

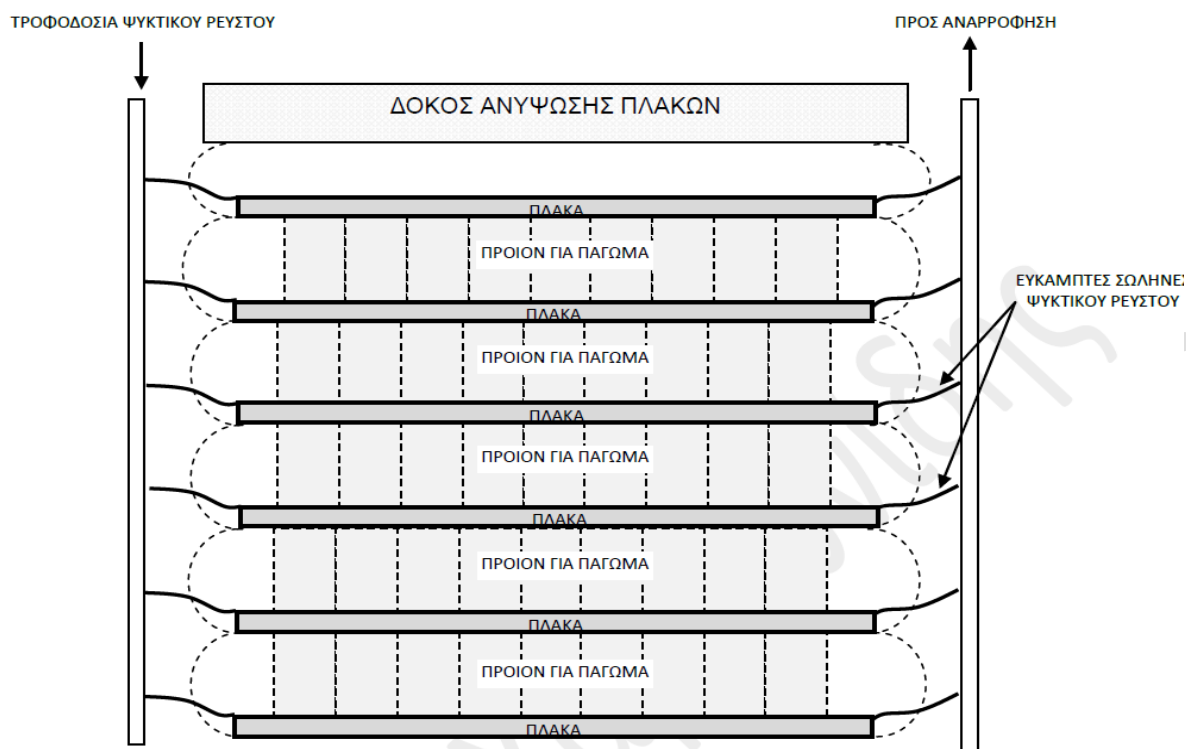
30-12-19

ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΜΕ ΠΛΑΚΟΕΙΔΕΙΣ ΚΑΤΑΨΥΚΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ CO₂ (CO₂ CONTACT PLATE FREEZERS)

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

1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι πλακοειδείς καταψύκτες επαφής είναι από τους πιο αποτελεσματικούς στη γρήγορη κατάψυξη τροφίμων. Το "νωπό" προϊόν (κρέας, ψάρια κλπ) «στριμώνεται» ανάμεσα από δυο «παγωμένες» πλάκες, εντός των οποίων κυκλοφορεί το ψυκτικό ρευστό. Οι πλάκες παραμένουν κλειστές μέχρι να παγώσει όλη η μάζα του προϊόντος στην επιθυμητή θερμοκρασία. Κατόπιν ανοίγουν και αποσύρεται το προϊόν, συνήθως πάνω σε μια μεταφορική ταινία. Η αποκόλληση του προϊόντος από τις πλάκες μπορεί να διευκολύνεται με απόψυξη, με προσαγωγή θερμού αερίου εκείνη τη στιγμή. Το μεγάλο πλεονέκτημα του πλακοειδούς καταψύκτη επαφής είναι ότι η κατευθείαν επαφή του προϊόντος με την κρύα πλάκα επιταχύνει πολύ το πάγωμα. Η διάταξη ενός οριζόντιου πλακοειδή καταψύκτη επαφής φαίνεται στο επόμενο σχήμα [3].

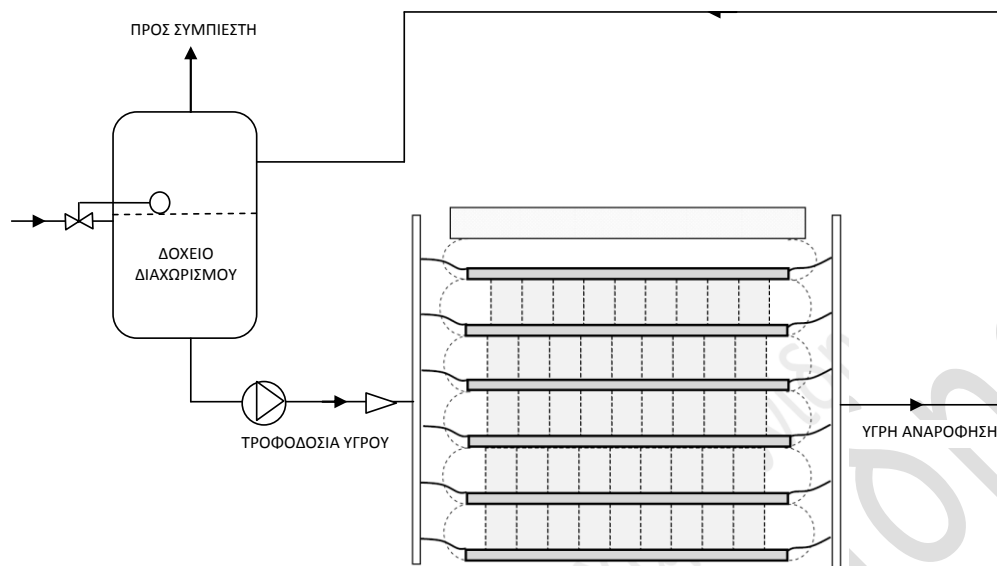


Σχήμα 1: Διάταξη οριζόντιου πλακοειδούς καταψύκτη επαφής (contact plate freezer) [3].

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΕ ΠΛΑΚΟΕΙΔΗ ΚΑΤΑΨΥΚΤΗ

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η διάταξη του ευρύτερου κυκλώματος ενός πλακοειδή καταψύκτη επαφής με σύστημα υπετροφοδότησης (με το οποίο επιτυγχάνεται ο μέγιστος συντελεστής θερμικής μεταφοράς).

ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ
ΡΕΥΣΤΟΥ



Σχήμα 2: Διάταξη του ευρύτερου κυκλώματος ενός πλακοειδή καταψύκτη επαφής με σύστημα υπετροφοδότησης [3].

Οι πλάκες τροφοδοτούνται με παροχή υπόψυκτου υγρού που είναι πολλαπλάσια της εξατμιζόμενης ποσότητας κατά τον λόγο ανακυκλοφορίας του συστήματος. Η εξατμιζόμενη ποσότητα υπολογίζεται με βάση το ονομαστικό φορτίο του καταψύκτη. Είναι όμως προφανές, ότι στα πρώτα στάδια της κατάψυξης, όπου το προϊόν είναι θερμό (η διαφορά θερμοκρασίας προϊόντος - πλάκας μπορεί να είναι και 70 K), το φορτίο είναι πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό (δηλαδή η εξατμιζόμενη ποσότητα μεγαλύτερη από την ονομαστική) και ο λόγος ανακυκλοφορίας πέφτει σε μικρή τιμή. Η εξάτμιση είναι πολύ έντονη, σχεδόν εκρηκτική και οι πλάκες γεμίζουν με αέριο με ταυτόχρονη απότομη άνοδο της πίεσης. Στη φάση αυτή, η θερμοκρασία των πλακών δυσκολεύεται να κατέβει. Όσο προχωράει η κατάψυξη και ειδικά όταν ολοκληρωθεί η μετάβαση από την περιοχή λανθάνουσας ψύξης (φάση στερεοποίησης που για την πλειοψηφία των προϊόντων αφορά μια θερμοκρασιακή ζώνη μεταξύ -2 και -10°C), το φορτίο πέφτει πολύ και ο λόγος ανακυκλοφορίας ανεβαίνει σε ψηλή τιμή. Η βασική παράμετρος που ενδιαφέρει τον χρήστη μιας τέτοιας συσκευής είναι η παραγωγικότητα, δηλαδή η ολοκληρωμένη καταψυχόμενη ποσότητα (kg) στη μονάδα του χρόνου (h).

3. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΠΛΑΚΟΕΙΔΗ ΚΑΤΑΨΥΚΤΗ

Η παραγωγικότητα του πλακοειδούς καταψύκτη εξαρτάται από τα εξής: (α) την ποσότητα (μάζα) που χωράνε στα συνολικά διάκενα μεταξύ των πλακών σε κάθε παρτίδα (batch) παραγωγής και (β) το χρόνο που απαιτείται για την πλήρη κατάψυξη των προϊόντων (-18°C). Για δεδομένο συνολικό ύψος οριζόντιου πλακοειδή καταψύκτη (πλάτος αν ο καταψύκτης είναι

κατακόρυφος), η ποσότητα που χωράει στα διάκενα αυξάνεται όσο λεπταίνουν οι πλάκες. Επίσης, η διεργασία της κατάψυξης επιταχύνεται όσο πιο χαμηλή είναι η μέση ενεργός θερμοκρασία της πλάκας. Ο εγκαταστάτης λοιπόν βρίσκεται σε αναζήτηση ενός συστήματος πολύ χαμηλής θερμοκρασίας, με τον καλύτερο σχετικά COP, με όσο γίνεται πιο "κομψές" πλάκες. Οι ενεργός μέση θερμοκρασία της πλάκας πρέπει να είναι κάτω από -30°C (ακόμα και -52°C). Όπως θα δούμε, το CO_2 ικανοποιεί και τις δυο αυτές απαιτήσεις.

4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ CO_2 ΣΕ ΠΛΑΚΟΕΙΔΕΙΣ ΚΑΤΑΨΥΚΤΕΣ

Όπως αναφέρθηκε, στην έναρξη της διεργασίας κατάψυξης, το προϊόν είναι πολύ θερμό (π.χ. 20°C , ενώ η πλάκα πολύ ψυχρή (π.χ. -40°C). Αυτή η έντονη διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) οδηγεί σε πολύ μεγάλη ικανότητα του εναλλάκτη, δηλαδή αθρόα εξάτμιση του ψυκτικού ρευστού για να "προλάβει" την απαίτηση. Η εξάτμιση είναι σχεδόν εκρηκτική και οι πλάκες "γεμίζουν" με 100% αέριο ψηλής πίεσης, το οποίο δημιουργεί μεγάλη πτώση πίεσης στις γραμμές αναρρόφησης (δηλαδή δυσκολεύεται να εκτονωθεί) και μπορεί ακόμα και να οπισθοχωρήσει (ανάποδα) στη γραμμή τροφοδοσίας, για τούτο και συνιστάται η τοποθέτηση αντεπίστροφης βαλβίδας [2]. Ο εναλλάκτης στη φάση αυτή "μπλοκάρει" και ολιγωρεί για ένα διάστημα να ψύξει το προϊόν. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με πρόβλεψη μεγάλου συντελεστή ανακυκλοφορίας στο ονομαστικό φορτίο (π.χ. 8-10 στην αμμωνία), ώστε να υπάρχουν μεγάλα αποθέματα υγρού στην αρχική φάση προς εξάτμιση. Ο συντελεστής ανακυκλοφορίας που αναφέρεται στο ονομαστικό φορτίο είναι στα πρώτα στάδια πολύ μικρότερος (αφού εξατμίζεται μεγάλη ποσότητα). Μόλις κατέβει η θερμοκρασία του προϊόντος, η ικανότητα του εναλλάκτη πέφτει και μειώνεται η ταχύτητα εξάτμισης. Ο συντελεστής ανακυκλοφορίας προοδευτικά ανεβαίνει, υπερβαίνοντας αρκετά την ονομαστική του τιμή στα τελικά στάδια της διεργασίας, όπου το φορτίο έχει πλέον ελαττωθεί πολύ. Η ως άνω ολιγωρία του καταψύκτη στα πρώτα στάδια αυξάνει τον συνολικό χρόνο κατάψυξης και μειώνει την παραγωγικότητα της διεργασίας. Επίσης, σε διεργασίες "παρτίδας" (batch) όπου υπάρχουν πολύ καταψύκτες, πρέπει να μπαίνουν οι καταψύκτες στη παραγωγή ένας - ένας μέχρι να "κατεβάσουν" φορτίο, ώστε να μπορούν οι συμπιεστές να ικανοποιήσουν την αυξημένη ικανότητα του καταψύκτη στο πρώτο στάδιο. Ομοίως και εδώ υπονομεύεται η παραγωγικότητα του συστήματος των καταψυκτών.

Το CO_2 έχει τρία σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των λοιπών ρευστών και ειδικότερα της αμμωνίας, που είναι το μοναδικό "συμβατικό" φυσικό ρευστό που μπορεί να πετύχει αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι τα εξής [2]:

1. Στην αρχική φάση της διεργασίας κατάψυξης η εξάτμιση είναι αθρόα και προκύπτει έντονο πρόβλημα πτώσης πίεσης στη γραμμή αναρρόφησης λόγω του αερίου. Στην περίπτωση του

CO₂ η πτώση της πίεσης μεταφράζεται σε πολύ μικρότερη πτώση της θερμοκρασίας κορεσμού σε σχέση με τα άλλα ρευστά και οι θερμοδυναμικές απώλειες είναι μικρότερες από των άλλων ρευστών [2]. Ο εναλλάκτης CO₂ αρχίζει σχεδόν αμέσως να κατεβάζει τη θερμοκρασία του προϊόντος και έτσι μειώνεται ο συνολικός χρόνος κατάψυξης (αύξηση παραγωγικότητας). Σε συγκριτική μελέτη [2] μεταξύ CO₂, αμμωνίας και R-404a για τον ίδιο καταψύκτη και σε κοινή θερμοκρασία εξάτμισης -30° C διαπιστώθηκε ότι (α) η μέση ενεργός θερμοκρασία της πλάκας του εναλλάκτη¹ κατά τη διάρκεια της διεργασίας ήταν διαφορετική για τα 3 ρευστά: -28° C για το CO₂, -25° C για την αμμωνία και -22° C για το R-404a και (β) ο χρόνος ψύξης της ίδιας μάζας στον πυρήνα της στους -20° C ήταν για το CO₂ 14% χαμηλότερος σε σχέση με την αμμωνία και 28% χαμηλότερος σε σχέση με το R-404a. Η διαφορά οφείλεται στα καλύτερα χαρακτηριστικά του CO₂ στο ξεκίνημα της διεργασίας και την εξ αυτών επίτευξη χαμηλότερης ενεργού μέσης θερμοκρασίας της πλάκας για δεδομένη θερμοκρασία εξάτμισης.

2. Το CO₂ μπορεί να εξατμίζεται σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τα άλλα ρευστά, διατηρώντας μεγάλη πίεση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στους -50° C η πίεση εξάτμισης είναι 6,8 bar. Αν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι -10° C (πίεση 26,5 bar, ο λόγος συμπίεσης $26,5/6,8 = 3,9$. Στις ίδιες συνθήκες, οι λόγοι συμπίεσης είναι για την αμμωνία $2,91/0,41 = 7,1$ και για το R-404a $4,39/0,84 = 5,2$. Ο πολύ χαμηλότερος λόγος συμπίεσης του CO₂ οδηγεί σε καλύτερη απόδοση συμπίεσης (εξοικονόμηση).
3. Η πίεση της αμμωνίας κάτω από -33° C είναι αρνητική. Τούτο σημαίνει κίνδυνο διείσδυσης αέρα στο κύκλωμα από μη απόλυτα στεγανά σημεία. Πρακτικά, με τα συμβατικά ρευστά αποφεύγονται θερμοκρασίες κάτω των -40° C. Με το CO₂ η θερμοκρασία εξάτμισης μπορεί άνετα να φτάσει τους -52° C. Στη [2] αναφέρεται μια σύγκριση μεταξύ CO₂ στους -52° C και αμμωνίας στους -30° C. Ο χρόνος κατάψυξης (θερμοκρασία πυρήνα -20° C) ήταν για το CO₂ ο μισός απ' ότι για την αμμωνία. Παρόλη τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση του CO₂ σε αυτό το τόσο χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο, τα οφέλη παραγωγικότητας υπερσκελίζουν το αυξημένο ενεργειακό κόστος. Ακόμη, η ταχύτερη κατάψυξη βελτιώνει την ποιότητα του προϊόντος.
4. Η αμμωνία στο χώρο παραγωγής δεν είναι καθόλου επιθυμητή. Αντίθετα, το CO₂ δεν ενοχλεί².

¹ Η θερμοκρασία της επιφάνειας του εναλλάκτη δεν είναι ομοιογενής. Σαν μέση ενεργός θερμοκρασία ορίζεται εκείνη η θερμοκρασία, που είναι ομοιογενής σε όλη την επιφάνεια και επιφέρει το ίδιο αποτέλεσμα με την (ανομοιογενή) πραγματική θερμοκρασία.

² Η αμμωνία χαρακτηρίζεται κατά ASHRAE με επικινδυνότητα B2L, ενώ οι αλογονάνθρακες και το CO₂ με επικινδυνότητα A1.

5. Λόγω των καλύτερων χαρακτηριστικών πτώσης πίεσης, οι πλάκες του καταψύκτη CO₂ είναι λεπτότερες των άλλων ρευστών. Σύμφωνα με την [1], τούτο καταλήγει σε αυξημένη τυπικά κατά 8% ποσότητα πλακών σε σχέση με τους καταψύκτες λοιπών ρευστών για δεδομένο πλαίσιο στήριξης.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε, ότι οι πλακοειδείς καταψύκτες CO₂ μπορούν να μειώσουν το χρόνο ολοκλήρωσης διεργασίας κατάψυξης κατά 25 - 50% [2].

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. International Institute of Refrigeration "CO₂ as a refrigerant", editor A. B. Pearson, 2014
2. Natural Refrigerant CO₂, edited by Walter Reulens, October 2009, Leonardo project "NARECO₂"
3. Wilbert F. Stoecker "Industrial Refrigeration Handbook", McGraw Hill, 1998.