

Άμεση υπολογιστική προσομοίωση της αιώρησης ιζήματος σφαιρικών σωματιδίων κατά τη ροή σε κανάλι

Π. Σαλιακέλλης και Σ. Γ. Γιάντσιος*

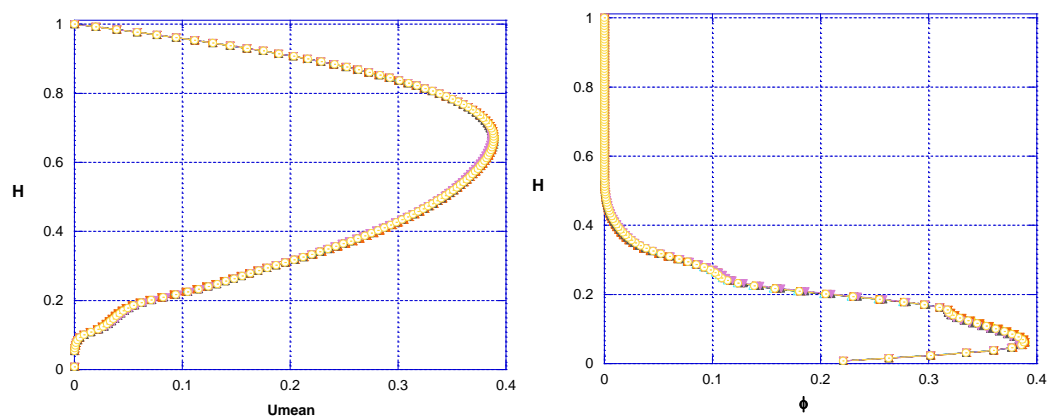
*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Χημικών Μηχανικών
Πανεπιστημιακή Θυρίδα 453, 54 124, Θεσσαλονίκη
e-mail: yiantsio@auth.gr

Οι πολυφασικές σωματιδιακές ροές απαντώνται σε φυσικά φαινόμενα και βιολογικά συστήματα, καθώς και σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες. Στα φυσικά φαινόμενα συμπεριλαμβάνεται η δυναμική των νεφών και η δημιουργία βροχής, η μεταφορά ιζημάτων, η διάβρωση του εδάφους και η μορφοδυναμική του τοπίου. Υπάρχει πληθώρα εφαρμογών στη χημική, πετρελαϊκή, φαρμακευτική, ενεργειακή βιομηχανία, τη βιομηχανία τροφίμων, ηλεκτρονικών, τη γεωργία, κλπ, δημιουργώντας έτσι τεράστιο και συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την προσομοίωση και μελέτη της μεταφοράς σωματιδίων σε τυρβώδη πεδία ροής. Τα κυριότερα θέματα μελέτης είναι η κατανόηση της αλληλεπίδρασης σωματιδίων και τυρβώδους που συνδέεται με την έναρξη αιώρησης ιζήματος (sediment suspension) και αφορά στην εκλεκτική συσσώρευση σωματιδίων σε περιοχές μειωμένης στροβιλότητας (preferential concentration), την τυρβώδη μεταφορά (turbophoresis), την εναπόθεση σε επιφάνειες (burst-sweep phenomena), την τροποποίηση του τυρβώδους από την παρουσία σωματιδίων (four-way coupling), την μεταφορά ιζήματος (onset of erosion, sediment motion), τον σχηματισμό θινών (saltation mechanics), την δημιουργία κυματομορφών και τα καθεστώτα ροής (bed, dune, slug, homogeneous flow mode).

Στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση που εστιάζει στην κατανόηση μελετών της ρεολογικής συμπεριφοράς στερεών σφαιρικών μη-παραμορφώσιμων σωματιδίων σε κανάλι τυρβώδους ροής. Το εργαλείο που αξιοποιείται είναι η υπολογιστική ρευστοδυναμική και η εφαρμογή των τεχνικών της άμεσης αριθμητικής προσομοίωσης, η οποία έχει τη δυνατότητα διακριτοποίησης στην κλίμακα των μεμονωμένων σωματιδίων. Η επιπρόσθετη δυσκολία λόγω της παρουσίας των σωματιδίων αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή μιας σχετικά νέας τεχνικής, γνωστής με το όνομα 'Μέθοδος Υποθετικού Πεδίου με χρήση Κατανεμημένων Πολλαπλασιαστών Lagrange' (Distributed Lagrange Multiplier/Fictitious Domain method, DLM/FDM). Η μέθοδος έχει ως υπόβαθρο το πλαίσιο των πεπερασμένων στοιχείων, το οποίο έχει αξιοποιηθεί με επιτυχία για την προσομοίωση πολύπλοκων, ασταθών και τυρβωδών ροών, με μια συνεισφορά στη μέθοδο DLM/FDM^{1,2}. Ο κώδικας των προσομοιώσεων εκτελείται με τη μέθοδο της παράλληλης επεξεργασίας (parallel computing) και συγκεκριμένα εφαρμόζονται το πρωτόκολλο MPI (Message Passing Interface) και η πλατφόρμα CUDA (Compute Unified Device Architecture). Το MPI εκμεταλλεύεται ταυτόχρονα τις πολυπύρηνες αρχιτεκτονικές των σύγχρονων υπολογιστών, ενώ το CUDA αποτελεί μια νεότερη και ακόμα πιο εξελιγμένη μέθοδο παράλληλης επεξεργασίας που βασίζεται εξ' ολοκλήρου σε υπολογισμούς που εκτελούνται στις κάρτες γραφικών (GPU computing), οι οποίες αποδεδειγμένα είναι κατά πολύ ταχύτερες από τους επεξεργαστές. Στο υπό μελέτη

κανάλι εκτελείται σειρά προσομοιώσεων με ενοποιημένο κώδικα MPI/CUDA σε τέσσερις κάρτες γραφικών.

Οι προσομοιώσεις διεξάγονται στη γεωμετρία ενός καναλιού μεταξύ επίπεδων πλακών, με τη ροή στην κατεύθυνση x του καναλιού, και πλέγμα $[L_x \times L_y \times L_z]/D$ ίσο με $4 \times 1 \times 1$, το οποίο αποτελείται από αριθμό κόμβων $N_x \times N_y \times N_z$ ίσο με $512 \times 128 \times 128$, και 644 σφαιρικά σωματίδια. Παράμετροι του προβλήματος είναι ο αριθμός Reynolds της ροής, το μέγεθος, η σχετική πυκνότητα και η συγκέντρωση των σωματιδίων (Σχ. 1). Μέσω των προσομοιώσεων καλύπτεται συστηματικά μια ευρεία περιοχή του χώρου των παραμέτρων και αναλύονται τα φαινόμενα μέσω οπτικοποίησης, στατιστικής επεξεργασίας και ανάλυσης των πεδίων ροής ρευστού και ταχύτητας των σωματιδίων. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παράγωγων μεγεθών, δομών, παραμέτρων, και στατιστικών μεγεθών, όπως η στροβιλότητα, οι επιμήκειες δίνες κοντά στα τοιχώματα, ο αριθμός Shields του ιζήματος, οι τάσεις Reynolds, κλπ.



Σχ. 1. Χρονικά μέσες κατανομές της ταχύτητας του διαφασικού μίγματος και του κλάσματος όγκου της σωματιδιακής φάσης σε αριθμό Reynolds 5000.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. S.G. Yiantsios “On the Distributed Lagrange Multiplier/Fictitious Domain Method for rigid-particle-laden flows: a proposition for an alternative formulation of the Lagrange multipliers”, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, **70**, 1027-1047, (2012).
2. Σ. Γ. Γιάντσιος, Β. Νασερεντίν και Π. Σαλιακέλλης, “Μια νέα πρόταση για την εφαρμογή μεθοδολογίας άμεσης αριθμητικής προσομοίωσης πολυφασικών σωματιδιακών ροών” ΡΟΗ 2012, 8ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τα Φαινόμενα Ροής Ρευστών Βόλος, 16-17 Νοεμβρίου, 2012.