

## ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

**Χ. Χαλιός<sup>1</sup>, Δ. Καζάκος<sup>2</sup>, Κ. Χέλμης<sup>1</sup>, Σ. Παπαθανασίου<sup>2</sup> και Δ. Ν. Ασημακόπουλος<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Τομέας Φυσικής Εφαρμογών, Τμήμα Φυσικής, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, Κτίριο Φυσικής 5, 157 84 Αθήνα. e-mails: [c\\_halios@phys.uoa.gr](mailto:c_halios@phys.uoa.gr), [chelmis@cc.uoa.gr](mailto:chelmis@cc.uoa.gr), [dasimak@cc.uoa.gr](mailto:dasimak@cc.uoa.gr). Τηλ. 210 7276927

<sup>2</sup> Εταιρεία Τεχνικού Λογισμικού 4Μ, Μυκητών 9, 152 33 Χαλάνδρι. e-mails: [d\\_kazakos@hotmail.com](mailto:d_kazakos@hotmail.com), [spiros@4m.gr](mailto:spiros@4m.gr). Τηλ. 210 6857200.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία περιγράφει την φιλοσοφία και τις δυνατότητες του B-Air, ενός προγράμματος που υπερβαίνει τα όρια ενός τυπικού μαθηματικού μοντέλου, συνιστώντας μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία και ένα σύγχρονο εργαλείο πληροφορικής για την Μελέτη της Ποιότητας του Εσωτερικού Περιβάλλοντος στα κτίρια. Το B-Air συνδυάζει φιλικό και ευέλικτο περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων, σχεδιασμένο με σύγχρονα πρότυπα λογισμικού, έτσι ώστε να συνδυάζει την εργονομία στην χρήση και την εποπτεία στα αποτελέσματα καθώς και αξιόπιστο πυρήνα υπολογισμών, βασισμένο στο επιστημονικό μοντέλο MIAQ (Multicompartment Indoor Air Quality Model), σε υπολογιστικό μοντέλο της εταιρείας 4M καθώς και σε κώδικα δεικτών ποιότητας εξωτερικού περιβάλλοντος. Ακόμη παρατίθεται παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου και σύγκρισή του με επιτόπιες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν πολύ καλή συμφωνία των θεωρητικών προβλέψεων με τα πειραματικά δεδομένα.

### ABSTRACT

This work presents the philosophy and the capabilities of B-Air, a program that exceeds the limits of a typical mathematic model, being substantially a completed methodology and a modern tool for the Study of Indoor Air Quality in buildings. B-Air model combines friendly and flexible environment of data input, designed through modern software tools, in order to combine ergonomics, monitoring of results as well as reliable core of calculations, based on the scientific model MIAQ (Multicompartment Indoor Air Quality Model), a model provided by the 4M company and a code based on indicators related to the air quality of the outdoor environment. A sample application with the model proves a fairly good agreement between the theoretical predictions and experimental results.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και η εσωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα παλαιό πρόβλημα, το επιστημονικό ενδιαφέρον και ο προσδιορισμός αυτής ως σημαντικού παράγοντα για τη δημόσια υγεία εντάθηκαν κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών. Μέχρι τότε η έκθεση του πληθυσμού στην ατμοσφαιρική ρύπανση και οι επακόλουθες επιπτώσεις στην υγεία υπολογίζονταν από σταθερούς σταθμούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Κατά συνέπεια, πριν από την δεκαετία του '70 υπήρξαν λίγες μελέτες για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Μεγάλης κλίμακας

πειράματα όπως National Human Exposure Assessment Survey (NHEXAS), τα Harvard Six-City Study, και New York State ERDA Study [1] πραγματοποιήθηκαν στις ΗΠΑ προκειμένου να ερευνηθεί πειραματικά η έκθεση του πληθυσμού στους διάφορους ρύπους, και έδειξαν ότι η έκθεση του πληθυσμού μπορεί να επιβαρύνεται σημαντικά από δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στον εσωτερικό χώρο. Έκτοτε, μεγάλο πλήθος μελετών σε διάφορες χώρες [1], [2] έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις μερικών ρύπων (αιωρούμενα σωματίδια, CO, πτητικές οργανικές ενώσεις) στον εσωτερικό αέρα μπορούν να είναι μεγαλύτερες από τα αντίστοιχα επίπεδα του εξωτερικού περιβάλλοντος, δεδομένου ότι οι συνθήκες στο εσωτερικό περιβάλλον μπορεί να είναι ευνοϊκοί για το σχηματισμό ορισμένων ειδών (εσωτερικές πηγές).

Μία εξαιρετικά διαδεδομένη μέθοδος για τη μελέτη και αποτίμηση των προβλημάτων της ποιότητας του εσωτερικού αέρα είναι η χρήση αριθμητικών μοντέλων. Το πρώτο αριθμητικό μοντέλο για τον εσωτερικό αέρα ήταν αυτό των Shair και Heitner οι οποίοι εφάρμοσαν ένα δυναμικό μοντέλο διατήρησης της μάζας σε συγκεντρώσεις του όζοντος [3]. Κατά τα επόμενα χρόνια παρουσιάστηκε μεγάλο πλήθος αριθμητικών μοντέλων για τον εσωτερικό χώρο τα οποία αφορούσαν στον προσδιορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων της εσωτερικής ρύπανσης. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε το αριθμητικό κώδικα των Kulmala, Asmi and Pirjola που στοχεύει στην αποτίμηση της επιβάρυνσης του εσωτερικού χώρου από αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από εξωτερικές πηγές [4], καθώς και τον κώδικα που αναπτύχθηκε από το Hayes και υπολογίζει τα επίπεδα όζοντος στον εσωτερικό χώρο [5]. Από τους πλέον γνωστούς αριθμητικούς κώδικες που υπολογίζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι το MIAQ. Ο κώδικας αναπτύχθηκε το 1986 από τον W.W. Nazaroff με σκοπό να υπολογίζει τα επίπεδα της αέριας ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους [6]. Αργότερα τροποποιήθηκε από τον ίδιο ώστε να μπορεί να υπολογίζει επίσης και τον αριθμό, καθώς και τη συγκέντρωση σωματιδίων διαφόρων κλασματικών διαμερίσεων (bins) [7]. Ο κώδικας έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος περιπτώσεων για τη μελέτη της ποιότητας του αέρα σε διάφορους εσωτερικούς χώρους.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστεί το B-Air, ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα που στοχεύει στον υπολογισμό και την εκτίμηση των επιπέδων ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους. Στην παράγραφο 2 περιγράφονται η φιλοσοφία και οι δυνατότητες του B-Air και γίνεται εκτενής αναφορά στις φυσικές παραδοχές στις οποίες στηρίζεται το μοντέλο, καθώς και στις φυσικο-χημικές διαδικασίες που λαμβάνονται υπόψη. Στην παράγραφο 3 περιγράφεται ένα σύντομο αλλά χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου που κάνει εμφανείς στην πράξη τις δυνατότητες του προγράμματος, αλλά και την πρακτική του χρησιμότητά στα χέρια του M-H Μελετητή. Στην παράγραφο 4 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την παρούσα εργασία.

## **2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ**

Το B-AIR είναι ένα Ελληνικό πρόγραμμα, που έχει αναπτυχθεί σε συνεργασία του Τομέα Φυσικής Εφαρμογών του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών με την εταιρεία Τεχνικού Λογισμικού 4M.

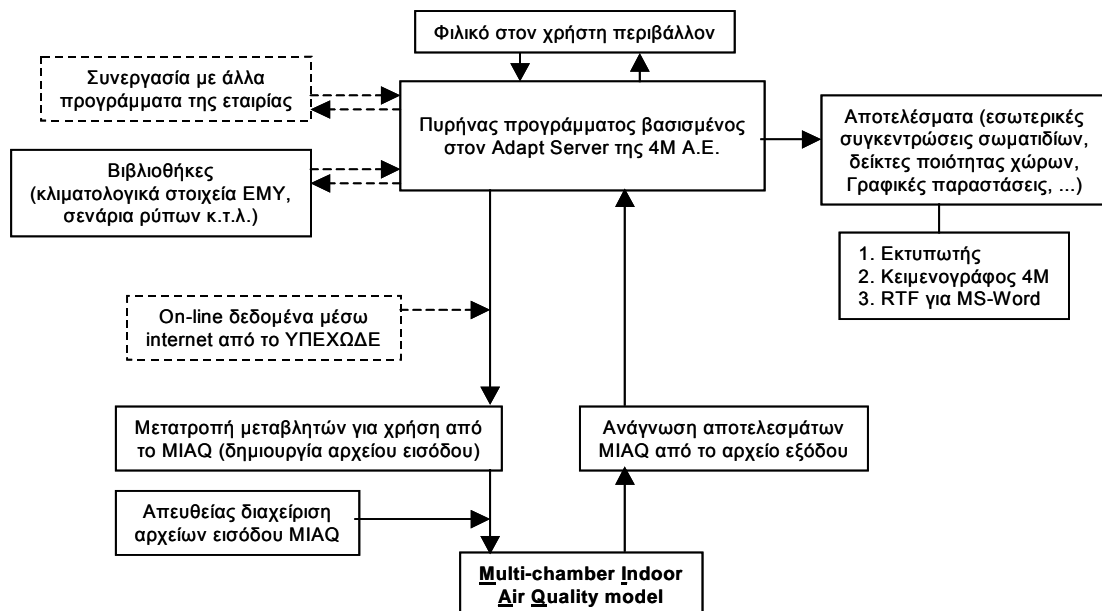
### **2.1 Φιλοσοφία και Δυνατότητες του B-Air**

Από πλευράς λειτουργικότητας, το B-Air συνδυάζει:

- Φιλικό και ευέλικτο περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων, σχεδιασμένο με σύγχρονα πρότυπα λογισμικού, έτσι ώστε να συνδυάζει την εργονομία στην χρήση, την παραμετρικότητα στην ενημέρωση των δεδομένων και την εποπτεία στα αποτελέσματα.

- Αξιόπιστο πυρήνα υπολογισμών, βασισμένο στο επιστημονικό μοντέλο MIAQ, σε υπολογιστικό μοντέλο της εταιρείας 4M καθώς και σε κώδικα που βασίζεται στη μεθοδολογία των δεικτών εξωτερικού περιβάλλοντος.
- Ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης των παραδοχών των αντίστοιχων παραγόμενων αποτελεσμάτων, και των εναλλακτικών λύσεων με την χρήση αναλυτικών πινάκων, καθώς επίσης και ποσοτικών και ποιοτικών δεικτών

Το B-Air λαμβάνει υπόψη του ανά ώρα τις τιμές των εξωτερικών ρύπων και των εσωτερικών πηγών ρύπανσης, και σε συνδυασμό με την μορφολογία του κτιρίου και των εσωτερικών αλληλεπιδράσεων των χώρων του, παράγει τις αναλυτικές καταστάσεις της ποιότητας του εσωτερικού αέρα ανά ώρα. Έτσι, ο μελετητής μπορεί να εξετάσει εύκολα διαφορετικά σενάρια και να αξιολογήσει τα αποτελέσματα που προκύπτουν ανά περίπτωση. Ουσιαστικά, μέσα από την όλη αυτή ανάλυση το B-Air προτείνει έμμεσα την βέλτιστη ρύθμιση των συστημάτων αερισμού και φίλτρων προκειμένου να επιτυγχάνεται το άριστο αποτέλεσμα, σε σχέση με τα επιτρεπτά όρια των ευρωπαϊκών και διεθνών προτύπων. Στο σχήμα 1 φαίνεται συνοπτικά το διάγραμμα λειτουργίας του λογισμικού πακέτου.



Σχήμα 1 : Διάγραμμα λειτουργίας B-Air

## 2.2. Λειτουργικά χαρακτηριστικά του B-Air

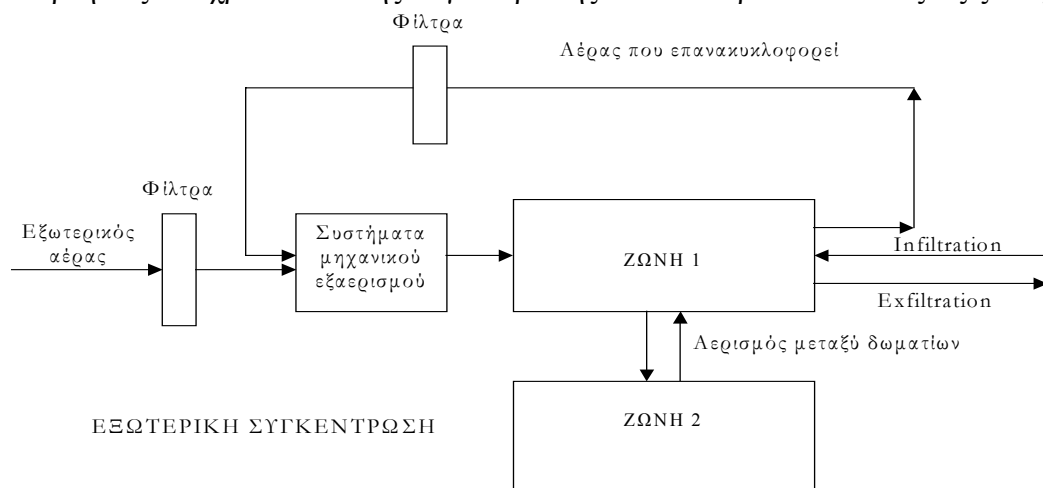
Το περιβάλλον του Λογισμικού B-Air είναι ιδιαίτερα φιλικό και οικείο στον χρήστη, στα πρότυπα των σύγχρονων εφαρμογών windows. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην ευκολία εισαγωγής και τροποποίησης των δεδομένων και των παραμέτρων, για μέγιστη ευελιξία κατά την επίλυση και αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων μιας μελέτης. Το B-Air έχει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της σειράς 4M-ADAPT με κεντρικό υπολογιστικό πυρήνα το φύλλο υπολογισμών χώρων, και μια σειρά από παράθυρα στα οποία παρουσιάζονται με εποπτικό τρόπο τα δεδομένα αλλά και τα αποτελέσματα, στην κατάλληλη μορφή (κείμενα, πίνακες, διαγράμματα κλπ). Μελλοντικά η εισαγωγή των δεδομένων στο B-Air θα μπορεί να γίνεται και σχεδιαστικά, με δυνατότητα απευθείας παρεμβάσεων πάνω στο πραγματικό τρισδιάστατο μοντέλο της μελέτης (3D CAD interface). Η περιορισμένη έκταση του παρόντος δεν επιτρέπει την αναλυτικότερη περιγραφή του Λογισμικού B-Air, πάντως αρκεί μια σύντομη ζωντανή επίδειξη του προγράμματος για να αποκτήσει κανείς κάποια εικόνα για την φιλοσοφία και λειτουργικότητά του.

## 2.3 Παραδοχές - Φυσικοχημικές Διαδικασίες

Το κτίριο αναπαριστάται ως ένα σύνολο διασυνδεδεμένων ζωνών. Το ποσοστό των ροών του αέρα από την κάθε ζώνη προς κάθε μία από τις υπόλοιπες θεωρείται ως συνάρτηση του χρόνου και απαιτείται ως δεδομένο εισαγωγής από το μοντέλο. Κατ' αυτό τον τρόπο ένα δωμάτιο ή μια ομάδα δωματίων μπορεί να απεικονιστεί ως μία ζώνη. Ο αέρας στον πυρήνα κάθε ζώνης θεωρείται ότι είναι καλά αναμεμειγμένος και χωρίζεται από τις επιφάνειες με ένα λεπτό οριακό στρώμα. Τα χαρακτηριστικά αυτού του οριακού στρώματος επηρεάζουν το ποσοστό της εναπόθεσης των ρύπων στις επιφάνειες μπορούν όμως να αγνοηθούν στον υπολογισμό των συγκεντρώσεων. Στο εσωτερικό κάθε ζώνης, το ποσοστό μεταβολής της συγκέντρωσης  $C$  κάθε ρύπου μπορεί να περιγραφεί από μια εξίσωση της μορφής:

$$dC/dt = S - LC$$

Σε αυτήν την εξίσωση το  $S$  αντιπροσωπεύει το ποσό όλων των πηγών (όπως άμεσες εκπομπές, μεταφορά από το εξωτερικό περιβάλλον, μέσω του συστήματος μηχανικού εξαερισμού ή απευθείας από άλλες ζώνες), και το  $L$  αντιπροσωπεύει το ποσό από όλες τις καταβόθρες (απώλεια λόγω ομογενών χημικών αντιδράσεων, μετασχηματισμοί και εναπόθεση στις επιφάνειες, απομάκρυνση λόγω μεταφοράς σε άλλες ζώνες). Το  $S$  και το  $L$  είναι συναρτήσεις του χρόνου και της συγκέντρωσης όλων των ρύπων σε όλες τις ζώνες.



**Σχήμα 2: Σχηματική αντιπροσώπευση των τμημάτων εξαερισμού**

### 2.3.1 Αερισμός και διαδικασίες φιλτραρίσματος

Ο αριθμός των ανταλλαγών του αέρα σε κάθε ζώνη απαιτείται ως στοιχείο εισόδου από το πρόγραμμα και είναι συνάρτηση του χρόνου. Για κάθε ζώνη, ο αέρας μπορεί να εισαχθεί άμεσα από το εξωτερικό, από το σύστημα μηχανικού εξαερισμού (αέρας που προέρχεται από το εξωτερικό ή που διανέμεται εκ νέου από το σύστημα μηχανικού εξαερισμού) και από κάθε μία από τις άλλες ζώνες. Συσκευές απομάκρυνσης ρύπων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάθε γραμμή επιστροφής αέρα (Σχήμα 2). Για κάθε ρύπο, ο χρήστης μπορεί να διευκρινίσει την απόδοση των φίλτρων.

### 2.3.2 Αέριοι Ρύποι –Χημική κινητική

Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενσωματώσει οποιονδήποτε από τους μηχανισμούς χημικής κινητικής που χρησιμοποιούνται συνήθως στα φωτοχημικά μοντέλα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έτσι, 37 αέριοι ρύποι λαμβάνονται υπόψη, οι οποίοι συμμετέχουν σε 78 φωτοχημικές και θερμικές αντιδράσεις. Το μοντέλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε ειδικά προβλήματα που εμφανίζονται από την εκπομπή αέριων ρύπων σε εσωτερικούς χώρους. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: α) σε καταστάσεις όπου καμία χημική αντίδραση δεν λαμβάνεται υπόψη. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη μόνο τη μεταφορά ρύπων μέσω διαδικασιών ανταλλαγής αέρα. β) Προσομοιώνονται

μόνο οι αντιδράσεις που αποτελούν το φωτοχημικό κύκλο. γ) Προσομοιώνεται ο πλήρης κινητικός μηχανισμός. Οι σταθερές των χημικών αντιδράσεων υπολογίζονται από το μοντέλο. Τέλος, το μοντέλο μπορεί να λάβει υπόψη ετερογενείς αντιδράσεις των αέριων ρύπων με σταθερές επιφάνειες (όπως πατώματα, τοίχους και οροφές). Το μοντέλο χρησιμοποιεί την ταχύτητα εναπόθεσης για κάθε αέριο ρύπο σε κάθε επιφάνεια, και υπολογίζει έτσι το συνολικό ποσοστό της απομάκρυνσης λόγω εναπόθεσης σε αυτές τις επιφάνειες.

### 2.3.3 Δυναμική αιωρούμενων σωματιδίων

Το μοντέλο έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης τόσο του αριθμού όσο και της χημικής σύστασης αιωρούμενων σωματιδίων. Η πλήρης κατανομή του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων διαιρείται σε διάφορα γειτονικά και συνεχή τμήματα (τάξεις μεγεθών) και μέσα σε κάθε τάξη μεγέθους η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δυνατόν να αποτελείται από διαφορετικά χημικά συστατικά. Μέσα σε μία τάξη μεγέθους η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων θεωρείται ότι κατανέμεται ομοιόμορφα. Τα μόρια των αιωρούμενων σωματιδίων θεωρείται ότι είναι σφαιρικά και έχουν ίσες πυκνότητες. Το μοντέλο μπορεί να λαμβάνει υπόψη τη διαδικασία της συσσωμάτωσης (coagulation), καθώς και του ποσοστού εναπόθεσης σωματιδίων επάνω στις διάφορες επιφάνειες. Το μοντέλο περιέχει τρεις μεθόδους για τον υπολογισμό της ταχύτητας εναπόθεσης: α. Υπολογισμός μέσω αγωγής που οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και αέρα β. υπολογισμός μέσω σχέσεων ομογενούς τύρβης στον πυρήνα του δωματίου όπου πειραματικές συσχετίσεις θερμοτήτας-μεταφοράς χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τα ποσοστά εναπόθεσης και γ. Εξαναγκασμένη ροή παράλληλη στις επιφάνειες όπου οι εξισώσεις του οριακού στρώματος επιλύονται.

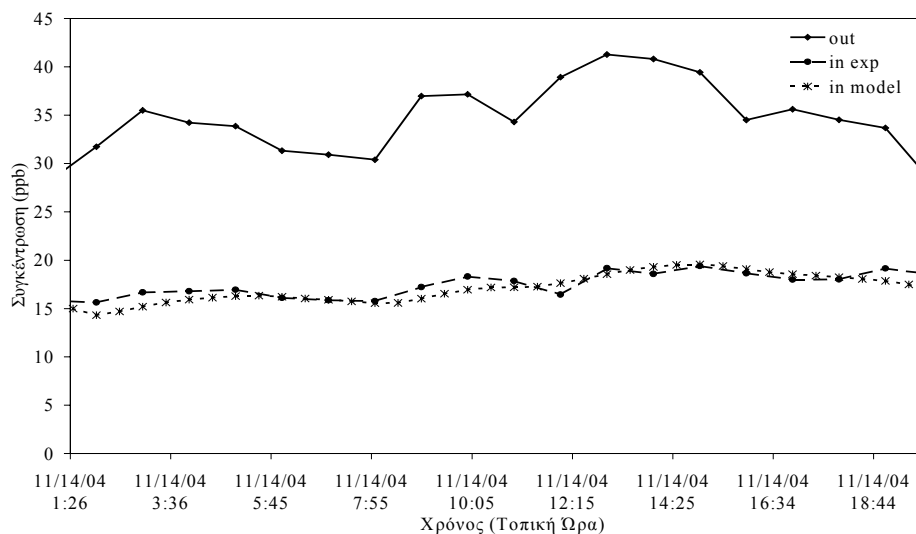
### 2.3.4 Δείκτες αέριας Ρύπανσης

Χρησιμοποιείται μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί σχετική με δείκτες αέριας ρύπανσης [8] με σκοπό να υπολογισθούν τυπικές συγκεντρώσεις εξωτερικής ρύπανσης οι οποίες απαιτούνται ως στοιχείο εισόδου από το μοντέλο. Οι δείκτες αέριας ρύπανσης υπολογίστηκαν για χαρακτηριστικές περιοχές της Αθήνας, και διαφορετικές περιοχές του έτους (χειμώνα – καλοκαίρι), και αναφέρονται σε χρονικές συγκεντρώσεις του SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub>. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν χαρακτηριστικές ημερήσιες εξελίξεις των ρύπων αυτών, αντιπροσωπευτικές για τις διάφορες χαρακτηριστικές συνθήκες της ποιότητας του αέρα στο εξωτερικό περιβάλλοντος. Έτσι ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τυπικά σενάρια εξωτερικής ρύπανσης που απαιτούνται ως στοιχείο εισόδου από το μοντέλο. Τα σενάρια αυτά βρίσκονται σε βιβλιοθήκες του μοντέλου ώστε να συνδυάζουν φιλικό και ευέλικτο περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων, την εργονομία στην χρήση, και την παραμετρικότητα στην ενημέρωση των δεδομένων.

## **3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ**

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται ένα σύντομο αλλά χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου που κάνει εμφανείς στην πράξη τις δυνατότητες του προγράμματος. Η εφαρμογή περιλαμβάνει τη μελέτη της χρονικής εξέλιξης των επιπέδων του O<sub>3</sub> στον εσωτερικό χώρο των γραφείων του κτιρίου της εταιρείας 4M που βρίσκεται στο Χαλάνδρι κατά τη διάρκεια της 14/11/2004. Τα γραφεία αναπαραστάθηκε ως ένας ενιαίος χώρος συνολικού όγκου 142m<sup>3</sup> με εσωτερικές επιφάνειες έκτασης 252 m<sup>2</sup>. Ο εξαερισμός, που για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα γινόταν μέσω των παραθύρων, θεωρήθηκε ότι ήταν 0.2 ACH (Air Changes per Hour – ανταλλαγές ανά ώρα) μία τιμή που θεωρείται τυπική για χώρους γραφείων. Το O<sub>3</sub> θεωρήθηκε ότι έχει ταχύτητα εναπόθεσης 0.0035 cm s<sup>-1</sup>. Για το υπό

μελέτη χρονικό διάστημα τα επίπεδα του O<sub>3</sub>, του NO και του NO<sub>2</sub> καταγράφονταν ανά λεπτό τόσο στον εσωτερικό όσο και στον πλησίον εξωτερικό χώρο. Στο Σχήμα 3 δίνεται η σύγκριση των θεωρητικών υπολογισμών του μοντέλου μαζί με τις μετρούμενες εξωτερικές και εσωτερικές συγκεντρώσεις.



**Σχήμα 3 :** Χρονική εξέλιξη της εξωτερικής (συνεχής γραμμή ) και εσωτερικής συγκεντρώσεως του O<sub>3</sub> (διακεκομμένη γραμμή με τελείες) για το χρονικό διάστημα 1:00 – 20:00 14/11/2004. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο δίνονται με τη διακεκομμένη γραμμή με X.

Όπως είναι φανερό από το σχήμα 3 οι προβλέψεις του μοντέλου συμφωνούν σε ικανοποιητικό βαθμό με τις μετρούμενες εσωτερικές συγκεντρώσεις. Είναι αξιοσημείωτο ότι στη συγκεκριμένη εφαρμογή από το πλήθος των στοιχείων εισόδου που απαιτούνται από το μοντέλο, η μόνη παράμετρος που απαιτείται να έχουν μετρηθεί είναι ο όγκος και η επιφάνεια του εσωτερικού χώρου, καθώς και τα επίπεδα εξωτερικής ρύπανσης.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το B-Air είναι ένα σύγχρονο περιβάλλον εκπόνησης μελετών ποιότητας του αέρα, βασισμένο σε ολοκληρωμένο μοντέλο εξομοίωσης των φυσικο-χημικών διεργασιών και σε εύχρηστο λογισμικό. Το B-Air συνδυάζει την λεπτομέρεια στα δεδομένα με την παραμετρικότητα στους υπολογισμούς και την εποπτεία στα αποτελέσματα, αποτελώντας πολύτιμο βοήθημα για τον μελετητή που θέλει να υπολογίσει με αξιοπιστία τα επίπεδα ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους. Η πρακτική εφαρμογή του B-Air σε συγκεκριμένες περιπτώσεις απέδειξε ότι οι θεωρητικές προβλέψεις του μοντέλου είναι σε πολύ καλή συμφωνία με πειραματικές μετρήσεις, γεγονός που το καθιστά αξιόπιστο εργαλείο μελετών ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους.

**Επισήμανση:** Το έργο αυτό υλοποιείται με συγχρηματοδότηση της ΓΓΕΤ και της εταιρείας 4M στο πλαίσιο του προγράμματος ΠΕΝΕΔ 2001.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wallace L., , “Indoor Particles : A Review”, J Air Waste Manage, 46, 98-126, 1996.
2. Brown S. K., Sim M. R., Abramson M. J. and Gray C. N., , ‘Concentrations of Volatile Organic Compounds in Indoor Air-A Review’, Indoor Air, 4, 123 –134, 1994.

3. Shair, F. H., Heitner, K. L. "Theoretical model for relating indoor pollutant concentrations to those outside". *Environ Sci Technol*, 8, pp. 444-451, 1974.
4. Kulmala M. Asmi A., and Pirjola L.. "Indoor air aerosol model: the effect of outdoor air, filtration and ventilation on indoor concentrations". *Atmos Environ*, 33, pp. 2133-2144, 1999.
5. Hayes S.R., "Use of an Indoor Air Quality Model (IAQM) to estimate indoor ozone levels, *J. Air Waste Manage* 41, pp 161 – 170, 1991.
6. Nazaroff W. W. and Cass G.R., "Mathematical modelling of chemically reactive pollutants in indoor air", *Environ Sci Technol*, 20, pp. 924-934, 1986.
7. Nazaroff W. W. and Cass G.R., "Mathematical modelling of indoor aerosol dynamics", *Environ Sci Technol*, Vol 23, No 2, pp. 157-166, 1989.
8. Kassomenos P., Skouloudis A.N., Lykoudis S. and Flocas H.A., "Air Quality Indicators for uniform indexing of atmospheric pollution over large metropolitan areas". *Atmos Environ*, Vol 33, 12, pp 1861-1879, 1999.