

12-2-22

ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΨΥΞΗ ΜΕ CO₂ - 1

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

Η εμπορική ψύξη καλύπτει την πλειοψηφία των ψυκτικών κυκλωμάτων παγκόσμια, με κυριότερο χρήστη τον κλάδο των λιανοπωλητών (Σούπερ Μάρκετ). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (517/2014 ΕΕ), τα συστήματα που λειτουργούν με υδροφθοράνθρακες (ακόμα συντριπτική πλειοψηφία) σύντομα πρέπει να αντικατασταθούν με "φιλικά" στο περιβάλλον αέρια, όπως αμμωνία, υδρογονάνθρακες και CO₂. Το τελευταίο ταιριάζει απόλυτα για αυτές τις εφαρμογές, δεδομένου ότι είναι μηδενικής περιβαλλοντολογικής ρύπανσης και σχετικά ακίνδυνο στο περιβάλλον λειτουργίας του. Με βελτιστοποιημένους κύκλους το CO₂ καθίσταται ανταγωνιστικό ή ακόμα και αποδοτικότερο των συνθετικών αερίων.

Η εμπορική ψύξη αφορά κυρίως τις εγκαταστάσεις λιανοπωλητών (σούπερ μάρκετ), όπου εκτίθενται τρόφιμα σε προθήκες ελεγχόμενης θερμοκρασίας. Η εμπορική ψύξη αντιπροσωπεύει τον δεύτερο σε μέγεθος κλάδο ανάλωσης ψυκτικών αερίων μετά κλιματιστικά αυτοκίνητων.

Οι προθήκες των λιανοπωλητών καθώς και οι χώροι φύλαξης τροφίμων (ψυκτικοί θάλαμοι) μπορεί να φέρουν αυτόνομα ψυκτικά μηχανήματα ή να έχουν κεντρικό μηχανοστάσιο με δίκτυο διανομής και επιστροφής του ψυκτικού ρευστού στα επί μέρους ψυγεία - προθήκες. Η εμπορική ψύξη εξυπηρετείται κατά παράδοση με κυκλώματα υδροφθορανθράκων (HFCs), είτε με κατευθείαν εκτόνωση ή με κυκλοφορία δευτερεύοντος ψυκτικού ρευστού, που συνήθως είναι η προπυλενική γλυκόλη¹. Με την εφαρμογή του κανονισμού 517/2014 οι εγκαταστάσεις εμπορικής ψύξης θα συναντήσουν πρόβλημα νομιμότητας ψυκτικού ρευστού και πρέπει να αναζητήσουν εναλλακτικές λύσεις. Το CO₂ αποτελεί μια ελκυστική επιλογή. Η παραδοσιακή επιφύλαξη για την απόδοσή του σε θερμά κλίματα, όπως η Ελλάδα, μπορεί να αναιρεθεί με μεθόδους βελτίωσης που ήδη έχουν πρακτική εφαρμογή. Τα συστήματα μπορεί να είναι είτε με αμιγή χρήση CO₂ ή σε συνεργασία με άλλο ψυκτικό ρευστό. Στα συστήματα αυτά, το CO₂ συμμετέχει είτε με τη μορφή του κύκλου συμπίεσης ατμού (vapor compression cycle) ή με τη μορφή του δευτερεύοντος ψυκτικού ρευστού (secondary fluid). Πριν την παρουσίαση των συστημάτων θα γίνει μια ανασκόπηση των πλεονεκτημάτων του CO₂ και των "δυνατών" του σημείων στην εμπορική ψύξη. Αξίζει όμως να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι ακόμα και μέχρι το 2000, η επιστημονική κοινότητα δεν έβλεπε προοπτικές για το CO₂, παρά μόνο σε συστήματα cascade και σαν δευτερεύον ρευστό. Σήμερα τα πράγματα έχουν αλλάξει. Τα συστήματα αμιγούς CO₂ είναι πλέον διαδομένα ακόμα και σε θερμά κλίματα, ενώ μια

¹ Η προπυλενική γλυκόλη, σε αντίθεση με την αιθυλενική γλυκόλη, δεν είναι τοξική όταν διαρρεύσει επί τροφίμων.

αξιολόγηση ενεργειακής απόδοσης σε έξι Σούπερ Μάρκετ στη Νορβηγία (περίπου 1500 τ.μ. το καθένα) με ανάκτηση θερμότητας, τα τρία με R-404a και τα τρία αμιγούς CO₂, κατέληξε ότι σε επίπεδο αξιολόγησης κύκλου ζωής τα συστήματα CO₂ υπερτερούν αυτών του R-404a. Όσον αφορά το αρχικό κόστος, στα μεγάλα συστήματα το CO₂ ισοδυναμεί με τα συμβατικά ρευστά, ενώ στα μικρά συστήματα υπάρχει μια διαφορά 10-20% εις βάρος του CO₂ (ακριβότερα), η διαφορά αυτή όμως συνεχώς μειώνεται, όσο διαδίδεται στους μεγάλους κατασκευαστές η παραγωγή εξειδικευμένων συστατικών κυκλώματος CO₂.

ΤΑ ΔΥΝΑΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ CO₂ ΣΤΗΝ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΨΥΞΗ

Τα ψυκτικά κυκλώματα εμπορικής ψύξης σούπερ μάρκετ με κεντρικό μηχανοστάσιο έχουν το χαρακτηριστικό του μεγάλου μήκους των δικτύων τροφοδοσίας και επιστροφής του ψυκτικού ρευστού. Το κεντρικό μηχανοστάσιο είναι συνήθως απομακρυσμένο από τις προθήκες των τροφίμων, συχνά περισσότερο από 50 μέτρα. Το μεγάλο μήκος σωλήνων, ειδικά αυτών της επιστροφής (αναρρόφησης) έχουν ένα σημαντικό πρόβλημα: Την πτώση πίεσης και το εξ αυτής προκύπτον θερμοκρασιακό penalty. Το CO₂ διαθέτει το πλεονέκτημα έναντι των λοιπών ρευστών, όσον αφορά τη μειωμένη πτώση πίεσης σε παρόμοιες συνθήκες και την ιδιαίτερα μικρή πτώση της θερμοκρασίας κορεσμού για δεδομένη πτώση πίεσης (μικρό θερμοκρασιακό penalty). Επιπρόσθετα, το αέριο CO₂ έχει πολύ μεγαλύτερη σχετικά πυκνότητα από τα λοιπά ρευστά, άρα οι απαιτήσεις ογκομετρικής παροχής (ταχύτητας αερίου) είναι πολύ μικρότερες. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά οδηγούν σε ένα συμπέρασμα, που είναι πολύ ελκυστικό στις εγκαταστάσεις εμπορικής ψύξης με μακρά δίκτυα: Οι σωλήνες των δικτύων και ειδικά των αναρροφήσεων (που συνήθως περιέχουν μόνο αέριο) μπορεί να είναι πολύ μικρότερες σχετικά με τα λοιπά αέρια. Τούτο είναι πολύ βολικό σε αυτές τις εγκαταστάσεις, όπου συχνά οι σωλήνες πρέπει να "χωράνε" να εγκιβωτιστούν στα δάπεδα και να "τρέχουν" κάτω από προθήκες και λοιπά σκεύη. Ακόμα όμως και σε περιπτώσεις που διατηρείται το παλιό δίκτυο (π.χ. R-404a) για να κυκλοφορήσει το CO₂, οι πτώσεις πίεσης και τα θερμοκρασιακά penalties είναι πολύ μικρότερα. Σε μια έρευνα που έγινε για διάμετρο σωλήνας 60 mm, η πτώση πίεσης 60μετρης σωλήνας στο R-404A ήταν 2,4 K ενώ στο CO₂ μόνο 0,1 K. Αν ανεχόμασταν πτώση θερμοκρασίας κορεσμού 1 K, για το CO₂ θα αρκούσε σωλήνα μόλις 35 mm.

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι το CO₂ κατέχει τρία σημαντικά πλεονεκτήματα: Μικρή πτώση πίεσης, μικρή πτώση θερμοκρασίας κορεσμού και μεγάλη πυκνότητα αερίου. Ο προβληματισμός που διαμορφώνεται είναι αν αυτά τα πλεονεκτήματα αντισταθμίζουν το σοβαρό μειονέκτημά του: Το χαμηλό κρίσιμο σημείο (31° C), που είτε οδηγεί τον κύκλο σε "υποτονική" υποκρίσιμη συμπύκνωση, είτε σε υπερκρίσιμη ψύξη αερίου. Αμφότερες αυτές οι καταστάσεις "χαμηλώνουν" το COP.

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ CO₂

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων εμπορικής ψύξης με καθολική ή μερική χρήση CO₂. Στη τελευταία περίπτωση το CO₂ "συνεργάζεται" με άλλο ψυκτικό ρευστό, το οποίο "συμπληρώνει" το ενδογενές του μειονέκτημα, δηλαδή το χαμηλό κρίσιμο σημείο. Η επιλογή του συστήματος εξαρτάται κυρίως από το κλίμα, αλλά και από τους λοιπούς συνηθισμένους παράγοντες που χαρακτηρίζουν τα κριτήρια επιλογής επενδύσεων, όπως επιλογή μεταξύ χαμηλότερου αρχικού κόστους ή χαμηλότερου κόστους κύκλου ζωής, η διάρκεια της επένδυσης, οι ευκαιρίες χρηματοδότησης κλπ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως ο επενδυτής πρέπει επιπρόσθετα να λάβει σοβαρά υπόψη του τους περιορισμούς της νομοθεσίας έναντι των συνθετικών αερίων και να σκεφτεί σοβαρά την επιλογή του CO₂, ώστε να μην εμπλακεί σε ψηλή δαπάνη με "ημερομηνία λήξης". Σε κάθε περίπτωση επιλογής CO₂, ο μελετητής πρέπει να εξαντλεί τη δυνατότητα των βελτιώσεων, ειδικά σε θερμά κλίματα όπως της Ελλάδας. Τα βασικά συστήματα εμπορικής ψύξης είναι τα εξής:

- ❖ Συστήματα με πρωτεύον κύκλωμα συμβατικού ρευστού και δευτερεύον με ψυκτικό ρευστό το CO₂ (έμμεση ψύξη).
- ❖ Κλιμακωτά συστήματα (cascade), με χαμηλό κύκλωμα CO₂ και ψηλό κύκλωμα με άλλο ψυκτικό ρευστό που ταιριάζει καλύτερα στις "ψηλές" συνθήκες, όπως αμμωνία ή υδρογονάνθρακας.
- ❖ Αμιγή συστήματα CO₂, με εναλλαγή μεταξύ υποκρίσιμου και διακρίσιμου (transcritical) κύκλου ανάλογα τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Τα συστήματα αυτά θα δούμε αναλυτικότερα σε επόμενο άρθρο.