

ΠΟΙΑ ΕΊΝΑΙ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ ;

30-12-12

Τελειώνει μια ακόμα χρονιά, με τα φτερά της Ελλάδας κομμένα. Η απογοήτευση και η απαισιοδοξία μας έχει όλους πλημμυρίσει. Δεν πρέπει όμως. Η πατρίδα μας έχει σίγουρα προοπτικές. Αργά ή γρήγορα, θα επανέλθουμε. Πως; Γιατί έχουμε το καλύτερο οικόπεδο στο πλανήτη. Η οικονομία θα μπει σε φάση ανάπτυξης και όπως έχω γράψει και παλιότερα, η ψύξη θα παίξει καθοριστικό ρόλο, δεδομένου ότι πλαισιώνει τους βασικότερους άξονες ανάπτυξης της Ελλάδας, που είναι τα τρόφιμα, ο τουρισμός και τα (ψυχρά) logistics. Πολύ γρήγορα θα αντιμετωπίσουμε τη πρόκληση της επιλογής **οικονομικά αποτελεσματικών και περιβαλλοντολογικά φιλικών συστημάτων παραγωγής ψύξης**. Το άρθρο αυτό έχει σκοπό να δώσει ένα ερέθισμα, για τη τεχνολογία, που σίγουρα αποτελεί το μέλλον στη βιομηχανική και εμπορική ψύξη : **Τα υβριδικά συστήματα αμμωνίας / διοξειδίου του άνθρακα**. Τα δυο αυτά αέρια είναι φυσικά και πληρούν όλες τις σύγχρονες απαιτήσεις.

Μετά από μακρά περίοδο «άνθησης» των συνθετικών ψυκτικών ρευστών (αλογονανθράκων), η χρήση τους τελεί πλέον υπό σοβαρούς περιορισμούς, για περιβαλλοντολογικούς λόγους. Ήδη, οι περιορισμοί, οι προϋποθέσεις και τα μέτρα ελέγχων κατά τη λειτουργία, που επιβάλλονται από τη νομοθεσία, καθιστούν προβληματική την επιλογή των συνθετικών ψυκτικών ρευστών (υδροφθορανθράκων) για τις νέες ψυκτικές εγκαταστάσεις. Αντίθετα, τα φυσικά ψυκτικά ρευστά «κερδίζουν» συνεχώς έδαφος. Αποτελεί πλέον σοβαρή τεχνική και οικονομική παράληψη, να μην εξαντλείται η δυνατότητα χρήσης των φυσικών ψυκτικών ρευστών, όταν μελετάται μια νέα ψυκτική εγκατάσταση, οποιουδήποτε μεγέθους. Στη λογική αυτή περιλαμβάνονται και τα μεταφορικά μέσα, καθώς και τα συστήματα κλιματισμού. Τα φυσικά ψυκτικά αέρια που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι **η αμμωνία (NH₃), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)** και οι υδρογονάνθρακες (για μικρές μονάδες). Από αυτά, η αμμωνία πάντα κατείχε δεσπόζουσα θέση, ειδικά στη Βιομηχανική Ψύξη, ενώ το CO₂ χρησιμοποιήθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, αλλά μετά εγκαταλείφθηκε χάριν των συνθετικών αερίων και πρόσφατα επανήλθε με σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως θα δούμε στα επόμενα.

Γιατί όχι μόνο αμμωνία ;

Η αμμωνία έχει άριστες θερμοδυναμικές ιδιότητες, καθώς και καλούς συντελεστές θερμικής διαπερατότητας, τόσο στη φάση εξάτμισης, όσο και στη φάση συμπύκνωσης. Από την άλλη πλευρά όμως, έχει τοξικές ιδιότητες, τόσο για τους ανθρώπους, όσο και για τα τρόφιμα. Η κυκλοφορία της αμμωνίας στους χώρους παραγωγής και αποθήκευσης, όπου εργάζονται

άνθρωποι και υπάρχουν τρόφιμα, πάντα προβληματίζε τους επενδυτές και τους μελετητές. Για αυτό ακριβώς το λόγο, οι κώδικες βιομηχανικής πρακτικής και οι Εθνικές νομοθεσίες επιβάλλουν αυστηρά μέτρα ασφάλειας, που συχνά οδηγούν σε απόρριψη της αμμωνίας. Σημειώνεται, ότι σύμφωνα με τη κατάταξη των ψυκτικών ρευστών από άποψη ασφάλειας (ASHRAE), η αμμωνία έχει διαβάθμιση B2, ενώ οι αλογονάνθρακες και το CO₂ A1. Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν στη λογική του δευτερεύοντος ψυκτικού ρευστού, όπου η αμμωνία περιορίζεται σε μικρή ποσότητα στο μηχανοστάσιο, όπου ψύχει σε έναν εναλλάκτη ένα «ακίνδυνο» ρευστό (π.χ. γλυκόλη), το οποίο κατόπιν κυκλοφορεί στους χώρους που απαιτούν ψύξη. Είναι φανερό, ότι η τεχνολογία αυτή, εκτός από ενεργειακά ακριβότερη, έχει περιορισμούς στις θερμοκρασίες : Δεν μπορεί το δευτερεύον ψυκτικό ρευστό να φθάσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, λόγω αύξησης του ιξώδους του (οπότε η άντλησή του γίνεται προβληματική / δαπανηρή). Το πρόβλημα αυτό περιόρισε τη τεχνολογία αυτή σε εφαρμογές ζώνης συντήρησης (+-0° C). Έτσι, με χρήση μόνο της αμμωνίας, εξακολουθούσε να υπάρχει το κενό της ασφάλειας στις εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Το κενό αυτό ήρθε να καλύψει το CO₂ με τα κλιμακωτά συστήματα (cascade).

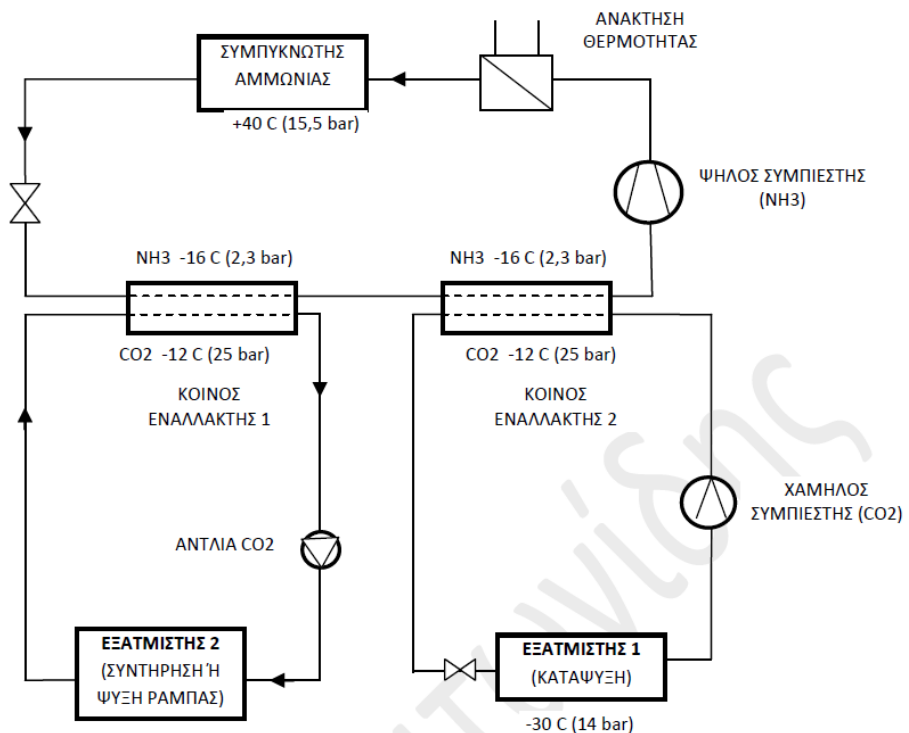
Το CO₂ συμπληρώνει την αμμωνία

Αφού η αμμωνία θεωρείται ανασφαλής για εκτεταμένη χρήση, η ιδέα είναι να περιορίζεται σε όσο γίνεται μικρότερη ποσότητα στο μηχανοστάσιο και να συνεργάζεται με το άλλο, «ακίνδυνο» **φυσικό ρευστό**, εν προκειμένω το CO₂, το οποίο μπορεί να κυκλοφορεί ευρέως στους χώρους αποθήκευσης και / ή παραγωγής. Πως γίνεται αυτό; Υπάρχουν δυο τρόποι : (1) με τη χρήση του σαν δευτερεύον ψυκτικό ρευστό (με αλλαγή ή χωρίς αλλαγή φάσης), το οποίο κατόπιν «παγώνει» σε ένα εναλλάκτη, όπου εξατμίζεται αμμωνία στην επιθυμητή (χαμηλότερη) θερμοκρασία και (2) με κανονική εφαρμογή του ψυκτικού κύκλου στο CO₂ (συμπύεση – συμπύκνωση – εκτόνωση – εξάτμιση), όπου η συμπύκνωση του CO₂ γίνεται σε «χαμηλή» θερμοκρασία (< 0° C), που επιτυγχάνεται με εξάτμιση της αμμωνίας σε εναλλάκτη, που ταυτόχρονα παίζει το ρόλο του συμπυκνωτή για το CO₂. Ο εναλλάκτης αυτός είναι γνωστός σαν **εναλλάκτης cascade**.

Το CO₂ σαν δευτερεύον ψυκτικό ρευστό

Το CO₂ κυκλοφορεί στον εναλλάκτη χρήσης (π.χ. αεροψυκτήρα ή καταψύκτη τροφίμων) και αφαιρεί θερμότητα, είτε δια της αισθητής οδού (οπότε δεν αλλάζει φάση – παραμένει 100% υγρό), είτε δια της λανθάνουσας (οπότε «βράζει» εντός του εναλλάκτη και ένα ποσοστό του μετατρέπεται σε αέριο). Και στις δυο περιπτώσεις, είτε το «ζεσταμένο», 100% υγρό CO₂, είτε το μίγμα υγρού – αερίου που εξέρχονται από τον εναλλάκτη, οδηγούνται στον διπλό εναλλάκτη αμμωνίας / CO₂ (cascade), όπου η θερμότητα αφαιρείται, σε περιβάλλον θερμοκρασίας ελαφρώς

κατώτερης (~5 K) από του CO₂. Η θερμοκρασία αυτή επιτυγχάνεται με εξάτμιση αμμωνίας, που αποτελεί μέρος ενός ανεξάρτητου ψυκτικού κύκλου. Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 1 (αριστερό σκέλος). Στο «χαμηλό» κύκλωμα CO₂ αρκεί μια αντλία (όχι συμπιεστής).



Σχήμα 1 : Κλιμακοειδές (cascade) σύστημα με διπλή θερμοκρασία – κατάψυξη με εκτόνωση – συντήρηση με κυκλοφορία δευτερεύοντος ψυκτικού μέσου (CO₂).

Το CO₂ σαν ψυκτικό ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας σε σύστημα cascade

Σε εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (π.χ. < -40° C), το CO₂ χρησιμοποιείται σε πλήρη ψυκτικό κύκλο εξάτμισης – συμπίεσης – συμπύκνωσης – εκτόνωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 15 (δεξί σκέλος), όπου περιλαμβάνεται και συμπιεστής CO₂. Έρευνες έχουν δείξει, ότι το σύστημα αυτό σε πολλές περιπτώσεις (ειδικά στις εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών), υπερτερεί (ενεργειακά) έναντι του διβάθμιου συστήματος αμμωνίας.