής ή με τα μισή βαθμίδας ψυκτικά συστήματα. Εάν συγκρίνουμε τα διπλής βαθμίδας συστήματα, παρατηρείται ότι έχουν την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τις κύριες θερμοκρασίες λειτουργίας, αλλά ο βαθμός απόδοσης που επιτυγχάνεται με το αντίστροφο σύστημα είναι λίγο χαμηλότερος από αυτόν του συστήματος σε σειρά.

Τα τριπλής βαθμίδας συστήματα έχουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης, περίπου ίσο με 1.20, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 185 °C, ωστόσο έχουν τέσσερα βασικά μειονεκτήματα:

- i. Απαιτούν περισσότερα εξαρτήματα από κάθε άλλη διάταξη, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το κόστος και την δυσκολία λειτουργίας
- ii. Ο βαθμός απόδοσης μειώνεται δραστικά με την αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή και του απορροφητή (ακόμη πιο δραστικά από τα συστήματα διπλής βαθμίδας)
- iii. Δεν μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες ατμοποίησης χαμηλότερες από -10 °C
- iv. Λειτουργούν σε πολύ υψηλές πιέσεις

Επιπλέον, αν και με τα τριπλής βαθμίδας συστήματα μπορεί να επιτευχθεί θερμοκρασία ατμοποίησης ίση με -10 °C σε θερμοκρασία συμπυκνωτή 30 °C, σε αυτές τις συνθήκες ο βαθμός απόδοσης είναι παρόμοιος με αυτόν που επιτυγχάνεται με τα διπλής βαθμίδας συστήματα, συνεπώς δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιηθούν τριπλής βαθμίδας συστήματα για ψύξη, αφού αυτά απαιτούν περισσότερα εξαρτήματα, λειτουργούν σε υψηλότερες πιέσεις και απαιτούνται υψηλότερη θερμοκρασία αναγέννησης από τα διπλής βαθμίδας. Γίνεται φανερό ότι τα τριπλής βαθμίδας συστήματα θα πρέπει κυρίως να χρησιμοποιούνται για κλιματισμό.

7.2 Σύγκριση των Ψυκτικών Συστημάτων Απορρόφησης με χρήση Μίγματος NH₃ – LiNO₃ έναντι H₂O-LiBr

Σε αυτήν την παράγραφο γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων από τη μοντελοποίηση διαφόρων ψυκτικών συστημάτων που λειτουργούν με μίγμα NH₃-LiNO₃ έναντι ψυκτικών συστημάτων που λειτουργούν με μίγμα H₂O-LiBr.

Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων μισή βαθμίδας που λειτουργούν με H₂O-LiBr κυμαίνεται μεταξύ 0.42 και 0.46 για θερμοκρασία αναγέννησης μεταξύ 50°C και 70 °C ενώ για συστήματα με NH₃-LiNO₃ οι τιμές του βαθμού απόδοσης ήταν πιο κοντά στο 0,30. Παρόλα αυτά, με το μίγμα H₂O-LiBr, οι χαμηλότερες τιμές της θερμοκρασίας ατμοποίησης ήταν περίπου 5 °C περιορίζοντας τη χρήση τους μόνο για κλιματισμό, ενώ με μίγμα NH₃-LiNO₃, η χαμηλότερες τιμές της θερμοκρασίας ατμοποίησης που μπορούν να επιτευχθούν είναι περίπου ίσες με -50 °C, καθιστώντας αυτά τα συστήματα κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για κλιματισμό, αλλά και για ψύξη. Όσον αφορά τα συστήματα μονής βαθμίδας που λειτουργούν με H₂O-LiBr, βαθμοί απόδοσης COP έως 0.88 μπορούν να επιτευχθούν υπό ορισμένες συνθήκες λειτουργίας, ενώ με τα συστήματα με NH₃-LiNO₃ βαθμοί απόδοσης έως 0,66 επιτυγχάνονται.

Ωστόσο, μικρότερες θερμοκρασίες ατμοποίησης μπορούν να επιτευχθούν με μίγμα NH₃-LiNO₃ από ότι με μίγμα H₂O -LiBr. Από την άλλη πλευρά, τα διπλής βαθμίδας συστήματα που λειτουργούν με H₂O-LiBr μπορεί να έχουν COP έως 1.65 ενώ στην περίπτωσή μας, η μέγιστη τιμή ήταν περίπου 1,10, αλλά με χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης. Τέλος, οι τιμές COP για τα συστήματα τριπλής βαθμίδας που λειτουργούν με H₂O-LiBr κυμαίνονται μεταξύ 1,80 και 2,30 ενώ οι μέγιστες τιμές COP της τάξης του 1,20 που επιτυγχάνονται με το μίγμα NH₃-LiNO₃, δείχνουν μια ακόμα μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των δύο μιγμάτων.

Γίνεται σαφές ότι τα συστήματα που λειτουργούν με ένα μίγμα H₂O-LiBr είναι πολύ πιο αποδοτικά, ωστόσο όπως αναφέρθηκε πριν, η χρήση τους περιορίζεται στον κλιματισμό, ενώ αυτά που λειτουργούν με NH₃-LiNO₃ μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για κλιματισμό αλλά και για ψύξη και σε ορισμένες περιπτώσεις για εφαρμογές κατάψυξης.

7.3 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του ατμοποιητή μπορούν να επιτευχθούν με συστήματα μισής βαθμίδας σε χαμηλές θερμοκρασίες αναγεννητή (ξεκινώντας από 50 °C), αλλά με βαθμούς απόδοσης περίπου 0,30.

Το μονής βαθμίδας σύστημα είναι η απλούστερη διάταξη, δεδομένου ότι απαιτεί λιγότερα εξαρτήματα σε σύγκριση με τα άλλα συστήματα. Οι βαθμοί απόδοσης είναι σχεδόν δύο φορές υψηλότεροι από εκείνους των συστημάτων μισής βαθμίδας, αλλά απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες αναγεννητή.

Με τα συστήματα διπλής βαθμίδας είναι δυνατόν να ληφθούν βαθμοί απόδοσης ίσοι με 1,12 αλλά απαιτούνται θερμοκρασίες αναγεννητή υψηλότερες από 140 °C, για να ληφθούν ικανοποιητικές τιμές βαθμού απόδοσης. Επίσης, απαιτούν περισσότερα εξαρτήματα από τα μονής βαθμίδας συστήματα

Τέλος, οι υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης μπορούν να επιτευχθούν με τα συστήματα τριπλής βαθμίδας, αλλά απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες αναγεννητή (ξεκινώντας από 150 °C), είναι τα πιο πολύπλοκα και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κυρίως για τον κλιματισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. M. Santamouris, A. Argiriou, Renewable energies and energy conservation technologies for buildings in southern Europe, *Int. J. Sol. Energy* 15 (1994)
2. K.A. Antonopoulos, E.D. Rogdakis, Performance of solar-driven ammonia-lithium nitrate and ammonia-sodium thiocyanate absorption systems operating as coolers or heat pumps in Athens, *Appl. Therm. Eng.* 16 (1996)
3. C.A. Infante Ferreira, Thermodynamic and physical property data equations for ammonia-lithium nitrate and ammonia-sodium thiocyanate solutions, *Sol. Energy* (1984)
4. ΕΠΑ.Σ Αμαρουσίου: <http://epas-amarous.att.sch.gr/>
5. Εταιρεία Heliosystems: <http://www.selasenergy.gr/index.php>
6. <http://www.solarcentral.org/drupal/files/images/worldenergyconsumption.jpg>
7. <http://www.treehugger.com/World-Population-Growth-2050.JPG>
8. <http://telstar.ote.cmu.edu/environ/m3/s3/10use.shtml>
9. <http://www.climate.wwf.gr>
10. <http://www.certh.gr/>
11. http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/%CE%A0%CE%95%CE%A0_1_slides.pdf
12. E. Claussen, V. A. Cochran, and D. P. Davis, *Climate Change: Science, Strategies, & Solutions*, University of Michigan, 2001
13. United Nations Framework Convention on Climate Change (1992), United Nations.
14. "The greenhouse effect and climate change" Mitchell, John F. B. (1989).
15. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Chapter 1: Historical overview of climate change science

16. "Introduction to Atmospheric Chemistry, by Daniel J. Jacob, Princeton University Press, 1999. Chapter 7, "The Greenhouse Effect
17. The Earth's Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change Vaclav Smil (2003).
18. <http://www.ecofinder.gr/αρχική>
19. <http://homeenergyefficiency.top>
20. <http://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>
21. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2011)
22. <http://www.sema.go.th/files/Content/science/k4/0029/Global%20warming/p3.html>
23. <http://www.skepticalscience.com>
24. <http://bioage.typepad.com/photos/uncategorized/noaaaigg.png>
25. <http://www.ipcc.ch>
26. Σαμιώτης Γ. και Τσάλτας Γρ. (1990), Διεθνής Προστασία του Περιβάλλοντος (Τόμος 1ος), Διεθνείς πολιτικές και το Δίκαιο του Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Παπαζήση
27. Γρηγορίου Π.Η., Σαμιώτης Γ.Δ. και Τσάλτας Γ. Ι. (1993), Η συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών (Rio de Janeiro) για το περιβάλλον, Εκδόσεις Παπαζήση
28. http://vivliothmyy.ee.auth.gr/1373/1/version_final.pdf
29. Τεχνολογίες παράγωγης ψύξης και κλιματισμού – Καταγιωργας Δ. και Συν/τες
30. Καμπύλης Νικόλαος (2009), Ηλιακός κλιματισμός με την χρήση Desiccant υλικών, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π, Αθήνα
31. An Absorption Chiller in a Micro BCHP Application
32. <http://users.ntua.gr/rogdemma/Absorption%20Units.pdf>
33. Διάγραμμα ψυκτικής εγκατάστασης απορρόφησης H₂O-LiBr (Keizer, C. 1982)
34. Recent Patents in Absorption Cooling Systems Sotiris Kalogirou

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Συγκεντρωτική επεξήγηση συμβόλων

- T_g : Θερμοκρασία αναγεννητή (generator)
- T_e : Θερμοκρασία ατμοποιητή (evaporator)
- T_a : Θερμοκρασία απορροφητή (absorber)
- T_c : Θερμοκρασία συμπυκνωτή (condenser)
- COP: Συντελεστής συμπεριφοράς (coefficient of performance)
- A: Απορροφητής (absorber)
- C: Συμπυκνωτής (condenser)
- CG: Συμπυκνωτής-Αναγεννητής (condenser-generator)
- E: Ατμοποιητής (evaporator)
- G: Αναγεννητής (generator)
- h: Ενθαλπία (enthalpy (kJ/kg))
- HE: Εναλλάκτης θερμότητας (solution heat exchanger)
- m: Ρυθμός ροής μάζας (mass flow rate) (kg/s)
- P: Πίεση (pressure) (kPa)
- Q: Θερμικό φορτίο (heat load) (kW)
- RF: Αναλογία ροής (flow ratio)
- T: Θερμοκρασία (temperature) ($^{\circ}\text{C}$)
- W_p : Έργο αντλίας (pump work) (kW)
- X: Συγκέντρωση διαλύματος (solution concentration) (%)

h: Αποδοτικότητα (efficiency)

n: Ειδικός όγκος διαλύματος (specific volume of solution) (m^3/kg)

$\text{NH}_3 - \text{LiNO}_3$: Αμμωνία-νιτρικό λίθιο (ammonia-lithium nitrate)

$\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$: Νερό-λιθικό βρώμιο (water-lithium bromide)

$\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$: Αμμωνία-νερό (ammonia-water)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Αλγόριθμος υπολογισμού των ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης αμμωνίας-νιτρικού λιθίου με χρήση της προγραμματιστικής γλώσσας matlab.

Α)Βοηθητικές συναρτήσεις

```
function [h] = fun_h(x,T)
%
% NH3-LiNO3 me x, T
% x NH3%
% T se bathmous Celsius
% h se kj/kg
%
if x <= 0.54
h1=1570*(0.54-x)^2-215;
else
h1=689*(x-0.54)^(3/2)-215;
end
%
h2= 3.382678*x+1.15125;
h3=0.002198+0.004793*x;
h4=0.000118*x;
h=h1+h2*T+h3*T^2/2+h4*T^3/3;
end
```

```

function [ p ] = fun_pNH3(T)
%
% p (bar)
% T (C)
%
T=T-273.15;
a= [ 4.2871*10^(-1) ;
1.6001*10^(-2) ;
2.3652*10^(-4);
1.6132*10^(-6);
2.4303*10^(-9);
-1.2494*10^(-11);
1.2741*10^(-13) ] ;
%
p=0 ;
for i=1:7
p=p+a(i)*T^(i-1) ;
end

%
p=p*10;
End

function [x] = fun_x(p,T)
%
% p se Pa
% T se K
%
a1=16.29;
a2=0;
a3=3.859;
a4=2802;
a5=4192;
%
pcor=p/10^5;
dp=10;
x=0;
%
while dp > 0.01 & x<1
x=x+0.001;
p = 0.01*exp((a1+a3*(1-x)^3) - (a4+a5*(1-x)^3)/T);
dp=abs(p-pcor)/pcor;

```

```
end  
%  
x=x;  
end
```

Β)Κώδικες

```
%-----  
% single.m ---> single effect  
%-----  
%  
clear all  
Fluid='ammonia';  
dTg=10;  
dTe=1;  
%-----  
Ta0=40;  
Tmaxe=15;  
Tming=80;  
hex=0.8;  
N=7;  
%-----  
for j= 1:N;  
Ta=Ta0;  
Tc=Ta;  
%  
Tgg(j)=Tming+(j-1)*dTg;  
Tg=Tgg(j);  
Tg=Tg+273.15;  
Tc=Tc+273.15;  
Ta=Ta+273.15;  
%  
i=0;  
copp=1;  
%  
while copp > 0.2  
i=i+1;  
Tee(i)=Tmaxe-(i-1)*dTe;  
Te=Tee(i);  
Te=Te+273.15;  
%
```

```
pc=CoolProp.PropsSI('P','T',Tc,'Q',0,Fluid);
pe=CoolProp.PropsSI('P','T',Te,'Q',0,Fluid);
h(1)=CoolProp.PropsSI('H','T',Tg,'P',pc,Fluid)/1000;
p(1)=pc;
h(2)=CoolProp.PropsSI('H','T',Tc,'Q',0,Fluid)/1000;
p(2)=pc;
T(1)=Tg;
T(2)=Tc;
T(3)=T(2);
T(4)=Te;
p(3)=pe;
p(4)=pe;
p(5)=p(4);
p(10)=p(4);
p(6)=p(1);
p(7)=p(1);
p(8)=p(1);
p(9)=p(1);
h(3)=h(2);
h(4)=CoolProp.PropsSI('H','T',Te,'Q',1,Fluid)/1000;
%
xNH3w=fun_x(pe,Ta);
xNH3r=fun_x(pc,Tg);
xr=1-xNH3r;
xw=1-xNH3w;
%
ratio=xr/xw;
%
x(1)=1;
x(2)=1;
x(3)=1;
x(4)=1;
x(8)=xNH3r;
x(9)=xNH3r;
x(10)=xNH3r;
x(5)=xNH3w;
x(6)=x(5);
x(7)=x(5);
%
T(8)=Tg;
T(5)=Ta;
T(6)=T(5);
%
```

```

h(8)=fun_h((1-xr),(Tg-273));
h(5)=fun_h((1-xw),(Ta-273));
h(6)=h(5);
h(9)=h(8)-hex*(h(8)-h(6));
T(9)=273.15+h(9)*(T(8)-273.15)/h(8);
T(10)=T(9);
h(10)=h(9);
h(7)=h(6)+ratio*(h(8)-h(9));
T(7)=273.15+h(6)*(T(6)-273.15)/h(6);
%
Qe=10;
m=Qe/(h(4)-h(3));
mr=m/(ratio-1);
mw=ratio*mr;
%
Qg=m*h(1)+mr*h(8)-mw*h(7);
%
COP(i)=Qe/Qg;
copp=COP(i);
end

%
if j==1
col='-y';
%num2str(x)
ll(j,:)= 'Tg=80 \ circC ';
end
if j==2
col='-c';
ll(j,:)= 'Tg=90 \ circC ';
end
if j==3
col='-m';
ll(j,:)= 'Tg=100 \ circC';
end
if j==4
col='-r';
ll(j,:)= 'Tg=110 \ circC';
end
if j==5
ll(j,:)= 'Tg=120 \ circC';
col='-g';
end
end

```

```

if j==6
ll(j,:)= 'Tg=130\ circC';
col='-b';
end
if j==7
col='-k';
ll(j,:)= 'Tg=140\ circC';
end
%
file=1;
figure(file)
hold on
box on
ylim([0 0.8])
xlabel('Te(\ circC)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 12)
ylabel('COP', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 12)
grid on
plot(Tee(:), COP(:), col)
legend(ll)
end
%
title({'COP - Te, Ta= Tc= 40\ circC'} )

%-----
% half.m ---> half effect
%-----
%
clear all
Fluid='ammonia';
dTg=10;
dTe=1;
hex=0.8;
%
%-----
Ta0=50;
Tmaxe=10;
Tming=80;
N=8;
%-----
%
for j= 1:N;
Ta=Ta0;

```

```

Tc=Ta;
%
Tgg(j)=Tming+(j-1)*dTg;
%
Tg=Tgg(j);
Tg=Tg+273.15;
Tc=Tc+273.15;
Ta=Ta+273.15;
%
i=0;
copp=1;
%
while copp > 0.1
i=i+1;
Tee(i)=Tmaxe-(i-1)*dTe;
Te=Tee(i);
Te=Te+273.15;
%
pc=CoolProp.PropsSI('P','T',Tc,'Q',0,Fluid);
pe=CoolProp.PropsSI('P','T',Te,'Q',0,Fluid);
pm=0.5*(pc+pe);
h(13)=CoolProp.PropsSI('H','T',Tg,'P',pc,Fluid)/1000;
h(14)=CoolProp.PropsSI('H','T',Tc,'Q',0,Fluid)/1000;
h(15)=h(14);
h(16)=CoolProp.PropsSI('H','T',Te,'Q',1,Fluid)/1000;
%
xNH3w=fun_x(pe,Ta);
xNH3r=fun_x(pc,Tg);
%
xr=1-xNH3r;
xw=1-xNH3w;
%
h(10)=fun_h((1-xr),(Tg-273));
h(1)=fun_h((1-xw),(Ta-273));
h(2)=h(1);
%-----
%
xNH3r2=fun_x(pm,Tg);
xNH3w2=fun_x(pm,Ta);
xw2=1-xNH3w2;
xr2=1-xNH3r2;
h(17)=CoolProp.PropsSI('H','P',pm,'T',Tg,Fluid)/1000;
h(4)=fun_h((1-xr2),(Tg-273));

```



```

h(7)=fun_h((1-xw2),(Ta-273));
h(8)=h(7);
h(11)=h(10)-hex*(h(10)-h(8));
h(12)=h(11);
ratio=xr/xw2;
ratio2=xr2/xw;
h(9)=h(8)+ratio*(h(10)-h(11));
%
h(5)=h(4)-hex*(h(4)-h(2));
h(6)=h(5);
h(3)=h(2)+ratio2*(h(4)-h(5));
%
Qe=10;
m=Qe/(h(16)-h(15));
mr=m/(ratio-1);
mr2=m/(ratio2-1);
mw2=ratio*mr;
mw=ratio2*mr2;
%
Qg1=m*h(13)+mr*h(10)-mw2*h(9);
m2=mw-mr2;
Qg2=m2*h(17)+mr2*h(4)-mw*h(3);
Qg=Qg1+Qg2;
%
COP(i)=Qe/Qg;
copp=COP(i);
end
%
if j==1
col='-y';
ll(j,:)= 'Tg=80 \ circC ';
end
if j==2
col='-c';
ll(j,:)= 'Tg=90 \ circC ';
end
if j==3
col='-m';
ll(j,:)= 'Tg=100 \ circC';
end
if j==4
col='-r';
ll(j,:)= 'Tg=110 \ circC';

```

```
end
if j==5
ll(j,:)= 'Tg=120\ circC';
col='-g';
end
if j==6
ll(j,:)= 'Tg=130\ circC';
col='-b';
end
if j==7
col='-k';
ll(j,:)= 'Tg=140\ circC';
end
if j==8
col='-c';
ll(j,:)= 'Tg=150\ circC';
end
%
file=1;
figure(file)
hold on

box on
xlim([-70 20])
ylim([0 0.4])
xlabel('Te(\ circC)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 12)
ylabel('COP', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 12)
grid on
plot(Tee(:), COP(:), col)
legend(ll)
end
%
title({'COP - Te, Ta= Tc= 50\ circC, half effect' } )
```