

9-12-16

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ: ΕΙΝΑΙ Η ΣΥΝΕΤΗ ΛΥΣΗ;

Νίκος Χαριτωνίδης (6955-067705, n.charito@cryologic.gr)

Γενικός Διευθυντής της ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ ΑΕΒΤΕ (www.alaskanet.gr) και της CRYOLOGIC ΕΕ (www.cryologic.gr)

Τα τελευταία χρόνια είχαμε ραγδαίες εξελίξεις στα ψυκτικά ρευστά: Σε μια μάχη εναντίον των συνθετικών ρευστών, που ξεκίνησε τη 10ετία του 90 και κατάληξε σε μια ουσιαστική κατάργησή τους με τον πρόσφατο κανονισμό 517/2014¹, προβάλλει πιεστικά το ερώτημα: Τι επιλογή θα κάνει ο κάθε μικρός, μεσαίος ή μεγάλος χρήστης για ψυκτικό ρευστό; Τι θα κάνει ο χρήστης που ήδη λειτουργεί με ένα υπό κατάργηση ρευστό; Με τι πόρους θα γίνουν όλα αυτά σε ένα οικονομικό περιβάλλον που καταρρέει; Το άρθρο αυτό έχει σκοπό να δώσει μερικές απαντήσεις.

ΦΥΣΙΚΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Είναι σαφές ότι τόσο οι θεσμικές αρχές, όσο και η ακαδημαϊκές κοινότητες στις χώρες που έχουν παράδοση στην επιστήμη της ψύξης, προβάλλουν σαν εναλλακτική λύση τα φυσικά ψυκτικά ρευστά. Ο αναγνώστης μπορεί να πάρει μια γρήγορη ενημέρωση από το site της SHECCO (<http://www.naturalrefrigerants.com/>), όπου υπάρχουν ενότητες για όλα τα φυσικά ρευστά (αμμωνία R-717, διοξείδιο του άνθρακα R-744, υδρογονάνθρακες, νερό R-718). Η αμμωνία είναι το πιο διαδομένο ρευστό σε μεγάλες μονάδες. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), γνωστό στη ψύξη από τα τέλη του 19ου αιώνα, είχε εκτοπιστεί από τα τέλη της 10ετίας του 30 από τους αλογονάνθρακες, αλλά επανήλθε στο προσκήνιο από το 1990 και μάλιστα με έντονη έρευνα για τη βελτίωση του κύκλου του. Η αμμωνία εξακολουθεί να κατέχει εξέχουσα θέση από άποψη θερμοδυναμικής απόδοσης, αλλά έχει τη δυσκολία του "επικίνδυνου" αερίου (κατηγορία επικινδυνότητας B3 κατά ASHRAE). Ήδη εκπονούνται διατάξεις που εξαναγκάζουν το χρήστη να περιορίσει τις ποσότητες αμμωνίας και μάλιστα μακριά από τους χώρους αποθήκευσης και παραγωγής (όπου η διαρροή είναι επικίνδυνη για ανθρώπους και αγαθά). Τα καλά νέα από τη πλευρά της τεχνολογίας ψύξης, είναι ότι με τα νέα δεδομένα προσφέρονται εξαιρετικά φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις, όχι με ένα συγκεκριμένο φυσικό ρευστό, αλλά με συνεργασία δυο εξ αυτών, συνήθως του διοξειδίου του άνθρακα και της αμμωνίας στα συστήματα cascade.

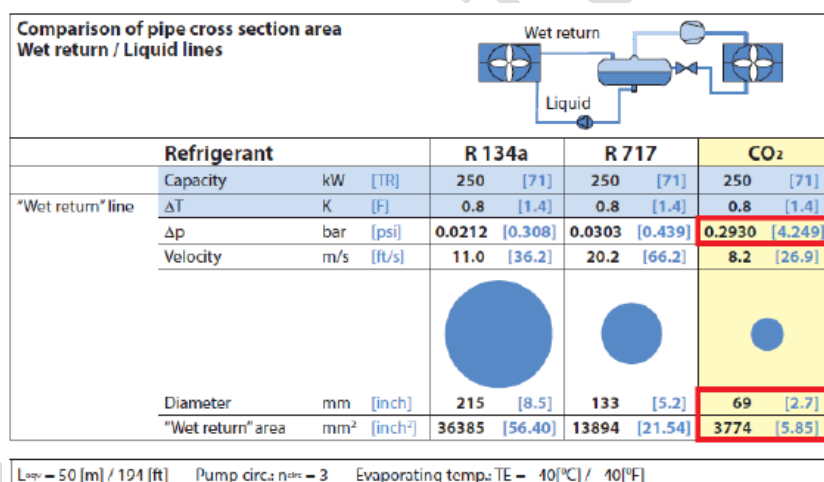
ΤΑ ΘΕΤΙΚΑ ΤΟΥ CO₂

Καταρχήν το CO₂ έχει μηδενική επίδραση και στη τρύπα του όζοντος και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ουδμία λοιπόν προβλέπεται περιοριστική διάταξη για προστασία του περιβάλλοντος. Παρακάτω καταγράφονται τα βασικά του πλεονεκτήματα.

Το αέριο CO₂ είναι πολύ "βαρύ" σε σχέση με τα λοιπά ρευστά, υπερτερώντας μάλιστα στη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε σχέση με τα συνθετικά αέρια (όχι όμως με την αμμωνία). Στον επόμενο πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά πυκνότητας - ειδικού όγκου - λανθάνουσας στους -30° C:

		R404A	R 134A	R 717	R 744
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΥ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ	kg/m ³	10,55	4,43	1,04	37,10
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	kg/m ³	1255,00	1388,40	677,83	1075,70
ΛΟΓΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΩΝ ΑΕΡΙΟ / ΥΓΡΟ		0,008	0,003	0,002	0,034
ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΤΜΟΥ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ	m ³ /kg	0,0948	0,2259	0,9639	0,0270
ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ	KJ/kg	189,51	219,53	1359,74	303,48

Το χαρακτηριστικό του βαρέως αερίου έχει σαν αποτέλεσμα τα μειωμένα μεγέθη όλων των κατασκευαστικών στοιχείων από όπου διέρχεται αέριο (μικρότερος όγκος υπό δεδομένη μάζα): Γραμμές αναρρόφησης, εξατμιστές, συμπυκνωτές - ψύκτες αερίου, συμπιεστές. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται εποπτικά αυτή η διαφορά (αναφορά 1).

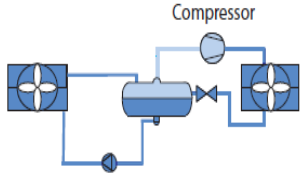


Σχήμα 1 : Σύγκριση διαμέτρων σωλήνας αναρρόφησης R134a, R717 και CO₂ για ψυκτικό φορτίο 250 KW σε εξάτμιση -40° C.

Όσον αφορά τους συμπιεστές, το χαρακτηριστικό του "πυκνού" αερίου οδηγεί σε πολύ ψηλή ογκομετρική απόδοση (πολύ μεγαλύτερη μεταφερόμενη μάζα υπό δεδομένη μετατόπιση), με αποτέλεσμα οι συμπιεστές CO₂ να είναι "μινιατούρες", όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα (αναφορά 1):

¹ Με το κανονισμό αυτό καταργείται προοδευτικά η χρήση των υδροφθορανθράκων με ένα χρονοδιάγραμμα μέχρι το 2030.

Comparison of compressor displacement

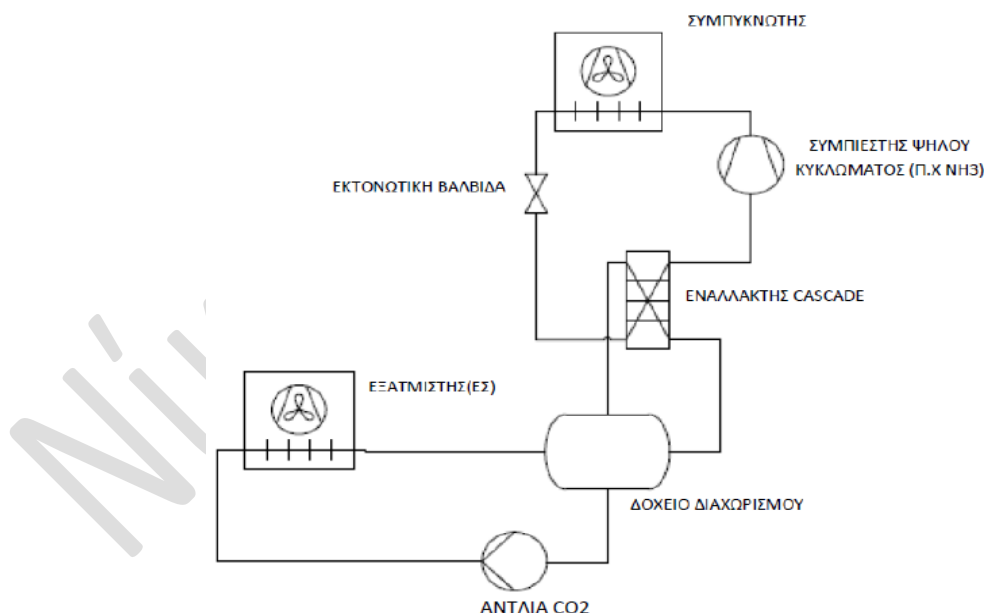


Refrigerant		R 134a	R 717	CO ₂
Refrigerant capacity	kW [TR]	250 [71]	250 [71]	250 [71]
Required compressor displacement	m ³ /h [ft ³ /h]	1628 [57489]	1092 [38578]	124 [4387]
Relative displacement	-	13.1	8.8	1.0

Evaporating temp.: TE = -40[°C] / -40[°F] - Condensing temp.: TE = -15[°C] / -5[°F]

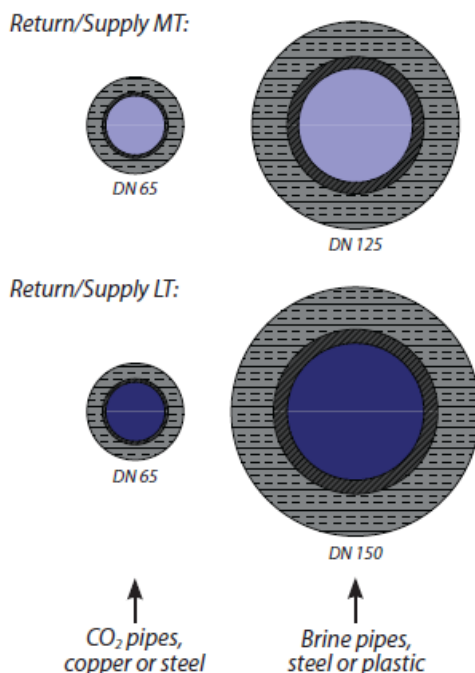
Σχήμα 2 : Σύγκριση μεγέθους συμπιεστών R134a, R717 και CO₂ για ψυκτικό φορτίο 250 KW σε συνθήκες -40° C/-15° C.

Άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του CO₂ είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δευτερεύον ψυκτικό ρευστό **δουο φάσεων** (αντί π.χ. της γλυκόλης που φυσικά είναι μιας φάσης). Το CO₂ κυκλοφορεί στο δευτερεύον κύκλωμα και αλλάζει φάση (εξατμίζεται) χωρίς τη χρήση συμπιεστή παρά μόνο αντλίας. Η ποσότητες θερμότητας που απορροφώνται είναι μεγάλες, οι διατομές μικρές και το κόστος άντληση πολύ μικρό. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3 : Σχηματικό διάγραμμα συστήματος cascade με έμμεση ψύξη με αντλία.

Οι διατομές του δευτερεύοντος κυκλώματος CO₂ είναι "μικροσκοπικές" σε σχέση με τα κυκλώματα γλυκόλης. Επίσης, υπάρχει απεριόριστη δυνατότητα πτώσης της θερμοκρασίας, πράγμα που δεν ισχύει με τη γλυκόλη που καταλήγει σε ένα πηχτό - δυσκίνητο διάλυμα όταν είναι πολύ πυκνή (για να μην παγώνει). Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η εξοικονόμηση των διαμέτρων (αναφορά 2).



Σχήμα ... : Σύγκριση διαμέτρων σωλήνων τροφοδοσίας / αναρρόφησης κυκλώματος δευτερεύοντος ρευστού μεταξύ CO₂ και γλυκόλης. Ο εξωτερικός κύκλος είναι η αναρρόφηση και ο εσωτερικός η τροφοδοσία.

Άλλο πλεονέκτημα είναι η πολύ μικρή πτώση της θερμοκρασίας κορεσμού σε σχέση με την πτώση πίεσης. Έτσι π.χ., στους -20° C, για να υποστεί το CO₂ πτώση θερμοκρασίας κορεσμού 1 K, πρέπει να πέσει η πίεσή του 6-7 φορές περισσότερο απ' ό τι σε υδροφθοράνθρακες ή αμμωνία. Με άλλα λόγια, με το CO₂ δεν μας ενοχλούν πολύ οι πτώσεις πίεσης. Έτσι μπορούμε να επιλέγουμε μικρότερες διατομές και μεγαλύτερες ταχύτητες, πράγματα που βοηθούν σε θέματα θερμικής μεταφοράς και διαχείρισης λαδιών. Στη πράξη, οι ιδιότητες αυτές "μεταφράζονται" σε θαυμάσιες επιδόσεις του CO₂ σε εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και ψηλές παραγωγικότητες σε διεργασίες κατάψυξης (freezers). Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα πολύ αποδοτικής χρήσης συστημάτων transcritical CO₂ σαν αντλίες θερμότητας (θέρμανση νερού χρήσης - χώρων - βιομηχανικές διεργασίες). Τούτο οφείλεται στο ότι στον κύκλο transcritical δεν υπάρχει σταθερή θερμοκρασία συμπίκνωσης αλλά ολισθαίνουσα θερμοκρασία CO₂ κατά την ψύξη του υπερκρίσιμου αερίου, που ξεκινάει από πολύ ψηλό επίπεδο (π.χ. 100° C), πράγμα που

επιτρέπει ψηλή θέρμανση και καθιστά τη μεταφορά θερμότητας στο νερό πολύ πιο αποδοτική, όταν μάλιστα υπάρχει αντιρροή των δυο ρευστών.

ΤΑ ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΤΟΥ CO₂

Οι πιέσεις λειτουργίας του CO₂ είναι πολύ μεγαλύτερες από των συμβατικών ρευστών και απαιτούν ειδικό σχεδιασμό και εξαρτήματα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η πίεση εξάτμισης στους -30° C είναι 14,3 bar (απόλυτη), ενώ στους transcritical κύκλους η πίεση κατάθλιψης μπορεί να φτάσει τα 150 bar! Οι συμπιεστές CO₂ δουλεύουν με πολύ μεγάλη διαφορική πίεση (π.χ. 110-30 = 90 bar), πράγμα που καταπονεί υπέρμετρα τα κατασκευαστικά τους στοιχεία. Από την άλλη πλευρά όμως, ο λόγος συμπίεσης είναι σχετικά χαμηλός (π.χ. 110/30 = 3,7), πράγμα που βελτιώνει την ογκομετρική και ισεντροπική τους απόδοση. Ο βασικότερος προβληματισμός που υφίσταται σήμερα με τα συστήματα CO₂ είναι η συγκριτική τους ενεργειακή απόδοση, σε σχέση με τα συμβατικά ρευστά, ειδικά στον κύκλο transcritical στα θερμά κλίματα, όπου οι μεγάλες θερμοδυναμικές απώλειες κατά την εκτόνωση του υπερκρίσιμου ρευστού μειώνουν την ενεργειακή απόδοση. Ήδη όμως έχουν εφαρμοστεί μεθοδολογίες βελτίωσης, οι οποίες συχνά καταλήγουν σε καλύτερο COP από τα συμβατικά συστήματα. Τέτοιες βελτιώσεις είναι η παράλληλη συμπίεση, η εξαμιστική ψύξη, οι εσωτερικοί εναλλάκτες και οι εκτονωτές (expanders) ή εκτοξευτές (ejectors). Περισσότερα για τα συστήματα αυτά θα αναφέρουμε σε επόμενο άρθρο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Danfoss article " CO₂ refrigerant for industrial refrigeration", RA Marketing. 09.2007.mwa
2. Danfoss Application Handbook "Industrial Refrigeration Ammonia and CO₂ applications", DKRCI.PA.000.C5.02 / 20H1623, 9-2013
3. Νίκος Χαριτωνίδης, Εγχειρίδιο Ψύξης και Θέρμανσης με Διοξείδιο του Άνθρακα, CRYOLOGIC ΕΕ 2016.