



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας II

Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ
ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Διπλωματική Εργασία:

Αφζαλή Σάρα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Χαλουλάκου-Χριστοδουλάκη Αρχοντούλα

ΑΘΗΝΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

Στη Χρυσούλα και στον Ζήση

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μελέτη των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελεί καίριο αίτημα της επιστημονικής κοινότητας αλλά και ολόκληρης της κοινωνίας λόγω των δυσμενών επιπτώσεων των σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ερευνητικό αντικείμενο μόλις τις τελευταίες πέντε δεκαετίες, ωστόσο η διάχυση της πληροφορίας είναι άμεση λόγω του ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που παρουσιάζεται για το συγκεκριμένο ζήτημα από το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο. Το παραπάνω επισφραγίζεται και από το γεγονός ότι πληθώρα σχετικών μελετών δημοσιεύεται στον επιστημονικό και όχι μόνον τύπο. Έτσι, προσφέρεται στους πολίτες η δυνατότητα ενημέρωσης σχετικά με την ποιότητα του αέρα στον οποίο εκτίθενται και με τους τρόπους με τους οποίους μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την προσωπική τους έκθεση σε αέριους ρύπους.

Παρά το γεγονός ότι διατίθεται μεγάλος αριθμός ερευνών που μελετούν την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στους εξωτερικούς χώρους, η συστηματική μελέτη των πηγών αιωρούμενων σωματιδίων εντός των οικιακών χώρων δεν έχει μελετηθεί επαρκώς για τα ελληνικά δεδομένα. Ωστόσο, πρόκειται για πληροφορία ιδιαίτερα πολύτιμη, εάν ληφθεί υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος της καθημερινότητας δαπανάται εντός οικιακών χώρων. Το κενό αυτό επιχειρεί να καλύψει η παρούσα εργασία, κρίνοντας ότι τα αποτελέσματα μπορούν να αποτελέσουν σημαντικά δεδομένα για μελλοντικές μελέτες.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κυρία Αρχοντούλα Χαλουλάκου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση του θέματος και για την αμέριστη βοήθεια της. Η καθοδήγηση, οι γνώσεις, η εμπειρία και η και η συνεχής εκπαιδευτική και ηθική συμπαράστασή της στάθηκαν πολύτιμοι αρωγοί κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης. Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον διδάκτορα Σταύρο Χεριστανίδη για την επίδειξη του οργάνου DustTrak και για την βοήθειά του σχετικά με τα τεχνικά ζητήματα που προέκυπταν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τις θερμές μου ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στους κατοίκους των υπό μελέτη κατοικιών, χωρίς την συνεργασία και την υπευθυνότητα των οποίων η υλοποίηση της έρευνας θα ήταν αδύνατη.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει στην οικογένειά μου, που με στήριξε και με στηρίζει πάντα, προσφέροντάς μου αφειδώς όλα τα απαραίτητα εφόδια προκειμένου να ολοκληρώσω τις σπουδές μου. Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια μελέτη περιπτώσεων που έχει ως σκοπό την συστηματική παρακολούθηση των κύριων εσωτερικών πηγών αιωρούμενων σωματιδίων και την αποτίμηση του ποσοστού των σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης στους εσωτερικούς χώρους. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την εκτίμηση της έκθεσης του πληθυσμού σε αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για την υγεία. Η μελέτη βασίστηκε σε δυο βασικούς άξονες: σε πραγματικές μετρήσεις και σε εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων από υπάρχοντα μοντέλα πρόβλεψης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 8 κατοικίες και σε εξωτερικά σημεία ενδιαφέροντος σε προάστιο της Αθήνας (περιοχή κατοικιών) με φωτομετρικό μετρητή συνεχούς καταγραφής DustTrak. Διαπιστώνεται ότι το δυναμικό μοντέλο παρουσιάζει υψηλή αξιοπιστία σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης μετρούμενων/υπολογιζόμενων συγκεντρώσεων των PM_{10} σε εσωτερικούς χώρους απουσία εσωτερικών πηγών. Το γεγονός αυτό οφείλεται σημαντικά στο ότι οι παράμετροι εξαερισμού έλαβαν τιμές που προκύπτουν από μετρήσεις στην περιοχή των Αθηνών. Με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας κυριότερες εσωτερικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μαγείρεμα και το κάπνισμα, συμβάλλοντας σημαντικά στην αύξηση της μέσης 24ωρης έκθεσης του πληθυσμού σε PM_{10} . Ειδικότερα, για τις κατοικίες όπου υπάρχουν συστηματικοί καπνιστές ή συστηματικό μαγείρεμα εκτιμάται ότι η μέση 24ωρη προσωπική τους έκθεση υπερβαίνει σε καθημερινή βάση την 24ωρη οριακή τιμή που θέτει η Ε.Ε. για τα PM_{10} .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
1. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	8
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	8
1.2.1. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΗΤΗΡΙΟ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	8
1.2.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	9
1.2.3. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ...13	
1.3. ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	15
1.4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	17
1.5. ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	26
1.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	26
1.5.2. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ.....	27
1.5.3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	32
1.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	35
1.6.1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ.....	34
1.6.1.1. ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	35
1.6.1.2. ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ.....	37
1.6.1.3. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	39
1.6.1.4. ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.....	40
1.6.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	41
1.7. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	42
1.7.1. Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΘΥΓΑΤΡΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ-ΠΛΑΙΣΙΟ.....	42
1.7.2. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ US-EPA.....	48
2. ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ.....	53
2.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ.....	53
2.2. ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	54
2.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	54
2.2.2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	57
2.2.3. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΥΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ.....	59
2.2.3.1. ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	60
2.2.3.2. ΡΥΘΜΟΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ	61
2.2.3.3. ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ.....	62
2.2.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	64
2.2.5. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ.....	65

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	66
3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΟΥ.....	66
3.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	68
3.3. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	70
3.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	70
3.3.2. ΜΕΣΕΣ 24ΩΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	72
3.3.3. ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΩΡΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ.....	73
3.3.4. ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ.....	74
3.3.5. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	75
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	76
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	81
5.1. ΑΠΟΥΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ.....	81
5.1.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ.....	81
5.1.2. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕΣΗΣ 24ΩΡΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ PM10 ΓΙΑ 24ΩΡΗ ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	84
5.2. ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΗΓΗ.....	85
5.2.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΥΘΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	85
5.2.2. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕΣΗΣ 24ΩΡΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ PM10 ΓΙΑ 24ΩΡΗ ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	96
5.2.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ PM10 ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΟΜΑΔΑ ΤΩΝ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΩΝ.....	90
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	94
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο «αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη» (particulate matter, PM) ή «αιωρούμενα σωματίδια» περιγράφουμε τα διεσπαρμένα στον αέρα, στερεά ή υγρά σωματίδια, με μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό των απλών μορίων (περίπου $2 \cdot 10^{-4}$ μm σε διάμετρο), αλλά μικρότερο από 500 μm. Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία πηγών και έχουν ένα σημαντικό εύρος διαφορετικών μορφολογικών, χημικών, φυσικών και θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών. Στην ατμόσφαιρα έχουν ανιχνευθεί συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ως προς την μάζα από μερικά $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως και αρκετές εκατοντάδες $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ατμοσφαιρικά επιβαρυμένες περιοχές (Seinfeld & Pandis 2006, Wark et al. 1998, Manahan 1994, Chaloulakou et al. 2003).

1.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

1.2.1. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΩΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, τα αιωρούμενα σωματίδια κατατάσσονται σε: σκόνη, καπνό, ιπτάμενη τέφρα, αιθάλη, σπρέι ή ομίχλη. Τα πρώτα τέσσερα είναι στερεά και τα δύο τελευταία υγρά αερολύματα (Natural Resources Defense Council 1996b, Paterson 1995).

- **Σκόνη:** Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών κατά την διάρκεια διαδικασιών όπως σύνθλιψη, τριβή, έκρηξη.
Τυπικό μέγεθος: 1 έως 10.000 μm
- **Καπνός:** Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση οργανικών υλών όπως το κάρβουνο, ο καπνός ή το ξύλο.
Τυπικό μέγεθος: 0,5 έως 1 μm.
- **Ιπτάμενη τέφρα:** Μικρά, μη καύσιμα ορυκτά ή μεταλλικά σωματίδια που εκπέμπονται από τις καπνοδόχους κατά τη καύση κάρβουνο.
Τυπικό μέγεθος: 1 έως 1.000 μm.

- **Αιθάλη:** Μικρά, στερεά σωματίδια, τα οποία σχηματίζονται από την συμπύκνωση ατμών στερεών υλικών, συχνά οξειδίων των μετάλλων (όπως είναι τα οξείδια του ψευδαργύρου και του μολύβδου) και στοιχειακό άνθρακα.
Τυπικό μέγεθος: 0,03 έως 0,3 μm.
- **Σπρέι:** Υγρά σωματίδια που μορφοποιούνται από το ράντισμα υγρών, όπως τα φυτοφάρμακα ή τα παρασιτοκτόνα.
Τυπικό μέγεθος: 10 έως 1.000 μm.
- **Ομίχλη:** Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που δημιουργούνται από τη συμπύκνωση ατμών.
Τυπικό μέγεθος: 0,1 έως 10 μm.

1.2.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

Τα σωματίδια έχουν διάφορα σχήματα και, συνεπώς, είναι αδύνατη η έκφραση κοινής παραμέτρου μεγέθους, αφού πολλές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται από το μέγεθός τους (όγκο, μάζα, ταχύτητα εναπόθεσης). Στις κατανομές κατά μέγεθος, ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται το μέγεθος της “ισοδύναμης διαμέτρου” του σωματιδίου. Καθώς το μέγεθος αυτό είναι μία έννοια συμβατική, υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί. Η ισοδύναμη διάμετρος ενός σωματιδίου είναι δυνατόν να προσδιορισθεί:

- ο Γεωμετρικά (με οπτική ή ηλεκτρονική μικροσκοπία)
- ο Από την σκέδαση που προκαλεί στο φως
- ο Από τα χαρακτηριστικά του, όπως είναι η ηλεκτρική ευκινησία, η ταχύτητα εναπόθεσης ή η αεροδυναμική του συμπεριφορά.

Συνήθως, ως κριτήριο καθορισμού της ισοδύναμης διαμέτρου, χρησιμοποιείται η φυσική συμπεριφορά του σωματιδίου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η διάμετρος Stokes (D_p) ή η αεροδυναμική διάμετρος (D_a). Ο ορισμός της πρώτης βασίζεται στο προσδιορισμό της αντίστασης που εμφανίζεται πάνω στο σωματίδιο, όταν αυτό κινείται μέσα σε ένα ρευστό με διαφορετική ταχύτητα. Σωματίδια με ίδια διάμετρο Stokes και ίδια πυκνότητα έχουν την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης. Η αεροδυναμική διάμετρος εξαρτάται από την πυκνότητα του

σωματιδίου και ορίζεται ως «η διάμετρος σφαίρας πυκνότητας μονάδας (1 g/cm^3), η οποία έχει την ίδια τελική ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο».

Η αεροδυναμική διάμετρος συσχετίζεται με την διάμετρο Stokes, προσεγγιστικά, με την παρακάτω απλοποιημένη εξίσωση:

$$D_a = D_p \cdot \rho_p^{1/2}$$

όπου: ρ_p η πυκνότητα του σωματιδίου.

Σωματίδια με το ίδιο πρακτικό μέγεθος και σχήμα, αλλά με διαφορετικές πυκνότητες, θα έχουν ίδιες διαμέτρους Stokes αλλά όχι τις ίδιες αεροδυναμικές διαμέτρους. Για σωματίδια μεγαλύτερα από $0,5 \text{ }\mu\text{m}$ χρησιμοποιείται η αεροδυναμική διάμετρος, διότι από αυτή εξαρτάται η μεταφορά του σωματιδίου από αέρια ρεύματα, η συλλογή στους δειγματολήπτες και η εναπόθεση μέσα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

ΟΛΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ (TSP)

Είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Τα TSP ποικίλουν γενικά σε μέγεθος από $0,01 \text{ }\mu\text{m}$ έως και μερικές εκατοντάδες μm . Ωστόσο τα σωματίδια εκείνα με μέγεθος άνω των $50 \text{ }\mu\text{m}$ έχουν την τάση να καθιζάνουν πολύ εύκολα. Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων, οι οποίοι με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε επιμέρους κλάσματα.

A) Τα λεπτόκοκκα (*fine mode*)

Λεπτόκοκκα καλούνται τα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι $2,5 \text{ }\mu\text{m}$. Συνήθως τα σωματίδια αυτά παράγονται δευτερογενώς από αέριες ενώσεις. Χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο κατηγορίες.

A1) Υποκατηγορία πυρήνα (*nuclei mode / nuclei range*)

Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από $0,01$ έως $0,05 \text{ }\mu\text{m}$ και προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης. Παρουσιάζουν μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα γιατί συσσωματώνονται μεταξύ τους ή με λίγο μεγαλύτερα σωματίδια, προς σχηματισμό σωματιδίων μεγαλύτερης διαμέτρου. Η υποκατηγορία αυτή χωρίζεται στις επόμενες δύο ομάδες:

❖ Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken Nuclei)

Αντιπροσωπεύει εκείνη την ομάδα των σωματιδίων πυρήνα που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος πάνω από τα 15 nm.

❖ Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra-fine Nuclei)

Πρόκειται για τα υπόλοιπα σωματίδια πυρήνα. Τα σωματίδια αυτά παρουσιάζουν τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος κάτω από τα 15 nm.

A2) Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range)

Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από 0,05 έως 2,5 μm και παράγονται από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων (υποκατηγορίας πυρήνα) και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές. Παρουσιάζουν χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από 7 έως 30 ημέρες. Τα σωματίδια συσσώρευσης ομαδοποιούνται με τη σειρά τους σε:

❖ Σταγονίδια (droplet mode)

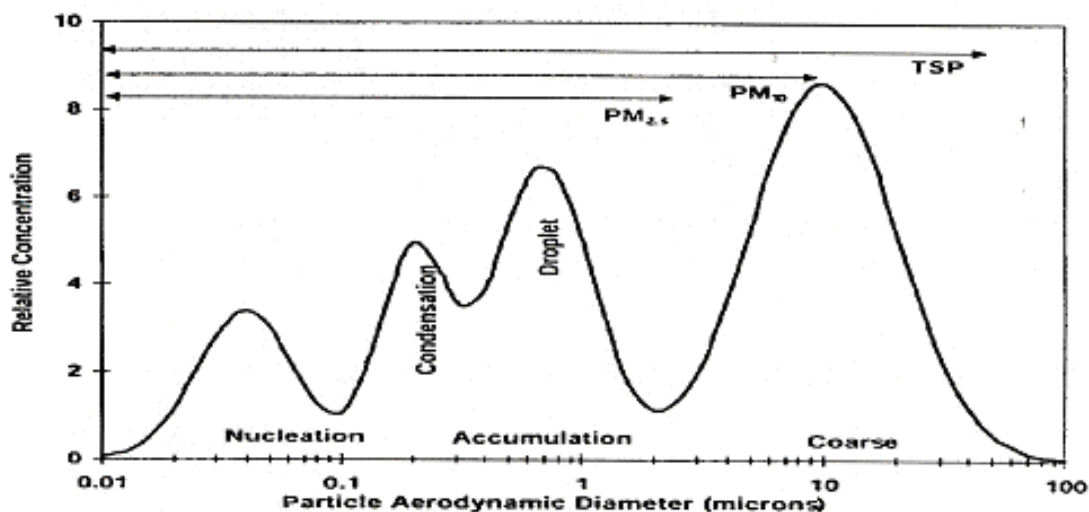
Είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αντιδράσεις υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη ή παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας, επάνω στην επιφάνεια αιωρουμένων σωματιδίων. Η συσσωμάτωση που επέρχεται ως αποτέλεσμα, δημιουργεί την ομάδα των σταγονιδίων.

❖ Συμπυκνώματα (condensation mode)

Πρόκειται για μικρότερα σωματίδια από τα προηγούμενα. Σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα.

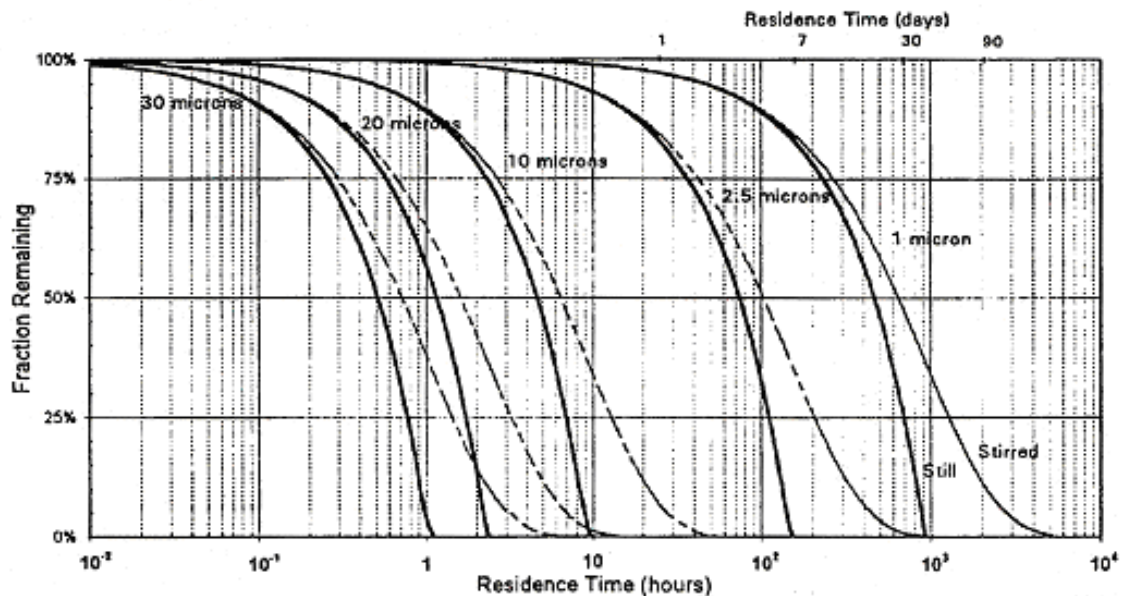
B) Τα χονδρόκοκκα (coarse mode)

Χονδρόκοκκα καλούνται τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου άνω των 2,5 μm. Παράγονται συνήθως με μηχανικούς τρόπους.



Σχήμα 1.1. Ιδανική κατανομή κατά μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας (Watson et al. 1997).

Τα μεγαλύτερα σωματίδια (για παράδειγμα εκείνα με διάμετρο 10 μm) είναι δυνατόν να μείνουν σε αιώρηση στην ατμόσφαιρα 10 με 20 ώρες, πριν την καθίζησή τους στο κάτω τμήμα της τροπόσφαιρας. Θεωρώντας μια μέση ταχύτητα του ανέμου ίση με περίπου 7 m/s, υπολογίζεται ότι τα σωματίδια αυτά είναι δυνατόν να ταξιδέψουν έως 20 με 30 χιλιόμετρα. Αντίστοιχα, τα μικρότερα σωματίδια (διαμέτρου 0,1 έως 1 μm) είναι δυνατόν να απομακρυνθούν έως και αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα από το σημείο εκπομπής τους. ένα μικρό ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δυνατόν να φτάσει έως το άνω τμήμα της τροπόσφαιρας (περίπου 8 με 15 χιλιόμετρα ύψος) και να μείνει αιωρούμενο για μεγάλους χρόνους (έως και 1 έτος) (EEA & WHO 1999a, EPA 1996, Chow 1995).



Σχήμα 1.2. Χρόνος αιώρησης σωματιδίων συναρτήσει της διαμέτρου τους. Τα στοιχεία αναφέρονται σε μέγιστο ύψος 100 m και στις περιπτώσεις: α. ακίνητου αέρα (Still) και β. Αναδευόμενου αέρα (Stirred) (Watson et al. 1997).

1.2.3. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Η συμπεριφορά των σωματιδίων μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό (αναπνευστικό σύστημα, στομάχι) είναι θέμα που έχει απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα, και που ακόμη μελετάται. Ωστόσο, τα μέχρι σήμερα συμπεράσματα φαίνονται να εντοπίζονται στις εξής υποομάδες των συνολικά αιωρούμενων σωματιδίων (TSP).

A) Εισπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles)

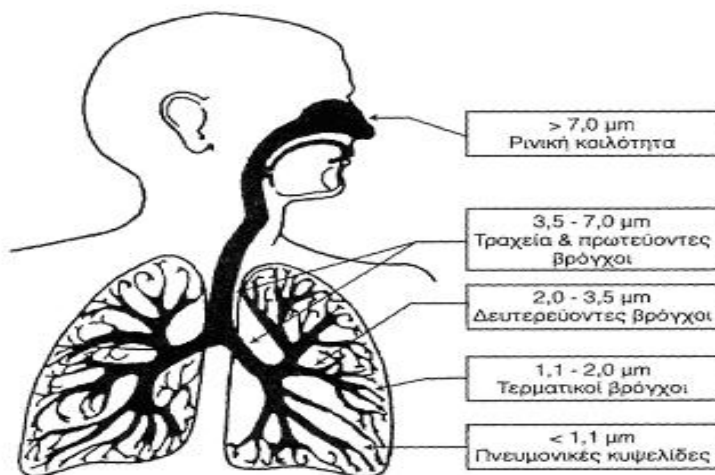
Εισπνεύσιμα σωματίδια είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Περιλαμβάνουν σωματίδια με διάμετρο έως 10 μm, καθώς η πλειοψηφία των σωματιδίων με διαμέτρους μεγαλύτερες από 10 μm κατακρατούνται στην στοματική και τη ρινική κοιλότητα.

B) Θωρακικά σωματίδια (thoracic particles)

Τα θωρακικά σωματίδια αποτελούν το κλάσμα των εισπνεύσιμων σωματιδίων που καταφέρνουν να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Θεωρείται ότι έχουν μέγεθος μικρότερο των 7 μm.

Γ) Αναπνεύσιμα σωματίδια (*respirable particles*)

Το σωματιδιακό κλάσμα με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερο από 2,5 μm είναι το πιο σημαντικό από άποψη επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Τα σωματίδια αυτά καταφέρνουν γενικά να διεισδύσουν έως τα βάθη των πνευμόνων και γι'αυτό καλούνται αναπνεύσιμα (E.C. Technical Working Group on Particles 1996, Natural Resources Defense Council 1996b, Paterson 1995).



Σχήμα 1.3. Διεισδυτικότητα των αιωρουμένων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό.

1.3. ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Βάσει της κατάταξης των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος (χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα), και σε συσχέτιση με την διεισδυτικότητά τους στον ανθρώπινο οργανισμό (εισπνεύσιμα και αναπνεύσιμα), ορίσθηκαν οι δύο βασικές κατηγορίες μετρούμενων σωματιδιακών κλασμάτων, τα PM_{10} και τα $PM_{2,5}$. Και τα δύο αυτά κλάσματα συμπεριλαμβάνονται στους ρύπους – κριτήρια για την ποιότητα του αέρα και, τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α., έχουν ορισθεί ανώτερα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσής τους στην εξωτερική ατμόσφαιρα.

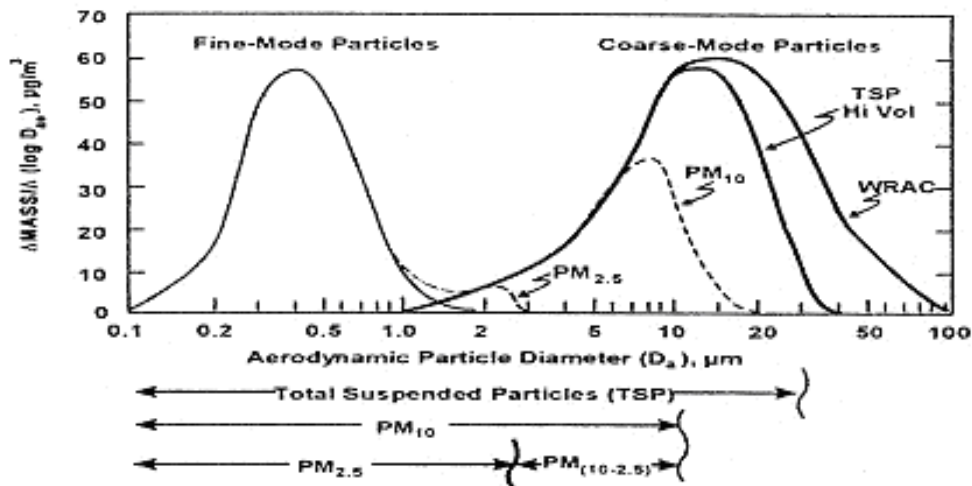
Γενικά, θεωρείται ότι τα PM_{10} ταυτίζονται με την κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων και έχουν διάμετρο έως 10 μm . Ωστόσο, ο ορισμός αυτός δεν λαμβάνει υπόψη του το γεγονός ότι είναι αδύνατον να κατασκευασθεί δειγματολήπτης ικανός να λειτουργεί υπό μορφή βηματικής συνάρτησης, οπότε να αποκλείει τη συλλογή των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο παραπλήσια της επιθυμητής, ώστε να είναι δυνατόν να προσδιορισθούν σωματίδια μέχρι ή από μία διάμετρο και πέρα. Στην πράξη δηλαδή, τα PM_{10} περιλαμβάνουν και ένα περιορισμένο αριθμό σωματιδίων με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm . Για το λόγο αυτό ο αυστηρός ορισμός, όπως αναφέρεται στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), είναι :

« PM_{10} νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50 % των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10 μm . »

Αντίστοιχα, τα $PM_{2,5}$ ταυτίζονται με τα αναπνεύσιμα σωματίδια και ο σχετικός ορισμός της Ε.Ε. είναι:

« $PM_{2,5}$ νοούνται σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50 % των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5 μm . »

Την τελευταία δεκαετία, ωστόσο, η ερευνητική δραστηριότητα επικεντρώνεται επίσης στην μελέτη ενός άλλου, μικρότερου σωματιδιακού κλάσματος. Πρόκειται για τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια (ultrafine particles, UFPs), δηλαδή τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0,1 μm . Το συγκεκριμένο σωματιδιακό κλάσμα συνεισφέρει ελάχιστα στην ολική κατά μάζα συγκέντρωση (λόγω του πολύ μικρού μεγέθους του), κυριαρχεί όμως στην κατά αριθμό συγκέντρωση (Woo et al. 2001, Keywood et al. 1999). Έχει παρατηρηθεί ότι σε αστικά κέντρα, όπου κυρίαρχη πηγή σωματιδίων είναι η κυκλοφορία των οχημάτων, τα UFPs αποτελούν περισσότερο από το 90 % των συνολικών σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Gramotnev & Ristovski 2004, Morawska et al. 2004, Thomas & Morawska 2002, Diapouli et al. 2008, Wahlin et al. 2001, Diapouli et al. 2007).

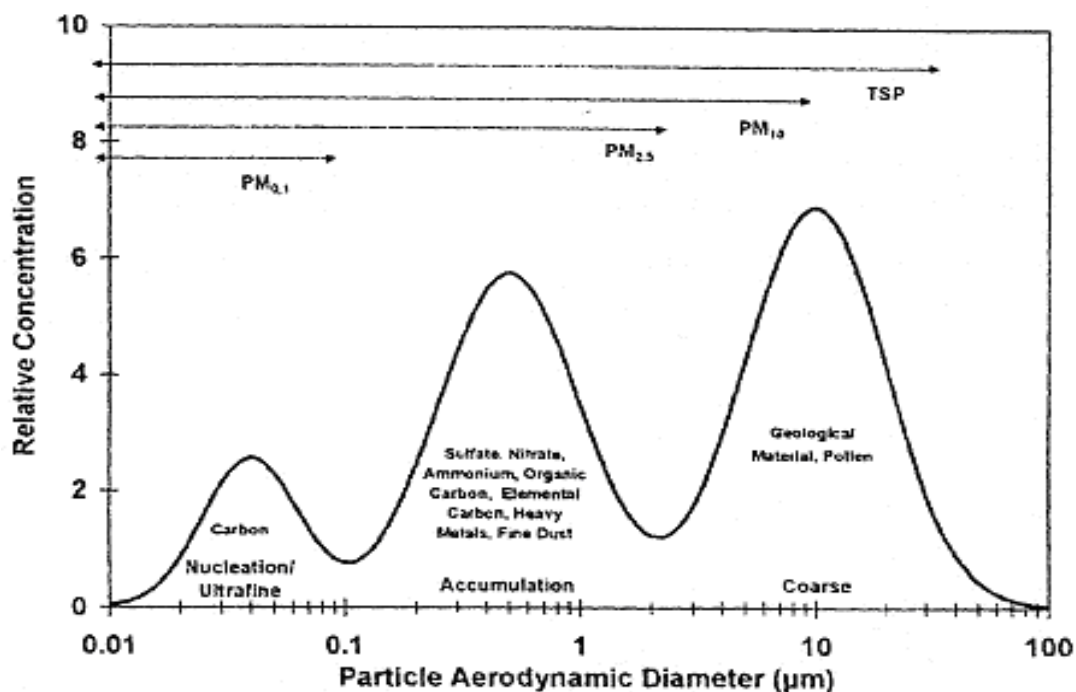


Σχήμα 1.4. Κυριότερα κλάσματα αιωρούμενων σωματιδίων (EPA 1996).

1.4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα σχετικών ερευνητικών μελετών, η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελείται από τις παρακάτω βασικές κατηγορίες συστατικών (Harrison & Yin 2000):

- Θειικά
- Νιτρικά
- Αμμωνιακά
- Χλωριόντα
- Οργανικό άνθρακα
- Στοιχειακό άνθρακα
- Γεωλογικά υλικά
- Βιολογικά υλικά
- Μέταλλα
- Ισχυρά οξέα



Σχήμα 1.5. Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά (Watson et al. 1998).

Επιπλέον, το υγρό H_2O είναι ένα ακόμα βασικό συστατικό στα διαλυτοποιήσιμα σωματίδια. Προσροφάται σε αυτά όταν η σχετική υγρασία υπερβαίνει περίπου το 70 %. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού του νερού εξατμίζεται στα φίλτρα πριν από τη μέτρηση (Ohta et al. 1998, Chow 1995).

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι χημικές ενώσεις και ομάδες που συνθέτουν την μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων.

ΘΕΙΙΚΑ

Τα θειικά προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου (SO_2) στην ατμόσφαιρα και συνήθως βρίσκονται υπό την μορφή θειικού αμμωνίου. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα $PM_{2,5}$. Θειικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές, όπου το θειικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Παρόλο που ο γύψος και κάποια άλλα γεωλογικά υλικά περιέχουν θειικά, αυτά δεν είναι εύκολα διαλυτοποιήσιμα στο νερό ώστε να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκα σωματίδια έναντι των $PM_{2,5}$ και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά (Harrison & Yin 2000, Theodosi et al. 2011).

ΝΙΤΡΙΚΑ

Τα νιτρικά σχηματίζονται κυρίως από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου (NO_2). Το νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3) είναι το πιο συχνά απαντημένο και βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τις πρόδρομες αέριες ουσίες του, την αμμωνία (NH_3) και τους ατμούς νιτρικού οξέος (HNO_3) (Seinfeld & Pandis 2006, Lunden et al. 2003). Σε ορισμένες περιπτώσεις το νιτρικό νάτριο ($NaNO_3$) κυριαρχεί. Λόγω της ταχύτερης οξείδωσης του NO_2 σε σχέση με το SO_2 , και της ευαισθησίας του NH_4NO_3 στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις της NH_3 (οι οποίες επηρεάζουν την διάσπασή του), η χωρική κατανομή των νιτρικών είναι πολύ λιγότερο ομοιόμορφη από αυτή των θειικών (Harrison & Yin 2000, Raes et al. 2000, Theodosi et al. 2011).

ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ

Κατά τον αρχικό σχηματισμό των θειικών και νιτρικών ιόντων στην ατμόσφαιρα, αυτά βρίσκονται υπό την μορφή των αντίστοιχων οξέων. Σταδιακά, τα οξέα αυτά εξουδετερώνονται από την ατμοσφαιρική αμμωνία, σχηματίζοντας αμμωνιακά άλατα. Στις περισσότερες αστικές περιοχές, το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) υπερέχει σημαντικά του ιόντος του υδρογόνου (H^+), το οποίο και αντικαθιστά στη διαδικασία εξουδετέρωσης. Η συντριπτική πλειοψηφία των αμμωνιακών ενώσεων εντάσσεται στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από ορυκτά υλικά, τα οποία είναι αλκαλικά και δεν αντιδρούν με την αέρια αμμωνία (Harrison & Yin 2000, Chow 1995, Harrison & Jones 1995, Theodosi et al. 2011).

ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

Η κύρια πηγή των ιόντων χλωρίου είναι το υδρόλυμα θαλάσσης (sea spray), ακόμη και σε περιοχές που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα από την ακτή. Οι θαλάσσιες πηγές χλωριούχων σωματιδίων συνεισφέρουν κυρίως σε χλωριούχο νάτριο (NaCl). Η κατηγορία αυτή σωματιδίων εντάσσεται στο χονδρόκοκκο κλάσμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην Ανταρκτική, όπου, λόγω της προφανούς έλλειψης ανθρωπογενών πηγών, άνω του 70 % των ατμοσφαιρικών σωματιδίων αποτελείται από θαλάσσιο NaCl , η κατά μάζα κατανομή μεγέθους παρουσιάζει μέγιστο για σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο περίπου ίση με 3 μm (Veli-Matti et al. 2000).

Κατά τους χειμερινούς μήνες, πηγή χλωριόντων αποτελεί επιπλέον και η ρίψη αλατιού στους δρόμους, για την αντιμετώπιση του πάγου. Τέλος, οι χλωριούχες ενώσεις εισέρχονται στην αέρια σωματιδιακή μάζα και με δευτερογενείς διαδικασίες, όπως η εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από του ατμούς υδροχλωρικού οξέος (HCl), το οποίο εκπέμπεται από πηγές όπως αποτεφρωτήρες και σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι δευτερογενείς χλωριούχες ενώσεις ανήκουν στο λεπτόκοκκο κλάσμα και συνίστανται κυρίως σε χλωριούχο αμμώνιο (Harrison & Jones 1995, Theodosi et al. 2011).

ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο οργανικός άνθρακας είναι δυνατόν να εκπέμπεται από πρωτογενείς πηγές εκπομπής. Σημαντική όμως ποσότητα παράγεται δευτερογενώς, μέσω ατμοσφαιρικών φωτοχημικών διεργασιών μεταξύ πρωτογενών αέριων οργανικών χημικών ειδών, οι οποίες παράγουν χαμηλής πτητικότητας οργανικές ενώσεις. Σύμφωνα με ερευνητικές εργασίες, ο σχηματισμός δευτερογενών σωματιδίων συσχετίζεται με τον λόγο οργανικού προς στοιχειακό άνθρακα. Συγκεκριμένα, τιμές του λόγου άνω του 2 υποδεικνύουν δευτερογενή παραγωγή οργανικού άνθρακα (Kavouras et al. 1999, Prosmitis et al. 2011, Grivas et al. 2011).

Οι οργανικές ενώσεις που απαντώνται στα αιωρούμενα σωματίδια είναι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες, είτε αρωματικές ενώσεις, είτε οξυγονωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων. Οι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες που ανιχνεύονται στα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από κανονικά αλκάνια, 16 – 36 ατόμων άνθρακα, ενώ σημαντική είναι και η περιεκτικότητα σε διακλαδισμένες και ακόρεστες ενώσεις. Είναι αδρανείς ενώσεις, σχετικά μη τοξικές και δεν συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα (Manahan 1994). Τα n-αλκάνια που αποτελούνται μέχρι και από 25 άτομα άνθρακα χαρακτηρίζονται ως πετρογενή (petrogenic) και η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα σχετίζεται με εκπομπές και καύση ορυκτών καυσίμων. Αντίθετα, τα C₂₅ – C₃₆ αλκάνια χαρακτηρίζονται ως βιογενή και προέρχονται από φυσικές πηγές.

Εκτός από τους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες, στις οργανικές ενώσεις των αιωρουμένων σωματιδίων περιέχονται και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAHs), οι οποίοι συγκεντρώνουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αποδεδειγμένης καρκινογόνου και μεταλλαξιογόνου δράσης τους (Junker et al. 2000, Kavouras et al. 1999, Menichini et al. 1999). Κύρια διαδικασία σχηματισμού των PAHs είναι η πυροσύνθεση. Κατά την πυροσύνθεση, σε θερμοκρασίες περίπου 500 °C, διαρρηγνύονται οι δεσμοί C-C και C-H των υδρογονανθράκων χαμηλού μοριακού βάρους, προς σχηματισμό ελεύθερων ριζών. Κατόπιν, οι ελεύθερες ρίζες αφυδρογονώνονται και συνδυάζονται χημικά, για να σχηματίσουν δομές αποτελούμενες από αρωματικούς δακτύλιους, ανθεκτικές στις υψηλές θερμοκρασίες. Η ευχέρεια των υδρογονανθράκων να σχηματίσουν PAHs με πυροσύνθεση δίνεται από την ακολουθία (Manahan 1994): *Αρωματικοί > κυκλολεφίνες > ολεφίνες > παραφίνες*

Οι PAHs εντάσσονται στην κατηγορία των τοξικών οργανικών μικρο-ρύπων (Toxic Organic Micro Pollutants, TOMPs), όπου ανήκουν και οι πολυχλωριωμένες διοξίνες και φουράνια, καθώς και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), ομάδες ενώσεων που πρόσφατα γνώρισαν μεγάλη δημοσιότητα, και επίσης σχετίζονται με τα αιωρούμενα σωματίδια (Harrison & Jones 1995, Mantis et al. 2005). Τέλος, στο οργανικό κλάσμα των αιωρούμενων σωματιδίων εντάσσονται ουδέτερα οξυγονωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων (αλδεΐδες, κετόνες, εποξειδία, εστέρες, λακτόνες, κινόνες), οργανικά οξέα (μυριστικό, ελαϊκό, λινολεϊκό, στεατικό, παλμιτικό) και αλκαλικές ενώσεις όπως η ακριδίνη.

ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Κατά τις διαδικασίες καύσης, και ιδίως εξαιτίας της κυκλοφορίας οχημάτων, εκπέμπονται σωματίδια αιθάλης, τα οποία περιέχουν άνθρακα υπό μορφή ενός πυρήνα από στερεό μαύρο στοιχειακό άνθρακα (είτε καθαρό γραφίτη ή υψηλού μοριακού βάρους μη πτητική ύλη, όπως πίσσα ή κωκ). Στην επιφάνεια του πυρήνα συχνά υπάρχει επικάλυψη από ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες συμπυκνώνονται από τα αέρια καύσης. Περιέχονται επίσης και κάποιες χαρακτηριστικές ομάδες (υδροξυλικές, φαινολικές, καρβονυλικές, καρβοξυλικές κ.α.). Ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται καλός δείκτης της πρωτογενούς ανθρωπογενούς αέριας ρύπανσης, καθώς οι χημικές μεταβολές του (χημικές αντιδράσεις ή εναλλαγές φάσεων) είναι περιορισμένες γενικά (Offenberg & Baker 2000, Prosmittis et al. 2004, Kim et al. 1999, Molnar et al. 1999 Grivas et al. 2011) .

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Στην κατηγορία των γεωλογικών υλικών περιλαμβάνεται επιφανειακή σκόνη και αερομεταφερόμενα αποσαθρωμένα πετρογενή ορυκτά υλικά. Η σύστασή τους δεν είναι σταθερή, αλλά αντικατοπτρίζει τα εκάστοτε τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην επαναιώρησή τους από το έδαφος (Harrison & Yin 2000). Ορισμένα από τα φυσικά ορυκτά που έχουν αναγνωρισθεί στην σωματιδιακή μάζα είναι: χαλαζίας (SiO_2), ασβεστίτης (CaCO_3), γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), αστρίοι (feldspar, KAlSi_3O_8), εψωμίτης ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), χλωρίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, αιμανίτης κ.α. (Harrison & Jones 1995).

ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ορισμένες μελέτες έχουν διαχωρίσει την σωματιδιακή ύλη βιολογικής προέλευσης (Biological Aerosol Particles, BAP), η οποία είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια, αλλά και σπόρια, γύρη και τεμαχίδια κυτταρινούχου φυτικού υλικού. Με εξαίρεση κάποιους ιούς, και άλλα σωματίδια που εκπέμπονται είτε από το ανθρώπινο σώμα ή από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες (για παράδειγμα αποχετευτικό σύστημα), τα σωματίδια αυτά είναι στην πλειοψηφία τους χονδρόκοκκα. Στις περισσότερες μελέτες χαρακτηρίζονται ως οργανικός άνθρακας παρά ως βιολογικά υλικά (Harrison & Yin 2000, Mattias-Maser et al. 2000).

ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα μέταλλα που απαντώνται σε μεγάλη αναλογία στην μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι τα: νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο, υπό την μορφή των ιόντων τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αναλύσεων, τα ποσοστά τους επί των συνολικών ιόντων της αέριας σωματιδιακής μάζας είναι κατά προσέγγιση ίσα με 5,6 % για το νάτριο, 1,8 % για το ασβέστιο, 0,8 % για το κάλιο και 0,6 % για το μαγνήσιο (Harrison & Jones 1995, Manalis et al. 2005).

Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα ιοντικά είδη, τα παραπάνω μέταλλα εμφανίζονται κυρίως στο χονδρόκοκκο σωματιδιακό κλάσμα, γεγονός αναμενόμενο λόγω της προέλευσής τους από τα θαλάσσια αερολύματα και την επιφανειακή σκόνη. Το νάτριο είναι κυρίως παρόν ως NaCl και Na₂SO₄ (Harrison & Yin 2000, Manalis et al. 2005).

Είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι ορισμένα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το βηρύλλιο (το οποίο έχει και το χαμηλότερο επιτρεπτό όριο στην ατμόσφαιρα), το βανάδιο, το κάδμιο, το νικέλιο και το αρσενικό (μεταλλοειδές), είναι ιδιαίτερα τοξικά σε συγκεκριμένες δόσεις.

Ο μόλυβδος βρίσκεται στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή αλαγονιδίων του (PbCl₂, PbClBr, PbBr₂), τα οποία σχηματίζονται κατά την αντίδραση των αντικροτικών ουσιών του καυσίμου (τετρααιθυλιούχος μόλυβδος) με το διχλωροαιθάνιο ή το διβρωμοαιθάνιο που προστίθενται για να αποτρέψουν την συσσώρευση των οξειδίων του μολύβδου μέσα στους κινητήρες. Τα αλογονίδια του μολύβδου είναι αρκετά πτητικά ώστε να εξέλθουν από την εξάτμιση, αλλά

συμπυκνώνονται σε σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Ο υδράργυρος είναι παρών στην ατμόσφαιρα με την μορφή οργανομεταλλικών ενώσεών του, όπως οι: $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ και $(\text{CH}_3)\text{HgBr}$. Άλλα μέταλλα απαντώνται με την μορφή των οξειδίων τους, όπως Fe_3O_4 , V_2O_5 , CaO (Manahan 1994).

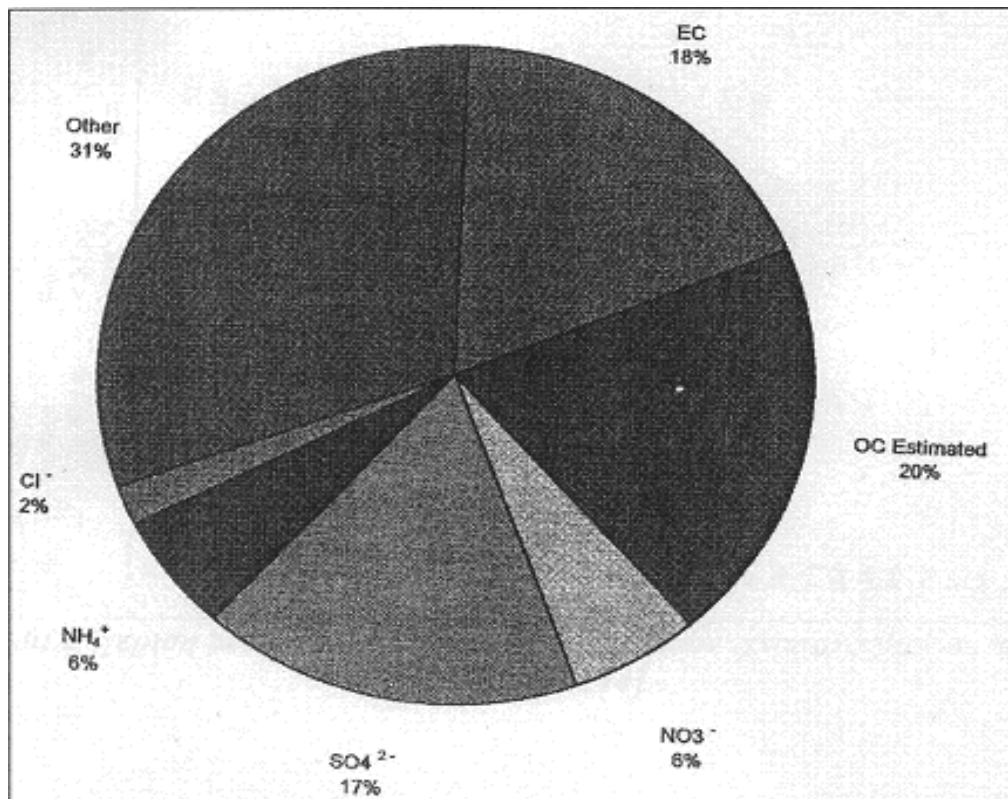
Σε αστικές περιοχές, θεωρείται ότι η έκθεση σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία μέσω της εισπνοής αιωρούμενων σωματιδίων είναι ανεπαρκής ώστε να έχει τοξική επίδραση στον άνθρωπο. Εντούτοις, έχει αποδειχθεί ότι κάποια στοιχεία μετάπτωσης, και συγκεκριμένα ο σίδηρος, είναι δυνατόν να παρουσιάσουν αρνητικά αποτελέσματα μέσω μη-συνήθων μηχανισμών, όπως η συμβολή στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου μέσω της αντίδρασης Fenton (Harrison & Yin 2000, Valavanidis et al. 2000).

Με εξαίρεση μέταλλα όπως ο μόλυβδος, του οποίου η κύρια πηγή είναι η κυκλοφορία οχημάτων που οδηγεί στην ευρεία διασπορά του στην αστική ατμόσφαιρα, τα άλλα μεταλλικά ιχνοστοιχεία προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές διαδικασίες, και συνεπώς η κατανομή τους στο χώρο είναι ανομοιόμορφη (Harrison & Yin 2000).

ΙΣΧΥΡΑ ΟΞΕΑ

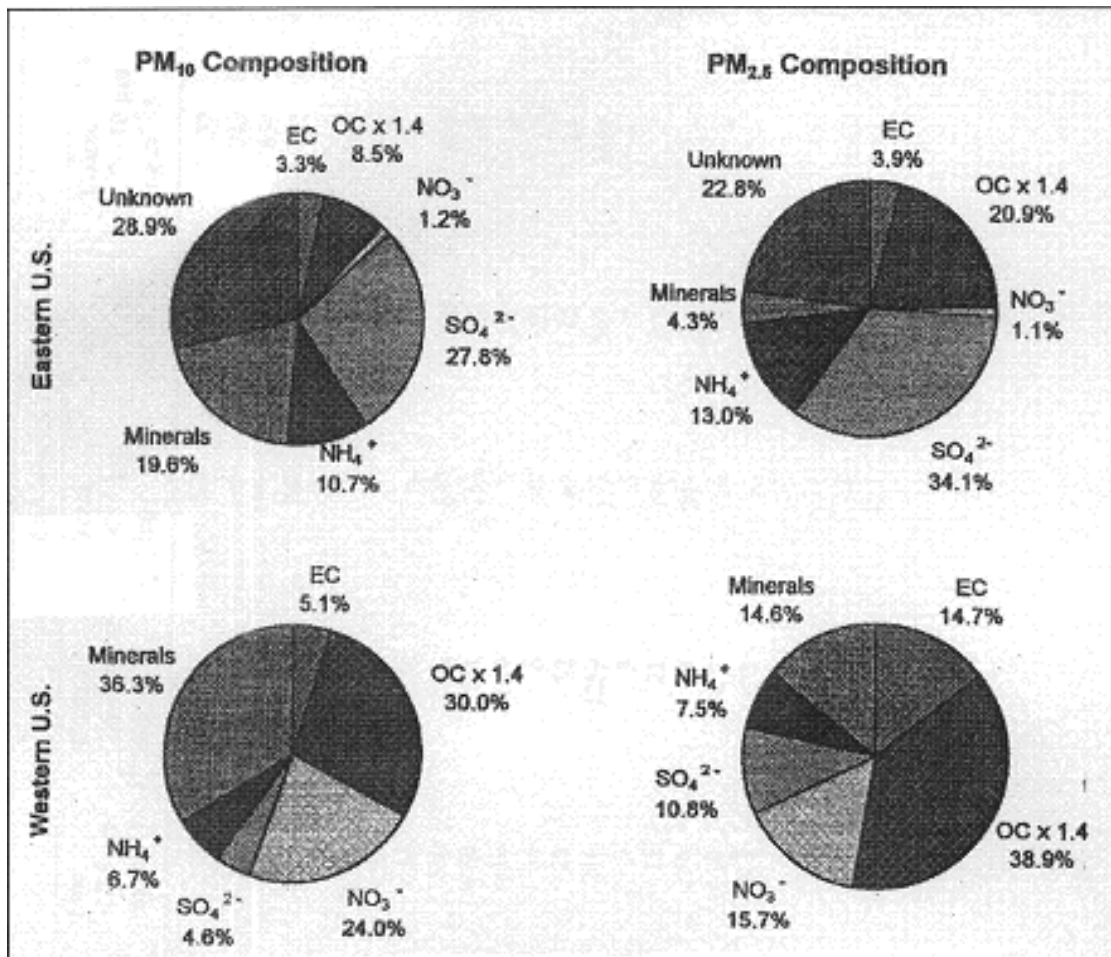
Ο σχηματισμός θεικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα, μέσω της οξείδωσης των SO_2 και NO_2 , αρχικά γίνεται υπό την μορφή των ισχυρών τους οξέων H_2SO_4 και HNO_3 . Το νιτρικό οξύ, λόγω της μεγάλης του πτητικότητας, είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια μόνο μέσω απώλειας της οξύτητάς του (μέσω είτε αντίδρασης με υδροχλωρικό οξύ ή εξουδετέρωσης από την αμμωνία). Αντιθέτως, το θειικό οξύ είναι μη πτητικό και, μόλις σχηματιστεί, ενσωματώνεται κατευθείαν στα σωματίδια, όπου κατόπιν είναι δυνατόν να εξουδετερωθεί από την αμμωνία της ατμόσφαιρας.

Συνεπώς, σε περιβάλλοντα με χαμηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής αμμωνίας, τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν ένα σημαντικό ποσοστό ισχυρού οξέος, το οποίο αντικατοπτρίζει το μη εξουδετερωμένο ή μερικά εξουδετερωμένο θειικό οξύ. Ορισμένες παλαιότερες μελέτες υποστηρίζουν ότι η παρουσία ισχυρού οξέος είναι υπαίτια για την τοξική δράση των σωματιδίων (Harrison & Yin 2000).



Σχήμα 1.6. Τυπική σύσταση σωματιδίων PM₁₀ στο Birmingham, U.K.

(Watson et al. 1998)



Σχήμα 1.7. Κατανομή των κύριων συστατικών των αιωρούμενων σωματιδίων στις Ανατολικές και Δυτικές Η.Π.Α. (Harrison and Yin 2000).

1.5. ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

1.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πηγές των αιωρουμένων σωματιδίων είναι είτε **πρωτογενείς** (δηλαδή εκπέμπονται μέσα στην ατμόσφαιρα) ή **δευτερογενείς** (δηλαδή σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από αέριες ενώσεις μέσω ομογενών ή ετερογενών χημικών αντιδράσεων). Εξαιτίας αυτής της διαφοροποίησης των πηγών, τα σωματίδια παρουσιάζουν διαφορετική σύσταση και κατανομή κατά μέγεθος.

Όσον αφορά τα πρωτογενή σωματίδια, αυτά είναι δυνατόν να προέλθουν από την κίνηση των οχημάτων, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καύσεις (αστικές και βιομηχανικές), εμπρησμούς δασών ή ακόμα από οικοδομές, λατομεία, ορυχεία, όπως επίσης και από τα θαλάσσια αερολύματα, την επαναιώρηση σωματιδίων από τον άνεμο και τέλος από εκπομπές ηφαιστειών. Τα δε δευτερογενή σωματίδια παράγονται κυρίως από την έντονη κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων και από βιομηχανικές διεργασίες, ενώ είναι δυνατόν, επίσης, να παραχθούν και από φυσικά αίτια. Για παράδειγμα, το διοξείδιο του θείου σχηματίζεται από την οξείδωση του διμέθυλο-σουλφιδίου, το οποίο παράγεται από το φυτοπλαγκτόν στην θάλασσα, ενώ διοξείδιο του θείου εκπέμπεται και από ηφαιστεια. Τα δευτερογενή σωματίδια σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσα σε διάστημα ωρών ή ημερών.

Στις αστικές περιοχές, η κυρίαρχη πηγή αιωρουμένων σωματιδίων είναι οι κινητήρες των οχημάτων, και ο σχηματισμός σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με χημικές αντιδράσεις από τα αέρια οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι συγκεντρώσεις των αιωρουμένων σωματιδίων τείνουν να εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες σε περιοχές με μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα, κοντινές βιομηχανικές περιοχές ή γεωργικές εκτάσεις ή όπου η τοπογραφία ή οι μετεωρολογικές συνθήκες συμβάλουν σε αναστροφές του στρώματος αέρα (EEA & WHO 1999b, EC Technical Working Group on Particles 1996, Chow 1995).

1.5.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Οι κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων από τα οχήματα είναι τα καυσαέρια των οχημάτων και η φθορά από την χρήση των ελαστικών και των φρένων (Natural Resources Defense Council 1996a). Οι εκπομπές σωματιδίων από τους κινητήρες ντίζελ είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των βενζινοκινητήρων, γεγονός που είναι σύμφωνο με την γενική αρχή ότι, όσο βαρύτερο είναι το κλάσμα πετρελαίου που καίγεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή σωματιδίων. Βέβαια, δεν είναι δυνατόν να αγνοηθεί η εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων σωματιδίων από βενζινοκινητήρες, και ιδιαίτερα από μη καταλυτικά οχήματα.

Οι εκπομπές από μηχανές ντίζελ περιέχουν κυρίως αιθάλη, δηλαδή σωματίδια στοιχειακού άνθρακα, πτητικές οργανικές ενώσεις και μερικά θειικά από το θείο που περιέχει το καύσιμο. Όταν οι οργανικές ενώσεις και τα θειικά διοχετεύονται από την εξάτμιση του οχήματος στο περιβάλλον, συμπυκνώνονται πάνω σε αιωρούμενα σωματίδια και κυρίως επάνω στα σωματίδια άνθρακα που βρίσκονται και αυτά μέσα στα ίδια καυσαέρια. Τα σωματίδια που σχηματίζονται με τον τρόπο αυτό έχουν μέγεθος από 0,01 έως 2,5 μm.

Η χρήση καταλυτών, αντίστοιχων με αυτούς που χρησιμοποιούνται στους βενζινοκινητήρες, αποτελεί μια λύση για την μείωση των εκπομπών σωματιδίων, αλλά παρουσιάζει ουσιαστικά προβλήματα. Καθώς ο κινητήρας ντίζελ λειτουργεί με περίσσεια αέρα, ο καταλύτης που θα εφαρμοστεί στα αέρια της εξάτμισης, θα λειτουργεί σε οξειδωτικό περιβάλλον. Επίσης, είναι ενδεχόμενη η αστοχία ενός καταλυτικού συστήματος, λόγω της παρουσίας σωματιδίων στα καυσαέρια και λόγω της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο. Το θείο οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου και σε θειικό οξύ, οδηγώντας σε όξινες εκπομπές, αλλά και σε σχηματισμό θειικών σωματιδίων. Αυτό το φαινόμενο είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αύξηση των σωματιδιακών εκπομπών, σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο είναι άνω του 0,2 % κ.β. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με διατήρηση υψηλής θερμοκρασίας στο καταλύτη, όπου δεν ευνοείται η μετατροπή του SO₂ σε SO₃, και με χρήση ντίζελ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Η περιεκτικότητα ενός καυσίμου σε θείο επηρεάζει σημαντικά τις σωματιδιακές εκπομπές, λόγω της μετατροπής του σε θειικά άλατα. Η ισχύουσα προδιαγραφή των 500 ppm έχει συμβάλει σημαντικά στην μείωση των εκπομπών σωματιδίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση των σωματιδιακών εκπομπών από κινητήρες ντίζελ δεν είναι εύκολη, καθώς οι συνθήκες που ευνοούν την μείωση των εκπομπών σωματιδίων, αυξάνουν την παραγωγή οξειδίων του αζώτου.

Τέλος, η κίνηση των οχημάτων στους δρόμους προκαλεί την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου. Σωματίδια εκπέμπονται επίσης ως αποτέλεσμα της φθοράς των φρένων και των ελαστικών, κατά την χρήση τους. Τα σωματίδια αυτά εκτιμάται ότι είναι στο εύρος μεγέθους 3 – 30 μm (Wark et al. 1998).

Fuel Type	Organic Carbon	Elemental Carbon	N ^c	Sources
<u>Diesel</u>				
Denver, CO ^a	23 ± 8%	74 ± 21%	3	1, 2
Los Angeles, CA ^a	36 ± 3%	52 ± 5%	2	3, 4, 5, 6
Bakersfield, CA ^a	49 ± 13%	43 ± 8%	3	7
Phoenix, AZ ^a	40 ± 7%	33 ± 8%	8	8
<u>Unleaded gasoline</u>				
Denver, CO ^a	76 ± 29%	18 ± 11%	8	1, 2
Los Angeles, CA ^c	93 ± 52%	5 ± 7%	11	3, 4, 5, 6
Los Angeles, CA ^a	49 ± 10%	39 ± %	11	3, 4, 5, 6
Phoenix, AZ ^a	30 ± 12%	14 ± 8%	9	8
<u>Leaded gasoline</u>				
Denver, CO ^a	67 ± 23%	16 ± 7%	3	1, 2
Los Angeles, CA ^c	52 ± 4%	13 ± 1%	3	3, 4, 5, 6
Los Angeles, CA ^a	31 ± 20%	15 ± 2%	3	3, 4, 5, 6
<u>Mixed (tunnel and roadside)</u>				
Denver, CO	50 ± 24%	28 ± 19%		1, 2
Los Angeles, CA ^d	38 ± 6%	38 ± 5%	3	3
Phoenix, AZ	39 ± 19%	36 ± 11%		8

Πίνακας 1.1. Οργανικός και στοιχειακός άνθρακας στα καυσαέρια των κινητήρων οχημάτων (EPA 1996).

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ

Οι βιομηχανικές εκπομπές συνεισφέρουν στη παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικές περιοχές, ανάλογα με την απόσταση της βιομηχανίας από την αστική περιοχή και την τεχνολογία που εφαρμόζουν. Τα σωματίδια που προέρχονται από βιομηχανικές εκπομπές έχουν γενικά μέγεθος από 0,5 έως 100 μm, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της πηγής.

Σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας. Η ατελής καύση ανθρακούχων ορυκτών οδηγεί σε εκπομπή σωματιδίων αιθάλης. Σε μονάδες όπου η εισαγωγή του κάρβουνου στις καμίνους γίνεται σε κονιορτοποιημένη μορφή, η καύση του είναι σχεδόν πλήρης.

Κατά την χρήση πετρελαίου ως καύσιμο, οι σωματιδιακές εκπομπές εξαρτώνται από το είδος του. Τα ελαφρύτερα κλάσματα παράγουν σημαντικά λιγότερα σωματίδια σε σχέση με τα βαρύτερα. Για τα βαρύτερα κλάσματα, θεωρείται ότι η παραγωγή σωματιδίων είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο.

Τέλος, όσον αφορά τις σωματιδιακές εκπομπές κατά την καύση βιομάζας, είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σχέση με τα άλλα είδη καυσίμου. Εκτιμάται ότι η καύση άχυρου παράγει 4 φορές λιγότερα σωματίδια σε σχέση με την καύση ανθρακούχων ορυκτών. Κατά την καύση ξύλου, περίπου το 80 – 95 % των ανόργανων συστατικών του μετατρέπεται σε ιπτάμενη τέφρα στον καυστήρα. Το 10 – 30 % των παραγόμενων σωματιδίων εντάσσεται στην κατηγορία των PM₁₀. Το πρόβλημα της εκπομπής σωματιδίων γίνεται όμως σημαντικό στην περίπτωση που το καύσιμο περιέχει θαλασσινό αλάτι (για παράδειγμα κορμοί δέντρων που μεταφέρονται πάνω στο νερό) (Olhstrom et al. 2000).

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, η μέθοδος της αποτέφρωσης χρησιμοποιείται ως μία σημαντική οδός διάθεσης αποβλήτων. Τα εκπεμπόμενα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από άκαυστη ανόργανη ύλη, που μεταφέρεται από το αέριο που εξέρχεται της καπνοδόχου.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από τις διαφορετικού τύπου βιομηχανίες παρουσιάζουν ποικίλα χαρακτηριστικά, ανάλογα με τα είδη των διεργασιών που εφαρμόζονται. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0,5 έως 100 μm. Μεταξύ των βιομηχανιών που παράγουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων είναι (Querol et al. 2000):

- Οι χημικές βιομηχανίες (παραγωγή καυστικής σόδας και χλωρίνης, φωσφορικού οξέος, πολυμερών, φθαλικού ανυδρίτη, ενεργού άνθρακα, απορρυπαντικών)
- Οι γεωργικές βιομηχανίες και οι βιομηχανίες τροφίμων (επεξεργασία δημητριακών, καφέ, εκτροφεία ζώων, παραγωγή λιπασμάτων)
- Οι μεταλλουργικές βιομηχανίες (παραγωγή αλουμινίου, μεταλλουργικού κωκ, επεξεργασία χαλκού, παραγωγή ψευδαργύρου ή μολύβδου, χυτήρια, χαλυβουργεία)
- Οι βιομηχανίες παραγωγής ανόργανων και ορυκτών προϊόντων (τσιμεντοβιομηχανίες, παραγωγή fiberglass, υαλουργία, λατομεία)
- Οι βιομηχανίες παραγωγής χημικής χαρτόμαζας
- Τα διυλιστήρια πετρελαίου

ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Η χρήση κάρβουνου μέσα στα σπίτια ήταν στο παρελθόν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων κατά τους χειμερινούς μήνες. Στην εποχή μας, μόνο σε κάποιες βόρειες ευρωπαϊκές πόλεις, όπως το Belfast, εξακολουθεί η οικιακή χρήση κάρβουνου. Επίσης, η καύση ξύλων για οικιακή θέρμανση, για την οποία εμφανίζεται νέο ενδιαφέρον στις ανεπτυγμένες χώρες, αποτελεί μια επιπλέον παράμετρο σωματιδιακής ρύπανσης προς εξέταση (Jones 1999).

Η πλέον δημοφιλής μέθοδος οικιακής θέρμανσης είναι η καύση πετρελαίου, η οποία, όπως έχει προαναφερθεί, αποτελεί σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Επιπλέον, η χρήση πετρελαίου θέρμανσης στην Ελλάδα επιβαρύνει ακόμη περισσότερο το περιβάλλον, καθώς το πετρέλαιο θέρμανσης περιέχει 2 φορές περισσότερα ανόργανα υλικά και 4 φορές περισσότερο θείο, από το κοινό ντίζελ κίνησης (Στούρνας et al. 1993).

ΔΑΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

Όσο αφορά στις δασικές και γεωργικές φωτιές, η γενική συμβολή στη μόλυνση της ατμόσφαιρας από τον καπνό της φωτιάς είναι προσωρινή. Σε περιοχές, όμως, με μεγάλες δασικές πυρκαγιές, αυτή η πηγή μπορεί να αποκτήσει μεγάλη σημασία. Τόσο οι άμεσες εκπομπές όσο και η επαναιώρηση σωματιδίων από την καμένη γη, είναι δυνατόν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Το πυρογενές αυτό υλικό αποτελείται από οργανική ύλη, στοιχειακό άνθρακα και ανόργανα υλικά. Είναι σε μεγάλο ποσοστό μεγέθους κάτω από 10 μm και γι' αυτό μπορεί εύκολα να επαναιωρηθεί λόγω του ανέμου (Liu et al. 2009).

Εκτιμάται ότι οι γεωργικές και δασικές πυρκαγιές στις τροπικές ζώνες είναι υπεύθυνες για την εκπομπή στην ατμόσφαιρα 1 Mtn/έτος χαλκού, 3 Mtn/έτος ψευδαργύρου και 2,2 Gtn/έτος στοιχειακού άνθρακα. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν, κατά μέσο όρο, το 2 %, 3 % και 12 % αντίστοιχα του παγκόσμιου συνόλου εκπομπών αυτών των χημικών ειδών (Yamasoe et al. 2000).

1.5.3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ

Έχει εκτιμηθεί ότι τα αέρια ρεύματα που παρασύρουν αιωρούμενα σωματίδια από την έρημο της Σαχάρας, μεταφέρουν 150 εκ. τόνους σκόνης ετησίως προς το βόρειο ημισφαίριο. Με τον ίδιο τρόπο εκτιμάται ότι μεταφέρονται 3,9 εκ. τόνοι σκόνης ετησίως από την έρημο της Σαχάρας προς τη βορειοδυτική περιοχή της Μεσογείου, εμφανής ως κόκκινη βροχή (Grivas et al. 2008).

Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται άμεσα με τις ανεμοθύελλες στις ερήμους, που είναι συνηθισμένες κατά την διάρκεια περιόδων με ισχυρούς ανέμους. Ωστόσο, το ίδιο παρατηρείται και σε άλλες περιοχές της υφηλίου. Η ένταση του φαινομένου γενικά μειώνεται όσο η υγρασία του εδάφους αυξάνει και όσο περισσότερο καλύπτεται η επιφάνειά του από βλάστηση. Εκτιμάται ότι, κάθε χρόνο, η συνολική συνεισφορά του φαινομένου στην σωματιδιακή μάζα του βόρειου ημισφαιρίου είναι 300 εκ. τόνοι.

Τα σωματίδια που μεταφέρονται από την Σαχάρα είναι συνήθως χονδρόκοκκα. Η σύστασή τους εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη, με κάποιες ποσότητες γύψου, αργλικών υλικών και μετάλλων.

ΕΠΑΝΑΙΩΡΗΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Η επαναιώρηση της σκόνης από το χώμα οφείλεται σε μετεωρολογικούς μηχανισμούς, όπως είναι ο άνεμος, οι μεταβολές στη θερμοκρασία και η υγρασία. Η σκόνη αυτή είναι δυνατόν να μεταφερθεί από τον άνεμο. Η κατανομή της ως προς το μέγεθος εξαρτάται από το είδος της αρχικής πηγής (πέτρα, ορυκτό). Γενικά το μέγεθος κυμαίνεται μέσα στο εύρος 5 - 50 μm. Η χημική σύσταση της σκόνης από χώμα είναι όμοια με εκείνη της γεωλογικής πηγής (για παράδειγμα, δολομίτης, γύψος, χαλαζίας και αργλικά πετρώματα).

Η επίδραση των ανέμων σε χαλαρές επιφάνειες ξηρού χώματος έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται τα σωματίδια αυτά στον αέρα. Στις πόλεις, τέτοιου είδους εκτεθειμένες χωμάτινες επιφάνειες είναι μάλλον σπάνιες, ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές.

Υπάρχουν, όμως, αξιοσημείωτες ποσότητες σκόνης πάνω στους δρόμους και στα πεζοδρόμια.

Η σκόνη αυτή προέρχεται από :

- ο την σκόνη που μεταφέρεται πάνω στα ελαστικά των οχημάτων,
- ο την σκόνη που καθιζάνει από την ατμόσφαιρα,
- ο την φθορά της επιφάνειας του ίδιου του δρόμου και
- ο την σταδιακή αποσάθρωση τμημάτων του οχήματος, ιδιαίτερα των ελαστικών.

Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην California για το έτος 1995, ο ρυθμός εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} από την επαναιώρηση σκόνης από τους δρόμους ήταν 12,9 ton/ημέρα για ασφαλτοστρωμένους δρόμους και 21,0 ton/ημέρα για μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους. Η αντίστοιχη τιμή για την αερομεταφερόμενη σκόνη ήταν 7,6 ton/ημέρα (Magliano et al. 1999).

ΥΔΡΟΛΥΜΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

Η θραύση των κυμάτων στην θάλασσα δημιουργεί πολλά μικρά σταγονίδια από θαλασσινό νερό, τα οποία ξηραίνονται με την εξάτμιση, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αιωρούμενα σωματίδια από θαλασσινό αλάτι. Σωματίδια επίσης εκπέμπονται και άμεσα, με το σπάσιμο αέριων φυσαλίδων στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 1 έως 20 μm . Παρόλο που τα περισσότερα ανήκουν στο χονδρόκοκκο κλάσμα, ένα μικρό ποσοστό της μάζας τους έχει μέγεθος αρκετά μικρό ώστε να παρουσιάζει χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα έως και 3 ημέρες.

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα λαμβάνει ακόμη χώρα σε κάποιες νησιωτικές περιοχές της Ευρώπης, όπως είναι οι Κανάριοι Νήσοι και η Σικελία. Η ιπτάμενη τέφρα που εκπέμπουν τα ηφαίστεια είναι δυνατόν να αποτελέσει μια σημαντική τοπική πηγή σωματιδίων σε κοντινές πόλεις. Για παράδειγμα, έχει εκτιμηθεί ότι το ηφαίστειο στο βουνό Αίτνα εκπέμπει κατά μέσο όρο 4.000 τόνους διοξειδίου του θείου ημερησίως.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν μια συγκεντρωμένη πηγή όλων των ατμοσφαιρικών ρύπων και ιδιαίτερα των σωματιδίων. Η έκρηξη του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης στις 18

Μαΐου 1980 εκτόξευσε όγκο σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ίσο με 4 km³. Η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το συνολικό ετήσιο ποσό των εκπεμπόμενων σωματιδίων που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες στην Βόρεια Αμερική. Το μέγεθος των εκπεμπόμενων σωματιδίων κυμάνθηκε από στερεά σώματα, ορατά με γυμνό μάτι, έως και υπερλεπτόκοκκα σωματίδια, διαμέτρου 0,001 μm.

Η ενέργεια των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι συχνά αρκετή ώστε να μεταφέρει τα αέρια και τα σωματίδια, δια μέσω των χαμηλών στρωμάτων της ατμόσφαιρας, στην στρατόσφαιρα, όπου οι φυσικές διαδικασίες απομάκρυνσης είναι πολύ βραδείες (ARIC 1997, EC Technical Working Group on Particles 1996).

1.6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.6.1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

1.6.1.1. ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Πλήθος επιδημιολογικών μελετών συνδέουν την έκθεση σε σωματίδια PM₁₀, PM_{2,5} και UFPs με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία (Pope and Dockery 2006, Pope et al. 2002, Von Klot et al. 2002, Katsouyanni et al. 2001, Goldberg et al. 2001, Penttinen et al. 2001, Peters 2000, Pope 2000a, b, Pekkanen et al. 1997, Peters et al. 1997b). Τα συμπτώματα που αναφέρονται στην βιβλιογραφία είναι πολλά: Η έκθεση σε σωματιδιακή ρύπανση είναι δυνατόν να προκαλέσει ή να επιδεινώσει προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος, καρδιοαγγειακές ασθένειες, να επιδράσει στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, να προκαλέσει βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων, καρκινογενέσεις και πρόωρο θάνατο. Στις συνέπειες συγκαταλέγονται ακόμη και κάποιες λιγότερο επώδυνες, όπως: επίμονος βήχας, φλέγματα, ζαλάδες και αδιαθεσία.

Οι τοξικολογικές έρευνες συνεχίζονται ώστε να καθοριστούν οι αιτίες και οι μηχανισμοί δράσης των αιωρούμενων σωματιδίων που προκαλούν τις αρνητικές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό (Godleski et al. 2000, Gordon et al. 2000). Είναι γενικά παραδεκτό, όμως, ότι η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων είναι δυνατόν να μειώσει τη διάρκεια της ζωής από 1 έως 2 χρόνια κατά μέσο όρο. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO), η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί την αιτία περίπου 3.000.000 θανάτων ετησίως, σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπλέον, σύμφωνα με σχετικές μελέτες, τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία ακόμη και σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αναφέρει ότι «τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την μακροχρόνια και βραχυχρόνια έκθεση του πληθυσμού σε σωματίδια PM₁₀ και PM_{2,5} δεν επιτρέπουν τον καθορισμό συγκεκριμένων οριακών τιμών συγκέντρωσης, κάτω από τις οποίες η έκθεση σε σωματιδιακή ρύπανση δεν παρουσιάζει καμία επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία» (WHO 2000).

Υπάρχει, επίσης, έντονη ανησυχία διεθνώς σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία της βραχυχρόνιας έκθεσης σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις PM. Πολλές πρόσφατες μελέτες συνδέουν τα, μικρής διάρκειας, υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης με σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως μειωμένη πνευμονική λειτουργία, αυξημένα αναπνευστικά συμπτώματα, και καρδιαγγειακές παθήσεις (Nemmar et al. 2004, Gold et al. 2000, Michaels & Kleinman 2000, Li et al. 1999, Delfino et al. 1998, Korrick et al. 1998, Morgan et al. 1998). Επιπλέον, υποστηρίζεται ότι πολλά χρόνια συμπτώματα οφείλονται στην επαναλαμβανόμενη βραχυχρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Schwartz 2000).

Πλέον ευαίσθητες υποομάδες πληθυσμού ως προς την έκθεση σε σωματιδιακή ρύπανση αναδεικνύονται τα πολύ νεαρά και ηλικιωμένα άτομα, καθώς και οι πάσχοντες από αναπνευστικές και καρδιακές παθήσεις. Ιδιαίτερα όσον αφορά τα παιδιά προεφηβικής ηλικίας, οι επιπτώσεις που προκαλεί η έκθεσή τους σε αιωρούμενα σωματίδια, έχουν απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα την τελευταία δεκαετία.

Υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων PM₁₀, PM_{2,5}, UFPs, καθώς και μαύρου καπνού (black smoke, BS) έχει βρεθεί ότι σχετίζονται με αναπνευστικά συμπτώματα σε νεαρά άτομα, απουσίες από το σχολείο και αυξημένη χρήση φαρμακευτικής αγωγής για τα παιδιά που πάσχουν από άσθμα (Pekkanen et al. 1997, Peters et al. 1997a). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην πολύ του Μεξικού (Romieu et al. 1996), αύξηση της συγκέντρωσης των PM₁₀ κατά 20 μg/m³ συνδέεται με κατά 8 % αύξηση ασθενειών του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος σε ασθματικά παιδιά. Σε μεταγενέστερη μελέτη, οι Hoek et al (1998) υπολόγισαν ότι αύξηση της συγκέντρωσης των PM₁₀ στην ατμόσφαιρα κατά 10 μg/m³, συνδέεται με 10 % ελάττωση του μέγιστου ρυθμού εκπνοής (Peak Expiratory Flow Rate, PEFr). Στα πλαίσια μιας 10-ετούς επιδημιολογικής μελέτης στην Νότια Καλιφόρνια, βρέθηκαν ενδείξεις ελλιπούς ανάπτυξης της πνευμονικής λειτουργίας των παιδιών, οι οποίες σχετίζονταν με υψηλές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων (Wu et al. 2005). Αρκετές ερευνητικές μελέτες αναφέρουν, τέλος, αυξημένα αναπνευστικά συμπτώματα σε παιδιά που κατοικούν ή κινούνται σε περιοχές έντονης κυκλοφορίας (English et al. 1999, Ciccone 1998, Van Vliet et al. 1997, Osterlee et al. 1996).

Η αυξημένη ευαισθησία των παιδιών ως προς την ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται στο ότι το φυσιολογικό και ανοσοποιητικό τους σύστημα είναι ακόμη υπό ανάπτυξη (Farhat et al. 2005). Είναι πιθανό, επίσης, να λαμβάνουν αυξημένη δόση σωματιδιακής μάζας στους πνεύμονές τους, σε σχέση με αυτή των ενηλίκων. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με το μικρό μέγεθος των πνευμόνων τους, που οδηγεί σε υψηλότερο ποσοστό επικάθησης των PM με κάθε αναπνοή ή / και μεγαλύτερη εναλλαγή του αέρα σε αυτούς (Gauderman et al. 2000, Bennett & Zeman 1998).

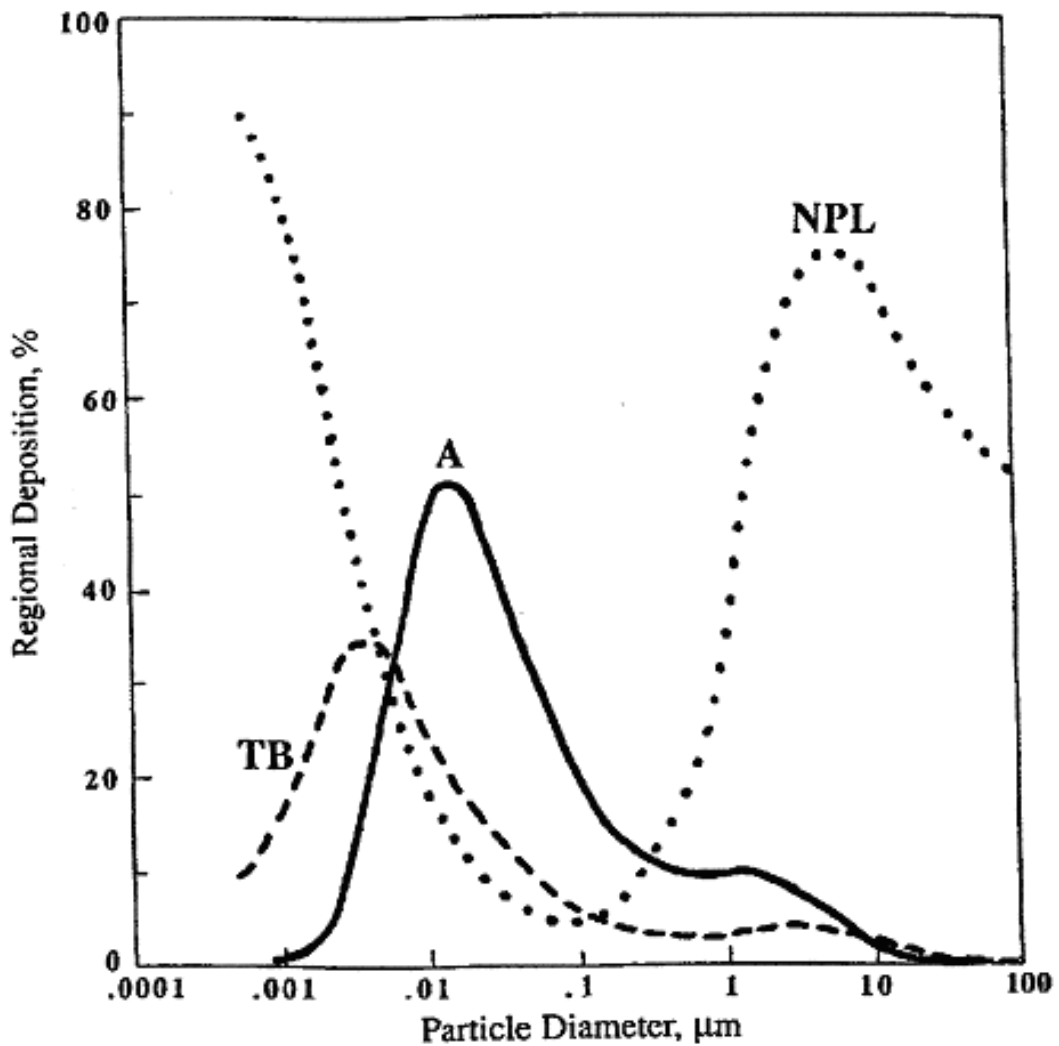
1.6.1.2. ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ

Γενικά, τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm απομακρύνονται από τον οργανισμό με κατακράτηση από το στόμα ή την μύτη. Τα PM₁₀, αντιθέτως, είναι δυνατόν να διαφύγουν σε πρώτη φάση από τους μηχανισμούς κατακράτησης, και για τον λόγο αυτό καλούνται εισπνεύσιμα (inhalable). Ο κύριος όγκος, όμως, το χονδρόκοκκων σωματιδίων αποβάλλεται από το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Τελικά το 10 – 60 % αυτών είναι πιθανόν να εναποτεθεί στους πνεύμονες

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια PM_{2,5} καταφέρνουν να εισχωρήσουν βαθύτερα στους βρόγχους, και να προκαλέσουν σημαντικότερη βλάβη. Στην πορεία τους, τα σωματίδια περνούν μέσα από τους ολοένα και στενότερους βρόγχους, και είναι δυνατόν να φτάσουν έως και τις κυψελίδες των πνευμόνων, δια μέσω των οποίων εισέρχεται το οξυγόνο στο αίμα. Τα σωματίδια που παγιδεύονται σε αυτούς τους υπερευαίσθητους ιστούς επεμβαίνουν στην οξυγόνωση του αίματος. Παράλληλα, σε όλη την διαδρομή, τοξικές και καρκινογόνες ενώσεις που μεταφέρονται προσροφημένες αρχικά στην επιφάνεια των σωματιδίων, προσροφόνται στη συνέχεια σε διαφορετικά σημεία των πνευμόνων (ALAW 2004).

Λόγω των μεταβολών στη ροή του αέρα στην τραχειοβρογχική ζώνη, τα σημεία εναπόθεσης των σωματιδίων είναι κυρίως πάνω ή κοντά στους βρόγχους. Σε αυτά τα σημεία υπάρχουν συγκεντρωμένες πολλές νευρικές απολήξεις. Οι μηχανικοί ερεθισμοί που προκαλούνται από τα σωματίδια, συχνά οδηγούν σε αντανάκλαστικό βήχα και σε συστολή των βρόγχων. Η ευαισθησία των νευρικών απολήξεων στις χημικές διεγέρσεις έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού αναπνοής και την μείωση της ικανότητας του πνεύμονα να λειτουργεί το ίδιο αποδοτικά στις αυξομειώσεις της πίεσης κατά την αναπνοή.

Στο Σχήμα 1.8 απεικονίζεται η εναπόθεση των σωματιδίων διαφορετικών μεγεθών στο εσωτερικό του αναπνευστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού, σύμφωνα με τα αποτελέσματα μοντέλου πρόβλεψης που αναπτύχθηκε από την Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από την Ακτινοβολία (International Committee on Radiological Protection, ICRP) (ICRP 1994).



Fractional Deposition Nose Breathing

A = Alveolar; TB = Tracheo-bronchial; NPL = Nasal, Pharynx, Larynx

Σχήμα 1.8. Εναπόθεση εισπνεόμενων σωματιδίων διαφορετικών μεγεθών στο ανώτερο και κατώτερο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού.

1.6.1.3. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Το 1995, η επιτροπή του Υπουργείου Υγείας της Μ. Βρετανίας, που εξετάζει τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αποφάνθηκε ότι δεν υπάρχει γνωστή χημική ένωση επαρκούς τοξικότητας, δεδομένων των επιπέδων έκθεσης σε σωματιδιακή ρύπανση, ικανή να εξηγήσει το παρατηρούμενο μέγεθος των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία από τα σωματίδια. Ακόμη και οι τοξικές ουσίες που αναπτύσσονται για τις εφαρμογές του χημικού πολέμου, δεν έχουν την απαιτούμενη τοξικότητα (Harrison & Yin 2000).

Δεν είναι, όμως, εύκολο να γίνει αποδεκτή η άποψη ότι η χημική σύσταση των σωματιδίων είναι εντελώς αμέτοχη στην τοξικότητα των σωματιδίων. Γενικά, θεωρείται ότι η τοξικότητα οφείλεται στον συνδυασμό της χημικής τους σύστασης, της περιεκτικότητάς τους σε ορισμένα ιδιαίτερα τοξικά χημικά είδη και της κατανομής του μεγέθους τους.

Η επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων στην τοξικότητά τους αναλύθηκε παραπάνω. Όσον αφορά τα κύρια συστατικά της σωματιδιακής ύλης, περισσότερο επικίνδυνα θεωρούνται τα θειικά, καθώς βλάπτουν σοβαρά την ικανότητα των πνευμόνων να αποβάλλουν τα σωματίδια. Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι τα υδατοδιαλυτά συστατικά, τα οποία διαλύονται ταχύτατα στα υγρά που επενδύουν τα τοιχώματα του αναπνευστικού συστήματος, είναι μάλλον απίθανο να ασκήσουν οποιαδήποτε σημαντική επίδραση. Γύρω από αυτό το ζήτημα υπάρχει, όμως, ακόμη αρκετή αβεβαιότητα.

Όσον αφορά την επίδραση των μεταλλικών ιχνοστοιχείων, η καταλυτική δράση ορισμένων μετάλλων σε αντιδράσεις σχηματισμού ελεύθερων ριζών υδροξυλίου, οι οποίες έχουν αποδεδειγμένη επίδραση στον ερεθισμό των ιστών, φαίνεται να αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα τοξικότητας, από ότι αυτή καθαυτή η τοξικότητά τους. Τα σωματίδια PM₁₀ έχουν έντονη δραστικότητα μέσω των ελεύθερων ριζών, γεγονός που αποδεικνύεται πειραματικά με αποσύνθεση του DNA. Μέρος αυτής της δραστικότητας οφείλεται στην ρίζα υδροξυλίου, μια ελεύθερη ρίζα ισχυρά δηλητηριώδη, η οποία εκλύεται από τα PM₁₀ σε υδατικό μέσο. Επίσης, το ίδιο σωματιδιακό κλάσμα εκλύει σε σημαντικές ποσότητες Fe⁺³ σε pH ίσο με 7,2, το οποίο είναι το pH της επιφάνειας των πνευμόνων. Η έκλυση σιδήρου είναι ακόμη πιο επικίνδυνη, καθώς ευνοεί την διαδικασία σχηματισμού ριζών υδροξυλίου (Gilmour et al. 1996).

Πολύ μεγαλύτερη φαίνεται να είναι η επίδραση ορισμένων οργανικών ενώσεων, και ιδίως των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs), η καρκινογόνος και μεταλλαξιογόνος δράση των οποίων είναι αναγνωρισμένη. Πρέπει να σημειωθεί ότι η εξέταση ενός μίγματος χημικών ενώσεων, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, δίνει μια πιο ρεαλιστική βάση για την μεταλλαξιογόνο επίδραση, σε σχέση με την εξέταση μεμονωμένων συστατικών, λόγω της εμφάνισης συνεργατικών ή ανταγωνιστικών μηχανισμών στο μίγμα. Η ανάλυση του μεταλλαξιογόνου χαρακτήρα των σωματιδίων έχει προγνωστική αξία για τις πιθανές καρκινογενέσεις, καθώς οι περισσότερες ουσίες που έχουν ταξινομηθεί ως μεταλλαξιογόνες έχουν και καρκινογενή δράση (Villalobos-Pietrini et al. 2000).

1.6.1.4. ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Τα παρατηρούμενα προβλήματα υγείας κατά την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια δεν οφείλονται αποκλειστικά στην διείσδυσή τους στο αναπνευστικό σύστημα και την τοξική τους δράση, αλλά και, δευτερογενώς, στην εξασθένιση του οργανισμού. Πλήθος μελετών αποδεικνύουν ότι η έκθεση σε PM είναι δυνατόν να προκαλέσει εμφάνιση αναπνευστικών προβλημάτων, αλλοιώσεις στην λειτουργία των πνευμόνων και στους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού τους, καθώς και δημιουργία φλεγμονών σε αυτούς. Τα παραπάνω συμπτώματα οδηγούν σε αυξημένη ευαισθησία του οργανισμού, η οποία ευνοεί την συμπύκνωση υγρού μέσα στους πνεύμονες, ιδιαίτερα σε άτομα με καρδιακές παθήσεις. Η έκθεση σε PM είναι δυνατόν, επίσης, να αυξήσει την ευαισθησία των πνευμόνων σε μολύνσεις από βακτήρια ή ιούς. Το γεγονός αυτό προκαλεί την αύξηση επεισοδίων πνευμονίας στην ομάδα των ευπαθών ατόμων (Natural Resources Defense Council 1996a).

1.6.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η αέρια σωματιδιακή ρύπανση:

1. Δρώντας ως φίλτρο μειώνει και αλλοιώνει την ηλιακή ακτινοβολία και οδηγεί σε ελαττωμένη ορατότητα και ελάττωση της γεωργικής παραγωγής στις αγροτικές περιοχές.

2. Επιδρά στο κλίμα:

- Ανάλογα με το μέγεθος και τον βαθμό ανάκλασής τους, μπορούν να ανακλούν την μικρού μήκους κύματος εισερχόμενη προς τη γη υπεριώδη ακτινοβολία ή τη μεγάλου μήκους κύματος εξερχόμενη από τη γη υπέρυθη ακτινοβολία επιφέροντας αντίστοιχα ψύξη ή θέρμανση της ατμόσφαιρας.
- Δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης, προκαλώντας τον σχηματισμό σταγόνων και στερώντας έτσι τα σύννεφα πρώτιστα από τα ογκωδέστερα των σταγονιδίων τους.
- Αυξάνουν τη ζωή των σύννεφων αλλά και τη χημική ρύπανση των σταγόνων (όξινη βροχή).

3. Προκαλεί επιφανειακές αλλοιώσεις σε σχεδόν κάθε επιφάνεια του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος φυτά, δένδρα, μεταλλικές επιφάνειες, υφάσματα, χρωματισμένες επιφάνειες, ηλεκτρονικά κυκλώματα κ.α. μέσω της διάβρωσης και της επικάθησης.

1.7. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.7.1. Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΘΥΓΑΤΡΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ - ΠΛΑΙΣΙΟ

Οι δυνατότητες της εκάστοτε διοίκησης να ελέγξει τις πηγές και τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συχνά υπαγορεύονται από διεθνείς και εθνικές πολιτικές και νόμους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει Οδηγίες-Πλαίσια, βάσει των οποίων οφείλουν τα κράτη μέλη να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία. Κάθε Οδηγία-Πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών Οδηγιών, οι οποίες αναφέρονται σε ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων.

Η παλαιότερη θυγατρική Οδηγία της Ε.Ε. για τα PM, που είχε εκδοθεί το 1983, αναφερόταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) και πρότεινε τις παρακάτω τιμές:

Ετήσια τιμή (μέσος όρος 24-ωρων μετρήσεων)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Τιμή χειμερινής περιόδου (μέσος όρος 24-ωρων μετρήσεων)	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
98 ^ο εκατοστημόριο των 24-ωρων μετρήσεων του έτους	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 1.2. Οδηγία της Ε.Ε. για τα TSP (1983).

Στις 24 Μαρτίου 1999, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε, μετά από επίπονη προετοιμασία, μια νέα θυγατρική Οδηγία για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας, που αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀. Η οδηγία αναφέρει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα, ώστε οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM₁₀ στον ατμοσφαιρικό αέρα να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές που δίδονται στον Πίνακα 1.3, στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα και πριν από τις αναφερόμενες στην οδηγία ημερομηνίες. Επίσης, σύμφωνα με την Οδηγία, τα κράτη μέλη οφείλουν να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για τη συλλογή στοιχείων σχετικών με τις συγκεντρώσεις των PM_{2,5}. Τα κράτη μέλη οφείλουν να διαβιβάζουν ετησίως στην Επιτροπή, όχι αργότερα από εννέα μήνες μετά το τέλος κάθε έτους, τον αριθμητικό μέσο, το διάμεσο, το 98^ο εκατοστημόριο και τη μέγιστη συγκέντρωση, όπως υπολογίζονται από τις 24-ωρες μετρήσεις PM_{2,5} μέσα στο έτος. Στόχος της

καταγραφής των επιπέδων συγκέντρωσης των σωματιδίων $PM_{2,5}$ ήταν η συλλογή στοιχείων για την θέσπιση οριακών τιμών και για το κλάσμα αυτό (Οδηγία 1999/30/EC).

Τον Δεκέμβριο του 2004, εκδόθηκε η τελική έκθεση της ομάδας εργασίας C.A.F.E (Clean Air For Europe), πάνω στην αιωρούμενη σωματιδιακή ρύπανση, που συστάθηκε από την Ε.Ε., με στόχο να:

- ο θέσει τις προτεραιότητες για τον μελλοντικό σχεδιασμό της πολιτικής ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- ο αναθεωρήσει τα ισχύοντα πρότυπα ποιότητας αέρα και
- ο αναπτύξει καλύτερα συστήματα συλλογής δεδομένων και πρόβλεψης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Μετά από ενδελεχή μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων από μετρήσεις των επιπέδων συγκέντρωσης των PM στην Ευρώπη και από σχετικές επιδημιολογικές μελέτες, η ομάδα εργασίας C.A.F.E. καταλήγει στην επιλογή της συγκέντρωσης των σωματιδίων $PM_{2,5}$, και όχι αυτής των PM_{10} , ως βασικό μέτρο της έκθεσης του πληθυσμού σε αέρια σωματιδιακή ρύπανση. Η ομάδα αναφέρει ότι η ετήσια οριακή τιμή των $PM_{2,5}$ δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ προτείνει και 24-ωρη οριακή τιμή ίση με $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (να μην υπερβαίνεται περισσότερο από το 10 % των ημερών μέσα στο έτος). Παράλληλα, υποστηρίζει ότι οι οριακές τιμές για τα σωματίδια PM_{10} που έχουν ορισθεί στο στάδιο 2 της θυγατρικής οδηγίας 1999/30/EC, είναι απαραίτητο να διατηρηθούν, ώστε να επιτευχθεί και ο έλεγχος των χονδρόκοκκων σωματιδίων $PM_{2,5-10}$ (CAFE 2004).

	Περίοδος αναφοράς	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία για την συμμόρφωση προς την οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1				
24-ωρη οριακή τιμή	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (να μην υπερβαίνεται πάνω από 35 φορές / έτος)	50 % κατά την έναρξη της παρούσας οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό, ώστε να φτάσει το 0 % την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 % κατά την έναρξη της παρούσας οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό, ώστε να φτάσει το 0 % την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005
ΣΤΑΔΙΟ 2				
24-ωρη οριακή τιμή	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (να μην υπερβαίνεται πάνω από 7 φορές / έτος)	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων που θα είναι ισοδύναμα με την οριακή τιμή του σταδίου 1	1 ^η Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή	Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 % την 1/1/2005, μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό, ώστε να φτάσει το 0 % την 1/1/2010	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Πίνακας 1.3. Θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα PM_{10} (1999).

Με βάση τις γενικές διαπιστώσεις και τις προτάσεις που περιέχονται στην τελική έκθεση της ομάδας C.A.F.E., η Ε.Ε. προχώρησε στην θέσπιση ετήσιας οριακής τιμής για τα σωματίδια PM_{2,5} (Πίνακας 1.4) (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 2005).

Περίοδος αναφοράς	Ημερολογιακό έτος
Ανώτατο όριο συγκέντρωσης	25 µg/m ³
Περιθώριο ανοχής	20 % κατά τη θέση σε ισχύ της οδηγίας, μειούμενο έως την 1 ^η του επόμενου Ιανουαρίου, και εν συνεχεία ανά εφεξής 12-μηνο, κατά ίσα ετήσια ποσοστά, ώστε να φτάσει το 0 % την 1/1/2010.
Τελική ημερομηνία για επίτευξη της οριακής συγκέντρωσης	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Πίνακας 1.4. Θέσπιση μέσης ετήσιας οριακής τιμής της συγκέντρωσης των PM_{2,5} από την Ε.Ε.

Τέλος, στις 21 Μαΐου 2008 εκδόθηκε η πιο πρόσφατη Οδηγία (2008/50/ΕΚ) του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη. Στους Πίνακες 1.5 και 1.6 παρουσιάζονται οι σχετικές οριακές τιμές για τα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2,5} αντίστοιχα.

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
1 ημέρα	50 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50 %	Ισχύει ήδη από 1ης Ιανουαρίου 2005.
Ημερολογιακό έτος	40 µg/m ³	20 %	Ισχύει ήδη από 1ης Ιανουαρίου 2005.

Πίνακας 1.5. Θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα PM₁₀ (2008).

Οριακή τιμή

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 % στις 11 Ιουνίου 2008, μειούμενο έως την 1η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0 % έως την 1η Ιανουαρίου 2015	1η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 ^(*)			
Ημερολογιακό έτος	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		1η Ιανουαρίου 2020

Πίνακας 1.6. Θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα $\text{PM}_{2,5}$ (2008).

(*) Στάδιο 2 — Ενδεικτική οριακή τιμή που θα επανεξετασθεί από την Επιτροπή το 2013 υπό το φως περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον, του τεχνικώς εφικτού και της εμπειρίας από την τιμή στόχο στα κράτη μέλη.

Σύμφωνα με την νέα οδηγία το Κράτος Μέλος μπορεί να ζητήσει παράταση ως και 3 χρόνια μετά την ημερομηνία που μπαίνει σε ισχύ η νέα οδηγία για μια συγκεκριμένη ζώνη. Το αίτημα υποβάλλεται προς εκτίμηση από την επιτροπή. Σε τέτοιες περιπτώσεις μέσα στο διάστημα της παράτασης τα όρια των τιμών που ισχύουν είναι η οριακή τιμή + το μέγιστο περιθώριο ανοχής (35 μέρες στα $75\mu\text{g}/\text{m}^3$) για ημερήσια οριακή τιμή PM_{10} και $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ για ετήσιο οριακή τιμή PM_{10} .

Σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ε.Ε. η οριακή τιμή είναι δεσμευτική από την ημερομηνία που τίθεται σε ισχύ και μπορεί να παραβιαστεί μόνο στις περιπτώσεις που επιτρέπονται από την νομοθεσία. Πρέπει να τεθεί μια τιμή στόχος λιγότερο αυστηρή προς επίτευξη μέχρι να τεθεί σε ισχύ η οριακή τιμή.

Η νέα οδηγία εισάγει επιπλέον στόχους ως προς την έκθεση του πληθυσμού στα $\text{PM}_{2,5}$. Αυτοί οι στόχοι τίθενται σε εθνικό επίπεδο και βασίζονται στο μέσο δείκτη έκθεσης (AEI).

Ο μέσος δείκτης έκθεσης ορίζεται ως η μέση ετήσια συγκέντρωση $\text{PM}_{2,5}$ που προκύπτει από επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης σε αστικές περιοχές ώστε να εκτιμάται καλύτερα η έκθεση του πληθυσμού σε $\text{PM}_{2,5}$.

1.7.2. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ US-EPA

Ο ρόλος του Αμερικανικού Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S Environmental Protection Agency, EPA), είναι, σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης των Η.Π.Α. (U.S. Clean Air Act 1970,1977,1990), να ορίζει και να θέτει σε ισχύ τα εθνικά πρότυπα ποιότητας αέρα της χώρας (National Ambient Air Quality Standards - NAAQS). Αυτά τα όρια πρέπει να είναι αρκετά αυστηρά ώστε να προστατεύεται η υγεία ακόμα και των πιο ευαίσθητων ομάδων του πληθυσμού.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι για την EPA ένας από τους ρύπους - κριτήρια. Ρύποι - κριτήρια καλούνται οι ρύποι εκείνοι που η EPA έχει αποφασίσει ότι είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό και την καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης. Έτσι, τα εθνικά πρότυπα ποιότητας (NAAQS) των Η.Π.Α. αναφέρονται στους αέριους ρύπους: μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο του θείου, όζον, σωματιδιακό μόλυβδο και αιωρούμενα σωματίδια.

Κατά την θέσπιση των NAAQS, ορίστηκε ότι είναι απαραίτητο να επανεξετάζονται κάθε πέντε χρόνια, από τον Αμερικάνικο Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (US-EPA), ώστε να αντανακλούν την πρόσφατη επιστημονική γνώση.

Το 1987 θεσπίστηκε το πρώτο εθνικό αμερικάνικο πρότυπο ποιότητας αέρα (NAAQS) για τα PM_{10} . Συγκεκριμένα, το πρότυπο δεν επέτρεπε οι συγκεντρώσεις στο περιβάλλον να υπερβαίνουν τα $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση ετήσια τιμή) περισσότερο από μια φορά σε τρία συνεχόμενα έτη, και τα $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24-ωρη τιμή) περισσότερο από τρεις φορές μέσα σε τρία έτη.

Το 1992, η αμερικάνικη πνευμονολογική εταιρεία (American Lung Association) μήνυσε την US-EPA επειδή δεν είχε επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM_{10} . Το δικαστήριο που έγινε στην πολιτεία της Αριζόνα απεφάνθη στις 6 Οκτωβρίου 1994, ότι η EPA οφείλει να επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM_{10} και, αν κριθεί απαραίτητο, να αναθεωρήσει τα αμερικάνικα πρότυπα ποιότητας αέρα το αργότερο έως τις 31 Δεκεμβρίου 1997.

Ήδη τον Ιούλιο 1997, η EPA είχε προσδιορίσει τις αναθεωρήσεις που έπρεπε να γίνουν στο πρότυπο ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια, ώστε να ανταποκρίνονται στην τότε τρέχουσα επιστημονική γνώση. Τελικά, οι αναθεωρήσεις αυτές (40 CFR Part 50) τέθηκαν σε ισχύ στις 16 Σεπτεμβρίου 1997.

Την 21^η Σεπτεμβρίου του 2006, με βάση και τα νεώτερα στοιχεία των επιδημιολογικών και τοξικολογικών ερευνών, η EPA προχώρησε σε νέες αναθεωρήσεις, θεσπίζοντας πιο αυστηρά πρότυπα ποιότητας και μέτρα ελέγχου, ορίζοντας παράλληλα επανεξέτασή τους ανά 5 έτη, σύμφωνα και με σχετικές εισηγήσεις από την Επιστημονική Συμβουλευτική Επιτροπή καθαρού αέρα (Clean Air Scientific Advisory Committee, CASAC), την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα, την βιομηχανία, κλπ.

Στον Πίνακα 1.7 παρουσιάζονται τα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια όπως ίσχυαν το 1987, καθώς και με τις αναθεωρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 1997 (Milloy 1998, US EPA 1997a, b, c, Chow 1995) και το 2006.

Σωματιδιακό κλάσμα	Οριακή τιμή 1987	Επεξήγηση	Οριακή τιμή 1997	Επεξήγηση	Οριακή τιμή 2006	Επεξήγηση
PM ₁₀	Ετήσια 50 µg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή πάνω από 1 φορά σε 3 συνεχόμενα έτη.	Ετήσια 50 µg/m ³	Καμία αλλαγή σε σχέση με το 1987.	Ανακλήθηκε	Λόγω έλλειψης των στοιχείων που συνδέουν τα προβλήματα υγείας με τη μακροπρόθεσμη έκθεση του ατόμου σε αυτά τα σωματίδια.
	24-ωρη 150 µg/m ³	Οι 24-ωρες μετρήσεις από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβούν την οριακή τιμή περισσότερες από 3 φορές σε 3 συνεχόμενα έτη.	24-ωρη 150 µg/m ³	Το 99 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24-ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή περισσότερο από 3 φορές σε 3 συνεχόμενα έτη.	24-ωρη 150 µg/m ³	Οι 24-ωρες μετρήσεις από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβούν την οριακή τιμή περισσότερες από 1 φορά σε 3 συνεχόμενα έτη.

PM _{2,5}		Δεν υπάρχει οριακή τιμή.	Ετήσια 15 μg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων από έναν ή περισσότερους σταθμούς σε οικιστικές περιοχές, δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή.	Ετήσια 15 μg/m ³	Ο 3ετης αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων από έναν ή περισσότερους σταθμούς σε οικιστικές περιοχές, δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή
		Δεν υπάρχει οριακή τιμή.	24-ωρη 65 μg/m ³	Το 98 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24-ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή περισσότερο από 3 φορές σε 3 συνεχόμενα έτη.	24-ωρη 35 μg/m ³	Ο 3ετής μέσος του 98 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24-ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή.

Πίνακας 1.7. Πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2,5} κατά US - EPA.

Σωματιδιακό κλάσμα	Οριακή τιμή	Επεξήγηση
PM ₁₀	24-ωρη 150 μg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή πάνω από 1 φορά σε 3 συνεχόμενα έτη
PM _{2,5}	Ετήσια 15μg/m ³	Ο 3ετης αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή .
	24-ωρη 35 μg/m ³	Το 98 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24-ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή περισσότερο από 3 φορές σε 3 συνεχόμενα έτη.

Πίνακας 1.8. Νεότερα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2,5} κατά US – EPA (Οκτώβριος 2011).

2. ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

2.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Οι υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδιακής ρύπανσης που καταγράφονται στην ατμόσφαιρα, κυρίως των μεγάλων αστικών κέντρων, καθώς και η συσχέτιση που παρουσιάζουν με αρνητικά συμπτώματα στην ανθρώπινη υγεία, ανέδειξαν την ανάγκη μελέτης της έκθεσης των αστικών πληθυσμών σε αυτούς τους ρύπους.

Στα πλαίσια της προσπάθειας αυτής, επιχειρήθηκε ο πειραματικός προσδιορισμός της έκθεσης, μέσω προσωπικών δειγματοληψιών αντιπροσωπευτικού δείγματος του πληθυσμού. Παράλληλα, αναπτύχθηκε και μια έμμεση μέθοδος προσδιορισμού, η οποία βασίζεται στον υπολογισμό της ολικής προσωπικής έκθεσης, ως το άθροισμα των επιμέρους επιπέδων έκθεσης τα οποία υφίσταται το υπό μελέτη υποκείμενο, ενώ κινείται στα διαφορετικά μικρο-περιβάλλοντα (Wilson et al. 2000). Βάσει του έμμεσου προσδιορισμού, η ολική προσωπική έκθεση (E) ενός υποκειμένου κατά την χρονική περίοδο (T) ισούται με:

$$E = \frac{1}{T} \cdot \sum_j \int C_j \cdot dt_j \quad (2.1)$$

όπου: C_j η χρονικά μεταβαλλόμενη συγκέντρωση στο μικρο-περιβάλλον j και

t_j ο χρόνος παραμονής στο εν λόγω μικρο-περιβάλλον.

Το άθροισμα αναφέρεται σε όλα τα μικρο-περιβάλλοντα στα οποία κινήθηκε το υποκείμενο κατά την χρονική περίοδο αναφοράς (T).

Καθώς κατά την διάρκεια συγκεκριμένων δραστηριοτήτων, η προσωπική έκθεση του υποκειμένου είναι δυνατόν να μην αντιστοιχεί στην συγκέντρωση που καταγράφεται στον

χώρο μέσα στον οποίο βρίσκεται, για τον υπολογισμό της ολικής προσωπικής του έκθεσης έχει προταθεί και η χρήση της σχέσης:

$$E = \sum_j E_j + E_{pact} = \frac{1}{T} \cdot \left(\sum_j \int C_j \cdot dt_j + \sum_l \int C_{pact,l} \cdot dt_l \right) \quad (2.2)$$

όπου: $C_{pact,l}$ η συγκέντρωση που οφείλεται στην προσωπική δραστηριότητα (personal activity)

l και

t_l ο χρόνος κατά τον οποίο πραγματοποιείται η εν λόγω δραστηριότητα.

2.2. ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

2.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνολική προσωπική έκθεση του πληθυσμού καθορίζεται, όπως προαναφέρθηκε, από τα επίπεδα συγκέντρωσης στα οποία εκτίθεται ενώ κινείται σε διαφορετικά μικρο-περιβάλλοντα.. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελετών σχετικών με την χωρο-χρονική απασχόληση του πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα, το 87 - 90 % του ημερήσιου χρόνου καταναλώνεται σε εσωτερικούς χώρους. Η κατοικία αποτελεί το σημαντικότερο μικρο-περιβάλλον όσον αφορά τον χρόνο παραμονής (62 – 87 %), με δεύτερο τον εργασιακό χώρο ή το σχολείο (17 – 25 %) (Adgate et al. 2002, Brauer et al. 2000, Klepeis et al. 1996).

Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων είναι δυνατόν να οφείλονται:

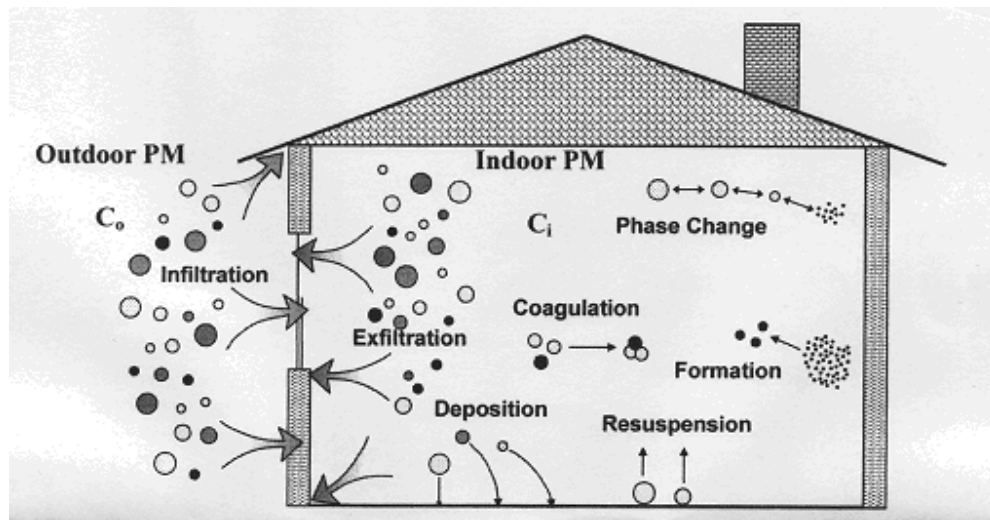
- ο στην παραγωγή σωματιδίων στο εσωτερικό των χώρων και
- ο στη διείσδυση σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας στους εσωτερικούς χώρους.

Παράγοντες που επηρεάζουν, επίσης, την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια σε εσωτερικούς χώρους είναι:

- Η ανάμιξη του εσωτερικού αέρα: Οι εσωτερικές πηγές σωματιδίων τείνουν να είναι περιστασιακές και τοπικού χαρακτήρα. Επομένως, τα επίπεδα έκθεσης των ατόμων στις πρωτογενείς αυτές εκπομπές εξαρτώνται, ως ένα βαθμό, από την ανάμιξη του αέρα στον υπό μελέτη χώρο.
- Η διαζωνική μεταφορά: Η ροή αέρα μεταξύ των χώρων ενός κτιρίου είναι δυνατόν να επηρεάσει σημαντικά τα εσωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.
- Η επαναιώρηση: Συνηθισμένες εσωτερικές δραστηριότητες, όπως το περπάτημα ή οι καθημερινές εργασίες καθαριότητας, είναι δυνατόν να προκαλέσουν την επαναιώρηση σωματιδίων τα οποία έχουν εναποτεθεί στις διαφορετικές εσωτερικές επιφάνειες (Abt et al. 2000a,b). Η ποσότητα της επαναιωρούμενης ύλης στη μονάδα του χρόνου είναι ανάλογη της μάζας των σωματιδίων που βρίσκεται εναποτεθημένη στις διαφορετικές επιφάνειες του χώρου (Lange 1995).
- Η συσσωμάτωση: Κατά την σύγκρουση των σωματιδίων μεταξύ τους, συχνά προκαλείται συσσωμάτωσή τους. Η διεργασία αυτή δεν επηρεάζει άμεσα την κατά μάζα συγκέντρωση των σωματιδίων, μεταβάλλει όμως την κατανομή μεγέθους τους. Η συσσωμάτωση εξαρτάται από το τετράγωνο της συγκέντρωσης, επομένως είναι σημαντική σε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων. Ο βασικός μηχανισμός συσσωμάτωσης είναι οι κινήσεις Brown, οι οποίες παρατηρούνται κυρίως στο υπερλεπτόκοκκο κλάσμα. Επομένως, η επίδραση της συσσωμάτωσης είναι δυνατόν να είναι μεγάλη κατά την διάρκεια εσωτερικής παραγωγής υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων, οπότε η κατά αριθμό συγκέντρωσή τους θα είναι ιδιαίτερα υψηλή (Nazaroff 2004).
- Οι μετατροπές φάσεων: Η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη σε εσωτερικούς χώρους είναι δυνατόν να μεταβληθεί λόγω διεργασιών μετατροπής φάσεων. Για παράδειγμα, οι Dua & Horke (1996) αναφέρουν μεταβολές του μεγέθους των σωματιδίων λόγω απορρόφησης ή αποδέσμευσης νερού, όταν αλλάζουν οι συνθήκες υγρασίας. Σε πολλές ερευνητικές

εργασίες μελετάται, επίσης, η κατανομή ημι-πτητικών οργανικών ενώσεων στην αέρια και σωματιδιακή φάση (Naumova et al. 2003, Weschler 2003).

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται σχηματικά οι διαφορετικές διεργασίες που συντελούνται σε εσωτερικό χώρο και επηρεάζουν την διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτόν.



Σχήμα 2.1. Διεργασιών εισαγωγής, δημιουργίας και απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικό χώρο (Thatcher et al. 2003).

Οι σχετικές τοξικότητες των σωματιδίων εξωτερικής και εσωτερικής προέλευσης δεν έχουν μελετηθεί συστηματικά. Σύμφωνα με τις πρώτες ερευνητικές ενδείξεις, είναι πολύ πιθανό οι δύο αυτές κατηγορίες να διαφέρουν σημαντικά ως προς το είδος και τον βαθμό τοξικότητας (Ebelt et al. 2005, Godleski et al. 2002, Long et al. 2001b). Λόγω των υπαρχόντων προτύπων ποιότητας, που αφορούν μόνο στον εξωτερικό αέρα, οι επιδημιολογικές και τοξικολογικές μελέτες παραδοσιακά εξετάζουν τις επιπτώσεις στην υγεία των σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας. Εντούτοις, η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια εσωτερικής προέλευσης είναι δυνατόν να σχετίζεται άμεσα με την δημόσια υγεία, καθώς οι εσωτερικές πηγές συχνά οδηγούν σε ιδιαίτερα υψηλές βραχυχρόνιες συγκεντρώσεις στους εσωτερικούς χώρους.

2.2.2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η μελέτη των εσωτερικών πηγών που συνεισφέρουν στην διαμόρφωση των εσωτερικών επιπέδων συγκέντρωσης αποτελεί αντικείμενο πλήθους ερευνητικών εργασιών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των σχετικών μελετών, οι εσωτερικές πηγές σωματιδίων τείνουν να δημιουργούν βραχυχρόνια επεισόδια ιδιαίτερα υψηλών συγκεντρώσεων (Long et al. 2000). Η εσωτερική παραγωγή σωματιδίων είναι δυνατόν να οφείλεται σε:

- διεργασίες καύσης (λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών, κάπνισμα)
- υλικά κατασκευής των χώρων
- χρήση προϊόντων σε μορφή αερολύματος (σπρέι)
- εσωτερική κινητικότητα (Wadden & Scheff 1983).

Οι κυριότερες δραστηριότητες που επηρεάζουν τα εσωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων είναι: το κάπνισμα, το μαγείρεμα, το καθάρισμα και η γενικότερη παρουσία και κινητικότητα ατόμων (Abt et al. 2000a, b, Long et al 2001a, 2000). Το μέγεθος των σωματιδίων αντανακλά τον μηχανισμό παραγωγής. Οι διεργασίες καύσης παράγουν κυρίως λεπτόκοκκα σωματίδια, ενώ οι μηχανικές διεργασίες χονδρόκοκκα. Οι παραπάνω δραστηριότητες προκαλούν αύξηση των εσωτερικών επιπέδων συγκέντρωσης κατά πολλές τάξεις μεγέθους σε σχέση με τις αντίστοιχες εξωτερικές συγκεντρώσεις, και μεταβάλλουν την κατανομή μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους.

Το κάπνισμα έχει αναγνωρισθεί ως η βασική εσωτερική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων, και ιδιαίτερα για το λεπτόκοκκο κλάσμα (Nazaroff & Klepeis 2004, Koistinen et al. 2001). Ο καπνός του τσιγάρου είναι ένα αερόλυμα που περιέχει μερικές χιλιάδες διαφορετικές ουσίες, σε σωματιδιακή και αέρια φάση (Gold 1992). Τα παραγόμενα σωματίδια βρίσκονται στο εύρος μεγέθους 0,1 – 1,5 μm (Chen et al. 1990). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Ozkaynak et al. (1996), κάθε τσιγάρο εκπέμπει κατά μέσο όρο 22 ± 8 mg σωματιδίων PM_{10} , ενώ περίπου τα 2/3 της ποσότητας αυτής (14 ± 4 mg) ανήκουν στο λεπτόκοκκο κλάσμα. Υπολογίστηκε, επίσης, ότι το κάπνισμα ενός τσιγάρου αυξάνει την μέση 12-ωρη εσωτερική συγκέντρωση των PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ σε χώρους κατοικιών, κατά 2 και 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Σε αντίστοιχη ερευνητική

μελέτη, οι Spengler et al. (1981) υπολόγισαν ότι το κάπνισμα ενός πακέτου τσιγάρων την ημέρα προκαλεί αύξηση της μέσης 24-ωρης συγκέντρωσης των σωματιδίων $PM_{2,5}$ κατά $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ οι βραχυχρόνιες συγκεντρώσεις κατά την διάρκεια επεισοδίων καπνίσματος μετρήθηκαν ίσες με $500 - 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Τέλος, οι Koutrakis et al. (1992) αναφέρουν ότι το 54 % των σωματιδίων $PM_{2,5}$ που απαντώνται σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών καπνιστών, προέρχονται από τον καπνό τσιγάρων.

Σημαντική εσωτερική παραγωγή σωματιδίων παρατηρείται και κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων μαγειρέματος (Kamens et al. 1991). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης των Ozkaynak et al (1996), σε χώρους κατοικιών στις Η.Π.Α., το μαγείρεμα παράγει $4,0 \pm 1,6 \text{ mg}/\text{min}$ σωματιδίων PM_{10} , ενώ περίπου το 40% αυτών ($1,7 \pm 0,6 \text{ mg}/\text{min}$) αποτελείται από σωματίδια $PM_{2,5}$. Επιπλέον, έχουν καταγραφεί και σημαντικές εκπομπές υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων, ιδιαίτερα κατά την χρήση συσκευών που λειτουργούν με αέριο (Dennekamp et al. 2001, Long et al. 2000).

Σε μικρότερο βαθμό, τα εσωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης επηρεάζονται και από τις καθημερινές δραστηριότητες συντήρησης των χώρων (σκούπισμα, ξεσκόνισμα, καθάρισμα των χαλιών, χρήση καθαριστικών), λόγω της επαναιώρησης των σωματιδίων, της επιφανειακής φθοράς των υλικών επίπλωσης και κατασκευής των χώρων, αλλά και της χρήσης προϊόντων σε μορφή σπρέι (Nazaroff 2004, Long et al. 2000). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης των Kamens et al. (1991), η χρήση ηλεκτρικής σκούπας ιδιαίτερα, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της εσωτερικής συγκέντρωσης των αιωρουμένων σωματιδίων.

Τέλος, η παρουσία και η κινητικότητα ατόμων μέσα στους χώρους είναι δυνατόν να συνεισφέρουν στην εσωτερική παραγωγή αιωρουμένων σωματιδίων, και ιδιαίτερα με διάμετρο μεγαλύτερη από $1 \mu\text{m}$. Το περπάτημα ατόμων προς και από χώρο, είναι δυνατόν να προκαλέσει αύξηση της συγκέντρωσης των χονδρόκοκκων σωματιδίων κατά σχεδόν 100 % (Thatcher & Layton 1995). Οι Lefcoe & Inculet (1975) αναγνώρισαν, επίσης, την παρουσία

παιδιών ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τα εσωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης των μεγαλύτερων από 1 μm σωματιδίων. Οι Raunemaa et al. (1989) υπολόγισαν ότι η συγκέντρωση των μεγαλύτερων από 1,5 μm σωματιδίων αυξάνει κατά προσέγγιση γραμμικά με τον χρόνο παραμονής των ενοίκων στους υπό μελέτη χώρους.

2.2.3. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΥΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Πέρα από τις διαφορετικές εσωτερικές πηγές, η εξωτερική ατμόσφαιρα αποτελεί επίσης μια σημαντική πηγή σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης εξαρτώνται κυρίως από: τις διεργασίες διασποράς της ρύπανσης στο εξωτερικό του υπό μελέτη κτιρίου, τον αερισμό και την αεροπερατότητα του κτιρίου, καθώς και τις φυσικο-χημικές ιδιότητες των σωματιδίων. Σημαντικό ρόλο είναι δυνατόν να παίξουν και οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν, αφ'ενός την δυνατότητα διασποράς των σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας, και αφ'ετέρου την διείσδυσή τους στους εσωτερικούς χώρους (Milner et al. 2005).

Δεδομένης της επίδρασης της εξωτερικής ατμόσφαιρας στην διαμόρφωση της ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους, η μελέτη των μηχανισμών και παραμέτρων που επιδρούν στην διείσδυση και την μετέπειτα πορεία των σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Οι παράμετροι που καθορίζουν την διείσδυση στο εσωτερικό των σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης είναι:

- ❖ ο ρυθμός εξαερισμού του υπό μελέτη χώρου (α) [hr^{-1}],
- ❖ η ικανότητα διείσδυσης των σωματιδίων (P) (αδιάστατο μέγεθος) (δηλαδή η ικανότητα των σωματιδίων να περνούν δια μέσω των τοιχωμάτων του χώρου) και
- ❖ ο ρυθμός εναπόθεσης (k) [hr^{-1}] (δηλαδή ο ρυθμός απομάκρυνσης των σωματιδίων μέσα στον εσωτερικό χώρο λόγω της επικάθησής τους στις διαφορετικές επιφάνειες).

Η γνώση των τριών παραμέτρων εξαερισμού (α , P , k), καθώς και της εξωτερικής σωματιδιακής συγκέντρωσης (C_{out}), επιτρέπει τον υπολογισμό της αντίστοιχης εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης (outdoor generated, C_{og}), μέσω της σχέσης:

$$C_{og} = \frac{a \cdot P}{a + k} \cdot C_{out} \quad (2.3)$$

Παρακάτω αναλύονται οι τρεις παράμετροι εξαερισμού καθώς και οι διαφορετικές μεθοδολογίες προσδιορισμού τους.

2.2.3.1. ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ (α)

Ο ρυθμός εξαερισμού (α) ενός χώρου ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται μέσα στον χώρο ανά ώρα, προς τον ενεργό όγκο¹ του χώρου. Εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες:

- Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (τεχνική και ποιότητα της κατασκευής, αεροπερατότητα του κελύφους, διάταξη των χωρισμάτων)
- Τις μετεωρολογικές συνθήκες (Για παράδειγμα, αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής ατμόσφαιρας, καθώς και της ταχύτητας του ανέμου, οδηγεί σε άνοδο του ρυθμού εξαερισμού, καθώς μεγαλώνει τη διαφορά πίεσης μεταξύ του εσωτερικού χώρου και της εξωτερικής ατμόσφαιρας.)
- Τις εσωτερικές συνθήκες και συνήθειες των ενοίκων (αριθμός και ηλικίες των παιδιών, αριθμός των κατοικίδιων ζώων που κινούνται μέσα και έξω από τον χώρο που μελετάται, χρήση ή όχι κλιματισμού, χρόνος κατά τον οποίο τα παράθυρα παραμένουν ανοιχτά μέσα στο 24ωρο).

¹ Ο ενεργός όγκος ενός χώρου είναι ο όγκος του αέρα μέσα στο χώρο (καθώς και σε διπλανούς χώρους οι οποίοι συνδέονται με τον υπό μελέτη, με αποτέλεσμα να διακινείται ελεύθερα ο αέρας μεταξύ τους), εφόσον εξαιρεθεί ο μη αναμεμιγμένος αέρας ο οποίος βρίσκεται παγιδευμένος (για παράδειγμα μέσα σε έπιπλα).

2.2.3.2. ΡΥΘΜΟΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ (k)

Κατά την είσοδό τους στους εσωτερικούς χώρους, τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν την τάση να εναποτίθενται πάνω στις διαφορετικές επιφάνειες. Ο ρυθμός εναπόθεσης των σωματιδίων (k) ορίζεται από την σχέση:

$$k = v_d \cdot \frac{S}{V} \quad (2.4)$$

όπου: v_d η ταχύτητα εναπόθεσης,

V ο όγκος του χώρου και

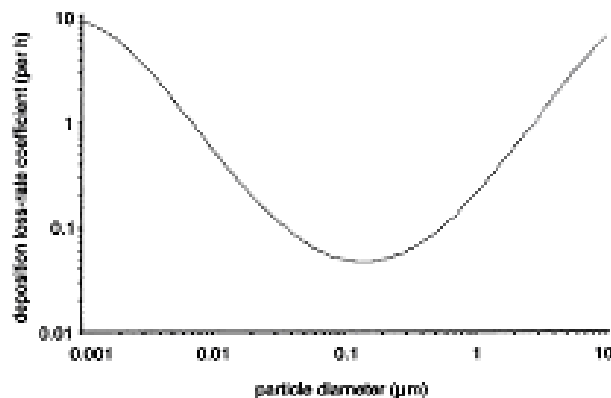
S το εμβαδό των διαθέσιμων επιφανειών εναπόθεσης στον υπό μελέτη χώρο.

Η τιμή του ρυθμού εναπόθεσης εξαρτάται από (Halios & Helmis 2007, Thatcher et al. 2002, Nazaroff et al. 1993):

- το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητα των σωματιδίων,
- την εσωτερική ταχύτητα ροής του αέρα,
- την ποσότητα και ποιότητα της επίπλωσης και των επιφανειών της,
- τον εσωτερικό λόγο επιφάνειας προς όγκο,
- την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα και των επιφανειών στον εσωτερικό χώρο και
- τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν στον χώρο.

Στην περίπτωση των χονδρόκοκκων σωματιδίων, ο ρυθμός εναπόθεσης συνδέεται κυρίως με την βαρυτική καθίζηση, η οποία ενδεχομένως να ευνοείται από πρόσκρουση λόγω αδράνειας. Για τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια, αντίθετα, βασικός μηχανισμός εναπόθεσης είναι η διάχυση λόγω κινήσεων Brown, με αποτέλεσμα η εναπόθεση σε κατακόρυφες επιφάνειες να είναι επίσης σημαντική. Όσον αφορά τα σωματίδια κατηγορίας συσσώρευσης, παρουσιάζουν τον χαμηλότερο ρυθμό εναπόθεσης, καθώς δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από κανέναν από τους παραπάνω μηχανισμούς (Nazaroff 2004, Wallace 1996, Nazaroff et al. 1993).

Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται μια σύνθεση αποτελεσμάτων από πειραματικές μετρήσεις και θεωρητικά μοντέλα, σχετικά με την μεταβολή του ρυθμού εναπόθεσης ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων (Riley et al. 2002). Αξίζει να σημειωθεί, όμως, ότι οι τιμές του k που αναφέρονται στην βιβλιογραφία, και βασίζονται σε διαφορετικές μεθοδολογίες εκτίμησης, παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση, ακόμη και για ίδια σωματιδιακά κλάσματα (Lai 2002).



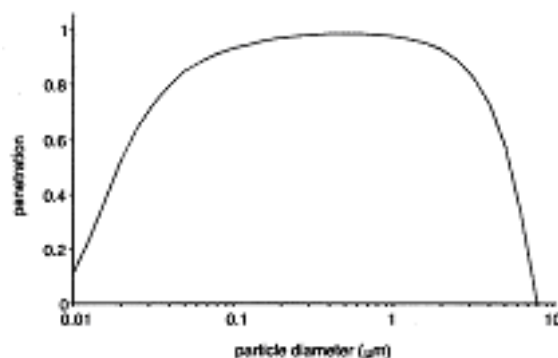
Σχήμα 2.2. Σύνθεση πειραματικών και θεωρητικών τιμών του ρυθμού εναπόθεσης συναρτήσει της διαμέτρου των σωματιδίων (Riley et al. 2002).

2.2.3.3. ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (P)

Η ικανότητα διείσδυσης (P) ορίζεται ως το κλάσμα των σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας που εισέρχεται, μέσω χαραμμάτων και σχισμών του κτιρίου, σε εσωτερικό χώρο. Η τιμή της εξαρτάται από:

- ο το μέγεθος των σωματιδίων,
- ο τον αριθμό και τη γεωμετρία των χαραμμάτων του κτιρίου και
- ο την ταχύτητα του αέρα που εισέρχεται μέσα από αυτές, η οποία με τη σειρά της είναι συνάρτηση του ρυθμού εξαερισμού (α).

Η μεγαλύτερη ικανότητα διείσδυσης αναμένεται να αντιστοιχεί σε σωματίδια κατηγορίας συσσώρευσης. Η μεγαλύτερη απομάκρυνση σωματιδίων κατά την εισροή, και επομένως οι χαμηλότερες τιμές ικανότητας διείσδυσης, παρατηρούνται σε σωματίδια μικρότερα από 0,1 μm, λόγω διάχυσης μέσω των κινήσεων Brown, και σε σωματίδια μεγαλύτερα από 1,5 μm, λόγω διαδικασιών πρόσκρουσης, ανάσχεσης και βαρυτικής εναπόθεσης. Σημαντική παράμετρος κατά την διείσδυση των σωματιδίων είναι, όμως, και η παρουσία υψηλού ποσοστού πτητικών ή ασταθών ενώσεων στην συνολική μάζα των σωματιδίων. Η εξάτμιση ή μετατροπή αυτών των χημικών ειδών κατά την εισροή του εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό κτιρίων, μεταβάλλει σημαντικά το ποσοστό και τη χημική σύσταση των σωματιδίων που καταφέρνουν να διεισδύσουν στους εσωτερικούς χώρους (Nazaroff 2004). Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογιστικού μοντέλου, σχετικά με την αναμενόμενη ικανότητα διείσδυσης δια μέσω πολύ λεπτής οπής, σωματιδίων διαφορετικών μεγεθών (Liu & Nazaroff 2001).



Σχήμα 2.3. Αποτελέσματα θεωρητικού μοντέλου: Τιμές της ικανότητας διείσδυσης συναρτήσει της διαμέτρου των σωματιδίων.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για τα παρακάτω δεδομένα: Η οπή εισροής/εκροής έχει ύψος 1 mm και μήκος 10 cm. Η ροή του αέρα προκαλείται από πτώση πίεσης ίση με 4 Pa. Η πυκνότητα των σωματιδίων ισούται με 1 g/cm^3 (Liu & Nazaroff 2001)

2.2.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Κατά την εκτίμηση της συνολικής έκθεσης του πληθυσμού, καθώς αυτός κινείται σε διάφορα μικρο-περιβάλλοντα μέσα στην ημέρα, απαιτείται η γνώση των επιπέδων συγκέντρωσης πλήθους διαφορετικών εσωτερικών χώρων (κατοικίες, χώροι εργασίας, χώροι αναψυχής), στους οποίους αναμένεται να εμφανίζονται διαφορετικές πηγές, ανάλογα με τη διαμόρφωσή τους και τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε αυτούς. Είναι φανερό ότι η πειραματική προσέγγιση του προβλήματος εμφανίζει μεγάλες εγγενείς δυσκολίες. Η παρακολούθηση των συγκεντρώσεων σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών εσωτερικών χώρων και για ικανό χρονικό διάστημα, εγείρει μεγάλες απαιτήσεις σε ειδικό πειραματικό εξοπλισμό καθώς και υψηλό οικονομικό κόστος. Παράλληλα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η γενικότερη αναδιάταξη που απαιτείται στη χρήση των χώρων, γεγονός που ενδεχομένως να καθιστά δύσκολη την μακροχρόνια παρακολούθησή τους. Τα προβλήματα αυτά ώθησαν την επιστημονική κοινότητα στην ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης των συγκεντρώσεων σε εσωτερικούς χώρους, βάσει της επίδρασης των εσωτερικών και εξωτερικών πηγών στην διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης.

Η βασική εξίσωση ισοζυγίου μάζας που απαντάται στην πλειοψηφία των μελετών έχει την μορφή:

$$\frac{dC_{in}(t)}{dt} = a \cdot P \cdot C_{out}(t) - (a + k) \cdot C_{in}(t) + \frac{Q_{is}}{V} \quad (2.5)$$

όπου: $C_{in}(t)$ και $C_{out}(t)$ η εσωτερική και εξωτερική συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων [$\mu\text{g}/\text{m}^3$],

a ο ρυθμός εξαερισμού [hr^{-1}],

P η ικανότητα διείσδυσης (αδιάστατο μέγεθος),

k ο ρυθμός εναπόθεσης [hr^{-1}],

V ο όγκος του χώρου που μελετάται [m^3] και

Q_{is} ο ρυθμός παραγωγής σωματιδίων από εσωτερικές πηγές (indoor sources) [$\mu\text{g}/\text{hr}$].

Η παραπάνω εξίσωση βασίζεται στην υπόθεση της τέλει ανάμιξης του εσωτερικού αέρα. Επίσης παραλείπονται οι όροι που αντιστοιχούν σε διεργασίες εξάτμισης, συμπύκνωσης, πυρηνοποίησης και συσσωμάτωσης, καθώς η επίδρασή τους στην διαμόρφωση της εσωτερικής συγκέντρωσης θεωρείται αμελητέα, για τις συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στους χώρους που μελετώνται.

Επομένως, για την εκτίμηση της εσωτερικής συγκέντρωσης ενός χώρου όγκου V , βάσει διαθέσιμων δεδομένων εξωτερικών μετρήσεων, είναι απαραίτητη η γνώση των παραμέτρων εξαερισμού α , P και k , καθώς και του δυναμικού παραγωγής σωματιδίων των διαφόρων εσωτερικών πηγών Q_{js} .

2.2.5. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Τις τελευταίες δεκαετίες η ερευνητική κοινότητα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της προς την ποιότητα της εσωτερικής ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα πλήθος μελετών στην διεθνή βιβλιογραφία σχετικών με επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους. Οι βασικοί χώροι που επιλέγονται προς παρακολούθηση είναι η κατοικία και ο χώρος εργασίας (γραφεία ή σχολεία), δεδομένου ότι ο χρόνος παραμονής σε αυτούς καλύπτει περισσότερο από τα 2/3 του ημερήσιου χρόνου. Άλλοι χώροι που έχουν μελετηθεί είναι χώροι διασκέδασης, μέσα μαζικής μεταφοράς, ιδιωτικά οχήματα κ.α.

Οι συγκεντρώσεις στους παραπάνω εσωτερικούς χώρους είναι δυνατόν να είναι πολύ αυξημένες, ανάλογα με την ύπαρξη εσωτερικών πηγών εκπομπής και επιπλέον λόγω της περιορισμένης δυνατότητας διασποράς της ρύπανσης μέσα στους χώρους

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΟΥ

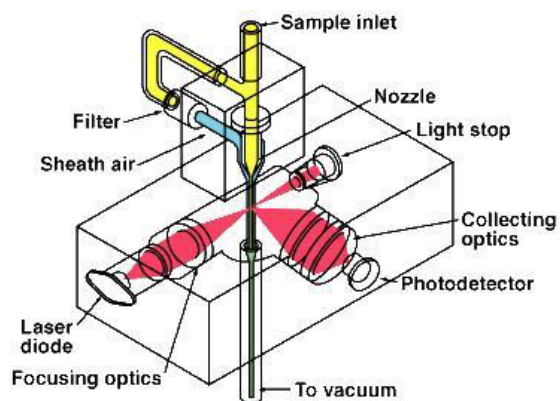
Το όργανο DUSTTrak 8520 αποτελεί ένα φορητό σύστημα on-line μέτρησης συγκέντρωσης σκόνης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, του αμερικανικού οίκου TSI. Η συσκευή βασίζεται στην αρχή της φωτομετρίας (περίθλαση) και διαθέτει ενσωματωμένα αντλία, εσωτερική μνήμη και data-logger για την αυτόματη αποθήκευση των μετρούμενων τιμών (κινητών μέσων όρων) σε προγραμματιζόμενα διαστήματα καθώς και τη δυνατότητα μετάδοσης των μετρούμενων τιμών σε Η/Υ. Μετρά τα κλάσματα PM10, respirable κατά ΕΛΟΤ EN 481, PM4, PM2,5 PM1.

Η συσκευή είναι βαθμονομημένη με πρότυπη σκόνη κατά ISO 12103-1, A1 test dust.

Βαθμονόμηση σε όλα τα είδη σκόνης γίνεται με παράλληλη μέτρηση με πρότυπο σταθμικό σύστημα κατά EN 12341.



Εικόνα3.1: DustTrak 8520



Εικόνα 3.2: Λειτουργία Dust Trak

Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνου (DUST Trak 8520):

Ευαισθησία:	
Τύπος του αισθητήρα:	90° διάχυση του φωτός, Laser diode
Εύρος μέτρησης:	0.001–100 mg/m ³ (βαθμονομούνται σε αναπνεύσιμο κλάσμα του προτύπου ISO 12103-1, A1σκόνη)
Ανάλυση:	±0.1% της ανάγνωσης ή το ±0.001 mg/m ³ , όποιο από τα δύο είναι μεγαλύτερο
Μηδέν σταθερότητας:	±0.001 mg/m ³ επί 24 ώρες
Κλίμακα μεγέθους σωματιδίων:	0.1–approximate 10 μm (μέγιστο όριο είναι εξαρτάται από την παροχή)
Η παροχή:	1.4–2.4 L/min.
Θερμοκρασία συντελεστή:	+0.001 mg/m ³ ανά °C
Περιοχή θερμοκρασιών μέσο:	
Λειτουργικό περιοχή: υποβαλλόμενη:	0°C έως 50°C (32°F σε 120°F)
Περιοχή αποθήκευσης:	-20°C-60°C (-4°F έως 140°F)
Καταγραφή δεδομένων:	
Τα σημεία δεδομένων:	> 31,000 (21 ημέρες καταγραφή κάθε λεπτό)
Χρονικό διάστημα:	Ρυθμιζόμενο από 1 δευτερόλεπτο για 1 ώρα
Φυσικό μέγεθος:	
Εξωτερικές διαστάσεις:	221 mm x 150 mm x 87 mm
Βάρος (με μπαταρίες:	1,5 kg (3.3 λίβρες)
Display:	LCD 4 ψηφίων, ύψους ψηφίο 15 mm (0.6 in)
Απαιτήσεις ενέργειας:	
Εξωτερικό προσαρμογέα:	υποβαλλόμενη 6 VDC, 300 ma
ή	
Μπαταρίες:	4 C-μέγεθος αλκαλικό
Χρόνος μπαταρίας:	16 ώρες (τυπική)
Θωράκιση EMI/RF:	
1. Είναι σύμφωνη με την οδηγία εκπομπών πρότυπο: EN50081-1: 1992	
2. Είναι σύμφωνη με την οδηγία ασυλίας πρότυπο: EN50082-1: 1992	

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του DustTrak 8520.

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η εκπόνηση της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε από τον Μάρτιο του 2011 έως τον Ιούλιο του 2012.

Αρχικά έγινε επιλογή των χώρων που θα εξεταστούν. Βασικό κριτήριο επιλογής του δείγματος ήταν η γεωγραφική τοποθέτηση των χώρων, καθώς σκοπός της έρευνας ήταν η εξέταση ενός συγκεκριμένου προαστίου ώστε τα σενάρια ολικής έκθεσης του πληθυσμού να συγκλίνουν περισσότερο με την πραγματικότητα. Επιπλέον, προϋπόθεση ήταν να διαμένουν στα εξεταζόμενα σπίτια άτομα με ιδιαίτερη ευαισθησία στην έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια, όπως ηλικιωμένοι ή ασθενείς με αναπνευστικά προβλήματα. Ωστόσο, προκειμένου να διασφαλιστεί η ακεραιότητα του ευαίσθητου επιστημονικού οργάνου κατά τη διάρκεια των οικιακών μετρήσεων χωρίς την επίβλεψη ερευνητή ήταν απαραίτητη η ύπαρξη σχέσης εμπιστοσύνης μεταξύ ερευνητή και κατοίκων. Ταυτόχρονα αποφεύχθηκε η έκθεση του DustTrak σε παιδιά και κατοικίδια ζώα.

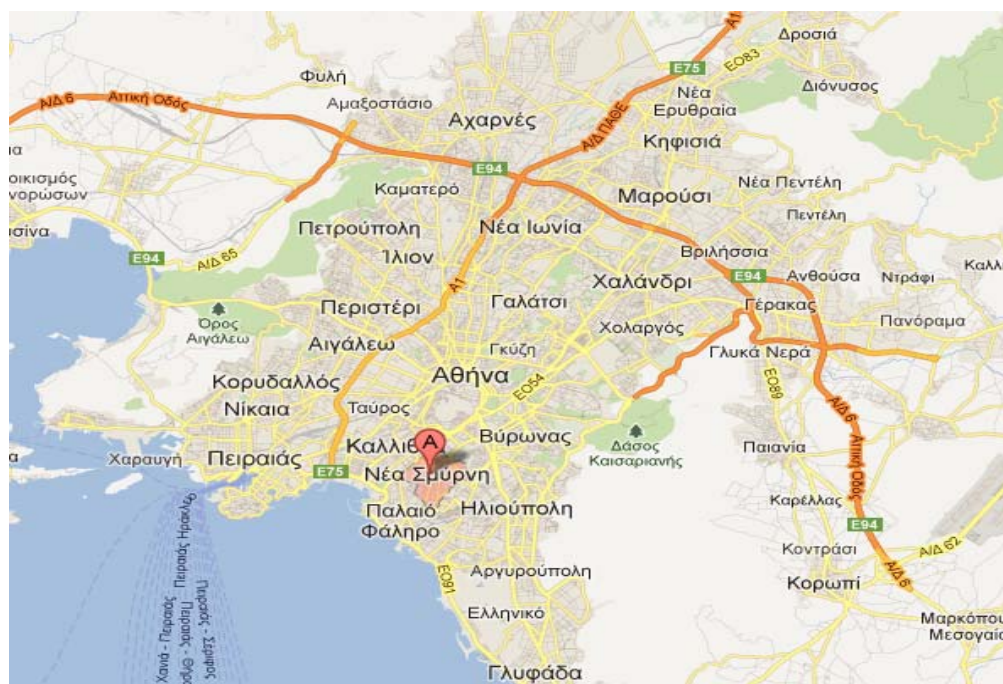
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Μάιο έως τον Νοέμβριο του 2012. Κατά τη διάρκεια της μελέτης εξετάστηκαν 8 κατοικίες στην Νέα Σμύρνη καθώς και εξωτερικοί χώροι υψηλού ενδιαφέροντος του προαστίου. Η συνολική διάρκειά τους ανέρχεται στις 53 ώρες.

Αρχικά παρακολούθηθηκε η 24ωρη διακύμανση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων εντός των κατοικιών. Προκειμένου να εξεταστεί η συσχέτιση των εσωτερικών δραστηριοτήτων με την συγκέντρωση των σωματιδίων ζητήθηκε από τους κατοίκους να διατηρούν ένα ημερολόγιο στο οποίο να αναγράφονται λεπτομερώς όλες οι δραστηριότητες που τελέστηκαν, το χρονικό διάστημά τους καθώς και οι συνθήκες υπό τις οποίες τελούνταν. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο μαγείρεμα, στο κάπνισμα, στην χρήση ηλεκτρικής σκούπας ενώ προτάθηκε να σημειωθεί κάθε άλλη δραστηριότητα η οποία οι ίδιοι θεωρούν ότι μπορεί να επηρεάσει τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Επίσης, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από μεμονωμένες μετρήσεις που κάλυπταν την ρυπογόνο δραστηριότητα σε όλη την διάρκειά της, στον χώρο που τελείται. Τέλος, επιδιώχθηκε η συλλογή χρονοσειρών σε περιόδους κατά τις οποίες οι κάτοικοι απουσίαζαν για μέρες από το σπίτι, και

συνεπώς δεν υπήρχαν οι βραχυχρόνιες συνέπειες καμίας εσωτερικής δράσης. Σημειώνεται ότι σε κάθε περίοδο μετρήσεων εξετάζονταν και οι εξωτερικοί χώροι του σπιτιού.

Συμπληρωματικά, για την πληρέστερη εκτίμηση της ολικής έκθεσης του πληθυσμού σε PM10 πραγματοποιήθηκαν και εξωτερικές μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Νέας Σμύρνης. Εξετάστηκαν σημεία υψηλού ενδιαφέροντος της περιοχής όπου προσελκύουν μεγάλο αριθμό ατόμων από όλες τις πληθυσμιακές ομάδες. Πιο συγκεκριμένα, ελήφθησαν δεδομένα από τον κεντρικό πεζόδρομο της πλατείας της Νέας Σμύρνης και από στάση λεωφορείου που βρίσκεται πάνω σε κεντρική οδική αρτηρία. Ακόμη, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και σε λιγότερο πολυσύχναστους δρόμους της περιοχής.

Τέλος, κρίθηκε ενδιαφέρουσα και η εξέταση των χώρων διασκέδασης, διότι κάποιες πληθυσμιακές ομάδες περνάνε εύλογο ποσοστό της καθημερινότητάς τους σε τέτοιους χώρους, οι οποίοι αναμένεται να είναι και ιδιαίτερα επιβαρυμένοι. Επιλέχθηκε ο αίθριος χώρος καφετεριών της περιοχής απογεύματα καλοκαιριού. Σημειώνεται ότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων στον χώρο παρευρίσκονταν και καπνιστές.



Εικόνα 3.3: Χάρτης Αττικής- Προσδιορισμός της υπό μελέτη περιοχής.

3.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.3.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται οι σημαντικότερες μετρήσεις που ελήφθησαν, καταταγμένες σε 5 κατηγορίες:

1. Μετρήσεις που προήλθαν από την 24ωρη παρακολούθηση των χώρων, ενώ οι κάτοικοι απουσίαζαν για μέρες από το σπίτι. Είναι προφανές πως στην κατηγορία αυτή δεν εντοπίζονται εσωτερικές πηγές παραγωγής αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς θεωρείται πως έχει αποσβεστεί ακόμη και ο “απόηχος” των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έπειτα από την πολυήμερη απουσία των κατοίκων.
2. Μετρήσεις που προήλθαν από την 24ωρη παρακολούθηση των χώρων, ενώ το σπίτι κατοικείται. Έπειτα από την συσχέτιση των μετρήσεων με τις πληροφορίες που δίνονται στα ημερολόγια των κατοίκων, είναι ξεκάθαρη η επίδραση της εκάστοτε δραστηριότητας στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα της επόμενης ενότητας.
3. Επαναλαμβανόμενες δεκαπεντάλεπτες μετρήσεις που έλαβαν χώρα ενώ οι κάτοικοι βρίσκονταν σπίτι, χωρίς όμως να είναι ενεργή κάποια άλλη εσωτερική πηγή ρύπανσης τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό της κατοικίας. Οι μετρήσεις αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την εκτίμηση του λόγου I/O, της σχέσης δηλαδή μεταξύ της συγκέντρωσης των PM σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.
4. Μετρήσεις που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια κάποιας ρυπογόνου εσωτερικής δραστηριότητας. Μελετήθηκαν κυρίως το μαγείρεμα, το κάπνισμα και η χρήση της ηλεκτρικής σκούπας, καθώς αυτές είναι οι συνηθέστερες δραστηριότητες που έχει αποδειχθεί ότι παράγουν αιωρούμενα σωματίδια. Επίσης, έχουν ληφθεί δεδομένα και για δευτερεύουσες εσωτερικές πηγές που είναι δυνατόν να συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της συγκέντρωσης των PM₁₀.

5. Η τελευταία κατηγορία αφορά στις μετρήσεις που έγιναν σε εξωτερικούς χώρους και σε καφετέρια του προαστίου. Οι μετρήσεις αυτές αποτέλεσαν σημαντικά δεδομένα για την αποτίμηση της μέσης 24ωρης έκθεσης των κατοίκων του προαστίου.

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη κατοικιών:

ΚΑΤΟΙΚΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΟΙΚΩΝ	ΥΠΑΡΞΗ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ	ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ	ΟΡΟΦΟΣ
1	2	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΌΧΙ	3ΟΣ
2	3	ΌΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	2ΟΣ
3	1	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΝΑΙ	3ΟΣ
4	1	ΌΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	1ΟΣ
5	3	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΝΑΙ	4ΟΣ
6	2	ΝΑΙ	ΌΧΙ	ΝΑΙ	1ΟΣ
7	4	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΝΑΙ	1ΟΣ
8	1	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΝΑΙ	4ΟΣ

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά των υπό μελέτη σπιτιών.

3.3.2. ΜΕΣΕΣ 24ΩΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

ΚΑΤΟΙΚΙΑ	ΜΕΣΕΣ 24ΩΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (μg/m³)
Α) ΑΠΟΥΣΙΑ ΚΑΤΟΙΚΩΝ	
1	49
1*	90
4	22
Β) ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΑΤΟΙΚΩΝ- ΑΝΕΝΕΡΓΕΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	
1*	53
2	33
2	26
2	28
2	20
2	26
3	23
3	27
3	35
5	26
7	23
8	17
Γ) ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΑΤΟΙΚΩΝ- ΕΝΕΡΓΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	
2	60
2	113
4	65
6	79

Πίνακας 3.3: Μέσες 24ωρες μετρήσεις.

**Η κατοικία δεν έχει καθαριστεί.*

3.3.3. ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΩΡΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ (μg/m ³)	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ (μg/m ³)	I/O
16	14	1,1
13	14	0,9
10	10	1,0
69	68	1,0
26	30	0,9
26	32	0,8
32	32	1,0
31	26	1,2
21	26	0,8
21	23	0,9
97	96	1,0
95	96	1,0
37	32	1,2
25	36	0,7
23	36	0,6
23	36	0,6
22	43	0,5
23	43	0,5
31	42	0,7
13	18	0,7
14	18	0,8
15	18	0,8
16	18	0,9
16	18	0,9
11	18	0,6
90	110	0,8

Πίνακας 3.4: Μεμονωμένες μετρήσεις χωρίς δραστηριότητα, παρουσία κατοίκων. Ο χρόνος αναφοράς είναι 15min. Ο μέσος όρος των λόγων I/O είναι 0,86.

3.3.4. ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Α) ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ

ΚΑΤΟΙΚΙΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ (μg/m ³)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ (μg/m ³)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (min)
1	19	80	60
2	29	258	90
2	29	203	90
2*	64	5040	120
2**	24	41	90
2**	23	32	60
2	31	275	60
4	55	378	120

Πίνακας 3.5: Μεμονωμένες μετρήσεις κατά τη διάρκεια μαγειρέματος.

*Η μέτρηση αυτή αναφέρεται στην ειδική περίπτωση τηγανίσματος με αλεύρι.

** Οι μετρήσεις αυτές αναφέρονται σε απλό βράσιμο μικρής διάρκειας.

Β) ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΚΟΥΠΑ

ΚΑΤΟΙΚΙΑ	ΧΩΡΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ (μg/m ³)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ (μg/m ³)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (min)
1	ΣΑΛΟΝΙ	171	179	5
1	ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ	130	131	3
1	ΚΟΥΖΙΝΑ	111	112	3
2	ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ	21	197	2
2	ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ	30	31	15
3	ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ	82	101	5
3	ΚΟΥΖΙΝΑ	86	96	5
3	ΣΑΛΟΝΙ	87	109	5

Πίνακας 3.6: Μεμονωμένες μετρήσεις κατά τη διάρκεια ηλεκτρικής σκούπας.

Γ) ΛΟΙΠΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΚΑΤΟΙΚΙΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ (μg/m ³)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ (μg/m ³)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (min)
ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑ ΠΛΥΝΤΗΡΙΟΥ	1	53	158	5
ΞΕΣΚΟΝΙΣΜΑ ΜΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΑΝΑΚΙΑ	3	54	56	5
ΞΕΣΚΟΝΙΣΜΑ ΜΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΑΝΑΚΙΑ	3	54	63	5
ΧΡΗΣΗ ΚΑΘΑΡΙΣΤΙΚΟΥ ΑΛΑΤΩΝ	3	39	42	5
ΧΡΗΣΗ ΣΠΡΕΪ (ΛΑΚ)	4	201	215	8
ΧΡΗΣΗ ΣΠΡΕΪ (ΛΑΚ)*	4	94	95	8
ΧΡΗΣΗ ΣΠΡΕΪ (ΛΑΚ)	4	114	139	8

Πίνακας 3.7: Μεμονωμένες μετρήσεις κατά τη διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων.

*σε συνθήκες μέγιστου αερισμού.

3.3.5. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

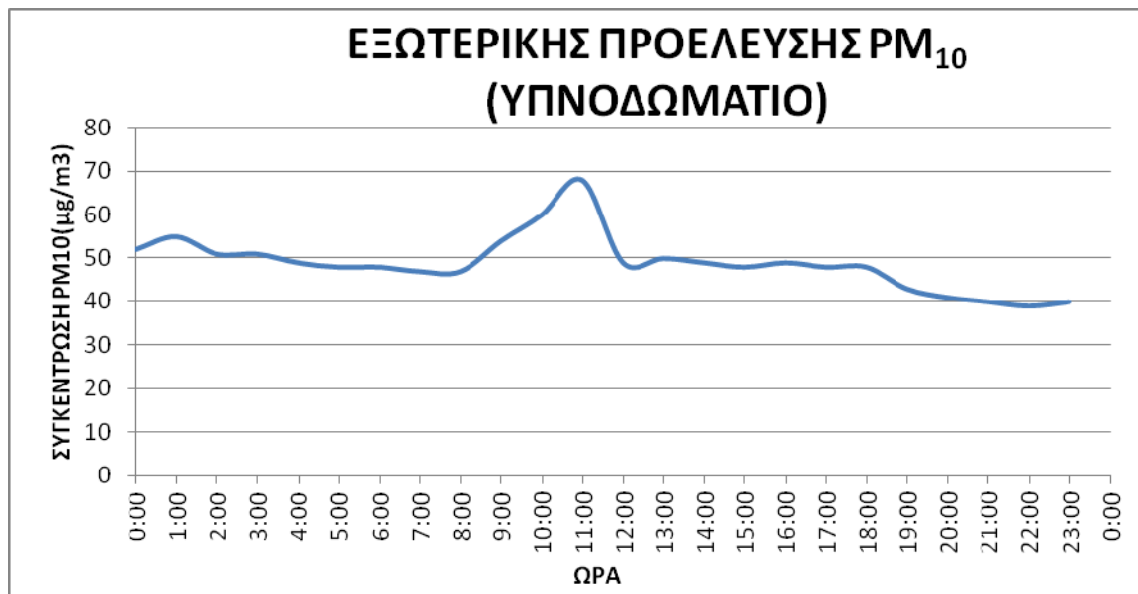
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΧΩΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM₁₀ (μg/m³)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (min)
20/7/2011	21:30	ΠΛΑΤΕΙΑ	76	10
20/7/2011	20:00	ΣΤΕΝΟΣ ΔΡΟΜΟΣ	39	10
22/7/2011	19:00	ΔΡΟΜΟΣ	23	10
28/7/2011	22:00	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΟΔΙΚΗ ΑΡΤΗΡΙΑ	31	10
20/10/2011	15:00	ΠΛΑΤΕΙΑ	25	5
21/10/2011	15:00	ΠΛΑΤΕΙΑ	23	5
22/10/2011	15:30	ΠΛΑΤΕΙΑ	52	5
22/10/2011	16:00	ΔΡΟΜΟΣ	23	5
22/10/2011	16:30	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΟΔΙΚΗ ΑΡΤΗΡΙΑ	26	5
23/10/2011	15:00	ΚΑΦΕΤΕΡΙΑ	162	15
31/10/2011	16:00	ΚΑΦΕΤΕΡΙΑ	303	15

Πίνακας 3.8: Ενδεικτικές Εξωτερικές μετρήσεις στην περιοχή της Νέας Σμύρνης.

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

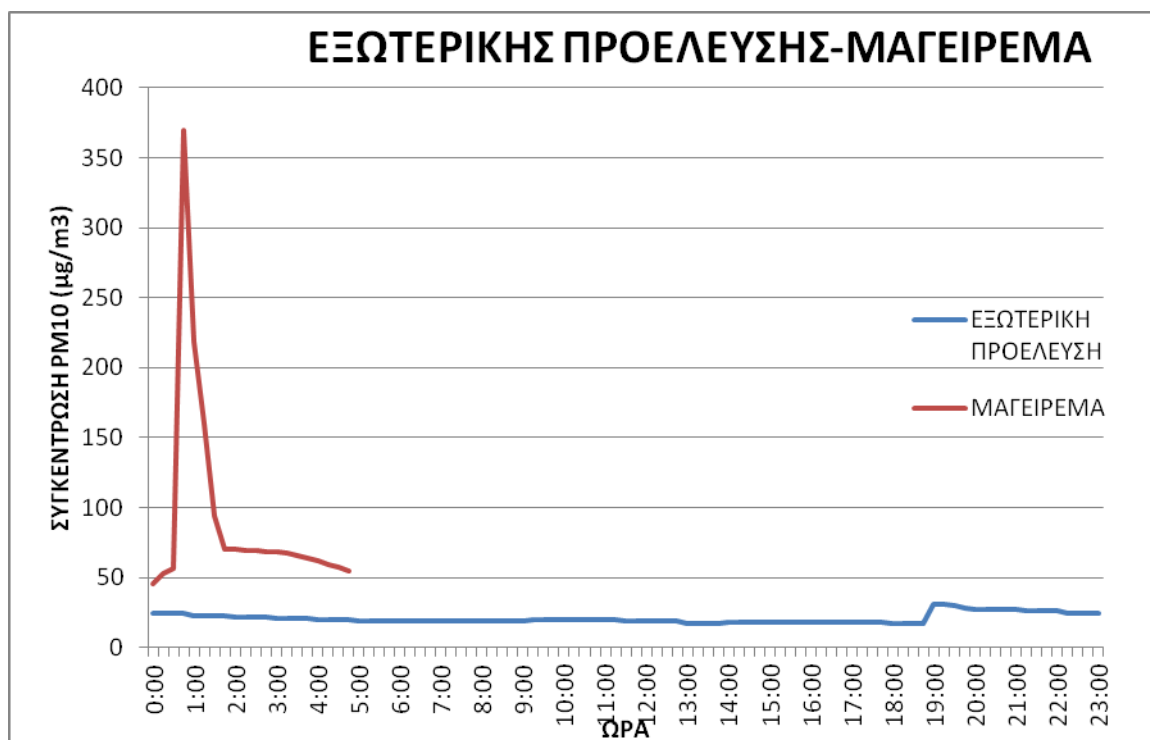
Αξιοποιώντας τις 24ωρες μετρήσεις που έχουν ληφθεί απουσία κατοίκων μπορεί να αποτιμηθεί η συμβολή των αιωρούμενων σωματιδίων που εισέρχονται στο σπίτι από το εξωτερικό περιβάλλον στην συνολική συγκέντρωση PM_{10} εντός των διαμερισμάτων. Πιο συγκεκριμένα κατά την μακροχρόνια απουσία των κατοίκων από το σπίτι υπάρχει και απουσία ενεργών εσωτερικών πηγών αιωρούμενων σωματιδίων και κατά συνέπεια τα σωματίδια που μετρήθηκαν σε αυτό το διάστημα αντανακλούν σε μέγιστο ποσοστό (μέση τιμή 94%) τα σωματίδια εξωτερικής προέλευσης (Διαπούλη, 2008). Η διακύμανση των συγκεντρώσεων στο εσωτερικό των χώρων αντικατοπτρίζει αυτήν του εξωτερικού περιβάλλοντος στις διάφορες φάσεις της ημέρας. Το παραπάνω στοιχείο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό δεδομένο για επόμενες επιδημιολογικές μελέτες καθώς το είδος και η σοβαρότητα των επιπτώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων που παράγονται από εσωτερικές πηγές διαφέρει σημαντικά από αυτήν των σωματιδίων που παράγονται στο εξωτερικό περιβάλλον.

Στο Διαγράμματα 4.1 παρατίθεται ενδεικτικά η διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} στο υπνοδωμάτιο της κατοικίας 1 κατά τη διάρκεια ενός 24ωρου, απουσία κατοίκων. Ο μέσος όρος των μετρήσεων κατά το συγκεκριμένο 24ωρο είναι $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Διάγραμμα 4.1 :24ωρη διακύμανση συγκεντρώσεων των PM_{10} , στην κατοικία 1.

Στο διάγραμμα 4.2 φαίνεται η 24ωρη διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} στην κατοικία 4. Ο μέσος όρος των μετρήσεων την συγκεκριμένη μέρα ανέρχεται στα $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Έχει παρατεθεί μια ακόμη καμπύλη που αφορά σε μαγειρική δραστηριότητα στον ίδιο χώρο. Η μέτρηση αυτή προέρχεται από τις μεμονωμένες μετρήσεις που αναφέρονται στην κατοικία 4. Παρατηρείται ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα αυξάνει την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο χώρο. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι το μαγείρεμα διήρκησε μια ώρα, χρειάζονται τέσσερις ακόμη ώρες ώστε να επανέλθει η συγκέντρωση των PM_{10} στην τιμή που είχε πριν από την έναρξή του.



Διάγραμμα 4.2 :24ωρη διακύμανση συγκεντρώσεων των PM_{10} στην κατοικία 4. Σύγκριση με δραστηριότητα.

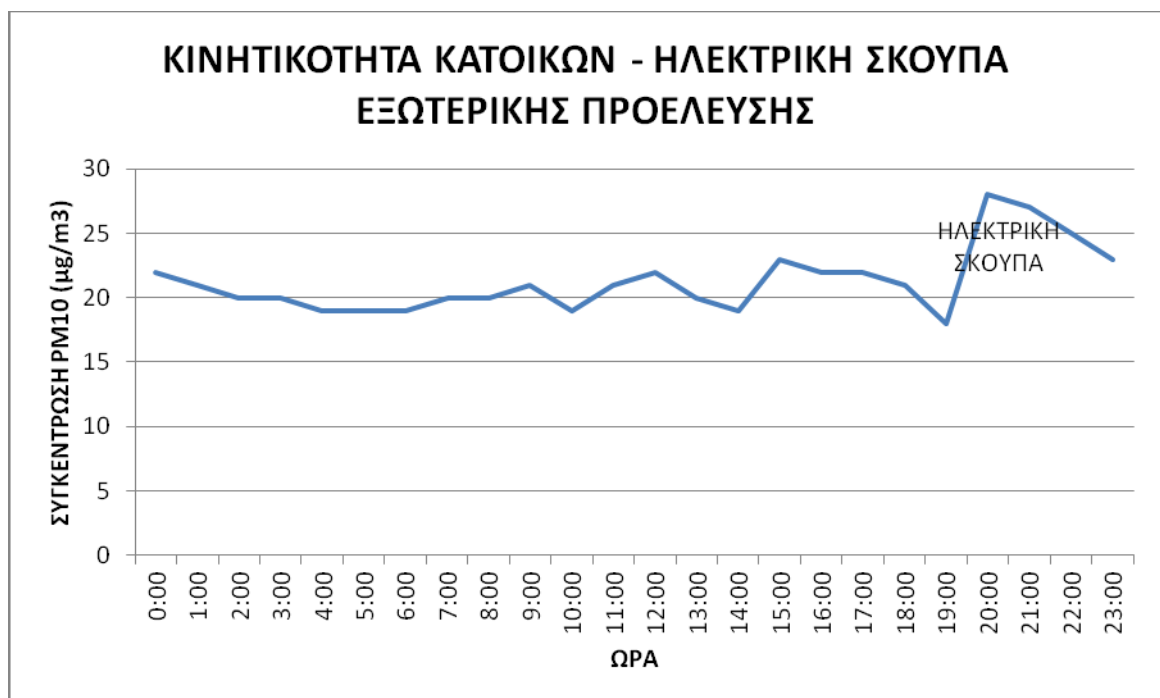
Στα διαγράμματα 4.3 έως 4.5 φαίνεται η 24ωρη διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} παρουσία κατοίκων. Κάθε καμπύλη είναι αποτέλεσμα της εισόδου των αιωρούμενων σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον, της κινητικότητας των κατοίκων και της δράσης της εκάστοτε εσωτερικής πηγής PM. Παρατηρείται, όπως ήταν αναμενόμενο, μείωση της συγκέντρωσης των σωματιδίων τις ώρες που οι κάτοικοι κοιμούνται ή απουσιάζουν από το σπίτι και αύξηση των αντίστοιχων τιμών κατά την διάρκεια κάποιας δραστηριότητας.



Διάγραμμα 4.3 :Ενδεικτική 24ωρη διακύμανση συγκεντρώσεων των PM_{10} στην κατοικία 5. Ο μέσος όρων των μετρήσεων είναι $26 \mu g/m^3$.

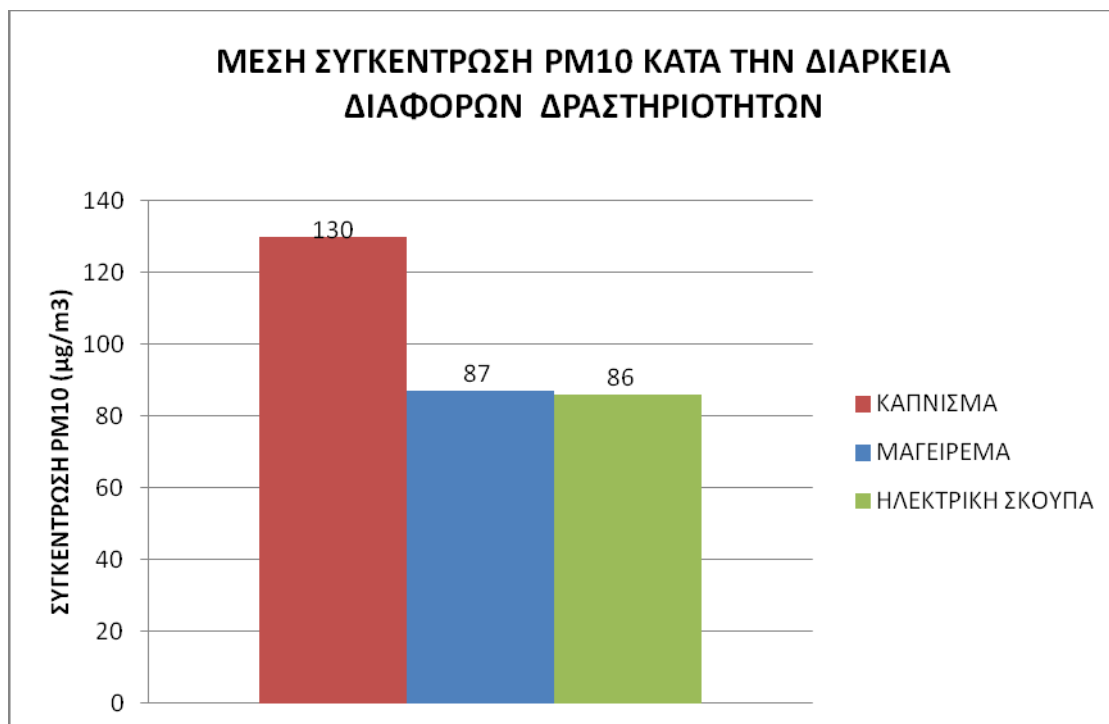


Διάγραμμα 4.4 : Ενδεικτική 24ωρη διακύμανση συγκεντρώσεων των PM_{10} , στην κατοικία 6. Ο μέσος όρος των μετρήσεων είναι $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Διάγραμμα 4.5 : Ενδεικτική 24ωρη διακύμανση συγκεντρώσεων των PM_{10} , στο στην κατοικία 7. Ο μέσος όρος των μετρήσεων είναι $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η μέση συγκέντρωση PM_{10} κατά την διάρκεια της εκάστοτε δραστηριότητας, έτσι όπως έχει προκύψει από τις μετρήσεις της 4^{ης} κατηγορίας, αλλά και από την απομόνωση των αντίστοιχων δεδομένων κατά τις 24ωρες παρακολουθήσεις των κατοικιών.



Διάγραμμα 4.6: Ενδεικτική μέση συγκέντρωση PM_{10} κατά τη διάρκεια καπνίσματος, μαγειρέματος και χρήσης ηλεκτρικής σκούπας στους χώρους που πραγματοποιήθηκαν οι δραστηριότητες.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

5.1. ΑΠΟΥΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ

5.1.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ

Προβλέψεις των εσωτερικών συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων προκύπτουν από το παρακάτω μοντέλο δυναμικής εκτίμησης:

$$\frac{dC_{in}(t)}{dt} = \alpha \cdot P \cdot C_{out}(t) - (\alpha + k) \cdot C_{in}(t) + \frac{Q_{is}}{V} \Rightarrow \quad (5.1)$$

$$C_{in}(t) = \frac{\alpha \cdot P \cdot C_{out}(t)}{k + \alpha} \cdot (1 - e^{-(k+\alpha) \cdot \Delta t}) + C_{in}(t + \Delta t) \cdot e^{-(k+\alpha) \cdot \Delta t} + C_{ig}$$

όπου: C_{in} : εσωτερική συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_{out} : εξωτερική συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_{ig} : συγκέντρωση από εσωτερικές πηγές ρύπανσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

α : ρυθμός εξαερισμού (hr^{-1})

P : ικανότητα διείσδυσης μικροσωματιδίων

k : ρυθμός εναπόθεσης (hr^{-1})

$$F_{inf} = (\alpha \cdot P) / (k + \alpha)$$

Κατά την πρώτη εφαρμογή του μοντέλου για κάθε χρονοσειρά ως αρχική συγκέντρωση θεωρείται αυτή που επικρατεί στον εξωτερικό χώρο του σπιτιού, σύμφωνα με τις αντίστοιχες μετρήσεις.

Στις παραμέτρους α , P και k και V δίνονται οι τιμές που έχουν προκύψει από πρόσφατη έρευνα στην περιοχή των Αθηνών (Διαπούλη, 2008), όπως καταγράφονται στους Πίνακες 5.1 και 5.2:

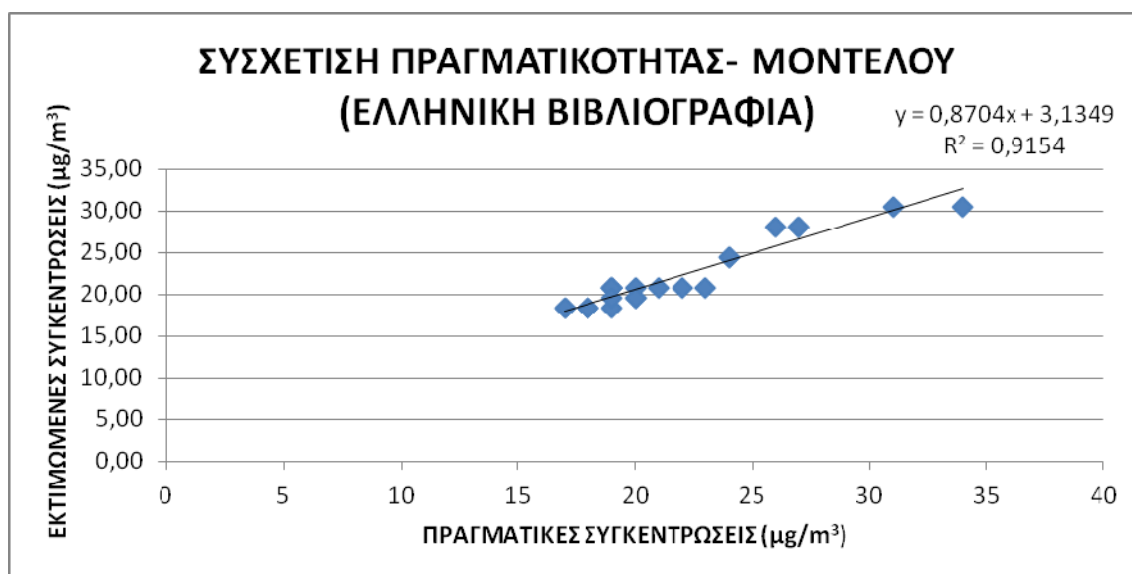
Παράμετροι εξαερισμού	Ελληνική Βιβλιογραφία (Διαπούλη, 2008)	Διεθνής Βιβλιογραφία (Ozkaynak, 1996)
Ρυθμός εξαερισμού (α)	1,19 hr^{-1}	0,7 hr^{-1}
Ικανότητα διείσδυσης (P)	0,76	0,79 (Κουτράκης, 1992)
Ρυθμός εναπόθεσης (k)	0,29 hr^{-1}	0,65

Πίνακας 5.1: Τιμές Παραμέτρων Εξαερισμού

ΧΩΡΟΣ	ΟΓΚΟΣ (m ³)
ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ	30
ΚΟΥΖΙΝΑ	30
ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ	50
ΓΡΑΦΕΙΟ	50

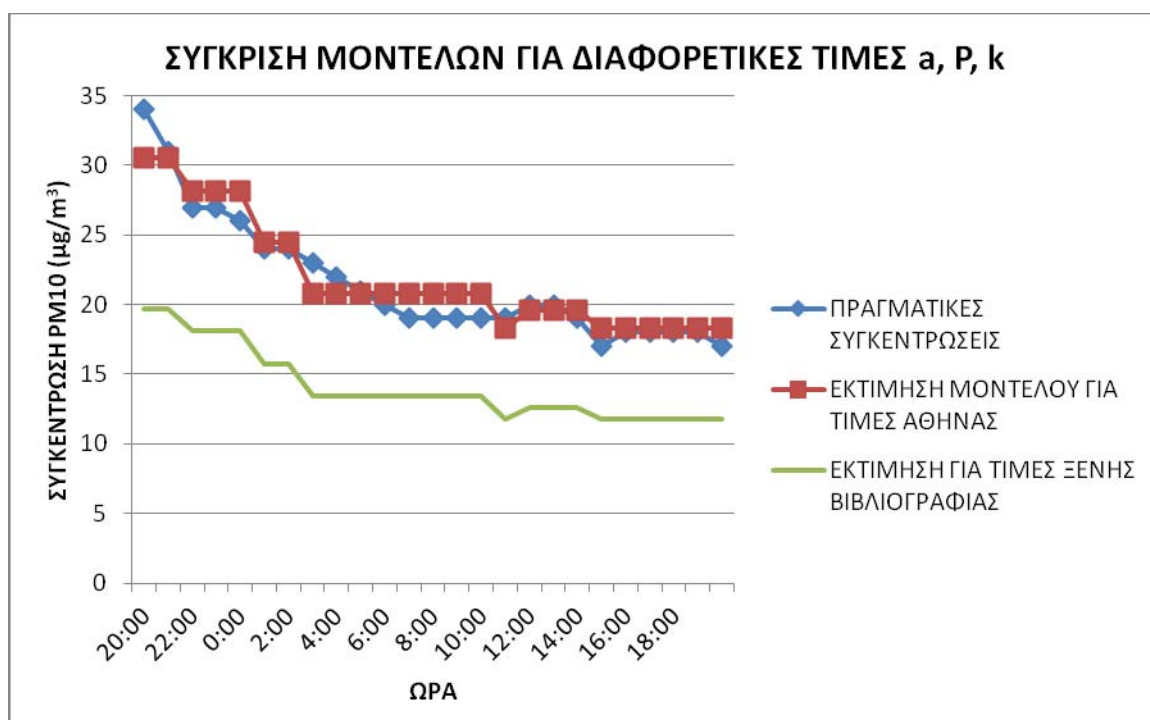
Πίνακας 5.2: Όγκοι δωματίων που χρησιμοποιήθηκαν στο Μοντέλο Δυναμικής Εκτίμησης.

Στο διάγραμμα 5.1 φαίνεται ενδεικτικά η σχέση των εκτιμώμενων με τις πραγματικές τιμές για ένα 24ωρο στην κατοικία 4. Κατά την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι εξαερισμού οι τιμές που αναγράφονται στην δεύτερη στήλη του Πίνακα 5.1.



Διάγραμμα 5.1: Συσχέτιση εκτιμώμενων συγκεντρώσεων με τις πραγματικές σε ενδεικτικό 24ωρο χωρίς ενεργές εσωτερικές πηγές. Χρήση τιμών παραμέτρου εξαερισμού ελληνικής βιβλιογραφίας.

Στο Διάγραμμα 5.2, απεικονίζεται ενδεικτικά η 24ωρη διακύμανση των PM_{10} στην κατοικία 4. Παρατίθεται μια καμπύλη που αντιστοιχεί σε πραγματικές μετρήσεις, μια με τις εκτιμήσεις του μοντέλου με χρήση των τιμών των παραμέτρων εξαερισμού που έχουν προκύψει από την έρευνα στην Αθήνα, και μια για τις εκτιμήσεις που προκύπτουν εφαρμόζοντας το μοντέλο με τις τιμές των παραμέτρων που προτείνονται από την μελέτη των Ozkaynak et al. Το μοντέλο δεν είναι εξίσου ικανοποιητικό αν εισάγουμε στις παραμέτρους τις τιμές της Διεθνούς Βιβλιογραφίας, καθώς παρατηρείται διαρκής υποεκτίμηση των συγκεντρώσεων σε σχέση με τις πραγματικές. Η πραγματική μέση 24ωρη συγκέντρωση είναι $21,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η εξίσωση για τις τιμές της ελληνικής βιβλιογραφίας εκτιμά ότι η μέση 24ωρη συγκέντρωση είναι $22\mu\text{g}/\text{m}^3$ έχοντας απόκλιση 2%. Με χρήση των τιμών της ξένης βιβλιογραφίας εκτιμάται ότι η μέση 24ωρη συγκέντρωση είναι $14,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ έχοντας απόκλιση 34%.



Διάγραμμα 5.2: Αξιολόγηση του Μοντέλου για τιμές παραμέτρων εξαερισμού ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας.

5.1.2. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕΣΗΣ 24ΩΡΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ PM₁₀ ΓΙΑ 24ΩΡΗ ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η ολική προσωπική έκθεση (E) ενός υποκειμένου κατά την χρονική περίοδο T ισούται με

$$E = \frac{1}{T} \cdot \sum_j \int C_j \cdot dt_j \quad (5.2)$$

όπου: C_j η χρονικά μεταβαλλόμενη συγκέντρωση στο μικρο-περιβάλλον j και t_j ο χρόνος παραμονής στο εν λόγω μικρο-περιβάλλον.

Στην παρούσα ενότητα θα εξεταστούν οι χρονοσειρές της πρώτης κατηγορίας μετρήσεων οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνουν καμία δραστηριότητα. Εφαρμόζοντας το μοντέλο 5.2 για την κατοικία 4, όπου ακολουθείται συστηματικό πρόγραμμα καθαρισμού, η μέση 24ωρη έκθεση ενός ατόμου που είναι όλες τις ώρες εντός σπιτιού χωρίς εσωτερικές πηγές PM₁₀ υπολογίζεται ίση με 21,56 μg/m³. Η αντίστοιχη τιμή για το Σπίτι 1, σε ένα 24ωρο όπου δεν έχει προηγηθεί καθαρισμός είναι 90,18 μg/m³.

5.2 ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΗΓΗ

5.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΥΘΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Οι ρυθμοί εκπομπής των σωματιδίων από τις εσωτερικές πηγές ρύπανσης υπολογίστηκαν για κάθε μέτρηση ξεχωριστά από την σχέση:

$$\overline{Q_s} = V \times \left[\frac{C_{int} - C_{in0}}{\Delta T} + (\alpha + \kappa) \times \overline{C_{in}} - \alpha \times C_{in0} \right]; \quad (\text{He, 2004}) \quad (5.3)$$

Όπου V: ο όγκος του χώρου στον οποίο λειτουργεί η πηγή των σωματιδίων (50m³)

C_{int}: η μέγιστη συγκέντρωση των σωματιδίων κατά την μέτρηση

C_{in0}: η αρχική συγκέντρωση των σωματιδίων κατά την μέτρηση

α: μέσος ρυθμός εξαερισμού (hr⁻¹)

κ: ρυθμός εναπόθεσης (hr⁻¹)

Πιο συγκεκριμένα, εξήχθησαν αποτελέσματα για το μαγείρεμα, το κάπνισμα και τη χρήση της ηλεκτρικής σκούπας.

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές των Πινάκων 3.5 και 3.6. Επίσης ελήφθησαν υπόψη τα δεδομένα των 24ωρων μετρήσεων που αφορούν στις εξεταζόμενες δραστηριότητες.

Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα όπου και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας.

ΜΕΣΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ PM ₁₀ (mg/min)	ΠΗΓΗ		
	ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ	ΚΑΠΝΙΣΜΑ	ΗΛ. ΣΚΟΥΠΑ
Παρούσα Εργασία	1,35	1,5	2,33
Wallace (1996)	1,5-4,9		
Klepis (1999)		0,98-1,9	
Brauner		1,67	

Πίνακας 5.3: Ρυθμοί εκπομπής PM 10 από διάφορες πηγές.
Σύγκριση με βιβλιογραφικές τιμές.

5.2.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕΣΗΣ 24ΩΡΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ PM₁₀ ΓΙΑ 24ΩΡΗ ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στην ενότητα αυτή υπολογίζεται η μέση 24ωρη έκθεση των κατοίκων σε PM₁₀ στην περίπτωση που για όλο το διάστημα της ημέρας παραμένουν σε ένα σπίτι όπου τελούνται οι συνήθειες δραστηριότητες.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων λαμβάνονται υπόψη οι μετρήσεις της δεύτερης κατηγορίας που αφορούν 24ωρες παρακολουθήσεις χώρων παρουσία κατοίκων.

Οι υπολογισμοί βασίστηκαν στην σχέση 5.2 : $E = \frac{1}{T} \cdot \sum_j \int C_j \cdot dt_j$

Έχοντας δεδομένα για την διακύμανση της συγκέντρωσης των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της κάθε δραστηριότητας υπολογίζεται η συνεισφορά της κάθε πηγής στην μέση 24ωρη έκθεση, όπως φαίνεται στις στήλες 3-6 του Πίνακα 5.4.

Η δεύτερη στήλη του Πίνακα προκύπτει από την εφαρμογή του μοντέλου 5.2 για κάθε χρονικό διάστημα που δεν είναι ενεργή καμία εσωτερική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Ο τύπος εφαρμόστηκε με ωριαίο βήμα, σύμφωνα με τις μετρήσεις της δεύτερης κατηγορίας.

Η μέση έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια για 24ωρη παραμονή εντός της οικίας για κάθε εξεταζόμενη οικία ξεχωριστά υπολογίζεται στην τελευταία στήλη:

μg/m ³	Εχωρίς πηγή	Εμαγείρεμα	Εκάπνισμα	Εηλ.σκούπα	Ελουπά	Ε
Κατοικία 1	51,51	0	0	1,45	0	53
Κατοικία 2	27,65	16,3	0	0,14	0	44,1
Κατοικία 3	26,56	0	0	1,26	0,5	28,5
Κατοικία 4	31,13	30,7	0,9	0	2,5	64,3
Κατοικία 5	26	0	0	0	0	26
Κατοικία 6	50,42	0	29,2	0	0	79,6
Κατοικία 7	21,23	0	0	2,1	0	23,3
Κατοικία 8	17	0	0	0	0	17

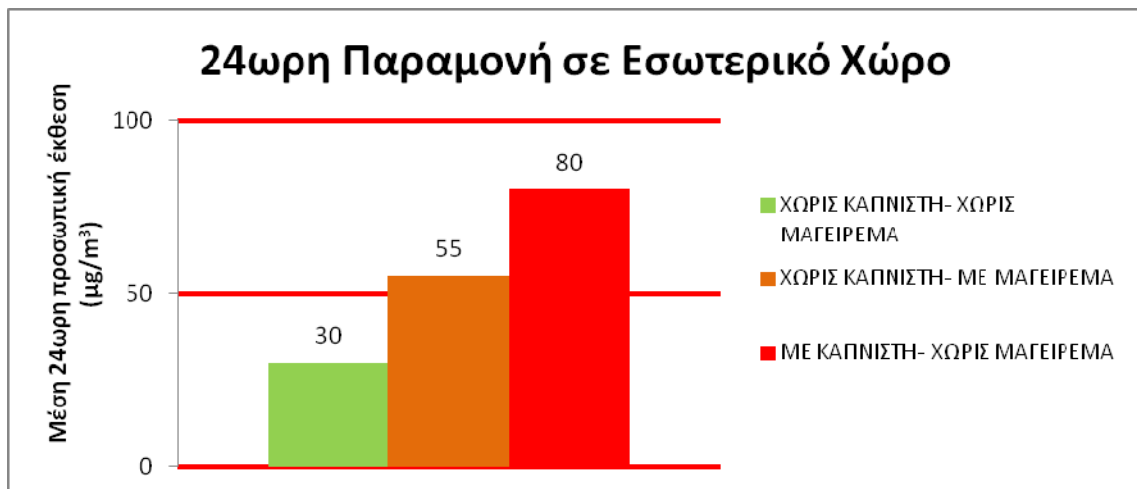
Πίνακας 5.4: Υπολογισμός της μέσης έκθεσης σε PM₁₀ για 24ωρη παραμονή σε κάθε εξεταζόμενη κατοικία.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ομαδοποιημένα παρακάτω, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	Ε(μg/m ³)
ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ ΧΩΡΙΣ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ	29,5
ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ ΜΕ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ	54,5
ΜΕ ΚΑΠΝΙΣΤΗ ΧΩΡΙΣ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ	79,6

Πίνακας 5.5: Μέση 24ωρη προσωπική έκθεση σε PM₁₀ για 24ωρη παραμονή σε εσωτερικό χώρο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κατοικίας.

Παρατηρείται ότι το μαγείρεμα αυξάνει την ολική προσωπική έκθεση σε PM₁₀ κατά 84,5%, ξεπερνώντας το όριο της Ε.Ε. Το κάπνισμα την αυξάνει κατά 169%, υπερβαίνοντας κατά πολύ την οριακή τιμή των 50μg/m³.

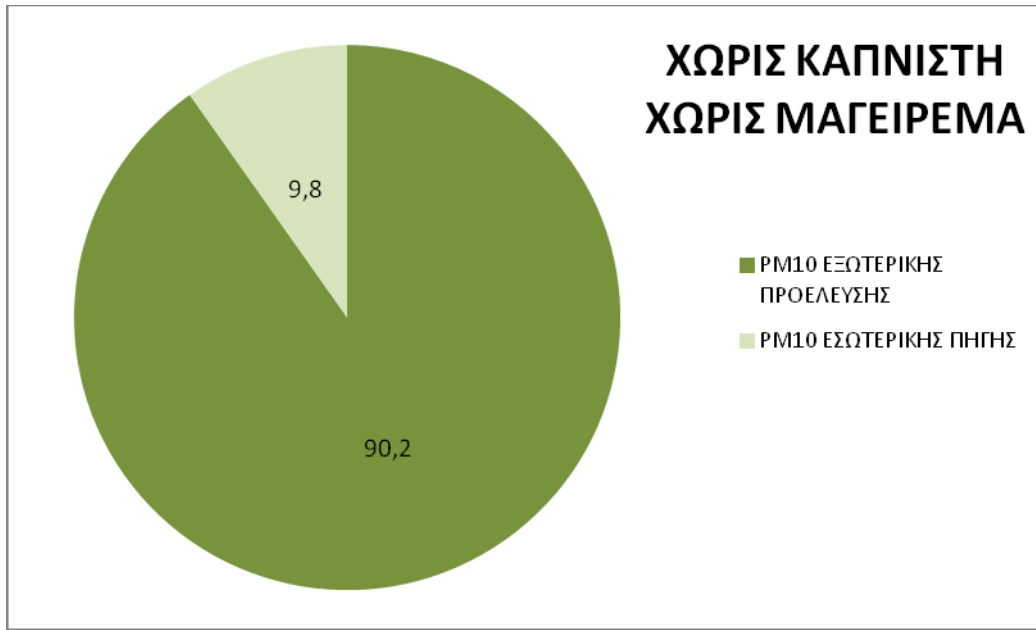


Διάγραμμα 5.3: Μέση 24ωρη έκθεση σε PM₁₀, για 24ωρη παραμονή σε εσωτερικό χώρο, ανάλογα με τις δραστηριότητες που τελούνται.

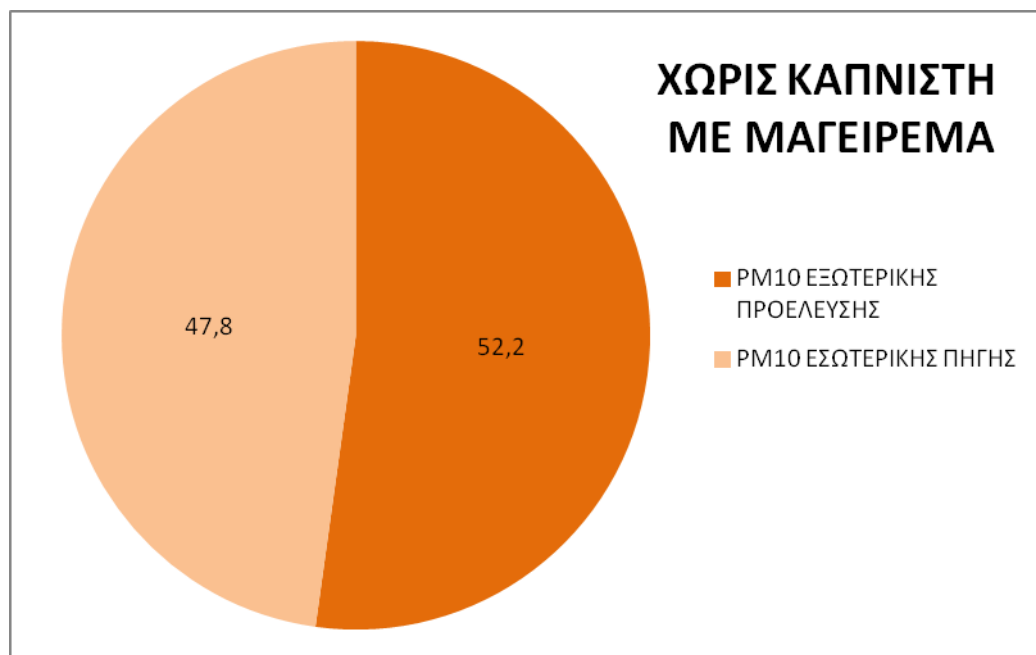
Στην περίπτωση ενός σπιτιού χωρίς ενεργές εσωτερικές πηγές το 94% των αιωρούμενων σωματιδίων που καταγράφονται είναι εξωτερικής προέλευσης (Διαπούλη, 2008). Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στο 94% της δεύτερης στήλης του Πίνακα 5.4. Κάνοντας αναγωγή % στην μέση 24ωρη έκθεση και ομαδοποιώντας τα σπίτια ανά κατηγορία προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	%ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΡΜ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΤΗΝ Ε	%ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ ΣΤΗΝ Ε (ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΚΟΥΠΑ, ΚΑΠΝΙΣΜΑ, ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ, ΛΟΙΠΑ)
ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ ΧΩΡΙΣ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ	90,2	9,8
ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ ΜΕ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ	52,2	47,8

Πίνακας 5.6.: Η επί τοις εκατό συνεισφορά των PM_{10} εξωτερικής και εσωτερικής προέλευσης στην μέση 24ωρη προσωπική έκθεση υπό την υπόθεση ότι το υποκείμενο κινείται μόνον εντός της κατοικίας.



Διάγραμμα 5.4: Η επί τοις εκατό συνεισφορά της κάθε πηγής PM₁₀ στην μέση 24ωρη προσωπική έκθεση υπό την υπόθεση ότι το υποκείμενο κινείται μόνον εντός κατοικίας όπου δεν τελείται ούτε μαγείρεμα ούτε κάπνισμα.



Διάγραμμα 5.5: Η επί τοις εκατό συνεισφορά της κάθε πηγής PM₁₀ στην μέση 24ωρη προσωπική έκθεση υπό την υπόθεση ότι το υποκείμενο κινείται μόνον εντός κατοικίας όπου τελείται μαγείρεμα αλλά όχι κάπνισμα.

5.2.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ PM₁₀ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΟΜΑΔΑ ΤΩΝ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΩΝ

Στην παρούσα ενότητα επιχειρείται η εκτίμηση της ολικής προσωπικής έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια για τους ηλικιωμένους κατοίκους του προαστίου την Αθήνας ανάλογα με την 24ωρη χωροχρονική κατανομή των δραστηριοτήτων τους. Η επιλογή της συγκεκριμένης πληθυσμιακής ομάδας έγινε με δεδομένη την μειωμένη κινητικότητά της σε πολλούς και διαφορετικούς χώρους κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συνεπώς, έχοντας συλλέξει δεδομένα για την πραγματική συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε όλους τους χώρους όπου βρίσκεται στην πλειοψηφία του χρόνου της μπορούμε να εξάγουμε αρκετά ακριβή αποτελέσματα.

Λαμβάνονται, λοιπόν, δυο σενάρια:

- Το πρώτο αφορά στις ημέρες όπου το ημερήσιο πρόγραμμα περιλαμβάνει μια ώρα έκθεσης σε ρύπους του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ο χρόνος αυτός μπορεί να προέρχεται από μια σύντομη έξοδο από το σπίτι για περπάτημα ή ακόμη και από την παραμονή στο μπαλκόνι. Οι υπόλοιπες 23 ώρες θεωρείται ότι καταναλώνονται εντός της οικίας. Έπειτα από επεξεργασία των μετρήσεων του Πίνακα 3.8 προκύπτει ότι η μέση εξωτερική συγκέντρωση των PM₁₀ στην περιοχή ανέρχεται στα 35 μg/m³.
- Το δεύτερο σενάριο αφορά στις ημέρες όπου πραγματοποιείται και δίωρη παραμονή σε κάποιο χώρο διασκέδασης. Η μέση συγκέντρωση αυτών των χώρων προέκυψε έπειτα από επεξεργασία των μετρήσεων που έγιναν σε καφετέριες της περιοχής ίση με 233 μg/m³. Από τον υπόλοιπο χρόνο της ημέρας καταναλώνεται μια ώρα σε εξωτερικό χώρο και 21 ώρες σε οικιακό.

Η συνεισφορά του κάθε μικροπεριβάλλοντος στην ολική προσωπική έκθεση προκύπτει και πάλι από την σχέση 5.2. Τα δεδομένα για την μέση 24ωρη έκθεση εντός της κατοικίας ελήφθησαν από τον Πίνακα 5.5. Εντός της κατοικίας θεωρείται ότι δεν υπάρχει συστηματική μαγειρική δραστηριότητα.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά παρακάτω:

ΣΕΝΑΡΙΟ 1: 23h κατοικία , 1h εξωτερικός χώρος

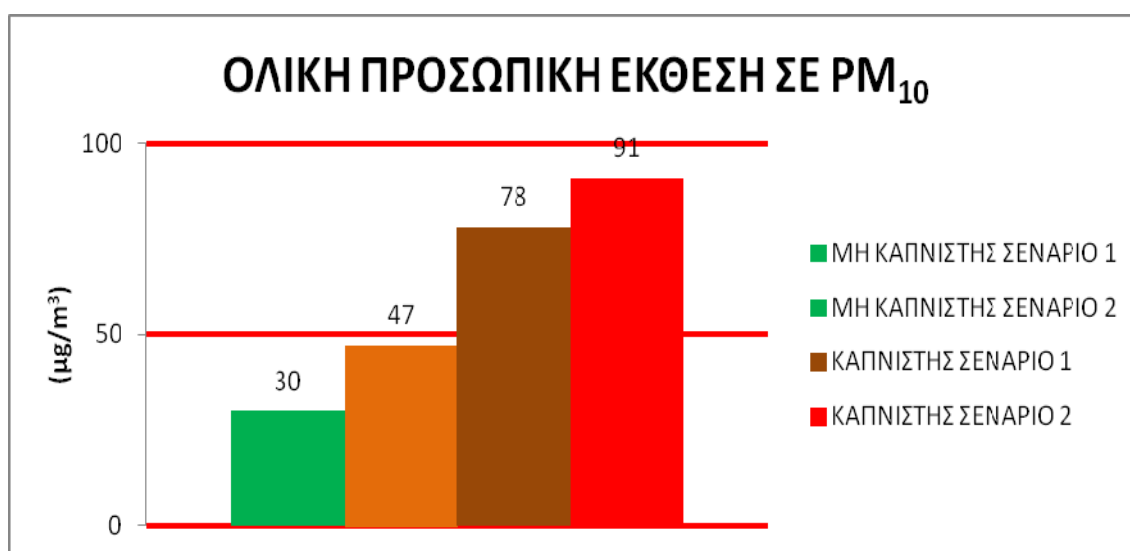
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (1h)	ΚΑΤΟΙΚΙΑ(23h)		ΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ	
	ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ
Eout(μg/m ³)	Ein(μg/m ³)	Ein(μg/m ³)	E(μg/m ³)	E(μg/m ³)
1	29	77	30	78

Πίνακας 5.7: Υπολογισμός Ολικής Προσωπικής Έκθεσης σε Αιωρούμενα Σωματίδια Ηλικιωμένων σε προάστιο της Αθήνας κατά το Σενάριο 1.

Σενάριο 2 : 21h κατοικία, 1h εξωτερικός χώρος, 2h διασκέδαση

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (1h)	ΚΑΤΟΙΚΙΑ(21h)		ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΗ (2h)	ΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ	
	ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ		ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ
Eout(μg/m ³)	Ein(μg/m ³)	Ein(μg/m ³)	Een(μg/m ³)	E(μg/m ³)	E(μg/m ³)
1	26	70	19	47	91

Πίνακας 5.8: Υπολογισμός Ολικής Προσωπικής Έκθεσης σε Αιωρούμενα Σωματίδια Ηλικιωμένων σε προάστιο της Αθήνας κατά το Σενάριο 2.



Διάγραμμα 5.6: Ολική προσωπική έκθεση των ηλικιωμένων σε PM₁₀, σύμφωνα με τα δυο σενάρια.

Η συνεισφορά % του κάθε μικροπεριβάλλοντος στη μέση 24-ωρη έκθεση σε PM₁₀ για την υποομάδα των συνταξιούχων- κατοίκων του προαστίου προκύπτει με αναγωγή % των παραπάνω αποτελεσμάτων:

ΣΕΝΑΡΙΟ1 : 23h κατοικία , 1h εξωτερικός χώρος			
ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ %		ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ %	
ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ
4,9	1,9	95,1	98,1

Πίνακας 5.9: Η επί τοις εκατό συνεισφορά του κάθε μικροπεριβάλλοντος στην μέση 24ωρη έκθεση σε PM₁₀, σύμφωνα με το Σενάριο 1.



Διάγραμμα 5.7: Η επί τοις εκατό συνεισφορά του κάθε μικροπεριβάλλοντος στην μέση 24ωρη έκθεση σε PM₁₀, σύμφωνα με το Σενάριο 1 για τους κατοίκους που δεν εκτίθενται σε καπνό στην κατοικία τους.



Διάγραμμα 5.8: Η επί τοις εκατό συνεισφορά του κάθε μικροπεριβάλλοντος στην μέση 24ωρη έκθεση σε PM₁₀, σύμφωνα με το Σενάριο 1 για τους κατοίκους που εκτίθενται σε καπνό στην κατοικία τους.

Σενάριο 2 : 21h κατοικία, 1h εξωτερικός χώρος, 2h διασκέδαση

ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ %		ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ %		ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΧΩΡΟΥ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΗΣ %	
ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΧΩΡΙΣ ΚΑΠΝΙΣΤΗ	ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΠΝΙΣΤΗ
3,1	1,6	55,7	77,1	41,1	21,3

Πίνακας 5.10: Η επί τοις εκατό συνεισφορά του κάθε μικροπεριβάλλοντος στην μέση 24ωρη έκθεση σε PM_{10} , σύμφωνα με το Σενάριο 2.



Διάγραμμα 5.9: Η επί τοις εκατό συνεισφορά του κάθε μικροπεριβάλλοντος στην μέση 24ωρη έκθεση σε PM_{10} , σύμφωνα με το Σενάριο 2 για τους κατοίκους που δεν εκτίθενται σε καπνό στην κατοικία τους.



Διάγραμμα 5.10: Η επί τοις εκατό συνεισφορά του κάθε μικροπεριβάλλοντος στην μέση 24ωρη έκθεση σε PM_{10} , σύμφωνα με το Σενάριο για τους κατοίκους που εκτίθενται σε καπνό στην κατοικία τους.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ένα πεδίο που τα τελευταία χρόνια μελετάται εντατικά από την επιστημονική κοινότητα, κυρίως λόγω του ότι η έκθεση του πληθυσμού σε υψηλές συγκεντρώσεις PM έχει συνδεθεί άμεσα με την εμφάνιση αναπνευστικών και καρδιαγγειακών ασθενειών. Αρχικά οι μελέτες ήταν προσανατολισμένες στην εξέταση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στους εξωτερικούς χώρους. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της καθημερινότητας δαπανείται εντός εσωτερικών χώρων, γεγονός που τα τελευταία χρόνια έστρεψε το ενδιαφέρον στην μελέτη των συγκεντρώσεων στους χώρους εργασίας και στις κατοικίες. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO) το 40% των κτηρίων αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία λόγω της εσωτερικής ρύπανσης.

Λόγω των πρακτικών δυσκολιών στις οποίες υπόκειται η μελέτη των εσωτερικών χώρων, έχουν αναπτυχθεί μοντέλα πρόβλεψης των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων. Στην παρούσα εργασία διαπιστώνεται ότι το δυναμικό μοντέλο παρουσιάζει υψηλή αξιοπιστία στην περίπτωση απουσίας εσωτερικών πηγών. Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής συσχέτισης μετρούμενων/υπολογιζόμενων συγκεντρώσεων των PM_{10} λαμβάνει την τιμή 0.92. Το γεγονός αυτό οφείλεται σημαντικά στο ότι οι παράμετροι εξαερισμού έλαβαν τιμές που προκύπτουν από μετρήσεις στην περιοχή των Αθηνών.

Κατά την διάρκεια της μελέτης ως σημαντικότερες εσωτερικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων θεωρήθηκαν το κάπνισμα, το μαγείρεμα και η χρήση ηλεκτρικής σκούπας. Παρατηρήθηκε, πράγματι, σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των PM_{10} κατά την διάρκεια των παραπάνω δραστηριοτήτων. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τις τιμές των σωματιδίων είναι η κινητικότητα των κατοίκων, καθώς κατά την διάρκεια της απουσίας τους από τον υπό εξέταση χώρο και κατά τη διάρκεια της νύχτας παρουσιάζεται αισθητή μείωση των συγκεντρώσεων.

Οι ρυθμοί εκπομπής των PM₁₀ κατά το μαγείρεμα, το κάπνισμα και την χρήση ηλεκτρικής σκούπας υπολογίστηκαν ίσοι με 1,35 mg/min, 1,5 mg/min και 2,33 mg/min αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, λόγω της αυξημένης διάρκειας ως σημαντικότερη εσωτερική πηγή σωματιδίων κρίνεται το κάπνισμα και ακολούθως το μαγείρεμα. Πιο συγκεκριμένα, υποθέτοντας 24ωρη παραμονή σε κατοικία, εκτιμάται ότι το κάπνισμα αυξάνει την ολική προσωπική έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια κατά 169% και το μαγείρεμα κατά 84,5% σε σχέση με την κατάσταση απουσίας των δυο αυτών πηγών. Υπολογίστηκε ακόμη ότι στις κατοικίες που δεν κατοικεί καπνιστής και τελείται μαγειρική δραστηριότητα σε καθημερινή βάση το 47,8% της συνολικής συγκέντρωσης των PM₁₀ είναι εσωτερικής προέλευσης και το 52,2% εξωτερικής.

Ειδικότερα, για την υποομάδα των ηλικιωμένων που κρίνεται και ως η λιγότερο επιβαρυνόμενη λόγω της πολύωρης παραμονής στον ελεγχόμενο οικιακό χώρο, εκτιμάται ότι το όριο των 50μg/m³ που θέτει η οδηγία της Ε.Ε ως μέση ημερήσια έκθεση σε PM₁₀, υπερβαίνεται πολύ περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος.

Για ένα 24ωρο που καταναλώνεται εξ ολοκλήρου εντός οικιακού χώρου όπου διαμένει ένας καπνιστής η τιμή της μέσης εσωτερικής έκθεσης ανέρχεται στα 79,6 μg/m³. Η τιμή αυτή αποτελεί ένα χαμηλό όριο για μια οικία καπνιστή, αφού στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχουν προστεθεί άλλες σημαντικές εσωτερικές πηγές. Συνεπώς το όριο των 50μg/m³ αναμένεται να ξεπερνιέται όχι μόνον 35 φορές το έτος όπως ορίζει η οδηγία, αλλά σε καθημερινή βάση. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι το κάπνισμα είναι καταλυτικής σημασίας για την υπέρβαση ή όχι της οριακής τιμής, δοθέντος ότι η αντίστοιχη τιμή για ένα σπίτι όπου δεν κατοικεί καπνιστής είναι 30 μg/m³, δηλαδή αρκετά κάτω από το όριο. Στο σενάριο που αφορά σε 23 ώρες παραμονής στην κατοικία και μια ώρα παραμονής σε εξωτερικό χώρο εντοπίζεται υπέρβαση του ορίου κατά 56%. Στην υπόθεση που αναφέρεται σε παραμονή για 21 ώρες σε εσωτερικό χώρο, για δυο ώρες σε χώρο διασκέδασης και για μια ώρα σε εξωτερικό χώρο, το όριο υπερβαίνεται κατά 82%.

Στην περίπτωση κατοικίας μη καπνιστών όπου όμως επιτελείται καθημερινά μαγείρεμα η τιμή της μέσης εσωτερικής έκθεσης υπολογίζεται ίση με $54,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ξεπερνώντας οριακά την τιμή των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Όσον αφορά στις κατοικίες όπου δεν επιτελείται ούτε κάπνισμα ούτε μαγείρεμα, το όριο των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν υπερβαίνεται οριακά σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο. Κατά την εξέταση του πρώτου σεναρίου η ολική προσωπική έκθεση υπολογίζεται ικανοποιητικά χαμηλότερη από την οριακή τιμή.

Η 24ωρη κατανομή δραστηριοτήτων των κατοίκων των οικιών που εξετάστηκαν κρίνεται αντιπροσωπευτική για τον μέσο κάτοικο των Αθηνών. Ωστόσο, σε σπίτια που οι κάτοικοι υιοθετούν διαφορετικές συνήθειες από αυτές που έλαβαν τόπο είναι επόμενο να παρατηρείται διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων. Παραδείγματα τέτοιων δραστηριοτήτων είναι το συχνό τηγάνισμα, το οποίο αναμένεται να αυξήσει κατά πολύ την συγκέντρωση των PM_{10} και ο πολύ σπάνιος, ή πολύ συχνός καθαρισμός του σπιτιού, που θα έχει αρνητικά και θετικά αποτελέσματα, αντίστοιχα.

Επιπρόσθετα, το διάστημα κατά το οποίο επιλέγεται να πραγματοποιηθεί ο αερισμός του χώρου είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς θα πρέπει να γίνεται τις ώρες που η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στον εξωτερικό χώρο του σπιτιού είναι η ελάχιστη δυνατή. Οι βέλτιστες ώρες ωστόσο, αλλάζουν από τόπο σε τόπο, από μέρα σε μέρα, ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες, την κινητικότητα που επικρατεί στην περιοχή και από άλλους παράγοντες. Προκειμένου να προκύψουν πιο ακριβή συμπεράσματα σχετικά με το ποια ώρα είναι καταλληλότερη για αερισμό προτείνεται να γίνει περαιτέρω μελέτη του λόγου I/O της εκάστοτε εξεταζόμενης περιοχής. Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε ενδεικτικά ο λόγος I/O ίσος με 0.86.

Στον Πίνακα 6.1 συγκρίνονται οι τιμές των μέσων 24ωρων συγκεντρώσεων PM₁₀ σε εσωτερικούς χώρους απουσία σημαντικών ενεργών εσωτερικών πηγών σε διάφορες περιοχές της Αθήνας. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συγκλίνουν με αυτά των προγενέστερων, ειδικά για τις περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά της Νέας Σμύρνης.

ΜΕΣΕΣ 24ΩΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM₁₀ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ (μg/m³)	
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	33,2
ΑΝΩ ΠΑΤΗΣΙΑ	35,7
ΚΑΛΛΙΘΕΑ	34,5
ΧΑΛΑΝΔΡΙ	43
ΖΩΓΡΑΦΟΥ	28,2
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ (ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ)	29,5

Πίνακας 6.1: Μέσες 24ωρες συγκεντρώσεις PM₁₀ σε εσωτερικούς χώρους σε διάφορες περιοχές της Αθήνας. Οι τιμές αναφέρονται σε μετρήσεις χωρίς ενεργές σημαντικές εσωτερικές πηγές κατά τους θερμούς μήνες του 2006. (Διαπούλη, 2008)

Στον πίνακα που ακολουθεί επιχειρείται να συγκριθούν τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους.

Περιοχή	Μικρο-περιβάλλον	Συγκέντρωση PM ₁₀ (μg/m ³)	Χρόνος αναφοράς	Βιβλιογραφία
Αθήνα	Σπίτι/γραφείο	47,6 ± 23,5	24 ώρες	Diapouli et al. 2008
Αθήνα	Σχολικές αίθουσες	174 ± 100,8	8 ώρες	Diapouli et al. 2008
Αθήνα	Μετρό (εντός συρμών)	270 - 461	30 λεπτά	Sanida et al. 2010
Αθήνα	Μετρό (πλατφόρμες)	174 – 482	5 λεπτά	Sanida et al. 2010
Αθήνα	Σπίτι (χωρίς κάπνισμα)	54 ± 14,28 (καλοκαίρι)	24 ώρες	Παρούσα Εργασία
Αθήνα	Σπίτι (με κάπνισμα)	79 (καλοκαίρι)	24 ώρες	Παρούσα Εργασία
U.K.	Σπίτι/γραφείο (χωρίς κάπνισμα)	26 ± 9 (χειμώνας) 52 ± 20	24 ώρες	Dimitroulopoulou et al. 2005

(καλοκαίρι)				
U.K.	Σπίτι (με κάπνισμα)	113 (χειμώνας) 134 (καλοκαίρι)	24 ώρες	Dimitroulopoulou et al., 2005
Stockholm, Sweden	Μετρό	470	12 ώρες (7:00 – 19:00)	Johansson & Johansson 2003
Berlin, Germany	Μετρό	141± 17 (χειμώνας) 153 ± 22 (καλοκαίρι)	9 ώρες (7:00 – 16:00)	Fromme et al. 1998
Munich, Germany	Λεωφορείο	80 – 236	4 ώρες	Praml & Schierl 2000
Hong-Kong, China	Λεωφορείο (χωρίς κλιματισμό)	112 - 137	40 – 50 λεπτά	Chan et al. 2002
Hong-Kong, China	Λεωφορείο (με κλιματισμό)	63 - 74	30 – 40 λεπτά	Chan et al. 2002
Αθήνα	Ιδιωτικό αυτοκίνητο	70 - 220	15 λεπτά	Diaprouli et al. 2008

Πίνακας 6.2: Ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων των σωματιδίων PM_{10} σε εσωτερικούς χώρους.

Οι τιμές για τις συγκεντρώσεις εντός κατοικιών που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία συγκλίνουν με τις αντίστοιχες που προκύπτουν από εργασία που εκπονήθηκε στην Αγγλία.

Παρατηρείται από τις έρευνες που αφορούν στην Αθήνα ότι λοιποί εσωτερικοί χώροι στους οποίους μεγάλο μέρος του πληθυσμού παρευρίσκεται για εύλογο χρονικό διάστημα, όπως είναι το σχολείο και το ιδιωτικό αυτοκίνητο, είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένοι. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, τροφοδοτεί την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη της συνολικής έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια και άλλων υποομάδων πληθυσμού. Επιτακτικότερη κρίνεται η πρόβλεψη της συνολικής έκθεσης των νεότερων ατόμων λόγω της αυξημένης ευαισθησίας τους και της μακροχρόνιας παραμονής τους σε χώρους που εντοπίζονται υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων, όπως οι χώροι διασκέδασης.

Συμπληρωματικά, προτείνεται η διεξοδική μελέτη περισσότερων εσωτερικών πηγών αιωρούμενων σωματιδίων. Η εκπομπή PM από ορισμένες πηγές όπως τα χημικά προϊόντα και το τζάκι, η χρήση του οποίου ως μέσο θέρμανσης αποτελεί μια συνήθεια με όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις τα τελευταία χρόνια στην Αθήνα, θα πρέπει να ερευνηθεί όχι μόνον ποσοτικά αλλά και ποιοτικά.

Ακόμη, προτείνεται η μελέτη των συγκεντρώσεων των PM_{2,5} στους εσωτερικούς χώρους, καθώς τα σωματίδια αυτά είναι πιο επικίνδυνα για την υγεία λόγω της ικανότητάς τους να εισέρχονται στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abt E. Suh H.H., Allen G., Koutrakis P., "Characterization of Indoor Particle Sources: A Study Conducted in the Metropolitan Area of Boston", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108, pp. 35-44, 2000(a).
2. Abt E. Suh H.H., Catalano P., Koutrakis P., "Relative Contribution of Outdoor and Indoor Particle Sources to Indoor Concentrations", *Environmental Science and Technology*, Vol. 34(17), pp. 3579-3587, 2000(b).
3. Adgate J.L., Ramachandran G., Pratt G.C., Waller L.A., Sexton K., "Spatial and Temporal Variability in Outdoor, Indoor, and Personal PM_{2.5} Exposure", *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 3255-3265, 2002.
4. Air & Waste Management Association (AWMA), "Air Pollution Engineering Manual", Buonicore A.J. & Davis W.T. Eds, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
5. American Lung Association of Washington (ALAW), "Facts about Particulate Matter Air Pollution", <http://alaw.org/pmfact.html>, 2004.
6. Atmospheric Research and Information Center (ARIC), "ARIC Briefing Note: Particulate Matter", <http://doc.mmu.ac.uk/aric/notes/bn52.htm>, 1997.
7. Bennett W.O., Zeman K.L., "Deposition of Fine Particles in Children Spontaneously Breathing at Rest", *Inhalation Toxicology*, Vol. 10, pp. 831-842, 1998.
8. Brauer M., Hrubá F., Mihaliková E., Fabianová E., Misković P., Plzíkova A., Lendacká M., Vandenberg J., Cullen A., "Personal Exposure to Particles in Banská Bystrica, Slovakia", *Journal of Exposure Analysis and Environmental*, Vol. 10, pp. 478-487, 2000.
9. Burke J.M., M.J. Zufall, H. Ozkaynak, "A population exposure model for particulate matter: Case study results for PM_{2.5} in Philadelphia, PA" *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 11, pp. 470-489, 2001.
10. CAFE Working Group on Particulate Matter, "Second Position Paper on Particulate Matter", 2004.
11. Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, P., & Koutrakis, P. (2003). Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 37, 649–660.

12. Chan et al. "Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong", *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 3363–3373, 2002.
13. Chen B.T., Nanenyi J., Yeh H.C., Mauderly J.L., Cuddihy R.G., "Physical Characterization of Cigarette-Smoke Aerosol Generated from a Walton Smoke Machine", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 12(2), pp. 364-375, 1990.
14. Chow J.C., "Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles", *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 45, pp. 320-382, 1995.
15. Ciccone G., "Road Traffic and Adverse Respiratory Effects in Children", *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 55, pp. 771-778, 1998.
16. Delfino R.J., Zeiger R.S., Seltzer J.M., Street D.H., "Symptoms in Pediatric Asthmatics and Air Pollution: Differences in Effects by Symptom Severity, Anti-inflammatory Medication Use and Particulate Averaging Time", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 106, pp. 751-761, 1998.
17. Dennekamp M., Howarth S., Dick C.A.J., Cherrie J.W., Donaldson K., Seaton A., "Ultrafine Particles and Nitrogen Oxides Generated by Gas and Electric Cooking", *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 58, pp. 511-516, 2001.
18. Diapouli E., Chaloulakou A., Spyrellis N., "Indoor/Outdoor PM Levels and EC Surrogate, at Typical Microenvironments in the Athens area", *Global NEST*, Vol 12(1), pp 12-19, 2010.
19. Διαπούλη Ε., "Έκθεση Υποομάδων Πληθυσμού σε Αέρια Σωματιδιακή Ρύπανση – Συμμετοχή Πηγών και Συγκεντρώσεων σε Εσωτερικούς και Εξωτερικούς Χώρους", *Διδακτορική Διατριβή*, Αθήνα, 2008.
20. Diapouli E., Grivas G., Chaloulakou A., Spyrellis N., "PM₁₀ and Ultrafine Particles Counts In-vehicle and On-road in the Athens Area", *Water Air & Soil Pollution - Focus*, Vol. 8(1), pp. 89-97, 2008.
21. Diapouli E, Chaloulakou A., Spyrellis N., "Indoor and Outdoor PM Concentrations at Schools in the Athens Area", *Indoor & Built Environment*, Vol. 16(1), pp. 55-61, 2007.

22. Dimitroulopoulou C., Crump D., Coward S.K.D., Brown B., Squire R., Mann H., White M., Pierce B., Ross D., "Ventilation, Air Tightness and Indoor Air Quality in New Homes", BR477, BRE Bookshop, 2005.
23. Dua S.K., Hopke P.K., "Hygroscopic Growth of Assorted Indoor Aerosols", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 24, pp. 151-160, 1996.
24. Ebel S.T., Wilson W.E., Brauer M., "Exposure to Ambient and Nonambient Components of Particulate Matter. A Comparison of Health Effects", *Epidemiology*, Vol. 16(3), pp. 396-405, 2005.
25. E.C. Technical Working Group on Particles, "Ambient Air Pollution by Particulate Matter - Draft Position Paper", Version 4.0, 1996.
26. English P., Neutra R., Scalf R., Sullivan M., Waller L., Zhu L., "Examining Association between Childhood Asthma and Traffic Flow using a Geographic Information System", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 107, pp. 761-767, 1999.
27. Environmental Protection Agency's (EPA) Office of Research and Development (ORD), "Air Quality Criteria for Particulate Matter", (EPA/600/P-95/001aF-cF), *Federal Register* 61(89): 20522, 1996.
28. European Environment Agency & World Health Organization, "Air and Health-Some Common Air Pollutants", [http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/Air Health/air%20pollutants.htm](http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/Air%20Health/air%20pollutants.htm), 1999(a).
29. European Environment Agency & World Health Organization, "Air and Health-Sources of Air Pollution", <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/Air Health/sources.htm>, 1999(b).
30. Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, "Πρόταση Οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την Ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα και Καθαρότερου Αέρα για την Ευρώπη", COM(2005) 447 τελικό 2005/0183 (COD) SEC(2005) 1133, 2005.
31. Farhat S.C.L., Paulo R.L.P., Shimoda T.M., Conceicao G.M.S., Lin C.A., Braga A.L.F., Warth M.P.N., Saldiva P.H.N., "Effect of Air Pollution on Pediatric Respiratory Emergency Room Visits and Hospital Admissions", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, Vol. 38, pp. 227-235, 2005.

32. Fromme et al. "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and diesel engine emission (elemental carbon) inside a car and a subway train", *Sci. Total Environ.*, Vol. 217, pp. 165–173, 1998.
33. Gauderman W.J., McConnell R., Gilliland F., London S., Thomas D., Avol E., Vora H., Berhane K., Rappaport E.B., Lurmann F., Margolis H.G., Peters J., "Association Between Air Pollution and lung Function Growth in Southern California Children", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 162, pp. 1383-1390, 2000.
34. Gilmour P.S., Brown D.M., Lindsay T.G., Beswick P.H., MacNee W., Donaldson K., "Adverse Health Effects of PM10 Particles: Involvement of Iron in Generation of Hydroxyl Radical", *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 53, pp. 817-825, 1996.
35. Godleski J.J., Verrier R.L., Koutrakis P., Catalano P., "Mechanisms of Morbidity and Mortality from Exposure to Ambient Air Particles", Research Report 91, Cambridge, MA, Health Effects Institute, 2000.
36. Godleski J.J., Clarke R.W., Coull B.A., Saldiva P.H.N., Jiang N.F., Lawrence J., Koutrakis P., "Composition of Inhaled Urban Air Particles Determines Acute Pulmonary Responses", *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 46(Suppl. 1), pp. 419 – 424, 2002.
37. Gold D.R., "Indoor Air Pollution", *Clinics in Chest Medicine*, Vol. 13(2), pp. 215-229, 1992.
38. Gold D.R., Litonjua A., Schwartz J., Lovett E., Larson A., Nearing B., Allen G., Verrier M., Cherry R., Verrier R., "Ambient Pollution and Heart Rate Variability", *Circulation*, Vol. 101(11), pp. 1267-1273, 2000.
39. Goldberg M.S., Burnett R.T., Bailar J.C., Brook J., Bonvalot Y., Tamblyn R., Singh R., Valois M.F., Vincent R., "The Association between Daily Mortality and Ambient Air Particle Pollution in Montreal, Quebec, 2. Cause-Specific Mortality", *Environmental Research*, Vol. A86, pp. 26-36, 2001.
40. Gordon T., Nadziejko C., Chen L.C., Schlesinger R., "Effects of Concentrated Ambient Particles in Rats and Hamsters: An Exploratory Study", Research Report 93, Cambridge, MA, Health Effects Institute, 2000.

41. Gramotnev G., Ristovski Z., "Experimental Investigation of Ultrafine Particle Size Distribution near a Busy Road", *Atmospheric Environment*, Vol. 38(12), pp. 1767-1776, 2004.
42. "An overview of the PM10 pollution problem, in the Metropolitan Area of Athens, Greece. Assessment of controlling factors and potential impact of long range transport" Grivas, G., Chaloulakou, A., Kassomenos, P. *Science of the Total Environment* 389 (1) , pp. 165-177, 2008.
43. G Grivas, S Cheristanidis, A Chaloulakou "Elemental and organic carbon in the urban environment of Athens. Seasonal and diurnal variations and estimates of secondary organic carbon", *Science of the Total Environment*, 2011.
44. Halios C.H., Helmis C.G., "On the Estimation of Characteristic Indoor Air Quality Parameters using Analytical and Numerical Methods", *Science of the Total Environment*, Vol. 381(1-3), pp. 222-232, 2007.
45. Harrison R.M., Yin J., "Particulate Matter in the Atmosphere: Which Particles Properties are Responsible for its Effects on Health", *Science of the Total Environment*, Vol. 249, pp. 85-101, 2000.
46. Harrison R.M., Jones M., "The Chemical Composition of Airborne Particles in the U.K. Atmosphere", *Science of the Total Environment*, Vol. 168, pp. 195-214, 1995.
47. He C, Morawska L., Hitchins J., Gilbert D., "Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses", *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp.3405-3415 , 2004
48. Hoek G., Dockery D.W., Pope A., Neas L., Roemer W., Brunekreef B., "Association between PM10 and Decrements in Peak Expiratory Flow Rates in Children, Reanalysis of Data from Five Panel Studies", *European Respirator Journal*, Vol. 11, pp. 1307-1311, 1998.
49. ICRP, "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection", ICRP Publication 66, Pergamon Press, Oxford, 1994.
50. Johansson C. & Johansson P. A. "Particulate matter in the underground of Stockholm", *Atmos. Environ.*, Vol.37, pp. 3-9, 2003.

51. Jones A.P., "Indoor Air Quality and Health", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4535-4564, 1999.
52. Junker M., Kasper M., Roosli M., Camenzind M., Kunzli N., Monn C., Theis G., Braun-Fahrlander C., "Airborne Particle Number Profiles, Particle Mass, Distributions and Particle – Bound PAH Concentrations within the City Environment of Basel", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 3171-3181, 2000.
53. Kamens R., Lee C., Wiener R., Leith D., "A Study to Characterize Indoor Particle in three Non-Smoking Homes", *Atmospheric Environment*, Vol. 25A, pp. 939-948, 1991.
54. Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E., Gryparis A., La Tertre A., Monopolis Y., Rossi G., Zmirou D., Ballester F., Boumghar A., Anderson H.R., Wojtyniak B., Paldy A., Braunstein R., Pekkanen J., Schindler C., Schwartz J., "Confounding and Effect Modification in the Short-Term Effects of Ambient Particles on Total Mortality: Results from 29 European Cities within the APHEA2 Project", *Epidemiology*, Vol. 12(5), pp. 521-531, 2001.
55. Kavouras I.G., Joy L., Koutrakis P., Stephanou E.G., Oyola P., "Measurement of Particulate Aliphatic and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Santiago de Chile: Source Reconciliation and Evaluation of Sampling Artifacts", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4977-4986, 1999.
56. Keywood M.D., Ayers G.P., Gras J.L., Gillett R.W., Cohen D.D., "Relationships Between Size Segregated Mass Concentration Data and Ultrafine Particle Number Concentrations in Urban Areas", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 2907-2913, 1999.
57. Kim Y.P., Moon K.C., Lee J.H., Baik N.J., "Concentrations of Carbonaceous Species in Particles at Seoul and Cheju in Korea", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 2751-2758, 1999.
58. Klepeis N.P., Tsang A.M., Bejar J.V., "Analysis of the National Human Activity Pattern Survey Respondents from a Standpoint of Exposure Assessment", U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV, 1996.
59. Koistinen K.J., Hanninen O., Rotko T., Edwards R.D., Moschandreas D., Jantunen M.J., "Behavioral and Environmental Determinants of Personal Exposures to

- PM2.5 in EXPOLIS – Helsinki, Finland”, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 2473-2481, 2001.
60. Koloutsou-Valais S., “Global Issue; Aerosol particles and Global Climate Change”, University of Illinois at Urban-Champaign, http://www.gnest.org/Global_Issues/Aerosol.htm, 1999.
 61. Korrick S.A., Neas L.M., Dockery D.W., Gold D.R., Allen G.A., Hill L.B., Kimball K.D., Rosner B.A., Speizer F.E., “Effects of Ozone and other Pollutants on the Pulmonary Function of Adult Hikers”, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 106, pp. 93-99, 1998.
 62. Koutrakis P., Briggs S.L.K., Leaderer B.P., “Source Apportionment of Indoor Aerosols in Suffolk and Onondaga Counties, New York”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 26(3), pp. 521-527, 1992.
 63. Lai A.C.K., “Particle Deposition Indoors: A Review”, *Indoor Air*, Vol. 12, pp. 211-214, 2002.
 64. Lange C., “Indoor Deposition and the Protective Effect of Houses against Airborne Pollution”, Riso Report Riso-R-780(EN), Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1995.
 65. Lefcoe N.M., Inculet I.I., “Particulates in Domestic Premises II. Ambient Levels and Indoor-Outdoor Relationships”, *Archives of Environmental Health*, Vol. 30, pp. 565-570, 1975.
 66. Li X.Y., Brown D., Smith S., MacNee W., Donaldson K., “Short-Term Inflammatory Responses following Intratracheal Instillation of Fine and Ultrafine Carbon Black in Rats”, *Inhalation Toxicology*, Vol. 11(8), pp. 709-731, 1999.
 67. Liu D.L., Nazaroff W.W., “Modeling Pollutant Penetration across Building Envelopes”, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 4451-4462, 2001.
 68. Liu, Y., Kahn, R.A., Chaloulakou, A., Koutrakis, P., “Analysis of the impact of the forest fire in August 2007 on air quality of Athens using multi-sensor aerosol remote sensing satellite data, meteorology and surface observations.”, *Atmospheric Environment* 43, 3310-3318, 2009.
 69. Long C.M., Suh E.E., Catalano P.J., Koutrakis P., “Using Time- and Size-Resolved Particulate Data to Quantify Indoor Penetration and Deposition Behavior”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 35, pp. 2089-2099, 2001(a).

70. Long C.M., Suh H.H., Kobzik L., Catalano P.J., Ning Y.Y., Koutrakis P., "A Pilot Investigation of the Relative Toxicity of Indoor and Outdoor Fine Particles: In Vitro Effects of Endotoxin and other Particulate Properties", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, pp. 1019-1026, 2001(b).
71. Long C.M., Suh E.E., Koutrakis P., "Characterization of Indoor Particle Sources Using Continuous Mass and Size Monitors", *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 50, pp. 1236-1250, 2000.
72. Lunden M.M., Revzan K.L., Fischer M.L., Thatcher T.L., Littlejohn D., Hering S.V., Brown N.J., "The Transformation of Outdoor Ammonium Nitrate Aerosols in the Indoor Environment", *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 5633-5644, 2003.
73. Magliano K.M., Hugues V.M., Chinkin L., Coe D.L., Haste T.L., Kumar N., Lurmann F.W., "Spatial and Temporal Variations in PM10 and PM2.5 Source Contributions and Comparison to Emissions during the 1995 Integrated Monitoring Study", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4757-4773, 1999.
74. Manahan S.E., "Environmental Chemistry", 6th Edition, Lewis Publishers, Florida, 1994.
75. N Manalis, G Grivas, V Protonotarios, A Moutsatsou, C Samara, A Chaloulakou, "Toxic metal content of particulate matter (PM 10), within the Greater Area of Athens", *Chemosphere* 60 (4), 557-566, 2005
76. J Mantis, A Chaloulakou, C Samara, "PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Greater Area of Athens, Greece", *Chemosphere* 59 (5), 593-604, 2005.
77. Mattias-Maser S., Obolkin V., Khodzer T., Jaeniche R., "Seasonal Variation of Primary Biological Aerosol Particles in the Remote Continental Region of Lake Baikal / Siberia", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 3805-3811, 2000.
78. Menichini E., Monfrendini F., Merli F., "The Temporal Variability of the Profile of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Air: A Study in a Medium Traffic Area in Rome", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 3739-3750, 1999.

79. Michaels R.A., Kleinman M.T., "Incidence and Apparent Health Significance of Brief Airborne Particles Excursions", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 32, pp. 93-105, 2000.
80. Milloy S.J., "Scientists at Toxicology Meeting Question Data Adequacy for PM Standard", *Bureau of National Affairs Daily Environment Report* (9 March 1998), <http://www.alaw.org/pmfact.html>, 1998.
81. Milner J.T., Dimitroulopoulou C., ApSimon H.M., "Indoor Concentrations in Buildings from Sources Outdoors" in *ADMLC Annual Report 2004/2005*, Atmospheric Dispersion Modeling Liaison Committee, U.K., 2005.
82. Molnar A., Meszaros E., Hansson H.C., Karlsson H., Gelenscer A., Kiss G., Krivacsy Z., "The Importance of Organic and Elemental Carbon in the Fine Atmospheric Aerosol Particles", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 2745-2750, 1999.
83. Morawska L., Thomas S., Hofmann W., Ristovski Z., Jamriska M., Rettenmoser T., Kagerer S., "Exploratory Cross-Sectional Investigations on Ambient Submicrometer Particles in Salzburg, Austria", *Atmospheric Environment*, Vol. 38(21), pp. 3529-3533, 2004.
84. Morgan G., Corbett S., Wlodarczyk J., "Air Pollution and Hospital Admissions in Sydney, Australia, 1990-1994", *American Journal of Public Health*, Vol. 88, pp. 1761-1766, 1998.
85. Natural Resources Defense Council, "Air Pollution FAQ", Natural Resources Defense Council, <http://mail.igc.apc.org/nrdc/faqs/aibrefaq.html>, 1996(a).
86. Natural Resources Defense Council, "Danger in the Air: Thousands of Early Deaths could be Averted with Cleaner Air Standard", Natural Resources Defense Council, <http://www.nrdc.org/find/aibresum.html>, 1996(b).
87. Naumova Y.Y., Offenberg J.H., Eisenreich S.J., Meng Q.Y., Polidori A., Turpin B.J., Weisel C.P., Morandi M.T., Colome S.D., Stock T.H., Winer A.M., Alimokhtari S., Kwon J., Maberti S., Shendell D., Jones J., Farrar C., "Gas / Particle Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Coupled Outdoor / Indoor Atmospheres", *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 703-719, 2003.
88. Nazaroff W.W., Gadgil A.J., Weschler C.J., "Critique of the Use of Deposition Velocity in Modeling Indoor Air Quality", *Modeling of Indoor Air Quality and*

- Exposure, Nagda, N.L. Ed., ASTM STP 1205, 81-104, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1993.
89. Nazaroff W.W., "Indoor Particle Dynamics", *Indoor Air*, Vol. 14(Suppl. 7), pp. 175-183, 2004.
 90. Nazaroff W.W., Klepeis N.E., "Environmental Tobacco Smoke Particles", *Indoor Environment: Airborne Particles and Settled Dust*, Morawska L., Salthammer T. Eds., pp. 245-274, 2004.
 91. Nemmar A., Hoylaerts M.F., Hoet P.H.M., Nemery B., "Possible Mechanisms of the Cardiovascular Effects of Inhaled Particles: Systematic Translocation and Prothrombotic Effects", *Toxicology Letters*, Vol. 149(1-3), pp. 243-253, 2004.
 92. Offenberg J.H., Baker J.E., "Aerosol Size Distributions of Elemental and Organic Carbon in Urban and Over Water Atmospheres", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 1509-1517, 2000.
 93. Ohta S., Hori M., Yamagata S., Murao N., "Chemical Characterization of Atmospheric Fine Particles in Sapporo with Determination of Water Content", *Atmospheric Environment*, Vol. 32(6), pp. 1121-1125, 1998.
 94. Ohlstrom M.O., Lehtinen K., Moisio M., Jokiniemi J.K., "Fine Particle Emissions of Energy Production in Finland", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 3701-3711, 2000.
 95. Oosterlee A., Drijver M., Lebret E., Brunekreef B., "Chronic Respiratory Symptoms in Children and Adults Living along Streets with High Traffic Density", *Occupational Environmental Medicine*, Vol. 53, pp. 241-247, 1996.
 96. Ott W.R. "Mathematical models for predicting indoor air quality from smoking activity" *Environmental Health Perspectives*, Vol. 107(Suppl. 2), pp. 375-381, 1999.
 97. Ozkaynak H., Xue J., Spengler J., Wallace L., Pellizzari E., Jenkins P., "Personal Exposure to Airborne Particles and Metals Results from the Particle TEAM Study in Riverside, California", *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 6, pp. 57-78, 1996.
 98. Paterson K., "CE352 Air Particulate Laboratory: Analysis of Second Hand Smoke, Types of Air Particulate, Representative Sizes of Air Particulate", http://www.bic.ac.civil.mtu.edu/public_html/classes/cd352/labs/particulates.ht

- ml, First Prototype Internet Laboratory of the MTU Environment Course Ware Series, 1995.
99. Pekkanen J., Timonen K.L., Ruuskanen J., Reponen A., Mirme A., "Effects of Ultrafine and Fine Particles in an Urban Air on Peak Expiratory Flow among Children with Asthmatic Symptoms", *Environmental Research*, Vol. 74, pp. 24-33, 1997.
 100. Penttinen P., Timonen K.L., Tiittanen P., Mirme A., Ruuskanen J., Pekkanen J., "Ultrafine Particles in Urban Air and Respiratory Health among Adult Asthmatics", *European Respiratory Journal*, Vol. 17, pp. 428-435, 2001.
 101. Peters A., "Air Pollution and Incidence of Cardiac Arrhythmia", *Epidemiology*, Vol. 11, pp. 11-17, 2000.
 102. Peters A., Dockery D.W., Heinrich J., Wichmann H.E., "Short-Term Effects of Particulate Air Pollution on Respiratory Morbidity in Asthmatic Children", *European Respiratory Journal*, Vol. 10, pp. 872-879, 1997(a).
 103. Peters A., Wichmann H.E., Tuch T., Heinrich J., Heyder J., "Respiratory Effects are Associated with the Number of Ultra-Fine Particles", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 155, pp. 1376-1383, 1997(b).
 104. Pope C.A., Dockery D.W., "Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect", *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 56, pp. 709-742, 2006.
 105. Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D., "Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution", *Journal of the American Medical Association*, Vol. 287(9), pp. 1132-1141, 2002.
 106. Pope C.A., "Review: Epidemiological Basis for Particulate Air Pollution Health Standards", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 32, pp. 4-14, 2000(a).
 107. Pope III C.A., "Epidemiology of Fine Particulate Air Pollution and Human Health: Biologic Mechanisms and Who's at Risk", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108(Suppl. 4), pp. 713-723, 2000(b).
 108. Praml & Schierl "Dust exposure in Munich public transportation: a comprehensive 4-year survey in buses and trams", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 73, Number 3, pp. 209-214, 2000.

109. AB Prossimitis, E Diapouli, G Grivas, A Chaloulakou, N Spyrellis "Continuous field measurements of organic and elemental carbon concentrations in Athens, Greece" ,*J. Aerosol Sci* 35, S1077-S1078, 2004.
110. Querol X., Alastuey A., Lopez-Soler A., Plana F., "Levels and Chemistry of Atmospheric Particulates induced by a Spill of Heavy Metal Mining Wastes in Donana Area, Southwest Spain", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 239-253, 2000.
111. Raes F., van Dingenen R., Vignati E., Wilson J., Putaud J.P., Seinfeld J.S., Adams P., "Formation and Cycling of Aerosols in the Global Troposphere", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 4215-4240, 2000.
112. Raunemaa T., Kulmala M., Saari J, Olin M., Kulamala M.H., "Indoor Air Aerosol Model: Transport Indoors and Deposition of Fine and Coarse Particles", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 11, pp. 11-25, 1989.
113. Riley W.J., McKone T.E., Lai A.C., Nazaroff W.W., "Indoor Particulate Matter of Outdoor Origin: Importance of Size-Dependent Removal Mechanisms", *Environmental Science and Technology*, Vol. 37, pp. 200-207, 2002.
114. Romieu I., Meneses F., Ruiz-Velazco S., Sierra-Monge J.J., Huerta J., White M.C., Etzel R., "Effects of Air Pollution on the Respiratory Health of Asthmatic Children Living in Mexico City", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 154, pp. 300-307, 1996.
115. Ρήγας Φ., "Επιστήμη και Τεχνολογία Περιβάλλοντος", Αθήνα, 1997.
116. Sanida A., Diapouli E., Chaloulakou A., "Assessment of Exposure to PM10 for Commuters in the Blue Line of the Metro System in Athens, Greece", *Protection and Restoration of the Environment X*, Corfu, Greece, 5 - 9 July 2010.
117. Schwartz J., 'Is There Harvesting in the Association of Airborne Particles with Daily Deaths and Hospital Admissions?', *Epidemiology*, Vol. 12, pp. 55-61, 2000.
118. Seinfeld J.H., Pandis S.N., "Atmospheric Chemistry and Physics – From Air Pollution to Climate Change", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2006.

119. Spengler J.D., Dockery D.W., Turner W.A., Wolfson J.M., Ferris B.G., "Long-Term Measurements Of Respirable Sulfates and Particles Inside and Outside Homes", *Atmospheric Environment*, Vol. 15, pp. 23-30, 1981.
120. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ., "Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών", Αθήνα, 1993.
121. Thatcher T.L., Lai A.C.K., Moreno-Jackson R., Sextro R.G., Nazaroff W.W., "Effect of Room Furnishings and Air Speed on Particle Deposition Rates Indoors", *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 1811-1819, 2002.
122. Thatcher T.L., Layton D.W., "Deposition, Resuspension, and Penetration of Particles Within a Residence", *Atmospheric Environment*, Vol. 29, pp. 1487-1497, 1995.
123. Thatcher T.L., Lunden M.M., Revzan K.L., Sextro R.G., Brown N.J., "A Concentration Rebound Method for Measuring Particle Penetration and Deposition in the Indoor Environment", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 37, pp. 847-864, 2003.
124. C Theodosi, G Grivas, P Zampas, A Chaloulakou, N Mihalopoulos "Mass and chemical composition of size-segregated aerosols (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) over Athens, Greece: local versus regional sources" *Atmos. Chem. Phys* 11, 11895-11911, 2011.
125. Thomas S., Morawska L. "Size-Selected Particles in an Urban Atmosphere of Brisbane, Australia", *Atmospheric Environment*, Vol. 36(26), pp. 4277-4288, 2002.
126. U.S. Environmental Protection Agency, "40 CFR Part 50; National Ambient Air Quality Standards for Particulate matter; Final Rule", *Federal Register/ Vol.62, No.138/ Friday, July 18 1997/Prepublication*, 1997(a)
127. U.S. Environmental Protection Agency, "Current and Revised Standards for Ozone and Particulate Matter", <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/current.html>, 1997(b).
128. U.S. Environmental Protection Agency, "What Changes Were Made to the Particulate Matter Standards", <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/partstan.html>, 1997(c).

129. Valavanidis A., Salica A., Theodoropoulou A., "Generation of Hydroxy Radicals by Urban Suspended Particulate Matter. The Role of Iron Ions", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 2379-2386, 2000.
130. Van Vliet P., Knape M., de Hartog J., Janssen N., Harssema H., Brunekreef B., "Motor Vehicle Exhaust and Chronic Respiratory Symptoms in Children Living near Freeways", *Environmental Research*, Vol. 74, pp. 122-132, 1997.
131. Veli-Matti K., Kimmo T., Risto H., "Chemistry of the Sea-Salt Particles in the Summer Antarctic Atmosphere", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 2817-2825, 2000.
132. Villalobos-Pietrini R., Blanco S., Gomez-Arroyo S., "Mutagenicity Assessments of Airborne Particles in Mexico City", *Atmospheric Environment*, Vol. 29, pp. 517-524, 2000.
133. Von Klot S., Wolke G., Tuch T., Heinrich J., Dockery D.W., Schwartz J., Kreyling W.G., Wichmann H.E., Peters A., "Increased Asthma Medication Use in Association with Ambient Fine and Ultrafine Particles", *European Respiratory Journal*, Vol. 20, pp. 691-702, 2002.
134. Wadden R.A., Scheff P.A., "Indoor Air Pollution. Characterization, Prediction, and Control", John Wiley & Sons Inc., U.S.A., 1983.
135. Wahlin P., Palmgren F., van Dingenen R., "Experimental Studies of Ultrafine Particles in Streets and the Relationship to Traffic", *Atmospheric Environment*, Vol. 35(Suppl. 1), pp. S63-S69, 2001.
136. Wallace L. "Indoor particles: A review" *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 46, pp. 98-126, 1996.
137. Wark K., Warher C.F., Davis W.T., "Air Pollution: Its Origin and Control", Addison Wesley Longman, 1998.
138. Watson J.G., Chow J.C., Moosmoller H., Green M., Frank N., Pitchfird M., "Guidance for Using Continuous Monitors in PM_{2.5} Monitoring Network", Office of Air Quality Planning and Standards - U.S. Environmental Protection Agency, 1998.
139. Watson J.G., Chow J.C., Dubois D., Green M., Frank N., Pitchford M., "Guidance for Network Design and Optimum Site Exposure for PM_{2.5} and PM₁₀", Office of

Air Quality Planning and Standards - U.S. Environmental Protection Agency (Research Triangle Park, NC27711), 1997.

140. Weschler C.J., "Indoor / Outdoor Concentrations Exemplified by Processes that Depend on an Organic Compound's Saturation Vapor Pressure", *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 5455-5465, 2003.
141. WHO, "Air Quality Guidelines for Europe", 2nd Edition, World Health Organization, Copenhagen, 2000.
142. Wilson W.E., D.T. Mage, L.D. Grant "Estimating separately personal exposure to ambient and nonambient particulate matter for epidemiology and risk assessment: Why and how" *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 50(7), pp. 1167-1183, 2000.
143. Woo K.S., Chen D.R., Pui D.Y.H., McMurry P.H., "Measurement of Atlanta Aerosol Size Distribution: Observations of Ultrafine Particle Events", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 34(1), pp. 75-87, 2001.
144. Wu C.F., Delfino R.J., Floro J.N., Quintana P.J.E., Samimi B.S., Kleinman M.T., Allen R.W., Liu L.J.S., "Exposure Assessment and Modeling of Particulate Matter for Asthmatic Children Using Personal Nephelometers", *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 3457-3469, 2005.
145. Yamasoe M.A., Artaxo P., Miguel A.H., Allen A.G., "Chemical Composition of Aerosol Particles from Direct Emissions from Vegetation Fires in the Amazon Basin: Water Soluble Species and Trace Elements", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 1641-1653, 2000

