

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – 2

Νίκος Χαριτωνίδης, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Master of Engineering Univ. of Sheffield, Γενικός Διευθυντής ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ ΑΕΒΤΕ & CRYOLOGIC ΕΕ.

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΨΥΞΗΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Η αρχή βασίζεται στη μεγάλη ποσότητα λανθάνουσας ενέργειας που απορροφάται - αποδίδεται από υλικά που αλλάζουν φάση. Ξεκινώντας από το κλασικότερο υλικό, που είναι το νερό, αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι αν παγώσει ένα kg νερό αποθηκεύει 334 KJ ψύξης (ήτοι έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει από το περιβάλλον λιώνοντας λανθάνουσα θερμότητα 334 KJ), ενώ αν κατέβει π.χ. από τους -18 στους -22° C αποθηκεύει μόνο $2,09 \times 4 = 8,36$ KJ ψύξης¹ (ήτοι έχει τη δυνατότητα αν ξαναζεσταθεί στους -18° C να απορροφήσει από το περιβάλλον αισθητή θερμότητα 8,36 KJ). Αποτελεί φυσικά απαραίτητη προϋπόθεση να είναι «βολική» η θερμοκρασία αλλαγής φάσης². Συνεπώς, για να εφαρμοστεί η μέθοδος για παράδειγμα σε καταψύξεις -18° C, πρέπει η αλλαγή φάσης του ρευστού να γίνεται σε θερμοκρασία μικρότερη των -18° C (π.χ. -23° C). Τούτο επιτυγχάνεται με ειδικά διαλύματα νερού - λοιπών ουσιών, επιτυγχάνοντας το επιθυμητό σημείο παγώματος μέσω της συγκέντρωσης των συστατικών του μίγματος. Τα διαλύματα αυτά είναι γνωστά σαν «Υλικά Αλλαγής Φάσης» ή υλικά PCM (Phase Change Materials). Στη χημική ορολογία, τα διαλύματα PCM ονομάζονται ευτηκτικά³. Τα υλικά PCM διατίθενται σε ποικίλες θερμοκρασίες στερεοποίησης / λιώσιματος.

Κατά την περίοδο φόρτισης (λογικά φθινή παροχή ρεύματος τη νύκτα) το υλικό αλλαγής φάσης στερεοποιείται με ψυκτικό μηχανήμα μηχανικού κύκλου σε θερμοκρασία εξάτμισης μερικούς βαθμούς χαμηλότερα από τη θερμοκρασία στερεοποίησης (που και αυτή όπως είπαμε είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου). Κατόπιν, κατά την περίοδο χρήσης, το υλικό αλλαγής φάσης λιώνει και απορροφάει λανθάνουσα θερμότητα που προέρχεται από τις απώλειες και τη διακίνηση. Η αποθηκευμένη ψυκτική ενέργεια μπορεί να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες ή να επικουρεί την παραγωγή ψύξης μηχανικού κύκλου. Ανάλογα ορίζεται και η απαιτούμενη μάζα του υλικού αλλαγής φάσης.

Ο ρυθμός απομάκρυνσης της θερμότητας από το υλικό PCM κατά τη διάρκεια της φόρτισης πρέπει να είναι όσο γίνεται σταθερός. Για να ισχύει αυτό πρέπει να έχει μεγάλη ειδική επιφάνεια (m^2/kg) (π.χ. λεπτές πλάκες όπως στα σχήματα 1 και 2, ώστε η θερμότητα να ρέει ανεμπόδιστα από όλη τη μάζα του.

ΨΥΧΡΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΕΥΤΗΚΤΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

Μια πολύ διαδομένη εφαρμογή αποθήκευσης ψύξης με χρήση ευτηκτικού υλικού (PCM) είναι οι ψυκτικοί θάλαμοι μεταφοράς που είναι εξοπλισμένοι με ευτηκτικές πλάκες. Η φάση της λειτουργίας μάλιστα χαρακτηρίζεται από αποκλειστική χρήση της αποθηκευμένης ψύξης, χωρίς επικουρία του μηχανικού

¹ Η ειδική θερμότητα του πάγου είναι περίπου 2,09 KJ / kg·K

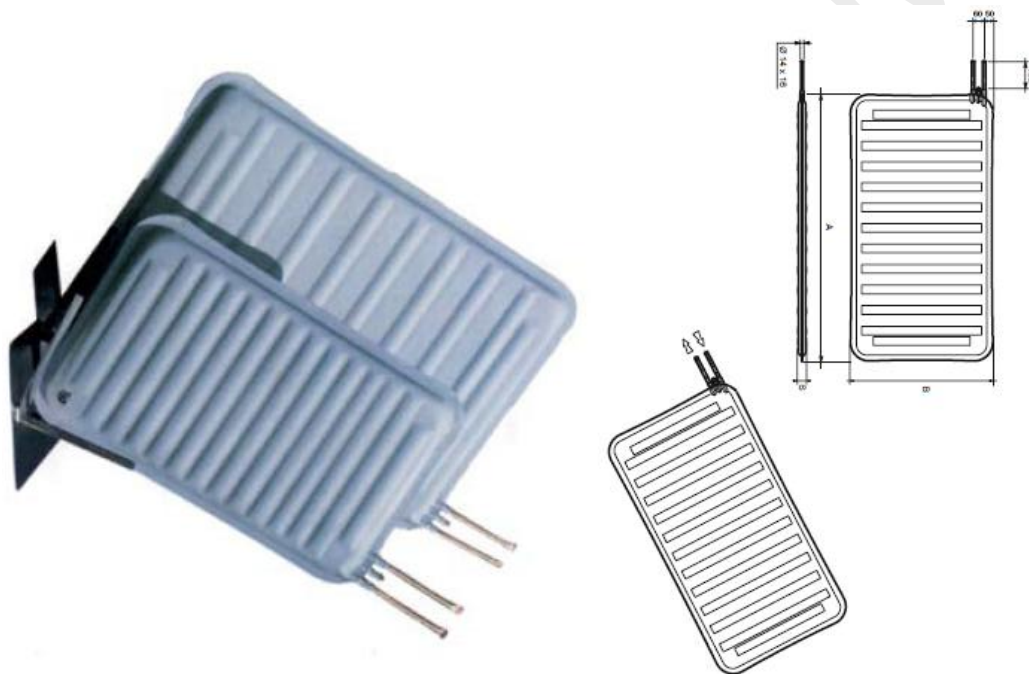
² Η θερμοκρασία αλλαγής φάσης πρέπει να είναι μερικούς βαθμούς πιο κάτω από την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου για να γίνεται η μεταφορά της λανθάνουσας θερμότητας (ψύξη).

³ Ευτηκτικό (eutectic) ορίζεται το διάλυμα το οποίο έχει σταθερό σημείο στερεοποίησης που είναι χαμηλότερο από τα σημεία στερεοποίησης των επί μέρους συστατικών του. Η ιδιότητα αυτή συμβαίνει μόνο σε μια συγκεκριμένη αναλογία των συστατικών. Σε οποιαδήποτε άλλη αναλογία η θερμοκρασία στερεοποίησης είναι ολισθαίνουσα και σε ψηλότερο επίπεδο από το (μοναδικό) ευτηκτικό σημείο στερεοποίησης (ή λιώσιματος). Η θερμοκρασία στερεοποίησης μιας ευτηκτικής ουσίας μπορεί να είναι πολλούς βαθμούς πάνω από τους 0° C μέχρι πολύ κάτω των 0° C, ανάλογα την εφαρμογή. Οι κατασκευαστές προσφέρουν σχετικούς πίνακες.

συστήματος. Το τελευταίο βεβαίως υπάρχει για την (νυκτερινή) φάση της φόρτισης. Η χρονική εμβέλεια της χρήσης εξαρτάται από τη διάρκεια της πλήρους τήξης (υγροποίησης) του (παγωμένου) ευτηκτικού στερεού, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται κύρια από την μάζα του, τη γεωμετρία του υλικού, την μονωτική ικανότητα του θαλάμου, τις καιρικές συνθήκες και βεβαίως από τη χρήση (συχνότητα – διάρκεια ανοίγματος των πορτών).

Στην πράξη κατασκευάζεται ένας θάλαμος με μόνωση πολύ ψηλής μονωτικής ικανότητας (π.χ. πολυουρεθάνη βαρέως τύπου 10-15 εκ.), που προσομοιάζει με ισοθερμικό δοχείο. Το εσωτερικό μπροστινό τοίχωμα και η οροφή είναι καλυμμένα με μεταλλικές πλάκες (γνωστές σαν ευτηκτικές πλάκες), που φέρουν εσωτερικά κενά (κοιλώματα), τα οποία είναι πληρωμένα με το ευτηκτικό διάλυμα. Το τελευταίο έχει το κατάλληλο σημείο παγώματος. Για παράδειγμα, σε χρήσεις κατάψυξης παγώνει σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία (π.χ. -33°C)⁴. Το ευτηκτικό διάλυμα διατρέχεται από τον ψυκτικό εναλλάκτη εντός της πλάκας, όπου γίνεται εξάτμιση ψυκτικού ρευστού σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο πήξης (παγώματος) του διαλύματος (αν π.χ. η πήξη γίνεται σε -33°C , η εξάτμιση του ρευστού γίνεται σε περίπου -40°C). Έτσι, προοδευτικά στερεοποιείται όλο το διάλυμα και το όχημα είναι έτοιμο για ψυχρή μεταφορά

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται χαρακτηριστικές ευτηκτικές πλάκες (από ενημερωτικό κατασκευαστή [2]).



Σχήμα 1: Ευτηκτικές πλάκες [2].

Η λειτουργία του ψυκτικού μηχανήματος (στερεοποίηση του ευτηκτικού) γίνεται όταν το όχημα είναι σε στάση και διαρκεί κάποιες ώρες. Η ηλεκτρική ενέργεια προσφέρεται από εξωτερική ρευματοληψία (πριζάρισμα). Κατά τη διάρκεια του δρομολογίου, το στερεό λιώνει προοδευτικά υπό σταθερή θερμοκρασία (σημείο τήξης π.χ. -33°C). Όσο υπάρχει ακόμα στερεό, η θερμοκρασία χώρου παραμένει χαμηλά, όχι βεβαίως στο αρχικό της επίπεδο, αφού ο θάλαμος κερδίζει συνεχώς θερμικό φορτίο από τα

⁴ Οι παραγωγοί ευτηκτικών διαλυμάτων τα προσφέρουν σε ποικίλες θερμοκρασίες αλλαγής φάσης.

τοιχώματα και από το άνοιγμα των πορτών, ενώ οι πλάκες αρχίζουν να θερμαίνονται τοπικά. Όταν το ευθηκτικό λιώσει εντελώς, η θερμοκρασία ανεβαίνει γρήγορα και η ψυχρή μεταφορά πρέπει να παύσει. Για να επιβραδύνεται το λιώσιμο του ευθηκτικού, ο θάλαμος έχει όπως αναφέραμε ενισχυμένη μόνωση και φέρει στις δυο πλαϊνές του πλευρές πολλές και μικρές θυρίδες (συνήθως 2Χ4 ή 2Χ5). Το φορτίο είναι έτσι τοποθετημένο, ώστε σε κάθε στάση να ανοίγει μόνο μια θυρίδα και έτσι ελαχιστοποιείται το θερμικό φορτίο διεξόδου θερμού - υγρού αέρα. Μια άλλη αρνητική επίπτωση όταν ανοίγουν πολύ οι πόρτες είναι η επικάλυψη των πλακών με πάγο, ο οποίος μειώνει την ψυκτική ικανότητα των πλακών (μείωση του συνολικού συντελεστή θερμικής μεταφοράς).

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η διάταξη των πλακών ευθηκτικού συστήματος στο εσωτερικό του θαλάμου (<http://www.coldcarusa.com/eutectic>).



Σχήμα 2: Διάταξη πλακών ευθηκτικού συστήματος στο εσωτερικό του θαλάμου. Διακρίνονται οι πλάκες στην οροφή και στο μπροστινό μέρος του θαλάμου [3].

Το μηχανικό σύστημα παραγωγής ψύξης (μονάδα συμπίκνωσης) είναι τοποθετημένο είτε κάτω από τον θάλαμο ή μπροστά και επάνω, όπως τα συμβατικά.

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΨΥΞΗΣ ΣΕ ΨΥΚΤΙΚΟΥΣ ΘΑΛΑΜΟΥΣ ΜΕ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Η λογική της αποθήκευσης ψύξης σε δραστηριότητες Ψυχρής Αποθήκευσης εν πολλοίς βασίζεται στην παροχή φθηνού ρεύματος τις ώρες χαμηλής ζήτησης, π.χ. 6 μμ – 6 πμ. Η μη ύπαρξη τέτοιας δυνατότητας αποτελεί θεσμικό έλλειμμα και πρέπει να διεκδικείται από τους ενδιαφερόμενους.

Η αποθήκευση ψύξης στον κλάδο της ψυχρής αποθήκευσης προσφέρει τα ακόλουθα οφέλη:

1. Οι συμπιεστές λειτουργούν τον περισσότερο χρόνο σε πλήρη φόρτιση και σε ψηλότερες πιέσεις αναρρόφησης. Έτσι βελτιώνεται η ενεργειακή τους απόδοση (COP).
2. Χαμηλώνει η μέση θερμοκρασία συμπίκνωσης (νυκτερινή λειτουργία).

3. Μείωση του συνολικού χρόνου λειτουργίας της εγκατάστασης, που σημαίνει αύξηση της ζωής της και μείωση του κόστους συντήρησης.
4. Η αποθήκευση ενέργειας προσφέρει τη δυνατότητα να μεταφέρεται η χρήση της μέγιστης ψυκτικής ικανότητας (άρα και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας) σε ωράρια που προσφέρεται φθηνό ρεύμα και δεν επιβάλλονται ποινές αιχμής.
5. Εξασφαλίζεται μια σταθερότητα θερμοκρασίας στο χώρο, πράγμα που μειώνει την αφυδάτωση των προϊόντων. Γενικά βοηθάει σε καλό έλεγχο της σχετικής υγρασίας.
6. Ο ψυκτικός εξοπλισμός μπορεί να διαστασιολογηθεί με βάση μάλλον το μέσο φορτίο παρά το μέγιστο, οδηγώντας σε χαμηλότερο αρχικό κόστος. Επίσης οι συμπιεστές λειτουργούν πιο κοντά στην πλήρη τους ικανότητα, πράγμα που σημαίνει εξοικονόμηση ενέργειας (κύρια στους κοχλιωτούς).
7. Μειώνεται ο ρυθμός συσσώρευσης πάγου στα εξατμιστικά στοιχεία.
8. Αυξάνεται η χρονική εφεδρεία διατήρησης χαμηλής θερμοκρασίας σε περίπτωση απρόβλεπτων διακοπών του μηχανικού συστήματος.

Συνεχίζουμε στο επόμενο άρθρο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Νίκος Χαριτωνίδης «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΨΥΞΗΣ – ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑ», 2020.
2. F.I.C. SPA, Italy, Eutectic Plates, Accumulation Systems for Transport Refrigeration, <https://fic.com/settori/trasporto-refrigerato>.
3. <http://www.coldcarusa.com/eutectic>