

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΘΕΜΑ:**

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΑΓΟΥ ΜΕ ΑΝΤΛΙΕΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ:**

**ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΥ ΡΑΦΑΗΛ**

**ΕΠΒΛΕΨΗ:**

**ΝΙΚΟΣ ΣΑΚΚΑΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2018**

**TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE**

**ENGINEERING DEPARTMENT**

**ISSUE:**

**ICE STORAGE SYSTEMS WITH PUMPS**

**DISSERTATION OF:**

**THRASIVOULOU RAFAEL**

**SUPERVISOR:**

**NIKOS SAKKAS**

**HERAKLIO CRETE 2018**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος .....	4
Abstract .....	5
Εισαγωγή .....	6
1. Κεφάλαιο Πρώτο : Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες .....	7
Είδη Συστημάτων Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες.....	7
Βασικά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων Αποθήκευσης Ψυκτικής Ενέργειας ....	12
Παράγοντες που Επιδρούν στην Λειτουργία των Συστημάτων Αποθήκευσης Ψυκτικής Ενέργειας για Χρήση από Αντλίες .....	19
Εφαρμογές των Συστημάτων Αποθήκευσης Ψυκτικής Ενέργειας και Πάγου .....	27
Πλεονεκτήματα που Προσφέρονται στα Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες.....	31
2. Κεφάλαιο Δεύτερο : Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου σε Διαφορετικά Είδη Αντλιών.....	35
Διαφορετικοί Τύποι Αντλιών και Διαφορετικές Περιπτώσεις Συστημάτων Αποθήκευσης Πάγου .....	35
Συνδυασμός συστημάτων αποθήκευσης πάγου που υφίστανται συγχρόνως και σε συστήματα παροχής θερμότητας. ....	37
Χαρακτηριστικά των Εν Λόγω Συστημάτων και Απαιτήσεων .....	39
Αντλίας.....	39
3. Κεφάλαιο Τρίτο : Παράδειγμα Σχεδιασμού Συστήματος Αποθήκευσης Πάγου σε Αντλίες.....	40
Καταγραφή και Χαρακτηριστικά του Εν Λόγω Παραδείγματος.....	40
Τρόπος Λειτουργίας Αποθήκευσης Πάγου στο Συγκεκριμένο Σύστημα.....	45
Σχεδιασμός Συστήματος Αντλίας με Σύστημα Αποθήκευσης Πάγου.....	50
Παράγοντες που Επιδρούν στην Λειτουργία των Εν Λόγω Συστήματος Αποθήκευσης Πάγου και Απαιτήσεων της Αντλίας.....	51
Στοιχεία που Απαιτούνται για την Λειτουργία του Συστήματος Αποθήκευσης Πάγου σε Αντλίες .....	53
Επίλογος – Συμπεράσματα .....	56
Βιβλιογραφία .....	58

## **Πρόλογος**

Σύμφωνα με όσα θα αναφερθούν και θα σχολιαστούν στις ακόλουθες σελίδες της εργασίας, θα λέγαμε πως βασικός σκοπός της εν λόγω πτυχιακής εργασίας, αναφέρεται σχετικά η συλλογή, αξιολόγηση και συζήτηση στοιχείων που τοποθετούνται στο πλαίσιο της ανάλυσης των στοιχείων για τα Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες.

Ως εκ τούτου, και προκειμένου η εν λόγω εργασία να θεωρείται ορθή και αποτελεσματική ως προς τα στοιχεία που εξετάζει, διαχωρίζεται σχετικά σε τρία (3) κεφάλαια, με πρώτο εκείνο του ορισμού και χαρακτηριστικών για τα Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες, το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου σε Διαφορετικά Είδη Αντλιών και το τρίτο κεφάλαιο οριοθετείται στο Παράδειγμα Σχεδιασμού Συστήματος Αποθήκευσης Πάγου σε Αντλίες.

## **Abstract**

According to what will be mentioned and will be discussed in the following pages of the specific thesis, it would be said that the main purpose of this dissertation is being referred to the collection, evaluation and discussion of data that are placed in the context of analyzing the data on Ice Storage Systems for Pumps.

Therefore, and in order for this work to be considered correct and effective as regards the items it examines, it is divided into three (3) chapters, with the first definition and characteristics for the Ice Storage Systems for Pumps, the second chapter refers to in the Ice Storage Systems on Different Pumping Items and the third chapter is delineated in the Example of a Ice Storage System for Pumps.

## Εισαγωγή

Οι εφαρμογές ψύξης, κλιματισμού και αντλιών θερμότητας παρουσιάζουν μία των σημαντικότερων τομέων της χρήσης ενέργειας στην σημερινή κοινωνία. Η αποθήκευση πάγου είναι η διαδικασία χρήσης ενός ψύκτη ή μιας ψυκτικής εγκατάστασης για την κατασκευή πάγου για τη κάλυψη μέρους ή το σύνολο της απαιτούμενης ψύξης σε κάθε ώρα, κυρίως ώρα αιχμής.

Εκτιμάται ότι το μέσο μερίδιο χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στις ανεπτυγμένες χώρες είναι μεταξύ 10-20%. Για διάφορους λόγους, υπάρχει μια σταθερά αυξανόμενη ζήτηση για κλιματισμό ή ψύξη άνεσης, κυρίως σε εμπορικά και θεσμικά κτίρια.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία, πάνω από το 80% των κτιρίων σε αυτές τις κατηγορίες έχουν ψύξη άνεσης. Η Ευρώπη είναι υπεύθυνη για το 6% μόνο του εγκατεστημένου εξοπλισμού κλιματισμού παγκοσμίως.

Ωστόσο, η αγορά κλιματισμού στην Ευρώπη επεκτείνεται γρήγορα τα τελευταία χρόνια. Αν και η πρόθεση της ΕΕ είναι να μειώσει την ανάγκη για ψύξη στα κτίρια χρησιμοποιώντας παθητικές τεχνολογίες, βελτιωμένη μόνωση και ενέργεια.

Είναι προφανές ότι η αγορά της ΕΕ είναι μακράν κορεσμένη. Με ποσοστό κορεσμού 60% για τον τομέα των υπηρεσιών και το 40% για τον οικιακό τομέα - "ο Ευρωπαϊκός ρυθμός κορεσμού" θα επιτευχθεί μέχρι το 2018, δηλ. η αγορά ψύξης θα δείξει μια τετραπλάσια αύξηση μεταξύ του 2000 και του 2018, που αντιστοιχεί στην ψύξη ζήτηση 500 KWh με ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας 200 KWh για τις χώρες της ΕΕ.

Ψυκτικά συστήματα στη βιομηχανία και τον κλιματισμό σε εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις τα κτίρια κατοικιών είναι ο μεγαλύτερος μοναδικός συνεισφέρων στην ηλεκτρική κορυφή ζήτηση ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής ημέρας. Αυτό απαιτεί από τους ηλεκτρικούς προμηθευτές να φέρουν επιπρόσθετο, πιο δαπανηρό ηλεκτροπαραγωγικό εξοπλισμό στη γραμμή ή να εισάγουν την απαιτούμενη ενέργεια για να αντιμετωπίσουν αυτή την αυξημένη ζήτηση.

Αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας της ψυκτικής ενέργειας για χρήση από αντλίες σε μηχανικά συστήματα, θα λέγαμε σχετικά πως η αποθήκευση της ψυκτικής ενέργειας σε μορφή πάγου, κάνει χρήση της λανθάνουσας θερμότητας τήξης του νερού, 335 kJ/kg στους 0°C (Drees, Braun, 1996). Ο όγκος αποθήκευσης είναι γενικά στο εύρος από 2,4 έως 3,3 κυβικά πόδια ανά τόνο, ανάλογα με το συγκεκριμένο τύπο τεχνολογίας αποθήκευσης. Μπορεί να επιτευχθεί μείωση του όγκου αποθήκευσης μέχρι και 25% σε σύγκριση με εκείνου που απαιτείται αν χρησιμοποιηθεί αποθήκευση ψυχρού νερού για το ίδιο ποσό ενέργειας που αποθηκεύεται.

Ανάλογα με την τεχνολογία αποθήκευσης χρησιμοποιείται ειδικός εξοπλισμός ή ειδικός πάγος. Προκειμένου να αποθηκευθεί η ενέργεια, ο εξοπλισμός (η εγκατάσταση) ψύξης θα πρέπει να διαθέτει ψυκτικό υγρό σε θερμοκρασίες από -12 ως -5°C. Το ρευστό μετάδοσης της θερμότητας που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του πάγου, θα μπορούσε να είναι ένα ψυκτικό ή ένα δευτερευον ψυκτικό υγρό, όπως η γλυκόλη ή κάποιο άλλο αντι-ψυκτικό διάλυμα. Στις εφαρμογές αποθήκευσης πάγου συνήθως χρησιμοποιείται διάλυμα 25% αιθυλενο-γλυκόλης (ethylene glycol) σε νερό.

Το κύκλωμα της γλυκόλης, (glycol loop) μπορεί να σταματήσει με τη χρήση ενός εναλλάκτη, ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του συστήματος κλιματισμού, ο οποίος εμποδίζει την κυκλοφορία της γλυκόλης σε ολόκληρο το σύστημα διανομής.

# **1. Κεφάλαιο Πρώτο : Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες**

## **Είδη Συστημάτων Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες.**

Οι ψυκτικές αποθήκες θερμικής ενέργειας περιλαμβάνουν μια ποικιλία εφαρμογών και από αυτήν σχετικά επίπεδα θερμοκρασίας. Ουσιαστικά ομαδοποιούνται σε τρία βασικά πεδία εφαρμογής. Για σκοπούς κλιματισμού είναι επιθυμητή η αποθήκευση ενέργειας σε θερμοκρασίες άνω των 0 ° C. Η αποθήκευση ενέργειας για εφαρμογές ψύξης συσχετίζεται με επίπεδα θερμοκρασίας μεταξύ 0 ° C και -18 ° C και για εφαρμογές ψύξης μεταξύ -18 ° C και -35 ° C. Ορισμένα επίπεδα θερμοκρασίας εξαρτώνται από συγκεκριμένες απαιτήσεις επεξεργασίας.

Επιπλέον, οι ψυκτικές αποθήκες θερμικής ενέργειας μπορούν να χωριστούν ανάλογα με τον τύπο του μέσου αποθήκευσης και την τεχνολογία αποθήκευσης. Εάν ταξινομηθούν σύμφωνα με το μέσο αποθήκευσης, μπορούν να είναι λογικού ή λανθάνουσου τύπου.

Τα ψυκτικά μέσα ευαίσθητου τύπου περιλαμβάνουν υδατικά ή μη υδατικά υγρά, στις περισσότερες περιπτώσεις καθαρό νερό, ενώ τα μέσα αποθήκευσης λανθάνουσας μορφής περιλαμβάνουν υλικά αλλαγής φάσης, κυρίως νερό-πάγο. Σε σύγκριση με τον λογικό τύπο, η αποθήκευση σε λανθάνουσα μορφή προσφέρει υψηλότερη πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας και σταθερότητα θερμοκρασίας του υγρού που εκκενώνεται από την αποθήκευση

Οι τεχνικές παραγωγής πάγου χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, τα δυναμικά και στατικά συστήματα. Η παραγωγή πάγου μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα είτε έμμεσα για να ψύξει το προϊόν ή το σύστημα. Η άμεση χρήση παραμένει στον τομέα των τροφίμων για να ψύξει προϊόντα όπως ψάρια, κρέας, λαχανικά κ.α. Στην έμμεση χρήση, χρησιμοποιείται για την επίδραση λανθάνουσας ψύξης θερμότητας, ως σύστημα αποθήκευσης πάγου, για τον κλιματισμό χώρου αλλά και ως δευτερεύον μέσο ψύξης.

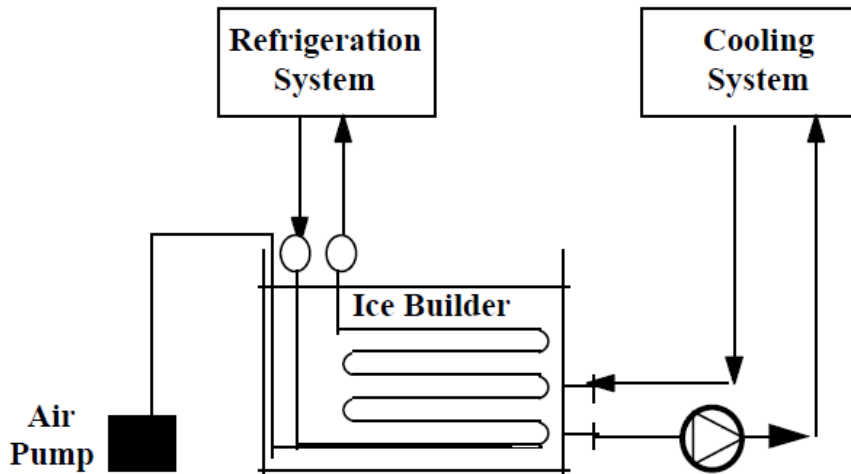
### Στατικά συστήματα παραγωγής πάγου

Η τεχνική είναι η πιο παλιά σε χρήση. Ο σχηματισμός και η τήξη του πάγου παίρνουν θέση χωρίς την φυσική απομάκρυνση του πάγου.

Οι πιο γνωστές τεχνικές και χρησιμοποιούνται είναι οι παρακάτω:

### Σχηματισμός πάγου σε σερπαντίνα .

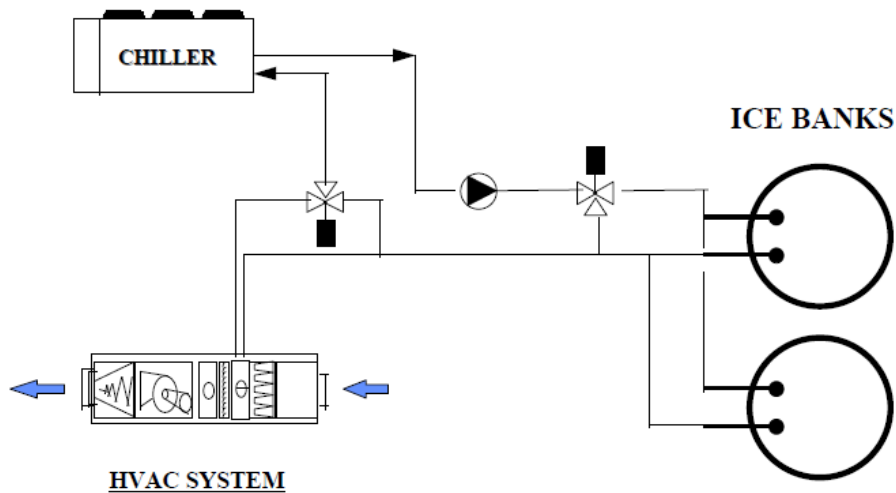
Ψυκτικό ή διάλυμα γλυκόλης σε θερμοκρασία -4°C και -10°C κυκλοφορά στη σερπαντίνα η οποία είναι βυθισμένη σε μια μονωμένη δεξαμενή νερού για να σχηματιστεί πάχος πάνω του. Η δεξαμενή παραγωγής πάγου αποτελείται από αντλία αέρα χαμηλής πίεσης με ενσωματωμένα πτερύγια για την ανάδευση του συστήματος προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη τήξη και σχηματισμός πάγου. Το πάχος του πάγου που παράγεται μετράται από ένα αισθητήρα.



Σχήμα No.1 Σύστημα κατασκευής πάγου (ice builder system)

Τράπεζες πάγου (ice banks).

Η τράπεζα πάγου αποτελείται από εναλλάκτη θερμότητας και σωλήνα πολυαιθυλενίου υπό πίεση. Διάλυμα γλυκόλης με χαμηλή θερμοκρασία, κυκλοφορά μέσα στους σωλήνες η οποία παγώνει το νερό γύρω από αυτούς. Το νερό μέσα στην μονωμένη δεξαμενή σχεδόν παγώνει μετά από ένα κύκλο φόρτισης του συστήματος. Ο έλεγχος του συστήματος μπορεί να παρέχεται από τον αισθητήρα που υπάρχει στη δεξαμενή.

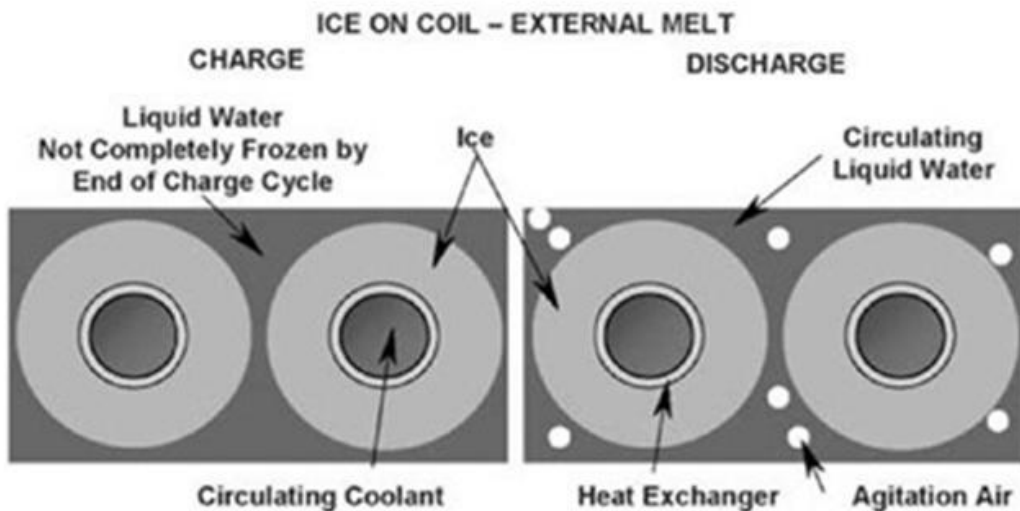


Σχήμα No.2 Σύστημα αποθήκευσης πάγου με τράπεζες.

Επιφανειακή τήξη πάγου σε σερπαντίνα (External melt ice-on-coil):

Ο πάγος δημιουργείται πάνω σε εμβαπτισμένους σωλήνες ή αυλούς, μέσα στους οποίους ένα ψυκτικό υγρό κυκλοφορεί. Η ψύξη αποδίδεται με την κυκλοφορία του νερού που περιβάλλει τους σωλήνες, λιώνοντας τον πάγο από την εξωτερική του επιφάνεια. Ένας αναπνευστήρας αυξάνει τη μετάδοση θερμότητας.

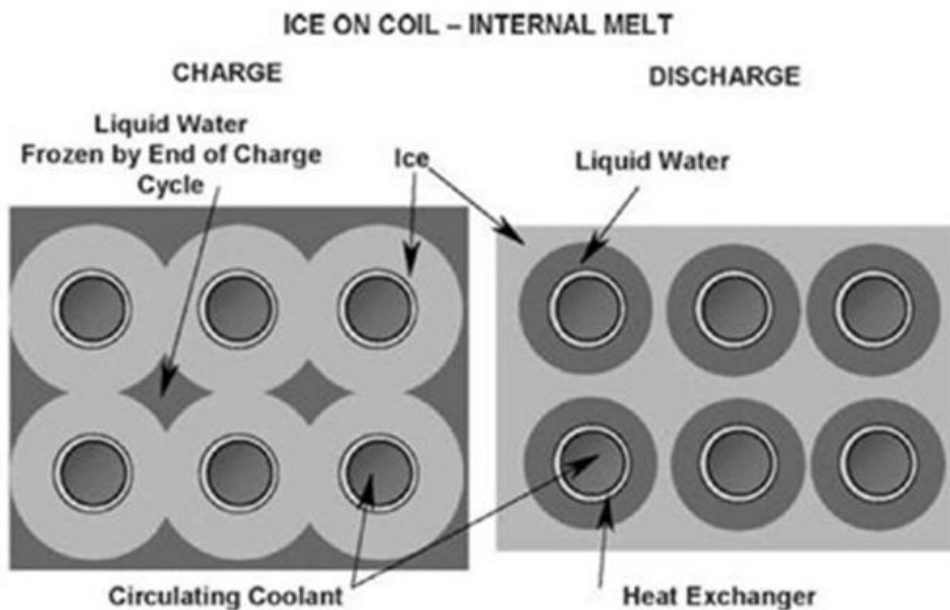




Σχήμα Νο.3: Επιφανειακής τήξης πάγου σε σερπαντίνα.

Εσωτερική τήξη πάγου σε σερπαντίνα (Internal melt ice-on-coil):

Ο πάγος δημιουργείται σε εμβαπτισμένους σωλήνες όμοιους με αυτούς του συστήματος εξωτερικής τήξης. Η ψύξη αποδίδεται μέσω της κυκλοφορίας ψυκτικού υγρού μέσα από τους σωλήνες, τήκοντας έτσι τον πάγο από την εσωτερική του επιφάνεια.



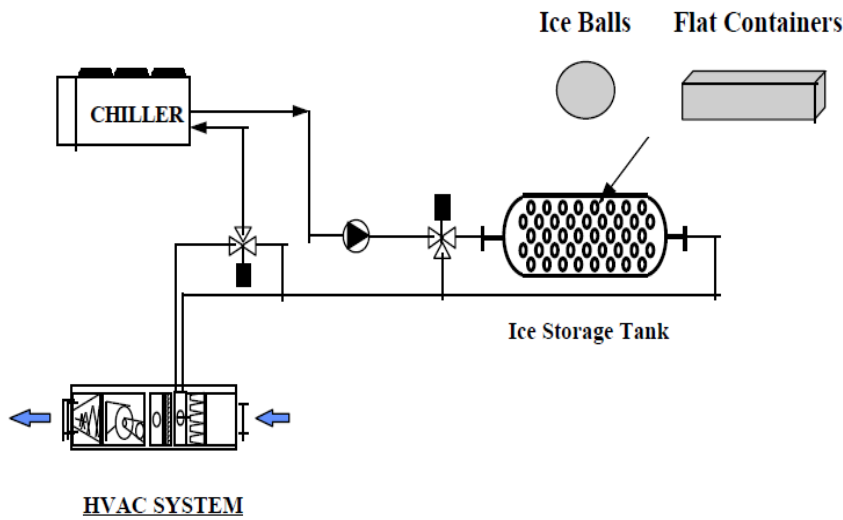
Σχήμα Νο.4: Εσωτερική τήξη πάγου σε σερπαντίνα

Εγκλωβισμένος πάγος (Encapsulated Ice):

Η βασική αρχή αυτής της τεχνικής είναι το σφράγισμα του νερού σε κάψουλες οι οποίες είναι τοποθετημένες σε μια μονωμένη δεξαμενή και η κυκλοφορία του επεξεργασμένου νερού γίνεται γύρω από αυτές. Για το κομμάτι κατάψυξης για τη φόρτιση του συστήματος η ροή είναι κανονική και για την αποφόρτιση με αντίστροφη ροή.

Οι κάψουλες μπορούν να έχουν οποιοδήποτε σχήμα αλλά τα πιο γνωστά είναι τα σφαιρικά και τα επίπεδα δοχεία. Η φόρτιση και αποφόρτιση του συστήματος μπορεί

να ελεγχθεί από το επίπεδο του νερού στη δεξαμενή αποθέματος η οποία υπόκειται σε μεταβολή στάθμης, εξαιτίας της συστολής και διαστολής του πάγου κατά τη διαδικασία ψύξης και τήξης.

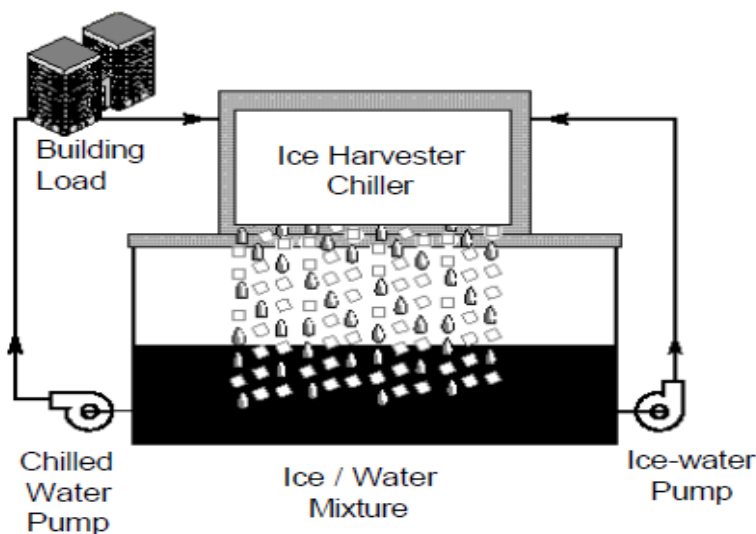


Σχήμα No.5: Τήξη πάγου με τη μέθοδο εγκλωβισμένου πάγου.

#### Δυναμικά συστήματα παραγωγής πάγου

##### Συγκομιδή πάγου(ice harvesting system):

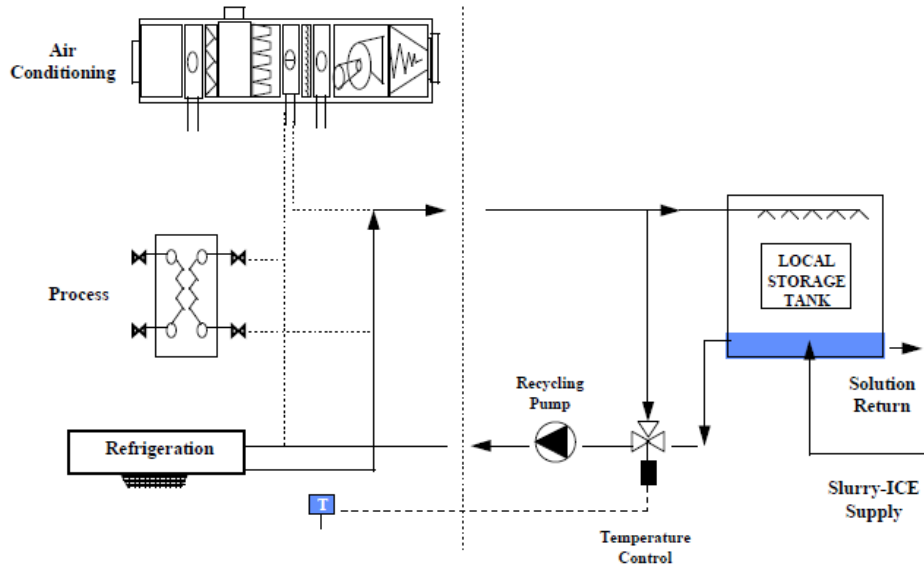
Ο πάγος σχηματίζεται στην επιφάνεια του αποστακτήρα και απελευθερώνεται περιοδικά σε μια μερικώς γεμάτη δεξαμενή με νερό. Το κρύο νερό αντλείται από τη δεξαμενή για να καλύψει το ψυκτικό φορτίο της επιφάνειας του αποστακτήρα. Ο πάγος συλλέγεται μέσω κάποιου θερμού υγρού που περνά από τις πλάκες του αποστακτήρα μέσω της θυρίδα παροχής του, με αυτό τον τρόπο ο πάγος έρχεται σε επαφή με τις πλάκες όπου τήκεται και πέφτει στη δεξαμενή όπου το παγωμένο νερό κυκλοφορεί.



Σχήμα No.6: (ice harvesting)Γράφημα με τη μέθοδο συγκομιδής πάγου.

Παγοπολτός (ice slurry):

Σε αυτό το σύστημα ένα διφασικό διάλυμα γλυκόλης και νερού κυκλοφορεί μέσα από τους σωλήνες. Έξω από τους σωλήνες κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο που παγώνει το διάλυμα και δημιουργούνται εκατομμύρια λεπτοί κρύσταλλοι οι οποίοι στη συνέχεια αντλούνται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης μέσω μιας αντλίας για μεταγενέστερη χρήση ή απευθείας για να ικανοποιήσουν το φόρτο διεργασίας.



Σχήμα No.7: Μηχάνημα παραγωγής παγοπολτού.

## Βασικά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων Αποθήκευσης Ψυκτικής Ενέργειας

Αναφερόμενοι στα θεωρητικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας, αυτά οριοθεούνται στην γενική αρχή και λειτουργία της έννοιας της εντροπίας στον 2<sup>ο</sup> Νόμο της Θερμοδυναμικής. Στο πλαίσιο αυτό, σημειώνεται πως ο Γερμανός Φυσικός Clausius (1822-1888) το 1850 χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το θερμοδυναμικό όρο "εντροπία" για να περιγράψει το ποσό της θερμότητας που πρέπει να εισαχθεί σ' ένα κλειστό σύστημα για να το φέρουμε σε μια δεδομένη κατάσταση. Ο Clausius λοιπόν, εισήγαγε την έννοια της εντροπίας για να δώσει μια σωστότερη και καλύτερη διατύπωση του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής (Simmonds, 1994).

Πιο αναλυτικά, ο Clausius όρισε τη μεταβολή της εντροπίας ( $\Delta S$ ) ενός συστήματος κατά τη διάρκεια μιας πολύ μικρής αντιστρεπτής μεταβολής, ως το πηλίκο του ποσού θερμότητας  $\Delta Q$  που απορρόφησε ή απέβαλλε το σύστημα προς τη θερμοκρασία ( $T$ ) του συστήματος. Δηλαδή  $\Delta S = \Delta Q / T$ . Η μεταβολή της εντροπίας ενός συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάστασή του.

Η αντιστρεπτή μεταβολή είναι τόσο μικρή ώστε η θερμοκρασία του συστήματος να παραμένει σταθερή. Πρόκειται δηλαδή για μια εξιδανικευμένη μεταβολή. Όταν σε μια αντιστρεπτή μεταβολή το σύστημα απορροφά θερμότητα το  $\Delta Q$  είναι θετικό, επομένως η εντροπία αυξάνεται. Για τις πραγματικές μεταβολές που δεν είναι αντιστρεπτές, ισχύει το σύμβολο  $<$  στην παραπάνω σχέση. Κατά τη διάρκεια πραγματικών μεταβολών η εντροπία ενός μονωμένου συστήματος πάντοτε αυξάνεται μέχρι να επέλθει ισορροπία, οπότε η εντροπία αποκτά τη μέγιστη τιμή της (Morinière, 1988).

Αν αναμείξουμε δύο υγρά διαφορετικής θερμοκρασίας  $T_1 > T_2$  και το σύστημα θεωρηθεί κλειστό, τότε μεταβιβάζεται θερμότητα από το θερμότερο προς το ψυχρότερο μέχρι να αποκατασταθεί σταθερή θερμοκρασία. Εφόσον το αρχικά θερμότερο αποδίδει θερμότητα η εντροπία του ελαττώνεται. Εφόσον στο αρχικά ψυχρότερο μεταβιβάζεται θερμότητα η εντροπία του αυξάνεται. Η εντροπία του συστήματος στο σύνολό της αυξάνεται, δηλαδή  $\Delta S_1 + \Delta S_2 > 0$ . Σε κάθε αυθόρμητη ροή θερμότητας σε ένα κλειστό σύστημα η εντροπία αυξάνεται (Drees, Braun, 1996).

Σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό Αξίωμα σε κάθε μεταβολή ενός απομονωμένου συστήματος η εντροπία αυξάνεται πάντοτε ή αλλιώς "η Εντροπία πάντα αυξάνει σ' ένα κλειστό σύστημα που δεν βρίσκεται σε ισορροπία και παραμένει σταθερή σ' ένα σύστημα που είναι σε ισορροπία". Στην κατάσταση ισορροπίας μάλιστα η εντροπία λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της. Σ' αυτήν την κατάσταση, οι μόνες μεταβολές που μπορούν να συμβούν στο σύστημα είναι αυτές κατά τις οποίες η εντροπία δεν μεταβάλλεται (Καράγιωργας, 1996).

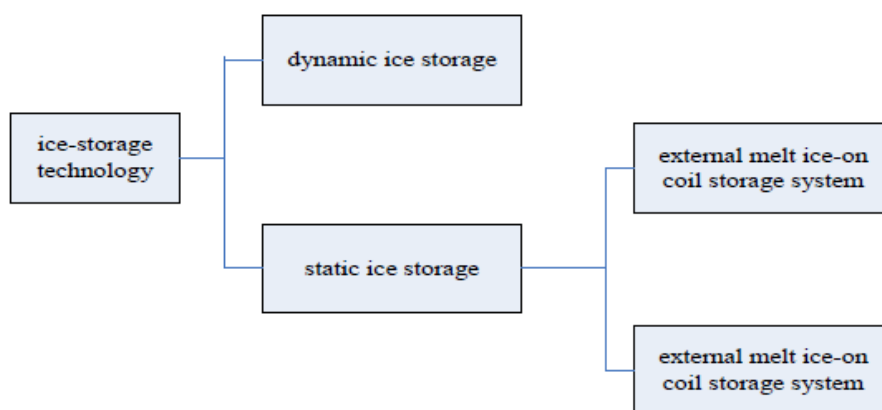
Η εντροπία, όπως και η εσωτερική ενέργεια ενός συστήματος, είναι καταστατικό μέγεθος αφού χαρακτηρίζει την κατάσταση ισορροπίας του συστήματος. Η μεταβολή της εντροπίας ενός συστήματος κατά τη μετάβασή του από μια καθορισμένη αρχική σε μια καθορισμένη τελική κατάσταση, δεν εξαρτάται από τον τρόπο μετάβασης από την αρχική στην τελική κατάσταση, παρά μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση ισορροπίας (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).

Η μεταβολή της εντροπίας σε μία μεταβολή μπορεί να υπολογιστεί από το παρακάτω

ολοκλήρωμα:  $\int_{T_1}^{T_2} \left( \frac{c_p}{T} \right) dT$  (για αντιστρεπτές μεταβολές), όπου:  $c_p$  η Ειδική Θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση και  $T$  η θερμοκρασία (Morinière, 1988).

Ο υπολογισμός της μεταβολής της εντροπίας για μη αντιστρεπτές μεταβολές πρέπει να γίνει υπολογίζοντας τη μεταβολή της εντροπίας σε αντιστρεπτές μεταβολές οι οποίες έχουν το ίδιο τελικό αποτέλεσμα με την μη αντιστρεπτή. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει, καθώς η εντροπία είναι μια ιδιότητα που εξαρτάται μόνο από την κατάσταση ενός συστήματος.

Τώρα ας περάσουμε στα βασικά χαρακτηριστικά των διαφόρων ειδών αποθήκευσης πάγου.



Σχήμα Νο.8: Διάγραμμα κατηγοριών αποθήκευσης πάγου.

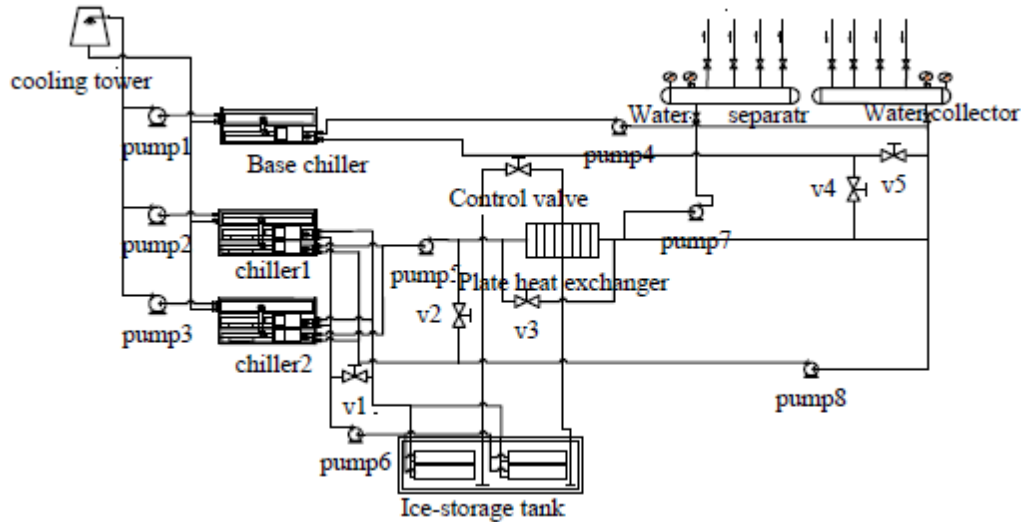
#### Επιφανειακή ή εξωτερική τήξη πάγου σε σερπαντίνα (External melt ice-on-coil):

Η τεχνολογία επιφανειακής τήξης πάγου(external melt ice on) ανήκει στην κατηγορία αποθήκευσης στατικού πάγου. Ο λόγος είναι ότι αυτό το σύστημα αποθήκευσης πάγου παίρνει απευθείας κρύο νερό από το εσωτερικό παγωμένο τήγμα (internal melt ice on) αποθήκευσης με τη δευτερεύοντα ανταλλαγή θερμότητας. Σε σύγκριση με τους άλλους τρόπους αποθήκευσης πάγου η ψυκτική απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερη και η θερμοκρασία νερού είναι χαμηλότερη.

Η τεχνολογία επιφανειακής τήξης με τη χρήση σερπαντίνας ( external melt ice on coil) λειτουργεί με τον εξής τρόπο, στέλνει κρύο νερό και επιστρέφει νερό με υψηλότερη θερμοκρασία στη δεξαμενή αποθήκευσης πάγου με τη σερπαντίνα που είναι καλυμμένη με πάγο. Ο πάγος στην επιφάνεια της σερπαντίνας λιώνει σταδιακά από τα έξω προς τα μέσα και ονομάζεται πάγος τήξης(melting ice). Λόγο της άμεσης επαφής του κρύου νερού και του πάγου που βρίσκεται πάνω στη σερπαντίνα η μεταφορά θερμότητας είναι πολύ υψηλή. Η θερμοκρασία του κρύου νερού παροχής από τη δεξαμενή αποθήκευσης πάγου μπορεί να είναι πολύ χαμηλή γύρω στον 1 °C λόγω της γρήγορης θερμικής απελευθέρωσης.

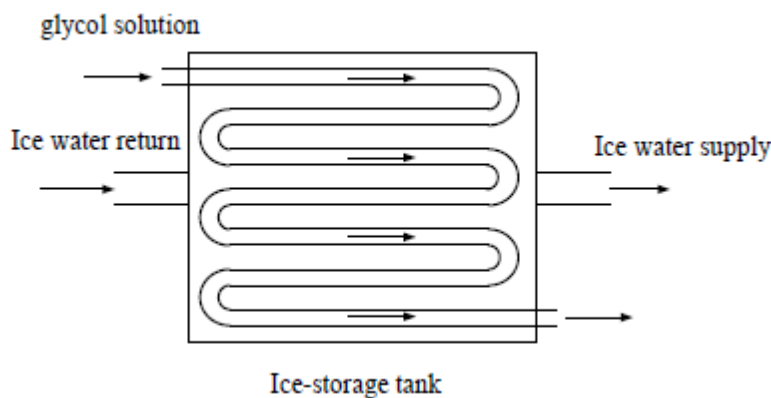
Τα πλήρη συστήματα αποθήκευσης έχουν το λιγότερο θεωρητικό κόστος αλλά η χρήση τους συχνά αποθαρρύνεται γιατί ο ψυκτικός θάλαμος και ο πάγος πρέπει να

είναι περίπου διπλάσια από την απαιτούμενη χωρητικότητα για μερική αποθήκευση. Επιπλέον η αποθήκη πάγου σε ένα πλήρες σύστημα αποθήκευσης πρέπει να έχει μέγεθος ώστε να ανταποκρίνεται στη ζήτηση αιχμής το καλοκαίρι. Μερικά συστήματα αποθήκευσης μπορούν να διαμορφωθούν με το ψυκτικό συγκρότημα προς τα πάνω είτε προς τα κάτω, εξαρτάται από τη χρήση όμως και τα δύο συστήματα έχουν τις προσφορές τους. Η αποθήκευση πάγου με τη τεχνολογία εξωτερικής επιφανειακής τήξης έχει δύο λειτουργίες, ψύχουν και αποψύχουν.



Σχήμα No.9: Γράφημα συστήματος εξωτερικής αποθήκευσης πάγου.

Η δεξαμενή αποθήκευσης πάγου δεν βασίζεται σε ομοιόμορφα πρότυπα. Το μήκος του πηνίου που βρίσκεται στη δεξαμενή υπολογίζεται από τη ζήτηση φορτίου.



Σχήμα No.10: Δεξαμενή αποθήκευσης πάγου με τη σερπαντίνα.

Εσωτερική τήξη πάγου με σερπαντίνα(πηνίο) (Internal melt ice-on-coil):

Η τεχνολογία εσωτερικής τήξης πάγου με σερπαντίνα με οριζόντιους σωλήνες είναι ένα είδος δεξαμενής πάγου που χρησιμοποιείται ευρέως. Η διαδικασία εκφόρτωσης πραγματοποιείται από τη διαφορά στη πυκνότητας μεταξύ του πάγου και του νερού. Τα υπάρχοντα μοντέλα δεξαμενής που αναπτύχθηκαν για την εσωτερική τήξη πάγου

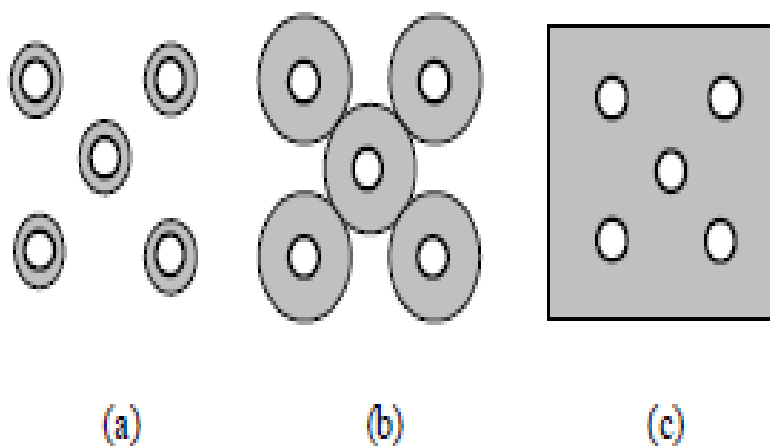
με σερπαντίνα είναι ομόκεντρα, κυλινδρικά τα οποία εφαρμόζονται σε δεξαμενή με ενσωματωμένο σωλήνα.

Σε αυτό το είδος δεξαμενής ρέει συνήθως διάλυμα γλυκόλης μέσω των πηνίων και φορτίζει-εκφορτίζει τη δεξαμενή στο εσωτερικό των πηνίων. Η καλή κατανοήση των χαρακτηριστικών της φόρτισης και εκφόρτωσης της δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης είναι πολύ σημαντική όσο για την εγκατάσταση και τη λειτουργία του συστήματος αλλά και για τη μείωση κινδύνου.

#### Ανάλυση διαδικασίας φόρτισης.

Η διαδικασία εσωτερικής τήξης πάγου μπορεί να χωριστεί σε 4 στάδια:

- Στάδιο ψύξης νερού (συμβαίνει μόνο ανταλλαγή θερμότητας)
- Ασταθές σχηματισμός πάγου χωρίς επικάλυψη πάγου, ο κύλινδρος πάγου αυξάνεται ομόκεντρα με τον σωλήνα (βλέπε σχήμα 8 (α)).
- Περιορισμένος σχηματισμός πάγου (βλέπε σχήμα 8 (b)).
- Στάδιο ψύξης πάγου (όλο το νερό πάγωσε) βλέπε σχήμα 8 ©.

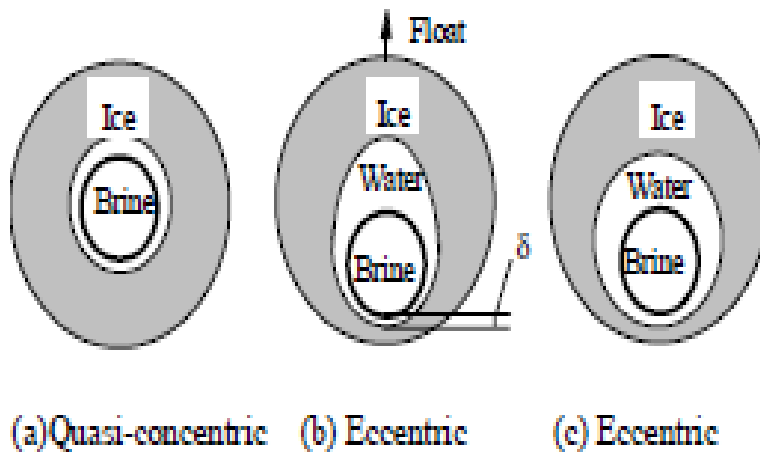


Σχήμα No.11: Στάδια διαδικασίας φόρτισης.

#### Ανάλυση διαδικασίας αποφόρτισης.

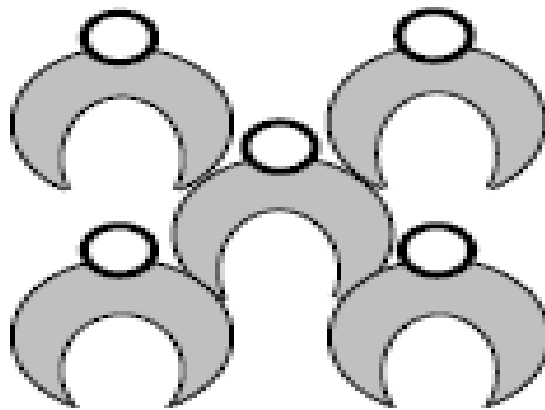
Αν η θερμοκρασία υγρού (γλυκόλη) είναι υψηλότερη από το σημείο πήξης, ο πάγος κοντά στο σωλήνα αρχίζει να λιώνει λόγω της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ πάγου και υγρού. Εάν ο σωλήνας είναι οριζόντιος, μετά από την τήξη ενός μέρους του πάγου, ο πάγος θα επιπλέει λόγω της διαφοράς της πυκνότητας του πάγου και του νερού. Ως εκ τούτου, το κάτω μέρος της εσωτερικής επιφάνειας του κυλίνδρου πάγου, πιέζεται κοντά στον πυθμένα του σωλήνα έτσι ώστε τόσο η εσωτερική αλλά όσο και η εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου πάγου να είναι ομόκεντρας.

Επομένως είναι πιθανό ο ρυθμός αποφόρτισης να διατηρείται περίπου σταθερός για μεγάλη περίοδο όταν σταθεροποιείται η θερμοκρασία εισόδου και η παροχή του υγρού που περνά στη σερπαντίνα. Ανεξάρτητα από το γεγονός ότι ο κύλινδρος πάγου λιώνει ομόκεντρα, ο όγκος του νερού μέσα στον κύλινδρο θα συρρικνωθεί λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του νερού και του πάγου, έτσι ώστε να προκαλείται πίεση στο κέλυφος του πάγου.



Σχήμα Νο.12: Στάδια αποφόρτισης πριν ο κυλινδρικός πάγος αποκολληθεί από το πάγο.

Ο κύλινδρος πάγου αν δεν μπορεί να σταθεί θα σπάσει από το ποιο αδύναμο σημείο του πάγου, έτσι το κέλυφος πάγου θα αφήσει τον σωλήνα, θα επιπλεύσει και θα έρθει σε επαφή με τον πάνω σωλήνα. Το περιβάλλον του σωλήνα σε αυτό το στάδιο είναι παρόμοιο με εκείνο της ομόκεντρης βαθμίδας και έτσι ο ρυθμός αποφόρτισης είναι παρόμοιος με του ομόκεντρου σταδίου.



Σχήμα Νο.13: Στάδιο πάγου που επιπλέει.

### Σύστημα Συγκομιδής πάγου (ice harvesting system):

Η διαχείριση φορτίων είναι διαχείριση πόρων για μια εταιρεία. Ένας τρόπος διαχείρισης του φορτίου είναι μέσω της θερμικής αποθήκευσης πάγου.

Το μηχάνημα είναι ένα απλό σύστημα άμεσης ψύξης του οποίου ο εξατμιστής αποτελείται από πολλαπλές κάθετες πλάκες. Το τμήμα του εξατμιστή τοποθετείται πάνω από μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού, το νερό αντλείται από τη δεξαμενή, κατανέμεται στις πλάκες όπου ρέει μέσω λεπτών μεμβρανών στη δεξαμενή αποθήκευσης με μια σχετική βαρύτητα. Εάν η θερμοκρασία του νερού είναι υψηλή τότε το σύστημα δουλεύει ως ψύκτης Baudelot.

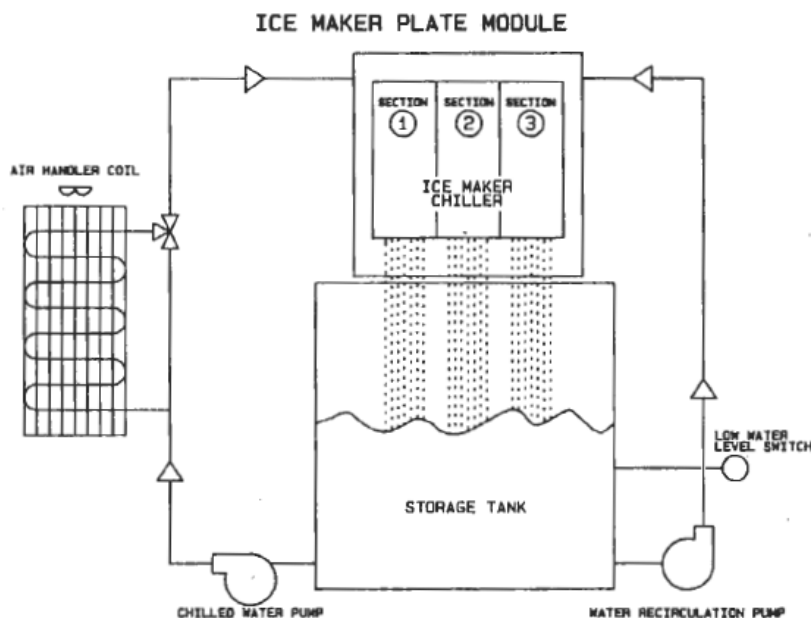
Εάν η θερμοκρασία του νερού είναι χαμηλή κάποια ποσότητα νερού παγώνει στις πλάκες του συστήματος σε φύλλα με πάχος 0,18 έως 0,25 ίντσες. Περιοδικά ο πάγος απελευθερώνεται από το 1/3 των πλακών αντιστρέφοντας την ροή του ψυκτικού υγρού μέσα στις πλάκες

Το σύστημα συγκομιδής πάγου (ice harvesting system) διαχωρίζει τη λειτουργία λήψης πάγου και αποθήκευσης πάγου. Ο πάγος σχηματίζεται στο εξωτερικό των πλακών του εναλλάκτη θερμότητας με πάχος συνήθως 0,25 ίντσες. Ο πάγος



συλλέγεται με την εισαγωγή θερμού ψυκτικού αερίου στον εσωτερικό των πλακών εναλλαγής θερμότητας, το αέριο θερμαίνει την πλάκα διασπώντας έτσι το δεσμό μεταξύ πάγου-πλάκας και ο πάγος πέφτει στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Για να παρασκευαστεί ο πάγος στις πλάκες χρειάζεται κυκλοφορία νερού με θερμοκρασία περίπου 32°F για 20 έως 30 λεπτά. Για τη συγκομιδή του πάγου χρειάζονται 20 έως 40 δευτερόλεπτα. Η γεννήτρια πάγου θα λειτουργεί ως ψύκτης εάν το νερό που τροφοδοτείται στις πλάκες είναι περίπου στους 32° F.



Σχήμα No.14: Μηχάνημα με λειτουργία συστήματος συγκομιδής πάγου.

Ένα χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η ικανότητα να λιώνει τον πάγο που αποθηκεύεται στη δεξαμενή πολύ γρήγορα. Ο πάγος που δημιουργείται είναι χαρακτηριστικά μικρός. Η περιοχή επαφής πάγου, με το επιστρεφόμενο νερό στο σύστημα είναι πολύ μεγάλη ενώ η ταχύτητα επαφής πολύ μικρή. Μια εικοσιτετράωρη φόρτιση(παραγωγή) πάγου μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να λιώσει σε λιγότερο από 30 λεπτά.

### Σύστημα Παγοπολτού (ice slurry system)

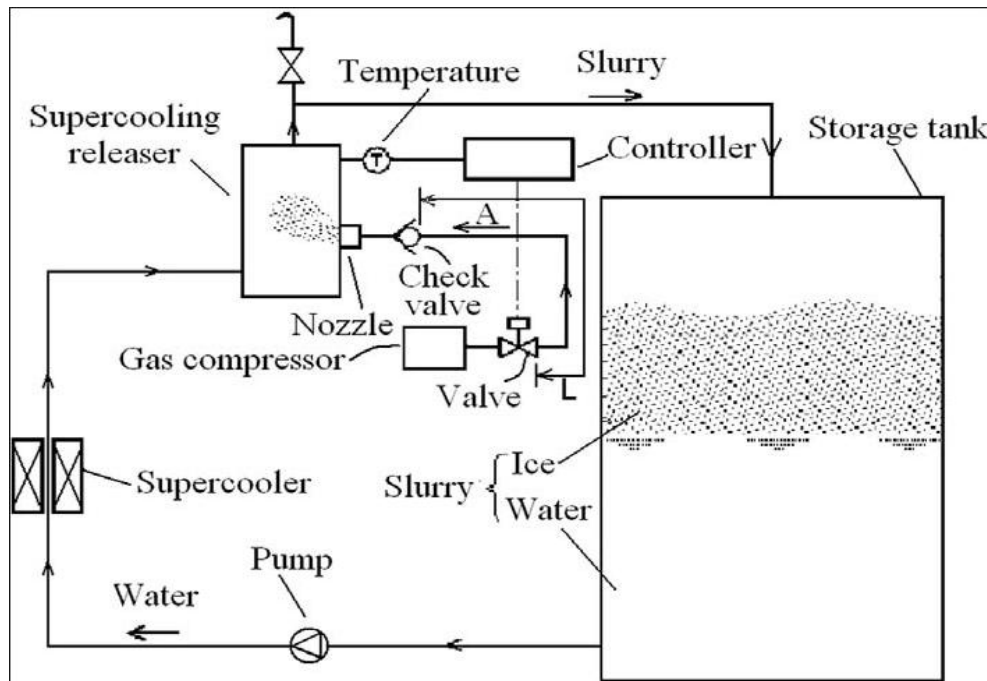
Το σύστημα παγοπολτού ως προηγμένο σύστημα χρησιμοποιεί ψυκτικό υγρό δύο φάσεων που είναι μίγμα μικρών κρυστάλλων πάγου και υγρού. ότι περιλαμβάνει μικροσκοπικούς κρυστάλλους πάγου, η συνολική επιφάνεια για την ανταλλαγή θερμότητας είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με τη συμβατική ιδέα κατασκευής πάγου. Το σχήμα των σωματιδίων πάγου στον πολτό εξαρτάται από τη μέθοδο της τεχνολογίας ψύξης που χρησιμοποιείται.

Ο παγοπολτός έχει υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας λόγω της λανθάνουσας θερμότητας σύντηξης των κρυστάλλων. Έχει επίσης γρήγορο ρυθμό ψύξης λόγω της μεγάλης επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας. Το σύστημα είναι δυναμικού τύπου το οποίο προσφέρει το αντλητικό χαρακτηριστικό πλεονέκτημα έναντι του στατικού τύπου συστήματος.

Επιπλέον, λόγω του συμπαγούς σχεδιασμού και των αντλητικών χαρακτηριστικών προσφέρουν τεράστια ευελιξία για τη θέση τοποθέτησης της δεξαμενής αποθήκευσης. Η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να τοποθετηθεί σε μια βολική θέση ενός κτηρίου και μπορεί να έχει οποιοδήποτε σχήμα και μέγεθος ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις και την αρχιτεκτονική του κτηρίου.

Η λανθάνουσα θερμότητα που μεταφέρεται από τα σωματίδια πάγου στο νερό προκαλεί γρήγορη ψύξη στη ροή. Η πτώση πίεσης στον αγωγό είναι συνάρτηση του συντελεστή τριβής, της αναλογίας μήκους-διαμέτρου, της ταχύτητας και της πυκνότητας του υγρού ή του πολτού.

Το σημαντικό πλεονέκτημα του πάγου πολτού είναι η αυξημένη ικανότητα ψύξης με συμβατικό κρύο νερό στους 6 °C.



Σχήμα Νο15: Σχηματικό διάγραμμα μηχανής παγοπολτού.

## **Παράγοντες που Επιδρούν στην Λειτουργία των Συστημάτων Αποθήκευσης Ψυκτικής Ενέργειας για Χρήση από Αντλίες**

Σχετικά με τους παράγοντες που επιδρούν στην λειτουργία των συστημάτων αποθήκευσης της ψυκτικής ενέργειας για χρήση σε αντλίες, ένας εξ 'αυτών τοποθετείται στην εφαρμογή και λειτουργία της Θερμοδυναμικής. Ο όρος Θερμοδυναμική προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις θερμότητα και δύναμη. Η Θερμοδυναμική αποτελεί βασικό κλάδο της Κλασσικής Φυσικής που ασχολείται με τη μελέτη της θερμικής ενέργειας, των συστημάτων που μπορούν να την αξιοποιούν, μετατρέποντας την σε ωφέλιμο έργο (Drees, Braun, 1996).

Πιο αναλυτικά, μελετά τη μετατροπή της ενέργειας από μηχανική σε θερμότητα και αντίστροφα, μέσα από τη μελέτη θερμικών διεργασιών. Με τον όρο διεργασία εννοούμε την μετάβαση από τη μια κατάσταση ενός συστήματος σε μια άλλη.

Αν και η πρώτη θερμική μηχανή κατασκευάστηκε από τον Ήρωνα τον Αλεξανδρινό περίπου το 100μΧ., η εφεύρεση της ατμομηχανής αποτέλεσε την αφετηρία της ανάπτυξης και βελτίωσης των μηχανών που μετέτρεπαν τη θερμική ενέργεια σε ωφέλιμο έργο. Η ιδέα για τη χρήση της θερμότητας για τη μετάδοση κίνησης υπάρχει από την αρχαιότητα, εντούτοις οι θερμικές μηχανές εκείνης της περιόδου δεν είχαν πρακτική χρήση. Η πρώτη θερμική μηχανή είναι ο αιολικός κινητήρας του Ήρωνα. Ο Ήρωνας περιγράφει και ένα σύστημα που έκλεινε τις πόρτες ενός ναού με χρήση της θερμότητας από τη φωτιά που άναβε το βωμό του ναού (Simmonds, 1994).

Η πρόοδος της Θερμοδυναμικής οδήγησε στην κατασκευή όλων των σύγχρονων θερμικών μηχανών, βενζινοκινητήρων, πετρελαιοκινητήρων και κινητήρων αεροσκαφών. Σήμερα έχει αποκτήσει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε άλλες επιστήμες πλην της μηχανικής και των εφαρμογών της όπως η χημεία, η βιολογία και η επιστήμη υλικών.

Κεντρικές στη μελέτη της θερμοδυναμικής είναι οι έννοιες του συστήματος και του περιβάλλοντος. Γενικά, σύστημα είναι ένα τμήμα του φυσικού κόσμου που διαχωρίζεται από τον υπόλοιπο κόσμο με πραγματικά ή νοητά τοιχώματα. Ο υπόλοιπος φυσικός κόσμος αποτελεί το περιβάλλον του συστήματος. Αν για τη μελέτη και περιγραφή ενός συστήματος χρησιμοποιούμε μόνο παραμέτρους και μεγέθη της μηχανικής, τότε το σύστημα χαρακτηρίζεται ως μηχανικό. Στην περίπτωση όμως που για την περιγραφή του χρησιμοποιούνται και θερμοδυναμικά μεγέθη, όπως θερμότητα, θερμοκρασία και εσωτερική ενέργεια, τότε το σύστημα χαρακτηρίζεται ως θερμοδυναμικό (Καράγιωργας, 1996).

Η Θερμοδυναμική αναπτύχθηκε αρχικά αγνοώντας την ατομική δομή της ύλης. Χρησιμοποιήθηκαν έννοιες που είχαν ήδη οριστεί από τη Μηχανική όπως ενέργεια, όγκος, πίεση, αλλά και άλλες που δεν έχουν μηχανικό ανάλογο, όπως η θερμοκρασία και η εντροπία. Αυτή η μερική διαφοροποίηση της Θερμοδυναμικής από την υπόλοιπη Φυσική έγινε πρόκληση για αρκετούς ερευνητές (όπως ο Boltzmann) του περασμένου κυρίως αιώνα. Αυτοί απέδειξαν ότι οι νόμοι της Θερμοδυναμικής πράγματι ακολουθούν τους βασικούς νόμους της Μηχανικής και της ατομικής δομής της ύλης (Morinière, 1988).

Η θερμοδυναμική γνώρισε μεγάλη άνθηση στις αρχές του 19ου αιώνα, προσπαθώντας να δώσει λύση στα πρακτικά προβλήματα που επέβαλε η χρήση των θερμικών και ψυκτικών μηχανών. Ξεκίνησε ουσιαστικά με τις μελέτες του Carnot, ο οποίος διερεύνησε την απόδοση των ατμομηχανών και κατέληξε το έτος 1824 στο συμπέρασμα ότι σημασία για υψηλό βαθμό αποδόσεως σε μια ατμομηχανή έχει η διαφορά μεταξύ της μέγιστης θερμοκρασίας του ατμού και της ελάχιστης θερμοκρασίας του νερού που χρησιμοποιείται για την ατμοποίηση.

Αν και αυτό το επιστημονικό αντικείμενο φαίνεται να περιορίζεται σε θέματα θερμότητας και θερμοκρασιών, στην πραγματικότητα αφορά όλη τη Φυσική, τη Χημεία και τη Βιολογία. Για παράδειγμα, με τη γνώση των θερμοδυναμικών φαινομένων εξηγείται, γιατί κάποιες χημικές αντιδράσεις εξελίσσονται αυθόρμητα και άλλες όχι (Drees, Braun, 1996).

Η επιστήμη της θερμοδυναμικής έχει τη βάση της σε 3 θεμελιώδεις νόμους, γνωστοί ως Νόμοι της Θερμοδυναμικής, μέσα από τους νόμους εισάγονται δύο κεντρικές της έννοιες, η εσωτερική ενέργεια και η εντροπία. Με την έννοια της θερμότητας ορίζεται η ενέργεια που μεταφέρεται στο σύστημα λόγω διαφοράς θερμοκρασίας του συστήματος και του περιβάλλοντος.

Ως εσωτερική ενέργεια ενός συστήματος ορίζεται ως η συνολική ενέργεια οποιασδήποτε μορφής όλων των σωματιδίων που αποτελούν το σύστημα, όπως η κινητική ενέργεια της άτακτης μεταφορικής κίνησης των μορίων, η ενέργεια της περιστροφής και της ταλάντωσής τους, καθώς και η ηλεκτρική ή χημική ή ατομική ενέργεια του συστήματος, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή έργου. Μηχανικό Έργο είναι η ενέργεια που λαμβάνει ή χάνει ένα σύστημα εξ αιτίας μίας ασκούμενης σε αυτό επίδρασης (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).

Ο 1ος Νόμος Θερμοδυναμικής ή Νόμος Διατήρησης της Ενέργειας ορίζει ότι το ποσό θερμότητας ( $Q$ ) που απορροφά ή αποβάλλει ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής του ενέργειας και του έργου που παράγει ή δαπανά το σύστημα. Έτσι, στα μέσα του 19ου αιώνα καθιερώθηκε, μετά την ορμή, η ενέργεια ως το δεύτερο φυσικό μέγεθος που διατηρείται. Η συνολική ή εσωτερική ενέργεια ενός κλειστού θερμοδυναμικού συστήματος παραμένει τελικά σταθερή σύμφωνα με την παρακάτω μαθηματική διατύπωση (Simmonds, 1994):

$$dU = \delta Q + \delta W, \text{ όπου}$$

$dU$  είναι η απειροστή αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος,

$\delta Q$  είναι το απειροστό ποσό της θερμότητας που προστίθεται στο σύστημα,

$\delta W$  είναι το απειροστό ποσό του έργου που εκτελεί το σύστημα

$\delta$  δηλώνει μη-τέλειο διαφορικό.

Οι επιστήμονες ανέκαθεν οραματίζονταν την κατασκευή μιας μηχανής που θα ήταν σε θέση να παράγει, ως κλειστό σύστημα, περισσότερη ενέργεια από αυτή που δέχεται να έχει δηλαδή βαθμό αποδόσεως μεγαλύτερο από τη μονάδα. Αυτό όμως αποκλείεται, γιατί δεν έχει παρατηρηθεί σε κανένα φυσικό φαινόμενο και καμιά τεχνική διεργασία απόκλιση από την αρχή διατήρησης της ενέργειας (1<sup>ος</sup> Νόμος). Επειδή δε κάθε ενεργειακό σύστημα παράγει κατά τη λειτουργία του αναπότρεπτα και θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, η ενέργεια στην έξοδο του συστήματος, αυτή που αξιοποιούμε για κάποιο σκοπό, θα είναι πάντα μικρότερη από αυτή στην είσοδό του (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).

Ο βαθμός αποδόσεως του κλειστού συστήματος δεν μπορεί να είναι λοιπόν, ούτε καν ίσος με τη μονάδα (100%) αλλά θα είναι πάντα μικρότερος. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι είναι αδύνατον να κατασκευαστεί κάποια απλής ή πολύπλοκης μηχανής, η οποία να εξυπηρετεί κάποιο σκοπό, ενώ ταυτόχρονα παράγει και ενέργεια για τη δική της λειτουργία. Μια τέτοια μηχανή θα αποτελούσε ένα αεικίνητο (perpetuum mobile) πρώτου είδους, του οποίου η κατασκευή δεν είναι δυνατή (Simmonds, 1994).

Το έτος 1854 διατυπώθηκε το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα, το οποίο αναφέρεται στην «ποιότητα» των διαφόρων ενεργειακών μορφών. Ο Γερμανός φυσικός Clausius (Κλαουζίους, 1822-1888) διατύπωσε την αξιωματική βεβαιότητα ότι η θερμότητα

μετακινείται πάντα από το θερμό στο ψυχρό, από το σημείο υψηλής στο σημείο χαμηλής θερμοκρασίας και ποτέ αντίστροφα.

Πιο συγκεκριμένα είπε ότι είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μια συσκευή η οποία να λειτουργεί σε κύκλο και να έχει ως μοναδικό αποτέλεσμα την αφαίρεση θερμότητας από ένα σώμα σε μια θερμοκρασία και την απορρόφηση ίσης ποσότητας θερμότητας από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας. Κατά τη ροή αυτή προκύπτει ένας μετασχηματισμός της ενεργειακής ποιότητας λόγω της εξίσωσης των θερμοκρασιών των δύο σωμάτων ή δύο σημείων, επικρατεί στο σύστημα πλέον χαμηλότερη θερμοκρασία (Drees, Braun, 1996).

Με άλλα λόγια, ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής απαγορεύει (μεταξύ των άλλων) σε δύο σώματα ίσης θερμοκρασίας, που είναι σε επαφή μεταξύ τους και απομονωμένα από το περιβάλλον, από το να εξελιχθούν σε μια κατάσταση στην οποία το ένα από τα δύο να έχει μια σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία από το άλλο. Για το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής έχουν υπάρχουν διάφορες διατυπώσεις. Ο 2ος Νόμος Θερμοδυναμικής ή νόμος της Εντροπίας ορίζει ότι κάθε φορά που η ενέργεια μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, ένα ποσό της αποδίδεται, χάνεται στο περιβάλλον με τη μορφή υποβαθμισμένης (εξασθενημένης) μη αξιοποιήσιμης θερμικής ενέργειας (Morinière, 1988).

Το πηλίκο της ποσότητας του έργου που παράγει ένα σύστημα προς την εισερχόμενη ενέργεια, ονομάζεται απόδοση και εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό επί τοις εκατό. Αποκλείεται λοιπόν ένα σύστημα να έχει 100% απόδοση. Η ποσοτική διατύπωση του 2<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου έγινε δυνατή με την εισαγωγή της έννοιας της εντροπίας. "Για ένα κλειστό σύστημα, το μέτρο της θερμικής ενέργειας που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί έργο, καλείται εντροπία του συστήματος". Αποτελεί δηλαδή το αντίθετο της διαθέσιμης ενέργειας. Εδώ λοιπόν, υπεισέρχεται η έννοια της εντροπίας που ορίζεται ως εξής: "entropy: the amount of disorder in a system" (Καράγιωργας, 1996).

Σύμφωνα λοιπόν με το 2<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό νόμο, η εντροπία, δηλαδή η αταξία ενός συστήματος τείνει, αν αφηθεί μόνο του, να αυξηθεί. Δηλαδή δεν μπορεί από μόνο του ένα σύστημα να πάει σε κατάσταση μεγαλύτερης τάξης, αλλά τείνει σε κατάσταση μεγαλύτερης αταξίας. Η μαθηματική του διατύπωση είναι η εξής (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011):

$$\frac{dS}{dt} \geq 0$$

, όπου  $dS$  είναι η αύξηση της εντροπίας του συστήματος και  $dS$  είναι η μεταβολή του χρόνου. Η εντροπία αυξάνει σε ένα θερμικά απομονωμένο σύστημα διαρκώς ή, σε ιδανικές συνθήκες, παραμένει σταθερό.

Η περίπτωση των ιδανικών συνθηκών που προαναφέραμε, είναι μόνο θεωρητική, γιατί στη φύση και στην τεχνική δεν υπάρχουν ποτέ ιδανικές συνθήκες. Γι' αυτό μειώνεται η ποιότητα της διαθέσιμης ενέργειας ή, με άλλα λόγια, αυξάνει η εντροπία. Μορφές ενέργειας που μετατρέπονται εύκολα σε άλλες μορφές, όπως η μηχανική και η ηλεκτρική, αποτελούν μορφές ανώτερης ποιότητας, ενώ μορφές ενέργειας που δεν μετατρέπονται εύκολα, όπως η θερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας, είναι μορφές χαμηλής ποιότητας. Έτσι, η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί πλήρως σε θερμική, αλλά δεν ισχύει το αντίστροφο (Drees, Braun, 1996).

Οι δυο διατυπώσεις του 2<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου που φαινομενικά είναι εντελώς ασύνδετες, είναι ισοδύναμες. Αν αληθεύει η μια από αυτές θα αληθεύει και η άλλη. Ο 1<sup>ος</sup> νόμος δεν θέτει περιορισμούς στις μετατροπές της ενέργειας. Σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup>

νόμο, όμως, η φύση θέτει περιορισμούς στη μετατροπή ενέργειας από τη μια μορφή στην άλλη. Η θερμότητα δεν μπορεί να μετασχηματιστεί κατά 100% σε μηχανική ενέργεια. Επίσης, ο 2<sup>ος</sup> νόμος καθορίζει την κατεύθυνση προς την οποία τα φαινόμενα συμβαίνουν αυθόρμητα στη φύση, ορίζοντας ότι η θερμότητα μεταφέρεται από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα (Simmonds, 1994).

Τέλος, ο 3ος Νόμος Θερμοδυναμικής, αυστηρά αλληλένδετος με το 2<sup>ο</sup> νόμο, ορίζει ότι η εντροπία ενός συστήματος στην απόλυτη θερμοκρασία του μηδενός ( $T = 0\text{ K}$ ,  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) είναι μηδέν ( $S = 0$ ). Πρόκειται δηλαδή για μια κατάσταση απόλυτης τάξης όπου και σταματούν όλες οι μοριακές κινήσεις σε έναν υποτιθέμενο, τέλειο κρύσταλλο.

Αυτό το αξίωμα προκύπτει από την κβαντική συμπεριφορά του συστήματος καθώς στο απόλυτο μηδέν το σύστημα βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάστασή του ( $\Omega = 1$ ). Όμως είναι αξιωματικά ανέφικτο για ένα σύστημα να φτάσει στο απόλυτο μηδέν, αν και κάποιοι ερευνητές έχουν φτάσει πολύ κοντά, μερικά χιλιοστά του βαθμού μόλις πάνω. Για να ταυτιστεί μια θερμοκρασία με αυτή του απόλυτου μηδενός, θα πρέπει να διατεθεί άπειρη ενέργεια.

Εδώ είναι σκόπιμο να αναφέρουμε και ένα μεθοδολογικό παράδοξο: Αφού είχαν διατυπωθεί τα τρία θερμοδυναμικά αξιώματα, διαπιστώθηκε ότι η λογική της θεμελίωσης της Θερμοδυναμικής στο μέγεθος της θερμοκρασίας απαιτούσε ένα ακόμα, εισαγωγικό αξίωμα, το οποίο εξασφαλίζει τη μεταβατικότητα της ιδιότητας του θερμικού ισοζυγίου. Επειδή όμως είχαν ήδη «εξαντληθεί» οι προσδιορισμοί πρώτο, δεύτερο και τρίτο, αυτό το μεταγενέστερο αξίωμα ονομάστηκε μηδενικό αξίωμα της Θερμοδυναμικής.

Σύμφωνα με το Μηδενικό Νόμο της Θερμοδυναμικής: «Αν τα A και B είναι 2 σώματα που βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σώμα C, τότε τα A και B βρίσκονται και μεταξύ τους θερμική ισορροπία». Ο συγκεκριμένος νόμος έθεσε τα θεμέλια για τη μελέτη της μεταφοράς και μετατροπής της ενέργειας καθώς και για τη διατύπωση των τριών νόμων της Θερμοδυναμικής (Morinière, 1988).

Αναφερόμενοι στις εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας και πάγου για αντλίες, θα λέγαμε πως οι εν λόγω εφαρμογές οριοθετούνται στο παράδειγμα του 2<sup>ου</sup> Θερμοδυναμικού νόμου, δηλαδή εκείνο της σβούρας που σταματάει την περιστροφική κίνηση της λόγω των τριβών.

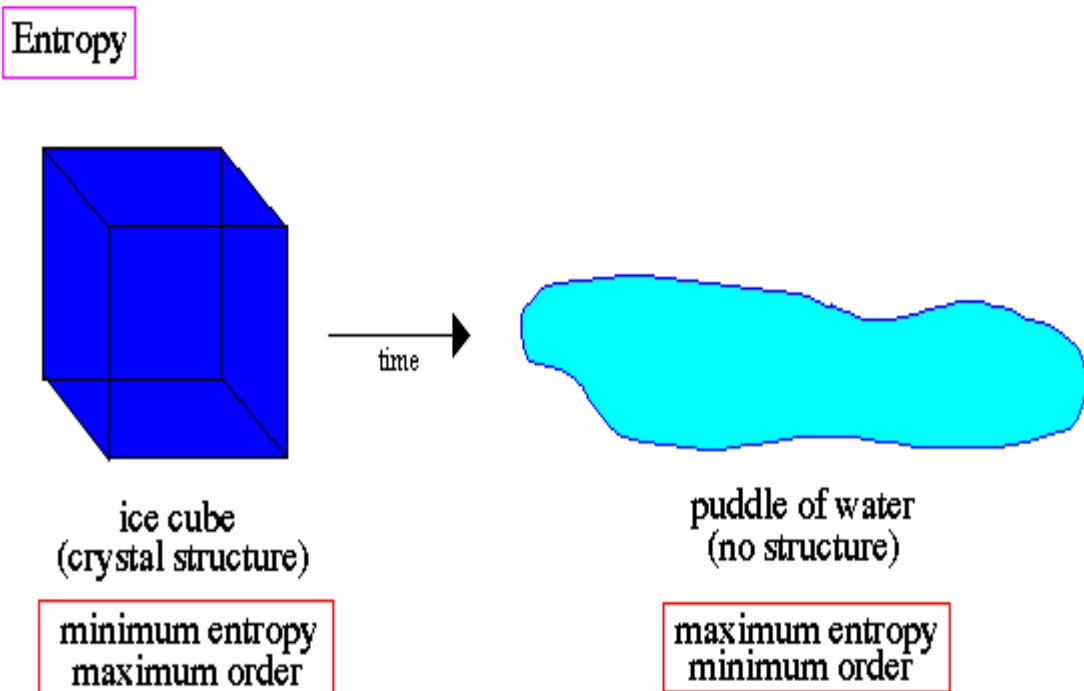
Οι τριβές -δηλαδή οι άτακτες συγκρούσεις των μορίων της σβούρας με τα μόρια του δαπέδου στο σημείο επαφής και με τα μόρια του αέρα που την περιβάλλει- παράγουν θερμότητα που μεταφέρεται και στη σβούρα και στο δάπεδο και στον αέρα (Καράγιωργας, 1996). Αυτή η θερμότητα παράγεται σε βάρος της κινητικής ενέργειας της σβούρας, η οποία τελικά σταματάει. Δεν σταματάει, όμως, η άτακτη κίνηση κάθε μορίου της σβούρας ή του αέρα ή του δαπέδου (Simmonds, 1994).

Αντίθετα, η κίνηση αυτή αυξάνεται λόγω της θερμότητας που απορροφήθηκε. Η αντίστροφη διαδικασία όμως δεν πραγματοποιείται. Τα μόρια του αέρα, του δαπέδου και της σβούρας δεν δίνουν πίσω τη θερμότητα ώστε η σβούρα ν' αρχίσει να περιστρέφεται μόνη της. Δηλαδή η θερμότητα δεν μπορεί να μετατραπεί σε κινητική ενέργεια. Το παράδειγμα αυτό μας δείχνει ότι οι διάφορες μορφές ενέργειας δεν είναι το ίδιο εύκολα διαθέσιμες ή καλύτερα μετατρέψιμες. Υπάρχει μια αναλογία με το σε τι νόμισμα έχει κανείς τα χρήματά του για να τα μετατρέψει σε άλλο νόμισμα (Drees, Braun, 1996).

Στην φύση όλες οι μεταβολές όταν γίνονται αυθόρμητα εξελίσσονται προς μια κατεύθυνση, αλλά όχι προς την αντίθετη, δεν είναι δηλαδή αντιστρεπτές, για παράδειγμα η θερμότητα ρέει πάντα από θερμό σε ψυχρό σώμα ή ένα αέριο

καταλαμβάνει πάντα όλο τον χώρο που του διατίθεται. Όταν αφήσουμε μία πέτρα να πέσει στο έδαφος, η δυναμική της ενέργεια, μετατρέπεται σε θερμότητα. Από εκεί όμως δεν μπορεί να «πάρει» θερμότητα από το έδαφος και να ξαναφτάσει στην αρχική της θέση. Αν ρίξουμε ζάχαρη στο νερό διαλύεται. Ποτέ όμως δεν παρατηρήθηκε να χωρίζεται ένα διάλυμα στα συστατικά του αυθόρμητα (Morinière, 1988).

Στη Θερμοδυναμική, ως ιδανικές θεωρούνται οι μεταβολές εκείνες που είναι αντιστρεπτές, μπορούν δηλαδή να πραγματοποιηθούν και προς τις δυο κατευθύνσεις. Για να είναι μία μεταβολή ενός συστήματος αντιστρεπτή πρέπει αυτό να βρίσκεται συνεχώς πολύ κοντά σε θερμοδυναμική ισορροπία και στο εσωτερικό του και με το περιβάλλον και οποιαδήποτε αλλαγή στην κατάστασή του να μπορεί να αντιστραφεί με μία απειροστή αλλαγή στις συνθήκες του συστήματος (παραμένοντας σε ισορροπία) (Καράγιωργας, 1996).



Σχήμα No.16: Χαρακτηριστικό παράδειγμα αύξησης της αταξίας των μορίων ενός συστήματος (ένα παγάκι που έχασε την κρυσταλλική του μορφή) με αποτέλεσμα την αύξηση της εντροπίας

Το Β' Θερμοδυναμικό αξίωμα καθορίζει την προτιμώμενη κατεύθυνση για κάθε αυθόρμητη φυσική μεταβολή. Αυτή είναι η κατεύθυνση στην οποία αυξάνεται η συνολική αταξία ή τυχαιότητα της προκύπτουσας κατάστασης, δηλαδή η συνολική εντροπία. Αν προσέξουμε, λοιπόν, διάφορα παραδείγματα, θα διαπιστώσουμε ότι σαν έργο, η ενέργεια βρίσκεται σε κατάσταση οργανωμένης κίνησης, ενώ στη θερμότητα η ενέργεια βρίσκεται σε κατάσταση χαώδους κίνησης (ανοργάνωτης). Είναι δυνατό βέβαια, ένα μέρος της χαώδους θερμικής κίνησης να μπει σε τάξη, αλλά η πλήρης οργάνωση της θερμικής κίνησης είναι τελείως απίθανη (Drees, Braun, 1996).

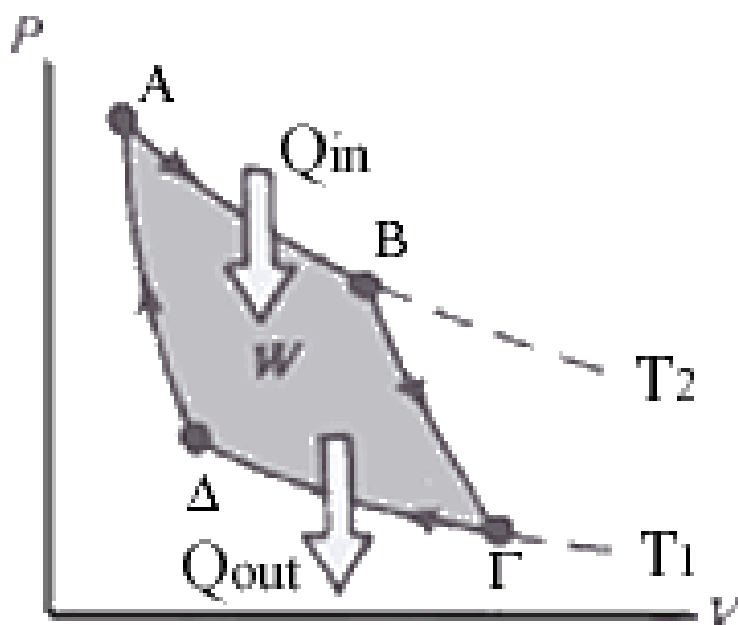
Ο 2ος θερμοδυναμικός νόμος πάει λίγο πιο πέρα και μας λει ότι η πλήρης μετατροπή της θερμότητας (ανοργάνωτη ενέργεια) σε έργο (οργανωμένη ενέργεια) είναι αδύνατη. Εκφράζει ακριβώς, μια γενική οικουμενική τάση για υποβάθμιση της ενέργειας.

Κοιτάζοντας γύρω μας, θα δούμε ότι κάθε φαινόμενο που συμβαίνει αυθόρμητα π.χ. το σπάσιμο ενός ποτηριού, η ανάμιξη δύο υγρών, η πτώση μιας πέτρας, γίνεται κατά

τρόπο που να πηγαίνουμε από κατάσταση μεγαλύτερης οργάνωσης σε κατάσταση μικρότερης οργάνωσης. Έτσι ο 2ος νόμος της θερμοδυναμικής μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: η κατεύθυνση κάθε αυθόρμητης μεταβολής ενός συστήματος είναι από κατάσταση μικρότερης αταξίας σε κατάσταση μεγαλύτερης αταξίας" (Morinière, 1988).

Σημαντικό ρόλο επίσης στις εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας και πάγου για αντλίες, «παίζει» και ο κύκλος Carnot. Το 1824 το ενδιαφέρον του Γάλλου μηχανικού Sadi Carnot (1796-1832) για τη βελτίωση της απόδοσης των ατμομηχανών, τον οδήγησε να σκεφτεί για την απόδοση μιας ατμομηχανής κατά ένα νέο ριζοσπαστικό τρόπο (Morinière, 1988).

Συμπέρανε ότι η μέγιστη απόδοση μιας θερμικής μηχανής η οποία απορροφά θερμότητα από μια δεξαμενή θερμοκρασίας  $T_2$ , και αποβάλλει θερμότητα σε μια άλλη δεξαμενή θερμοκρασίας  $T_1$ , είναι  $\eta = 1 - T_1/T_2$ . Με άλλα λόγια είναι αδύνατον να πάρουμε έργο από μια μόνο θερμική δεξαμενή. Ο κανόνας αυτός γνωρίζουμε ότι είναι συνέπεια του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι η απόδοση του κύκλου Carnot εξαρτάται από την υψηλότερη θερμοκρασία στον κύκλο, όπου όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η θερμική απόδοση.



Σχήμα No.17: Διάγραμμα P-V κύκλου Carnot

Η κυκλική αυτή διεργασία αποτελείται από δύο ισόθερμες και δύο αδιαβατικές μεταβολές. Πιο αναλυτικά (Καράγιωργας, 1996):

Διεργασία AB: Ισόθερμη εκτόνωση από το A στο B σε θερμοκρασία  $T_2$ . Η εντροπία μεταβάλλεται κατά  $Q_{in} / T_2$ , όπου  $Q_{in}$  η θερμότητα που ρέει προς το αέριο από το θερμοδοχείο.

Διεργασία BΓ: Αδιαβατική εκτόνωση από θερμοκρασία  $T_2$  σε θερμοκρασία  $T_1$ . Η μεταβολή της εντροπίας είναι μηδέν καθώς δεν μεταφέρεται θερμότητα.

Διεργασία ΓΔ: Ισόθερμη συμπίεση σε θερμοκρασία  $T_1$ . Το έργο που καταναλώνεται κατά το βήμα αυτό αντισταθμίζεται με την απόρριψη θερμότητας  $Q_{out}$  και η μεταβολή της εντροπίας είναι  $Q_{out} / T_1$ .



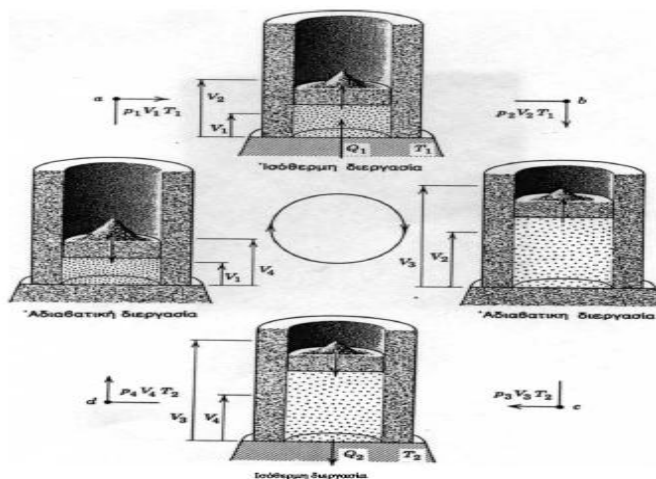
Διεργασία ΔΑ: Αδιαβατική συμπίεση από θερμοκρασία  $T_1$  σε θερμοκρασία  $T_2$ . Η μεταβολή της εντροπίας είναι μηδέν καθώς δεν μεταφέρεται θερμότητα.

Κυκλική ονομάζουμε τη μεταβολή κατά την οποία το σύστημα, μετά από μια διεργασία, επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Αδιαβατική ονομάζουμε εκείνη τη μεταβολή κατά την οποία δε συντελείται μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον προς το σύστημα ή αντίστροφα. Το έργο σε μια κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή είναι ίσο με το εμβαδόν που ορίζεται από τη γραμμή του διαγράμματος, στο διάγραμμα p-V (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).

Η απόδοση της μηχανής Carnot αποτελεί τη μέγιστη απόδοση οποιασδήποτε πραγματικής θερμικής μηχανής. Ο Carnot έδειξε τότε ότι καμιά θερμική μηχανή η οποία εργάζεται μεταξύ των ιδίων θερμοκρασιών, δεν μπορεί να έχει μεγαλύτερη απόδοση από τη μηχανή Carnot. Πως λοιπόν μεταβάλλεται η εντροπία μέσα στη θερμική μηχανή του Carnot; Κατά τη διαγραφή ενός κύκλου κατά τον οποίο οι μεταβολές είναι αντιστρεπτές – όπως ο κύκλος Carnot – η συνολική μεταβολή της εντροπίας - η μεταβολή της δηλαδή κατά τη «συμπλήρωση του κύκλου - είναι μηδέν. Μπορούμε να γράφουμε  $\Delta S = 0$  (Drees, Braun, 1996).

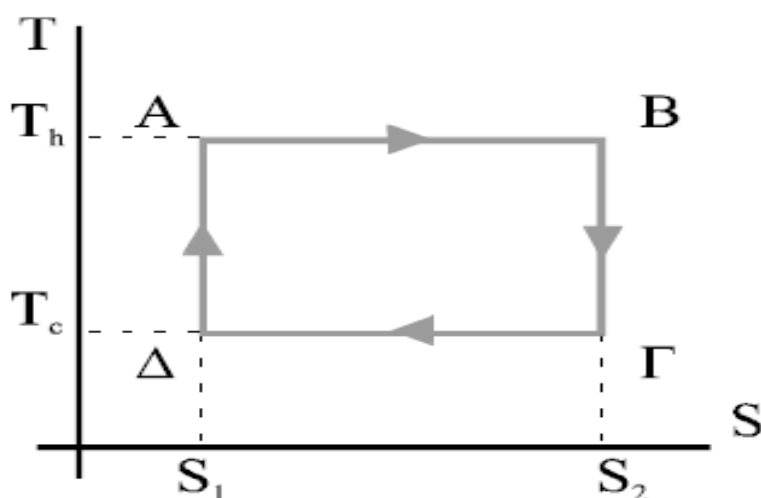
Ο κύκλος Carnot είναι ένας θεωρητικός κύκλος που λαμβάνεται ως μέτρο σύγκρισης για τους πραγματικούς θερμοδυναμικούς κύκλους άλλων μηχανών εσωτερικής καύσης. Η μηχανή του Carnot είναι μια θεωρητική εφαρμογή του ιδανικού θερμοδυναμικού κύκλου του Carnot. Η ιδεατή θερμική μηχανή Carnot λειτουργεί σε κύκλους κατά τους οποίους δεν αλλάζει η εσωτερική ενέργεια του ρευστού της μηχανής. Δεν είναι δηλαδή εφικτό στην πράξη να κατασκευαστή μια τέτοια τέλεια μηχανή. Οι θερμικές μηχανές υποβάλλουν ένα αέριο σε κυκλική μεταβολή κατά τη διάρκεια της οποίας 1) η μηχανή απορροφά θερμότητα ( $Q_h$ ) από μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας  $T_h$  2) η μηχανή παράγει έργο 3) Η μηχανή αποβάλλει θερμότητα ( $Q_c$ ) σε μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας  $T_c$  (Drees, Braun, 1996).

Ο κύκλος του Carnot είναι ένας θερμοδυναμικός κύκλος παρόμοιος με αυτόν που ακολουθεί ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης ή ένα κύκλωμα ψύξης σε ένα ψυγείο. Η διαφορά είναι ότι θεωρεί τις φάσεις της εκτόνωσης και της συμπίεσης ισεντροπικές, πως δηλαδή δεν αυξάνεται καθόλου η εντροπία του συστήματος, κάτι ουσιαστικά αδύνατο αφού υπάρχουν τριβές και απώλειες. Παρά την αμιγώς θεωρητική εφαρμογή ο κύκλος και η μηχανή του Carnot δίνουν πάντοτε το πάνω όριο στην αποδοτικότητα ενός θερμοδυναμικού κύκλου, αριθμό που προσπαθούμε να προσεγγίσουμε όσο το δυνατό περισσότερο, αν και στην πράξη η απόσταση είναι πάντα μεγάλη (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).



Σχήμα Νο.18: Σχηματική αναπαράσταση του βασικότερου θερμοδυναμικού κύκλου, του Carnot, σε ένα κλειστό σύστημα (κύλινδρο με άμμο, η οποία συμπιέζεται από ένα έμβολο). Οι διατάξεις κυλίνδρου-εμβόλου δείχνουν ενδιάμεσες φάσεις στις διεργασίες που συνδέουν διαδοχικά σημεία. Τα βέλη πάνω στα έμβολα υποδηλώνουν εκτονώσεις (που προκαλούνται με αφαίρεση άμμου) και συμπιέσεις (που προκαλούνται με προσθήκη άμμου).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα διαγράμματα με άξονες τη θερμοκρασία και την εντροπία του συστήματος. Σε ένα τέτοιο διάγραμμα η ισόθερμη μεταβολή παριστάνεται με ευθεία παράλληλη στον άξονα των εντροπιών και η αδιαβατική (που είναι ισοεντροπική) με ευθεία παράλληλη με τον άξονα των θερμοκρασιών. Το εμβαδόν που ορίζεται από το διάγραμμα και τον άξονα των εντροπιών θα δείχνει το ποσό της θερμότητας που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον.



Σχήμα Νο.19: Διάγραμμα T-S κύκλου Carnot.

Στο σχήμα φαίνεται το διάγραμμα T-S για ένα κύκλο Carnot. Το εμβαδόν του παραλληλογράμμου ΑΒΓΔ δείχνει το καθαρό ποσό της θερμότητας που πήρε το σύστημα στην κυκλική μεταβολή –δηλαδή το έργο που αποδίδεται σε ένα κύκλο- ενώ το εμβαδόν κάτω από την ΑΒ δείχνει το ποσό της θερμότητας που απορρόφησε το σύστημα. Από το διάγραμμα υπολογίζεται εύκολα ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής Carnot. Πράγματι,

$$e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} \quad \text{ή} \quad e = \frac{(T_h - T_c) \Delta S}{T_h \Delta S} \quad \text{ή} \quad e = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Άρα η απόδοση της μηχανής μπορεί να υπολογιστεί αν γνωρίζουμε είτε το ποσό θερμότητας είτε τη θερμοκρασία στην αρχική και τελική κατάσταση του κύκλου Carnot.

## Εφαρμογές των Συστημάτων Αποθήκευσης Ψυκτικής Ενέργειας και Πάγου

Τα συστήματα αποθήκευσης πάγου μπορούν να αναμειχθούν στην αρχιτεκτονική τοπίου με ιδέες που υπερβαίνουν το χώρο στάθμευσης. Όταν το σύστημα ψύξης για τη δεύτερη φάση του συγκροτήματος γραφείων της Plaza Robles στη Κόστα Ρίκα ήταν σε εξέλιξη παρατήρησαν ότι η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος δεν ήταν αρκετή για τους επιπλέον ψυκτικούς θαλάμους που θα χρησιμοποιούσαν. Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας με σύστημα πάγου ήταν η απάντηση. Η προσθήκη του συστήματος εκτιμάται ότι εξοικονομεί πάνω από 100000 δολάρια ετησίως σε λειτουργικά έξοδα.

Περιλαμβάνει πηνία θερμικής αποθήκευσης bac ice chiller σε δεξαμενή σκυροδέματος χωρητικότητας 2376 τόνων. Το έργο αποτελείται από συστήματα πρωτογενούς συστήματος κλιματισμού (HVAC) με 2 ψύκτες 207 τόνων ο καθένας που ψύχονται από 2 ψυκτικούς πύργους.

Η αφιέρωση του χώρου σε αυτό το ακριβό κτιριακό συγκρότημα δεν ήταν επιλογή, οι κύριοι αρχιτέκτονες τοποθέτησαν τη δεξαμενή αποθήκευσης, υπόγεια στο παρκινγκ στη μέση της πλατείας γραφείων και από πάνω δημιούργησαν μια διακοσμητική βρύση στην κορυφή. Το σύστημα λειτουργεί πολύ επιτυχώς εδώ και αρκετά χρόνια από τη λειτουργία του.

Το ποιο ενδιαφέρον είναι ότι κανείς δεν το γνωρίζει ότι μια δεξαμενή αποθήκευσης πάγου βρίσκεται στη καρδιά της πλατείας του συγκροτήματος.

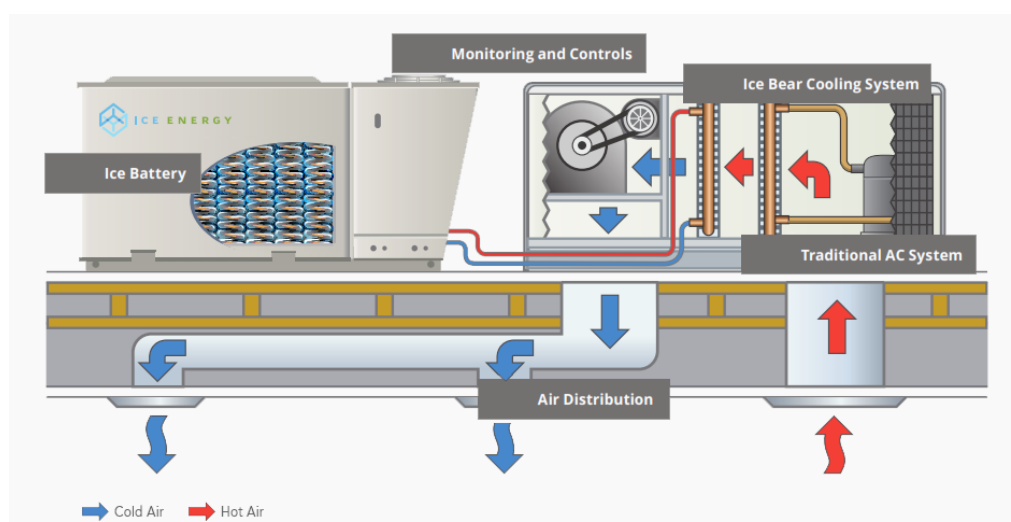


Σχήμα No.20: Συγκρότημα Plaza Robles όπου κάτω από το σιντριβάνι που διακρίνεται είναι τοποθετημένο το σύστημα αποθήκευσης πάγου.

Μια εταιρεία με έδρα τη Santa Barbara η οποία ονομάζεται Ice energy ετοιμάζεται να παραδώσει 1800 μπαταρίες πάγου σε εμπορικά και βιομηχανικά κτήρια που εξυπηρετούνται από ηλεκτρική εταιρεία. Οι μονάδες αναμένεται να μειώσουν του λογαριασμούς κλιματισμού έως και 40% και να εξαλείψουν 200000 τόνους CO<sub>2</sub> τα επόμενα 20 χρόνια.

Όπως οι μπαταρίες με αντλίες αποθήκευσης ή μπαταρίες πεπιεσμένου αέρα, το ice battery αποθηκεύει ουσιαστικά ηλεκτρική ενέργεια αντλώντας ενέργεια από το

σύστημα σε ώρες μη αιχμής για να παγώσει το νερό στη δεξαμενή. Στη συνέχεια σε ώρες αιχμής, όταν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ψιλό και οι χειριστές του δικτύου προσπαθούν να διατηρήσουν τη ζήτηση τα συστήματα ice battery χτυπούν και χρησιμοποιούν αυτό το μπλοκ πάγου για να ψύξουν το χώρο που κανονικά λειτουργεί η μονάδα κλιματισμού. Παρόλο που το σύστημα δεν αποθηκεύει ενέργεια όπως η μπαταρία ιόντων λιθίου, αντλεί ενέργεια για να φορτίσει και να αντικαταστήσει την ενέργεια που θα χρειαζόταν για να τρέξει μια μονάδα κλιματισμού όταν εκφορτίζεται. Οι συμπιεστές καταναλώνουν ενέργεια και όταν μια πόλη όπως το Λος Άντζελες υποφέρει από ένα κύμα καύσωνα. Οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου πρέπει να ανταποκριθούν στη ζήτηση και, για να το κάνουν αυτό, θα στραφούν συχνά στις προσθήκες καύσης ορυκτών καυσίμων όπως οι μονάδες πεπιεσμένου φυσικού αερίου, οι οποίες μπορούν να μεταφερθούν στο διαδίκτυο σχετικά γρήγορα. Αν όμως τα τοπικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας πίσω από το δίκτυο μπορούν να καλύψουν τις πρόσθετες ανάγκες ενός σπιτιού ή επιχείρησης προτού να στραφούν στο δίκτυο, αυτό μειώνει τη ζήτηση που θα έπρεπε να πληρούν οι χειριστές δικτύου.



Σχήμα Νο.21: Γραφικό σχήμα συστήματος ice battery από την εταιρεία ice energy για εναλλακτική ψύξη χώρου.

Στο ινστιτούτο Τεχνολογίας του Dundalk οι δεξαμενές πάγου αιολικής ενέργειας παράγουν τη νύκτα και δροσίζουν τις αίθουσες κατά τη διάρκεια της μέρας. Ένα σύστημα θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης μεγιστοποιεί τη ποσότητα ανανεώσιμης ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο χώρο του κτιρίου του πανεπιστημίου. Το πανεπιστήμιο φιλοξενεί μια ανεμογεννήτρια 850 kw που εγκαταστάθηκε το 2005 που είναι ο μεγαλύτερος εμπορικός τουρμπίνας σε μια πανεπιστημιούπολη σύμφωνα με την Dundalk. Ο στρόβιλος παράγει περίπου 1500 MWh για τη πανεπιστημιούπολη ετησίως αλλά επειδή η διαθεσιμότητα αιολικής ενέργειας δε ταιριάζει πάντα με τις ώρες αιχμής της ζήτησης, η ενέργεια πωλείται πίσω στο δίκτυο. Μετά τον εξοπλισμό μόνο ενός κτηρίου με το σύστημα αποθήκευσης πάγου, το πανεπιστήμιο χρησιμοποιεί σήμερα το 79% της ενέργειας που παράγει. Οκτώ δεξαμενές πάγου εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου PJ Carroll η κάθε μια με χωρητικότητα 160 τόνων ανά ώρα ψυκτικού νερού και όγκο 6,25 m<sup>3</sup> πάγου. Με μεγαλύτερη χωρητικότητα ψύξης σε σχέση με την αποθήκευση κρύου νερού οι τράπεζες πάγου λειτουργούν με το ψυκτικό συγκρότημα όταν υπάρχει υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια από το στρόβιλο και κυκλοφορούν κρύο νερό καθώς λιώνει ο πάγος κατά τη διάρκεια της μέρας.



Το πανεπιστήμιο σχεδιάζει να ανακαινίσει τα υπόλοιπα 64.000 m<sup>2</sup> του κτιρίου PJ Carroll και οι υπολογισμοί ενεργειακής μοντελοποίησης δείχνουν ότι η συνέχιση του συνδυασμού αποθήκευσης πάγου με την αιολική ενέργεια θα μπορούσε να εξασφαλίσει ότι το 96% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου ικανοποιείται από την παραγόμενη ενέργεια.



Σχήμα No.22: Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Dundalk.

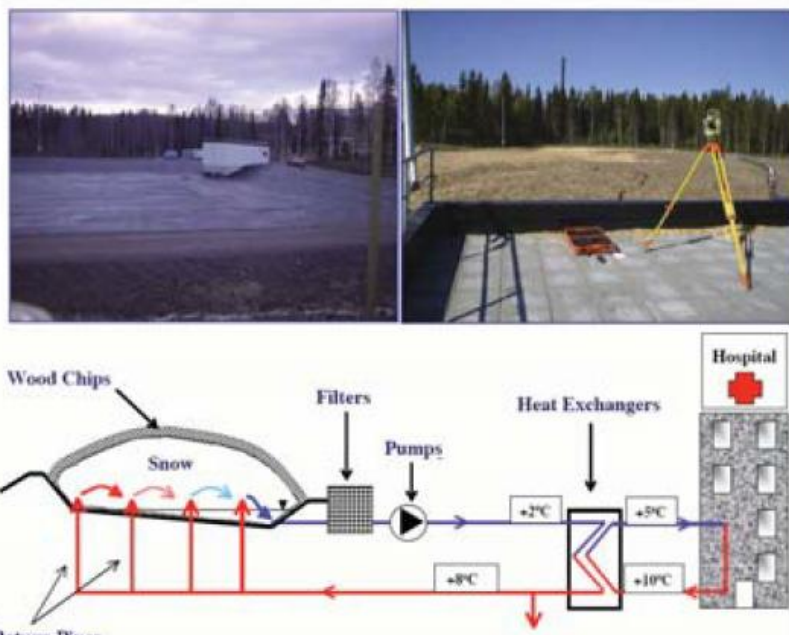


Σχήμα No.23: Δεξαμενές πάγου εγκαταστημένες στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Dundalk.

Μια άλλη παρόμοια ιδέα είναι η εποχιακή αποθήκευση πάγου ή χιονιού για μια μεγάλη μονάδα παραγωγής ενέργειας. Μια μεγάλη ποσότητα πάγου μπορεί να ληφθεί από ένα ποτάμι ή μια επιφάνεια της λίμνης ή απλά από την κατάψυξη του γλυκού νερού κατά τη διάρκεια της κρύας εποχής. Αυτός ο πάγος αποθηκεύεται στη συνέχεια σε ένα μεγάλο θερμομονωτικό σύστημα. Κατά τη διάρκεια του καυτού καλοκαιριού, ο πάγος αναμιγνύεται με ζεστό νερό ψύξης για ένα σύστημα ψύξης κατά τη διάρκεια της ζωής του ή χρησιμοποιείται για την ψύξη του συμπυκνωτή ατμού για ένα ξηρό σύστημα ψύξης για να μειωθεί η αντίθλιψη του συμπυκνωτή. Η αυξημένη θερμική απόδοση και η υψηλότερη τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο μέγιστο χρόνο θα

μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα μεγάλο ποσό εσόδων μειώνοντας παράλληλα τη θερμική ρύπανση.

Πολλοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής βρίσκονται σε χώρους με ψυχρούς χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια. Με την υπερθέρμανση του πλανήτη, ο πολύ ζεστός καιρός μπορεί να γίνει πιο κοινός. Τα εποχιακά ITS μπορούν να αποτελέσουν μια πιθανή λύση για τα ζητήματα ψύξης θερμότητας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Τα εποχικά συστήματα αποθήκευσης πάγου / χιονιού χρησιμοποιήθηκαν για την περιφερειακή ψύξη και την αποθήκευση λαχανικών. Το σύστημα ψύξης χιονιού μπορεί παρέχουν 2MWt μέγιστη ισχύ ψύξης για μια ζήτηση ψύξης στο νοσοκομείο. Το σχήμα 10 δείχνει το σχήμα της λίμνης πάγου σύστημα ψύξης που χρησιμοποιείται για ψύξη αποθήκης γεωργικών προϊόντων.<sup>12</sup> Ο πάγος σχηματίζεται στρώμα από το στρώμα με ψεκάζοντας το νερό σε μια λίμνη πάγου κατά τη διάρκεια του κρύου χειμώνα.



Σχήμα Νο.24: Μονάδα αποθήκευσης πάγου/χιονιού.

## **Πλεονεκτήματα που Προσφέρονται στα Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες**

Η ψύξη με θερμική αποθήκευση με πάγο σε, μπορεί να είναι η πιο αποδοτική και αξιόπιστη προσέγγιση συστήματος για τα γραφεία ψύξης, τα σχολεία, τα νοσοκομεία, τα εμπορικά κέντρα και άλλα κτίρια και παρέχει σταθερή πηγή υγρών χαμηλής θερμοκρασίας για εφαρμογές ψύξης της διαδικασίας. Τα συστήματα αυτά είναι επίσης φιλικά προς το περιβάλλον, επειδή συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Ωστόσο αναφέρονται σημαντικά πλεονεκτήματα στη χρήση των συστημάτων αποθήκευσης πάγου για αντλίες, ως εξής.

### Μεγαλύτερη Εξοικονόμηση:

Τα συστήματα με θερμική αποθήκευση πάγου και χρήση διαφόρων τύπων αντλιών, μπορούν να εγκατασταθούν με το ίδιο ή χαμηλότερο κόστος από τα παραδοσιακά συστήματα όταν σχεδιάζονται με το ψυχρότερο νερό τροφοδοσίας που διατίθεται από τον πάγο (Drees, Braun, 1996). Οι εξοικονομήσεις που προκύπτουν από τη χρήση μικρότερων ψυκτικών συγκροτημάτων και πύργων ψύξης σε διαφορετικά είδη αντλιών, μειωμένα μεγέθη αντλιών και σωλήνων και μειωμένη ιπποδύναμη αντισταθμίζουν το κόστος του εξοπλισμού θερμικής αποθήκευσης πάγου. Πρόσθετη εξοικονόμηση μπορεί να βρεθεί όταν χρησιμοποιείται χαμηλότερη θερμοκρασία διανομής αέρα, η οποία επιτρέπει μειωμένο αγωγών και μεγέθη ανεμιστήρα (Morinière, 1988).

### Μικρότερα ψυκτικά συγκροτήματα και εξοπλισμός απόρριψης θερμότητας:

Με το σχεδιασμό του συστήματος γύρω από την λειτουργία 24ωρου ψυκτικού μέσου ημερησίως σε διαφορετικά είδη αντλιών, το μέγεθος των ψυκτικών συγκροτημάτων και των ψυκτικών πύργων ή των αερόψυκτων συμπυκνωτών που απαιτούνται για ένα σύστημα πάγου μειώνεται σημαντικά σε σύγκριση με τους συμβατικούς ψύκτες και την απόρριψη θερμότητας Εξοπλισμό μεγέθους για το στιγμιαίο φορτίο αιχμής. Ένας τυπικός σχεδιασμός θερμικής αποθήκευσης περιλαμβάνει ψύκτες που παρέχουν το 50 με 60 τοις εκατό του μέγιστου φορτίου ψύξης. Η ισορροπία της απαίτησης ψύξης παρέχεται από το σύστημα αποθήκευσης πάγου.

#### Μειωμένα μεγέθη αντλιών και σωλήνων

Τα μεγέθη αντλιών και σωλήνων μειώνονται επίσης σε ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα αποθήκευσης πάγου. Σημαντική εξοικονόμηση στον βρόχο διανομής κρύου νερού πραγματοποιείται όταν ο σχεδιασμός του συστήματος ενσωματώνει μειωμένους ρυθμούς ροής που προκύπτουν από τη χρήση ενός μεγαλύτερου εύρους θερμοκρασίας στον βρόχο νερού. Η χρήση ενός μεγαλύτερου εύρους θερμοκρασίας, για παράδειγμα 18°F (10°C) αντί της πιο παραδοσιακής θερμοκρασίας 10°F (5.5°C), έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των σωλήνων. Τα μεγέθη του σωλήνα νερού συμπυκνωτή μειώνονται λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων ροής για το μικρότερο ψυκτικό συγκρότημα. Εξοικονόμηση της αντλίας λόγω της μείωσης του ρυθμού ροής του ψυχρού νερού και του νερού συμπυκνωτή πραγματοποιούνται επίσης (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).

Μειωμένο πηνίο ψύξης και μεγέθη ανεμιστήρα αέρα τροφοδοσίας

Οι ρόδες ψύξης που έχουν μέγεθος μικρότερης θερμοκρασίας και οι παραδοσιακές θερμοκρασίες του αέρα τροφοδοσίας είναι γενικά μικρότεροι λόγω λιγότερων σειρών. Η μείωση των σειρών οδηγεί σε χαμηλότερο ανεμιστήρα hp (kW).

Μειωμένος εξοπλισμός διαχείρισης αέρα

Όταν η διανομή αέρα έχει σχεδιαστεί με χαμηλές θερμοκρασίες αέρα, μειώνεται το μέγεθος του αγωγού, οι ανεμιστήρες και οι ανεμιστήρες.

Μειωμένη ηλεκτρική διανομή:

Οι μικρότεροι ψύκτες, ο εξοπλισμός απόρριψης θερμότητας και οι αντλίες απαιτούν λιγότερη ιπποδύναμη από ένα παραδοσιακό σύστημα, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μικρότερους μετασχηματιστές, διακόπτες, μεγέθη καλωδίων και πίνακες εκκίνησης.

Μειωμένο μέγεθος γεννήτριας:

Εάν η εγκατάσταση διαθέτει γεννήτρια για ημερήσια ή εφεδρική ισχύ, το μέγεθος της γεννήτριας θα μειωθεί σημαντικά όταν το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο της εγκατάστασης μειωθεί με την αποθήκευση πάγου.

Μειωμένο Κόστος Ενέργειας:

Ένα σύστημα θερμικής αποθήκευσης πάγου μειώνει την αιχμή της ζήτησης, αλλάζει τη χρήση ενέργειας σε ώρες εκτός αιχμής, εξοικονομεί ενέργεια και μειώνει το κόστος ενέργειας σε διαφορετικά είδη αντλιών.

Μειώνει τη μέγιστη ζήτηση και τη μετατόπιση της κατανάλωσης ενέργειας:

Με λιγότερη συνδεδεμένη ιπποδύναμη, η αποθήκευση πάγου σε διαφορετικά είδη αντλιών, μπορεί να μειώσει την αιχμή της ηλεκτρικής ζήτησης για το σύστημα ψύξης HVAC ή για διαδικασία ψύξης κατά 50% ή περισσότερο. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι ηλεκτρικοί ρυθμοί περιλαμβάνουν τις χρεώσεις της ζήτησης κατά τους χρόνους αιχμής της ζήτησης ή / και τις υψηλότερες ημέρες έναντι των χρεώσεων νυκτερινής μονάδας kWh, η εξοικονόμηση ηλεκτρικών λογαριασμών μπορεί να είναι σημαντική (Drees, Braun, 1996).

Τα μέγιστα ποσοστά ηλεκτρικής ζήτησης ύψους \$15 έως \$18 ανά kW δεν είναι ασυνήθιστα. Σε περιοχές με "τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο", όπου ο ηλεκτρικός ρυθμός κυμαίνεται ανά ώρα ανά ώρα με βάση την αγοραία τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος ημέρας / νύχτας σε kWh μπορεί να κυμαίνεται από 500 έως 1.000%. Η χρήση ηλεκτρισμού τη νύχτα σε σχέση με τις ώρες αιχμής της ημέρας μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες εξοικονομήσεις από λογαριασμούς ενέργειας .

Επιπλέον Εξοικονόμηση Ενέργειας:

Επιπλέον, οι συνολικές ετήσιες κιλοβατώρες που χρησιμοποιούνται είναι λιγότερες όταν σχεδιάζεται το σύστημα εκμεταλλευόμενοι τη χαμηλή θερμοκρασία νερού που διατίθεται από το σύστημα αποθήκευσης πάγου. Η χαμηλότερη κατανάλωση kWh είναι δυνατή για πέντε λόγους:

Παρόλο που η παραγωγή πάγου απαιτεί περισσότερη ενέργεια από την παραγωγή κρύου νερού, η ποινή απόδοσης δεν είναι τόσο μεγάλη όσο ο πάγος κατασκευάζεται



τη νύχτα όταν οι θερμοκρασίες συμπύκνωσης είναι χαμηλότερες, αυξάνοντας την απόδοση του ψυκτικού συγκροτήματος.

Τα συστήματα πάγου τυπικά λειτουργούν με το πλήρες φορτίο του ψυκτικού συγκροτήματος. Τα ψυκτικά συγκροτήματα είναι αναποτελεσματικά όταν λειτουργούν με χαμηλά φορτία κατά τη διάρκεια της άνοιξης και της πτώσης. Ένα τυπικό ψυκτικό συγκρότημα θα λειτουργεί σε λιγότερο από 30% για το ήμισυ του έτους.

Μειωμένη ιπποδύναμη άντλησης.

Μειωμένη ιπποδύναμη ανεμιστήρα λόγω χαμηλότερης πτώσης πίεσης αέρα σε όλο το ψυκτικό πηνίο. Μια υψηλότερη διαφορά θερμοκρασίας ψυχρού ύδατος κατά μήκος του ψυκτικού πηνίου συνήθως έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες σειρές και συνεπώς χαμηλότερη πτώση πίεσης.

Η δυνατότητα ανάκτησης της απόβλητης θερμότητας από το ψυκτικό συγκρότημα για θέρμανση νερού τόσο νύχτα όσο και τη μέρα.

Κατάλληλη εξοικονόμηση kWh είναι δυνατή εάν η διανομή αέρα έχει σχεδιαστεί για να επωφεληθεί από τις χαμηλές θερμοκρασίες που είναι διαθέσιμες από το σύστημα αποθήκευσης πάγου. Δεδομένου ότι η βιομηχανία ηλεκτρικού ρεύματος συνεχίζει να απελευθερώνει και τα ποσοστά του χρόνου χρήσης, τα χρονοδιαγράμματα χρέωσης σε πραγματικό χρόνο και οι διαπραγματευόμενες τιμές ισχύος καθίστανται πρότυπες, η αποθήκευση πάγου μπορεί να προσφέρει ακόμα μεγαλύτερες εξοικονομήσεις στο λειτουργικό κόστος (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).

#### Σταθερή θερμοκρασία τροφοδοσίας ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις της στιγμιαίας ζήτησης ψύξης:

Η ροή και η θερμοκρασία εισόδου νερού ρυθμίζουν την στιγμιαία χωρητικότητα. Διαθέσιμη χωρητικότητα διαθέσιμη όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος ένας ψυκτικός συγκρότημα. (Κάντε κλικ στο διάγραμμα για μεγεθυμένη προβολή).

#### Βελτιωμένη Αξιοπιστία του Συστήματος:

Τα συστήματα αποθήκευσης παρέχουν την απαιτούμενη αξιοπιστία για να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα κλιματισμού. Με τα παραδοσιακά συστήματα, η εγκατάσταση πολλαπλών ψυκτών παρέχει πλεονασμό. Σε περίπτωση μηχανικής βλάβης ενός ψυκτικού συγκροτήματος, το δεύτερο ψυκτικό συγκρότημα παρέχει περιορισμένη ικανότητα ψύξης. Η μέγιστη διαθέσιμη ψύξη για το παραδοσιακό σύστημα θα ήταν μόνο 50 τοις εκατό σε μια ημέρα σχεδιασμού (Καράγιωργας, 1996). Τα περισσότερα συστήματα αποθήκευσης πάγου χρησιμοποιούν δύο ψυκτικά συγκροτήματα εκτός από τον εξοπλισμό αποθήκευσης πάγου. Δύο ψυκτικοί θάλαμοι έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν περίπου το 60 τοις εκατό της απαιτούμενης ψύξης σε μια ημέρα σχεδιασμού ενώ η αποθήκευση πάγου παρέχει το υπόλοιπο 40 τοις εκατό της χωρητικότητας ψύξης. Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένας ψυκτικός συγκροτητήρας για την παροχή ψύξης κατά τη διάρκεια της ημέρας, είναι διαθέσιμο το 70% της χωρητικότητας ψύξης. Ο ένας εύχρηστος ψύκτης παρέχει το 30% της απαίτησης ψύξης, ενώ ο πάγος παρέχει έως 40% (Drees, Braun, 1996).

Με βάση τα τυπικά χαρακτηριστικά φορτίου HVAC και τα καιρικά δεδομένα, το 70% της χωρητικότητας ψύξης θα ικανοποιούν τις συνολικές ημερήσιες απαιτήσεις ψύξης 85 τοις εκατό του χρόνου.

### Ενισχυμένη Συντήρηση:

Τα σπειροειδή θερμικά αποθηκευτικά πηνία δεν έχουν κινούμενα μέρη, επομένως απαιτείται ελάχιστη συντήρηση. Επειδή ο ψύκτης, οι αντλίες και ο εξοπλισμός απόρριψης θερμότητας είναι μικρότεροι, τα συστήματα αποθήκευσης πάγου θα έχουν λιγότερη συντήρηση από ένα παραδοσιακό σύστημα. Το σύστημα θερμικής αποθήκευσης πάγου επιτρέπει επίσης σε ένα ψυκτικό συγκρότημα να υποβληθεί σε συνήθη συντήρηση κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά την οποία η αποθήκευση πάγου μπορεί να χειριστεί το φορτίο του συστήματος.

### Περιβαλλοντική Προστασία και Φιλοσοφία:

Η κατανάλωση ενέργειας και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας τη νύχτα, συμβάλλει στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τη νύχτα γενικά έχει χαμηλότερο ρυθμό θέρμανσης (χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου ανά ισχύ) και συνεπώς χαμηλότερα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που οδηγούν σε μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη .

Η Επιτροπή Ενέργειας Καλιφόρνιας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η χρήση ηλεκτρισμού τη νύχτα δημιούργησε μείωση 31% στις ατμοσφαιρικές εκπομπές λόγω της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με μικρότερα ψυκτικά συγκροτήματα, ένα σύστημα θερμικής αποθήκευσης πάγου μειώνει την ποσότητα ψυκτικού σε ένα σύστημα. Χρησιμοποιώντας μικρότερες ποσότητες ψυκτικού μέσου συμβάλλει επίσης στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

## **2. Κεφάλαιο Δεύτερο : Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου σε Διαφορετικά Είδη Αντλιών.**

Τα συστήματα ψυχρής θερμικής αποθήκευσης ενέργειας (CTES) με βάση το πάγο έχουν προσελκύσει μεγάλη προσοχή τις τελευταίες δεκαετίες. Οι λόγοι είναι κυρίως οικονομικοί και με περιβαλλοντικό χαρακτήρα. Σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα ψύξης και κλιματισμού χωρίς ψυκτική αποθήκευση θερμικής ενέργειας, η εφαρμογή του CTES θα αυξήσει τα περιβαλλοντικά πρότυπα και τη συνολική αποδοτικότητα των ενεργειακών συστημάτων, καθώς συμβάλλει στη σταδιακή εξάλειψη των συνθετικών ψυκτικών μέσων και μειώνει τα φορτία αιχμής στα ηλεκτρικά δίκτυα.

Για την εφαρμογή ψυκτικών εγκαταστάσεων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις ψύξης και συστήματα HVAC στη βιομηχανία και στον κατασκευαστικό τομέα, είναι απαραίτητο να υπάρχουν κατάλληλα εργαλεία σχεδιασμού ώστε να είναι επαρκώς ακριβή για να προβλέπουν την απόδοσή τους.

Ένα σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας αφαιρεί θερμότητα ή προσθέτει θερμότητα σε ένα μέσο αποθήκευσης για να καλύψει ένα φορτίο του συστήματος σε άλλη χρονική στιγμή. Βασικά διαχωρίζει την παραγωγή θέρμανσης ή ψύξης από τη χρήση του χρόνου. Αυτό επιτρέπει τη μετακίνηση της θέρμανσης ή της ψύξης σε περιόδους όπου οι συνθήκες είναι πιο ευνοϊκές. Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας κατά κύριο λόγο ταξινομούνται σύμφωνα με το επίπεδο θερμοκρασίας στο οποίο χρησιμοποιείται η αποθηκευμένη ενέργεια. Εάν χρησιμοποιείται αποθηκευμένη ενέργεια για σκοπούς θέρμανσης, η θερμική αποθήκευση αναφέρεται ως αποθήκευση θερμικής ενέργειας και εάν χρησιμοποιείται για ψύξη, η θερμική αποθήκευση αναφέρεται ως ψυκτική αποθήκευση θερμικής ενέργειας.

### **Διαφορετικοί Τύποι Αντλιών και Διαφορετικές Περιπτώσεις Συστημάτων Αποθήκευσης Πάγου**

Αναφερόμενοι στους διαφορετικούς τύπους αντλιών στις περιπτώσεις αποθήκευσης πάγου, θα λέγαμε σχετικά πως τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας αλλά και αποθήκευσης πάγου (TES) είναι παρόμοια με τα συστήματα αποθήκευσης κρύου νερού, όπου βασίζονται στον πάγο αντί για το κρύο νερό, ως μέσο αποθήκευσης.

Τα συστήματα αποθήκευσης πάγου χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά από τα συστήματα κρύου νερού, λόγω του ότι είναι πιο σύνθετα και λιγότερο αποδοτικά, αλλά προσφέρουν τη μεγαλύτερη πυκνότητα αποθήκευσης εξαιτίας της χρήσης διαφορετικών αντλιών.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης πάγου είναι περίπου 75% μικρότερες από τις δεξαμενές κρύου νερού και κατά συνέπεια χρησιμοποιούνται συχνότερα σε μικρά εμπορικά κτίρια με περιορισμένο χώρο. Τα συστήματα αποθήκευσης πάγου μπορούν επίσης να παράγουν κρύο νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα μικρότερες αντλίες κρύου νερού, σωληνώσεις και πηνία.

Ωστόσο, τα συστήματα αποθήκευσης πάγου χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια για να δημιουργήσουν πάγο και συνεπώς διαφορετικούς τύπους αντλιών, είναι πιο περίπλοκα στο σχεδιασμό και συχνά είναι πιο ακριβά για εγκατάσταση και λειτουργία. Η επιλογή της τεχνολογίας αποθήκευσης πάγου σε διαφορετικά είδη

αντλιών, εξαρτάται συχνά από παράγοντες όπως η επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος, ο υπάρχων εξοπλισμός του ψυκτικού συγκροτήματος, ο διαθέσιμος χώρος, η σχέση κόστους / απόδοσης και οι προτιμήσεις του σχεδιαστή της εγκατάστασης.

Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως κατά τις ώρες εκτός αιχμής των θερμικών ή ψυκτικών συστημάτων, το ψυκτικό συγκρότημα ψυκτικού συστήματος δημιουργεί πάγο ή παγώνει το μέσο αποθήκευσης (λειτουργία "φόρτισης") μέσω της χρήσης διαφορετικών ειδών αντλιών. Ένας ψύκτης συστήματος αποθήκευσης πάγου σε διαφορετικά είδη αντλιών, λειτουργεί σε υψηλότερη τιμή kW / ton από ένα συμβατικό ψύκτη AC, επειδή απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να δημιουργήσει πάγο παρά για να ψύξει το νερό.

Όταν υπάρχει φορτίο ψύξης κατά τη διάρκεια των περιόδων κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο πάγος στη δεξαμενή αποθήκευσης αφήνεται να λιώσει και το κρύο νερό αντλείται από τη δεξαμενή αποθήκευσης στους 32°F και κυκλοφορεί μέσω των γραμμών κρύου νερού του συστήματος ψύξης ("εκφόρτιση" τρόπος). Το ψυχρό νερό κυκλοφορεί στα υπάρχοντα πηνία ψυχρού ύδατος του συστήματος διαχείρισης αέρα για να κρυώσει ο χώρος.

Ωστόσο σημαντικό ρόλο στα παραπάνω κατέχουν και οι τύποι συστημάτων αποθήκευσης πάγου. Η αποθήκευση πάγου είναι ένας τύπος τεχνολογίας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας . Η τεχνολογία TES για παράδειγμα, είναι ο πιο δημοφιλής τρόπος για την εφαρμογή της στρατηγικής διαχείρισης της ζήτησης από πλευράς ζήτησης, γνωστής ως "Μόνιμη Μετατόπιση φορτίου" .

## **Συνδυασμός συστημάτων αποθήκευσης πάγου που υφίστανται συγχρόνως και σε συστήματα παροχής θερμότητας.**

### Θερμική αντίσταση σε όλο το πηνίο.

Το μοντέλο προσομοίωσης του εξωτερικού συστήματος τήξης πάγου με πηνίο μπορεί να χωριστεί σε άμεση και έμμεση προσομοίωση. Στην άμεση προσομοίωση το σύστημα διαμορφώνεται ως συστατικό του εξατμιστή, ενώ σε έμμεση προσομοίωση η δεξαμενή αποθήκευσης πάγου μπορεί να διαμορφωθεί ως στοιχείο ενός εναλλάκτη θερμότητας.

Ένα μοντέλο άμεσης προσομοίωσης θερμικής αποθήκευσης πάγου που περιέχει ένα λεπτομερές μοντέλο μεταφοράς θερμότητας από τη δεξαμενή αποθήκευσης στο ψυκτικό μέσο αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο δικτύου με σχεδόν σταθερή θερμική αντίσταση. Μετά από διεργασίες στο θέμα επέκτειναν το έργο αναπτύσσοντας ένα ποιο αποτελεσματικό μοντέλο, χρησιμοποιώντας τη τεχνική συστήματος θερμικής αντίσταση σε όλο το πηνίο.

Ένας άλλος ερευνητής ο Silver ανέπτυξε ένα άλλο μοντέλο χρησιμοποιώντας τη τεχνική του δικτύου θερμικής αντίστασης.

Ο Silver διαίρεσε τα πηνία σε περιορισμένα τμήματα και ο λόγος είναι ότι η ποσότητα ψυκτικού δυναμικού και η ποσότητα ανταλλαγής θερμότητας του εξατμιστή αλλάζουν ανάλογα με το πάχος του πάγου και την θερμοκρασία εξάτμισης. Στο μοντέλο αυτό η χωρητικότητα του εξατμιστή είναι ίση με την ονομαστική χωρητικότητα του συμπιεστή οπότε δεν μπορεί να αναπαράγει ακριβώς τη δυναμική απόδοση του συστήματος αποθήκευσης πάγου σε πηνίο. Το πρόβλημα με το μοντέλο είναι η απουσία πληροφοριών όπως το μήκος σωλήνα και έτσι οι χρήστες πρέπει να εκτιμήσουν τις προδιαγραφές της δεξαμενής, πράγμα που καταστρέφει την ακρίβεια του μοντέλου. Ως προς το νέο μοντέλο έμμεσης δεξαμενή αποθήκευσης, η χωρητικότητα του ψυκτικού συγκροτήματος τροποποιήθηκε από τη θερμοκρασία της άλμης που αλλάζει λόγω της αλλαγής θερμοκρασίας του νερού και της ισορροπίας θερμότητας μεταξύ της μεταφοράς θερμότητας στο πηνίο και του ψυκτικού συγκροτήματος. Ωστόσο αυτά τα μοντέλα προσομοίωσης όταν δοθούν ορισμένες παράμετροι ως εισροές δεν μπορούν να προσομοιώσουν μια πραγματική συναρμολογημένη δεξαμενή αποθήκευσης πάγου πλήρους ανάμιξης.

### Σύστημα αποπάγωσης.

Έρευνες για συνδυασμένα ηλιακά συστήματα και συστήματα αντλιών θερμότητας έχουν διεξαχθεί εδώ και πολλά χρόνια. Ωστόσο, μόνο τα τελευταία χρόνια διαπιστώθηκε σημαντική αύξηση του αριθμού εγκατεστημένων συστημάτων στις ευρωπαϊκές αγορές.

Ο Ruschenburg εξέτασε 88 εταιρείες και διαπίστωσε ότι οι περισσότερες από αυτές εισήλθαν στην αγορά τα τελευταία χρόνια και ένα μεγάλο μερίδιο από αυτές βρίσκονταν στη Γερμανία και την Αυστρία.

Στόχος ήταν να εκτιμηθεί η απόδοση και η συνάφεια αυτών των συστημάτων, να δοθεί ένας κοινός ορισμός των δεικτών απόδοσης και να συμβάλει στην επιτυχή διείσδυση των συστημάτων αυτών στην αγορά.

Από την άποψη της ιδέας του συστήματος, τα συνδυασμένα ηλιακά συστήματα και συστήματα αντλιών θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν ως παράλληλα, σειριακά, αναγεννητικά ή σε συνδυασμό αυτών.

Στα συστήματα αυτά η αντλία θερμότητας μπορεί να έχει διάφορες πηγές, δηλαδή ηλιακή, αέρα και λύματα. Η αποθήκευση πάγου χρησιμοποιείται σε εφαρμογές θέρμανσης ως πηγή για την αντλία θερμότητας και φορτώνεται από το ηλιακό πεδίο ή από άλλες πηγές θερμότητας, π.χ. θερμότητας αποβλήτων. Αυτό το πεδίο εφαρμογής αναφέρεται μερικές φορές στον κλάδο ως ηλιακός πάγος. Η αποθήκευση πάγου που προσομοιώνεται εδώ είναι ένα συνδυασμένο παράλληλο και σειριακό σύστημα με ηλιακή ενέργεια, αέρα και λύματα ως πηγές για την αντλία θερμότητας.

Το σύστημα αποθήκευσης πάγου που χρησιμοποιείται εδώ βασίζεται σε εμβαπτισμένους πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας με μια έννοια αποπάγωσης. Η έννοια αποπάγωσης χρησιμοποιείται κυρίως για τη βελτίωση της απόσυρσης θερμότητας στον εναλλάκτη θερμότητας.

Η ιδέα που παρουσιάζεται εδώ είναι κάπως παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται στα συστήματα συγκομιδής πάγου για εφαρμογές ψύξης όπου ο πάγος παράγεται από μια ροή νερού που πέφτει σε πτώση στον ψυκτήρα και απελευθερώνεται με διακεκομμένη θέρμανση χρησιμοποιώντας ένα θερμό αέριο.

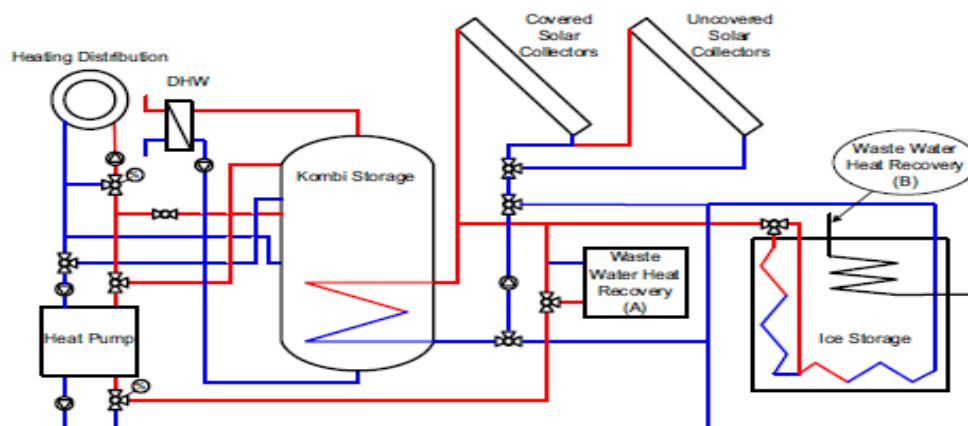
Με την έννοια που χρησιμοποιείται εδώ, χρησιμοποιώντας εναλλάκτες θερμότητας μόνο στο κάτω τμήμα της αποθήκευσης, είναι δυνατόν να μειωθεί σημαντικά η περιοχή εναλλάκτη θερμότητας που απαιτείται στην αποθήκευση πάγου.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα στρώματα πάγου που αποθηκεύονται χαοτικά στην επιφάνεια και ότι συνεπώς υπάρχει κάποιο νερό μεταξύ των πλωτών στρωμάτων πάγου, εκτιμάται ότι περίπου το 70% της αποθήκευσης μπορεί να παγώσει.

Η ιδέα του συστήματος λαμβάνει επίσης υπόψη τους εναλλάκτες θερμότητας στους τοίχους κατά μήκος του ύψους της αποθήκης. Χρησιμεύουν κυρίως για τη χρήση της αποθηκευμένης θερμότητας που συσσωρεύεται κατά τις θερινές περιόδους στο πάνω μέρος της αποθήκης για την προετοιμασία του χώρου θέρμανσης (SH) και την προετοιμασία ζεστού νερού χρήσης (ζεστό νερό) το φθινόπωρο.

Τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας λυμάτων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εφαρμογή αυτή λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της αποθήκευσης πάγου το χειμώνα και λόγω του γεγονότος ότι το σύστημα παρέχει θερμότητα σε στιγμές που άλλες πηγές (ήλιος, ατμοσφαιρικός αέρας) μπορεί να μην έχουν σημαντική συνεισφορά. Η θερμότητα αναμένεται όχι μόνο να αυξήσει την απόδοση του συστήματος, αλλά και να αποκτήσει ένα σύστημα πιο ανεξάρτητο για το ζεστό νερό χρήσης.

Η καθημερινή χρήση του ζεστού νερού χρήσης είναι εξαρτώμενη από τον χρήστη και η απόδοση του συστήματος μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από το προφίλ φόρτισης της ζεστού νερού. Επομένως, με τη δυνατότητα ανάκτησης αυτής της θερμότητας, αναμένεται η απόδοση του συστήματος να εξαρτάται λιγότερο από την ποσότητα κατανάλωσης ζεστού νερού.



Σχήμα No.25: Σύστημα αποθήκευσης πάγου με ηλιακό συλλέκτη.

## Χαρακτηριστικά των Εν Λόγω Συστημάτων και Απαιτήσεων

### Αντλίας

Τα συστήματα αποθήκευσης ψυχρού ύδατος με σκοπό την δημιουργία πάγου και εύθικτου άλατος, χρησιμοποιούν τους τυπικούς ψύκτες ύδατος που λειτουργούν στις συμβατικές θερμοκρασίες των συστημάτων κλιματισμού. Αυτές οι τεχνολογίες αποθήκευσης γενικά εφαρμόζονται σε συστήματα με σχετικά μεγάλα ψυκτικά φορτία, όπου συνήθως χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικοί ψύκτες (Simmonds, 1994). Οι τεχνολογίες του εσωτερικά τηκόμενου πάγου σε σωλήνες, ή αντλίες, του εγκλωβισμένου πάγου και σε μερικές περιπτώσεις του εξωτερικά τηκόμενου πάγου σε σερπαντίνα χρησιμοποιούν συγκροτήματα ψυκτών, τα οποία επιλέγονται για να ψύξουν δευτερεύοντα ψυκτικά υγρά σε θερμοκρασίες δημιουργίας πάγου. Σε αυτές τις τεχνολογίες τυπικά χρησιμοποιούνται ψύκτες με εμβολοφόρους, κοχλιωτούς ή σπειροειδής συμπιεστές, εξοπλισμένους με πίνακες αυτοματισμού "διπλής ψύξης" (Drees, Braun, 1996).

Τα συστήματα θρυμματοποίησης πάγου χρησιμοποιούν ετοιμοπαράδοτα ή συνθετημένα ψυκτικά συγκροτήματα με ειδικά σχεδιασμένα τμήματα εξατμιστών για τη δημιουργία και θρυμματοποίηση πάγου. Συστήματα εξωτερικής τήξης πάγου μπορούν, επίσης, να εγκατασταθούν με συνθετημένες ψυκτικές μονάδες, όπου το ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται ως το εργαζόμενο μέσο.

### **3. Κεφάλαιο Τρίτο : Παράδειγμα Σχεδιασμού Συστήματος Αποθήκευσης Πάγου σε Αντλίες**

#### **Καταγραφή και Χαρακτηριστικά του Εν Λόγω Παραδείγματος**

Η επιτυχία της θερμικής αποθήκευσης πάγου σε εφαρμογές κτιρίων γραφείων έχει λάβει μεγάλη δημοσιότητα και έκθεση στις μέρες μας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα στην εν λόγω περίπτωση. Η θερμική αποθήκευση πάγου σε αντλίες, εφαρμόστηκε επίσης με επιτυχία σε όλους τους τύπους κτιρίων για πολλούς από τους ίδιους λόγους που εργάζονται σε κτίρια γραφείων, αφού έχει χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και δυνατότητα εξάλειψης των απωλειών θέρμανσης και ψύξης.

Σε αυτό το μέρος της εργασίας, περιγράφουμε μια νέα ιδέα αποθήκευσης θερμότητας με πάγο σε αντλίες που συνδυάζει το πλεονέκτημα θερμοκρασίας χαμηλών θερμοκρασιών ψύχους των εξωτερικών συστημάτων τήξης με τα πλεονεκτήματα κλειστού συστήματος ενός εσωτερικού τήγματος.

Οι εξοικονομήσεις πραγματοποιούνται από μικρότερα αγωγούς, μικρότερους ανεμιστήρες, καθώς και λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και αυξημένο χρηστικό χώρο. Το κόστος λειτουργίας μειώνεται όταν το σύστημα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται τους ηλεκτρικούς ρυθμούς χαμηλής νυκτερινής ώρας και να έχει την ευελιξία να προσαρμόζεται στις αλλαγές των μέγιστων ηλεκτρικών ρυθμών.

Δυστυχώς, παρά τα πλεονεκτήματα, ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια που καθυστέρησαν την ευρεία χρήση αυτής της τεχνολογίας, ήταν ο φόβος των σχεδιαστών συστημάτων να έχουν ένα ανοιχτό σύστημα που ενσωματώνει σύστημα θερμικής ενέργειας με πάγο σε αντλίες.

Ωστόσο, ένας νέος καινοτόμος σχεδιασμός συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας πάγου-πηνίου επιτρέπει τώρα στους σχεδιαστές να επωφελούνται από τη θερμική αποθήκευση πάγου χαμηλής θερμοκρασίας που προσφέρεται από ένα εξωτερικό σύστημα τήγματος διατηρώντας ταυτόχρονα ένα σύστημα κλειστού βρόχου στην πλευρά του φορτίου όπως προσφέρεται από ένα Εσωτερική τήξη μία.

Η χρήση νερού χαμηλής θερμοκρασίας από την αποθήκευση πάγου σε αντλίες, επιτρέπει την εξοικονόμηση σωληνώσεων, αντλιών και εξοπλισμού αερισμού. Ένα σύστημα αποθήκευσης πάγου με θερμοκρασίες νερού και νερού επιστροφής 36°F (2°C) και 54°F (13°C) σε σχέση με ένα παραδοσιακό σύστημα. Χρησιμοποιώντας τους 44°F (7°C) έως τους 54°F (13°C) απαιτεί σχεδόν το ήμισυ της ροής του νερού, αντλία BHP και μικρότερες σωλήνες. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιείται επίσης ανεμιστήρας χαμηλής θερμοκρασίας [45°F (7°C)] σε σχέση με την παραδοσιακή παροχή αέρα (13°C)].

Προηγουμένως, ο σχεδιασμός του συστήματος για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας επέτρεπε στον μηχανικό, είτε να έχει ένα ανοιχτό σύστημα (εξωτερικό τήγμα) που παρέχει θερμοκρασία νερού ψύξης (34°F / 1°C) από το εργοστάσιο στο σύστημα είτε για να έχουμε ένα κλειστό σύστημα (εσωτερικό τήγμα) που τροφοδοτεί γλυκόλη σε σχετικά υψηλότερη θερμοκρασία (37°F/3°C), ο εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ της πλευράς γλυκόλης και της πλευράς φορτίου παρήγαγε επίσης μια άλλη προσέγγιση θερμοκρασίας. Ήταν πάντα μια απόφαση ή / και ένας συμβιβασμός μεταξύ θερμοκρασίας και συστήματος.

Με ένα νέο σχεδιασμό συστήματος, οι αποφάσεις αυτές δεν είναι πλέον απαραίτητες. Όπως φαίνεται στο Σχήμα Νο.6, ο σχεδιασμός του συστήματος διαθέτει δύο ξεχωριστά τμήματα: ένα τμήμα πηνίου κατασκευής πάγου και ένα άλλο τμήμα πηνίου



που τήκεται με πάγο. Ο πάγος είναι χτισμένος σε ώρες εκτός αιχμής με κυκλοφορία γλυκόλης από το ψυκτικό συγκρότημα στο πηνίο. Κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, ο πάγος αυτός τήκεται με την κυκλοφορία του ζεστού νερού από το κτίριο μέσω των πτερυγίων πτερυγίων. Τα πτερύγια με πτερύγια βυθίζονται στο νερό κατάψυξης και κατά συνέπεια μεταφέρουν τη θερμότητα από το ζεστό νερό που κυκλοφορεί με την τήξη περισσότερου πάγου στη δεξαμενή.



Το σύστημα ελέγχου για το σύστημα που φαίνεται στο σχήμα κατευθύνει τις λειτουργίες έξι τρόπων λειτουργίας:

- Κατασκευή πάγου μόνο
- Ψύξη με ψύκτη μόνο
- Ψύξη με ψύκτη και πάγο
- Ψύξη μόνο με πάγο
- Αναμονή
- Κατασκευή πάγου και ψύξη.

Ο επεξεργαστής ελέγχου προγραμματίζεται να ενεργοποιεί το ισχύον τρόπο λειτουργίας βασισμένο σε χρονοδιάγραμμα που ταιριάζει με την ηλεκτρική χρήση του χρονοδιαγράμματος διευκόλυνσης και ρυθμού χρησιμότητας. Ο επεξεργαστής επικοινωνεί με την μικροπλακέτα του ψυκτικού συγκροτήματος, η οποία παρέχει πληροφορίες για τη λειτουργία των ψυκτικών συγκροτημάτων. Ο μικροεπεξεργαστής διασυνδέεται επίσης με το Σύστημα Αυτοματισμού Κτιρίων (BAS) για τη λήψη του απαιτούμενου σήματος ψύξης.

Οι τρόποι λειτουργίας είναι οι εξής :

#### Μόνο τη δημιουργία πάγου

- Ο ψύκτης λειτουργεί σε μειωμένο σημείο ρύθμισης (19 ° F / -7 ° C ρυθμιζόμενο) για να κάνει πάγο. Το καθορισμένο σημείο ορίου φόρτωσης του ψυκτικού συγκροτήματος θα ρυθμιστεί στο 100% (μέγιστη απόδοση).
- Το σύστημα ελέγχου λειτουργεί για να τοποθετήσει τη βαλβίδα γλυκόλης έτσι ώστε η πλήρης ροή ψυχρής γλυκόλης να κατευθύνεται μέσω του πηνίου πάγου για να δημιουργηθεί πάγος. Η βαλβίδα είναι τοποθετημένη έτσι ώστε να κατευθύνει την πλήρη ροή της ψυχρής γλυκόλης που εξέρχεται από το πηνίο πάγου

#### Εσωτερική εναντίον εξωτερικής θερμικής αποθήκευσης Ice-on-Coil

Στα εσωτερικά συστήματα τήξης, ο πάγος είναι χτισμένος γύρω από τα πηνία περνώντας ψυχρά κύματα γλυκόλης στους σωλήνες λιώνει πάγο κατά τη διάρκεια του φορτίου αιχμής. Ο πάγος τήκεται από το εσωτερικό προς τα έξω.

Στο εξωτερικό σύστημα τήξης, ο πάγος είναι χτισμένος γύρω από τα πηνία περνώντας ψυχρό ψυκτικό μέσο Απευθείας μέσα στους σωλήνες. Η αντλία νερού είναι απενεργοποιημένη. Η λειτουργία κατασκευής πάγου συνεχίζεται μέχρις ότου ένας αισθητήρας παγοπροστασίας υποδεικνύει πλήρη φόρτιση πάγου ψύξης μόνο με ψυκτικό συγκρότημα.

Όποτε εκείνος που λειτουργεί το σχετικό μηχάνημα, επιλέγει την απαιτούμενη ψύξη και το προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα, δείχνει την ψύξη με λειτουργία μόνο ψυκτικού συγκροτήματος, ο επεξεργαστής ελέγχου μετακινεί τη βαλβίδα γλυκόλης για να κατευθύνει όλη την παγωμένη γλυκόλη γύρω από το πηνίο πάγου και τη βαλβίδα νερού για πλήρη ροή στον εναλλάκτη θερμότητας χωρίς ροή μέσω της δεξαμενής πάγου:

- Η αντλία γλυκόλης θα λειτουργήσει
- Η αντλία κρύου νερού είναι ενεργοποιημένη.

Το μικροπλάνο του ψυκτικού συγκροτήματος θα ρυθμίζει τη θερμοκρασία του ψυγμένου υγρού που αφήνει τα ψυκτικά συγκροτήματα στη θερμοκρασία εκτόξευσης των 41°F (5°C). Το ψυκτικό συγκρότημα θα λειτουργεί με ισχύ που δεν θα υπερβαίνει την προκαθορισμένη ζήτηση αιχμής.

#### Ψύξη με ψύκτη και πάγο

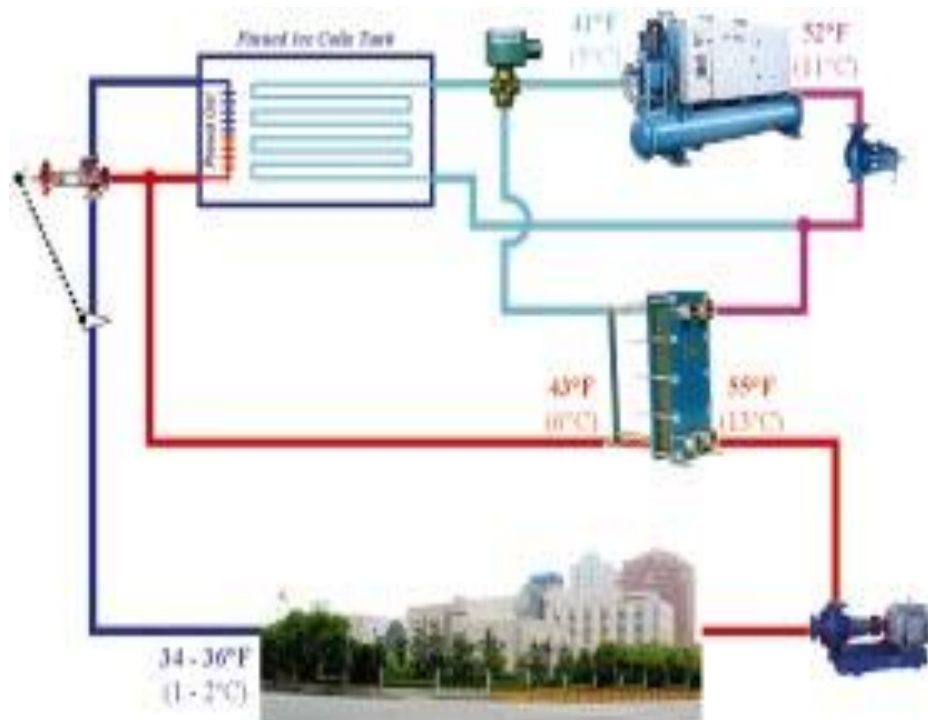
Όποτε εκείνος που λειτουργεί το σχετικό μηχάνημα, επιλέγει την απαιτούμενη ψύξη και το χρονοδιάγραμμα δείχνει τη λειτουργία ψύξης και πάγου, ο αισθητήρας θερμοκρασίας στη βαλβίδα κρύου νερού θα λειτουργήσει για να ρυθμίσει τη ροή μέσω πηνίου πάγου για τη διατήρηση νερού στο κτίριο 36°F (2°C). Επίσης,

Η βαλβίδα θα ανοίξει πλήρως στον εναλλάκτη θερμότητας.

Η αντλία γλυκόλης θα λειτουργήσει

Η αντλία κρύου νερού θα ενεργοποιηθεί

Στο φορτίο αιχμής το συνολικό φορτίο ψύξης επιτυγχάνεται με την συνδυασμένη λειτουργία του ψυκτικού συγκροτήματος γλυκόλης και την εξάντληση της αποθήκευσης πάγου. Σε συνθήκες μερικού φορτίου, η λειτουργία του ψυκτικού συγκροτήματος θα μειωθεί αυτόματα.



Σχήμα Νο.26: Σχηματικό σύστημα που επιτρέπει τον πάγο να ικανοποιήσει τη ζήτηση. Ψύξη μόνο με πάγο

Κάθε φορά εκείνος που λειτουργεί το σχετικό μηχανήμα, επιλέγει την απαιτούμενη ψύξη και το χρονοδιάγραμμα δείχνει μόνο τη λειτουργία πάγου, ο επεξεργαστής ελέγχου θα λειτουργήσει για να απενεργοποιήσει τον ψύκτη και θα αφήσει τον πάγο να παρέχει πλήρη ψύξη.

Κανονικά, καθώς το ψυκτικό συγκρότημα δεν λειτουργεί, οι αντλίες γλυκόλης δεν θα λειτουργούν. Η αντλία κρύου νερού είναι ενεργοποιημένη. Όταν εκείνος που λειτουργεί το σχετικό μηχανήμα, υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει ψύξη και το χρονοδιάγραμμα δεν είναι σε λειτουργία κατασκευής πάγου, το σύστημα ελέγχου θα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής.

Σε αυτή τη λειτουργία, ο ψυκτικός και ο ψυκτικός εξοπλισμός θα είναι απενεργοποιημένοι. Όποτε το χρονοδιάγραμμα κατασκευής πάγου είναι ενεργό και το σήμα της επιθυμητής ψύξης λαμβάνεται από το σύστημα BAS, ο επεξεργαστής ελέγχου θα ρυθμίσει τη βαλβίδα κρύου νερού να ανοίξει ελαφρά κάτω από τον έλεγχο του αισθητήρα θερμοκρασίας ώστε να εκτρέψει μέρος του Ροή για την παροχή ψύξης κτιρίων. Η θερμοκρασία του νερού παροχής του κτιρίου πρέπει να διατηρείται στους 36°F (2°C)

Το σύστημα διαχείρισης πάγου λειτουργεί για να τοποθετήσει τη βαλβίδα γλυκόλης έτσι ώστε η πλήρης ροή της ψυχρής γλυκόλης να κατευθύνεται μέσω του πηνίου πάγου για να δημιουργηθεί πάγος

Η αντλία γλυκόλης λειτουργεί για να μετακινήσει κανείς τη παγωμένη γλυκόλη μέσω του ψυκτικού συγκροτήματος στην πηνίο. Κατά την επιλογή των μέσων ψύξης, είναι απαραίτητο να επιλέξει κανείς μέσα με καλή απόδοση κορεσμού. Επίσης, για μια καλή σχεδίαση, η ροή του αέρα στα μέσα ενημέρωσης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη. Τα συστήματα αυτά είναι σίγουρα μια βιώσιμη επιλογή όταν ο στόχος του ατόμου είναι "Δυνατότητα απόκτησης χωρίς δαπανηρούς πόρους". Για τους σχεδιαστές, το σύστημα αυτό επιτρέπει την πραγματική βελτιστοποίηση του συστήματος και την οικονομική ανάλυση της μηχανικής. Όσο για τους χειριστές, τους παρέχει ευελιξία στη λειτουργία, καθώς και την ικανότητα να ανταποκρίνονται

σε υψηλές στιγμιαίες κορυφές στο φορτίο ή για να φιλοξενήσουν το υψηλό φορτίο έλξης.

Η χρήση της νέας υβριδικής σχεδίασης του συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας προσφέρει Περισσότερα οφέλη, διευκολύνοντας παράλληλα τη διαδικασία σχεδιασμού του μηχανικού. Ο νέος σχεδιασμός του συστήματος προσφέρει στους σχεδιαστές την επιλογή να έχουν πλήρως την πλευρά του νερού σχεδιασμένη ως κλειστός βρόχος. Αυτό εξασφαλίζει ευκολότερη ισορροπία του συστήματος και διευκολύνει την θέση σε λειτουργία αργότερα.

Η ιδέα του κλειστού συστήματος εξασφαλίζει επίσης μια ευκολότερη συντήρηση του κλιματισμού και ενός καθαρότερου συστήματος. Χρησιμοποιώντας το νέο σχεδιασμό υβριδικού συστήματος προσφέρει μια λύση all-in-one. Παρέχει τη δυνατότητα χρήσης κλειστού σχεδιασμού συστήματος, παρέχοντας χαμηλή θερμοκρασία κρύου νερού που προσεγγίζει τους 34°F (1°C). Αυτό εξασφαλίζει το χαμηλότερο αρχικό κόστος του συστήματος και τα λειτουργικά έξοδα. Πράγματι, είναι το "καλύτερο και των δύο κόσμων" στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

## Τρόπος Λειτουργίας Αποθήκευσης Πάγου στο Συγκεκριμένο Σύστημα

Αποτελεί γεγονός στις μέρες μας πως οι διαφορετικές μορφές ενέργειας που μπορούν να αποθηκευτούν περιλαμβάνουν τη μηχανική, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην Α' κατηγορία το χαρακτηριστικό είναι η μορφή της ενέργειας και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση που αποθηκεύεται, ενώ στη Β' κατηγορία η διάρκεια της αποθήκευσης.

### Μέθοδοι Αποθήκευσης Πάγου – Α' κατηγορία

Οι μορφές με τις οποίες η ενέργεια και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, μπορεί να αποθηκευτεί είναι η μηχανική, η θερμική, η χημική, η βιολογική και η μαγνητική.

Στην αποθήκευση πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μια ουσία με την αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας της (με τη μορφή αισθητής θερμότητας) ή με την αλλαγή της φάσης της (με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας) (Simmonds, 1994).

Ακόμη, στη θερμική αποθήκευση και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε τη θερμοχημική αποθήκευση, αφού και εκεί η συναλλασσόμενη ενέργεια εισέρχεται και εξέρχεται από το αποθηκευτικό σύστημα με τη μορφή της θερμότητας.

Παραδείγματα θερμικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας για νυχτερινή θέρμανση, η αποθήκευση της καλοκαιρινής θερμότητας για τη χρήση της το χειμώνα, η αποθήκευση του χειμωνιατικού πάγου για τον καλοκαιρινό κλιματισμό. Ένα άλλο είδος συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς θερμαντές (θερμοσυσσωρευτές) για την παραγωγή θερμότητας τη νύχτα, που το κόστολόγιο της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερο και την αποθηκεύει στη δομική μάζα των υλικών του κτιρίου ή σε υλικά του εδάφους ή ακόμη σε κεραμικά υλικά που βρίσκονται σε καλά μονωμένες δεξαμενές, για την ημερήσια απόδοσή της.

Με παρόμοιο τρόπο στα συστήματα αποθήκευσης ψύξης γίνεται νυχτερινή παραγωγή πάγου, όταν δηλαδή δεν απαιτείται και αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί για τον κλιματισμό χώρων την επόμενη μέρα όταν αυτό απαιτηθεί. Στις μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας μέσω αεριοστρόβιλων, τα συστήματα αποθήκευσης ψύξης χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στην ψύξη του αέρα περιβάλλοντος πριν εισέλθει στο συμπιεστή κυρίως κατά τους θερινούς μήνες που πέφτει η απόδοση του συστήματος.

Παρατηρούμε, λοιπόν, από τις εφαρμογές των συστημάτων αυτών ότι διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στη βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων στα οποία υφίστανται καθώς εξομαλύνουν τις διαφορές ανάμεσα στην παραγωγή και τη ζήτηση του φορτίου.

## Μέθοδοι Αποθήκευσης Πάγου – Β' κατηγορία

Ανάλογα με τη διάρκεια αποθήκευσης και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας διαχωρίζονται σε μικρής, μεσαίας και μεγάλης διάρκειας. Η μικρής διάρκειας αποθήκευση χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει τις αιχμές της ζήτησης ενός ενεργειακού συστήματος για λίγες ώρες σε μια ημέρα.

Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται το μέγεθος του ενεργειακού συστήματος, το κεφάλαιο της επένδυσης, οι θερμικές απώλειες, και οι μονάδες παραγωγής της ενέργειας. Η μεσαίας ή μεγάλης διάρκειας αποθήκευση συστήνεται όταν η περισσευούμενη θερμική ενέργεια ή το εποχιακό ενεργειακό κέρδος αντίστοιχα, μπορεί να μεταφερθεί με μία καθυστέρηση από μερικές εβδομάδες έως μερικούς μήνες. Η μεγάλης διάρκειας αποθήκευση που εκμεταλλεύεται τις ετήσιες κλιματικές αλλαγές συχνά αναφέρεται σαν εποχιακή αποθήκευση.

Το βασικό χαρακτηριστικό της εποχιακής αποθήκευσης είναι η πολύ μεγάλη χωρητικότητα που απαιτείται σε σχέση με την ημερήσια αποθήκευση ενέργειας. Οι θερμικές απώλειες γίνονται πολύ σημαντικές για τη εποχιακή αποθήκευση αφού πρόκειται για μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η κατηγοριοποίηση κριτηρίων για την επιλογή του συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας βάση κάποιων κύριων χαρακτηριστικών του συστήματος όπως ο χρόνος αποθήκευσης η κατάσταση του αποθηκευτικού μέσου κ.λ.π. (Morinière, 1988)

Το κύριο χαρακτηριστικό ενός συστήματος αποθήκευσης θερμότητας και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, είναι ότι η βασική είσοδος και έξοδος του είναι θερμική ενέργεια. Η αποθήκευση μπορεί να γίνει τόσο σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και σε υψηλές. Με τον όρο χαμηλές, εννοούμε θερμοκρασίες που δεν ξεπερνούν το κανονικό σημείο βρασμού του νερού (100°C), π.χ. ηλιοθερμικά συστήματα για παράγωγη ζεστού νερού χρήσης η συνδυασμένου κύκλου λειτουργίας παράγωγης ΖΝΧ και υποβοήθησης στο σύστημα θέρμανσης (ενδοδαπεδια θέρμανση) ενώ με τον όρο υψηλές θερμοκρασίες, εννοούμε μεγαλύτερες από 250°C. Πχ ηλιοθερμικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ειδικότερα, ένα σύστημα αποθήκευσης και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Να είναι συμπαγές, να έχει μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης ανά μονάδα μάζας και όγκου.
- Να διαθέτει μεγάλη απόδοση αποθήκευσης.
- Να διαθέτει μέσο αποθήκευσης με τις κατάλληλες ιδιότητες στη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας.
- Να διατηρεί ομοιόμορφη θερμοκρασία.
- Ικανότητα φόρτισης και εκφόρτισης με το μεγαλύτερο ρυθμό εισόδου/ εξόδου θερμότητας, αλλά χωρίς θερμοκρασιακή βαθμίδα.
- Πλήρης αντιστρεπτότητα.
- Ικανότητα να υποστεί ένα μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς απώλειες στην απόδοση και τη χωρητικότητα αποθήκευσης.
- Αμελητέες θερμικές απώλειες στο περιβάλλον.
- Υψηλή ταχύτητα φόρτισης/ εκφόρτισης.
- Μακρά διάρκεια ζωής.
- Χαμηλό κόστος.
- Μη διαβρωτικό.

Να μην υπάρχουν κίνδυνοι πυρκαγιάς και τοξικότητας (παράμετροι ασφάλειας). Ωστόσο, πέρα από τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει το σύστημα αποθήκευσης και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, σημαντικό ρόλο έχουν και οι προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληροί το υλικό αποθήκευσης που χρησιμοποιείται:

- Υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα.
- Υψηλή θερμική διάχυση.
- Υψηλό ειδικό βάρος.
- Να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως θερμικό και ψυκτικό μέσο.
- Χημική και γεωμετρική σταθερότητα.
- Να μην είναι εύφλεκτο, να μην διαβρώνει και να μην είναι τοξικό.
- Να έχει χαμηλή πίεση ατμών (στην περίπτωση αερίου).
- Να έχει χαμηλό κόστος, τόσο αυτό όσο και το δοχείο που θα το περιέχει.
- Να είναι ικανοποιητικής μηχανικής αντοχής.
- Το φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας του να είναι ευρύ.

Μία άλλη συνιστώσα που πρέπει να εξεταστεί είναι η βέλτιστη θερμική χωρητικότητα της θερμικής αποθήκης. Ειδικά για τις ηλιακές εφαρμογές, η χωρητικότητα της ενεργειακής αποθήκης βασίζεται στα εξής:

1. Στην αναμενόμενη και χρονικά μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία.
2. Στο μέγεθος και τις μεταβολές των ενεργειακών αναγκών.
3. Στο βαθμό αξιοπιστίας που πρέπει να έχει η εγκατάσταση.
4. Στη διαθέσιμη βοηθητική ενεργειακή πηγή.
5. Στην οικονομική ανάλυση, η οποία θα καθορίσει τι ποσοστό από τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες θα καλύψει το ηλιακό σύστημα και τι η βοηθητική πηγή.

Η θερμότητα και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, μπορεί να αποθηκευτεί σε μεμονωμένα στερεά υλικά ή σε υγρά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και η ανάκτηση της ενέργειας αυτής να γίνει με ικανοποιητική απόδοση. Η αποθήκευση θερμότητας, όταν δε γίνεται σε χημικά συστήματα (δηλαδή με αμφίδρομες αντιδράσεις), πραγματοποιείται με δύο τρόπους (Dress, Braun, 1996). Ο ένας αφορά αποθήκευση σε ένα μέσο με μεγάλη θερμοχωρητικότητα (αισθητή θερμότητα) και στον άλλο εκμεταλλευόμαστε τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης ή εξαέρωσης διαφόρων χημικών ουσιών.

Μέσα αποθήκευσης που προτάθηκαν είναι το νερό, πέτρες και διάφορα ένυδρα άλατα. Το νερό είναι ένα μέσο, το οποίο οπωσδήποτε προτιμάται εξαιτίας του μικρού κόστους όταν η θερμότητα που αποθηκεύεται πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες μικρότερες των 100ο C. Άλλα υλικά που μελετώνται για αποθήκευση θερμότητας είναι τα χαλίκια και το χώμα. Για εφαρμογές σε υψηλές θερμοκρασίες προτιμώνται ρινίσματα από παλιοσιδερικά. Σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με αέρα που θερμαίνεται μετά από διαβίβασή του μέσα από πορώδη υλικά. Τα κύρια προβλήματα σε μια εγκατάσταση αποθήκευσης θερμότητας και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, είναι τα εξής: Η διαμόρφωση μιας κατάλληλης επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας με στόχο τη γρήγορη μεταφορά της στο σύστημα για αποθήκευση, αλλά και την ταχεία απόληψή της.

Ο περιορισμός των απωλειών στο περιβάλλον με στόχο την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης στα επίπεδα που χρειάζεται. Τελευταία, εξετάζεται η αποθήκευση θερμότητας μέσα στη γη (underground storage).

Γενικά, υπάρχουν τρεις μέθοδοι για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας:

Αποθήκευση ως αισθητή θερμότητα

Αποθήκευση ως λανθάνουσα θερμότητα

Αποθήκευση ως ενέργεια χημικών δεσμών (θερμόχημική αποθήκευση θερμότητας)

Η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας (θέρμανσης και ψύξης) με τη μορφή της αισθητής θερμότητας πραγματοποιείται με την αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας ενός υλικού, χωρίς να αλλάζει η φάση στην οποία βρίσκεται. Έτσι, για ένα υλικό που μεταβαίνει από μια θερμοκρασία  $T_1$  σε μια θερμοκρασία  $T_2$ , η θερμική ενέργεια που συναλλασσόμαστε (είτε προσδίδουμε είτε παίρνουμε από το υλικό) είναι :

$$\Delta Q = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = V \cdot \int_{T_1}^{T_2} (C_p \cdot \rho) dT ,$$

Όπου:

m: η μάζα του υλικού σε kg

$C_p$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα, υπό σταθερή πίεση, του υλικού σε J/KgK

V: ο όγκος του υλικού σε m<sup>3</sup>

dT: η διαφορά θερμοκρασίας σε βαθμούς K

Όπως σημειώσαμε και ανωτέρω, το υλικό αυτό δε θα αλλάζει φάση σε όλο το θερμοκρασιακό εύρος της διαδικασίας. Η ποσότητα  $\Delta Q$  αποτελεί, τελικά, την ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύουμε στο σύστημα. Αν και οι τιμές της πυκνότητας  $\rho$  και της ειδικής θερμοχωρητικότητας  $C_p$ , οι οποίες καθορίζουν τη συμπεριφορά των υλικών αυτών, μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, οι μέσες τιμές αυτών ικανοποιούν τη σχέση  $\Delta Q = C_p \times \Delta T$ , ανά μονάδα μάζας.

Ένας ακόμη βασικός παράγοντας που χαρακτηρίζει αυτά τα υλικά είναι ο ρυθμός με τον οποίο μπορούν να αποθηκεύσουν ή να εκλύσουν θερμότητα. Η πυκνότητα ενός υλικού,  $\rho$ , είναι το μέγεθος που μας δείχνει πόση μάζα καταλαμβάνει το υλικό ανά μονάδα όγκου (kg/m<sup>3</sup>) και η ειδική θερμοχωρητικότητα αυτού,  $C_p$  (J/KgK), είναι το μέγεθος που μας δείχνει πόση ενέργεια απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ενός kg του υλικού κατά έναν βαθμό Kelvin, υπό σταθερή πίεση.

Για να συγκρίνουμε κάποια υλικά, η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο ίσως να είναι πιο χρήσιμη. Το μέγεθος αυτό,  $C_v$  (J/m<sup>3</sup> K), μας δείχνει πόση ενέργεια απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας ενός m<sup>3</sup> ενός υλικού, κατά ένα βαθμό Kelvin, υπό σταθερό όγκο.

Από τους παραπάνω ορισμούς, φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας μπορεί να αποθηκεύσει. Για αυτό το λόγο το μέγεθος αυτό αποτελεί βασικό κριτήριο για την ικανότητα ενός υλικού να αποθηκεύει αισθητή θερμότητα. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις ιδιότητες διαφόρων χρησιμοποιούμενων υλικών ως μέσα θερμικής αποθήκευσης, στους 20°C.

Για να είναι κατάλληλα τα υλικά για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση (αποθήκευση με τη μορφή αισθητής θερμότητας), πρέπει να έχουν:



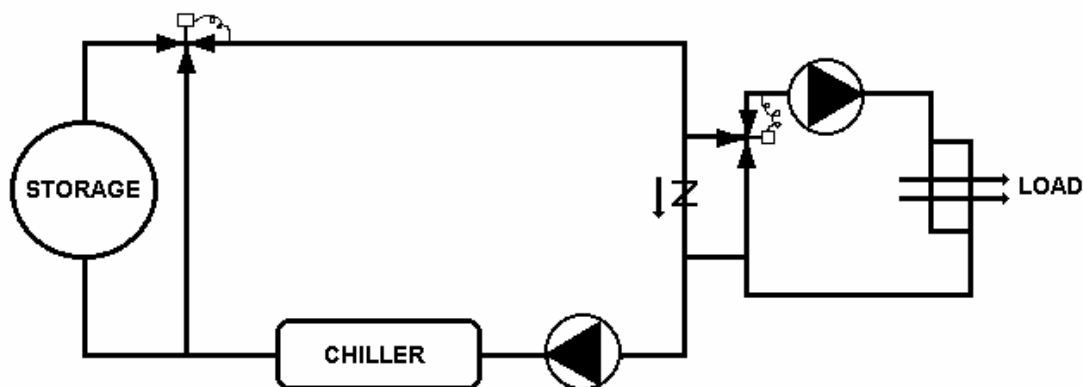
- Υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα
- Υψηλή θερμική διάχυση , δηλαδή υψηλό ρυθμό απελευθέρωση ή απορρόφησης της θερμότητας
- Υψηλό ειδικό βάρος
- Να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους και σαν θερμικά και σαν ψυκτικά μέσα
- Να έχουν θερμική και γεωμετρική σταθερότητα
- Να μην είναι εύφλεκτα, διαβρωτικά ή τοξικά
- Να έχουν σχετικά χαμηλό κόστος
- Να έχουν ικανοποιητική αντοχή
- Να λειτουργούν σε ευρύ φάσμα εφαρμογών

Τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας είναι απλά στο σχεδιασμό σε σχέση με τα συστήματα θερμότητας -χημικής ή λανθάνουσας θερμότητας ,απ την άλλη τα μεγέθη τους είναι μεγαλύτερα. Βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα ότι για να αποθηκεύσουμε ένα ποσό θερμικής ενέργειας της τάξης των 6,7 MJ με τη μορφή αισθητής θερμότητας θα χρειαστούμε περίπου 34 m<sup>3</sup> αποθηκευτικού όγκου, (για μια μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας των 70C) ενώ για αποθήκευση με λανθάνουσα μορφή θερμότητας θα χρειαστούμε 20 m<sup>3</sup> αποθηκευτικού όγκου δηλαδή θα χρειαστούμε πολύ μικρότερη αποθήκη θερμότητας για τις ίδιες ενεργειακές θερμικές ανάγκες. Άρα θα έχουμε μια εξοικονόμηση χρημάτων ως προς το κόστος της αποθήκης . Ένα άλλο χαρακτηριστικό των συστημάτων αποθήκευσης με αισθητή θερμότητα είναι ότι δεν μπορούν να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν θερμική ενέργεια σε μια σταθερή θερμοκρασία ,σε αντίθεση με συστήματα λανθάνουσας αποθήκευσης .

## Σχεδιασμός Συστήματος Αντλίας με Σύστημα Αποθήκευσης Πάγου

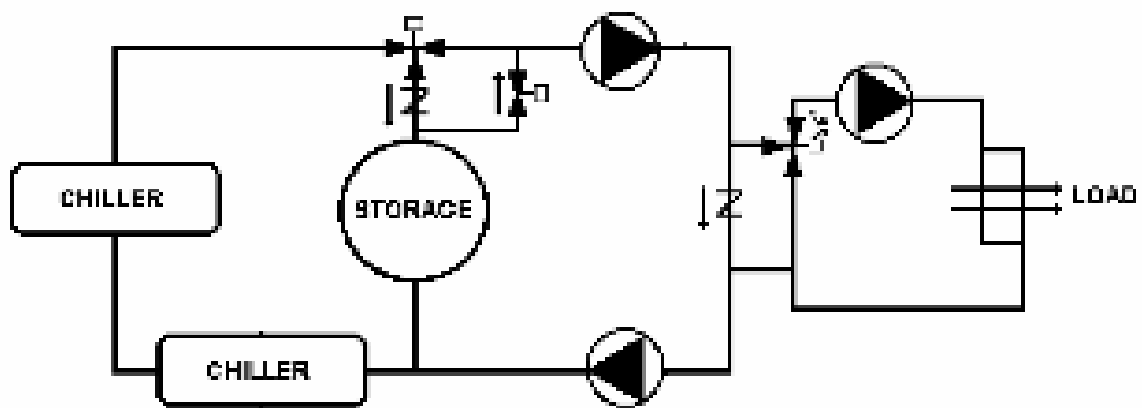
Υπάρχουν τρεις (3) βασικές διαμορφώσεις εγκατάστασης πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση, οι οποίες διαφέρουν στην σχετική μεταξύ τους ανάπτυξη των ψυκτών και των αποθηκών σε συνάρτηση με τους διάφορους τρόπους λειτουργίας των συστημάτων :

- Ροή σε σειρά, αποθήκες στην επιστροφή. Στην περίπτωση αυτή, η χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας πάγου μεγιστοποιείται, αλλά η θερμοκρασία εισόδου στον ψύκτη γίνεται πολύ χαμηλή . Οι στρατηγικές ελεγχου και τα υδραυλικά κυκλώματα είναι απλά. Ροή σε σειρά , αποθήκευση στην επιστροφή.
- Ροή σε σειρά, ψύκτης στην επιστροφή. Ο ψύκτης με το σχέδιο αυτό , τείνει να λειτουργήσει με μεγαλύτερη ισχύ και αποτελεσματικότητα . Όμως, η εκμετάλλευση της αποθηκευμένης ψύξης είναι ελαφρώς χαμηλότερη. Και εδώ, οι στρατηγικές ελεγχου και τα υδραυλικά κυκλώματα είναι απλά.



Σχήμα Νο.27: Ροή σε σειρά, ψύκτης στην επιστροφή

- Παράλληλη ροή. Στην περίπτωση αυτή , οι αποθήκες και ο ψύκτης παραλαμβάνουν απευθείας το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου . Η διαμόρφωση αυτή, επιτρέπει στον ψύκτη να λειτουργεί στην πλήρη ισχύ του και με τη μέγιστη απόδοση , ενώ η εκμετάλλευση των αποθηκών μεγιστοποιείται . Οι απώλειες στο κύκλωμα είναι μικρότερες κάτι το οποίο μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο παράγοντα στην περίπτωση που ο αριθμός των δεξαμενών είναι μεγάλος. Από την άλλη πλευρά , το σύστημα ελεγχου και τα υδραυλικά κυκλώματα που περιλαμβάνει, είναι περισσότερο περίπλοκα.



Σχήμα No.28: Παράλληλη ροή

## Παράγοντες που Επιδρούν στην Λειτουργία των Εν Λόγω Συστήματος Αποθήκευσης Πάγου και Απαιτήσεων της Αντλίας

Οι στρατηγικές που υιοθετούνται στα πλαίσια της λειτουργίας των συστημάτων αποθήκευσης ψύξης, ουσιαστικά αποσκοπούν στο να συσχετίσουν τη λειτουργία των συστημάτων αυτών με το χρονικό πλαίσιο των προγραμματισμένων αναγκών ψύξης, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος της ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε τιμολογική περίοδο.

Προκειμένου να απλοποιήσουμε την ανάλυσή μας, θα θεωρήσουμε μόνο διακριτές τιμολογικά περιόδους: τις ώρες αιχμής και τις ώρες εκτός αιχμής. Έχουν δημιουργηθεί στρατηγικές λειτουργίας για δύο βασικές λύσεις αποθήκευσης ψύξης – την πλήρη αποθήκευση και την μερική αποθήκευση, λαμβάνοντας ως δεδομένη μια υποθετική εγκατάσταση με ανάγκες ψύξης όπως φαίνονται παρακάτω.

Στις λύσεις πλήρους αποθήκευσης τα συστήματα αποθήκευσης ψύξης διαστασιολογούνται έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν τις συνολικές ανάγκες ψύξης του κτιρίου κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής ενώ ο εξοπλισμός αποθήκευσης φορτίζεται κατά τη διάρκεια των εκτός αιχμής ωρών. Η στρατηγική αυτή μειώνει αφενός την ανάγκη για πολύ μεγάλες απαιτήσεις ισχύος και αφετέρου το κόστος ενέργειας, καθώς η καταπόνηση μετατοπίζεται από τις ώρες αιχμής στις ώρες εκτός αιχμής με τα συνακόλουθα οικονομικά οφέλη.

Αλλά απαιτεί μια αυξημένη εγκατεστημένη χωρητική ικανότητα του συστήματος αποθήκευσης και κατά συνέπεια, μεγαλύτερο κόστος εφαρμογής και περισσότερο χώρο για την εγκατάσταση των δεξαμεμών αποθήκευσης. Επομένως αυτή η στρατηγική συστήνεται συνήθως για κτίρια με μεγάλο κόστος ενέργειας και ισχύος κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής και/ή με σχετικά μικρές περιόδους αιχμής.

Στις λύσεις μερικής αποθήκευσης η αποθηκευμένη ενέργεια καλύπτει μέρος μόνο των αναγκών ψύξης κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, ενώ η υπόλοιπη ζήτηση καλύπτεται με τη χρήση των ψυκτών. Η λύση αυτή έχει μικρότερες απαιτήσεις αποθήκευσης και ψυκτικής ικανότητας από τους ψύκτες, έχει θετική επίδραση στο αντίστοιχο κόστος εφαρμογής της τεχνολογίας αυτής, αλλά δεν αφήνει περιθώρια για σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους.

Η στρατηγική αυτή μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να περιλαμβάνει δύο ιδιαίτερους τρόπους λειτουργίας των ψυκτών: με βάση την ισοστάθμιση του φορτίου (load levelling), όπου οι ψύκτες λειτουργούν στην ίδια ισχύ όλες τις ώρες της ημέρας και με βάση τον περιορισμό της ζήτησης, όπου οι ψύκτες λειτουργούν σε χαμηλότερη ισχύ

κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, προκειμένου να διατηρήσουν το επίπεδο ζήτησης της εγκατάστασης κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο.

Οι ανάγκες ψύξης ενός χώρου διαφέρουν κατά τη διάρκεια του χρόνου. Επομένως, η λειτουργία των συστημάτων αποθήκευσης συχνά σχεδιάζεται έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνει και τις δύο στρατηγικές που προαναφέρθηκαν. Για παράδειγμα, μπορεί να εφαρμοσθεί μερική αποθήκευση για τη ζεστή εποχή και στρατηγική πλήρους αποθήκευσης για τον υπόλοιπο χρόνο.

Από την άλλη πλευρά, η ικανότητα για τη μέγιστη μετατόπιση φορτίου δεν είναι αναγκαστικά η καλύτερη επιλογή, όσον αφορά στους σκοπούς ελέγχου. Με βάση αυτές τις εκτιμήσεις, θα πρέπει να είμαστε ικανοί να προσδιορίζουμε κάθε φορά την πιο αποτελεσματική στρατηγική ελέγχου που απαιτείται προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες ψύξης των χώρων ενός κτιρίου. Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει να αποφασίζουμε πότε και για πόση ποσότητα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η αποθήκευση ψύξης.

Προκειμένου να επιτύχει η στρατηγική αυτή, θα πρέπει να κάνουμε επιλογές και να δίνουμε την προτεραιότητα είτε στη χρήση των ψυκτών είτε στην αποθήκευση. Επομένως, μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε την αποθηκευμένη χωρητικότητα - που σημαίνει ότι μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος λειτουργίας.

Προτεραιότητα στη χρήση ψυκτών σημαίνει ότι στην περίοδο κατά την οποία το κτίριο λειτουργεί, οι ψυκτές θα πρέπει να λειτουργούν είτε στη μέγιστη ικανότητά τους - ή τουλάχιστον με ένα τρόπο που να ανταποκρίνεται στα φορτία των ωρών αιχμής, ενώ η αποθηκευμένη ψύξη θα χρησιμοποιείται σαν συμπλήρωμα προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες των περιόδων αυτών.

Η αποθηκευμένη ψυκτική ικανότητα θα χρησιμοποιηθεί πλήρως μόνο αν υπάρξει κατάσταση, όπως εκείνη της ημέρας σχεδίασης. Η στρατηγική αυτή συνήθως είναι πολύ εύκολο να εφαρμοσθεί και δεν απαιτεί έλεγχο στη κατανάλωση που να στηρίζεται σε μεγάλο μέρος στην πρόβλεψη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ωστόσο, η οικονομική της αποτελεσματικότητα είναι πενιχρή.

Προτεραιότητα στη χρήση της αποθήκευσης (ψύξης) σημαίνει ότι οι ψυκτές τίθενται σε λειτουργία μόνο όταν η ψυκτική ικανότητα των παγολεκανών δεν επαρκεί για να καλύψει όλες τις ανάγκες του φορτίου. Κατά συνέπεια, ολόκληρη η αποθηκευμένη ψυκτική ικανότητα εξαντλείται προκειμένου να επιτευχθεί μείωση της ισχύος αιχμής, με τα συνακόλουθα οικονομικά οφέλη. Όμως, η στρατηγική αυτή είναι περισσότερο περίπλοκη από την προηγούμενη. Στην πραγματικότητα, χρειάζεται να προσδιορίσουμε την ελάχιστη συνεισφορά των ψυκτών προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες ψύξης των χώρων, ιδιαίτερα κατά το τελευταίο τμήμα της ημέρας.

Οι επιλογές ελέγχου θα προκύψουν από αποφάσεις που θα παρθούν επι καθημερινής βάσης για το ποια στρατηγική αποθήκευσης (μερική ή ολική) θα υιοθετηθεί και που θα δοθεί προτεραιότητα (στη χρήση ψυκτών ή αποθηκευμένης ψύξης). Τα πιθανά προβλήματα θα μπορούσαν να ελαχιστοποιηθούν εστιάζοντας την προσοχή στην ποιότητα σχεδίασης (για παράδειγμα: επαρκής στοιχειοθέτηση της ημέρας σχεδίασης, ετήσια προσομοίωση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου), στο καθεστώς τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας και στο επίπεδο περιπλοκότητας της τεχνικής διαχείρισης της εγκατάστασης, καθώς και στην ικανότητα "εκμάθησης" των συστημάτων αυτών και των χειριστών τους.

## Στοιχεία που Απαιτούνται για την Λειτουργία του Συστήματος Αποθήκευσης Πάγου σε Αντλίες

Η μεθοδολογία εισαγωγής δεδομένων που υιοθετήθηκε παραπάνω σχετικά με την αποθήκευση πάγου σε αντλίες, είναι όμοια με αυτήν που επιλέγεται για τη συμβατική λύση αποθήκευσης ψύξης ή θερμότητας, με επιπλέον δεδομένα που αφορούν στα νέα θερμοκρασιακά πλαίσια και στους τρόπους λειτουργίας. Ως εκ τούτου, θα λέγαμε πως τα συστήματα που χρειάζονται, οριοθετούνται σχετικά ως εξής:

### ΨΥΚΤΗΣ

Πέρα από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν για τη συμβατική λύση, η μέθοδος λαμβάνει υπόψη και τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Κατά την απευθείας εξυπηρέτηση του συστήματος κλιματισμού: την ειδική ηλεκτρική κατανάλωση (όσον αφορά τη συμβατική λύση), τη θερμοκρασία εξόδου του κρύου ψυκτικού από τον εξατμιστή και την προβλεπόμενη διαφορά θερμοκρασίας εισόδου /εξόδου. Επίσης, θερμοκρασία του ψυκτικού κατά την αναρρόφηση από τον συμπιεστή. Στην περίπτωση αυτή είναι αναγκαία η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος ψύξης, που συνήθως θα είναι 1, εκτός από την περίπτωση που η αποθήκευση του συστήματος βασίζεται στην αποθήκευση του πάγου (τότε η τιμή που θα πρέπει να θεωρήσουμε θα είναι 1,3).
- Κατά τη φόρτιση (των αποθηκών): την ειδική ηλεκτρική ισχύ [kWelectric/kWthermal], τη θερμοκρασία εξόδου του κρύου ψυκτικού από τον εξατμιστή.

Τη θερμοκρασία αναρρόφησης του ψυκτικού στην αρχή της διαδικασίας φόρτισης (των αποθηκών), τη πτώση της συγκεκριμένης θερμοκρασίας μέχρι το τέλος της φόρτισης (των αποθηκών) και μείωση της ψυκτικής ισχύος του ψυκτικού για κάθε βαθμό θερμοκρασίας που χάνεται από τη θερμοκρασία αναρρόφησης.

Η εκτιμώμενη μείωση της ψυκτικής ισχύος του ψυκτικού, κατά τη λειτουργία της φόρτισης (των αποθηκών), βασίζεται σε δεδομένα που έχουν παρατεθεί παραπάνω.

### ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Το σύστημα αποθήκευσης ψύξης θεωρείται ότι λειτουργεί με βάση τη μέθοδο μεταβολής φάσης (πάγος και εύτηκτα άλατα). Κατά συνέπεια, κάποια στοιχεία θα πρέπει να εξηγηθούν ιδιαίτερα:

- Ειδική λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας [kWh/m<sup>3</sup>].
- Ελάχιστες τιμές εναλλαγής ειδικής θερμότητας κατά τη Φόρτιση και Αποφόρτιση [kW/oC/m<sup>3</sup>].
- Θερμοκρασία Μεταβολής Φάσης.
- Θερμοκρασίες Φόρτισης.
- Θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου στη διαδικασία φόρτισης (των αποθηκών).
- Προβλεπόμενο κόστος πρόσθετων στοιχείων του υδραυλικού κυκλώματος και του κυκλώματος ελέγχου, σε αντιδιαστολή με τη συμβατική λύση (σε χιλιάδες PTE).
- Κόστος δεξαμενής, σε χιλιάδες PTE ανά kWh αποθηκευμένης ενέργειας.

## ΠΥΡΓΟΣ ΨΥΞΗΣ

Η ίδια εισαγωγή δεδομένων που απαιτήθηκε και για τη συμβατική εγκατάσταση.

## ΑΝΤΛΙΕΣ

Η μέθοδος αποσκοπεί στο να δώσει τα χαρακτηριστικά του υδραυλικού κυκλώματος μεταξύ του Ψύκτη και της Μονάδας Αποθήκευσης, καθώς και του κυκλώματος σύνδεσης με τον Πύργο Ψύξης – αν μπορεί να τοποθετηθεί. Η μέθοδος υποθέτει την ύπαρξη αντλιών σταθερής παροχής. Τα δεδομένα είναι τα ίδια με αυτά που απαιτήθηκαν και σε προηγούμενα τμήματα που αναφέρονταν στις αντλίες.

Πριν να εκτιμήσουμε την κατανάλωση της ενέργειας, θα πρέπει να διευκρινισθεί κατά πόσο ο Ψύκτης έχει τοποθετηθεί σε σειρά ή παράλληλα σε αντιδιαστολή με τη μονάδα αποθήκευσης. Αν η τελευταία μπορεί να τοποθετηθεί, τότε η μέθοδος υποθέτει την ύπαρξη μιας αντλίας στο κύκλωμα ψύκτη /αποθήκης και μιας άλλης αντλίας στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το σύστημα κλιματισμού HVAC – όπως ακριβώς η διάταξη που έγινε δεκτή για τη συμβατική λύση.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Με βάση τις ιδιότητες του κλιματισμού HVAC η μέθοδος προσδιορίζει το διάγραμμα του ψυκτικού φορτίου για την Ημέρα Σχεδίασης στη μορφή ενός χρονικού πλαισίου, υπολογίζοντας έτσι την Ημερήσια Ενεργεια Ψύξης [kWh], τη Μέγιστη Ωφέλιμη Ψυκτική Ισχύ [kW] και την Ελάχιστη Ωφέλιμη Ισχύ που επιτρέπεται στον ψύκτη στη λειτουργία της φόρτισης (των αποθηκών).

Η μέθοδος διαστασιολογεί το σύστημα εκ των προτέρων για τις τρεις συνηθέστερα υιοθετούμενες στρατηγικές, την πλήρη αποθήκευση, τη μερική αποθήκευση σε σταθερή ισχύ και τη μερική αποθήκευση με βάση τον περιορισμό της ζήτησης, υπολογίζοντας την ωφέλιμη ισχύ του ψύκτη, την αποθηκευμένη ενέργεια, το τμήμα των ημερήσιων ψυκτικών αναγκών που καλύπτονται από την αποθήκευση ψύξης και την ωφέλιμη ισχύ του ψύκτη σε αντιδιαστολή με τη μέγιστη ψυκτική ισχύ.

Στη σχεδίαση Μερικής Αποθήκευσης μπορεί να εισαχθεί ένας παράγοντας που να προσαρμόζει την ισχύ του ψύκτη και την αποθηκευμένη ψύξη σε καταστάσεις με πολύ ακανόνιστα διαγράμματα θερμικού φορτίου. Η σχεδίαση Μερικής Αποθήκευσης με βάση τον περιορισμό της ζήτησης αποσκοπεί στο να ελαττώσει ολοκληρωτικά ή μερικά τις λειτουργίες του ψύκτη κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων αιχμής. Μπορεί να ορισθεί η ωριαία περίοδος περιορισμού της ζήτησης.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ ΕΤΗΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΞΗΣ.

Βασισμένη πάνω στα αποτελέσματα των ασκήσεων προ-διαστασιολόγησης που διενεργήθηκαν στο προηγούμενο τμήμα, η μέθοδος επιτρέπει μια, καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, προσομοίωση της συνολικής θερμικής εγκατάστασης ισχύος, ως ανταπόκριση στην ετήσια κατανομή των διαγραμμάτων τυπικών θερμικών φορτίων. Στην ετήσια προσομοίωση μπορεί να επιτραπεί κάποια επέμβαση, προκειμένου να βελτιωθούν περαιτέρω τα αποτελέσματα. Κατά συνέπεια τα παρακάτω στοιχεία ορίζονται σαν παράμετροι εισόδου:

- Πολλαπλασιαστικός Παράγοντας (υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης) της ισχύος του ψύκτη και της αποθηκευμένης ενέργειας ψύξης που προσδιορίστηκαν κατά την προεπιλογή αυτών από τη μέθοδο.
- Ύπαρξη ή απουσία μιας στρατηγικής αναλογίας που να ανταποκρίνεται στο θερμικό φορτίο (αναλογία μεταξύ του ψύκτη και της αποθηκευμένης ψύξης , ορισμένη σε ημερήσια βάση).
- Το όριο του θερμικού φορτίου πέρα από το οποίο εξακολουθεί να δίνεται προτεραιότητα στην αποθήκευση ψύξης. [kW].

#### ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΤΑ ΑΚΟΛΟΥΘΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

- Μέγιστη Ψυκτική Ισχύς, υπολογισμένη από την προσομοίωση, [kW].
- Μέση Ψυκτική Ισχύς, υπολογισμένη από την προσομοίωση, [kW].
- Ονομαστική Ισχύς Ψύκτη, [kW];
- Τελική Αποθηκευμένη Ενέργεια Ψύξης, [kWh].
- Τυπική Ισχύς Φόρτισης, [kW].
- Τυπική Ισχύς Αποφόρτισης, [kW].
- Αριθμός ημερών Ψύξης.
- Ημέρες Πλήρους Αποθήκευσης/Ημέρες Ψύξης, [%].
- Αποθηκευμένη Ενέργεια, [MWh].
- Χρησιμοποιημένη Αποθηκευμένη Ενέργεια, [MWh].
- Αποθηκευμένη Ενέργεια/Ψυκτική Ενέργεια [%].
- Αριθμός ισοδύναμων πλήρων κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης.
- Αριθμός ωρών
- Εξοικονόμηση από τις λειτουργίες, [χιλιάδες PTE].
- Ανάπτυξη της Επένδυσης, [χιλιάδες PTE].
- Απλή Περίοδος Αποπληρωμής [χρόνια]
- Εξοικονόμηση στην Κατανάλωση Ηλεκτρισμού από την Ψύξη, σε [kWh] και [%] της συνολικής (συμβατικής).
- Μείωση της Ισχύος του Ψύκτη [kW].

#### ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΚΑΤΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΜΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΨΥΞΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα, η κατανάλωση ηλεκτρισμού και καυσίμου προσδιορίζεται περιληπτικά για καθένα από τα στοιχεία της Μονάδας Θερμικής Ισχύος με αποθήκευση ψύξης – και οι δύο στα πλαίσια συνολικών τιμών [kWh/έτος] και ανά μονάδα επιφανείας τροφοδοτούμενης από το σύστημα κλιματισμού (HVAC) [kWh/έτος/m<sup>2</sup>].

Επίσης, περιγράφονται σε συντομία οι ονομαστικές ισχύεις του Ψύκτη, των Δεξαμενών Αποθήκευσης Ψύξης, του Πύργου Ψύξης (αν μπορεί να εγκατασταθεί) και του Λέβητα. Η λύση με αποθήκευση ψύξης περιλαμβάνει επίσης, μια ανάλυση ανά τελική χρήση, όπως έγινε για τη συμβατική λύση.

## Επίλογος – Συμπεράσματα

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν και σχολιάστηκαν στις σελίδες της εργασίας, θα λέγαμε πως βασικός σκοπός της εν λόγω πτυχιακής εργασίας, αναφέρθηκε σχετικά η συλλογή, αξιολόγηση και συζήτηση στοιχείων που τοποθετούνται στο πλαίσιο της ανάλυσης των στοιχείων για τα Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου για Αντλίες.

Αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας της ψυκτικής ενέργειας για χρήση από αντλίες σε μηχανικά συστήματα, θα λέγαμε σχετικά πως η αποθήκευση της ψυκτικής ενέργειας σε μορφή πάγου, κάνει χρήση της λανθάνουσας θερμότητας τήξης του νερού, 335 kJ/kg στους 0oC (Drees, Braun, 1996). Μπορεί να επιτευχθεί μείωση του όγκου αποθήκευσης μέχρι και 25% σε σύγκριση με εκείνου που απαιτείται αν χρησιμοποιηθεί αποθήκευση ψυχρού νερού για το ίδιο ποσό ενέργειας που αποθηκεύεται.

Τα συστήματα αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας, οριοθετούνται στην γενική αρχή και λειτουργία της έννοιας της εντροπίας στον 2<sup>ο</sup> Νόμο της Θερμοδυναμικής. Στο πλαίσιο αυτό, σημειώνεται πως ο Γερμανός Φυσικός Clausius (1822-1888) το 1850 χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το θερμοδυναμικό όρο "εντροπία" για να περιγράψει το ποσό της θερμότητας που πρέπει να εισαχθεί σ' ένα κλειστό σύστημα για να το φέρουμε σε μια δεδομένη κατάσταση. Ο Clausius λοιπόν, εισήγαγε την έννοια της εντροπίας για να δώσει μια σωστότερη και καλύτερη διατύπωση του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής (Simmonds, 1994).

Σχετικά με τους παράγοντες που επιδρούν στην λειτουργία των συστημάτων αποθήκευσης της ψυκτικής ενέργειας για χρήση σε αντλίες, ένας εξ' αυτών τοποθετείται στην εφαρμογή και λειτουργία της Θερμοδυναμικής. Ο όρος Θερμοδυναμική προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις θερμότητα και δύναμη. Η Θερμοδυναμική αποτελεί βασικό κλάδο της Κλασσικής Φυσικής που ασχολείται με τη μελέτη της θερμικής ενέργειας, των συστημάτων που μπορούν να την αξιοποιούν, μετατρέποντας την σε ωφέλιμο έργο (Drees, Braun, 1996).

Ποιό αναλυτικά, μελετά τη μετατροπή της ενέργειας από μηχανική σε θερμότητα και αντίστροφα, μέσα από τη μελέτη θερμικών διεργασιών. Με τον όρο διεργασία εννοούμε την μετάβαση από τη μια κατάσταση ενός συστήματος σε μια άλλη.

Αναφερόμενοι στους διαφορετικούς τύπους αντλιών στις περιπτώσεις αποθήκευσης πάγου, θα λέγαμε σχετικά πως τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας αλλά και αποθήκευσης πάγου (TES) είναι παρόμοια με τα συστήματα αποθήκευσης κρύου νερού, όπου βασίζονται στον πάγο αντί για το κρύο νερό, ως μέσο αποθήκευσης (Simmonds, 1994).

Τα συστήματα αποθήκευσης πάγου χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά από τα συστήματα κρύου νερού, λόγω του ότι είναι πιο σύνθετα και λιγότερο αποδοτικά, αλλά προσφέρουν τη μεγαλύτερη πυκνότητα αποθήκευσης εξαιτίας της χρήσης διαφορετικών αντλιών (Morinière, 1988).

Οι δεξαμενές αποθήκευσης πάγου είναι περίπου 75% μικρότερες από τις δεξαμενές κρύου νερού και κατά συνέπεια χρησιμοποιούνται συχνότερα σε μικρά εμπορικά κτίρια με περιορισμένο χώρο. Τα συστήματα αποθήκευσης πάγου μπορούν επίσης να παράγουν κρύο νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα μικρότερες αντλίες κρύου νερού, σωληνώσεις και πηνία.

Ωστόσο, τα συστήματα αποθήκευσης πάγου χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια για να δημιουργήσουν πάγο και συνεπώς διαφορετικούς τύπους αντλιών, είναι πιο περίπλοκα στο σχεδιασμό και συχνά είναι πιο ακριβά για εγκατάσταση και λειτουργία. Η επιλογή της τεχνολογίας αποθήκευσης πάγου σε διαφορετικά είδη αντλιών, εξαρτάται συχνά από παράγοντες όπως η επιθυμητή θερμοκρασία



λειτουργίας του συστήματος, ο υπάρχων εξοπλισμός του ψυκτικού συγκροτήματος, ο διαθέσιμος χώρος, η σχέση κόστους / απόδοσης και οι προτιμήσεις του σχεδιαστή της εγκατάστασης (Drees, Braun, 1996).

Η επιτυχία της θερμικής αποθήκευσης πάγου σε εφαρμογές κτιρίων γραφείων έχει λάβει μεγάλη δημοσιότητα και έκθεση στις μέρες μας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα στην εν λόγω περίπτωση. Η θερμική αποθήκευση πάγου σε αντλίες, εφαρμόστηκε επίσης με επιτυχία σε όλους τους τύπους κτιρίων για πολλούς από τους ίδιους λόγους που εργάζονται σε κτίρια γραφείων, αφού έχει χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και δυνατότητα εξάλειψης των απωλειών θέρμανσης και ψύξης (Colclough, Griffiths, Hewitt, 2011).

Σε αυτό το μέρος της εργασίας, περιγράφουμε μια νέα ιδέα αποθήκευσης θερμότητας με πάγο σε αντλίες που συνδυάζει το πλεονέκτημα θερμοκρασίας χαμηλών θερμοκρασιών ψύχους των εξωτερικών συστημάτων τήξης με τα πλεονεκτήματα κλειστού συστήματος ενός εσωτερικού τήγματος.

Δυστυχώς, παρά τα πλεονεκτήματα, ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια που καθυστέρησαν την ευρεία χρήση αυτής της τεχνολογίας, είναι ο φόβος των σχεδιαστών συστημάτων να έχουν ένα ανοιχτό σύστημα που ενσωματώνει σύστημα θερμικής ενέργειας με πάγο σε αντλίες.

Ωστόσο, ένας νέος καινοτόμος σχεδιασμός συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας πάγου-πηνίου επιτρέπει τώρα στους σχεδιαστές να επωφελούνται από τη θερμική αποθήκευση πάγου χαμηλής θερμοκρασίας που προσφέρεται από ένα εξωτερικό σύστημα τήγματος διατηρώντας ταυτόχρονα ένα σύστημα κλειστού βρόχου στην πλευρά του φορτίου όπως προσφέρεται από ένα Εσωτερική τήξη μία (Καράγιωργας, 1996).

Σε αυτή τη λειτουργία, ο ψυκτικός εξοπλισμός θα είναι απενεργοποιημένοι. Οποτε το χρονοδιάγραμμα κατασκευής πάγου είναι ενεργό και το σήμα της επιθυμητής ψύξης λαμβάνεται από το σύστημα BAS, ο επεξεργαστής ελέγχου θα ρυθμίσει τη βαλβίδα κρύου νερού να ανοίξει ελαφρά κάτω από τον έλεγχο του αισθητήρα θερμοκρασίας ώστε να εκτρέψει μέρος του Ροή για την παροχή ψύξης κτιρίων. Η θερμοκρασία του νερού παροχής του κτιρίου πρέπει να διατηρείται στους 36°F (2°C)

Η θερμοκρασία και ειδικότερα πάγου σε αντλίες στην εν λόγω περίπτωση , μπορεί να αποθηκευτεί σε μεμονωμένα στερεά υλικά ή σε υγρά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και η ανάκτηση της ενέργειας αυτής να γίνει με ικανοποιητική απόδοση. Η αποθήκευση θερμότητας , όταν δε γίνεται σε χημικά συστήματα (δηλαδή με αμφίδρομες αντιδράσεις), πραγματοποιείται με δύο τρόπους (Drees, Braun, 1996). Οι στρατηγικές που υιοθετούνται στα πλαίσια της λειτουργίας των συστημάτων αποθήκευσης ψύξης, ουσιαστικά αποσκοπούν στο να συσχετίσουν τη λειτουργία των συστημάτων αυτών με το χρονικό πλαίσιο των προγραμματισμένων αναγκών ψύξης , λαμβάνοντας υπόψη το κόστος της ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε τιμολογική περίοδο.

Τέλος, οι ανάγκες ψύξης ενός χώρου διαφέρουν κατά τη διάρκεια του χρόνου . Επομένως, η λειτουργία των συστημάτων αποθήκευσης συχνά σχεδιάζεται έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνει και τις δύο στρατηγικές που προαναφερθηκαν . Για παράδειγμα, μπορεί να εφαρμοσθεί μερική αποθήκευση για τη ζεστή εποχή και στρατηγική πλήρους αποθήκευσης για τον υπόλοιπο χρόνο.

## Βιβλιογραφία

- Ibrahim Dincer and Marc A . Rosen, 'Thermal energy storage systems and applications', John Wiley & Sons 2nd Edition , United Kingdom 2011
- Thermal Energy Storage Technology Brief IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E17 – January 2013
- Georgi K., Pavlov, Bjarne W., Olesen, Seasonal Ground Solar Thermal Energy Storage– Review of Systems And Applications ICIEE Department of Civil Engineering/Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby (Denmark)
- Cynthia A., Cruickshank, I., Beausoleil-Morrison, A., A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Carleton University, Elsevier 2011
- Thermal Energy Storage Strategies for Commercial HVAC Systems, ASHRAE 1994
- Καράγιωργας Μ., Προώθηση της χρήσης συσ τημάτων αποθήκευσης ψύξης , ΚΑΠΕ 1996
- Hendrik M., Snijders A., Nick Boid Underground Thermal Energy Storage for Efficient Heating and Cooling of Buildings, 2002
- Colclough M., Griffiths P., Hewitt J., A year in the life of a Passive House with Solar Energy Store, Centre for Sustainable Technologies, University of Ulster, Newtownabbey, UK 2011
- ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment, 2008
- EIC Climate Change Technology Conference, Review and Comparison of Centralized and Decentralized Seasonal Thermal Energy Storage within Net-zero Energy Communities, Paper Number 1569695611 University of Ontario Institute of Technology, Ontario, Canada 2013
- SOLAR ENERGY CONVERSION AND PHOTOENERGY SYSTEMS – Vol.I –Solar ponds – Aliakbar Akbarzadeh, John Adrews and Peter Golding
- Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, Seasonal Sensible Thermal Energy Storage Solutions, Issue 19, p. 49-68 , December 2011
- Drees K., Braun J., (1996). Development and Evaluation of a Rule-Based Control Strategy for Ice Storage Systems, Kirk H. Drees & James E. Braun - HVAC&R RESEARCH - Outubro 1996
- Morinière O, (1988). Cool Storage in Commercial Buildings: Efficient and Cost-Effective Technology, Demand-Side Management and Electricity End-Use Efficiency - 1988
- Mackie I., Reeves G., Hiller D., (1988). Stratified Chilled-Water Storage Design Guide, EPRI
- Simmonds P., (1994). A Control Strategy for Chilled Water Production, ASHRAE Journal, Janeiro
- Hittle D.C., Smith T.R., (1984). Control Strategies and Energy Consumption for Ice Storage Systems Using Heat Recovery and Cool Air Distribution, ASHRAE Transactions