

4-3-21

## **ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ CO<sub>2</sub> ΣΕ S/M**

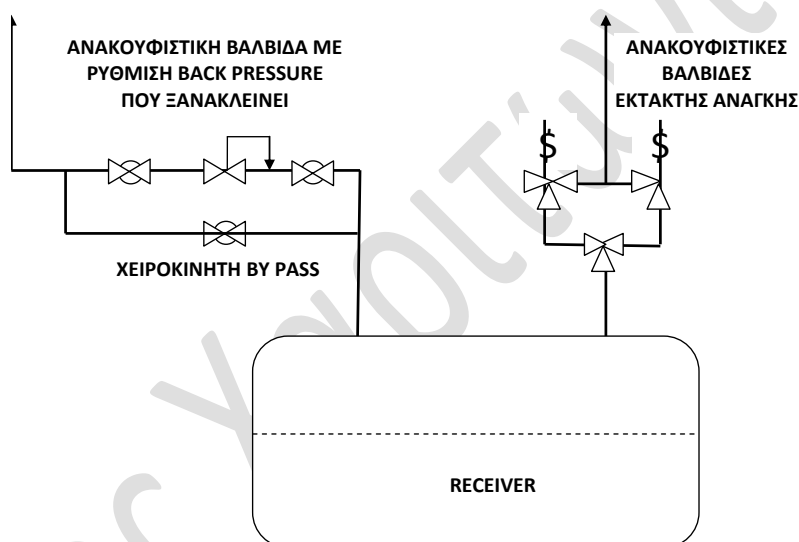
Νίκος Χαριτωνίδης, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Master of Engineering Univ. of Sheffield, Γενικός Διευθυντής ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ ΑΕΒΤΕ & CRYOLOGIC ΕΕ.

Τα συστήματα S/M, όταν η εγκατάσταση είναι μεγάλη, έχουν ένα κεντρικό μηχανοστάσιο και ένα εκτεταμένο δίκτυο, όπου το ψυκτικό ρευστό (πρωτεύον ή δευτερεύον) διανέμεται στις προθήκες όπου κυκλοφορεί μεγάλο πλήθος ανθρώπων, ενώ οι πιθανότητες διαρροής είναι αυξημένες (λόγω εκτεταμένου δικτύου). Υπενθυμίζεται ότι το CO<sub>2</sub> έχει ένα μοναδικό χαρακτηριστικό, σε σχέση με τα άλλα ρευστά: Η πίεση λειτουργίας είναι πολύ ψηλή. Στις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις, στη χαμηλή πλευρά του συστήματος η πίεση σχεδιασμού είναι 40 bar (αν γίνεται απόψυξη με θερμό CO<sub>2</sub> φθάνει στα 52 bar), ενώ η ψηλή πλευρά μπορεί να φθάσει τα 130 bar. Είναι επόμενο οι πιέσεις αυτές να δημιουργούν ανησυχίες, ειδικά όταν υπάρχουν σε εγκαταστάσεις που κυκλοφορούν πολλοί άνθρωποι, όπως τα καταστήματα S/M. Υπάρχει όμως και ένα σοβαρότερο θέμα που δημιουργεί ανησυχία: Αν για κάποιο λόγο γίνει μακρά διακοπή λειτουργίας (π.χ. διακοπή ρεύματος δικτύου ή σοβαρή βλάβη), η πίεση του CO<sub>2</sub> ανεβαίνει ταχύτατα. Αναφέρεται ενδεικτικά, ότι στους 18° C, η πίεση κορεσμού του CO<sub>2</sub> είναι 55 bar. Παρόλο λοιπόν που το CO<sub>2</sub> κατατάσσεται στα αέρια χαμηλής επικινδυνότητας, είναι φανερό ότι πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας έναντι διαρροής ή έναντι επικίνδυνης ανόδου της πίεσης.

Τα συστήματα εμπορικής ψύξης CO<sub>2</sub> με κεντρικό μηχανοστάσιο έχουν ένα "ευεργετικό" από άποψη ασφάλειας χαρακτηριστικό: Η πλειονότητα της μάζας του CO<sub>2</sub> βρίσκεται στο μηχανοστάσιο. Εκεί βρίσκεται το δοχείο συγκέντρωσης υγρού CO<sub>2</sub> (receiver), το δοχείο δευτερεύοντος ρευστού, ο εναλλάκτης cascade (αν υιοθετείται τέτοιο σύστημα) κλπ. Επιπρόσθετα, το χαρακτηριστικό των μικρών πτώσεων πίεσης και μικρών θερμοκρασιακών penalties που διακρίνουν το CO<sub>2</sub> επιτρέπει γραμμές δικτύων μικρής σχετικά διαμέτρου, άρα μικρής μάζας που κυκλοφορεί στους χώρους που υπάρχουν άνθρωποι. Η ποσότητα που παραμένει στο χώρο του μηχανοστασίου μπορεί να είναι πάνω από το 60% της συνολικής ποσότητας. Η συνολική ποσότητα CO<sub>2</sub> σε ένα σύστημα εμπορικής ψύξης S/M σύμφωνα με [1] είναι της τάξης των 5,25 kg ανά KW ψυκτικής ισχύος σε συστήματα δευτερεύοντος ρευστού CO<sub>2</sub>, ενώ σε συστήματα cascade μόνο 1,7 kg ανά KW ψυκτικής ισχύος (χονδρική προσέγγιση).

Η πιο απλή μέθοδος προστασίας έναντι ανόδου πίεσης όταν το συγκρότημα είναι σε κατάσταση παύσης, είναι η ηθελημένη παροχέτευση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα μέσω ανακουφιστικών βαλβίδων (relief valves), ώστε να επέλθει εκτόνωση. Τούτο φυσικά

πρέπει να γίνεται με ελεγχόμενο τρόπο, ώστε να μην επηρεάζει παρακείμενους ανθρώπους, αφού CO<sub>2</sub> είναι επικίνδυνο από κάποια συγκέντρωση και πάνω. Σημειώνεται εδώ, ότι οι ανακουφιστικές βαλβίδες πρέπει να βρίσκονται από τη πλευρά του αερίου CO<sub>2</sub> και να διοχετεύουν το CO<sub>2</sub> με "ρέγουλο", ώστε να μη σχηματίζεται ξηρός πάγος και μπλοκάρει τη δίοδο (το CO<sub>2</sub> κάτω από 5,2 bar μπορεί να υπάρχει μόνο σε φάσεις στερεού / αερίου). Να θυμόμαστε ότι το CO<sub>2</sub> είναι βαρύτερο του αέρα και συγκεντρώνεται χαμηλά, όπου και πρέπει να τοποθετούνται οι σχετικοί ανιχνευτές. Η διεργασία της ηθελημένης ανακούφισης πρέπει φυσικά να συνοδεύεται με διεργασία ανανέωσης του αέρα, όπως θα δούμε στα επόμενα. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται μια συνιστώμενη διάταξη ανακουφιστικών βαλβίδων [2].



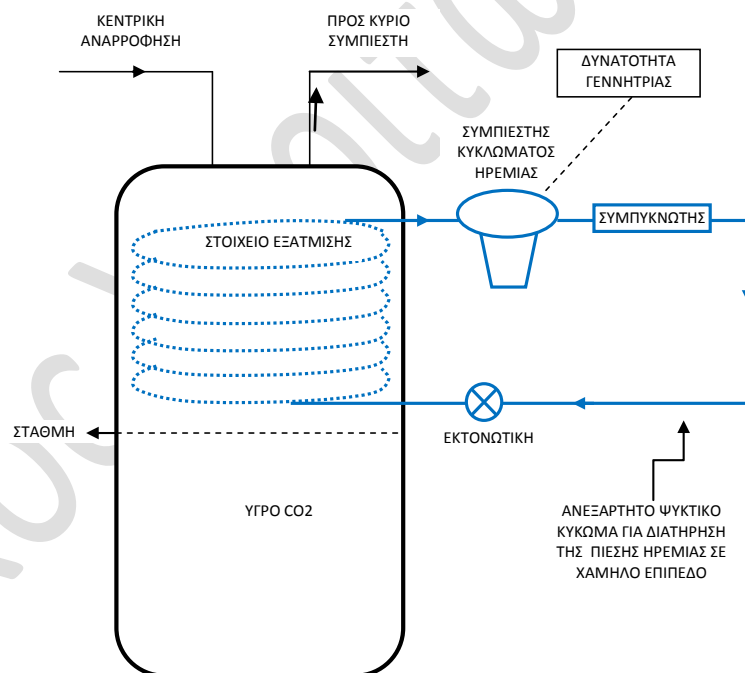
**Σχήμα 1: Σύστημα ελέγχου ανόδου πίεσης με ανακουφιστικές βαλβίδες και δυο επίπεδα ασφάλειας [4].**

Η διάταξη του σχήματος προβλέπει την ανακούφιση της πίεσης σε πρώτο επίπεδο με μια βαλβίδα back pressure regulator<sup>1</sup>. Όταν η πίεση ξεπεράσει το set point, η βαλβίδα ανοίγει και το CO<sub>2</sub> διοχετεύεται στο περιβάλλον. Όταν η πίεση πέσει κάτω από το set point, η βαλβίδα ξανακλείνει αυτόματα. Αν για οποιονδήποτε λόγο δεν λειτουργήσει το σύστημα, υπάρχει δεύτερο επίπεδο ασφάλειας, με διπλή ανακουφιστική βαλβίδα, που είναι ρυθμισμένη να ανοίξει σε ψηλότερο επίπεδο πίεσης από εκείνο της back pressure και οπωσδήποτε χαμηλότερο από εκείνο της πίεσης σχεδιασμού.

<sup>1</sup> Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιείται οποιαδήποτε αυτόματη βαλβίδα που ανοίγει όταν "διαβάζει" πίεση πάνω από το set point π.χ. με χρήση transducer.

Η ποσότητα που διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα πρέπει μετά την αποκατάσταση του προβλήματος να συμπληρώνεται στο σύστημα. Σύμφωνα με [3], ο COP του συστήματος μειώνεται γρήγορα αν η ποσότητα CO<sub>2</sub> είναι ελλιπής, ενώ πάλι μειώνεται (βραδύτερα όμως) αν η ποσότητα είναι μεγαλύτερη από τη βέλτιστη. Αναφέρεται επίσης, ότι τα transcritical συστήματα CO<sub>2</sub> είναι πολύ πιο ευαίσθητα σε συνθήκες υποπλήρωσης συγκριτικά με τα συμβατικά ρευστά.

Εναλλακτικά με τη μέθοδο της ηθελημένης ανακούφισης, υπάρχει η μέθοδος της συγκέντρωσης όλης της ποσότητας του CO<sub>2</sub> στο δοχείο receiver (το οποίο φυσικά πρέπει να είναι κατάλληλα διαστασιολογημένο) και η πίεσή του εκεί να διατηρείται σε χαμηλό (ακίνδυνο) επίπεδο με τη βοήθεια ενός αυτόνομου τοπικού ψυκτικού κυκλώματος (πιθανά με υδροφθοράνθρακα αλλά και με το ίδιο το CO<sub>2</sub>), το οποίο μάλιστα έχει και αυτόνομη πηγή ενέργειας (γεννήτρια), η οποία ενεργοποιείται αυτόματα με την παύση του ρεύματος δικτύου. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα, που ανακουφίζει την πίεση με ένα ανεξάρτητο ψυκτικό κύκλωμα.



**Σχήμα 2: Εξασφάλιση χαμηλής πίεσης σε δοχείο CO<sub>2</sub> κατά τη διακοπή λειτουργίας με χρήση ανεξάρτητου ψυκτικού κυκλώματος.**

Το CO<sub>2</sub> εντάσσεται κατά ASHRAE στη κατηγορία αερίων A<sub>1</sub> (όχι τοξικό, όχι εύφλεκτο). Εν τούτοις, από ένα επίπεδο συγκέντρωσης και πάνω μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον άνθρωπο, ακόμα και θανατηφόρα. Να γνωρίζουμε, ότι στην ατμόσφαιρα υπάρχει σήμερα CO<sub>2</sub> που προσεγγίζει τα 400 ppm, άρα σε αυτό το επίπεδο δεν υφίσταται λόγος ανησυχίας.

Μέχρι τα 1000 ppm μπορεί να γίνεται ανεκτό χωρίς προβλήματα. Στον επόμενο πίνακα (άντληση πληροφοριών από αναφορές 1 και 4) αναφέρονται κλιμακωτά τα επίπεδα συγκέντρωσης και οι αντίστοιχες επιπτώσεις στον άνθρωπο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ - ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ CO <sub>2</sub> ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ				
ΟΡΟΛΟΓΙΑ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (ppm)	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
		350-400	Φυσιολογική συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα	
		1000	Συνιστάται να μην υπερβαίνεται	
TWA	Time Weighted Average			$(5h \times 7000ppm + 3h \times 6000ppm) / 8 = 4600ppm$
TLV	Threshold Limit Value	5.000	Οριακή τιμή TWA 8ωρης έκθεσης χωρίς αρνητικές επιπτώσεις	Ανώτατο όριο TWA - Οπτικός συναγερμός
ATEL	Acute Toxicity Exposure Limit	20.000	Επιτάχυνση 50% αναπνοής - εξάντληση	Αύξηση εξαερισμού - Συναγερμός εγρήγορσης
STEL	Short Limit Time Exposure (15 min)	30.000	Επιτάχυνση 100% αναπνοής - εξάντληση	
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health	40.000	Ανώτατο όριο στο οποίο μπορεί να γίνει διαφυγή εντός 30' χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία	Συναγερμός εκκένωσης
		100.000	Πάνω από αυτό το επίπεδο γρήγορη λιποθυμία και πιθανά θάνατος.	

**Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά όρια συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στο περιβάλλον και αντίστοιχες επιπτώσεις [1, 4].**

Κατόπιν των ανωτέρω, τα ενεργητικά μέτρα ασφάλειας που πρέπει να λαμβάνονται σε χώρους που υπάρχουν δίκτυα CO<sub>2</sub> έχουν ως εξής:

- ❖ Πρέπει να υπάρχει ένας μόνιμος "ελαφρύς" εξαερισμός, που να εξασφαλίζει ότι δεν ξεπερνάται ποτέ το όριο των 1.000 ppm [1].
- ❖ Σε χώρους που παραμένουν επί μακρόν εργαζόμενοι, πρέπει να υπάρχει όργανο μέτρησης συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στον αέρα, ώστε να παρακολουθείται συνεχώς ότι δεν ξεπερνιέται ο σταθμικός μέσος όρος (TLV) των 5.000 ppm για τον κάθε εργαζόμενο σε 8ωρη ημερήσια βάση και 40ωρη εβδομαδιαία βάση. Το όργανο πρέπει να κάνει συνεχείς υπολογισμούς της τιμής TWA και όταν απαιτείται να δίνει σήμα συναγερμού. Επίσης, πρέπει να έχει τη δυνατότητα προγραμματισμού πολλαπλών βαρδιών [1].

- ❖ Σύμφωνα με [1], όταν η συγκέντρωση ξεπερνάει τα 5.000 ppm πρέπει να είναι σε γνώση των παριστάμενων με ένα πρώτο επίπεδο alarm. Στη [4] αναφέρεται ότι στα 5.000 ppm αρκεί ένα οπτικό alarm, ενώ το ηχητικό πρέπει να διεγείρεται σε ανώτερα επίπεδα (βλέπε επόμενη παράγραφο).
- ❖ Σύμφωνα με το standard EN378, σε μηχανοστάσια όπου το περιεχόμενο σε CO<sub>2</sub> ξεπερνάει τα 25 kg και υπάρχει μακρά απασχόληση ανθρώπων (π.χ. εργαστήριο επισκευών) πρέπει να τοποθετούνται ανιχνευτές συνδεδεμένοι με σύστημα εξαερισμού. Στην [1] αναφέρονται τα εξής: Όταν η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> είναι < 5.000 ppm πρέπει να υπάρχει μια "ελαφρά" μόνιμη ανανέωση του αέρα (νωπός αέρας), της τάξης των 4 αλλαγών / ώρα του αέρα του χώρου. Μόλις η συγκέντρωση φθάσει τα 5.000 ppm, πρέπει αυτόματα να ενεργοποιείται σύστημα αύξησης του εξαερισμού σύμφωνα με φόρμουλα δεδομένων. Η αύξηση του εξαερισμού πρέπει να συνοδεύεται από ένα συναγερμό χαμηλού επιπέδου (πιθανά μόνο οπτικό). Αν τελικά η συγκέντρωση συνεχίσει να ανεβαίνει, πρέπει να προβλέπεται ένα δεύτερο επίπεδο συναγερμού στο 50% του ορίου ATEL (ήτοι 50%×20.000 = 10.000 ppm) και συναγερμός επείγουσας εκκένωσης χώρου στο όριο IDLH (40.000 ppm). Το σύστημα εξαερισμού δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 15 αλλαγές την ώρα [1].

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Natural Refrigerant CO<sub>2</sub>, edited by Walter Reulens, October 2009, Leonardo project "NARECO<sub>2</sub>".
2. International Institute of Ammonia Refrigeration "CO<sub>2</sub> Handbook", 2010.
3. Brian T. Austin, K. Sumathy "Transcritical carbon dioxide heat pump systems: A review", ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 4013–4029
4. International Institute of Refrigeration "CO<sub>2</sub> as a refrigerant", editor A. B. Pearson, 2014