

# «Μονάδες αφαλάτωσης με κατερχόμενο υμένα. Προκαταρκτική μελέτη»

Σπανομήτσιος Στέφανος\*, Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc, PhD  
Γιαννουλάκης Θεολόγος, Τεχνολόγος Τροφίμων

**Λέξεις κλειδιά:** Συμπίση Ατμών (VC), Κατερχόμενος Υμένας (VFF), Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας (HTC), Ολικός Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας (OHTC).

**Θεματική ενότητα:** Έρευνα

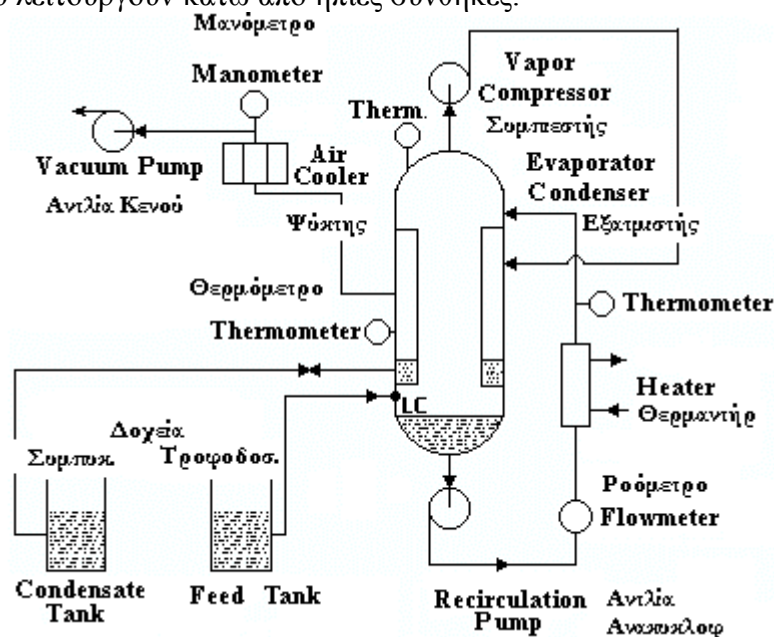
## 1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Για τον έλεγχο του ολικού συντελεστού μεταφοράς θερμότητας σε λείο σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα κατά την ταυτόχρονη εξάτμιση και συμπύκνωση σε υμένα νερού, που ρέει κατακόρυφα προς τα κάτω, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένας εξατμιστής/συμπυκνωτής με συμπίση ατμών εργαστηριακής κλίμακας. Αναπτύχθηκε μια νέα παραμετρική συσχέτιση στην πλευρά της εξάτμισης, που βασίστηκε στα ισοζύγια θερμότητας και μάζας και στην υπόθεση υπερθέρμανσης του υμένα με μικρή διαφορά θερμοκρασίας. Εξετάστηκε και διευκρινίστηκε η επίδραση της παροχής του νερού σε αναφορά προς τα δεδομένα της έρευνας και εξηγήθηκαν οι αποκλίσεις. Ο υπολογιζόμενος προσεγγιστικά ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας φαίνεται, ότι είναι κοντά στον μετρούμενο και τα αποτελέσματα κατέδειξαν ένα χρήσιμο εργαλείο για την σχεδιαστική πρακτική.

Για τις ανάγκες της μελέτης μιας πρότυπης μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με ήπιες μορφές ενέργειας (ήλιος και άνεμος) και ειδικότερα για την εκτίμηση των ολικών συντελεστών μεταφοράς θερμότητας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένας συμπυκνωτής και εξατμιστής εργαστηριακής κλίμακας τύπου κατερχόμενου υμένα.

## 3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Το σύστημα κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση της λειτουργίας του σε μικρές θερμοκρασιακές διαφορές και ο έλεγχος των ολικών συντελεστών μεταφοράς θερμότητας, που χρησιμοποιούνται στη σχεδιαστική πρακτική των μονάδων αφαλάτωσης, που λειτουργούν κάτω από ήπιες συνθήκες.



Η πειραματική συσκευή εξάτμισης / συμπύκνωσης με συμπίση ατμών

Η πειραματική συσκευή αποτελείται από ένα συμπυκνωτή / εξατμιστή κατασκευασμένο από διαφανείς εξωτερικούς σωλήνες Plexiglas, που συνδέονται με φλάντζες PVC. Ο εσωτερικός σωλήνας εναλλαγής είναι από stainless steel με λείες επιφάνειες.

Ένας συμπιεστής απομακρύνει τον ατμό από την κορυφή και συμπιέζει αυτόν στον μεσαίο εξωτερικό δακτύλιο. Ο ατμός συμπυκνώνεται και απομακρύνεται από τον πυθμένα του δακτυλίου. Η συσκευή εκκενώνεται από τον αέρα με μια αντλία κενού, η οποία διατηρεί την πίεση λειτουργίας σταθερή. Ο απομακρυνόμενος αέρας ελευθερώνεται από τον ατμό σε ένα ψύκτη με ανεπτυγμένη επιφάνεια (πτερύγια). Η παροχή του νερού ανακυκλοφορίας μετρείται με ένα ροτάμετρο πριν εισέλθει στη στήλη. Η στάθμη του νερού στον πυθμένα διατηρείται σταθερή με ένα ρυθμιστή στάθμης τύπου πλωτήρα.

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο OHTC από τις μετρήσεις συγκρίνεται προς την τιμή που προκύπτει από τους υπολογισμούς με βάση τις προτεινόμενες συσχετίσεις και διαπιστώνεται μιας καλή συμφωνία μεταξύ τους. Ωστόσο υπάρχει απόκλιση του OHTC από τις τιμές, που προτείνουν διάφοροι ερευνητές και αυτό αποδίδεται κυρίως στην διαφορετική διαδικασία. Στην πράξη χρησιμοποιούν εναλλάκτη, που φέρουν διαμορφωμένους σωλήνες με διπλή κυματοειδή επιφάνεια από ειδικά κράματα αλουμινίου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ανοξείδωτος χάλυβας χαμηλής αγωγιμότητας.

Οποσδήποτε τρεις διαταραχές φαίνεται να επηρεάζουν την απόδοση του συμπυκνωτή / εξατμιστή υμένα και χρειάζεται να συζητηθούν:

- 1) Οι διαρροές αέρα
- 2) Οι απώλειες θερμότητας
- 3) Η υπερθέρμανση του ατμού

Ελάχιστα ποσά αέρα στην πλευρά της συμπύκνωσης μειώνουν τον HTC. Εξ άλλου, εξ αιτίας της μείωσης της θερμοκρασίας συμπύκνωσης, η απαιτούμενη θερμοκρασία στην πλευρά της συμπύκνωσης πρέπει να μειωθεί δραματικά. Αυτό οδηγεί σε μια μείωση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας και κατά συνέπεια σε μια μείωση του ρυθμού εξάτμισης [10]. Μικρά ποσά μη συμπυκνώσιμων αερίων είναι αναπόφευκτο να υπάρχουν στο σύστημα. Ωστόσο η αντλία κενού απομακρύνει τα αέρια πριν από το ξεκίνημα της συσκευής και λειτουργεί περιοδικά ή συνεχώς σε περίπτωση συγκέντρωσης μη συμπυκνώσιμων αερίων. Κατά την διάρκεια του πειράματος η διαφορά θερμοκρασίας παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη στους  $2^0\text{ C}$ .

Η πλευρά της συμπύκνωσης παρατηρείται μέσα από διαφανή τμήματα σωλήνων από Plexiglas τοποθετημένα επάνω σε φλάντζες PVC, μονωμένων από την μία πλευρά. Σταγόνες νερού εμφανίζονταν κατά την λειτουργία στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα Plexiglas, εξ αιτίας της συμπύκνωσης από τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον. Ο υπολογισμός απέδειξε, ότι αυτό το ποσό θερμότητας δεν είναι σημαντικό (2%).

Για την συμπύεση των κορεσμένων ατμών αδιαβατικά ή πολυτροπικά στη πλευρά συμπύκνωσης χρησιμοποιήθηκε συμπιεστής ατμών με δύο βαθμίδες. Η λανθάνουσα θερμότητα, που ελευθερώνεται μεταφέρεται στην πλευρά εξάτμισης δια μέσου του τοιχώματος του σωλήνα, λόγω της επικρατούσας διαφοράς θερμοκρασίας. Ένας τέτοιος συμπιεστής είναι συνήθως πολυτροπικός και μεγαλύτερης απόδοσης από ένα αδιαβατικό. Ο ατμός μετά την συμπύεση παύει να είναι κορεσμένος. Αν και ο λόγος συμπύεσης είναι μικρός (1.12) και επομένως η διαφορά θερμοκρασίας μικρή, η υπερθέρμανση του ατμού μπορεί να θεωρηθεί, ότι ευθύνεται σ' ένα βαθμό για τις μειωμένες τιμές του OHTC.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kern D. "Process Heat Transfer", McGraw Hill Book Company. 1950
2. McAdams, W. H., "Heat Transmission" 2<sup>nd</sup> Ed., McGraw Hill Book Company, New York. 1942
3. Perry, J. H. "Chemical Engineers' Handbook", 5<sup>th</sup> Ed., McGraw Hill Book Company, New York. 1970.
4. Uche J, Artal J and Serra L., Comparison of heat transfer correlation for thermal desalination units. Desalination 151 (2002) 195-200.
5. Jin X.W., Low C.S. and Quek T., Preliminary experimental study of falling film heat transfer on a vertical doubly fluted plate. Desalination 152 (2002) 201-206.
6. Hammond R. P., Eissenberg D. M., Emmermann D. K., Jones J. E., Sephton H. H., Standiford F. C., Scott R. F., Rider W. J. and David W. D., Seawater desalination plant for Southern California. Desalination 99 (1994) 459-481
7. Schwarzer K, Vieira M. E., Faber C., Mueller C., Solar thermal desalination system with heat recovery. Desalination 137 (2001) 23-29
8. Slesarenko V. N., Intensification of the regime of thin film desalination plants. Desalination 126 (1999) 287-292
9. Edwards K. D., Denny E. V., Mills F. A., Transfer Processes, H. R. Q. Series in Mechanical Engineering, 1973
10. Yundt B., Troubleshooting VC evaporations, Chemical Engineering, December 24, 1984
11. Grassmann P., Physikalische Grundlagen der Verfahrenstechnik, Verlag Sauerlaender Aarau und frankfurt am Main, 1970
12. Alhusseini A.A., Tuzla K., Chen C.J., Falling film evaporation of single component liquids. Int. J. Heat Mass Transfer 1998, 41, 1623-1632
13. Mehra K. D., Selecting evaporators, Chemical Engineering, February 3, 1986
14. Karameldin A., Lofty A., Mekhemar S., The Red Sea wind-driven mechanical vapor compression desalination system. Desalination 153 (2002) 47-53