



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
&
ΣΧΟΛΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ**

**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

Θέμα Εργασίας:

**Καταγραφή και μελέτη επιπέδων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} &
 $PM_{2.5}$) σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους στο Κέντρο της
Αθήνας.**

Έκθεση εργαζομένων και άλλων υποομάδων πληθυσμού.

Φοιτήτρια: **Πουλή Αικατερίνη**

Συντονιστής-διδάσκων: **Α. Χαλουλάκου**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.1. Γενικά

1.2. Κατηγοριοποίηση Αιωρούμενων Σωματιδίων

1.2.1. Διεισδυτικότητα Αιωρούμενων Σωματιδίων στον Ανθρώπινο οργανισμό

1.2.2. Μέγεθος Αιωρούμενων Σωματιδίων

1.2.3. Τρόπος Σχηματισμού

1.3. Μέτρηση Αιωρούμενων Σωματιδιακών Ρύπων

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

2.1. Γενικά

2.2. Ανθρωπογενείς Πηγές

2.2.1. Εκπομπές από Οχήματα

2.2.2. Οικιακές Πηγές

2.2.3. Βιομηχανικές Εκπομπές

2.2.4. Εκπομπές από Μεθόδους Αποτέφρωσης

2.2.5. Δασικές και Γεωργικές Πυρκαγιές

2.3. Φυσικές Πηγές

2.3.1. Μεταφορά Σωματιδίων σε Μεγάλες Αποστάσεις

2.3.2. Επαναιώρηση Σκόνης από το Έδαφος

2.3.3. Υδρόλυμα Θαλάσσης

2.3.4. Ηφαιστειακή Δραστηριότητα και Εκρήξεις

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

3.1. Οργανικός Άνθρακας

3.2. Στοιχειακός Άνθρακας

3.3. Μέταλλα και Μεταλλικά Ιχνοστοιχεία

3.4. Αμμωνιακά

3.5. Θειικά

3.6. Χλωριόντα

3.7. Νιτρικά

3.8. Ισχυρά οξέα

3.9. Βιολογικά Υλικά

3.10. Γεωργικά Υλικά

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

4.1. Επιπτώσεις στην Ανθρώπινη Υγεία

4.1.1. Συμπτώματα της Έκθεσης σε Αιωρούμενα Σωματίδια

4.1.2. Τρόπος Επίδρασης των Διαφορετικών Σωματιδιακών Κλασμάτων

4.1.3. Τοξικότητα των Αιωρούμενων Σωματιδίων

4.2. Δευτερογενείς Επιπτώσεις στην Υγεία

4.3. Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

5.1. Η Ευρωπαϊκή Θυγατρική Οδηγία – Πλαίσιο

5.2. Πρότυπα ποιότητας κατά US - EPA

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1. Σκοπός της Εργασίας

6.2. Σύνταξη Πρωτοκόλλου Μετρήσεων – Περιγραφή Διαδικασίας

6.3. Dust Trak

6.4. Περιγραφή Μετρήσεων και Αποτελέσματα

6.5. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

6.6. Γενικά Μέτρα – Προτάσεις

6.7. Προτάσεις για Επέκταση της Εργασίας

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασία Περιβάλλοντος. Η περίοδος καταγραφής ήταν από 26/05/2010 έως και 15/07/2010.

Το θέμα που πραγματεύεται είναι η καταγραφή και μελέτη επιπέδων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} & $PM_{2.5}$) σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους στο Κέντρο της Αθήνας. Η εκτίμηση της έκθεσης εργαζομένων και άλλων υποομάδων πληθυσμού αποτέλεσε τον τελικό στόχο της εργασίας.

Κίνητρο για την εκπόνησή της αποτέλεσε η έκθεση των εργαζομένων σε χημικούς παράγοντες τους οποίους δεν γνωρίζουν και οι οποίοι επιδρούν στην υγεία τους αλλά και στο περιβάλλον.

Οι στόχοι αυτής της εργασίας είναι:

- ❖ να μελετηθεί η χωροχρονική μεταβολή των αιωρούμενων σωματιδίων στην υπό μελέτη περιοχή
- ❖ να εκτιμηθούν τα επίπεδα έκθεσης των εργαζομένων στην περιοχή αλλά και άλλων υποομάδων πληθυσμού που κινούνται στον εξωτερικό χώρο,
- ❖ να συγκριθούν οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις με τα σχετικά πρότυπα των διεθνών οργανισμών

Αναλυτικότερα, το αντικείμενο της μελέτης είναι η καταγραφή αιωρούμενων σωματιδίων σε κλειστό χώρο γραφείου αλλά και σε ώρες αιχμής στην πλατεία Συντάγματος σε εικοσιτετράωρη βάση, οι πιθανές επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον αλλά και η παρουσίαση του νομοθετικού πλαισίου που τα διέπει.

Το περιεχόμενο της μελέτης έχει οργανωθεί σε κεφάλαια, όπως παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω:

Στο κεφάλαιο 1 δίνεται ο ορισμός των αιωρούμενων σωματιδίων. Αναλύεται η κατηγοριοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα α) με τη δεισδυτικότητά τους στον ανθρώπινο οργανισμό, β) με το μέγεθός τους και

γ) με τον τρόπο σχηματισμού τους. Επίσης εξετάζονται και οι δύο βασικές κατηγορίες μετρούμενων σωματιδιακών κλασμάτων PM_{10} και τα $PM_{2,5}$ τα οποία και καταγράφουμε και στις μετρήσεις μας.

Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίες είναι είτε ανθρωπογενείς είτε φυσικές.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι επιπτώσεις αυτές παρατηρούνται στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφονται τα πρότυπα ποιότητας αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία – Πλαίσιο και με τα πρότυπα ποιότητας αέρα κατά US – EPA.

Στο κεφάλαιο 6 καταγράφονται οι στόχοι της εργασίας, γίνεται περιγραφή του δειγματολήπτη Dust Trak, περιγραφή των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων, σχολιάζονται τα αποτελέσματα και δίδονται γενικά μέτρα και προτάσεις.

Τέλος παρουσιάζεται η πλούσια βιβλιογραφία που υποστηρίζει την ανάπτυξη της μελέτης.

Θα ήθελα στο σημείο αυτό, καταρχήν να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κυρία Αρχοντούλα Χαλουλάκου για τις σπουδαίες ευκαιρίες απόκτησης γνώσης και εμπειρίας που μου παρείχε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή της. Η καθηγήτριά μου κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης συνέβαλε αποφασιστικά στην ολοκλήρωσή της με την καθοδήγηση, ενθάρρυνση και συμπαράστασή της. Οι ευχαριστίες αυτές πηγάζουν από την αναγνώριση της ουσιαστικής καθοδήγησης και συμβολής στην πραγμάτωση της μελέτης. Την ευχαριστώ θερμά!

Θερμές ευχαριστίες οφείλω ακόμα στην κυρία Λίλα Διαπούλη για τις εποικοδομητικές επιστημονικές συζητήσεις που κατά καιρούς είχαμε, για τις πολύτιμες παρατηρήσεις και συμβουλές της, καθώς και για όλη την συνεργασία μας για την ολοκλήρωση της μελέτης.

Η μελέτη δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς τη συμπαράσταση και κατανόηση της οικογένειάς μου. Για την υποστήριξή της σε κάθε βήμα της εκπόνησης της μελέτης εκφράζω ένα μεγάλο «ευχαριστώ».

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.1 Γενικά

Αιωρούμενα Σωματίδια (Particulate Matter ή PM) ονομάζονται τα στερεά ή υγρά σωματίδια που είναι διεσπαρμένα στον αέρα και έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό των απλών μορίων (περίπου $2 \cdot 10^{-4}$ μm σε διάμετρο) το οποίο δεν ξεπερνά τα 500 μm. Η προέλευση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλει. Επίσης διαφέρουν μεταξύ τους και στα φυσικά, θερμοδυναμικά, χημικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που έχουν ανιχνευτεί στον ατμοσφαιρικό αέρα ως προς την μάζα είναι μεταξύ μερικών $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως και αρκετών εκατοντάδων $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ειδικά σε περιοχές που έχουν επιβαρυνμένη ατμόσφαιρα.

1.2 Κατηγοριοποίηση Αιωρούμενων Σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται ως ακολούθως:

- ✚ Τη διεισδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό.
- ✚ Το μέγεθος τους.
- ✚ Τον τρόπο με τον οποίο σχηματίστηκαν.

1.2.1 Διεσδυτικότητα Αιωρούμενων Σωματιδίων στον Ανθρώπινο Οργανισμό

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν και είναι ανάλογες με το είδος των σωματιδίων. Άλλες επιπτώσεις στον οργανισμό μας έχουν τα θωρακικά, άλλες τα εισπνεύσιμα και άλλες τα αναπνεύσιμα σωματίδια τα οποία έχουν και τις πιο σοβαρές επιπτώσεις.

❖ Θωρακικά Σωματίδια (Thoracic Particles).

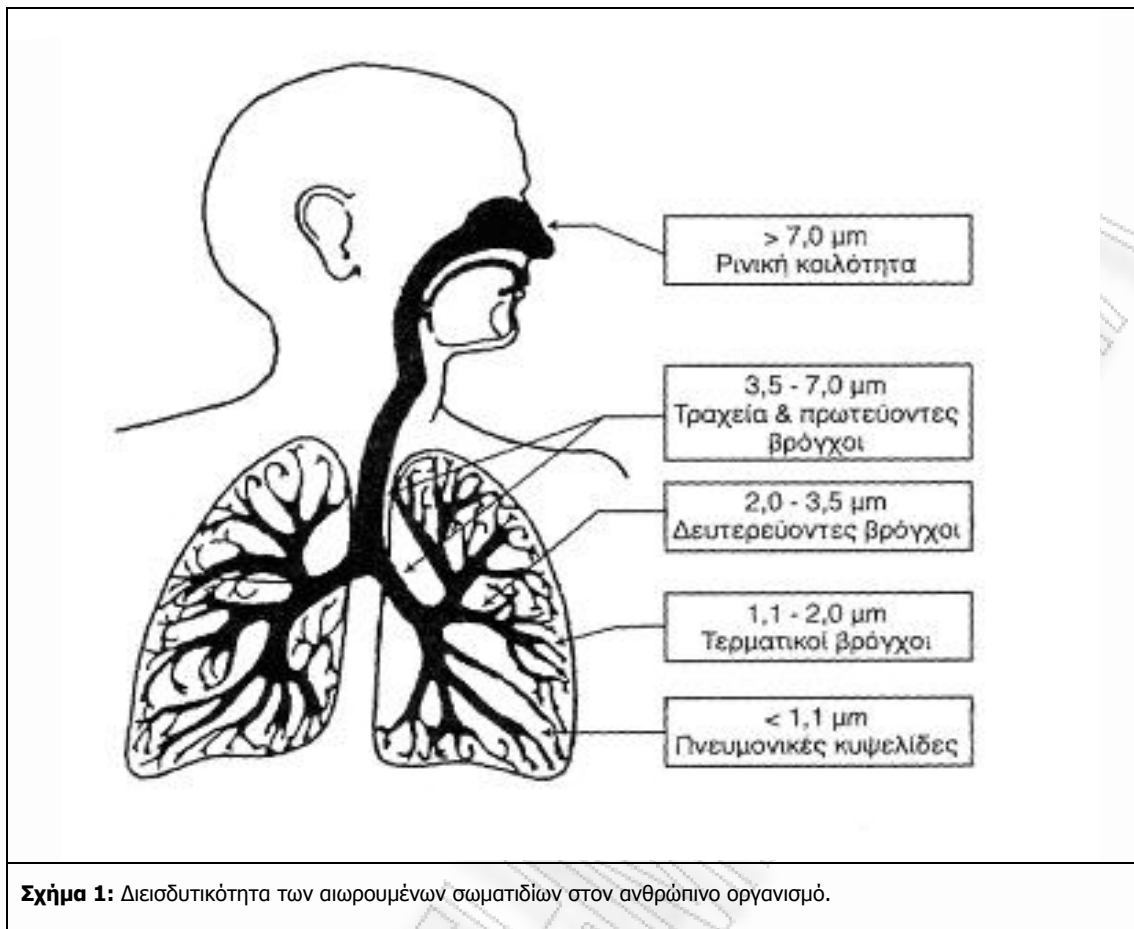
Τα θωρακικά σωματίδια έχουν την ικανότητα να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού που είναι ο ρινοφάρυγγας και έχουν μέγεθος μικρότερο των 7 μ m.

❖ Εισπνεύσιμα Σωματίδια (Inhalable Particles)

Τα εισπνεύσιμα σωματίδια εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού και έχουν διάμετρο έως 10 μ m.

❖ Αναπνεύσιμα Σωματίδια (Respirable Particles)

Τα αναπνεύσιμα σωματίδια κλάσμα έχουν μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερο από 2.5 μ m. Τα ανωτέρω σωματίδια έχουν τη μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία διότι διεσδύσουν έως τα βάθη των πνευμόνων.



1.2.2 Μέγεθος Αιωρούμενων Σωματιδίων

Τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSP) αποτελούνται από τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια και τα σταγονίδια. Τα TSP κυμαίνονται σε μέγεθος από 0.01μm έως και μερικές εκατοντάδες μm. Τα TPS που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο των 50 μm έχουν την ιδιότητα να καθιζάνουν πολύ εύκολα. Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται σε δύο τύπους ως ακολούθως:

✚ Λεπτόκοκκα (Fine Mode)

Λεπτόκοκκα ονομάζονται τα σωματίδια που έχουν μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου έως 2.5μm. Τα ανωτέρω σωματίδια παράγονται δευτερογενώς από αέριες ενώσεις και διακρίνονται σε:

❖ **Υποκατηγορία Πυρήνα (Nuclei Mode / Nuclei Range).** Τα σωματίδια αυτά προκύπτουν από πηγές καύσης ή είναι τα ίδια προϊόντα συμπυκνωμάτων καύσης. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0.01μm έως 0.05μm. Επειδή συσσωματώνονται ή με ελάχιστα μεγαλύτερα σωματίδια ή μεταξύ τους για να δημιουργήσουν νέα σωματίδια με μεγαλύτερη διάμετρο έχουν λιγιστό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα. Τα ανωτέρω διαχωρίζονται σε:

- Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken Nuclei). Τα συγκεκριμένα σωματίδια έχουν τοπικό μέγιστο μεγαλύτερο των 15nm στην κατανομή κατά πλήθος.
- Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra-fine Nuclei). Αντίστοιχα, τα σωματίδια αυτά έχουν τοπικό μέγιστο μικρότερο των 15nm στην κατανομή κατά πλήθος.

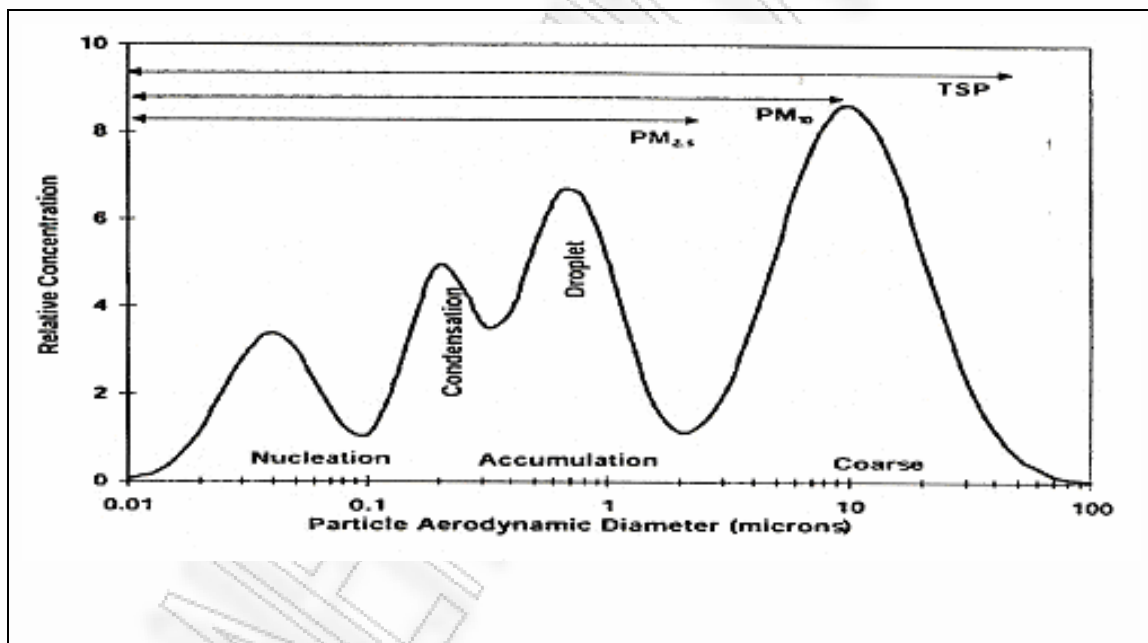
❖ **Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range).** Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0.05μm έως 2.5μm. Παράγονται από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων όπως αυτά της υποκατηγορίας πυρήνα αλλά και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις εν λόγω συσσωματώσεις. Ο χρόνος ζωής τους είναι από 7 έως 30 ημέρες και διακρίνονται σε:

- Σταγονίδια (droplet mode). Αρκετές φορές μεταξύ σταγονιδίων γίνονται αντιδράσεις υγρής φάσης, είτε παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας είτε μέσα σε ομίχλη ή νέφος, επάνω στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της ομάδας των σταγονιδίων.

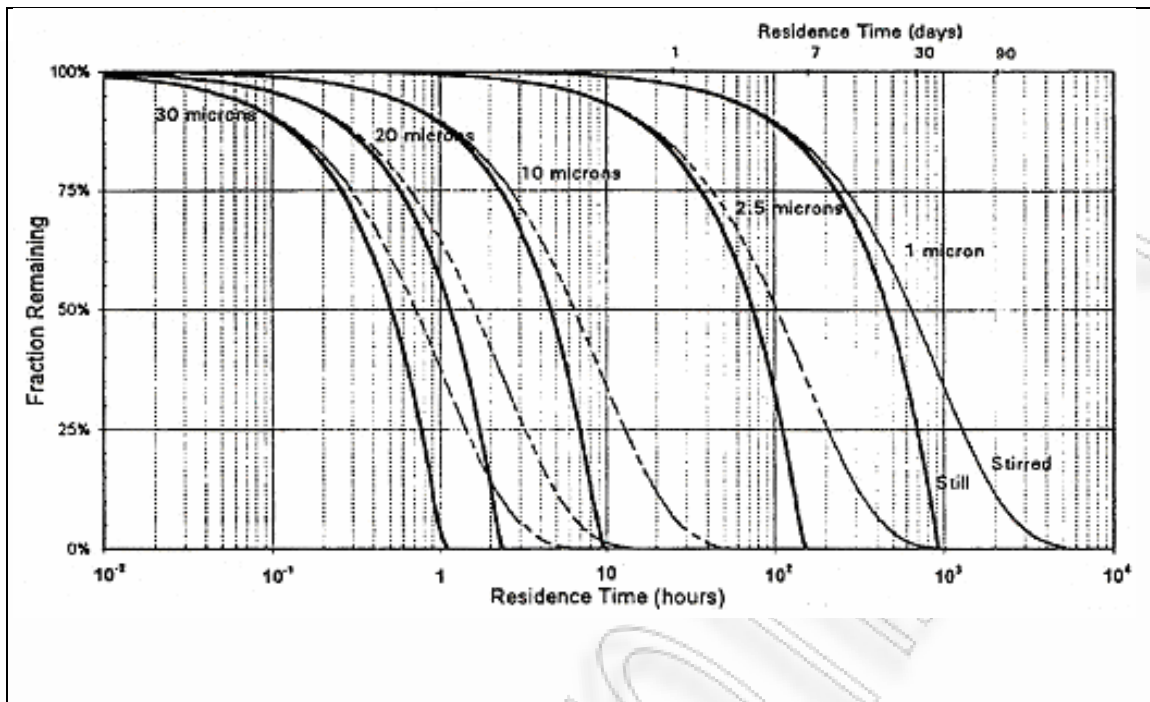
- Συμπυκνώματα (condensation mode). Δημιουργούνται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα και είναι μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια από τα προηγούμενα.

✚ Χονδρόκοκκα (Coarse Mode)

Τα χονδρόκοκκα σωματίδια δημιουργούνται με μηχανικούς τρόπους και έχουν μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερη των 2.5μm. Για παράδειγμα, τα σωματίδια που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία και έχουν διάμετρο 10μm μένουν αιωρούνται 10 με 20 ώρες πριν να καθιζάνουν στο κάτω τμήμα της τροπόσφαιρας. Επίσης έχουν την ικανότητα να ταξιδεύουν 20-30Km.



Σχήμα 2: Ιδανική κατανομή κατά μέγεθος αιωρουμένων σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας (Watson et al. 1997).



Σχήμα 3: 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 Τρόπος Σχηματισμού

Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με το πώς σχηματίστηκαν διακρίνονται σε:

- ✚ **Ιπτάμενη τέφρα:** Τα συγκεκριμένα σωματίδια είναι μη καύσιμα ορυκτά ή μεταλλικά σωματίδια και διαχέονται από τις καπνοδόχους κατά τη καύση του κάρβουνου έχοντας μέγεθος που κυμαίνεται από 1μm έως 1000μm.
- ✚ **Σκόνη:** Μικρά στερεά σωματίδια που προέρχονται από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών κατά την διάρκεια διεργασιών όπως έκρηξη, σύνθλιψη, τριβή και έχουν μέγεθος από 1μm έως 10000μm.
- ✚ **Ομίχλη:** Αποτελείται από σταγονίδια ή υγρά σωματίδια που προκύπτουν από τη συμπύκνωση ατμών. Το μέγεθός τους υπολογίζεται μεταξύ 0.1μm και 10μm.
- ✚ **Αιθάλη:** Προέρχεται από την συμπύκνωση ατμών διαφόρων στερεών υλικών και στοιχειακού άνθρακα με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών – στερεών σωματιδίων με μέγεθος από 0.03μm έως 0.3μm.

✚ **Καπνός:** Δημιουργείται από την ατελή καύση οργανικών υλών όπως το κάρβουνο και το ξύλο. Τα σωματίδια που τον αποτελούν έχουν μέγεθος μεταξύ 0.5 μm και 1 μm .

✚ **Σπρέι:** Αποτελούνται από υγρά σωματίδια. Μερικά τέτοια σπρέι είναι τα αρωματικά χώρου, τα παρασιτοκτόνα και τα φυτοφάρμακα. Έχουν μέγεθος από 10 μm έως 1000 μm .

1.3 Μέτρηση Αιωρούμενων Σωματιδιακών Ρύπων.

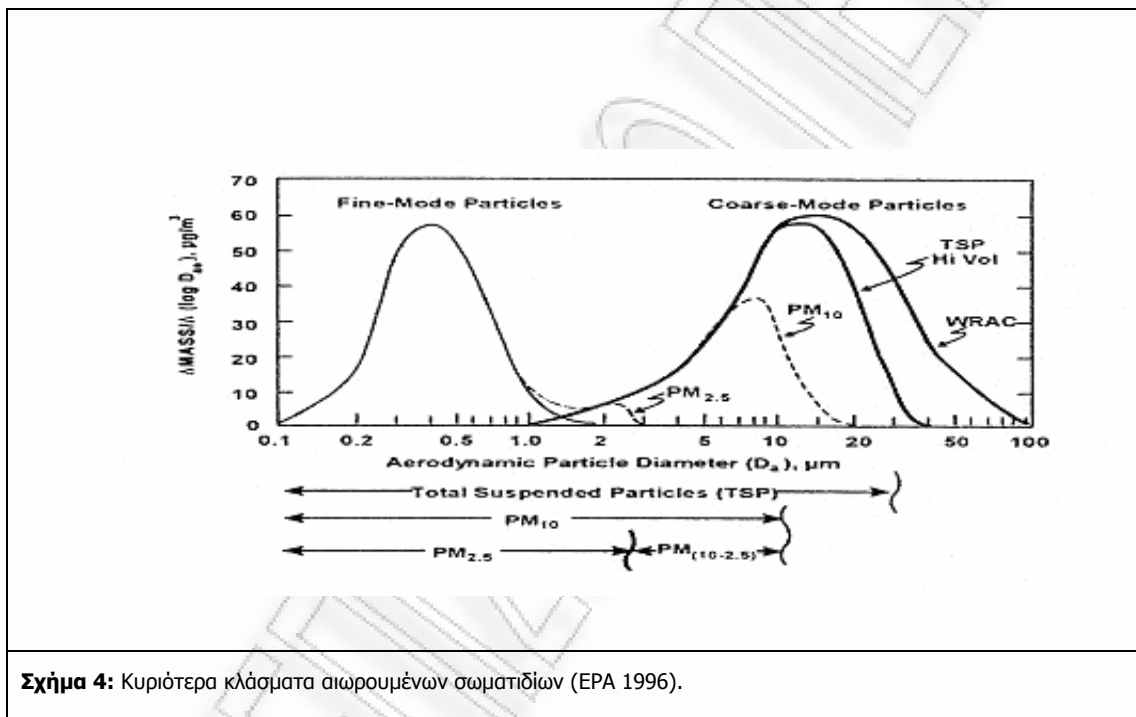
Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες μετρούμενων σωματιδιακών κλασμάτων, τα PM_{10} και τα $\text{PM}_{2,5}$. Αυτή η κατηγοριοποίηση έχει γίνει λαμβάνοντας υπόψη τον διαχωρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος και σε συνδυασμό με την διεισδυτικότητά τους στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα δύο αυτά κλάσματα ανήκουν στα βασικά κριτήρια που εξετάζουμε όταν θέλουμε να ελέγξουμε την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Φυσικά τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α. έχουν ορισθεί ανώτερα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης των ανωτέρω κλασμάτων στην εξωτερική ατμόσφαιρα.

Τα PM_{10} ανήκουν στην κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων με διάμετρο έως 10 μm . Επειδή όμως δεν μπορεί να δημιουργηθεί ένας δειγματολήπτης που δεν θα επιτρέπει την συλλογή των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο παραπλήσια της επιθυμητής τα PM_{10} περιλαμβάνουν και ένα περιορισμένο αριθμό σωματιδίων με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm . Τα $\text{PM}_{2,5}$ ανήκουν στην κατηγορία των αναπνεύσιμων σωματιδίων.

Οι ορισμοί που δίνονται για τα PM_{10} και τα $\text{PM}_{2,5}$ στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) είναι οι ακόλουθοι:

PM₁₀ νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50 % των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10μm.

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



Σχήμα 4: Κυριότερα κλάσματα αιωρούμενων σωματιδίων (EPA 1996).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

2.1 Γενικά

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν διαφορετική κατανομή και σύσταση λόγω της διαφορετικής τους προέλευσης. Οι πηγές των αιωρουμένων σωματιδίων είναι:

- ✚ **Πρωτογενείς.** Εκπέμπονται μέσα στην ατμόσφαιρα. Τα πρωτογενή σωματίδια προέρχονται από τα θαλάσσια αερολύματα, την επαναιώρηση σωματιδίων από τον άνεμο, τις εκπομπές ηφαιστειών, την κίνηση των οχημάτων, τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις καύσεις, τις οικοδομές και τα ορυχεία – λατομεία.
- ✚ **Δευτερογενείς.** Τα αιωρούμενα σωματίδια δημιουργούνται από αέριες ενώσεις μέσω ομογενών ή ετερογενών χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα. Παράγονται κυρίως από βιομηχανικές διεργασίες, την έντονη κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων και είναι δυνατόν να παραχθούν και από φυσικά αίτια.

2.2 Ανθρωπογενείς Πηγές

2.2.1 Εκπομπές από Οχήματα

Οι εκπομπές σωματιδίων από τους κινητήρες ντίζελ είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των βενζινοκινητήρων. Αυτό συμβαίνει διότι όσο βαρύτερο

είναι το κλάσμα πετρελαίου που καίγεται, τόσο μεγαλύτερη είναι και η παραγωγή σωματιδίων. Φυσικά όμως εκπέμπεται μεγάλη ποσότητα σωματιδίων και από τους βενζινοκινητήρες, ειδικά 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:

- ✚ Ο καταλύτης που θα εφαρμοστεί στα αέρια της εξάτμισης θα λειτουργεί σε οξειδωτικό περιβάλλον διότι ο ντιζελοκινητήρας λειτουργεί με περίσσεια αέρα.
- ✚ Λόγω της παρουσίας σωματιδίων στα καυσαέρια και λόγω της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο υπάρχει περίπτωση το σύστημα του καταλύτη να αστοχήσει. Το θείο οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου και σε θειικό οξύ, οδηγώντας σε όξινες εκπομπές, αλλά και σε σχηματισμό θειικών σωματιδίων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αυξήσει την εκπομπή των σωματιδίων.

Επίσης η κίνηση των οχημάτων δημιουργεί επαναιώρηση της σκόνης στους δρόμους. Τέλος εκπομπή σωματιδίων έχουμε και από την φθορά των φρένων και των ελαστικών. Το μέγεθος των συγκεκριμένων σωματιδίων κυμαίνεται από 3μm έως 30μm.

2.2.2 Οικιακές Πηγές

Με τη χρήση του πετρελαίου θέρμανσης απελευθερώνονται περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια διότι το πετρέλαιο θέρμανσης περιέχει δύο φορές περισσότερα ανόργανα υλικά και τέσσερις φορές περισσότερο θείο, από το κοινό ντίζελ κίνησης.

Η καύση ξύλων για θέρμανση αποτελεί με τη σειρά της και αυτή μια πηγή σωματιδιακής ρύπανσης.

Τέλος η καύση του κάρβουνου συντελεί και αυτή με τη σειρά της στην εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων.

2.2.3 Βιομηχανικές Εκπομπές

Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από τις διαφορετικού τύπου βιομηχανίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από τα είδη των διεργασιών που εφαρμόζονται. Επίσης ανάλογα με την απόσταση της βιομηχανικής από την αστική περιοχή έχουμε και την αντίστοιχη ρύπανση. Το μέγεθός τους είναι μεταξύ 0,5μm έως 100μm. Οι βιομηχανίες που εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι ακόλουθες:

- ✚ Οι μεταλλουργικές βιομηχανίες (παραγωγή αλουμινίου, επεξεργασία χαλκού, χαλυβουργεία, κτλ.).
- ✚ Τα διυλιστήρια πετρελαίου.
- ✚ Οι χημικές βιομηχανίες (παραγωγή καυστικής σόδας, χλωρίνης, ενεργού άνθρακα, απορρυπαντικών, κτλ.).

- ✚ Οι βιομηχανίες παραγωγής ανόργανων και ορυκτών προϊόντων (λατομεία, τσιμεντοβιομηχανίες, υαλουργία, κτλ.).
- ✚ Οι γεωργικές βιομηχανίες και οι βιομηχανίες τροφίμων (εκτροφεία ζώων, επεξεργασία δημητριακών, καφέ, κτλ.).
- ✚ Οι βιομηχανίες παραγωγής χημικής χαρτομάζας.
- ✚ Οι βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας. (καύση ανθρακούχων ορυκτών, χρήση πετρελαίου, καύση βιομάζας)

2.2.4 Εκπομπές από Μεθόδους Αποτέφρωσης

Η διάθεση των αποβλήτων γίνεται διαμέσου της μεθόδου της αποτέφρωσης. Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από αυτή τη διεργασία αποτελούνται κυρίως από άκαυστη ανόργανη ύλη. Η ακατέργαστη αυτή ύλη εξέρχεται από την καπνοδόχο διαμέσου του αερίου. Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεταξύ 1μm και 50μm. Επίσης εκπέμπονται βαρέα μέταλλα όπως αρσενικό, μόλυβδος, κάδμιο, ψευδάργυρος, νικέλιο και υδράργυρος. Τα μέταλλα αυτά εκπέμπονται ως οξειδία και χλωρίδια. Οι ανωτέρω ενώσεις δημιουργούνται διότι στα απορρίμματα υπάρχουν διάφορα μεταλλικά κράματα, μπαταρίες αλλά και πλαστικά.

2.2.5 Δασικές και Γεωργικές Πυρκαγιές

Όταν δημιουργούνται μεγάλες δασικές πυρκαγιές οι άμεσες εκπομπές αλλά και η αιώρηση σωματιδίων από την καμένη γη προκαλούν μία δίολου ευκαταφρόνητη πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Το πυρογενές αυτό υλικό αποτελείται από οργανική ύλη, στοιχειακό άνθρακα και ανόργανα υλικά. Το μέγεθός του είναι μικρότερο από 10μm και αυτό του δίνει τη δυνατότητα να αιωρείται λόγω του ανέμου.

2.3 Φυσικές πηγές

2.3.1 Μεταφορά Σωματιδίων σε Μεγάλες Αποστάσεις

Το φαινόμενο αυτό έχει σχέση με τις ανεμοθύελλες στις ερήμους. Αυτές συμβαίνουν όταν υπάρχουν ισχυροί άνεμοι. Βέβαια όταν η υγρασία του εδάφους αυξάνει και όταν αυτό καλύπτεται με βλάστηση το φαινόμενο ελαττώνεται.

Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο μεταφέρονται 150 εκ. τη σκόνης από την έρημο της Σαχάρας στο βόρειο ημισφαίριο διαμέσου των αιωρούμενων σωματιδίων που παρασύρονται από αέρια ρεύματα. Κατά τον ίδιο τρόπο μεταφέρονται από την έρημο της Σαχάρας προς τη βορειοδυτική περιοχή της Μεσογείου 3,9 εκ. τη σκόνης ετησίως που είναι η γνωστή σε όλους μας κόκκινη βροχή.

Τα σωματίδια που μεταφέρονται από την Σαχάρα είναι συνήθως χονδρόκοκκα και αποτελούνται από υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη, από ποσότητες γύψου, αργιλικών υλικών και μετάλλων.

Ωστόσο, το ίδιο παρατηρείται και σε άλλες περιοχές της υφελίου.

2.3.2 Επαναιώρηση Σκόνης από το Εδαφος

Οι μεταβολές στη θερμοκρασία, ο άνεμος και η υγρασία δημιουργούν επαναιώρηση της σκόνης από το χώμα. Η χημική σύσταση της σκόνης από χώμα είναι ίδια με αυτή της γεωλογικής πηγής. Η κατανομή της ως προς το μέγεθος εξαρτάται από το είδος της αρχικής πηγής και το μέγεθος της είναι μεταξύ 5μm και 50μm. Η σκόνη αυτή είναι δυνατόν να μεταφερθεί από τον άνεμο.

Η επίδραση των ανέμων σε χαλαρές επιφάνειες ξηρού χώματος έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται σωματίδια στον αέρα. Οι παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο είναι:

✚ Το ποσό της εκτιθέμενης ξηρής επιφάνειας από σωματίδια

✚ Η ταχύτητα του ανέμου.

Στις αστικές περιοχές δεν υπάρχουν εκτεθειμένες χωμάτινες επιφάνειες αλλά υπάρχουν σημαντικές ποσότητες σκόνης στους δρόμους και στα πεζοδρόμια η οποία είναι εκτεθειμένη στους αέριους στροβιλισμούς που δημιουργεί το πέρασμα των οχημάτων. Η ποσότητα των σωματιδίων που μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα δεν μπορεί να μετρηθεί διότι εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

✚ Τον χρόνο ξήρανσης που προηγείται της επαναιώρησης.

✚ Την ταχύτητα των κινούμενων οχημάτων.

✚ Το φορτίο των επικαθιμένων σωματιδίων επάνω στην επιφάνεια.

2.3.3 Υδρόλυμα Θαλάσσης

Τα αιωρούμενα σωματίδια από θαλασσινό αλάτι δημιουργούνται με δύο τρόπους:

✚ Από θραύση των κυμάτων στην θάλασσα, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί σταγονίδια από θαλασσινό νερό, τα οποία ξηραίνονται με την εξάτμιση.

✚ Από σπάσιμο αέριων φυσαλίδων στην επιφάνεια της θάλασσας.

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων από θαλασσινό αλάτι αποτελείται από θειικά ανιόντα, ανιόντα χλωρίου, κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου και φωσφόρου. Επίσης έχουν ανιχνευτεί και μεταλλικά ιχνοστοιχεία, όπως κάδμιο, μόλυβδος, βανάδιο και ψευδάργυρος σε λιμενικές εγκαταστάσεις. Η σύσταση αυτή προέρχεται από εκείνες τις φυσαλίδες του νερού που έρχονται σε επαφή με μεταλλικά αντικείμενα προτού διαρραγούν. Το μέγεθος τους είναι μεταξύ 1μm και 20μm.

2.3.4 Ηφαιστειακή Δραστηριότητα και Εκρήξεις

Σε ορισμένες περιοχές της Ευρώπης έχουμε ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η ιπτάμενη τέφρα που εκπέμπεται από τα ηφαίστεια αποτελεί μία διόλου ευκαταφρόνητη τοπική πηγή σωματιδίων σε κοντινές πόλεις.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν μια συγκεντρωμένη πηγή όλων των ατμοσφαιρικών ρύπων και ιδιαίτερα των σωματιδίων. Το μέγεθος των εκπεμπόμενων σωματιδίων κυμαίνεται από στερεά σώματα, ορατά με γυμνό μάτι, έως και υπερλεπτόκοκκα σωματίδια, διαμέτρου 0,001μm.

Η ενέργεια των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι τέτοια ώστε να μεταφέρει τα αέρια και τα σωματίδια στην στρατόσφαιρα, όπου οι φυσικές διαδικασίες απομάκρυνσης είναι πολύ βραδείες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελείται από τις παρακάτω βασικές κατηγορίες συστατικών:

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

3.1 Οργανικός Άνθρακας

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.

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, Kanouras 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 > κυκλοολεφίνες > 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).

Τέλος, στο οργανικό κλάσμα των αιωρουμένων σωματιδίων εντάσσονται ουδέτερα οξυγονωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων (αλδεΐδες, κετόνες, εποξειδία, εστέρες, λακτόνες, κινόνες), οργανικά οξέα (μυριστικό, ελαιϊκό, λινολεϊκό, στεατικό, παλμιτικό) και αλκαλικές ενώσεις όπως η ακριδίνη.

3.2 Στοιχειακός Άνθρακας

Τα σωματίδια αιθάλης περιέχουν άνθρακα υπό μορφή ενός πυρήνα από στερεό μαύρο στοιχειακό άνθρακα και εκπέμπονται κυρίως κατά τις διαδικασίες καύσης και από την κυκλοφορία των οχημάτων. 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 (καρβονυλικές, υδροξυλικές, καρβοξυλικές, φαινολικές, κτλ.).

3.3 Μέταλλα και Μεταλλικά Ιχνοστοιχεία

Τα μέταλλα που απαντώνται σε μεγάλη αναλογία στην μάζα των αιωρουμένων σωματιδίων είναι τα: νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο, υπό την μορφή των ιόντων τους. Με βάση την προέλευσή τους από τα θαλάσσια αερολύματα και την επιφανειακή σκόνη, τα παραπάνω μέταλλα στην πλειονότητά τους ανήκουν στο χονδρόκοκκο κλάσμα.

Σε συγκεκριμένες δόσεις, μερικά μεταλλικά ιχνοστοιχεία, όπως το κάδμιο, το βηρύλλιο, το αρσενικό, ο μόλυβδος, το νικέλιο, ο υδράργυρος και το βανάδιο, είναι αρκετά τοξικά. Η εισπνοή των αιωρούμενων σωματιδίων που

προέρχονται από μεταλλικά ιχνοστοιχεία είναι ανεπαρκής σε αστικές περιοχές και δεν έχει τοξική επίδραση στον άνθρωπο.

Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές διαδικασίες. Βέβαια υπάρχουν και μέταλλα όπως ο μόλυβδος, όπου για παράδειγμα, η κύρια πηγή του είναι η κυκλοφορία των οχημάτων.

3.4 Αμμωνιακά

Τα θειικά και νιτρικά ιόντα βρίσκονται υπό την μορφή των αντίστοιχων οξέων αρχικά στην ατμόσφαιρα. Μετά 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. Στο μεγαλύτερο βαθμό τους οι αμμωνιακές ενώσεις ανήκουν στο κλάσμα των σωματιδίων που είναι λεπτόκοκκα.

3.5 Θειικά

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 $\text{PM}_{2,5}$.

3.6 Χλωριόντα

Τα ιόντα χλωρίου προέρχονται κυρίως από το υδρόλυμα θαλάσσης. Αυτό συμβαίνει και σε περιοχές που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα από την

ακτή. Οι θαλάσσιες πηγές χλωριούχων σωματιδίων συνεισφέρουν κυρίως σε χλωριούχο νάτριο (NaCl). Τα συγκεκριμένα σωματίδια είναι χονδρόκοκκα.

Άλλη μια πηγή χλωριόντων είναι το αλάτι που χρησιμοποιείται στους δρόμους για την εξάλειψη του πάγου. Υπάρχουν και δευτερογενείς διαδικασίες με τις οποίες οι χλωριούχες ενώσεις εισέρχονται στην αέρια σωματιδιακή μάζα. Τέτοια είναι 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.

3.7 Νιτρικά

Τα νιτρικά σχηματίζονται κυρίως από την οξειδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου (NO_2). Το νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3) είναι το πιο συχνά απαντώμενο 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 οξειδωσης 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).

3.8 Ισχυρά Οξέα

Ο σχηματισμός θειικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα, μέσω της οξειδωσης 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 πητικότητας, είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια μόνο μέσω απώλειας της

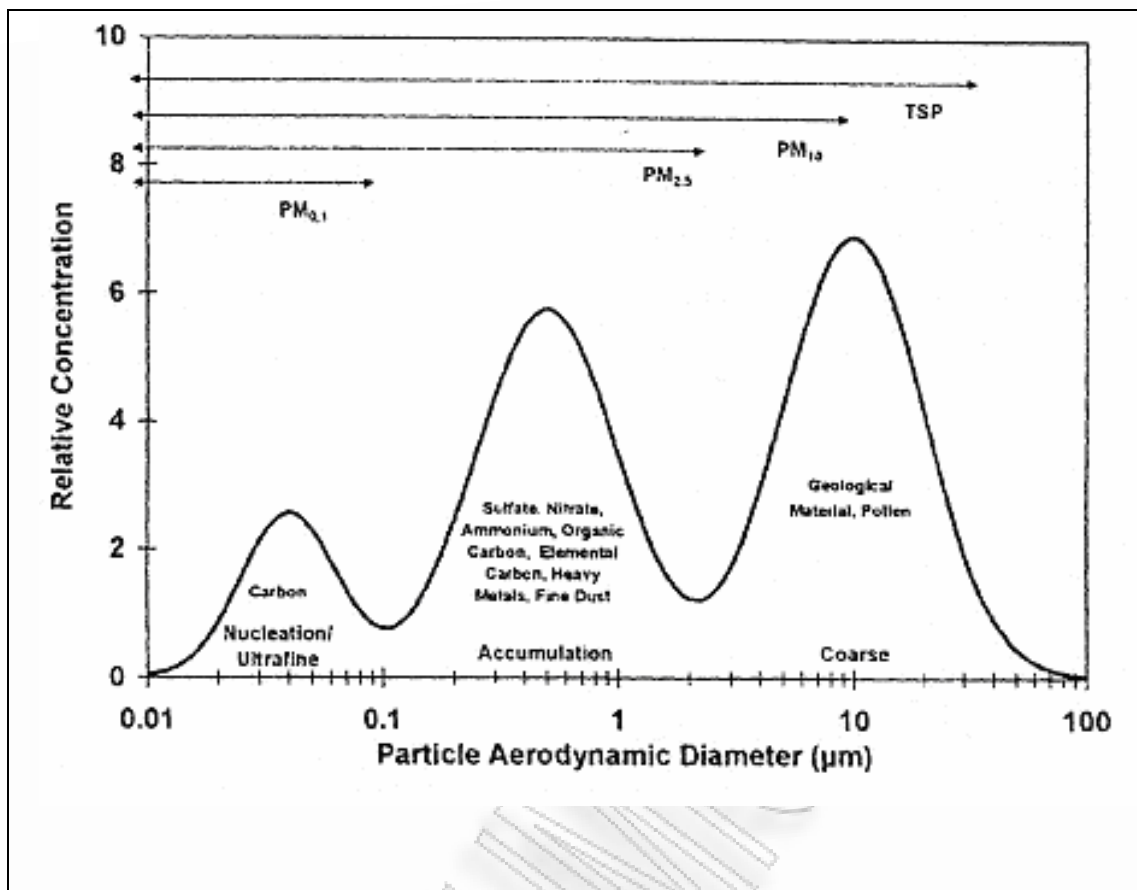
οξύτητάς του (μέσω είτε αντίδρασης με υδροχλωρικό οξύ ή εξουδετέρωσης από την αμμωνία). Αντιθέτως, το θειικό οξύ είναι μη πτητικό και, μόλις σχηματιστεί, ενσωματώνεται κατευθείαν στα σωματίδια, όπου κατόπιν είναι δυνατόν να εξουδετερωθεί από την αμμωνία της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, σε περιβάλλοντα με χαμηλές 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).

3.9 Βιολογικά Υλικά

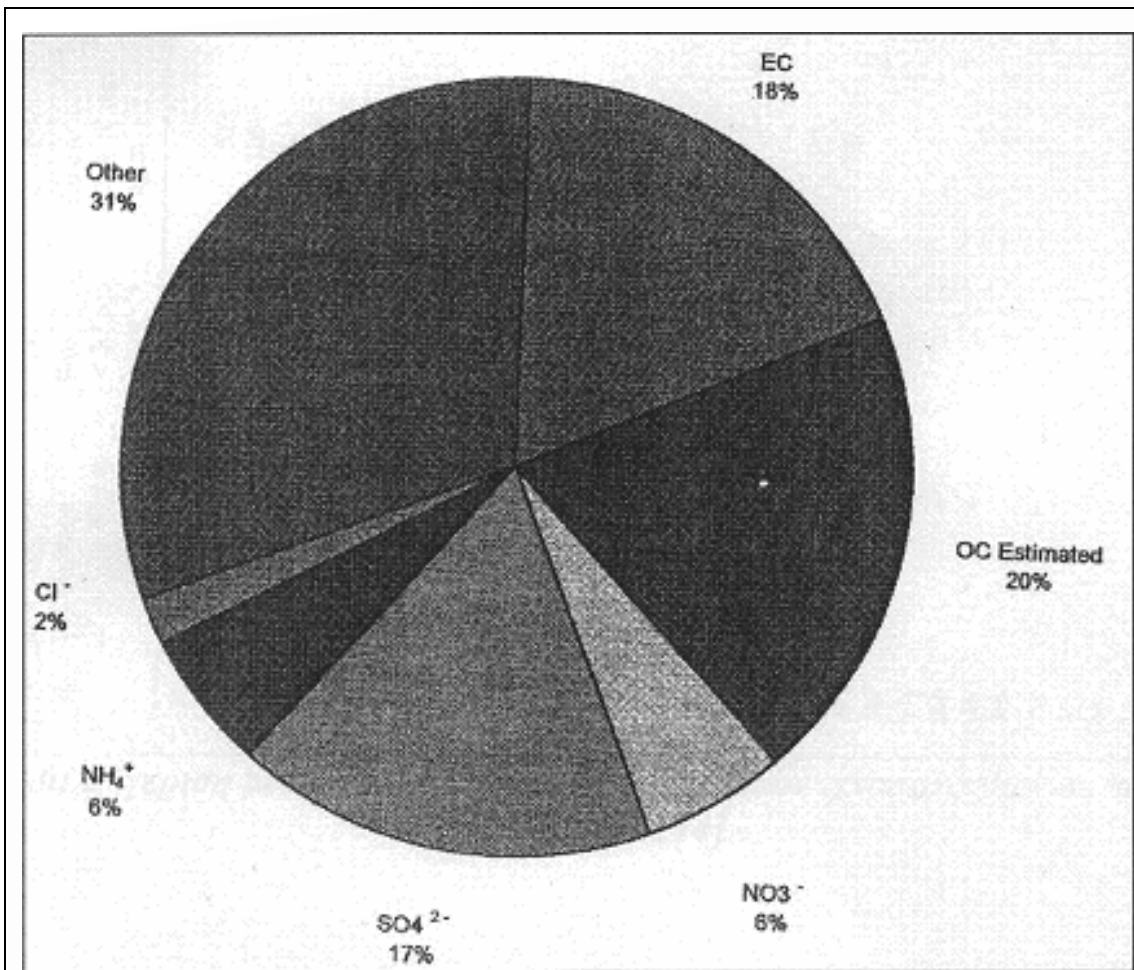
Η σωματιδιακή ύλη βιολογικής προέλευσης περιλαμβάνει μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια, αλλά και σπόρια, γύρη και τεμαχίδια κυτταρινούχου φυτικού υλικού. Στην πλειοψηφία τους τα σωματίδια αυτά είναι χονδρόκοκκα.

3.10 Γεωλογικά Υλικά

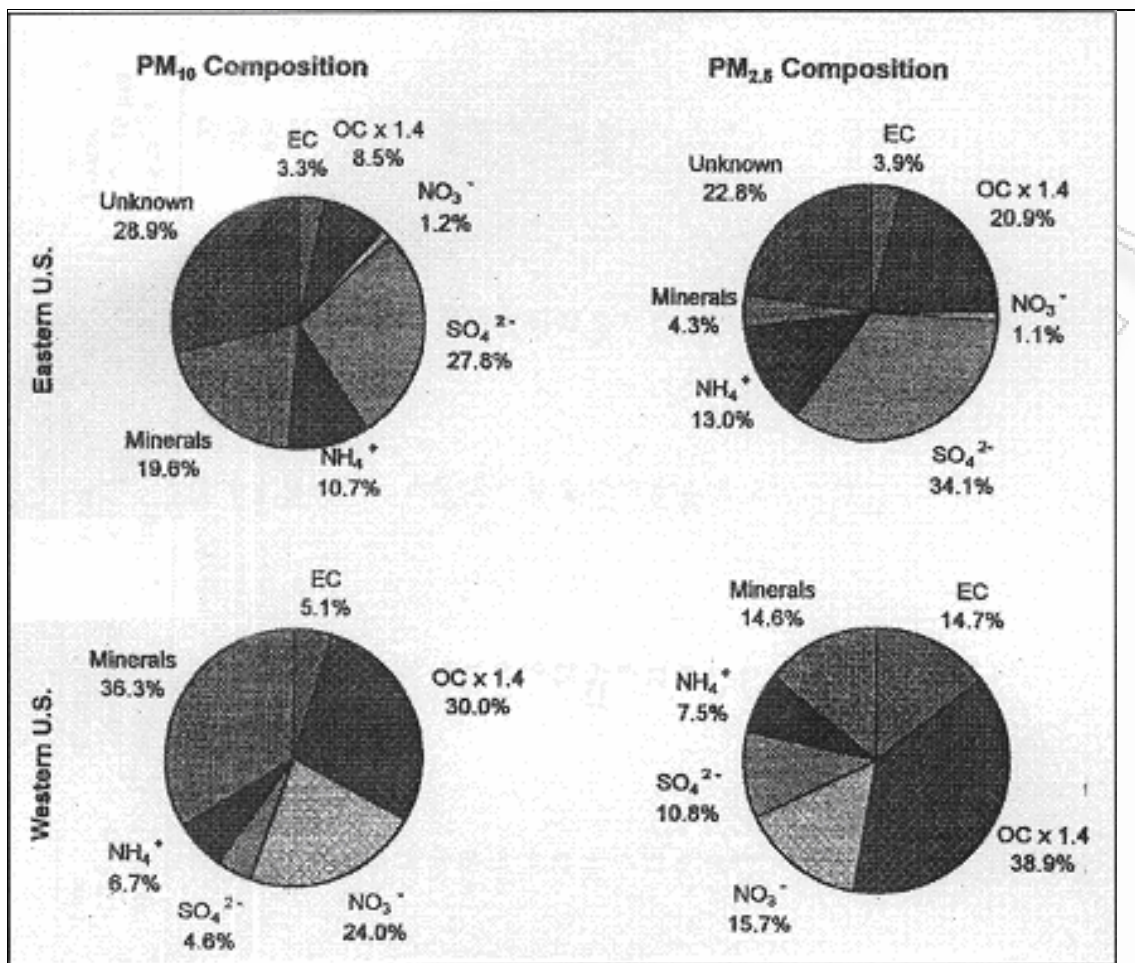
Η επιφανειακή σκόνη και τα αερομεταφερόμενα αποσθρωμένα πετρογενή ορυκτά υλικά ανήκουν στα γεωλογικά υλικά. Η σύσταση των συγκεκριμένων υλικών είναι αντίστοιχη με τα εκάστοτε τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην επαναιώρησή τους από το έδαφος.



Σχήμα 5: Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμένων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά (Watson et al. 1998).



Σχήμα 6: Τυπική σύσταση σωματιδίων PM10 στο Birmingham, U.K. (Watson et al. 1998).



Σχήμα 7: Κατανομή των κύριων συστατικών των αιωρούμενων σωματιδίων στις Ανατολικές και Δυτικές Η.Π.Α. (Harrison and Yin 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

4.1 Επιπτώσεις στην Ανθρώπινη Υγεία

4.1.1 Συμπτώματα της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια

Η έκθεση σε σωματίδια PM_{10} και $PM_{2,5}$ οδηγεί σε σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Μερικές από αυτές είναι:

- ✚ Η αδιαθεσία.
- ✚ Οι ζαλάδες.
- ✚ Ο επίμονος βήχας.
- ✚ Τα φλέματα.
- ✚ Η πρόκληση αλλά και η επιδείνωση σε προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος.
- ✚ Η επίδραση στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια.
- ✚ Οι καρδιοαγγειακές ασθένειες.
- ✚ Η πρόκληση βλάβης στους ιστούς των πνευμόνων.
- ✚ Οι καρκινογενέσεις.
- ✚ Ο θάνατος.

Η έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να μειώσει κατά μέσο όρο τη ζωή του κατά 1 με 2 χρόνια. Η έκθεση αυτή είναι η αιτία 3.000.000 θανάτων κάθε

χρόνο, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αναφέρει ότι:

«τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την μακροχρόνια και βραχυχρόνια έκθεση του πληθυσμού σε σωματίδια PM_{10} 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)

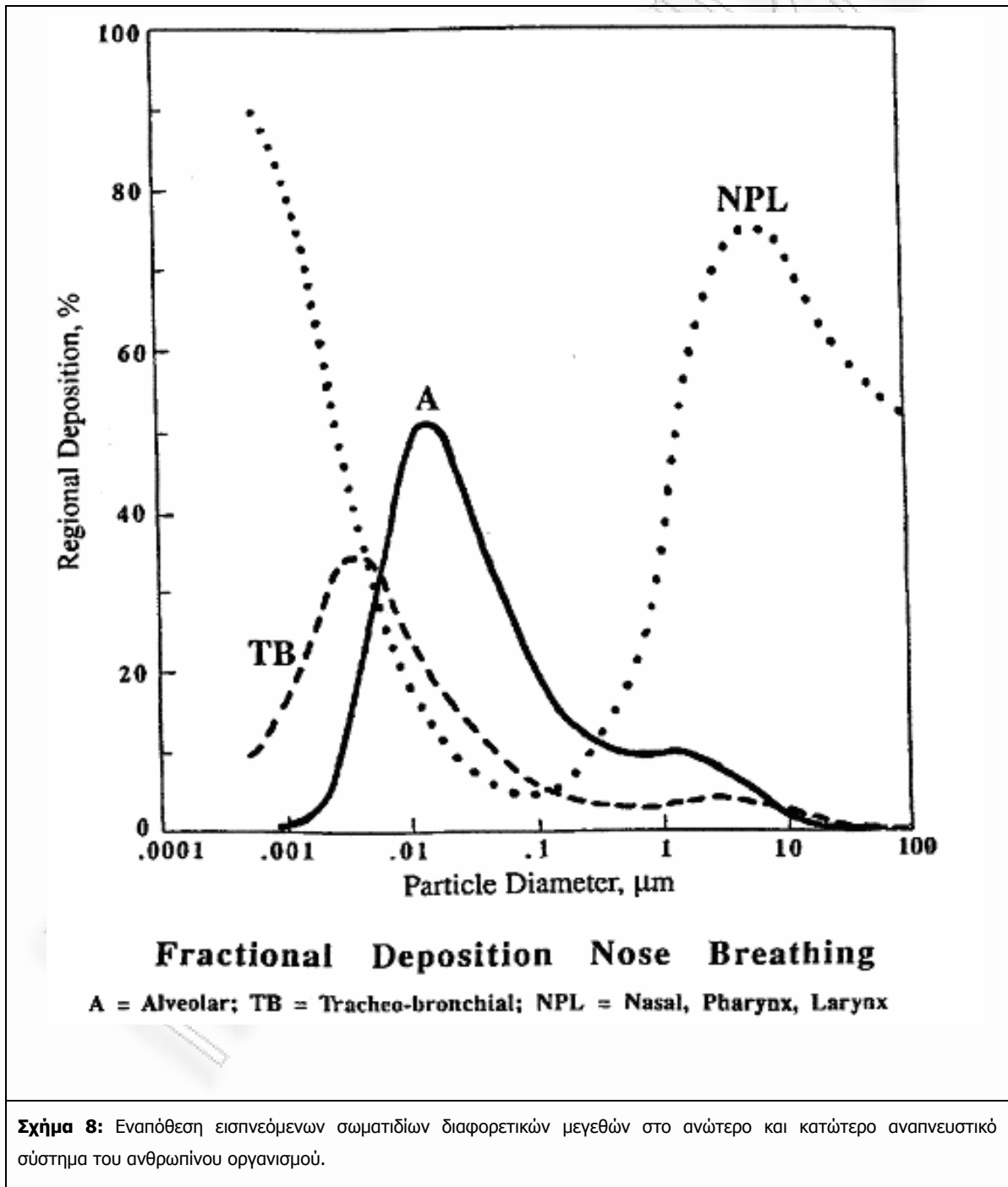
Η βραχυχρόνια έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης είναι δυνατόν να προκαλέσει μειωμένη πνευμονική λειτουργία, αυξημένα αναπνευστικά συμπτώματα, καρδιαγγειακές παθήσεις, αλλά και χρόνια συμπτώματα. Τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και οι πάσχοντες από αναπνευστικές και καρδιακές παθήσεις επηρεάζονται άμεσα από την έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση. Το φυσιολογικό και ανοσοποιητικό σύστημα των παιδιών είναι ακόμη υπό ανάπτυξη και για αυτό επηρεάζονται από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ένας ακόμη λόγος της επίδρασης της σωματιδιακής ρύπανσης στα παιδιά είναι έχουν μικρό μέγεθος πνευμόνων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επικάθηση μεγαλύτερου ποσοστού PM με κάθε αναπνοή.

4.1.2 Τρόπος επίδρασης των διαφορετικών σωματιδιακών κλασμάτων

Τα PM_{10} διαφεύγουν από τους μηχανισμούς κατακράτησης όπως το στόμα και η μύτη. Το 10 – 60 % αυτών υπάρχει πιθανότητα να εναποτεθεί στους πνεύμονες αλλά το μεγαλύτερο μέρος τους θα αποβληθεί από το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα.

Τα $PM_{2,5}$ εισχωρούν βαθύτερα στους βρόγχους και μπορούν να φτάσουν έως τις κυψελίδες των πνευμόνων. Όταν παγιδεύονται σε αυτούς τους υπερευαίσθητους ιστούς επεμβαίνουν στην οξυγόνωση του αίματος. Επίσης στην επιφάνειά τους προσροφόνται τοξικές και καρκινογόνες ενώσεις που με τη σειρά τους προσροφόνται σε διαφορετικά σημεία στους πνεύμονες.

Τα σημεία που εναποτίθενται τα σωματίδια είναι πάνω ή κοντά στους βρόγχους όπου και υπάρχουν πολλές νευρικές απολήξεις. Κατά αυτό τον τρόπο προκαλείται αύξηση του ρυθμού αναπνοής, αντανακλαστικός βήχας, συστολή των βρόγχων και μείωση της ικανότητας λειτουργίας του πνεύμονα στις αυξομειώσεις της πίεσης κατά την αναπνοή.



Σχήμα 8: Εναπόθεση εισπνεόμενων σωματιδίων διαφορετικών μεγεθών στο ανώτερο και κατώτερο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού.

4.1.3 Τοξικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων

Η τοξικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται από την χημική τους σύσταση και από την κατανομή του μεγέθους τους.

Τα θειικά είναι τα πιο επικίνδυνα από την κατηγορία των συστατικών των αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν τη δυνατότητα να βλάπτουν σοβαρά την ικανότητα των πνευμόνων να αποβάλλουν τα σωματίδια.

Σημαντικό παράγοντα τοξικότητας αποτελεί και η δράση ορισμένων μετάλλων σε αντιδράσεις σχηματισμού ελεύθερων ριζών υδροξυλίου. Αυτές δημιουργούν ερεθισμό στους ιστούς. Τα PM₁₀ έχουν έντονη δραστικότητα μέσω των ελεύθερων ριζών και αυτό αποδεικνύεται πειραματικά με αποσύνθεση του DNA. Τα PM₁₀ εκλύουν σε υδατικό μέσο τη ρίζα υδροξυλίου που είναι πολύ δηλητηριώδη. Επίσης, τα PM₁₀ εκλύουν και σημαντικές ποσότητες Fe⁺³ που ευνοούν το σχηματισμό ριζών υδροξυλίου.

Λόγω της εμφάνισης συνεργετικών ή ανταγωνιστικών μηχανισμών στο μίγμα των χημικών ενώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων πρέπει να γίνεται εξέταση για τη μεταλλαξιογόνο επίδραση τους, σε σχέση με την εξέταση των μεμονωμένων συστατικών τους. Η εξέταση αυτή έχει προγνωστική αξία για πιθανές καρκινογενέσεις. Τέτοια επίδραση έχουν ορισμένες οργανικές ενώσεις όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs).

4.2 Δευτερογενείς επιπτώσεις στην υγεία

Με την έκθεση σε PM μπορούν να προκληθούν αλλοιώσεις στην λειτουργία των πνευμόνων, αλλοιώσεις στους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού τους, εμφάνιση αναπνευστικών προβλημάτων και δημιουργία φλεγμονών. Έτσι προκαλείται αυξημένη ευαισθησία του οργανισμού, η οποία ευνοεί την συμπύκνωση υγρού μέσα στους πνεύμονες, ιδιαίτερα σε άτομα με καρδιακές παθήσεις. Επίσης με την εν λόγω έκθεση αυξάνεται και η πιθανότητα

μόλυνσης από βακτήρια ή ιούς των πνευμόνων με αποτέλεσμα την αύξηση των πνευμονιών.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ένα μέρος των προβλημάτων υγείας δεν οφείλεται αποκλειστικά στην διείσδυση των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα και στην τοξική τους δράση αλλά και στην εξασθένηση του οργανισμού.

4.3 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Τα $PM_{2,5}$ αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα να έχουμε ελάττωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα ανωτέρω σωματίδια δημιουργούν ένα φίλτρο το οποίο αφήνει μόνο ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να περάσει. Το υπόλοιπο μέρος ή ανακλάται ή το απορροφούν τα αιωρούμενα σωματίδια. Έτσι με αυτή τη διαδικασία έχουμε μειωμένη και πολλές φορές και αλλοιωμένη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό οδηγεί σε περιορισμένη ορατότητα αλλά και σε μείωση της γεωργικής παραγωγής στις αγροτικές περιοχές.

Τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν και στο κλίμα. Η επίδρασή τους εξαρτάται από τα ακόλουθα:

- ✚ Από την αλληλεπίδρασή τους με την ηλιακή ακτινοβολία.
- ✚ Από το πόσο εκπέμπονται σωματίδια στην περιοχή που εξετάζουμε.
- ✚ Από τον μικρό χρόνο ζωής τους.

Επιπροσθέτως, παρατηρείται ψύξη όταν τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να ανακλούν την μικρού μήκους κύματος εισερχόμενη προς τη γη υπεριώδη ακτινοβολία και θέρμανση (φαινόμενο του θερμοκηπίου) όταν ανακλούν τη μεγάλου μήκους κύματος εξερχόμενη από τη γη υπέρυθρη ακτινοβολία.

Τέλος, σε κάθε επιφάνεια του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος προκαλούνται αλλοιώσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι αλλοιώσεις αυτές προκαλούνται μέσω των ακόλουθων διεργασιών:

- ✚ **Επικάθηση.** Μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η επικάθησή τους πάνω στις επιφάνειες. Βέβαια αυτά μπορούν να εξαλειφτούν μέσω του βαψίματος, του καθαρίσματος ή του πλυσίματος. Όμως κάνοντας όλα τα παραπάνω έχουμε μείωση του χρόνου ωφέλιμης χρήσης της επιφάνειας, αλλά και οικονομικό κόστος.
- ✚ **Διάβρωση.** Η διάβρωση επιφανειών γίνεται μέσω της έκθεσής τους σε φορτισμένα σωματίδια, σε τέτοιο βαθμό ώστε να προκαλούνται βλάβες. Τα σωματίδια αυτά είναι υγροσκοπικά και διαβρωτικά στις φυσιολογικές συνθήκες σχετικής υγρασίας και η επίδρασή τους είναι άμεση. Επίσης τα εν λόγω σωματίδια είναι και φορείς ενώσεων, οι οποίοι μέσω της διάβρωσης που προκαλούν καταφέρνουν και εισχωρούν κάτω από την επιφάνεια του εκάστοτε υλικού. Τέλος, δρουν και σαν σημεία συμπύκνωσης και άλλων ρύπων, που με τη σειρά τους διαβρώνουν την επιφάνεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

5.1 Η Ευρωπαϊκή Θυγατρική Οδηγία - Πλαίσιο

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει οδηγίες - πλαίσιο, βάσει των οποίων οφείλουν τα κράτη μέλη να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία. Η οδηγία -πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών οδηγιών. Κάθε θυγατρική οδηγία αναφέρεται σε ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε μια θυγατρική οδηγία για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας στις 24 Μαρτίου 1999. Σε αυτή αναφέρεται ότι τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα και πριν από τις αναφερόμενες στην οδηγία ημερομηνίες, ώστε οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM_{10} στον ατμοσφαιρικό αέρα να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές που παραθέτονται στον ακόλουθο πίνακα.

	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: Θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα PM_{10} του 1999				

Σύμφωνα με την παραπάνω οδηγία, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να εγκαταστήσουν και να λειτουργούν σταθμούς μέτρησης για τις συγκεντρώσεις $\text{PM}_{2,5}$. Επίσης θα πρέπει 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).

Η τελική έκθεση της ομάδας εργασίας C.A.F.E (Clean Air For Europe), πάνω στην αιωρούμενη σωματιδιακή ρύπανση που συστήθηκε από την Ε.Ε., εκδόθηκε τον Δεκέμβριο του 2004 και είχε σκοπό τα ακόλουθα:

- ✚ Να αναθεωρήσει τα ισχύοντα πρότυπα ποιότητας αέρα.
- ✚ Να αναπτύξει καλύτερα συστήματα συλλογής δεδομένων και πρόβλεψης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η ομάδα εργασίας C.A.F.E. κατέληξε στην επιλογή της συγκέντρωσης των σωματιδίων $PM_{2,5}$, και όχι της συγκέντρωσης 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).

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 $PM_{2,5}$ που φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα (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 2: Θέσπιση μέσης ετήσιας οριακής τιμής της συγκέντρωσης των PM _{2,5} από την Ε.Ε.	

5.2 Πρότυπα Ποιότητας κατά US-EPA

Ο Αμερικανικός Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S Environmental Protection Agency, EPA), σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης των ΗΠΑ (US Clean Air Act 1970,1977,1990), ορίζει και θέτει σε ισχύ τα εθνικά πρότυπα ποιότητας αέρα της χώρας (National Ambient Air Quality Standards - NAAQS).

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. 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. Τα NAAQS ορίστηκε ότι είναι απαραίτητο να επανεξετάζονται κάθε πέντε χρόνια, από τον Αμερικάνικο Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (US-EPA).

Το 1987 θεσπίστηκε το πρώτο εθνικό αμερικάνικο πρότυπο ποιότητας αέρα (NAAQS) για τα PM₁₀ όπου οι συγκεντρώσεις στο περιβάλλον απαγορευόταν

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.

Η EPA τον Ιούλιο 1997 έκανε τις αναθεωρήσεις που έπρεπε να γίνουν στο πρότυπο ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια, ώστε να ανταποκρίνονται στην τότε τρέχουσα επιστημονική γνώση. Οι αναθεωρήσεις αυτές (40 CFR Part 50) τέθηκαν σε ισχύ στις 16 Σεπτεμβρίου 1997. Στον ακόλουθο πίνακα βλέπουμε τα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια όπως ίσχυαν το 1987, καθώς και με την αναθεώρηση που πραγματοποιήθηκε το 1997 (Milloy 1998, US EPA 1997a, b, c, Chow 1995).

Σωματιδιακό κλάσμα	Οριακή τιμή 1987	Επεξήγηση	Οριακή τιμή 1997	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.
	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.
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.
		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.

Πίνακας 3: Πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2,5} κατά US - EPA.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η καταγραφή και η χωροχρονική μελέτη των επιπέδων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} και $PM_{2.5}$) στο Κέντρο της Αθήνας. Θα μελετηθεί η έκθεση των εργαζομένων και άλλων υποομάδων πληθυσμού στην αέρια σωματιδιακή ρύπανση (PM_{10} και $PM_{2.5}$).

Η περιοχή της πλατείας Συντάγματος στο Κέντρο της Αθήνας επιλέχθηκε να μελετηθεί γιατί είναι πολύ χαρακτηριστική ως προς τον αριθμό διερχομένων πολιτών και οχημάτων και του σημαντικού αριθμού των ατόμων που εργάζονται εκεί.

Στο Σύνταγμα στεγάζονται οι υπηρεσίες πολλών υπουργείων, Δημόσιοι και Ιδιωτικοί Οργανισμοί, Γραφεία, Εμπορικά Κέντρα, Χώροι Αναψυχής (πλατείες, καφετέριες), η Βουλή των Ελλήνων και μεγάλα Ξενοδοχεία. Επειδή ο κάθε εργαζόμενος απασχολείται σε καθημερινή βάση για τουλάχιστον το 1/3 του χρόνου του, είναι ενδιαφέρον να παρακολουθήσουμε και να εκτιμήσουμε την έκθεσή του στα PM_{10} και $PM_{2.5}$.

Επίσης αυτή η περιοχή είναι και ο σημαντικότερος κυκλοφοριακός κόμβος ακόμα και τα Σαββατοκύριακα διότι ενώνει όλες τις περιοχές της Αττικής. Μέσα από το κέντρο περνάνε κάθε μέρα εκατοντάδες ιδιωτικά αυτοκίνητα, φορτηγά και αυτοκίνητα δημοσίας χρήσης. Υπάρχουν πάρα πολλές στάσεις λεωφορείων που συνδέουν το Κέντρο με όλες της υπόλοιπες περιοχές και με το αεροδρόμιο, ταξί, τραμ και είναι και ο κεντρικός σταθμός του Μετρό. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ένα ευρύ ηλικιακό φάσμα ανθρώπων παραμένει στην περιοχή του Συντάγματος για μικρό ή μεγάλο διάστημα.

Οι στόχοι αυτής της εργασίας είναι:

- ❖ να μελετηθεί η χωροχρονική μεταβολή των αιωρούμενων σωματιδίων στην υπό μελέτη περιοχή
- ❖ να εκτιμηθούν τα επίπεδα έκθεσης των εργαζομένων στην περιοχή αλλά και άλλων υποομάδων πληθυσμού που κινούνται στον εξωτερικό χώρο,
- ❖ να συγκριθούν οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις με τα σχετικά πρότυπα των διεθνών οργανισμών

6.2 Σύνταξη Πρωτοκόλλου Μετρήσεων - Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Η δειγματοληψία της παρούσας εργασίας, έλαβε χώρα σε ένα τυπικό χώρο γραφείου στο ισόγειο του κτιρίου του Υπουργείου Οικονομικών. Επιλέξαμε το ισόγειο όπου αναμένονται να καταγραφούν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Μετά από τις σχετικές και αρκετά χρονοβόρες συνεννοήσεις έγινε δυνατή η έναρξη των μετρήσεων στο συγκεκριμένο χώρο. Το συγκεκριμένο γραφείο βρίσκεται στο κτίριο της οδού Καραγεώργη Σερβίας 8 (πλησίον πλατείας Συντάγματος), είναι 15m² και εργάζονται οχτώ με δέκα άτομα. Η περίοδος καταγραφής ήταν από 26/05/2010 έως και 15/07/2010, δηλαδή θερινή περίοδος του έτους. Στο χώρο έγιναν εικοσιτετράωρες μετρήσεις των σωματιδιακών κλασμάτων PM₁₀ και PM_{2,5} με όργανο συνεχούς καταγραφής Dust Trak Μοντέλο 8533, της εταιρείας TSI, και σύμφωνα με το πρωτόκολλο μετρήσεων που σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

Επειδή ο ανωτέρω χώρος γραφείου που επιλέχθηκε αερίζεται μέσω συστήματος εξαερισμού, κρίθηκε σκόπιμη η διεξαγωγή μετρήσεων και στην τάρταρα όπου βρίσκεται η είσοδος του συστήματος εξαερισμού.

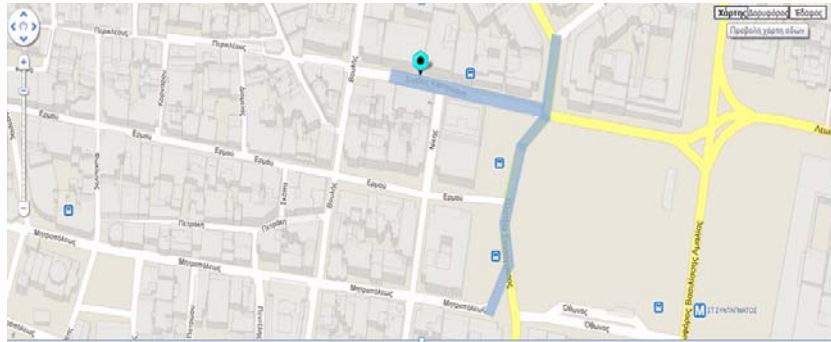
Για την εκτίμηση της σχέσης της εσωτερικής ρύπανσης στα γραφεία με την εξωτερική ρύπανση στο περιβάλλοντα χώρο, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στην οδό Καραγεώργη Σερβίας που είναι σε άμεση γειτνίαση με το κτίριο.

Σε ένα επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πραγματικού χρόνου επί της Πλατείας Συντάγματος για το χρονικό διάστημα από 12:30 – 15:30. Έχει διαπιστωθεί από άλλες μελέτες ότι σε αυτό το διάστημα καταγράφονται τα υψηλότερα επίπεδα σε καθημερινή βάση. Επίσης είναι περίοδος πυκνής διακίνησης στην περιοχή πολλών υποομάδων πληθυσμού (έχουμε μετακίνηση πολιτών όλων των ηλικιών και για διαφορετικούς λόγους).

Ακολουθούν εικόνες της περιοχής στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες.



Εικόνα 1: Φωτογραφία από δορυφόρο στην οποία φαίνεται το κτίριο του Υπουργείου Οικονομικών



Εικόνα 2: Φωτογραφία στην οποία φαίνεται οι περιοχές που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις

6.3 Dust Trak

Η παρακολούθηση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός αυτόματου μετρητή συνεχούς καταγραφής DustTrak Aerosol Monitor Model 8533, της εταιρείας TSI. Το όργανο ελέγχου των αερολυμάτων, είναι ένα φορητό λέιζερ-φωτόμετρο. Παρέχει αξιόπιστη αξιολόγηση της έκθεσης σε σωματίδια, μετρώντας συγκεντρώσεις σε PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , και κλάσματα αναπνεύσιμων σωματιδίων, Respirable και Total PM.

Είναι κατάλληλο για μέτρηση συγκεντρώσεων σε γραφεία καθώς και σε βιομηχανικούς εργασιακούς χώρους, στις κατασκευές, σε περιβαλλοντικούς χώρους και σε άλλες υπαίθριες εφαρμογές.

Ο μετρητής Dust Trak DRX μετράει το αερόλυμα ρύπων, όπως σκόνη, καπνό και νέφος. Οι εφαρμογές του περιλαμβάνουν:

- ❖ έρευνες υγιεινής σε βιομηχανικούς και λοιπούς εργασιακούς χώρους
- ❖ εσωτερικές έρευνες ποιότητας της ατμόσφαιρας
- ❖ εξωτερικό περιβαλλοντικό έλεγχο
- ❖ αξιολόγηση φίλτρων και μηχανικού ελέγχου
- ❖ έλεγχο απομακρυσμένων περιοχών και εκπομπών σε πραγματικό χρόνο

❖ ερευνητικές μελέτες των αερολυμάτων

Ο μετρητής χρησιμοποιεί τη διασπορά φωτός σε γωνία 90° για να υπολογίσει την κατά μάζα συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων σε αέριο ρεύμα. Το ρεύμα αέρα εισέρχεται στον δειγματολήπτη με παροχή 1,7 L/min, μέσω εσωτερικής αντλίας και στη συνέχεια διασταυρώνεται με ακτίνα laser. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων προσδιορίζεται μέσω της σκέδασης του φωτός από τα σωματίδια. Ο μετρητής είναι δυνατόν να μετρήσει συγκεντρώσεις στο εύρος 0,001 – 150 mg/m³, με ανάλυση ίση με ± 0,1 % ή 1 μg/m³ (όποιο από τα δύο δίνει την μεγαλύτερη τιμή).

Το όργανο ελέγχου DustTrak 8533 περιέχει μια ευανάγνωστη έγχρωμη ψηφιακή οθόνη αφής η οποία παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο τις μετρούμενες συγκεντρώσεις των σωματιδίων σε χιλιοστά του γραμμαρίου ανά κυβικό μέτρο αέρα (mg/m³).

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του DustTrak 8533 είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να λαμβάνει και να αποθηκεύει μετρήσεις χωρίς να είναι αναγκαία η παρουσία του στον ελεγχόμενο χώρο. Το όργανο περιέχει μικροεπεξεργαστές και λογισμικό με το οποίο προγραμματίζεται η έναρξη και η διάρκεια των δειγματοληψιών. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα αποθηκεύονται στη μνήμη του οργάνου η οποία υποστηρίζεται από μια μπαταρία λιθίου. Το DustTrak 8533 είναι συμβατό με τους κοινούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τα λογισμικά τους με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η φόρτωση των αποθηκευμένων δεδομένων του οργάνου σε αυτούς και έτσι να είναι εφικτή η στατιστική ανάλυσή τους.

Είναι φορητή συσκευή χειρός, μικρού βάρους, που επιτρέπει την μέτρηση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων κατά τη διάρκεια διαδρομών – ταξιδίων, με διάφορα μέσα και κυρίως στο περπάτημα.

Επισημαίνεται ότι πριν από κάθε μέτρηση έγινε βαθμονόμηση (zero calibration) με το zero φίλτρο.



Εικόνα 3: DustTrak Aerosol Monitor Model 8533



Εικόνα 4: Το όργανο μέτρησης DustTrak με τον σωλήνα μέσω του οποίου έγινε η είσοδος των σωματιδίων



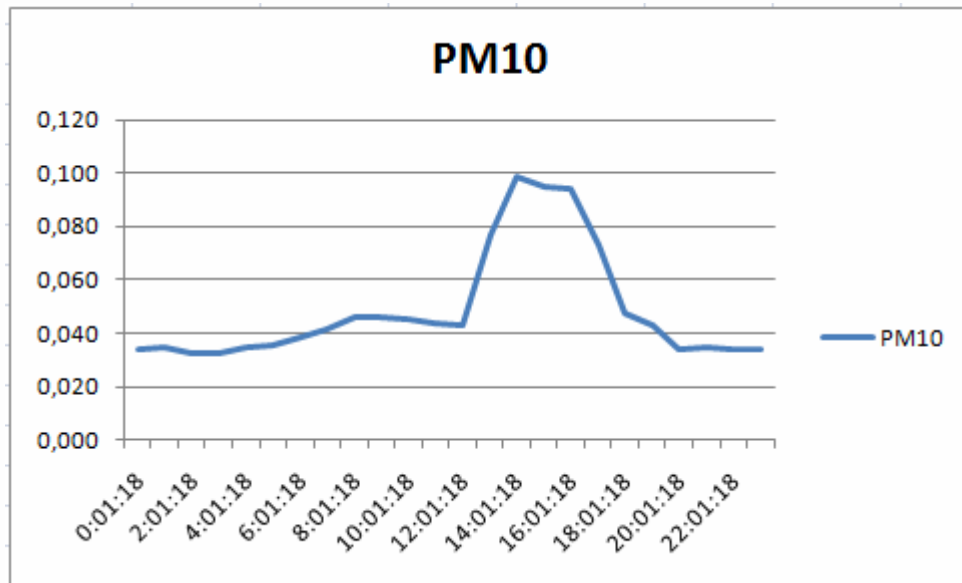
Εικόνα 5: Το όργανο μέτρησης DustTrak με το zero filter για την επίτευξη της βαθμονόμησης .

6.4 Περιγραφή Μετρήσεων και Αποτελέσματα

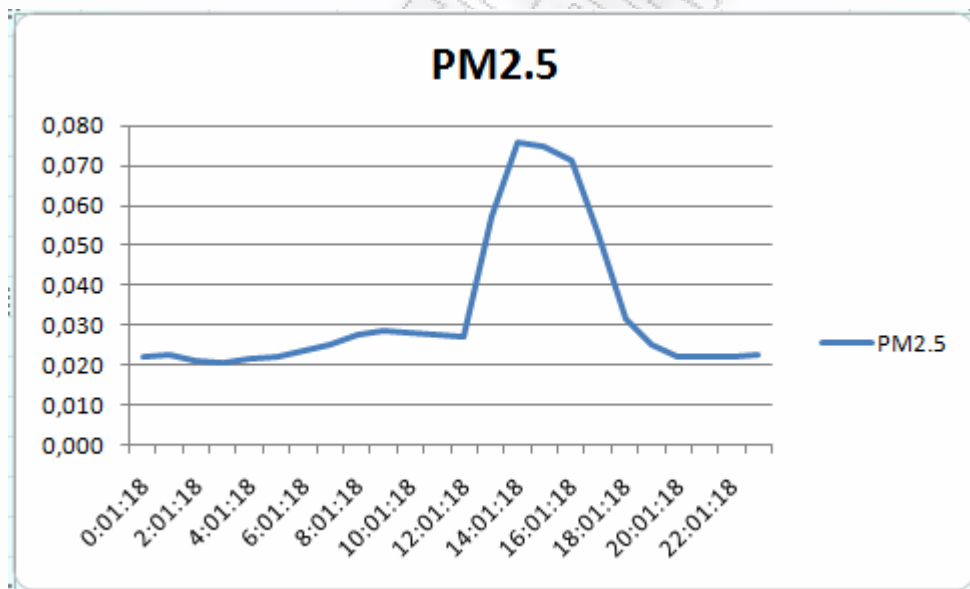
Εκμεταλλεύομενοι τη δυνατότητα του οργάνου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε μικρά χρονικά διαστήματα των πέντε έως δεκαπέντε λεπτών. Με τον τρόπο αυτό μελετήθηκε η ημερήσια διακύμανση σε ωριαία βάση των επιπέδων των δύο σωματιδιακών κλασμάτων.

Στα αποτελέσματά μας παρουσιάζεται ο μέσος ημερήσιος κύκλος των εργάσιμων ημερών, ένας για τις ημέρες του Σαββάτου (αποτελείται από τέσσερα Σάββατα) και ένας για τις ημέρες της Κυριακής (αποτελείται από τέσσερις Κυριακές).

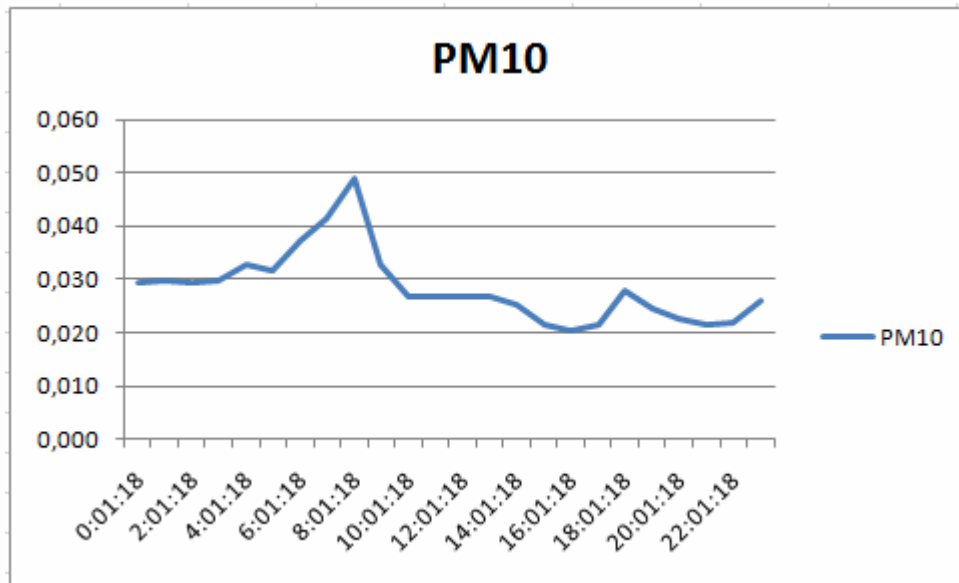
❖ Συγκεντρωτικός Ημερήσιος Κύκλος Εργάσιμων Ημερών για PM₁₀



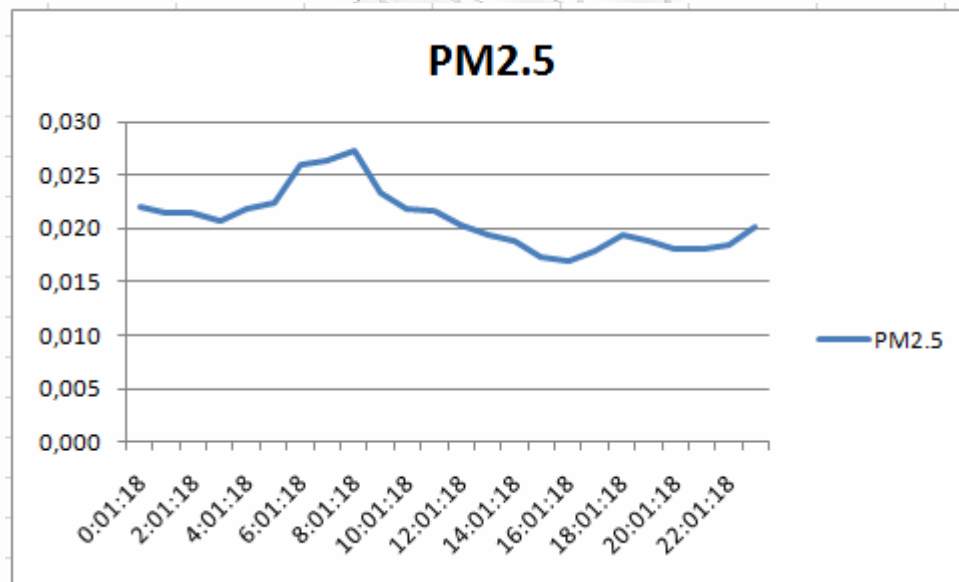
❖ Συγκεντρωτικός Ημερήσιος Κύκλος Εργάσιμων Ημερών για PM_{2,5}



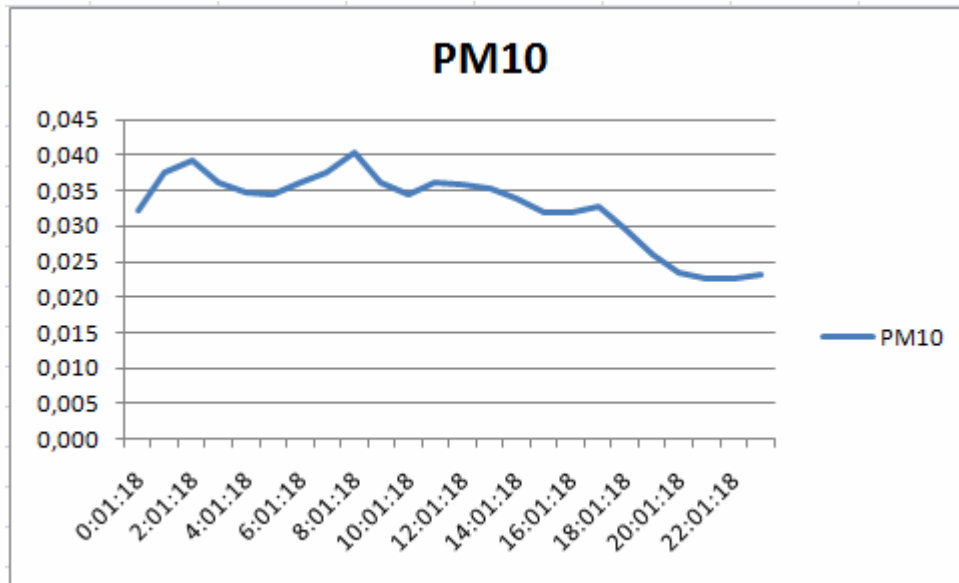
❖ Συγκεντρωτικός Ημερήσιος Κύκλος Σαββάτου για PM₁₀



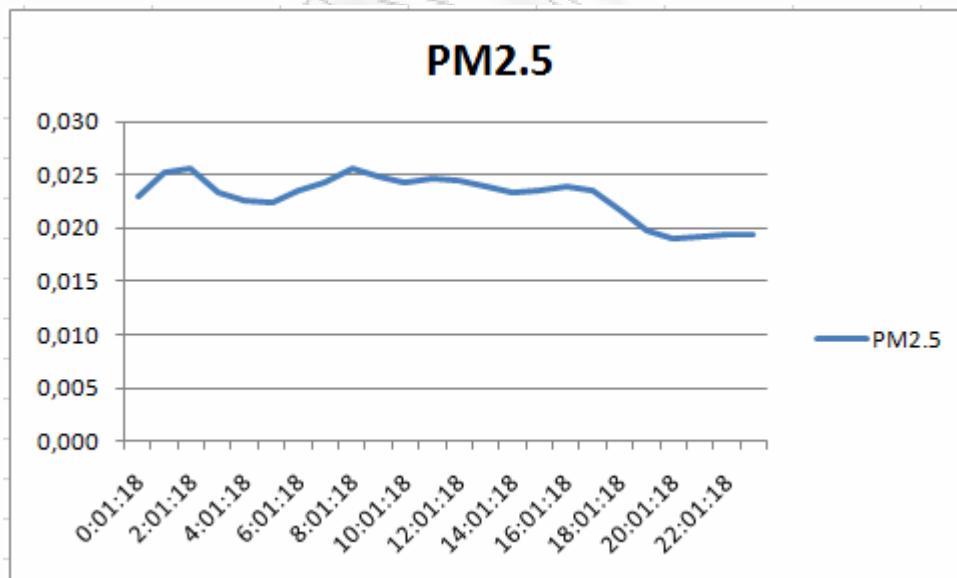
❖ Συγκεντρωτικός Ημερήσιος Κύκλος Σαββάτου για PM_{2.5}



❖ Συγκεντρωτικός Ημερήσιος Κύκλος Κυριακής για PM₁₀



❖ Συγκεντρωτικός Ημερήσιος Κύκλος Κυριακής για PM_{2.5}



Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές των κλασμάτων, καθώς και η διακύμανσή τους.

	PM ₁₀ (Min-Max) μg/m ³	PM _{2.5} (Min-Max) μg/m ³	PM _{2.5} /PM ₁₀	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (μέση ημερήσια θερμοκρασία)	ΑΝΕΜΟΣ (μέση ταχύτητα ανέμου)
ΕΡΓΑΣΙΜΕΣ ΜΕΡΕΣ	49 (15-176)	33 (5-141)	0,69	15°C–37°C	2-4m/sec
ΣΑΒΒΑΤΟ	28 (14-60)	21 (10-34)	0,68		
ΚΥΡΙΑΚΗ	33 (12-51)	23 (9-36)	0,67		

Επίσης υπολογίσαμε τα ακόλουθα:

- ❖ Τα Σάββατα το 67,9% του PM₁₀ αποτελείται από PM_{2.5}
- ❖ Τις Κυριακές το 66,7% του PM₁₀ αποτελείται από PM_{2.5}
- ❖ Τις εργάσιμες ημέρες το 69,4% του PM₁₀ αποτελείται από PM_{2.5}

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται οι συγκεντρώσεις των PM₁₀ και των PM_{2.5} στο Σύνταγμα και ακριβώς έξω από το γραφείο.

	ΣΥΝΤΑΓΜΑ	ΕΞΩ ΑΠΟ ΕΙΣΟΔΟ ΚΤΙΡΙΟΥ
PM ₁₀ (μg/m ³)	145	133
PM _{2.5} (μg/m ³)	42	31

Πίνακας 5: Συγκεντρώσεις των PM₁₀ και των PM_{2.5} στο Σύνταγμα και ακριβώς έξω από το γραφείο

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, επειδή το γραφείο διαθέτει σύστημα εξαερισμού, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και στην ταράτσα που είναι η

είσοδος του αέρα. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται όλα τα Ι.Ο. που υπολογίσαμε.

	Ι.Ο. PM ₁₀	Ι.Ο. PM _{2.5}
ΜΕΣΑ-ΤΑΡΑΤΣΑ	1,077	1,184
ΜΕΣΑ- ΕΞΩ ΑΠΟ ΕΙΣΟΔΟ ΚΤΙΡΙΟΥ	0,773	0,971
Πίνακας 6: Ι.Ο.		

Επίσης παρατηρήσαμε ότι οι συγκεντρώσεις των PM₁₀ και PM_{2.5} στην ταράτσα είναι 21% και 32% αντίστοιχα μικρότερες από αυτές έξω ακριβώς από το κτίριο.

Κατά τη σύνταξη του πρωτοκόλλου μετρήσεων και τις σχετικές συζητήσεις με το προσωπικό διαπιστώθηκε μία «ενδιαφέρουσα» συνήθεια κάποιων εργαζομένων προς το τέλος του ωραρίου (κάπνισμα). Η περίοδος αυτή του καπνίσματος έχει πολύ εύγλωττα καταγράφει στον ημερήσιο κύκλο των σωματοδιακών κλασμάτων και μόνο για τις εργάσιμες. Έτσι έχουμε μία δραματική αύξηση των συγκεντρώσεων η οποία οφείλεται στην διαφορετικότητα της πηγής εκπομπής που είναι το κάπνισμα. Επίσης, κατά τις ώρες του καπνίσματος οι μέσες συγκεντρώσεις των PM₁₀ και PM_{2.5} είναι κατά 38% και 48% αντίστοιχα μεγαλύτερες από τις μέσες συγκεντρώσεις του οχταώρου (εργάσιμες μέρες). Παρατηρούμε ότι κατά τις ώρες καπνίσματος τα PM_{2.5} αποτελούν το 97% των PM₁₀ ποσοστό κατά πολύ μεγαλύτερο από τα υπόλοιπα διαστήματα της ημέρας που υποδεικνύει την διαφορετικότητα της κύριας πηγής εκπομπής τους που είναι το κάπνισμα.

6.5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται σύγκριση για τον εσωτερικό χώρο της μέσης εικοσιτετράωρης και της μέσης οχτάωρης τιμής των PM₁₀, για τις εργάσιμες ημέρες, σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή της Ευρωπαϊκής Θυγατρικής Οδηγίας – Πλαίσιο.

	PM ₁₀ (μg/m ³)	Ευρωπαϊκή Θυγατρική Οδηγία – Πλαίσιο (μg/m ³)
Μέση 8ωρη τιμή	65	-
Μέση 24ωρη τιμή	49	50

Πίνακας 7: Σύγκριση για τον εσωτερικό χώρο της μέσης εικοσιτετράωρης και της μέσης οχτάωρης τιμής των PM₁₀, για τις εργάσιμες ημέρες, σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή της Ευρωπαϊκής Θυγατρικής Οδηγίας – Πλαίσιο.

Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται σύγκριση για τον εσωτερικό χώρο της μέσης εικοσιτετράωρης και της μέσης οχτάωρης τιμής των PM_{2.5}, για τις εργάσιμες ημέρες, σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή του Προτύπου Ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} κατά US – EPA.

	PM _{2.5} (μg/m ³)	Πρότυπο Ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM _{2.5} κατά US – EPA (μg/m ³)
Μέση 8ωρη τιμή	47	-
Μέση 24ωρη τιμή	33	65

Πίνακας 8: Σύγκριση για τον εσωτερικό χώρο της μέσης εικοσιτετράωρης και της μέσης οχτάωρης τιμής των PM_{2.5}, για τις εργάσιμες ημέρες, σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή του Προτύπου Ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} κατά US – EPA.

Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται αναφορά για την περιοχή του Συντάγματος της μέσης τρίωρης τιμής των PM_{10} σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή της Ευρωπαϊκής Θυγατρικής Οδηγίας – Πλαίσιο.

PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ευρωπαϊκή Θυγατρική Οδηγία – Πλαίσιο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
151	50
Πίνακας 9: Αναφορά για την περιοχή του Συντάγματος της μέσης τρίωρης τιμής των PM_{10} σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή της Ευρωπαϊκής Θυγατρικής Οδηγίας – Πλαίσιο.	

Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται αναφορά για την περιοχή του Συντάγματος της μέσης τρίωρης τιμής των $PM_{2.5}$ σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή του Προτύπου Ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ κατά US – EPA.

$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πρότυπο Ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ κατά US – EPA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
38	65
Πίνακας 10: Αναφορά για την περιοχή του Συντάγματος της μέσης τρίωρης τιμής των $PM_{2.5}$ σε σχέση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή του Προτύπου Ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ κατά US – EPA.	

Για την περιοχή του Συντάγματος δεν γίνεται άμεση σύγκριση με την εικοσιτετράωρη οριακή τιμή για το διάστημα που πήραμε εμείς τις μετρήσεις μας αλλά είναι ενδεικτικό της υψηλής αλλά μικρής διάρκειας έκθεσης διαφόρων υποομάδων πληθυσμού που κινούνται στην περιοχή του

Συντάγματος. Υπάρχουν επιδημιολογικά και τοξικολογικά δεδομένα που επισημαίνουν τις σοβαρές πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από σύντομες εκθέσεις σε υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης.

Παρατηρώντας τους μέσους ημερήσιους κύκλους των εργασιμων ημερών, του Σαββάτου και της Κυριακής εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα. Παρατηρούμε ότι στον εσωτερικό χώρο του γραφείου, κατά τις εργάσιμες ημέρες, οι συγκεντρώσεις τόσο των $PM_{2.5}$ όσο και των PM_{10} αυξάνονται κατά τις μεσημεριανές ώρες, δηλαδή περίπου μετά τις 12 όπου και βλέπουμε τις μεγαλύτερες τιμές.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι μετά τις τρεις μεσημέρι που φεύγουν οι περισσότεροι υπάλληλοι, κάποιοι καπνίζουν μέχρι τις πέντε όπως έχουμε πρωτίστως αναφέρει. Κατά τις ώρες του καπνίσματος η μέση συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ βρίσκεται ότι είναι κατά 48% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μέση συγκέντρωση του οχταώρου (εργάσιμες μέρες). Επίσης, κατά τις ώρες του καπνίσματος η μέση συγκέντρωση των PM_{10} παρατηρείται ότι είναι κατά 38% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μέση συγκέντρωση του οχταώρου (εργάσιμες μέρες).

Επίσης παρατηρούμε μία αύξηση και των $PM_{2.5}$ αλλά και των PM_{10} κατά τις πολύ πρωινές ώρες, δηλαδή μεταξύ 7 και 8, διότι γύρω στις 7 ανοίγει το κλιματιστικό και έχουμε την έναρξη εργασίας των υπαλλήλων ως τις 7:30.

Για τις ημέρες του Σαββάτου βλέπουμε ότι και στα δύο κλάσματα οι συγκεντρώσεις αυξάνονται κατά τις πέντε (5) το πρωί και ελαττώνονται μετά τις εννιά (9) το πρωί. Ενώ τις Κυριακές έχουμε αύξηση και των δύο κλασμάτων μετά τις έξι (6) το πρωί. Οι αυξήσεις αυτές δικαιολογούνται διότι κατά τις πολύ πρωινές ώρες και του Σαββάτου και της Κυριακής υπάρχει σημαντική διακίνηση οχημάτων από το Κέντρο.

Διαπιστώνουμε ότι τα ποσοστά των συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$ στο εσωτερικό του χώρου του γραφείου σε σχέση με αυτά στην ταράτσα του κτιρίου και εξωτερικά αυτού είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα των PM_{10} . Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο διότι τα $PM_{2.5}$ είναι μικρότερα σε διάμετρο και πλέον ευκίνητα και εισέρχονται πιο εύκολα στον εσωτερικό χώρο.

Τα γραφήματα που έχουμε δημιουργήσει από τις δειγματοληψίες εντός του γραφείου αντικατοπτρίζουν τόσο την εικοσιτετράωρη μεταβλητότητα αλλά και αυτά κάθε αυτά τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων και στον εξωτερικό χώρο της περιοχής διότι το Ι.Ο. τόσο και για τα PM_{10} αλλά και για τα $PM_{2.5}$ είναι κοντά στη μονάδα.

Επίσης διαπιστώνουμε ότι οι συγκεντρώσεις και των δύο κλασμάτων είναι μικρότερες στην ταράτσα από ότι στον εξωτερικό δρόμο του κτιρίου γεγονός αναμενόμενο.

Με βάση τις διάφορες χρονικά σταθμισμένες συγκεντρώσεις για τα PM_{10} γίνεται κατανοητό ότι ο διερχόμενος από την περιοχή του συντάγματος πληθυσμός, αλλά πολύ περισσότερο οι εργαζόμενοι στους δρόμους της (street sellers), που αναγκάζονται να παραμένουν για αρκετό χρονικό διάστημα εκεί, αποτελούν ομάδα υψηλού κινδύνου έκθεσης στα αιωρούμενα σωματίδια.

6.6 Γενικά Μέτρα - Προτάσεις

Για τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου θα προτείναμε ένα βελτιωμένο σύστημα αερισμού με ειδικές εγκαταστάσεις φίλτρων για κατακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Για τον περιβάλλοντα χώρο της περιοχής του Συντάγματος θα προτείναμε να μειώνεται κατά το δυνατόν η διάρκεια παραμονής του πληθυσμού. Οι πολίτες να χρησιμοποιούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς έτσι ώστε να μην εισέρχονται πολλά αυτοκίνητα ιδιωτικής χρήσης στο Κέντρο. Όσα αυτοκίνητα εισέρχονται στο κέντρο να είναι ορθώς συντηρημένα.

6.7 Προτάσεις για Επέκταση της Εργασίας

Πιο λεπτομερής και συστηματική μελέτη.

Επίσης χρήσιμο θα ήταν να εξασφαλιστεί η δυνατότητα λήψης εικοσιτετράωρων μετρήσεων και στον εξωτερικό χώρο μετά από διασφάλιση της εγκατάστασης και λειτουργίας του δειγματολήπτη (κίνδυνος βανδαλισμού).

Τέλος επαφές με ξενοδοχεία ή άλλες υπηρεσίες που διαθέτουν ειδικές εγκαταστάσεις φίλτρων στο σύστημα αερισμού για σύγκριση των επιπέδων των PM_{10} και $PM_{2.5}$ στους χώρους τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Air & Waste Management Association (AWMA), "Air Pollution Engineering Manual", Buonicore A.J. & Davis W.T. Eds, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
2. American Lung Association of Washington (ALAW), "Facts about Particulate Matter Air Pollution", <http://alaw.org/pmfact.html>, 2004.
3. Atmospheric Research and Information Center (ARIC), "ARIC Briefing Note: Particulate Matter", <http://doc.mmu.ac.uk/aric/notes/bn52.htm>, 1997.
4. CAFE Working Group on Particulate Matter, "Second Position Paper on Particulate Matter", 2004.
5. 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.
6. E.C. Technical Working Group on Particles, "Ambient Air Pollution by Particulate Matter - Draft Position Paper", Version 4.0, 1996.
7. 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.
8. European Environment Agency & World Health Organization, "Air and Health-Some Common Air Pollutants", <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/air%20pollutants.htm>, 1999(a).
9. European Environment Agency & World Health Organization, "Air and Health-Sources of Air Pollution", <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/sources.htm>, 1999(b).
10. 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.

11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. ICRP, "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection", ICRP Publication 66, Pergamon Press, Oxford, 1994.
15. Jones A.P., "Indoor Air Quality and Health", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4535-4564, 1999.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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 PM_{2.5} Source Contributions and Comparison to Emissions during the 1995 Integrated

- Monitoring Study", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4757-4773, 1999.
20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. Natural Resources Defense Council, "Air Pollution FAQ", Natural Resources Defense Council, <http://mail.igc.apc.org/nrdc/faqs/aibrefaq.html>, 1996(a).
 24. 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).
 25. 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).
 26. 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.
 27. 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.
 28. Ρήγας Φ., "Επιστήμη και Τεχνολογία Περιβάλλοντος", Αθήνα, 1997.
 29. 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.

30. 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)
31. 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).
32. 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).
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. WHO, "Air Quality Guidelines for Europe", 2nd Edition, World Health Organization, Copenhagen, 2000.
37. 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.