

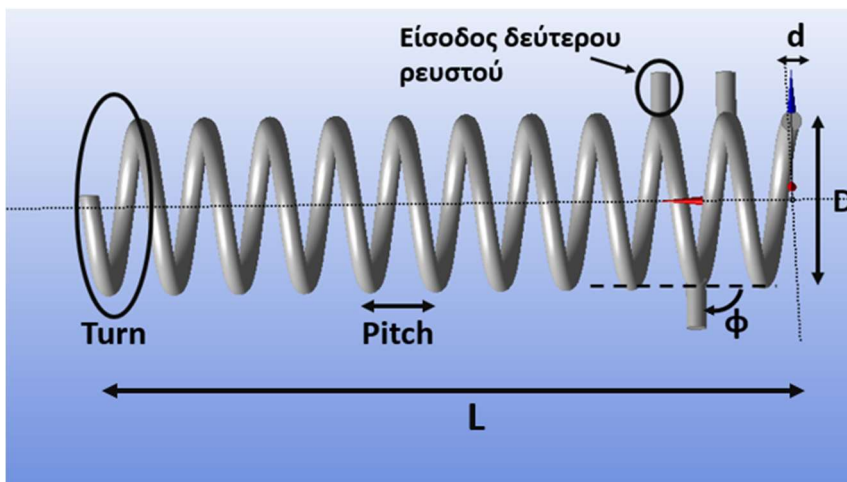
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ ΣΕ μ-ΑΝΑΜΙΚΤΗ ΜΕ ΕΛΙΚΟΕΙΔΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

A. Τσιτουρίδου, A.A. Μουζά*

Τμήμα Χημικών Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
54124 Θεσσαλονίκη
* mouza@auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η ανάγκη για δημιουργία οικονομικότερου, ελεγχόμενου και φιλικού προς το περιβάλλον βιομηχανικού εξοπλισμού, οδήγησε στην ανάπτυξη των μικρο-συσκευών [1]. Οι συσκευές αυτές έχουν μια χαρακτηριστική διάσταση μικρότερη του 1 mm, και χρησιμοποιούνται σε πολυάριθμες εφαρμογές (π.χ. βιοϊατρική, φαρμακοβιομηχανία, βιομηχανία τροφίμων) [2]. Στα πλαίσια αυτά προτάθηκε πρότυπος μ-αντιδραστήρας ελικοειδούς δομής. Δεδομένου ότι η αντίδραση προϋποθέτει την καλή ανάμιξη των αντιδρώντων, η μελέτη του μ-αντιδραστήρα ανάγεται στην μελέτη του αντίστοιχου μ-αναμίκτη. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να σχεδιασθεί και να μελετηθεί ο προτεινόμενος μ-αναμίκτης χρησιμοποιώντας Κώδικα Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD) με σκοπό να εξετασθεί η επίδραση των γεωμετρικών παραμέτρων στην ποιότητα ανάμιξης.



Σχήμα 1: Γεωμετρία μικρο-αναμίκτη

Ο προτεινόμενος μ-αναμίκτης αποτελείται από έναν κεντρικό αγωγό με πολλαπλές στροφές ($d=1\text{mm}$), όπου ρέει το ένα ρευστό, και πλευρικούς αγωγούς ($d=1\text{mm}$) κατά μήκος της ελικοειδούς δομής για την είσοδο του δεύτερου ρευστού (Σχήμα 1). Οι παράμετροι που μελετήθηκαν είναι ο αριθμός στροφών (**Turn**), ο αριθμός (**N**) και η κλίση (φ) των πλευρικών αγωγών και η διάμετρος (**D**) των στροφών του

κεντρικού αγωγού (Σχήμα 1).

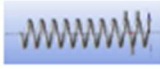

Θεωρήθηκαν Νευτωνικά πλήρως αναμίξιμα ρευστά και στρωτή ροή. Ως συνοριακές συνθήκες ορίσθηκαν ομοιόμορφη κατανομή ταχύτητας στις εισόδους των ρευστών, συνθήκη μη ολίσθησης στα τοιχώματα των αγωγών και μηδενική σχετική πίεση στην έξοδο. Για την ποσοτικοποίηση του βαθμού ανάμιξης σε μια διατομή **A** του αγωγού χρησιμοποιήθηκε ένας δείκτης ποιότητας ανάμιξης (**IME**) [4]

$$IME=1-\frac{\int_A (c-\bar{c})^2 dA}{\int_A \bar{c}^2 dA} \quad (1)$$

όπου c το κλάσμα μάζας σε κάθε κελί της διατομής **A** και \bar{c} η μέση συγκέντρωση.

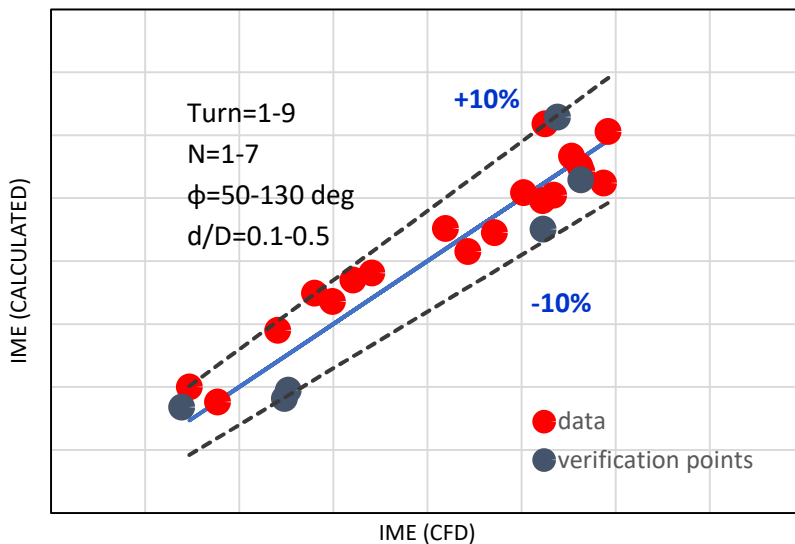
Έγιναν 25 προσομοιώσεις, οι τιμές των μεταβλητών στις οποίες επιλέχθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο σχεδιασμού πειραμάτων *Box-Behnken*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ανάμιξη των ρευστών εξαρτάται κυρίως από

Πίνακας 1. Σύγκριση μ-αναμικτών

μ-αναμίκτης		
IME	0.992	0.341
ΔP (Pa)	95.0	13.8

τον αριθμό στροφών και την ακτίνα καμπυλότητας.

Βρέθηκε ότι για την βέλτιστη περίπτωση ($turns=9, v=4, d/D=0.1$) ο βαθμός ανάμιξης αυξάνεται κατά



Σχήμα 2: Σύγκριση της προτεινόμενης σχέσης με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

65% σε σχέση με ευθύγραμμο αγωγό ανάμιξης (Πίνακας 1). Ταυτόχρονα όμως, λόγω της περίπλοκης δομής, παρατηρείται 86% αύξηση στην πτώση πίεσης, η οποία όμως σε απόλυτες τιμές δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντική.

Τέλος διαμορφώθηκε μια σχέση υπολογισμού της ποιότητας ανάμιξης $IME = f\left(turns, N, \varphi, \frac{d}{D}\right)$, η οποία προβλέπει με αβεβαιότητα $\pm 10\%$ το βαθμό ανάμιξης που αντιστοιχεί στις διάφορες τιμές των παραμέτρων (Σχήμα 2). Η προτεινόμενη σχέση αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για περαιτέρω μελέτη του μ-αναμίκτη.

Θα ήταν όμως σκόπιμο να γίνουν πειράματα, ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να επαληθευθούν με τα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: μικρο-αναμίκτης, Υπολογιστική Ρευστοδυναμική (CFD), ανάμιξη ρευστών

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Kanaris A.G., Mouza A.A. (2018). Design of a Novel m-Mixer. *Fluids*. 3 (1): 10.
- [2] Nguyen N. (2011). Micromixers: Fundamentals, Design and Fabrication. 2nd Edition. *Elsevier*
- [3] Lee C., Chang C.L., Wang Y.N., Fu L.M. (2011). Microfluidic Mixing: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 12(5): 3263-3287
- [4] Kanaris A.G., Stogiannis I.A., Mouza A.A., Kandlikar S.G. (2015). Comparing the mixing performance of common types of chaotic micromixers: a numerical study. *Heat Transfer Engineering*. 36 (13) : 1122-1131