

## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ

Το νερό έχει έντονα αρνητική επίδραση στα συστήματα αμμωνίας ξηρής εκτόνωσης. Ατυχώς, υπάρχουν πολλοί λόγοι που οδηγούν σε ύπαρξη νερού στο κύκλωμα και που είναι δύσκολο να απαλειφθούν, όπως ατελές κενό στην εκκίνηση, απομένον νερό σε δοχεία από δοκιμές υδραυλικής πίεσης, διείσδυση κατά τις επισκευές και διείσδυση λόγω λειτουργίας σε πίεση κάτω της ατμοσφαιρικής ( $< 1$  bar απόλυτη). Το νερό αυτό διαλύεται με την αμμωνία και της ανεβάζει το σημείο βρασμού σε δεδομένη πίεση, τόσο περισσότερο όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του νερού. Για παράδειγμα, σε συγκέντρωση 2-3% και σε ένα εύρος πιέσεων από 0,7-3,3 bar ή άνοδος του σημείου βρασμού είναι 0,5-0,8 K, ενώ σε συγκέντρωση 20% η άνοδος είναι σημαντική, 5-6 K ανάλογα την πίεση αναρρόφησης (4,8 K στα 0,7 bar έως 6,2 K στα 3,3 bar). Τούτο εκ πρώτης όψης δεν ακούγεται κρίσιμο, δεδομένου ότι δεν αναμένονται (αρχικές) συγκεντρώσεις νερού σε ένα σύστημα πάνω από 2-3%. Δεν είναι όμως έτσι. Στον εξατμιστή λαμβάνουν χώρα διεργασίες λόγω του (αρχικά λίγου) νερού, που υποβαθμίζουν έντονα την ικανότητά του. Οι λόγοι είναι οι εξής:

Με την είσοδο του μίγματος στον εξατμιστή αρχίζει ο βρασμός (εξάτμιση) στο καθεστώς της πίεσης που επιβάλλει ο συμπιεστής. Λόγω της μεγάλης διαφοράς πίεσης ατμών αμμωνίας - νερού στην επικρατούσα πίεση, εξατμίζεται μόνο η αμμωνία. Το νερό παραμένει αμετάβλητο στο απομένον και συνεχώς μειούμενο υγρό. Η συγκέντρωση του νερού στο υγρό μίγμα προοδευτικά αυξάνεται με συνέπεια την προοδευτική αύξηση (ανοδική ολίσθηση) του σημείου βρασμού. Όσο το υγρό οδεύει προς την έξοδο, τόσο μειώνεται ο ρυθμός εξάτμισης (λόγω αύξησης της συγκέντρωσης του νερού) και ανέρχεται το σημείο βρασμού. Αν υποθέσουμε ότι ο εναλλάκτης λειτουργεί με  $TD=6$  K, η αμμωνία θα παύσει να εξατμίζεται όταν το σημείο βρασμού της ανέβει κατά 6K. Στο σημείο αυτό το νερό θα έχει συγκέντρωση περίπου 20%. Το πλούσιο μίγμα υγρής αμμωνίας - νερού (συγκέντρωσης νερού 20%) θα εξέλθει από τον εναλλάκτη (ενώ βάσει σχεδιασμού θάπρεπε να εξέρχεται μόνο αέριο) και φυσικά πρέπει κάπου να παγιδευτεί πριν εισέλθει στο συμπιεστή. Γενικά, σε αυτές τις περιπτώσεις ο βρασμός σταματάει σε κάποιο σημείο της διαδρομής εντός του εξατμιστή, που εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση του νερού και την πίεση αναρρόφησης. Σε αυτό το σημείο η άνοδος του σημείου βρασμού εξισώνεται με το TD του εξατμιστή [2]. Με την παύση του βρασμού, η ποιότητα του ατμού εξόδου από τον εξατμιστή έχει μια συγκεκριμένη τιμή που εξαρτάται από την πίεση αναρρόφησης, την αρχική συγκέντρωση του νερού και το TD του εξατμιστή. Για παράδειγμα, με αρχική συγκέντρωση νερού 3%, πίεση

αναρρόφησης 0,7 bar απόλυτη (-40° C) και TD 6K, η ποιότητα του μίγματος αμμωνίας στην έξοδο του εναλλάκτη είναι 89% και φυσικά περιέχει (πλέον) 20% νερό [2].

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε, ότι ακόμα και μικρές αρχικές ποσότητες νερού στην αμμωνία, οδηγούν στη δυσάρεστη συγκέντρωση νερού της τάξης του 20% στην έξοδο του εξατμιστή και καταλήγουν σε αδυναμία πλήρους εξάτμισης. Τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι τα εξής:

- ❖ Η μέση ενεργός τιμή TD του εναλλάκτη μειώνεται, με προφανή επίπτωση την μείωση της ικανότητάς του. Για να επανέλθει η ικανότητα πρέπει να αυξηθεί το (αρχικό) TD, ήτοι να μειωθεί η πίεση αναρρόφησης, που σημαίνει κόστος (και στη περίπτωση που η πίεση είναι κάτω της ατμοσφαιρικής μεγαλύτερη πιθανότητα διείσδυσης πρόσθετου νερού).
- ❖ Απαιτείται πρόβλεψη της παγίδευσης του υγρού στο μίγμα εξόδου του εξατμιστή, ώστε να μην εισέλθει στο συμπιεστή.
- ❖ Απαιτείται μια μέθοδος απομάκρυνσης του νερού, ώστε να παύσουν οι ως άνω αρνητικές επιπτώσεις που υποβαθμίζουν την ιδέα της ξηρής εκτόνωσης στην αμμωνία.

Η αναμενόμενη ογκομετρική παροχή του διαλύματος αμμωνίας - νερού συγκέντρωσης 20%, που εξέρχεται από τους εξατμιστές και συγκεντρώνεται στο δοχείο συγκέντρωσης υπολογίζεται με βάση την αρχική συγκέντρωση του νερού στην αμμωνία και την ψυκτική ικανότητα, όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα [2].

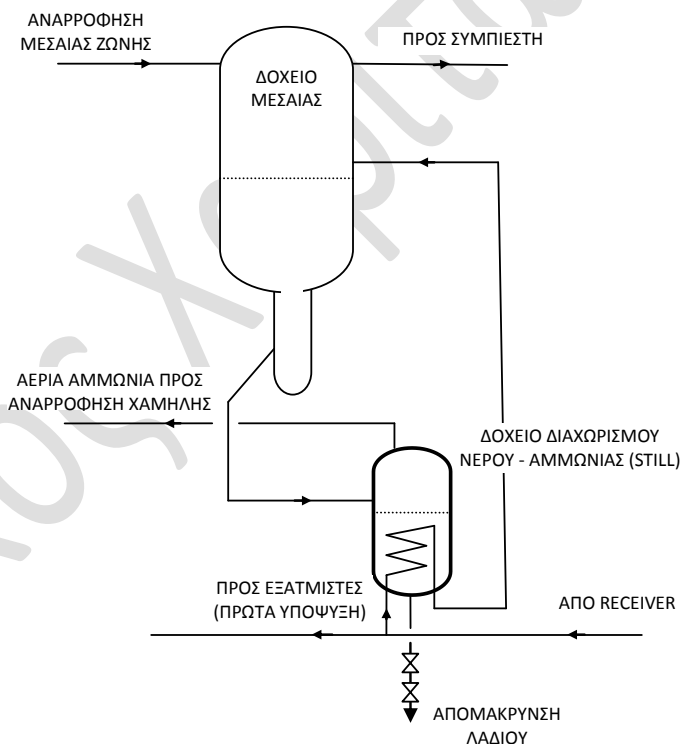
Αρχική συγκέντρωση νερού στην αμμωνία (%)	Ογκομετρική παροχή διαλύματος αμμωνίας - νερού (20% νερό) που εξέρχεται από τους εξατμιστές (m <sup>3</sup> /h/KW)
0,5	0,000081
1,0	0,000161
3,0	0,000564
5,0	0,000966
10,0	0,001932

**Πίνακας 1: Ογκομετρική παροχή μίγματος αμμωνίας - νερού που εξέρχεται από εξατμιστές ξηρής εκτόνωσης.**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Να οριστεί η ογκομετρική παροχή μίγματος αμμωνίας - νερού συγκέντρωσης 20% σε νερό που εξέρχεται από εξατμιστές ξηρής εκτόνωσης συστήματος 800 KW, αν η αρχική συγκέντρωση νερού στην αμμωνία είναι 2%.

Σύμφωνα με πίνακα 13.1, η ογκομετρική παροχή του διαλύματος αμμωνίας - νερού 20% που εξέρχεται από τους εξατμιστές ισούται με  $[(0,000161+0,000564)/2] \times 800 = 0,29 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Το πλούσιο σε νερό διάλυμα αμμωνίας (γνωστό σαν υδροξείδιο του αμμωνίου -  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) συγκεντρώνεται στο δοχείο αναρρόφησης (accumulator), όπου πρέπει με κάποια μέθοδο να απομακρυνθεί το νερό. Η μέθοδος είναι η θέρμανση του διαλύματος σε ξεχωριστό δοχείο, που είναι τοποθετημένο κάτω από το δοχείο συγκέντρωσης (δοχείο "still"), όπου το διάλυμα θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία και "αποβάλλει" την αέρια αμμωνία, η οποία διοχετεύεται σε σημείο χαμηλής πίεσης του κύκλωματος, π.χ. το δοχείο χαμηλής. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα αρχικά στάδια λειτουργίας μιας εγκατάστασης, (που είναι πιθανή η παρουσία μεγάλης ποσότητας νερού στο κύκλωμα), μετά από μείζονα επέμβαση ή μόνιμα αν η πίεση αναρρόφησης είναι κάτω της ατμοσφαιρικής (οπότε είναι πιθανή η συνεχής διείσδυση νερού). Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η σχετική διάταξη σε ένα διβάθμιο σύστημα.



### Σύστημα απομάκρυνσης νερού από κύκλωμα αμμωνίας ξηρής εκτόνωσης.

Η θέρμανση του υδροξειδίου του αμμωνίου στο δοχείο still πρέπει να είναι ελεγχόμενη: Αν είναι υποτονική, θα παραμείνει πολλή αμμωνία στο διάλυμα. Αν είναι υπερβολική, θα εξατμιστεί και νερό μαζί με την αμμωνία και θα επιστρέψει στο δοχείο (χαμηλής).

Επίσης, όσο πιο χαμηλή είναι η πίεση στο σημείο που διοχετεύεται η αέρια αμμωνία, τόσο πιο αποτελεσματικός είναι ο διαχωρισμός της (για τούτο και στο σχήμα διοχετεύεται προς την αναρρόφηση χαμηλής). Σύμφωνα με [2], η θερμοκρασία στο δοχείο still πρέπει να είναι μεταξύ 38 και 49° C. Σε δεδομένη θερμοκρασία, προκύπτει δεδομένη συγκέντρωση νερού στο απομένον διάλυμα στο δοχείο still (απόβλητο), που πρέπει να απομακρυνθεί από το σύστημα. Στη [2] δίνεται ο ακόλουθος πίνακας, που αφορά τη συγκέντρωση του απομένοντος διαλύματος (αποβλήτου), αν η θερμοκρασία στο δοχείο still φθάσει τους 38° C, ανάλογα με την πίεση του σημείου που διοχετεύεται ο ατμός της αμμωνίας (πίεση χαμηλής).

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΟΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ - ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΝΟΔΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΔΟΧΕΙΟ STILL ΣΤΟΥΣ 38° C			
ΠΙΕΣΗ ΧΑΜΗΛΗΣ (BAR)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΟΡΕΣΜΟΥ (°C)	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΑΠΟΜΕΝΟΝ ΔΙΑΛΥΜΑ (% ΚΑΤΑ ΜΑΖΑ)	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΣΤΟ ΑΠΟΜΕΝΟΝ ΔΙΑΛΥΜΑ (% ΚΑΤΑ ΜΑΖΑ)
3,3	-7	57,5	42,5
2,1	-18	65,0	35,0
1,3	-29	72,5	27,5
0,7	-40	80,0	20,0

**Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά απομένοντος διαλύματος νερού - αμμωνίας στο δοχείο still στους 38° C για ποικίλες πιέσεις αναρρόφησης σε σύστημα ξηρής εκτόνωσης.**

Με συνδυασμό των ως άνω στοιχείων, μπορεί να υπολογιστεί ο συνολικός όγκος του αποβλήτου που θα συγκεντρωθεί μετά τον "καθαρισμό" του κυκλώματος, ανάλογα την ποσότητα πλήρωσης της αμμωνίας, την αρχική συγκέντρωση του νερού και την πίεση που διοχετεύεται η αέρια αμμωνία. Στην [2] δίνεται ο ακόλουθος πίνακας (θέρμανση δοχείου still στους 38° C).

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΑΜΜΩΝΙΑΣ (LT) ΑΝΑ KG ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΧΕΙΟΥ STILL 38° C				
ΑΡΧΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΕΡΟΥ	ΠΙΕΣΗ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ BAR (ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΟΡΕΣΜΟΥ °C)			
	3,3 (-7)	2,1 (-18)	1,3 (-29)	0,7 (-40)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,021	0,018	0,015	0,013
3	0,062	0,053	0,046	0,040
5	0,103	0,088	0,076	0,067
10	0,205	0,176	0,153	0,134
20	0,411	0,352	0,305	0,269

**Πίνακας 3: Αναμενόμενος όγκος αρχικού αποβλήτου νερού - αμμωνίας ανά kg πλήρωσης αμμωνίας σε σύστημα ξηρής εκτόνωσης.**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Ένα σύστημα ξηρής εκτόνωσης αμμωνίας ξεκινάει με συγκέντρωση νερού 3%. Να υπολογιστεί ο όγκος του αποβλήτου από το δοχείο still, αν η ποσότητα πλήρωσης είναι 2270 kg. Το δοχείο still θερμαίνεται στους 38° C και ο ατμός της αμμωνίας διοχετεύεται σε αναρρόφηση -29° C.

Σύμφωνα με τον πίνακα 2, η κατά μάζα συγκέντρωση αμμωνίας στο απόβλητο θα είναι 27,5%. Σύμφωνα με πίνακα 3, για ποσότητα πλήρωσης αμμωνίας 2270 kg με (αρχικό) νερό 3% και αναρρόφηση -29° C ο όγκος του αποβλήτου υδροξειδίου των αμμωνίου ανέρχεται σε  $2270 \times 0,046 = 104,4$  lt.

Το υδροξείδιο του αμμωνίου είναι επικίνδυνο απόβλητο και πρέπει να φυλάσσεται σε ψυχρό περιβάλλον ώστε να μην απελευθερώνεται η διαλυμένη αμμωνία, ήτοι σε θερμοκρασία κάτω από το σημείο φυσαλίδας (bubble point) που αναφέρεται στη συγκέντρωση αμμωνίας του εν λόγω διαλύματος και σε ατμοσφαιρική πίεση. Οι περιέκτες πρέπει να είναι από ανθρακούχο χάλυβα, ανοξείδωτο χάλυβα, χυτό χάλυβα ή αλουμίνιο. Οποιοδήποτε άλλο υλικό (συμπεριλαμβανομένου και του γαλβανισμένου χάλυβα) μπορεί να προσβάλλεται. Η αποκομιδή πρέπει να γίνεται από πιστοποιημένο φορέα για διάθεση επικίνδυνων ουσιών.

#### **ΠΗΓΗ**

Νίκος Χαριτωνίδης, "Παραγωγή Ψύξης - Θέρμανσης και Αμμωνία", CRYOLOGIC ΕΕ, 2021.