

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΣΗΣ
ΣΕ ΑΝΑΔΕΥΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΥ - ΥΓΡΟΥ
ΜΕ ΜΟΝΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΠΛΟΥΣ ΠΡΟΩΘΗΤΗΡΕΣ**

I.N. Μαρκόπουλος, Σ. Β. Παράς, Ε. Μπαμπαλώνα

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, 54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε, με τη βοήθεια οπτικών παρατηρήσεων και φωτογράφισης της εξέλιξης του φαινομένου, η βέλτιστη διασπορά αερίου και τα χαρακτηριστικά πλημμύρισης σε μηχανικώς αναδεδυόμενα συστήματα αέρα-νερού. Το δοχείο ανάδευσης είναι από Plexiglas, τετραγωνικής διατομής με πλευρά 0.205 m. Για την ανάδευση χρησιμοποιήθηκαν μονοί και διπλοί στρόβιλοι Rushton, διαμέτρου 0.06, 0.08 και 0.10 m. Από μετρήσεις της μέγιστης παροχής αερίου σε συγκεκριμένες ταχύτητες περιστροφής του προωθητήρα, προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά πλημμύρισης και υπολογίζονται, σε συνθήκες βέλτιστης διασποράς, οι αντίστοιχοι αριθμοί ροής και αριθμοί Froude. Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρήθηκε μια αύξηση του κρίσιμου αριθμού ροής όταν αυξάνεται ο αριθμός Froude. Όταν ελαττώνεται η διάμετρος των προωθητήρων, απαιτούνται μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής για τη διασπορά της ίδιας ποσότητας αερίου. Για απόσταση μεταξύ των προωθητήρων μεγαλύτερη από μια χαρακτηριστική τιμή, οι διπλοί προωθητήρες πλημμυρίζουν ελαφρώς δυσκολότερα σε σύγκριση με τους μονούς, παρουσιάζοντας για τον ίδιο αριθμό Froude μεγαλύτερο κρίσιμο αριθμό ροής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πειραματική μελέτη των χαρακτηριστικών πλημμύρισης σε συστήματα διασποράς αερίου-υγρού, αναδεδυόμενα με μονούς και πολλαπλούς προωθητήρες, παρέχει χρήσιμα δεδομένα για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διασποράς του αερίου, και συνακόλουθα για το βέλτιστο σχεδιασμό των συγκεκριμένων συσκευών αναφορικά με διεργασίες μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Από μετρήσεις της μέγιστης παροχής αερίου, σε συνθήκες βέλτιστης διασποράς και για συγκεκριμένες ταχύτητες περιστροφής του προωθητήρα, υπολογίζονται οι αντίστοιχοι κρίσιμοι αριθμοί ροής $Fl=Q/ND^3$ και προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά πλημμύρισης από διαγράμματα της εξάρτησης του Fl από τον αριθμό Froude $Fr= N^2D/g$, όπου : Q η παροχή του αερίου, N η ταχύτητα περιστροφής και D η διάμετρος του προωθητήρα.

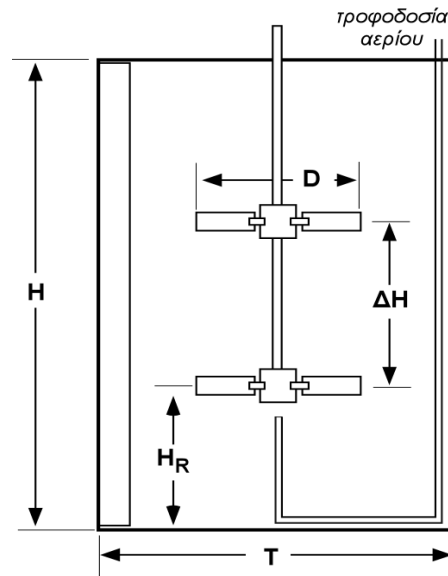
Τα βιβλιογραφικά δεδομένα, που αφορούν τα χαρακτηριστικά πλημμύρισης μονών προωθητήρων τύπου Rushton, παρουσιάζουν σημαντικότερες αποκλίσεις, που μπορούν να αποδοθούν στο διαφορετικό τρόπο με τον οποίο ορίζεται, από τους διαφόρους μελετητές, το σημείο μετάβασης από την κατάσταση πλημμύρισης στην κατάσταση βέλτιστης διασποράς (σημείο πλημμύρισης), αλλά και στις διαφορετικές γεωμετρικές παραμέτρους, που χρησιμοποιούνται στις διάφορες εργασίες [1-4].

Όσον αφορά στους διπλούς προωθητήρες, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία παρουσιάζουν, για απόσταση μεταξύ των προωθητήρων $\Delta H \geq 0.75T$, τα ίδια χαρακτηριστικά πλημμύρισης με τους μονούς προωθητήρες [5]. Για αποστάσεις όμως $\Delta H \geq 3D$, το σύστημα των πολλαπλών προωθητήρων διασπείρει μια επιπλέον ποσότητα αερίου, σε σύγκριση με το μονό προωθητήρα, για τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας [4].

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πειραματικής διάταξης παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Τα πειράματα έγιναν σε διαφανές δοχείο από Plexiglas, τετραγωνικής διατομής με πλευρά, $T = 0.205$ m. Για την ανάδευση χρησιμοποιήθηκαν μονοί και διπλοί προωθητήρες τύπου Rushton, διαμέτρου, D , 0.06, 0.08, και 0.10 m. Η παροχή του αέρα, Q , κυμαινόταν μεταξύ $0.3 \cdot 10^{-4}$ και $1.6 \cdot 10^{-4}$ m³/s. Η απόσταση του κάτω προωθητήρα από τον πυθμένα, H_R , ήταν 4.3 cm. Η παροχή του αέρα γινόταν μέσα από σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 0.5 cm, 1.8 cm κάτω από το επίπεδο του προωθητήρα.

Η μελέτη της εξέλιξης του φαινομένου και ο προσδιορισμός του σημείου πλημμύρισης έγινε με φωτογράφιση. Για τη λήψη των φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε μηχανή τύπου Nikon F90X.

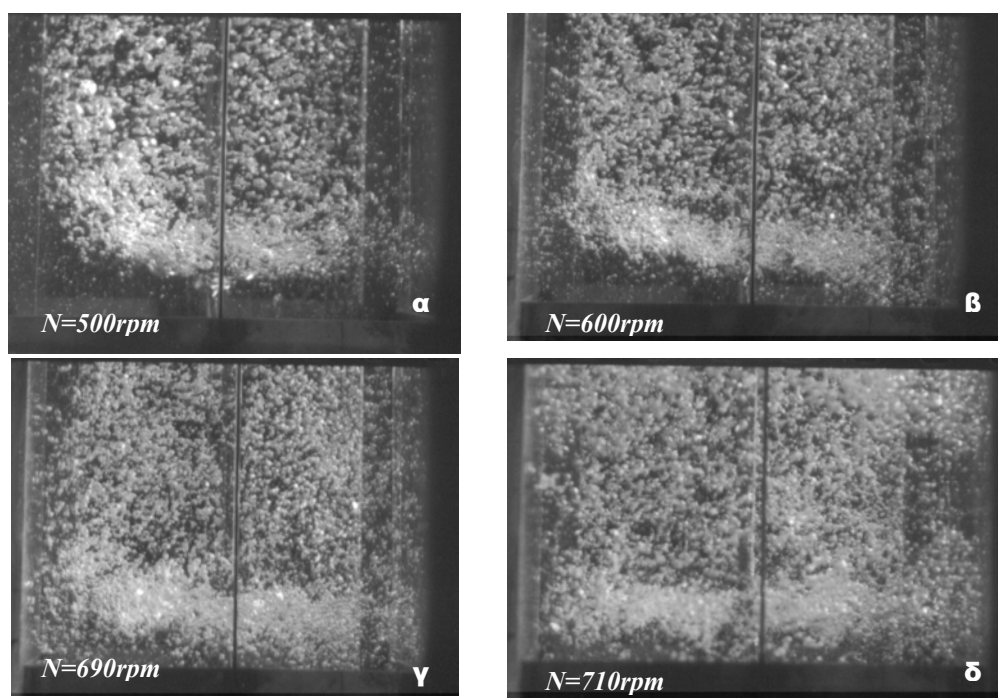


Σχήμα 1. Η πειραματική διάταξη

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ως σημείο μετάβασης από την κατάσταση πλημμύρισης στην κατάσταση βέλτιστης διασποράς ορίστηκε το χαρακτηριστικό ζεύγος τιμών Q , N , για το οποίο παρατηρείται ακτινική κατανομή των φυσαλίδων, στο επίπεδο του προωθητήρα, με φορά τα τοιχώματα του δοχείου. Συγχρόνως με το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και ομοιόμορφη κατανομή των φυσαλίδων σε όλο τον όγκο του δοχείου, πάνω και κάτω από τον προωθητήρα. Τα χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών Q , N προσδιορίστηκαν αφενός σε σταθερές στροφές, με μεταβαλλόμενη παροχή του αερίου και αφετέρου σε σταθερή παροχή αερίου, με μεταβαλλόμενες τις στροφές του προωθητήρα.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες της πλημμύρισης ενός μονού προωθητήρα Rushton, $D = 0.06$ m, για σταθερή παροχή $Q = 0.6 \cdot 10^{-4}$ m³/s και μεταβαλλόμενο αριθμό στροφών N από 500 σε 710 rpm. Στη φωτογραφία (α), ο προωθητήρας είναι πλημμυρισμένος, όπως άλλωστε συμβαίνει και με τον προωθητήρα στη φωτογραφία (β). Στη φωτογραφία (γ) παρουσιάζεται μια σαφώς καλύτερη διασπορά του αερίου σε σύγκριση με τις προηγούμενες δύο καταστάσεις, που όμως δεν είναι ακόμα η βέλτιστη. Αυξάνοντας τις στροφές από 690 rpm σε 710 rpm παρατηρείται ότι επιτυγχάνεται μια ακτινική ροή των φυσαλίδων και μια ομοιόμορφη κατανομή τους σ' ολόκληρο τον όγκο του δοχείου (Σχήμα 2δ). Η μετάβαση από την κατάσταση **πλημμύρισης** στην κατάσταση **βέλτιστης διασποράς** προσδιορίζεται επομένως, στην περίπτωση αυτή, από το ζεύγος τιμών $Q = 0.6 \cdot 10^{-4}$ m³/s, $N = 710$ rpm, με μια απόκλιση μικρότερη του $\pm 5\%$.



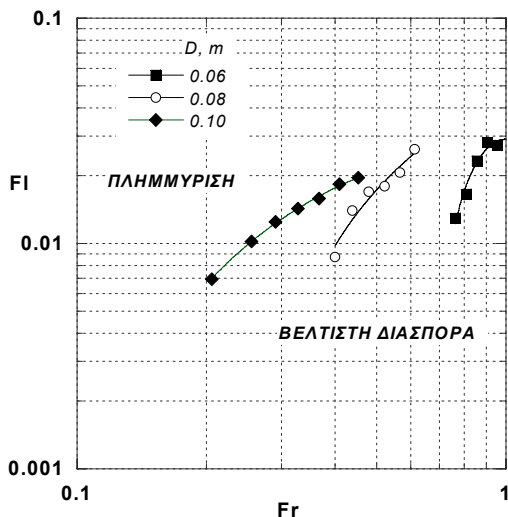
Σχήμα 2. Χαρακτηριστικές φωτογραφίες της εξέλιξης του φαινομένου της πλημμύρισης ενός μονού προωθητήρα Rushton, για διαφορετικές τιμές του N . [$D=0.06\text{ m}$, $Q=0.6\cdot 10^{-4}\text{ m}^3/\text{s}$]

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται, με χρήση αδιάστατων αριθμών, τα χαρακτηριστικά πλημμύρισης των υπό εξέταση προωθητήρων, με βάση τη μέγιστη ποσότητα αερίου, που ο κάθε προωθητήρας μπορεί να διασπείρει, υπό συνθήκες πλήρους διασποράς, σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής του προωθητήρα. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, ο αριθμός ροής Fl αυξάνεται με αύξηση του αριθμού Froude, ενώ καθώς ελαττώνεται το μέγεθος των προωθητήρων αυξάνεται η απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής τους για τη διασπορά της ίδιας ποσότητας αερίου.

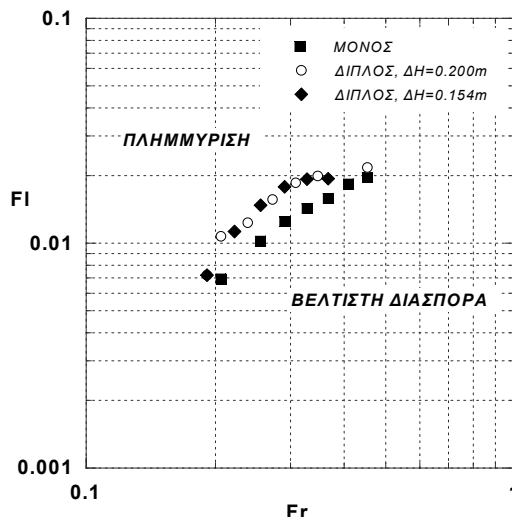
Για απόσταση μεταξύ των δύο προωθητήρων μεγαλύτερη από μια χαρακτηριστική τιμή, οι διπλοί προωθητήρες πλημμυρίζουν ελαφρώς δυσκολότερα σε σύγκριση με τους μονούς προωθητήρες και για τον ίδιο αριθμό Froude παρουσιάζουν μεγαλύτερο κρίσιμο αριθμό ροής. Στο Σχήμα 4 δίνονται, ως παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά πλημμύρισης ενός μονού και ενός διπλού προωθητήρα Rushton διαμέτρου 0.10 m . Για μια χαρακτηριστική απόσταση των προωθητήρων $\Delta H \geq 1.54 D$ ο διπλός προωθητήρας διασπείρει, στον ίδιο αριθμό στροφών, μια κάπως μεγαλύτερη ποσότητα αερίου από ό,τι ο μονός προωθητήρας. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται [5], ότι για χαρακτηριστική απόσταση των προωθητήρων $\Delta H \geq 0.75 T$, οι διπλοί προωθητήρες μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζουν τα *ίδια* χαρακτηριστικά πλημμύρισης με τους αντίστοιχους μονούς προωθητήρες, ενώ για αποστάσεις $\Delta H \geq 3D$ το σύστημα των πολλαπλών προωθητήρων φαίνεται πως διασπείρει μια ελαφρώς μεγαλύτερη ποσότητα αερίου από ό,τι ο αντίστοιχος μονός προωθητήρας, στις ίδιες λειτουργικές συνθήκες [4]. Για τους διπλούς προωθητήρες διαμέτρου 0.06 και 0.08 m , οι αντίστοιχες χαρακτηριστικές αποστάσεις των προωθητήρων ήταν, και στις δύο περιπτώσεις $\Delta H \geq 2D$.

Με βάση τη βιβλιογραφία [6] η κατανάλωση ισχύος των διπλών προωθητήρων διπλασιάζεται ουσιαστικά, για αποστάσεις των προωθητήρων αυτής της τάξεως μεγέθους (π.χ. για

$\Delta H \geq 1.6 D$). Έτσι η μικρή ποσότητα αερίου, που διασπείρουν επιπλέον οι διπλοί προωθητήρες, σε σύγκριση με τους μονούς προωθητήρες σε συγκεκριμένο αριθμό στροφών, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αρκεί για να οδηγήσει στη χρησιμοποίηση των διπλών προωθητήρων, στη θέση των μονών, για τη διεργασία της βέλτιστης διασποράς αερίου σε υγρό.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά πλημμύρισης μονών προωθητήρων.



Σχήμα 4. Χαρακτηριστικά πλημμύρισης μονών και διπλών προωθητήρων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά πλημμύρισης, τόσο στους μονούς όσο και στους διπλούς προωθητήρες ο αριθμός ροής FI αυξάνει με αύξηση του αριθμού Froude, ενώ καθώς ελαττώνεται το μέγεθος των προωθητήρων αυξάνει η απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής τους για τη διασπορά της ίδιας ποσότητας αερίου. Για προωθητήρες με διαμέτρους 0.06 και 0.08 m και χαρακτηριστική απόσταση μεταξύ τους $\Delta H \geq 2 D$, και για προωθητήρες διαμέτρου 0.10 m και $\Delta H \geq 1.54 D$, οι διπλοί προωθητήρες διασπείρουν, στον ίδιο αριθμό στροφών, μια ελαφρώς μεγαλύτερη ποσότητα αερίου, από ό,τι οι αντίστοιχοι μονοί προωθητήρες. Επειδή όμως για αυτές τις αποστάσεις των προωθητήρων η κατανάλωση ισχύος των διπλών προωθητήρων διπλασιάζεται, σε σχέση με τους μονούς προωθητήρες, η επιπλέον αυτή ποσότητα αερίου, που διασπείρεται από τους διπλούς προωθητήρες δεν είναι ισχυρό κίνητρο για τη χρησιμοποίησή τους στις συγκεκριμένες διεργασίες διασποράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Zlokarnik M. und Judat H., *Chem. Ing. Tech.* **39**:1163 (1967).
- [2] Wiedmann J.-A., Steiff A., and Weinspach P.-M., *Ger. Chem. Eng.* **4**:125 (1981).
- [3] Paglianti A, Pintus S., Giona M., *Chem. Eng. Sci.* **55**:5793 (2000).
- [4] Machon V., Hudcova J., Vlček P., Lepšova P., *Proc. 7th Europ. Congr. on Mixing, RFSE, Brugge, Belgium* (1991), p.343 .
- [5] Henzler H.J., *Chem. Ing. Tech.* **54**:461 (1982).
- [6] Chiampo F., Guglielmetti R., Manna L., Conti R., *Proc. 7th Europ. Congr. on Mixing, RFSE, Brugge, Belgium* (1991), p.333.