

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΠΛΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ ΤΖΕΤ ΣΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ

Δ.Πασσαράς^{1,2}, Ε. Αμανατίδης², Γ. Κόκκορης^{1,*}

¹Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης & Νανοτεχνολογίας, ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», Αθήνα

²Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

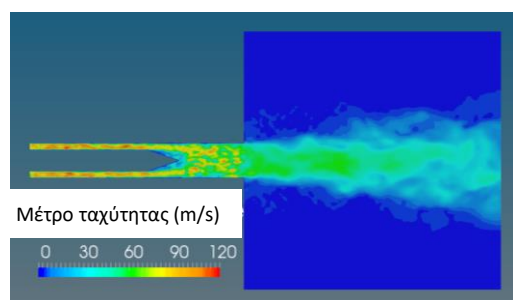
(*g.kokkoris@inn.demokritos.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

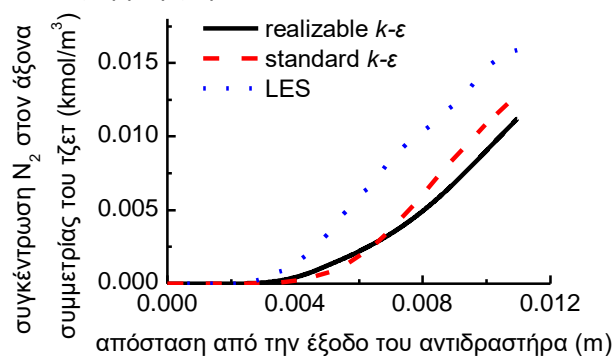
Πλάσμα τύπου τζετ παράγεται όταν αέριο (π.χ. Ar) εισέρχεται με υψηλή ταχύτητα σε αντιδραστήρα πλάσματος που συνήθως είναι ένας κυλινδρικός σωλήνας εφοδιασμένος με κατάλληλα ηλεκτρόδια. Η εφαρμογή τάσης στα ηλεκτρόδια ιονίζει το αέριο παράγοντας ηλεκτρόνια. Αν η έξοδος του αντιδραστήρα είναι στο περιβάλλον, τότε τα εξερχόμενα ηλεκτρόνια προκαλούν τη διάσπαση των συστατικών του αέρα (N_2 , O_2 , H_2O) οδηγώντας τελικά στη παραγωγή δραστικών συστατικών, κρίσιμων σε σειρά εφαρμογών όπως η αποστείρωση επιφανειών και η χημική ενεργοποίηση επιφανειών στερεών και νερού^[1]. Ένας από τους αντιδραστήρες που παράγουν πλάσμα τύπου τζετ, ο kiNPen^[2], έχει πάρει άδεια χρήσης για θεραπείες επούλωσης πληγών.

Η λεπτομερής προσομοίωση ενός αντιδραστήρα πλάσματος τύπου τζετ έχει τεράστιο υπολογιστικό κόστος. Χρειάζεται να επιλυθούν ταυτόχρονα οι εξισώσεις συνέχειας, διατήρησης ορμής, διατήρησης μάζας των συστατικών καθώς και οι εξισώσεις Maxwell περιγράφοντας φυσικά ή/και χημικά φαινόμενα σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Το υπολογιστικό κόστος αυξάνεται περαιτέρω λόγω του μεγάλου αριθμού αντιδράσεων και χημικών συστατικών που επιβάλλει η παρουσία του ατμοσφαιρικού αέρα. Υπάρχουν περιπτώσεις^[1] στις οποίες το πρόβλημα του πεδίου ροής μπορεί να λυθεί απομονωμένο από τις εξισώσεις Maxwell. Στην παρούσα εργασία εστιάζουμε στην επίλυση του προβλήματος ροής στον αντιδραστήρα kiNPen^[2] με αδρανές αέριο τροφοδοσίας Ar, θεωρώντας ότι η διάσπασή του καθώς και οι διασπάσεις των N_2 , O_2 και H_2O του αέρα, με τα οποία αναμιγνύεται μετά την έξοδο από τον αντιδραστήρα, είναι αμελητέες. Συγκρίνονται τρία μοντέλα τυρβώδους ροής: standard $k-\epsilon$, realizable $k-\epsilon$ και Large Eddy Simulation (LES). Στα δύο πρώτα οι υπολογισμοί γίνονται σε 2δ και σε μόνιμη κατάσταση, ενώ στο μοντέλο LES οι υπολογισμοί είναι σε 3δ και σε μεταβατική κατάσταση. Το μοντέλο LES, αν και ακριβέστερο, έχει πολύ μεγαλύτερο υπολογιστικό κόστος. Η αριθμητική επίλυση γίνεται με τον κώδικα ANSYS/fluent.

Τα μεγέθη τα οποία συγκρίνονται είναι η ταχύτητα του αερίου (Σχήμα 1α, μοντέλο LES) και οι συγκεντρώσεις των συστατικών. Στο Σχήμα 1β φαίνεται η συγκέντρωση του N_2 στον άξονα συμμετρίας του τζετ συναρτήσει της απόστασης από την έξοδο του αντιδραστήρα. Τα χαμηλού υπολογιστικού κόστους μοντέλα $k-\epsilon$ προβλέπουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις N_2 (και O_2 και H_2O) από το LES. Τα αποτελέσματα των μοντέλων τυρβώδους ροής μπορούν να τροφοδοτηθούν σε μοντέλα πλάσματος (λεπτομερή ή απλοποιημένα) ώστε να υπολογιστούν τα κρίσιμα για κάθε εφαρμογή δραστικά συστατικά.



(α)



(β)

Σχήμα 1: (α) Στιγμιότυπο του μέτρου της ταχύτητας για μια 2δ διατομή του υπολογιστικού χωρίου (μοντέλο LES). (β) Σύγκριση της συγκέντρωσης του N_2 πάνω στον άξονα συμμετρίας για τα τρία μοντέλα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Lu X, Naidis GV, Laroussi M, Reuter S, Graves DB, Ostrikov K. (2016). *Physics Reports*, 630: 1-84.
 [2] Weltmann KD, Kindel E, Brandenburg R, Meyer C, Bussiahn R, Wilke C, et al. (2009). *Contributions to Plasma Physics*, 49 (9): 631-40.