

28-4-24

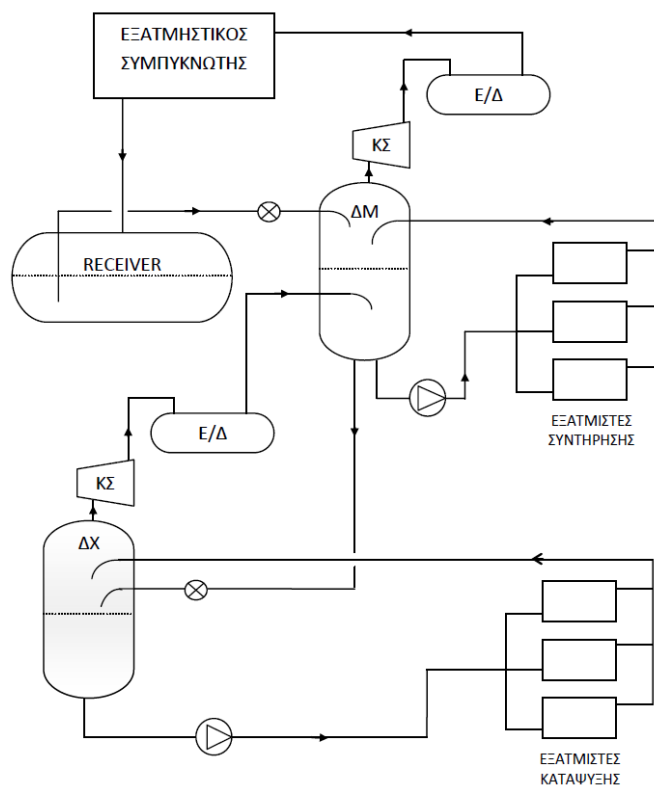
## **ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΦΩΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ**

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

Έχοντας πάντα κατά νου ότι η αμμωνία είναι το αποτελεσματικότερο ψυκτικό ρευστό και χωρίς νομοθετικούς περιορισμούς (φυσικό ρευστό), απομένει ο «φόβος» της επικινδυνότητας. Είναι φανερό, ότι οι κίνδυνοι της αμμωνίας είναι ανάλογοι με την ποσότητά της εντός του κυκλώματος, που είναι γνωστή σαν «μάζα πλήρωσης». Συνεπώς διαφαίνεται λογικό, αν θέλουμε να μειώσουμε την επικινδυνότητα να κάνουμε προσπάθειες μείωσης της μάζας πλήρωσης. Στα επόμενα θα ακολουθήσουμε μια κλιμακωτή λογική, ξεκινώντας από μια συνοπτική «ανατομία» ενός παραδοσιακού συστήματος υπερπλήρωσης το οποίο ορίζουμε σαν σύστημα αναφοράς και κατόπιν βήμα – βήμα θα εξετάσουμε συστήματα χαμηλότερης πλήρωσης πηγαίνοντας σε όλο και χαμηλότερη μάζα πλήρωσης. Η διαδρομή αυτή είναι δύσκολη και απαιτεί γνώση και καινοτομία.

### **ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ (ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ)**

Πρόκειται για το κλασσικό σύστημα που αναφέραμε σε προηγούμενο άρθρο. Το τυπικό σύστημα είναι διβάθμιο και φέρει δυο ζώνες εξάτμισης, μια για θερμοκρασίες συντήρησης και μια για πολύ βαθιάς κατάψυξης. Ένα τέτοιο τυπικό σύστημα φαίνεται στο επόμενο σχήμα και το εκλαμβάνουμε σαν «σύστημα αναφοράς» για τη σύγκριση με τις εναλλακτικές λύσεις μικρότερης πλήρωσης. Με την έννοια ότι στο σύστημα αυτό έχει γίνει χρήση όλων των κανόνων καλού σχεδιασμού και λειτουργίας, αποκαλείται «ήπια βελτιστοποιημένο σύστημα». Για λόγους ευκρίνειας, στο επόμενο σχήμα σημειώνεται μόνο ότι αφορά τις βασικές αρχές λειτουργίας και όχι λεπτομερή όργανα ελέγχου. Επίσης δεν σημειώνονται το σύστημα απόψυξης και το σύστημα ψύξης του λαδιού των συμπιεστών. Ο συμπυκνωτής είναι εξατμιστικός (ο πιο αποδοτικός) και το δοχείο μεσαίας θερμοκρασίας – ενδιάμεσος ψύκτης είναι του ανοικτού τύπου (open type intercooler).



## Κεντρικό βελτιστοποιημένο σύστημα υπερπλήρωσης αμμωνίας (σύστημα αναφοράς).

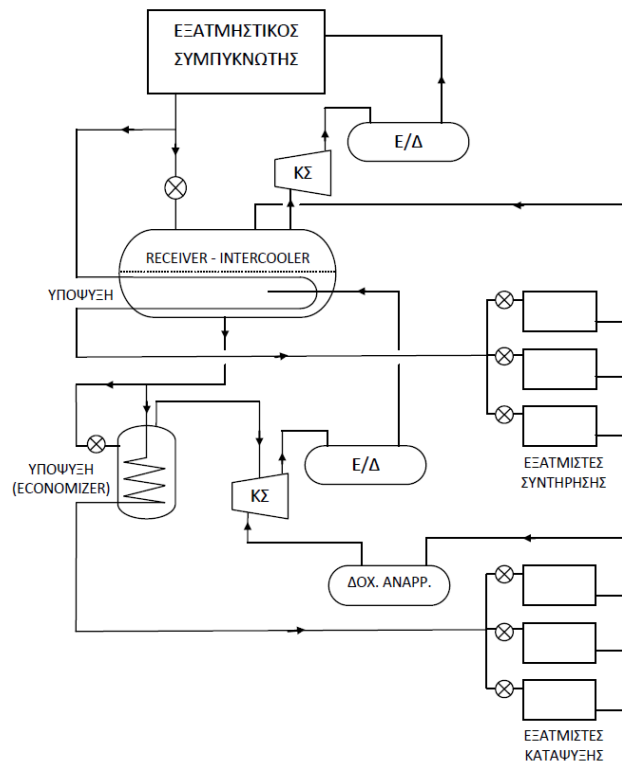
Το σύστημα αυτό σύμφωνα με [2] απαιτεί **2,60 - 3,00 kg ανά ψυκτικό KW** και ο συνολικός συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (COP) αποτιμήθηκε στο 1,41. Με βάση ένα σύστημα αναφοράς σαν αυτό του ως άνω σχεδίου<sup>1</sup> θα γίνει η σύγκριση με τα λοιπά συστήματα που εξετάζουμε στο παρόν και επόμενο άρθρο.

## ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΞΗΡΗΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ

Κατά παράδοση και για τους λόγους που εξηγήθηκαν στο προηγούμενο άρθρο η ξηρή εκτόνωση είχε περιορισμένη χρήση στην αμμωνία, ειδικά στις εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Πρόσφατες έρευνες με στόχο τη μείωση της πλήρωσης οδήγησαν σε ανασκόπηση αυτής της επιφύλαξης, με βάση τα «εξελιγμένα» συστήματα ξηρής εκτόνωσης. Ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα ξηρής εκτόνωσης θα περιέχει λιγότερα δοχεία, θα έχει λιγότερες σωληνώσεις, οι

<sup>1</sup> Το σύστημα αναφοράς είναι ένα κλασικό διβάθμιο σύστημα υπερπλήρωσης και πρόκειται για μια ψυχρή αποθήκη επιφανείας 10370 m<sup>2</sup>, διαστάσεων 122 X 85 m, ύψους 9 m (93330 κ.μ.) και ράμπα ύψους 6 m. Τα φορτία απαρτίζονται από μια κατάψυξη 995 KW στους -23° C, έξι χώρους blast freezing 230 KW ο καθένας, σχεδιασμένοι να καταψύχουν στους -18° C ένα φορτίο αυτοκινήτου σε 24 ώρες με αέρα -35° C και τη ράμπα που έχει φορτίο 280 KW στους 7° C. Το συνολικό φορτίο της εγκατάστασης υπολογίζεται στα 995+6X230+280 = 2655 KW [2].

διάμετροι των σωλήνων θα είναι μικρότερες και φυσικά δεν περιέχει αντλίες. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα.



### Κεντρικό εξελιγμένο σύστημα ξηρής εκτόνωσης αμμωνίας.

Παρατηρούμε ότι και αυτό το σύστημα είναι διβάθμιο, αλλά περιέχει δοχεία πολύ μικρότερης συνολικής χωρητικότητας. Δεν υπάρχει το δοχείο χαμηλής. Δεν υπάρχει το δοχείο μεσαίας - ενδιάμεσος ψύκτης. Επίσης δεν υπάρχει ξεχωριστό receiver. Τα δοχεία μεσαίας και receiver συμπύσσονται σε ένα δοχείο, το οποίο ταυτόχρονα υποψύχει και το υγρό τροφοδοσίας της ζώνης των εξατμιστών συντήρησης. Υπάρχει ένα (σχετικά μικρό) δοχείο συλλογής αναρρόφησης (suction accumulator). Υπάρχει τέλος ένα δοχείο υπόψυξης του υγρού προς τη ζώνη των εξατμιστών κατάψυξης, που επικοινωνεί με τη μεσαία λήψη του κοχλιωτού συμπιεστή κατάψυξης (δοχείο economizer). Το συνολικό περιεχόμενο αμμωνίας των δοχείων αυτού του συστήματος ξηρής εκτόνωσης είναι πολύ λιγότερο από το ισοδύναμο σύστημα υπερπλήρωσης. Εδώ τονίζεται, ότι η υπόψυξη είναι απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία, ώστε να μην δημιουργείται flash gas (αέριο εξάτμισης) στις γραμμές τροφοδοσίας<sup>2</sup>. Το αέριο τούτο στις

<sup>2</sup> Εδώ το υγρό τροφοδοσίας είναι κορεσμένο και η παραμικρή πτώση πίεσης και / ή θερμικό κέρδος από το περιβάλλον δημιουργεί flash gas. Για τούτο και πρέπει να υποψύχεται, ενώ η γραμμή πρέπει να είναι μονωμένη. Σε αντίθεση, το υγρό τροφοδοσίας στα συστήματα υπερπλήρωσης είναι (έντονα) υπόψυκτο λόγω της προσθήκης πίεσης από την αντλία και βεβαίως η γραμμή του πρέπει να είναι μονωμένη.

γραμμές τροφοδοσίας δυσκολεύει την ομαλή λειτουργία των εκτονωτικών βαλβίδων. Φυσικά δεν υπάρχει αντλία, αφού το υγρό διοχετεύεται κατευθείαν στις (ατομικές) εκτονωτικές βαλβίδες των εξατμιστών με τη «δική» του δυναμική ενέργεια λόγω της ψηλής του πίεσης (πίεση συμπύκνωσης). Τέλος, ο αναγνώστης μπορεί να παρατηρήσει στο ως άνω σχήμα «διαγραμματικά», ότι οι εξατμιστές είναι τροφοδοσίας από επάνω σε αντίθεση με το σύστημα υπερπλήρωσης, που είναι τροφοδοσίας από κάτω. Οι εξατμιστές επάνω τροφοδοσίας έχουν πολύ μικρότερο ποσοστό πλήρωσης σε σχέση με τους κάτω τροφοδοσίας (25-40% του εσωτερικού τους όγκου έναντι 60-75% αντίστοιχα). Εκτός από την χαμηλότερη πλήρωση, ένα ακόμα πλεονέκτημα της επάνω πλήρωσης είναι το γρήγορο «άδειασμα» του εξατμιστή κατά την έναρξη του κύκλου απόψυξης (με την βαρύτητα αντί με εξάτμιση όπως στις μονάδες τροφοδοσίας από κάτω). Τούτο έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του χρόνου απόψυξης, που σημαίνει μικρότερους χρόνους διακοπής της ψύξης και μικρότερο θερμικό φορτίο στους χώρους. Τα χαρακτηριστικά αυτά, σε συνδυασμό με άλλα μέτρα<sup>3</sup>, προσφέρουν αξιόλογη λειτουργική εξοικονόμηση.

Μερικά βασικά σημεία που χρήζουν προσοχής, ώστε η ξηρή εκτόνωση να πετυχαίνει τη μέγιστη δυνατή απόδοση, είναι τα εξής:

- ❖ Δεν πρέπει να υπάρχει στο σύστημα νερό. Σε όλα τα συστήματα το νερό δημιουργεί προβλήματα, αλλά στην ξηρή εκτόνωση ακόμα περισσότερο. Ο λόγος είναι ότι «ξεγελιέται» ο βαθμός υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή με την παρουσία του νερού.
- ❖ Είναι απαραίτητη η υπόψυξη του υγρού τροφοδοσίας, όπως ήδη εξηγήθηκε.
- ❖ Οι εκτονωτικές βαλβίδες πρέπει να είναι ηλεκτρονικές και να ανταποκρίνονται άμεσα τις εντολές του controller.
- ❖ Η μέτρηση της ποσότητας του ρευστού που τροφοδοτεί τον εναλλάκτη πρέπει να είναι ακριβής, με βάση προχωρημένους αλγόριθμους ελέγχου, ώστε να βελτιστοποιείται η απόδοση του εναλλάκτη. Ταυτόχρονα, το σύστημα ελέγχου πρέπει να έχει ψηλό βαθμό αξιοπιστίας, ότι δεν «δραπετεύει» υγρό (ή έστω ελάχιστο) προς το δοχείο συγκέντρωσης της αναρρόφησης. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, είναι απαραίτητο να μη γίνονται απότομες αλλαγές στις πιέσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης. Ο καλύτερος τρόπος είναι η χρήση inverter στους κινητήρες των ανεμιστήρων του συμπυκνωτή και του συμπιεστή, ώστε ο έλεγχος ικανότητας να γίνεται ομαλά - προοδευτικά και όχι σε διακριτά (απότομα) βήματα.

<sup>3</sup> Τα πρόσθετα μέτρα συνοψίζονται σε χαμηλή ρύθμιση της βαλβίδας πίεσης απόψυξης (5,2 - 6,2 barg), μείωση του χρόνου απόψυξης π.χ. στα 10 min με ξεχωριστό κύκλωμα απόψυξης της λεκάνης, μείωση του αριθμού των ημερήσιων κύκλων απόψυξης ανάλογα το φορτίο και με μεγαλύτερη ανοχή στο σχηματιζόμενο πάχος του πάγου, επιλογή αραιότερης απόστασης πτερυγίων (3fri αντί 4 fri), μείωση της διείσδυσης του νερού με καλό σχεδιασμό πόρτας και διατήρηση του εξωτερικού χώρου (ράμπας) στο χαμηλότερο δυνατό σημείο δρόσου.

Το σύστημα αυτό εφόσον πληροί τους αναφερθέντες κανόνες απαιτεί μάζα πλήρωσης αμμωνίας περίπου **1,00 kg ανά ψυκτικό KW** (περίπου το ένα τρίτο σε σχέση με το σύστημα αναφοράς) και ο συνολικός συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (COP) εκτιμάται 1,41 (ίδιος με του συστήματος υπερπλήρωσης). Πρόκειται για σύστημα χαμηλής πλήρωσης. Υπενθυμίζεται ότι σύμφωνα με τον ορισμό που δώσαμε στο προηγούμενο άρθρο, ένα σύστημα αμμωνίας μπορεί να χαρακτηρίζεται «χαμηλής πλήρωσης» αν περιέχει κατά μέγιστο το 50% ενός «ήπια» βελτιστοποιημένου ισοδύναμου συστήματος υπερπλήρωσης. Εφόσον για παράδειγμα το τελευταίο περιέχει αμμωνία της τάξης των 2,6 kg /KWR, σαν σύστημα χαμηλής πλήρωσης σύμφωνα με το ως άνω κριτήριο μπορεί να χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε σύστημα έχει πλήρωση αμμωνίας < 1,3 kg / KWR. Μια αξιολογή επίσης παρατήρηση, είναι ότι αν το σύστημα αυτό είναι «έξυπνα» σχεδιασμένο, μπορεί να έχει ελαφρά χαμηλότερο κόστος επένδυσης.

#### **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

1. Νίκος Χαριτωνίδης «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΨΥΞΗΣ – ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑ», 2020.
2. White Paper "Low Ammonia Charge Refrigeration Systems for Cold Storage", Terry L. Chapp, for the International Association of Refrigerated Warehouses and the International Association for Cold Storage Construction, 2014.