

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

14 · 17 Μαρτίου 2008

Συνεδριακό Κέντρο «Νίκος Γερμανός»

Περίπτερο 8 - Διεθνής Έκθεση Θεσσαλονίκης - HELEXPO

Διοργάνωση

Ένωση Ελλήνων Χημικών
Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής
& Δυτικής Μακεδονίας

Συν-διοργάνωση

Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας
Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης
Δήμος Θεσσαλονίκης
Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου
& Προστασίας Περιβάλλοντος Θεσσαλονίκης
Σύνδεσμος ΟΤΑ Μείζονος Θεσσαλονίκης
Τμήμα Χημείας ΑΠΘ
Πανελλήνια Ένωση Εκπαιδευτικών
για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση
Περιβαλλοντικό Δίκτυο Χημικών ENVNET
Βαλκανική Περιβαλλοντική Ένωση BENA

Υπό την αιγίδα

Υπουργείο Ανάπτυξης
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Αλεξάνδρεια Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Θεσσαλονίκης

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΗ ΧΑΡΑΔΡΑ

Ζώρας Σ.¹, Ευαγγελόπουλος Β.¹, Γκάρας Σ.¹, Παπαλεξίου Σ.² και
Τριανταφύλλου Α.Γ.¹

¹ Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Περιβαλλοντικής Φυσικής, ΤΕΙ Δυτ. Μακεδονίας, Κοίλα, 50100, Κοζάνη,
email: stamatis@airlab.teikoz.gr web: <http://www.airlab.edu.gr>

² ΑΙΑΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΕ, Διονυσίου Σολωμού 5,55134 Καλαμαριά Θεσσαλονίκη
web: <http://www.aias.com.gr>

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή ενός μοντέλου ρευστομηχανικής (ANSYS-CFX) με στόχο τη μαθηματική απεικόνιση της συμπεριφοράς της φωτοχημικής ρύπανσης, που δημιουργείται σε αστική χαράδρα σε μία μετρίου μέγεθος πόλη (Κοζάνη) στη Δυτική Μακεδονία. Η προσομοίωση έγινε στις τρεις διαστάσεις με δεδομένα εισόδου από σύστημα διαφορικής τηλεπισκόπησης (DOAS) και επιφανειακό σταθμό μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετεωρολογικών παραμέτρων. Παρουσιάζονται οι κατανομές στις τρεις διαστάσεις των συγκεντρώσεων των φωτοχημικών ρύπων στην αστική χαράδρα σε συνάρτηση με τις ροές που δημιουργούνται και επικρατούν στο εσωτερικό της αστικής δομής. Τα αποτελέσματα οδήγησαν σε χρήσιμα συμπεράσματα για την κατανομή και τους μετασχηματισμούς των ρύπων καθ' ύψος, κοντά στις πηγές (οχήματα) και στις επιφάνειες των κτιρίων.

APPLICATION OF A COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS MODEL IN THE SIMULATION OF PHOTOCHEMICAL POLLUTION IN A STREET CANYON

Zoras S.¹, Evagelopoulos V.¹, Garas S.¹, Papalexiou S.² and Triantafyllou A.G.¹

¹ Laboratory of Atmospheric Pollution and Environmental Physics, TEI of West Macedonia, Koila, 50100, Kozani, email:
stamatis@airlab.teikoz.gr web: <http://www.airlab.edu.gr>

² AIAS Engineering Ltd, Dionisiou Solomou 5,55134 Kalamaria, Thessaloniki
web: <http://www.aias.com.gr>

The objective of this study is the performance of a local scale photochemistry simulation for an urban geometry in a medium sized city in Northwestern Greece by using a CFD code (ANSYS-CFX) to provide averaged wind and pollutant concentration fields. A fast chemistry module simulating chemical reactions taking place within street canyons right after traffic pollutants are emitted was implemented in order to assess the levels of NO_x and Input experimental data have been gathered from a differential optical absorption spectroscopy system (DoAS) and a ground station. It has been concluded useful information on the pollutants' spatial distribution and photochemical transformations by height and close to sources and surfaces.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΗ ΧΑΡΑΔΡΑ

Ζώρας Σ.¹, Ευαγγελόπουλος Β.¹, Γκάρας Σ.¹, Παπαλεξίου Σ.² και Τριανταφύλλου Α.Γ.¹

¹ Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Περιβαλλοντικής Φυσικής, ΤΕΙ Δυτ. Μακεδονίας, Κοίλα, 50100, Κοζάνη, email: stamatis@airlab.teikoze.gr web: <http://www.airlab.edu.gr>

² ΑΙΑΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΕ, Διονυσίου Σολωμού 5, 55134 Καλαμαριά Θεσσαλονίκη web: <http://www.aias.com.gr>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή ενός μοντέλου ρευστομηχανικής (ANSYS-CFX) με στόχο τη μαθηματική απεικόνιση της συμπεριφοράς της φωτοχημικής ρύπανσης, που δημιουργείται σε αστική χαράδρα σε μία μετρίου μεγέθους πόλη (Κοζάνη) στη Δυτική Μακεδονία. Η προσομοίωση έγινε στις τρεις διαστάσεις με δεδομένα εισόδου από σύστημα διαφορικής τηλεπισκόπησης (DOAS) και επιφανειακό σταθμό μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετεωρολογικών παραμέτρων. Παρουσιάζονται οι κατανομές στις τρεις διαστάσεις των συγκεντρώσεων των φωτοχημικών ρύπων στην αστική χαράδρα σε συνάρτηση με τις ροές που δημιουργούνται και επικρατούν στο εσωτερικό της αστικής δομής. Τα αποτελέσματα οδήγησαν σε χρήσιμα συμπεράσματα για την κατανομή και τους μετασχηματισμούς των ρύπων καθ' ύψος, κοντά στις πηγές (οχήματα) και στις επιφάνειες των κτιρίων.

APPLICATION OF A COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS MODEL IN THE SIMULATION OF PHOTOCHEMICAL POLLUTION IN A STREET CANYON

Zoras S. ¹, Evagelopoulos V. ¹, Garas S. ¹, Papalexioy S. ² and Triantafyllou A.G. ¹
Laboratory of Atmospheric Pollution and Environmental Physics, TEI of West Macedonia, Koila, ¹ 50100, Kozani, email: stamatis@airlab.teikoze.gr web: <http://www.airlab.edu.gr>

² AIAS Engineering Ltd, Dionisiou Solomou 5, 55134 Kalamaria, Thessaloniki web: <http://www.aias.com.gr>

ABSTRACT

The objective of this study is the performance of a local scale photochemistry simulation for an urban geometry in a medium sized city in Northwestern Greece by using a CFD code (ANSYS-CFX) to provide averaged wind and pollutant concentration fields. A fast chemistry module simulating chemical reactions taking place within street canyons right after traffic pollutants are emitted was implemented in order to assess the levels of NO_x and O₃. Input experimental data have been gathered from a differential optical absorption spectroscopy system (DOAS) and a ground station. It has been concluded useful information on the pollutants' spatial distribution and photochemical transformations by height and close to sources and surfaces.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη ροής και διασποράς σε αστική χαράδρα έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών τις τελευταίες δύο δεκαετίες [1] και έχει διερευνηθεί εκτεταμένα η αυξανόμενη αστική ρύπανση σχετικά με τις επιδράσεις της στην ανθρώπινη υγεία. Μετρήσεις πεδίου και τεχνικές υπολογιστικής ρευστοδυναμικής είναι τα συνήθη εργαλεία, που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της ροής και τη διασπορά των ατμοσφαιρικών ρύπων σε αστικές χαράδρες. Αυτός ο συνδυασμός μελέτης τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί με τη βοήθεια της αυξημένης υπολογιστικής δύναμης και των νέων αριθμητικών μεθόδων επίλυσης των εξισώσεων ροής. Πρόσφατες μελέτες έχουν συνεισφέρει σε αυτήν την κατεύθυνση και συγκεκριμένα στο πεδίο ροής σε αστικές χαράδρες, στο μηχανισμό της διασποράς [2] και των θερμικών επιδράσεων στη ροή και τη διασπορά [3], [4].

Παλαιότερα η προσομοίωση της διασποράς φωτοχημικών ρύπων σε αστική χαράδρα θεωρούσε τους ρύπους ως παθητικές οντότητες, που δεν μετασχηματίζονται ή δεν συμμετέχουν σε αντιδράσεις. Σε αστικές χαράδρες η κύρια πηγή ρύπανσης είναι τα τροχοφόρα οχήματα, τα οποία εκπέμπουν φωτοχημικά ενεργά αέρια, όπως τα οξείδια του αζώτου NO_x. Η αντίδραση των NO_x υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορεί να προκαλέσει σημαντικά επεισόδια φωτοχημικής ρύπανσης. Οπότε, η φωτοχημική δραστηριότητα πλέον των συγκεκριμένων ρύπων πρέπει να παίρνεται υπόψη στην αριθμητική προσομοίωση του αστικού συμπλέγματος.

Λόγω των πολύ μικρών σχετικά αποστάσεων μεταξύ πηγών και αποδεκτών σε αστικά συμπλέγματα, μόνο οι πολύ γρήγορες φωτοχημικές αντιδράσεις έχουν σημαντική επίδραση στις μετρούμενες αντιδράσεις μέσα σε αστικές χαράδρες [5]. Έτσι, μερικοί αέριοι ρύποι από τα οχήματα (π.χ. CO) μπορούν να θεωρηθούν ως αδρανή στοιχεία σε τόσο μικρές αποστάσεις. Ωστόσο, η φωτόλυση του NO₂ είναι εξαιρετικά γρήγορη υπο την επίδραση του φωτός, καθώς και η αντίδραση του NO με το O₃ και επαναδημιουργία NO₂ [6]. Ο χρόνος αυτών των αντιδράσεων είναι της τάξης μερικών κλασμάτων του δευτερολέπτου, οπότε και συγκρίσιμος με τους χρόνους παραμονής μέσα στην αστική χαράδρα των φωτοχημικών αερίων ρύπων.

Στην πραγματικότητα υπάρχουν χιλιάδες χημικές ουσίες στην ατμόσφαιρα, οι οποίες μπορεί να παίρνουν μέρος σε ένα μεγάλο αριθμό αντιδράσεων. Λόγω όμως περιορισμών της υπολογιστικής δύναμης και εμπεριστατωμένων μεθόδων, που να περικλείουν και να εισάγουν όλες αυτές τις αντιδράσεις στις εξισώσεις ρευστοδυναμικής, δεν μπορούν συγχρόνως να παρθούν υπόψη. Οπότε, γίνεται χρήση των πιο απλοποιημένων ή οι των πιο αντιπροσωπευτικών μηχανισμών, που συνεισφέρουν σε ένα αποδεκτό σχήμα της χημικής δυναμικής των αερίων ρύπων σε αστικό περιβάλλον.

Ο υπολογισμός των ροών (ορμής, ρύπων κ.α.) έχει αποδείξει ότι η μετάδοση αυτών των φυσικών παραμέτρων είναι αρκετά σημαντική και επιδρά πολλές φορές στην προσομοίωση μεγαλύτερης κλίμακας, παρά σε αυτήν για την οποία υπολογίστηκαν. Αντικείμενο της εργασίας είναι η επαλήθευση της προσομοίωσης φωτοχημείας στη μικρο- κλίμακα για μία αστική οδική σήραγγα στη πόλη της Κοζάνης. Στη μικροκλίμακα χρησιμοποιήθηκε ένας κώδικας υπολογιστικής ρευστοδυναμικής CFD (ANSYS-CFX) για τον υπολογισμό πεδίων ροής και συγκεντρώσεων. Φωτοχημικό μοντέλο των αντιδράσεων που παίρνουν μέρος μέσα στην οδική σήραγγα αμέσως μετά την εκπομπή φωτοχημικών ρύπων αναπτύχθηκε και ενσωματώθηκε στο κυρίως CFD λογισμικό. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου μετρήσεις επιφανείας και καθ' ύψος για την

αρχικοποίηση της κατάστασης και εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση των συγκεντρώσεων NO_x και O_3 . Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με πειραματικά δεδομένα από ένα σταθμό επιφανείας και σύστημα διαφορικής τηλεπισκόπησης κατά μήκος της αστικής χαράδρας.

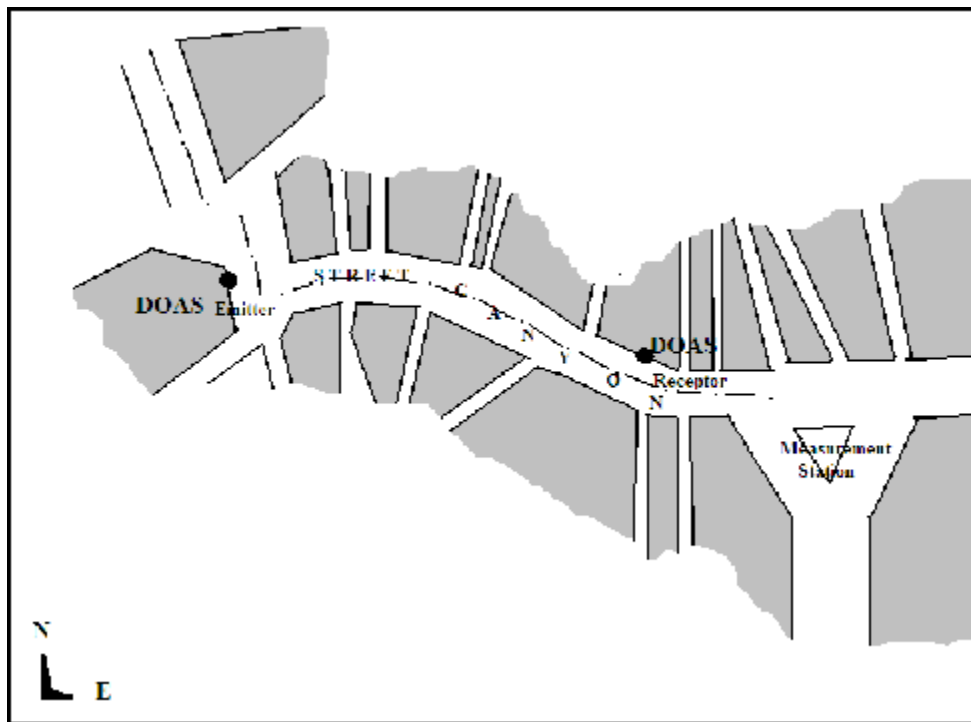
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Περιβαλλοντικής Φυσικής ΕΑΡ-ΠΕΦΥ του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας πραγματοποιεί συνεχείς μετρήσεις αερίων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων στην πόλη της Κοζάνης με τη χρήση επιφανειακού σταθμού και συστήματος διαφορικής τηλεπισκόπησης (differential optical absorption system DOAS) [7] (Σχήμα 1) κατά μήκος της αστικής χαράδρας όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.

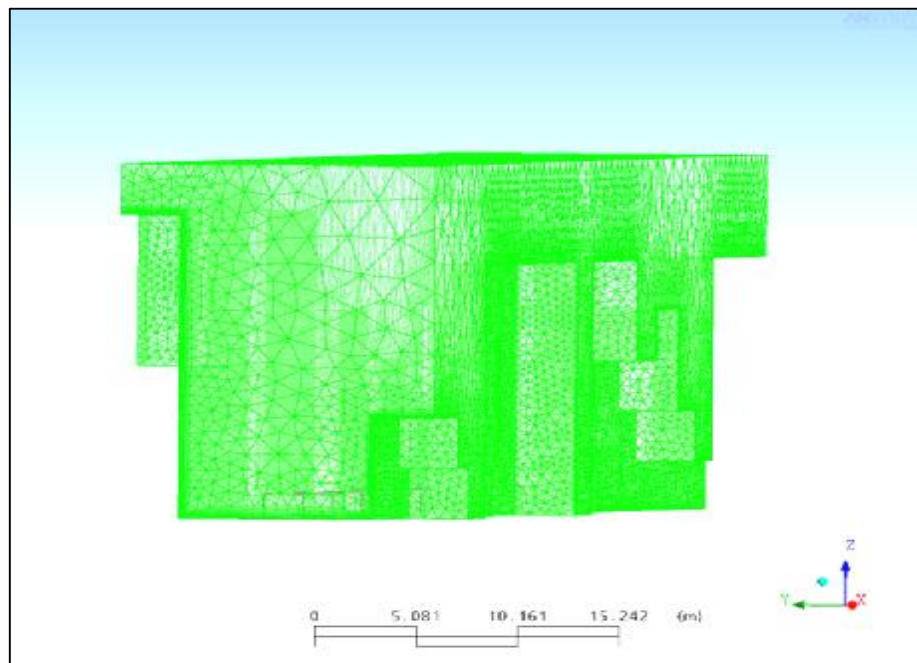


Σχήμα 1: Σύστημα διαφορικής τηλεπισκόπησης στην οροφή της βιβλιοθήκης της Κοζάνης και επιφανειακός σταθμός μέτρησης αερίων ρύπων στην πλατεία Αριστοτέλους

Από τις μετρήσεις των σταθμών κατά τη διάρκεια του 2006 έγινε επιλογή της 23ης Ιουνίου, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων σε όζον. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο με ιδεατά οχήματα (subdomains), το οποίο αποτελείται από 902585 πλεγματικά στοιχεία (Σχήμα 3). Για την αρχικοποίηση των συγκεντρώσεων αερίων ρύπων O_3 , NO_2 , και NO χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα εισόδου από τον επιφανειακό σταθμό και το σύστημα διαφορικής τηλεπισκόπησης (Differential Optical Absorption Spectroscopy DOAS). Η συγκέντρωση υποβάθρου αξιολογήθηκε από παλαιότερες χρονοσειρές στην περιοχή. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης το μοντέλο θεωρεί ότι τα οχήματα εκπέμπουν αέριους ρύπους. Συγκεκριμένα υπολογίστηκαν τυπικοί ρυθμοί εκπομπής για συγκεκριμένο αριθμό οχημάτων που μετρήθηκε σε παλαιότερο πείραμα. Χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα από το σταθμό στην ταράτσα του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας περίπου 1 km μακριά από την αστική χαράδρα. Για τις 23 Ιουνίου χρησιμοποιήθηκε η μέση ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η διεύθυνση ανέμου και η θερμοκρασία στις 12.00 το μεσημέρι. Επιπλέον αναπτύχθηκε υπορουτίνα της φωτολυτικής διάσπασης με την προσέγγιση $\text{NO-NO}_2\text{-O}_3$, η οποία ενσωματώθηκε στον κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής.



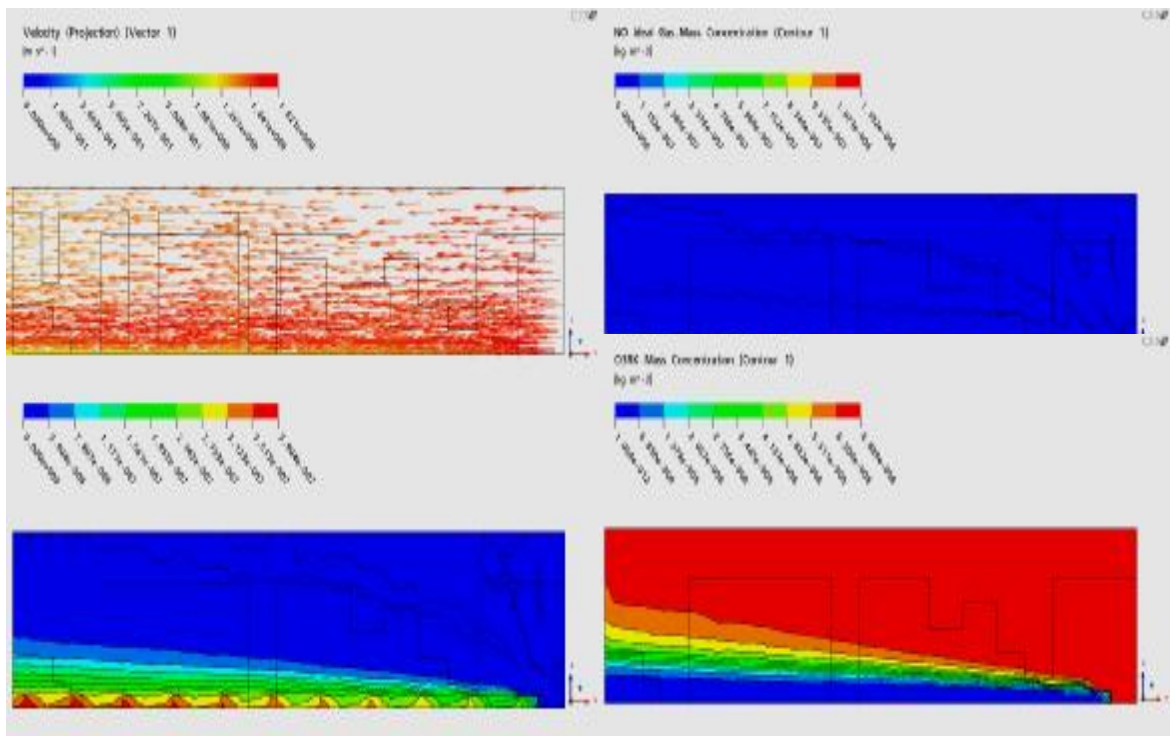
Σχήμα 2: Αστική χαράδρα στη Κοζάνη



Σχήμα 3: Τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο με το πλέγμα ολοκλήρωσης της αστικής χαράδρας

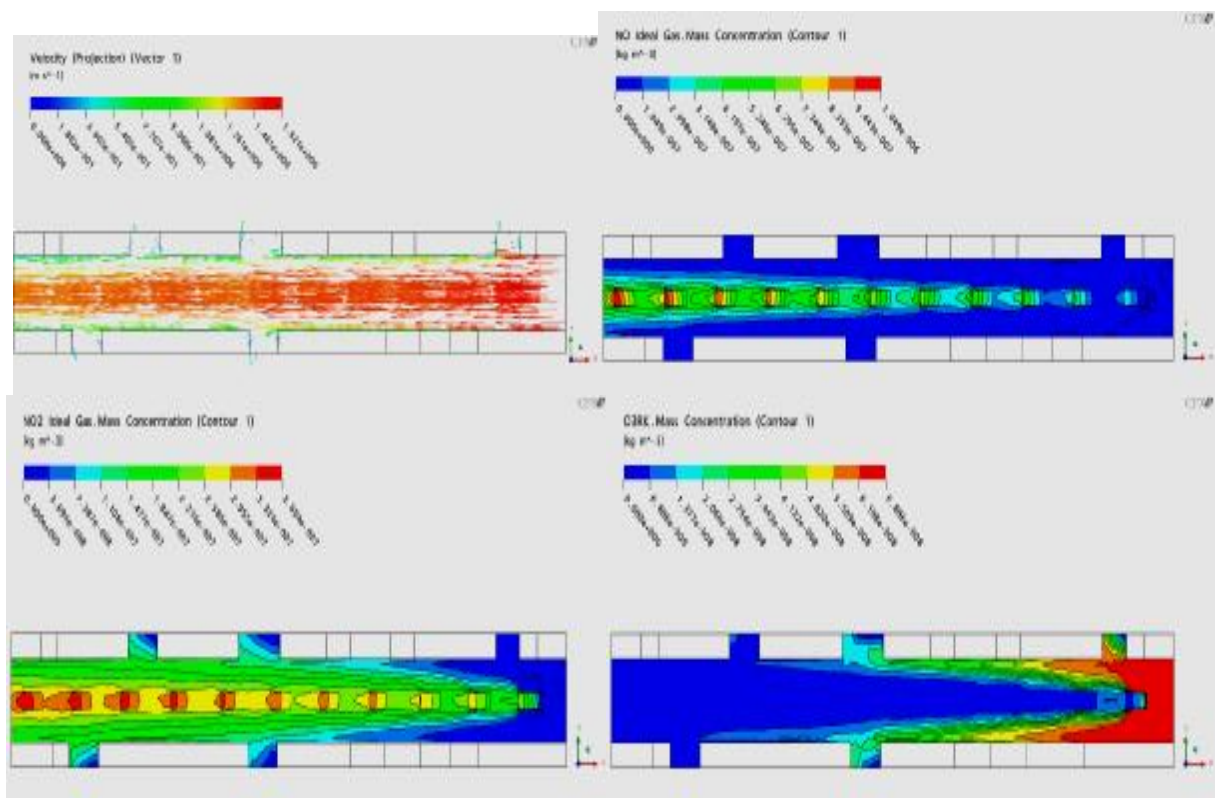
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 4 φαίνεται το πεδίο ροής στο μέσο της αστικής χαράδρας, όπου πραγματοποιείται η πολύ γρήγορη μετατροπή του NO σε NO₂ σε χαμηλά ύψη κοντά στις πηγές που το εκπέμπουν και η αύξηση του O₃ με το ύψος λόγω φωτόλυσης του NO₂ και εισόδου όζοντος υποβάθρου με τη βοήθεια του ανέμου.

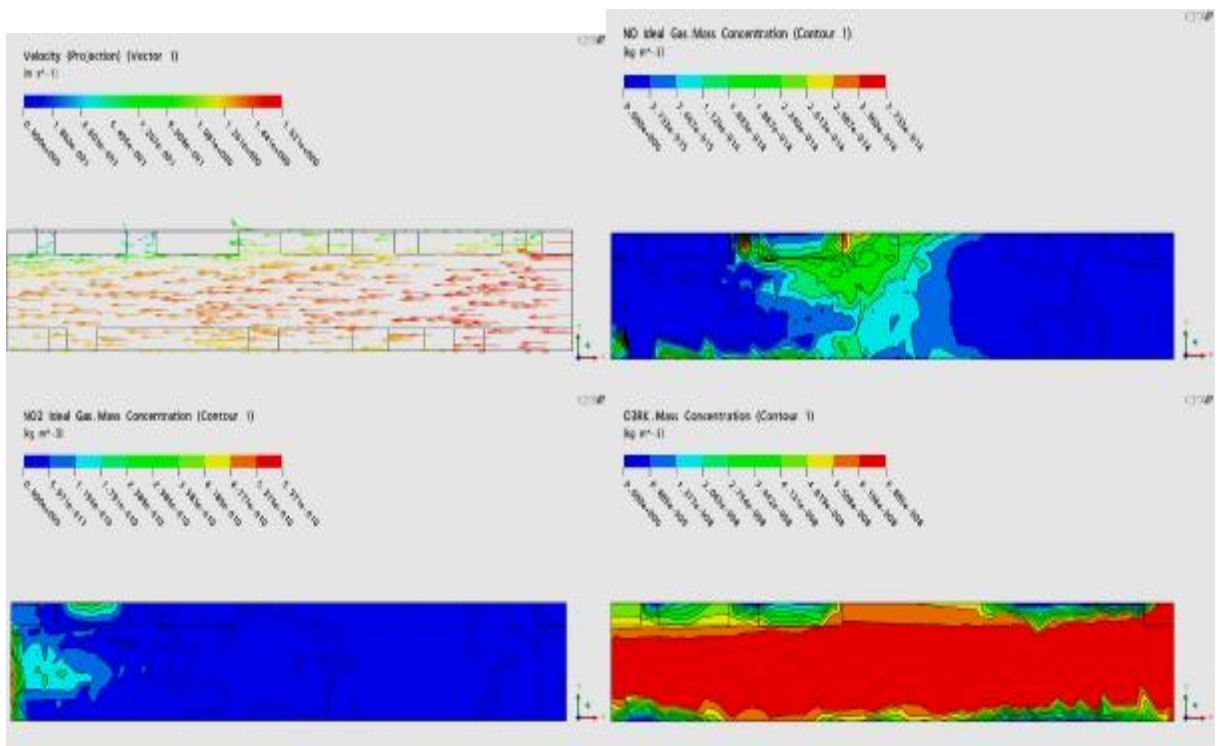


Σχήμα 4: πεδίο ροής, NO, NO₂, και O₃ συγκεντρώσεις στο επίπεδο x-z στο μέσο της αστικής χαράδρας

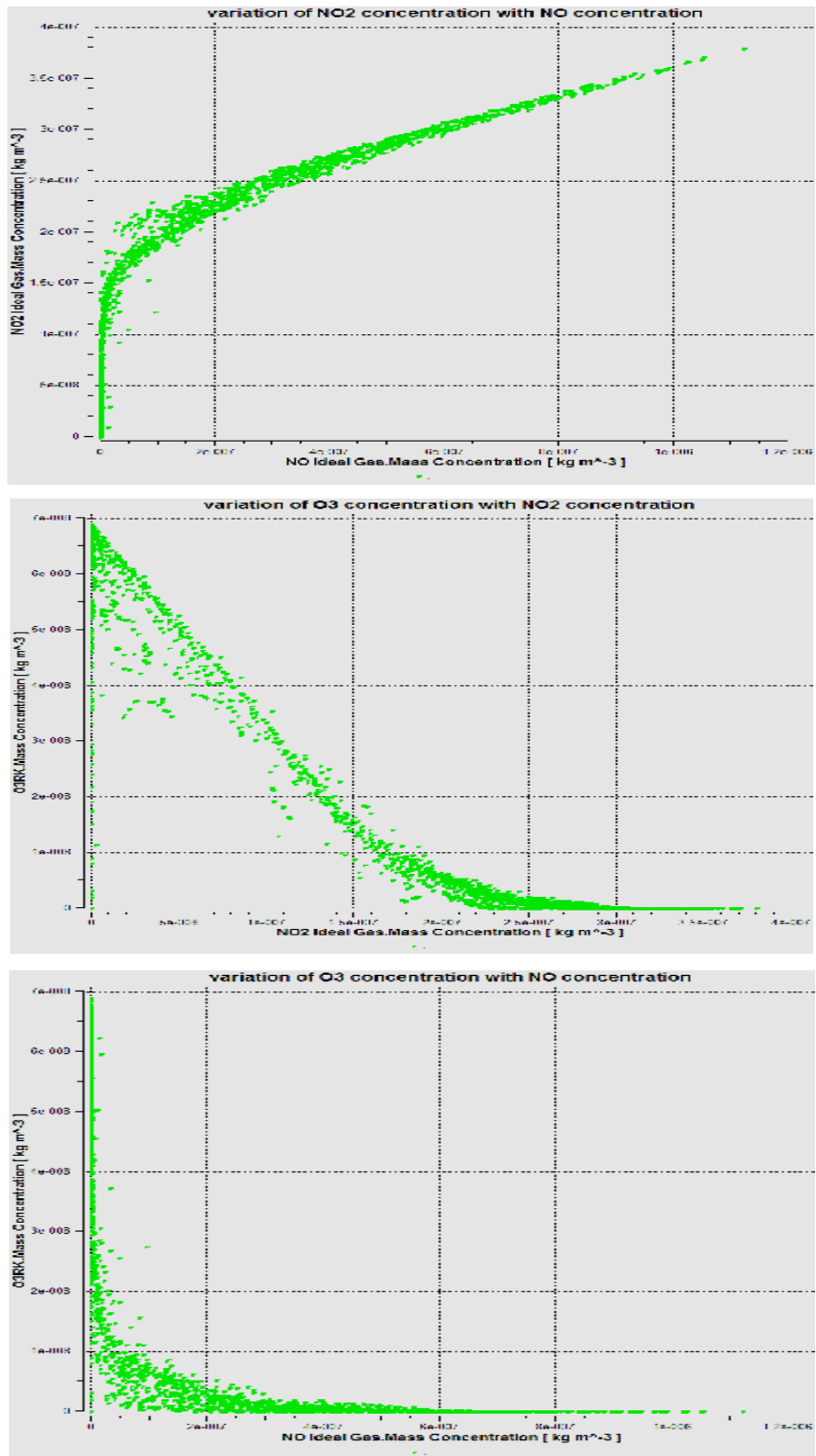
Στο Σχήμα 5 φαίνεται το πεδίο ροής με τις συγκεντρώσεις φωτοχημικών ρύπων στο επίπεδο x-y 1 m από το έδαφος. Παρατηρείται συσσώρευση NO και NO₂ κατά μήκος του δρόμου και κοντά στα οχήματα. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτά η συγκέντρωση μειώνεται της φωτολυτικής διάσπασης. Το όζον έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση στην είσοδο της χαράδρας λόγω υποβάθρου λίγο πριν αναμειχθεί με τις αέριες μάζες πλούσιες σε NO και NO₂ κοντά στις πηγές εκπομπής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντίθετη συμπεριφορά του όζοντος με το NO₂ στις διάφορες περιοχές των επιπέδων x-y και x-z. Στο Σχήμα 6 φαίνεται ότι το όζον συγκεντρώνεται σε μεγαλύτερα ύψη και μάλιστα εκεί όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη. Όπως για παράδειγμα, κοντά στα κτίρια το όζον είναι χαμηλό όπου και η ταχύτητα του ανέμου χαμηλότερη. Επίσης, οι συγκεντρώσεις των NO_x είναι μικρότερη στα μεγαλύτερα ύψη. Ωστόσο η μικρή συγκέντρωση NO που παρατηρείται στο Σχήμα 6 υποδηλώνει την ασθενή αντίδραση του NO με το O₃ το οποίο βοηθά στην αυξημένη συγκέντρωση όζοντος. Στο Σχήμα 7 φαίνεται η σχέση των συγκεντρώσεων των ρύπων μεταξύ τους σε ολόκληρο τον όγκο του γεωμετρικού μοντέλου.



Σχήμα 5: Πεδίο ροής, NO, NO₂ και O₃ συγκεντρώσεις στο επίπεδο x-y 1m από το έδαφος



Σχήμα 6: Πεδίο ροής, NO, NO₂, και O₃ συγκεντρώσεις στο επίπεδο x-y στα 18m ύψος



Σχήμα 7: χωρική συσχέτιση των συγκεντρώσεων των ρύπων σε ολόκληρο τον όγκο του γεωμετρικού μοντέλου

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συγκεντρώσεις των NO_x και του O₃, που υπολόγισε το CFD στις τρεις διαστάσεις, ήταν γενικά σε συμφωνία καθ' ύψος με τα σημεία μέτρησης. Για παράδειγμα, το στιγμιότυπο της προσομοίωσης το μοντέλο υπολόγισε 68.8 µg/m³ στο επίπεδο του DOAS, το οποίο έδειξε μέτρηση 70 µg/m³. Αυτό βέβαια οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα δεδομένα εισόδου από πραγματικές μετρήσεις, οι οποίες ωστόσο επαληθεύτηκαν που υποδηλώνει την καλή συμπεριφορά του μοντέλου. Γενικά, έγινε εξαγωγή πολύ χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη χωρική κατανομή των ρύπων σε αστική χαράδρα (π.χ. κοντά στις επιφάνειες των κτιρίων, στις πηγές και καθ' ύψος) και συγκεκριμένα σε ποιες περιοχές θα πρέπει να περιμένουμε υψηλές συγκεντρώσεις για κάθε ρύπο χωριστά. Αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν οφείλονται κυρίως στον αποκλεισμό της συνεισφοράς των πτητικών υδρογονανθράκων (VOC) από τον φωτολυτικό κύκλο.

Η συγκεκριμένη διαδικασία προσομοίωσης θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για μία συνολική μοντελοποίηση των φωτοχημικών αντιδράσεων με την ταυτόχρονη ενσωμάτωσή τους σε κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, όπου θα συμπεριλαμβάνονταν και οι πτητικοί υδρογονάνθρακες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Vardoulakis S., B.E.A. Fisher, K. Pericleous and N. Gonzalez-Flesca (2003) 'Modelling air quality in street canyons: a review', Atmospheric Environment, 37: 155–182
2. Zoras S., A. Merah, L. Aidaoui, S. Papalexiou, A.G. Triantafyllou, V. Evagelopoulos, S. Garas and C. Diamantopoulos (2007) 'Assessing The Influence Of Small Scale Phenomena To Local/Meso-Scale Simulation Results By Two-Way Model Coupling I. Fast Chemistry Module Implementation & Vertical Fluxes Calculation II. Mesoscale Simulations', 11th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Cambridge, U.K., 2007, pp. 383
3. Xie X., Z. Huang, J. Wang and Z. Xie (2005) 'Thermal effects on vehicle emission dispersion in an urban street canyon', Transportation Research Part D, 10: 197–212
4. Xie X., C. Liu, D.Y.C. Leung and M.K.H. Leung (2006) 'Characteristics of air exchange in a street canyon with ground heating', Atmospheric Environment, 40: 6396–6409
5. Berkowicz R., M. Winther and M. Ketzel (2006) 'Traffic pollution modelling and emission data', Environmental Modelling & Software, 21: 454–460
6. Seinfeld J.H. and S.N. Pandis (1998) 'Atmospheric chemistry and physics', WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, JOHN WILEY & SONS, INC, 1998, pp. 292-294
7. Triantafyllou A.G., S. Zoras, V. Evagelopoulos, S. Garas, and C. Diamantopoulos (2007) 'DOAS measurements above an urban street canyon in a medium sized city', CEST2007 – Cos island, Greece, 2007, pp. 190