

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



## Πτυχιακή Εργασία

**Μετρήσεις συγκεντρώσεων μονοξειδίου του  
άνθρακα (CO) και αιωρούμενων σωματιδίων  
(PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub>) σε εσωτερικούς και εξωτερικούς  
χώρους – Εκτίμηση επιπέδων έκθεσης**

**Ευάγγελος Δελλής  
Γεωπόνος**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Επικ. Καθ. Α. Χαλουλάκου**

**Αθήνα, 2006**

## Λέξεις Κλειδιά

Air pollution, microenviroment, Carbon monoxide, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, exposure, indoor air pollution, outdoor air pollution, urban area, αστικό περιβάλλον, ατμοσφαιρικοί ρύποι.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

## Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση του πονήματος θα ήταν αδύνατη χωρίς τη σημαντικότερη βοήθεια της Επικ. Καθ. Κας Α. Χαλουλάκου. Τα στοιχεία και ο χρόνος που μου διέθεσε και κυρίως οι παρατηρήσεις της ήταν σημαντικότεροι παράγοντες για τη διαμόρφωση των τελικών συμπερασμάτων. Επίσης, ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Χημικό Μηχανικό Ευαγγελία Διαπούλη για τη βοήθεια της στην συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

## Συντομογραφίες

<b>WHO</b>	<b>World Health Organisation</b>
<b>EPA</b>	<b>Environmental Protection Management</b>
<b>CO</b>	<b>Carbon Monoxide</b>
<b>PM</b>	<b>Particulate Matter</b>
<b>NAAQS</b>	<b>National Ambient Air Quality Standards</b>
<b>I.P.P.C.</b>	<b>Integrated Pollution Prevention and Control</b>
<b>mgr</b>	<b>milli gram</b>
<b>μgr</b>	<b>micro gram</b>
<b>ppm</b>	<b>parts per million</b>
<b>ppb</b>	<b>parts per billion</b>
<b>μm</b>	<b>micro meter</b>
<b>E.E.</b>	<b>Ευρωπαϊκή Ένωση</b>
<b>Π.Υ.Σ.</b>	<b>Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου</b>
<b>Κ.Υ.Α.</b>	<b>Κοινή Υπουργική Απόφαση</b>

## Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας η οποία πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα από τον Μάρτιο 2006 έως τον Οκτώβριο 2006, είναι η πραγματοποίηση μετρήσεων και η εκτίμηση σε έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub> & PM<sub>2,5</sub>), σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.

Οι χώροι που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν όσον αφορά το CO:

- Ø εντός Ι.Χ. οχήματος προς και από τον τόπο εργασίας, κατά τη διάρκεια 55λεπτων περίπου διαδρομών με κυμαινόμενη κυκλοφοριακή πυκνότητα,
- Ø στον εξωτερικό χώρο του 1<sup>ου</sup> ορόφου κτιρίου που βρίσκεται επί της Λεωφόρου Βάρης-Κορωπίου, και
- Ø στο εξωτερικό υπογείου χώρου που βρίσκεται επί της Λεωφόρου Βάρης και σε άμεση εγγύτητα με το χώρο στάθμευσης.

Όσον αφορά τα μικροσωματίδια, οι μετρήσεις (εσωτερικές & εξωτερικές) πραγματοποιήθηκαν στον 1<sup>ο</sup> όροφο του προηγούμενου κτιρίου επαγγελματικής χρήσης. Κατά τη διάρκεια κάποιων μετρήσεων, αξίζει να αναφερθεί ότι στο ισόγειο και στον όροφο, πραγματοποιούνταν εργασίες διαρρύθμισης, γεγονός που έδωσε την ευκαιρία για εκτίμηση της έκθεσης ειδικής κατηγορίας εργαζομένων σε αιωρούμενα σωματίδια.

Από τις μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των διαδρομών του οχήματος, διαπιστώθηκε ότι σε καμία περίπτωση δεν υπερβαίνονται τα θεσμοθετημένα όρια της Ε.Ε. καθώς και η 15λεπτη μέση τιμή σύμφωνα με την WHO, αλλά υπάρχει κίνδυνος για τις διάφορες ομάδες εργαζομένων που απασχολούνται σε μεγάλες λεωφόρους και αναγκάζονται να παραμείνουν εκεί καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας τους. Οι ίδιες ισχύουν και για τις μετρήσεις CO στα δύο κτίρια επί της λεωφόρου Βάρης, οι οποίες ήταν 24-h διάρκειας και με διάστημα αναφοράς τα 5 λεπτά.

Όσον αφορά τα PM<sub>10</sub>, κατά τις ημέρες των εξωτερικών 24-h μετρήσεων, παρατηρείται υπέρβαση των ορίων που έχει θέσει η Ε.Ε. Όσον αφορά τις 24-h μετρήσεις στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, παρατηρείται υπέρβαση των ορίων κατά τις ημέρες που πραγματοποιούνται εργασίες στο εσωτερικό του κτιρίου.

Επίσης, για τα PM<sub>2,5</sub>, οι 24-h εσωτερικές μετρήσεις είναι υψηλές όταν πραγματοποιούνται εργασίες στον όροφο των μετρήσεων, ενώ στις εξωτερικές μετρήσεις παρατηρούνται χαμηλότερες αλλά επίσης υψηλές τιμές.

Τέλος, κατά τις ημέρες που πραγματοποιούνται εργασίες εντός του κτιρίου, δηλαδή όταν υπάρχουν πρόσθετες πηγές εκπομπής σωματιδίων, οι εσωτερικές μετρήσεις είναι υψηλότερες των εξωτερικών, τόσο για τα PM<sub>10</sub> όσο και για τα PM<sub>2,5</sub>.

## Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ- ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	13
1.1. Νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης .....	13
1.2. Η Ελληνική Νομοθεσία.....	15
<u>ΜΕΡΟΣ Α: ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)</u>	
2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	16
2.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία .....	17
2.1.1. Τα συμπτώματα της έκθεσης στο CO.....	18
Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις.....	18
Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις.....	19
2.1.2. Ομάδες υψηλού κινδύνου .....	22
Εγκυμονούσες γυναίκες -Έμβρυα .....	22
Παιδιά και βρέφη.....	23
Καπνιστές .....	24
Άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικές παθήσεις .....	24
Ηλικιωμένοι .....	25
2.1.3. Επικινδυνότητα του CO.....	25
2.2. CO και αστικό περιβάλλον.....	27
2.3. Ρύπανση από CO στην περιοχή των Αθηνών.....	30
2.4. Οργανολογία.....	31
2.4.1. Τεχνικές προδιαγραφές.....	33
2.5. Πειραματική Μεθολογία.....	34
<u>ΜΕΡΟΣ Β: ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ</u>	
3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	46
3.1. Ορισμοί σωματιδιακών ρύπων.....	48
3.2. Ταξινόμηση των σωματιδίων.....	50
3.2.1. Ταξινόμηση με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού.....	50
3.2.2. Ταξινόμηση με κριτήριο το μέγεθος.....	50
3.2.3. Ταξινόμηση με κριτήριο τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό.....	56
3.2.4. Μέγεθος σωματιδίων.....	59
3.3. Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων.....	61
3.4. Ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων.....	74
3.4.1. Ανθρωπογενείς πηγές .....	75
Εκπομπές από οχήματα.....	75
Βιομηχανικές εκπομπές .....	78
Αγροτικές εκπομπές .....	80

	Οικιακές εκπομπές.....	81
	Εκπομπές από δασικές πυρκαγιές.....	81
3.4.2.	Φυσικές πηγές.....	82
	Υδρόλυμα θαλάσσης.....	82
	Ηφαιστειακή δραστηριότητα.....	82
	Μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις.....	83
	Επαναιώρηση σκόνης από το έδαφος.....	84
3.4.3.	Σχέση πηγής – εκπεμπόμενων σωματιδίων.....	85
4.	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	89
4.1.	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	89
4.1.1.	Μηχανισμοί δράσης.....	90
4.1.2.	Τοξικότητα των σωματιδίων.....	91
4.1.3.	Συνοπτικά αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών.....	93
	Μελέτες σε παιδιά.....	96
	Μελέτες σε ηλικιωμένα άτομα.....	97
4.2.	Επιπτώσεις στην ορατότητα.....	98
4.3.	Επιπτώσεις στο κλίμα.....	102
4.4.	Επιπτώσεις στο οικοσύστημα.....	103
4.5.	Επιπτώσεις στα υλικά.....	104
4.6.	Επιπτώσεις στην οικονομία.....	105
5.	ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	107
5.1.	Εισαγωγή.....	107
5.2.	Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία – πλαίσιο.....	108
5.3.	Πρότυπα ποιότητας αέρα κατά US-EPA.....	109
5.4.	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.).....	112
6.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	114
6.1.	Ιστορική αναδρομή.....	114
6.2.	Ταξινόμηση των μεθόδων μέτρησης και ανάλυσης.....	117
7.	Πειραματική Μεθοδολογία.....	123
8.	Συμπεράσματα.....	127
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	129
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ.....	136

## Εισαγωγή

Ρύπανση της ατμόσφαιρας θεωρείται όταν ο αέρας περιέχει στερεές, υγρές ή αέριες ουσίες σε ποσότητες που μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στη υγεία του ανθρώπου ή άλλες ενοχλήσεις ή όταν ο αέρας μπορεί να διαταράξει την οικολογική ισορροπία της Γης σε οποιαδήποτε κλίμακα. Οι ιδιαίτερες μετεωρολογικές συνθήκες της εβδομάδας, ημέρας ή ώρας επηρεάζουν τη ρύπανση με τρόπο ώστε να παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις της. Επίδραση έχουν στη ρύπανση και η ταχύτητα του ανέμου και οι αναστροφές θερμοκρασίας (Κώττης Γ., 1994).

Τα Ηνωμένα Έθνη εκτιμούν ότι πάνω από 600 εκατομμύρια άνθρωποι σε ολόκληρο τον πλανήτη και συγκεκριμένα στις αστικές περιοχές, έχουν εκτεθεί σε επικίνδυνα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων (Cacciola et al., 2002). Η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι επιπτώσεις που έχει στη δημόσια υγεία αποτελεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ερευνητική κοινότητα που ασχολείται με το περιβάλλον και την υγεία, τις περιβαλλοντικές ρυθμιστικές αρχές, τις βιομηχανίες, καθώς επίσης και το κοινό. Η ποιότητα του αέρα είναι στενά συνδεδεμένη με τις παθολογικές καταστάσεις και τη θνησιμότητα από αναπνευστικές και καρδιαγγειακές καταστάσεις.

Οι πιο κοινοί ρύποι που χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας περιλαμβάνουν τα αιωρούμενα μικροσωματίδια (PM), το όζον (O<sub>3</sub>), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), τον μόλυβδο (Pb), τις οργανικές πτητικές ενώσεις (VOC's) και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH's) (X. Han, L.P. Naeher, 2005). Στην παρούσα διατριβή εξετάζονται οι επιπτώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των μικροσωματιδίων (PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub>) στην υγεία του ανθρώπου.

Οι Dockery et al. (1993) στη μελέτη τους συνέδεσαν την αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας από καρδιοπνευμονικές παθήσεις με ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους και ειδικότερα με τα μικροσωματίδια (PM<sub>2.5</sub>, μικροσωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο ίση ή και μικρότερη των 2,5μm). Από τότε πολλές άλλες επιδημιολογικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα των ατμοσφαιρικών ρύπων στους ανθρώπους, τα οποία ποικίλλουν από μεταβολές των φυσιολογικών λειτουργιών και κλινικά συμπτώματα (μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού, κ.λπ.) έως την εμφάνιση κλινικών ασθενειών (άσθμα, χρόνιες παρεμποδιστικές πνευμονικές παθήσεις, καρκίνος των πνευμόνων, λευχαιμία, εγκεφαλική συμφόρηση, κ.λπ.), πρόωρες γέννες και θανάτους (Delfino et al., 1998; Naeher et al., 1999; Laden et al., 2000; Suresh et al.,



2000; Janssen et al., 2002; Calderón-Garciduenas et al., 2003; Wilhelm and Ritz, 2003; O'Neill et al., 2004; Preutthipan et al., 2004).

Οι πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Μία διάκριση είναι σε φυσικές και τεχνητές. Φυσικές πηγές είναι τα ηφαίστεια που εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα αέρια και σωματίδια, η σήψη οργανικών ουσιών, οι πυρκαγιές, οι έρημοι κ.λπ. Η γεωγραφική τους διασπορά δεν έχει κατά κανόνα σχέση με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τεχνητές πηγές είναι εκείνες που συνδέονται με ρυπογόνες ανθρώπινες δραστηριότητες (Κώττης Γ., 1994). Οι ανθρωπογενείς τεχνητές πηγές αέριας ρύπανσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση διαφορετικά κριτήρια. Ένα κριτήριο βασίζεται στο εάν η πηγή είναι κινητή ή όχι. Το προηγούμενο αναφέρεται σε πηγές που έχουν να κάνουν με το κυκλοφοριακό, συμπεριλαμβανομένου της επίγειας κυκλοφορίας (λεωφορεία, ΙΧ αυτοκίνητα, ταξί, μοτοσικλέτες, κ.λπ.), υπόγεια κυκλοφορία (μετρό ή υπόγειος), την εναέρια κυκλοφορία και, τέλος, τις βιομηχανικές, εμπορικές και προσωπικές εκπομπές (X. Han, L.P. Naeher, 2005). Μία τρίτη διάκριση των πηγών των ρύπων είναι σε σημειακές, σε γραμμικές και σε εμβαδικές πηγές. Η σημειακή πηγή βρίσκεται σε συγκεκριμένη θέση που μπορεί να θεωρηθεί και ως σημείο (π.χ. ένα εργοστάσιο). Η γραμμική πηγή έχει μήκος και πλάτος, κατά μήκος δε αυτής εκπέμπονται ρύποι (π.χ. ένας δρόμος κατά μήκος του οποίου εκπέμπονται ρύποι από τα αυτοκίνητα που κυκλοφορούν σε αυτόν). Η εμβαδική πηγή περιλαμβάνει πηγές διάσπαρτες σε μεγάλη έκταση που στο σύνολό τους παράγουν μεγάλη ποσότητα ρύπων (π.χ. τα συστήματα θέρμανσης των πολυκατοικιών σε μία πόλη) (Κώττης Γ., 1994).

Το 1997, το αμερικανικό Γραφείο για την Προστασία του Περιβάλλοντος (EPA) (USEPA, 2001) τροποποίησε τα εθνικά πρότυπα για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (NAAQS) (Πίνακας 1), στα οποία τα 24-h και τα ετήσια όρια των συγκεντρώσεων των  $PM_{2.5}$  ήταν 65 και 15  $\mu g/m^3$ . Επίσης στα πρότυπα συμπεριλαμβάνονταν και τα  $CO$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , όζον και μόλυβδος.

**Πίνακας 1: 1997 USEPA NAAQS standards**

Ρύπος(μονάδα)	Χρονική διάρκεια	Τιμές
CO(ppm)	1 h	35
	8 h	9
NO <sub>2</sub> (ppb)	Annual	53
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	24 h	150
	Annual	50
PM <sub>2,5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	24 h	65
	Annual	15
O <sub>3</sub> (ppb)	1 h	120
	8 h	80
SO <sub>2</sub> (ppb)	24 h	140
	Annual	30
Lead(μg/m <sup>3</sup> )	Quarter	1,5

**Παρατηρήσεις:-**

**Πηγή:** USEPA, 1997.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organisation) (*WHO, 2001*) (Πίνακας 2) έχει θέσει επίσης συγκεκριμένα όρια για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, αλλά αυτά τα όρια είναι υποδείξεις και όχι αναγκαστικά μέτρα που πρέπει να ακολουθήσουν τα κράτη.

**Πίνακας 2: Πρότυπα ατμοσφαιρικών ρύπων καθιερωμένα από τον WHO το 2001**

Ρύπος(μονάδα)	Χρονική διάρκεια	Τιμές
CO(ppm)	1 h	30 mg/m <sup>3</sup> (26 ppb)
	8 h	10 mg/m <sup>3</sup> (8,7 ppb)
NO <sub>2</sub> (ppb)	1 h	200 μg/m <sup>3</sup> (106 ppb)
	1 Year	40 μg/m <sup>3</sup> (21 ppb)
O <sub>3</sub> (ppb)	8 h	120 μg/m <sup>3</sup> (61 ppb)
SO <sub>2</sub> (ppb)	24 h	125 μg/m <sup>3</sup> (47,7 ppb)
	1 Year	50 μg/m <sup>3</sup> (19,1 ppb)
Lead(μg/m <sup>3</sup> )	Quarter	0,5 μg/m <sup>3</sup> (0,059 ppb)

**Παρατηρήσεις:** 1 mg/m<sup>3</sup> CO = 0,859 ppm

**Πηγή:** WHO, 2001.

Σε επίπεδο Ε.Ε. η συγκέντρωση του CO στην ατμόσφαιρα των αστικών κέντρων καλύπτεται από την Κοινοτική Οδηγία 2000/69/EK η οποία θέτει όριο συγκέντρωσης με περίοδο αναφοράς την ημερήσια 8-h μέση τιμή (Πίνακας 3). Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub>, σε επίπεδο Ε.Ε. η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα των αστικών κέντρων καλύπτεται από την Κοινοτική Οδηγία 1999/30/EK η οποία απαιτεί την εφαρμογή 24-h και ετήσιων οριακών τιμών (Πίνακας 4). Αναλυτικά, οι οριακές τιμές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

**Πίνακας 3: Απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2000/69/ΕΚ σχετικά με το CO**

	Περίοδος αναφοράς	Οριακή τιμή	Επιτρεπόμενες υπερβάσεις	Προθεσμία συμμόρφωσης
Οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Μέγιστη ημερήσια 8-h μέση τιμή	10mg/m <sup>3</sup>	Καμία	1η Ιανουαρίου 2005

**Παρατηρήσεις:** -

**Πηγή:** Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/69/ΕΚ

**Πίνακας 4: Απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 1999/30/ΕΚ σχετικά με το PM<sub>10</sub>**

	Περίοδος αναφοράς	Οριακή τιμή	Επιτρεπόμενες υπερβάσεις	Προθεσμία συμμόρφωσης
<b>ΣΤΑΔΙΟ 1</b>				
24 h οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24-h	50 µg/m <sup>3</sup>	35 ανά ημερολογιακό έτος	1η Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 µg/m <sup>3</sup>	Καμία	1η Ιανουαρίου 2005
<b>ΣΤΑΔΙΟ 2</b>				
24 h οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24-h	50 µg/m <sup>3</sup>	7 ανά ημερολογιακό έτος	1η Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	20 µg/m <sup>3</sup>	Καμία	1η Ιανουαρίου 2010

**Παρατηρήσεις:** -

**Πηγή:** Ευρωπαϊκή Οδηγία 1999/30/ΕΚ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα εξεταστούν οι επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό από την έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub>, σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

## 1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ – ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### 1.1. Νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η Ε.Ε. έχει εγκρίνει μια σειρά από οδηγίες σχετικές με θέματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά, οι οδηγίες που απαρτίζουν το υφιστάμενο κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο για θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

**Οδηγία – Πλαίσιο 96/62/ΕΚ για την παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και οι θυγατρικές της:** Στόχος της οδηγίας 96/62/ΕΚ είναι η θέσπιση των βασικών αρχών μιας κοινής στρατηγικής, με σκοπό τον καθορισμό στόχων για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος έτσι ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται τα επιβλαβή αποτελέσματα στην υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Επιπλέον, προβλέπεται η αξιολόγηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στα κράτη μέλη και η ενημέρωση του κοινού με την ανακοίνωση, μεταξύ των άλλων, κατωτάτων ορίων συναγερμού.

Η οδηγία πλαίσιο ακολουθήθηκε από μια σειρά «θυγατρικών» οδηγιών με τις οποίες καθορίζονται οι οριακές τιμές των επιμέρους ρύπων. Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια:

**Οδηγία 99/30/ΕΚ, σχετικά με τις οριακές τιμές του διοξειδίου του θείου, του διοξειδίου του αζώτου και των οξειδίων του αζώτου, των σωματιδίων και του μολύβδου του ατμοσφαιρικού αέρα.**

**Οδηγία 2000/69/ΕΚ, σχετικά με τις οριακές τιμές του βενζολίου και του μονοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα.**

**Οδηγία 2001/03/ΕΚ, σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα.**

#### **Άλλες οδηγίες**

Από τη δεκαετία του 1980, η Ε.Ε. επικέντρωσε την προσοχή της στον έλεγχο της συγκέντρωσης μιας σειράς ρύπων, οι οποίοι εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τους τομείς των μεταφορών και της βιομηχανίας. Έτσι, εκδόθηκαν μια σειρά από Οδηγίες, οι οποίες

καθόριζαν οριακές τιμές συγκέντρωσης και μεθόδους μέτρησης των συγκεντρώσεων, ενώ παράλληλα εισήγαγαν την υποχρέωση εκπόνησης και εφαρμογής σχεδίων σταδιακής μείωσης της ρύπανσης και την ανάπτυξη δικτύων μέτρησης των ρύπων:

- Ø Οδηγία 80/779/ΕΟΚ περί καθορισμού οριακών και κατευθυντήριων τιμών για το διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα (καταργήθηκε εν μέρει από την Οδηγία 99/30/ΕΚ). Ενσωματώθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία με την ΠΥΣ 99/87 (ΦΕΚ 135 Α/28-07-1987) «Οριακές τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια».
- Ø Οδηγία 82/884/ΕΟΚ για την οριακή του μολύβδου στην ατμόσφαιρα (καταργήθηκε εν μέρει από την Οδηγία 99/30/ΕΚ). Ενσωματώθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία με την ΠΥΣ 98/87 «Οριακή τιμή ποιότητας της ατμόσφαιρας σε μόλυβδο».
- Ø Οδηγία 85/203/ΕΟΚ για την οριακή τιμή του διοξειδίου του αζώτου που περιέχεται στην ατμόσφαιρα (καταργήθηκε εν μέρει από την Οδηγία 99/30/ΕΚ). Ενσωματώθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία με την ΠΥΣ 25/88 (ΦΕΚ 52 Α/22-03-1988) «Οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του αζώτου».
- Ø Οδηγία 92/72/ΕΟΚ σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση από το όζον (καταργήθηκε εν μέρει από την Οδηγία 2002/03/ΕΚ). Ενσωματώθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία με την ΠΥΣ 11/97 (ΦΕΚ 19/Α) «μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από όζον».

Όλες οι παραπάνω Οδηγίες έχουν εν μέρει αντικατασταθεί από την Οδηγία 96/62/ΕΚ (Ενσωματώθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία με την ΚΥΑ 3277/2000 (ΦΕΚ 180/Β/17-02-2000) και τις θυγατρικές της, ενώ – βάσει ενός συγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος – θα έχουν καταργηθεί πλήρως έως το 2010.

**Οδηγία 96/61/ΕΚ, για την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης, γνωστή ως Οδηγία IPPC.**

## 1.2. Η Ελληνική Νομοθεσία.

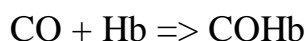
Στην Ελλάδα τα θέματα της ατμοσφαιρική ρύπανσης και της ποιότητας της ατμόσφαιρας καθορίζονται από την εφαρμογή των παρακάτω νομοθετημάτων:

- Ø Ν. 1650/1988, για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Ø Ν.3010/2002. Εναρμόνιση του Ν. 1650/1988 με τις Οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ.
- Ø ΚΥΑ 58751/1993 «Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- Ø ΚΥΑ 11535/1993 «Επιτρεπόμενα είδη καυσίμων στις βιομηχανίες, βιοτεχνικές και συναφείς εγκαταστάσεις στους αποτεφρωτήρες νοσηλευτικών μονάδων και μέτρα για τις ανοικτές εστίες καύσης».
- Ø ΚΥΑ 10315/1993 «Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού».
- Ø ΚΥΑ 11294/1993 «Όροι λειτουργίας και επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων αποβλήτων από βιομηχανικούς λέβητες, ατμογεννήτριες, ελαιόθερμα και αερόθερμα που λειτουργούν με καύσιμο μαζούτ, ντίζελ ή αέριο».
- Ø Άρθρο 3 του Ν. 2052/92 περί καθιέρωσης της κάρτας καυσαερίων.
- Ø Ν. 1515/85 «Ρυθμιστικό σχέδιο και προγράμματα προστασίας περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας».
- Ø Ν. 2052/1992 «Μέτρα για την αντιμετώπιση του νέφους και πολεοδομικές ρυθμίσεις».
- Ø Ν. 2965/2001 για τη «Βιώσιμη ανάπτυξη της Αττικής».

## ΜΕΡΟΣ Α: ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

### 2. Γενική Περιγραφή.

Το μονοξείδιο άνθρακα (CO) είναι από τους πιο κοινούς και ευρέως διανεμημένους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο που δεν διαλύεται στο νερό. Το μονοξείδιο άνθρακα έχει ελαφρώς χαμηλότερη πυκνότητα από αυτή του αέρα. Παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωσή του δεν φθάνει στον αέρα (έστω στους πολυσύχναστους δρόμους) σε επίπεδα να προκαλέσει θάνατο, εν τούτοις προκαλεί πονοκεφάλους, ζαλάδες, ναυτίες και είναι αιτία πολλών αυτοκινητιστικών δυστυχημάτων. Έχει την ασυνήθιστη ιδιότητα να δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη (Hb), τη χημική ουσία στα ερυθρά αιμοσφαίρια που μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς, σχηματίζοντας την καρβοξυαιμοσφαιρίνη ή καρβομονοξυαιμοσφαιρίνη, που συμβολίζεται COHb σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Σαν αποτέλεσμα όσο αυξάνει η ποσότητα CO στο αίμα, τόσο οι ιστοί γίνονται σταδιακά όλο και πιο φτωχοί σε οξυγόνο. Συνηθίζεται να εκφράζεται η ποσότητα του CO στο αίμα με το εκατοστιαίο ποσοστό αιμοσφαιρίνης που είναι δεσμευμένη στο CO. Αυτή είναι μία σημαντική παράμετρος που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η ανθρώπινη έκθεση στην ουσία αυτή, γιατί η είσοδος του CO στο αίμα του ανθρώπου είναι μια αργή λειτουργία που εξαρτάται από την συγκέντρωση του CO στον αέρα, τον βαθμό της φυσικής δραστηριότητας και τον ρυθμό της αναπνοής. Στο ανθρώπινο σώμα, εκτός από την αντίδραση με την αιμογλοβίνη, μικρά ποσά μονοξειδίου του άνθρακα παράγονται ενδογενώς. Η έκθεση μονοξειδίου του άνθρακα αποτελεί μία από τους κύριες αιτίες των ακούσιων δηλητηριάσεων, και προκαλεί έναν μεγάλο αριθμό θανάτων ετησίως στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (USEPA, 1991).

Οι ετήσιες παγκόσμιες εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχουν υπολογιστεί περίπου στα 2600 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων περίπου 60% προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες και περίπου 40% από φυσικές διαδικασίες (USEPA, 1991). Ο χρόνος παραμονής του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι της τάξης των τριών μηνών. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα προέρχονται κυρίως από την ατελή καύση των ορυκτών καυσίμων μέσω των εξατμίσεων των μηχανών εσωτερικής καύσης. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν τις διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες, τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που



χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, και τους αποτεφρωτήρες αποβλήτων. Οι εκπομπές που προέρχονται από την καύση πετρελαίου έχουν αυξηθεί πολύ κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών (Cullis et al.1989). Επιπλέον, το CO μπορεί να προέρχεται από τα φυτά και τους ωκεανούς, ενώ μπορεί να σχηματιστεί στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων οξείδωσης υδρογονανθράκων και κυρίως του μεθανίου.

## 2.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Το μονοξείδιο του άνθρακα που περιέχεται στο ανθρώπινο αίμα έχει διπλή προέλευση (USEPA, 1989):

- αποτελεί παραπροϊόν του φυσικού μεταβολισμού και ειδικότερα της καταβολικής διαδικασίας. Συνήθως, στους φυσιολογικούς ανθρώπους τα επίπεδά του δεν υπερβαίνουν το 0,5 – 0,7%. Αντιθέτως, σε ανθρώπους που πάσχουν από ασθένειες, όπως η αναιμία, τα επίπεδα στο αίμα κυμαίνονται από 1,0 έως 1,5%.
- Πρόκειται για το μονοξείδιο του άνθρακα που περιέχεται στον εισπνεόμενο από τον άνθρωπο αέρα. Το ασφυξιογόνο αυτό αέριο εισέρχεται στην αναπνευστική οδό και, λόγω της μικρής του διαλυτότητας, φτάνει εύκολα τους πνεύμονες. Από εκεί, μέσω των κυψελίδων των πνευμόνων διαχέεται στο αίμα.

Κατά την παρουσία του στο αίμα, το CO ενώνεται αντιστρεπτά με το ενεργό κέντρο του μορίου της αιμοσφαιρίνης που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά του οξυγόνου στο αίμα. Η χημική συγγένειά του με την αιμοσφαιρίνη είναι περίπου 218-250 φορές ισχυρότερη από την συγγένεια οξυγόνου και αιμοσφαιρίνης. Συνεπώς, παρουσία του οξυγόνου, η Hb αντιδρά επιλεκτικά με αυτό σχηματίζοντας την καρβοξυαιμοσφαιρίνη (COHb), ενώ παράλληλα τα επίπεδα της οξυαιμοσφαιρίνης (OHb) σταδιακά μειώνονται (USDHHS,1992; AHAC&CC, 1992). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κάθε ppm CO στον αέρα απενεργοποιεί 0,17% της COHb του αίματος (WHO, 1986). Αποτέλεσμα είναι η παρεμπόδιση της μεταφοράς O<sub>2</sub> από την Hb, και κατ' επέκταση της σωστής οξυγόνωσης των ιστών και των οργάνων του ανθρώπινου σώματος. Επιπρόσθετα, η σχηματιζόμενη COHb παρεμβαίνει στη διαδικασία απελευθέρωσης του οξυγόνου από τα άθικτα μόρια αιμοσφαιρίνης, επιφέροντας έτσι περαιτέρω στέρηση των ιστών από το ζωτικό O<sub>2</sub>.

Χαρακτηριστικό είναι ότι, η μείωση της ικανότητας του αίματος να μεταφέρει το οξυγόνο είναι ανάλογη της ποσότητας της σχηματιζόμενης COHb. Επιπλέον, οι

παράγοντες εκείνοι που επιφέρουν αύξηση του ρυθμού αναπνοής και της κυκλοφορίας του αίματος επιταχύνουν και τον σχηματισμό της COHb. Συνεπώς, η άσκηση, οι υψηλές θερμοκρασίες, το μεγάλο υψόμετρο και η αναιμία, αυξάνουν τον κίνδυνο που απορρέει από την έκθεση στο CO (Samet et al., 1987). Άλλοι παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο είναι ο υπερθυρεοειδισμός, η παχυσαρκία, η βρογχίτιδα, το άσθμα και οι προϋπάρχουσες καρδιακές παθήσεις (ATS, 1990). Επιπλέον, άτομα υπό την επήρεια ναρκωτικών ουσιών ή αλκοόλ παρουσιάζουν έντονα συμπτώματα κατά την έκθεσή τους στο CO. Τέλος, η σύγχρονη έκθεση σε άλλους ρύπους, όπως το μεθυλενοχλωρίδιο (ένας διαλύτης ο οποίος μεταβολίζεται στο αίμα προς τον σχηματισμό CO) αυξάνει τον κίνδυνο (HAC&CC, 1992).

### 2.1.1. Τα συμπτώματα της έκθεσης στο CO

Το CO είναι ένα χημικά ασφύξιογόνο, δηλητηριώδες αέριο. Τα συμπτώματα δηλητηρίασης που προκαλεί είναι αποτέλεσμα της ανεπαρκούς οξυγόνωσης των ιστών του ανθρώπινου σώματος. Ζωτικά όργανα, όπως η καρδιά, και ο εγκέφαλος, τα οποία απαιτούν για τη λειτουργία τους μεγάλες ποσότητες O<sub>2</sub>, εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία. Το είδος, η διάρκεια και η ευαισθησία των εκδηλωνόμενων συμπτωμάτων είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων. Οι βασικότεροι από αυτούς είναι:

- τα επίπεδα CO στα οποία εκτίθεται το άτομο,
- η διάρκεια της έκθεσης,
- το είδος της δραστηριότητας που επιτελείται κατά τη διάρκεια της έκθεσης,
- ο ρυθμός αναπνοής του ατόμου και ο ρυθμός κυκλοφορίας του αίματός του,
- η ηλικία του ατόμου,
- η γενικότερη κατάσταση της υγείας του ατόμου, και τέλος
- το είδος της ασθένειας από την οποία πιθανότατα να πάσχει το εκτεθειμένο άτομο (κυρίως καρδιοαναπνευστικά προβλήματα).

#### *Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις*

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα συμπτώματα που εκδηλώνονται κατά τη μικρής διάρκειας έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO. Πρόκειται για αναστρέψιμες επιπτώσεις, που σπάνια καταλήγουν σε μόνιμες βλάβες. Αναστέλλονται με την έγκαιρη παροχή καθαρού αέρα στον δηλητηριασμένο οργανισμό. Γενικά, η αποβολή του ήμισυ της ποσότητας CO από το αίμα επιτυγχάνεται περίπου σε διάρκεια 1 ώρας. Στην

περίπτωση όπου, στον οργανισμό παρέχεται 100% καθαρό οξυγόνο, η απομάκρυνση του ρύπου ολοκληρώνεται ταχύτερα (AHACC&CC, 1992; Lipsett, 1992; USEPA, 1993; Burge et al., 1993). Τα συμπτώματα που κατατάσσονται σε αυτήν την κατηγορία είναι τα εξής:

- πονοκέφαλος,
- ναυτία, τάση προς εμετό,
- ίλιγγος,
- συμπτώματα γρίπης (πυρετός, ρίγη),
- εμφάνιση εξανθημάτων,
- σωματική αδυναμία,
- πόνοι των μυών και των αρθρώσεων, κράμπες,
- μούδιασμα, δυσκαμψία,
- απώλεια αισθήσεων,
- πτώση σε κόμα,
- θάνατος.

Επιπροσθέτως, τα άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα ή αρτηριοσκλήρυνση, παρουσιάζουν τα παρακάτω:

- δύσπνοια,
- πόνο στο στήθος,
- ταχυκαρδία,
- ισχυρούς πόνους στα πόδια.

#### Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις

Πρόκειται για χρόνια συμπτώματα που εκδηλώνονται λόγω της επαναλαμβανόμενης και για μεγάλη διάρκεια έκθεση των ατόμων σε χαμηλότερα επίπεδα CO (AHACC&CC, 1992; Lipsett, 1992; USEPA, 1993; Burge et al., 1993). Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα παρακάτω:

- προβλήματα του πεπτικού συστήματος,
- προβλήματα της στοματικής κοιλότητας και του λαιμού,
- καρδιακές ανωμαλίες (αρρυθμίες),
- προβλήματα όρασης,
- απώλεια ακοής,
- απώλεια μνήμης,
- διαταραχές του ύπνου,

- σωματική αδυναμία,
- απώλεια συγκέντρωσης,
- χειρονακτική αδεξιότητα,
- σύγχυση, αποπροσανατολισμός,
- αισθήματα πανικού,
- παραισθήσεις, βύθιση σε κατάσταση λήθαργου, και τέλος
- κατάθλιψη.

Μια γενικότερη κατάσταση των επιπτώσεων CO στην υγεία του ανθρώπου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 5: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία του CO, ανάλογα με τα επίπεδα της COHb στο αίμα**

Επίπεδα COHb στο αίμα	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία
<1	Δεν εκδηλώνονται εμφανή συμπτώματα
1-2	Πρώτες ενδείξεις της επίδρασης του ρύπου στη συμπεριφορά του ατόμου
<10	Μειωμένη αντοχή στη μικρή διάρκεια, έντονη σωματική άσκηση σε υγιή νεαρά άτομα. Μείωση της ικανότητας χρονικού διαχωρισμού των γεγονότων
	2,9-5,9
10-20 (Ηπια τοξικότητα)	Συμπτώματα διαταραχής του νευρικού συστήματος (δυσλειτουργία των κινητικών και αισθητικών νευρών) και διαταραχής της συμπεριφοράς σε υγιή, νεαρά, ενήλικα άτομα. Εξασθένιση της ικανότητας χρονικού διαχωρισμού των γεγονότων, της οξύτητας της όρασης, της ικανότητας διαχωρισμού των χρωμάτων, της ακοής.
	Μεταβολές στη λειτουργία των πνευμόνων και της καρδιάς. Μείωση μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου κατά την μικρής διάρκειας έντονη σωματική άσκηση σε υγιή νεαρά άτομα. Πονοκέφαλος, ναυτία, τάση για εμετό, ζαλάδα, διαταραχή της όρασης, δυσκολία στην αναπνοή, σύγχυση, εκνευρισμός. Μειωμένη πνευματική ετοιμότητα, φαινόμενο ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους οδηγούς οχημάτων.
10	Έντονη δύσπνοια κατά τη διάρκεια ήπιας σωματικής άσκησης. Πονοκέφαλος εντοπισμένος κυρίως στο μέτωπο.
20	Έντονη δύσπνοια κατά τη διάρκεια ήπιας σωματικής άσκησης. Περιστασιακές κεφαλαλγίες, συνοδευόμενες από σφίξιμο στους κροτάφους. Μειωμένη πνευματική ετοιμότητα.
30-40 (Μέτρια τοξικότητα)	Ισχυρός πονοκέφαλος, ζαλάδα, μικρής διάρκειας απώλεια των αισθήσεων, ταχυκαρδία, ευερεθιστικότητα, εύκολη κόπωση, διαταραγμένη κριτική ικανότητα, περιορισμός της οπτικής αντίληψης.
40-50 (Μεγάλη τοξικότητα)	Ισχυρός πονοκέφαλος, λιποθυμία, σύγχυση, λιποθυμία κατά τη διάρκεια άσκησης, κίνδυνος καρδιακής προσβολής, αδυναμία αναπνοής.
60-70	Απώλεια αισθήσεων, διαλείπων παροξυσμός, έντονη ναυτία, διακοπή αναπνοής, θάνατος μετά από μεγάλης διάρκειας έκθεση.
80	Ταχύτατα θανατηφόρο.

**Παρατηρήσεις:-**

**Πηγή:** Badr & Probert, 1995; Nardell et al., 1991

Η συγκέντρωση της σχηματιζόμενης COHb στο αίμα, αποτελεί ένα βιολογικό δείκτη του βαθμού έκθεσης στο CO. Εκφράζεται ως ποσοστό επί της εκατό της τιμής κορεσμού

του αίματος σε COHb (%COHb). Η τιμή της είναι ενδεικτική της εισπνεόμενης ποσότητας CO και συνδέεται άμεσα με το είδος, την διάρκεια και την σοβαρότητα των εκδηλωνόμενων συμπτωμάτων. Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης από CO σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα επίπεδα COHb στο αίμα παραθέτονται στον πίνακα 4. Επιπλέον στον πίνακα 5 παρουσιάζεται η γενική κατάταξη των παρατηρούμενων κλινικών συμπτωμάτων της δηλητηρίασης, αναφορικά με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις CO στον αέρα, την διάρκεια έκθεσης καθώς και τα αντίστοιχα επίπεδα COHb στο αίμα. Από τα δεδομένα του πίνακα 5, καθίσταται εμφανής η μεγάλη ευαισθησία του ανθρωπίνου κεντρικού νευρικού συστήματος στο CO. Πράγματι, οι πρώτες επιπτώσεις δηλητηρίασης από CO αφορούν στην ικανότητα του ατόμου να ανταποκριθεί σε δραστηριότητες που απαιτούν είτε μεγάλη προσοχή και συγκέντρωση, είτε χειρονακτική δεξιότητα, είτε καλά αντανακλαστικά. Όπως έχει παρατηρηθεί, όταν τα επίπεδα COHb στο αίμα είναι ακόμα σχετικά χαμηλά (της τάξης του 10%), η ικανότητα αυτή παρουσιάζει σημαντική μείωση. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η 8-h έκθεση σε ατμόσφαιρα 10 ppm CO έχει σαν αποτελέσματα τα επίπεδα της COHb στο αίμα να υπερβαίνουν το 2%, επίπεδο που όπως προαναφέρθηκε συνεπάγεται έναρξης διατάραξης του νευρικού συστήματος (IARC, 1986). Για τον λόγο αυτό, οι παραπάνω παρατηρήσεις έχουν αποτελέσει τη βάση για τη διαμόρφωση και τη θέσπιση των παρακάτω ορίων έκθεσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η προστασία του πληθυσμού.

**Πίνακας 6: Κατάταξη των συμπτωμάτων έκθεσης ανάλογα με τα επίπεδα του CO στον ατμοσφαιρικό αέρα, στο αίμα και την διάρκεια έκθεσης**

Συγκέντρωση ατμοσφαιρικού CO(ppm)(*)	Επίπεδα COHb στο αίμα (%)	Διάρκεια έκθεσης α	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία
200	30	2 - 3 h	Ήπιος πονοκέφαλος, κόπωση, ναυτία, ζαλάδα
400	45	1 - 2 h	Ισχυρός πονοκέφαλος επικεντρωμένος στην περιοχή του μετώπου. Ενίσχυση των υπολοίπων συμπτωμάτων. Κίνδυνος θανάτου από έκθεση 3 h
800	60	45 min	Έντονη ναυτία και ζαλάδα, παροξυσμός, απώλεια αισθήσεων εντός 1-2 h. Θάνατος εντός 2-3 h
1600	75	20 min	Πονοκέφαλος, ζαλάδα και ναυτία. Θάνατος μέσα σε 1- 2 h
3200	90	5-10min	Πονοκέφαλος, ζαλάδα και ναυτία. Θάνατος μέσα σε 1 h
6400	104	1 - 2 min	Πονοκέφαλος, ζαλάδα και ναυτία. Θάνατος μέσα σε 25 - 30 min.
12800	119	1 - 3 min	Άμεση απώλεια αισθήσεων. Θάνατος μέσα σε 1-3 min

**Παρατηρήσεις:** (\*)Η συγκέντρωση του CO στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τα επίπεδα COHb στο αίμα

**Πηγή:** Pope et al.,1992;Burge et al.,1991 ; Brunekreeff et al.,1989 ; Berstein et al.,1983 ;Platts-Mills et al.,1987

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών, επίπεδα COHb στο αίμα της τάξης των 35% συνεπάγονται εξασθένηση της χειρονακτικής επιδεξιότητας (See Samet et al., 1988). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι το 40% COHb στο

αίμα προκαλεί πνευματική σύγχυση και απώλεια προσανατολισμού, σε βαθμό ικανό να αποτελέσει αιτία ατυχήματος κατά την οδήγηση (See Samet et al., 1988; Black et al., 1990).

Είναι προφανές ότι αυτά τα επίπεδα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα όταν διαμορφώνονται στους χώρους εργασίας, καθώς αποτελούν βασική αιτία πρόκλησης ατυχημάτων. Γι' αυτό το λόγο, ο οργανισμός OSHA (Occupational Safety & Health Administration) έχει επιδοθεί στη λήψη μέτρων για την αποφυγή διαμόρφωσης τέτοιων επιπέδων COHb στο αίμα των εργατών.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα συμπτώματα έκθεσης ενός υγιούς ατόμου σε χαμηλά και μέτρια επίπεδα CO (όπως σωματική αδυναμία, ήπιες κεφαλαλγίες, ζαλάδα, ναυτία, πυρετός, ρίγη κ.α.) εμφανίζουν μεγάλη ομοιότητα με αυτά της γρίπης, του κρυολογήματος ή της τροφικής δηλητηρίασης. Το γεγονός αυτό καθιστά τη διάγνωση της δηλητηρίασης από CO και κατ' επέκταση την έγκαιρη λήψη μέτρων αντιμετώπισης, ιδιαίτερα δύσκολη.

#### 2.1.2. Ομάδες υψηλού κινδύνου

Στις ομάδες υψηλού κινδύνου ανήκουν όλες εκείνες οι υποομάδες του πληθυσμού οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία κατά την έκθεσή τους στο CO, ακόμα και σε μειωμένες συγκεντρώσεις. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- Ø οι εγκυμονούσες γυναίκες και τα έμβρυα,
- Ø τα βρέφη και τα παιδιά,
- Ø οι καπνιστές,
- Ø τα άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικές παθήσεις, και τέλος
- Ø οι ηλικιωμένοι.

##### *Εγκυμονούσες γυναίκες -Έμβρυα*

Οι εγκυμονούσες γυναίκες συνιστούν μια ιδιαίτερα ευαίσθητη υποομάδα του πληθυσμού, καθώς και η έκθεσή τους στο CO έχει αρνητικές επιπτώσεις στον οργανισμό τόσο της μητέρας όσο και του εμβρύου. Η έκθεση γυναικών σε έστω και χαμηλές συγκεντρώσεις CO κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης μπορεί να οδηγήσει σε αποβολή του εμβρύου, στο θάνατό του εντός της μήτρας καθώς και σε εκ γενετής προβλήματα του εγκεφάλου και του νευρικού του συστήματος. Όπως άλλωστε έχει αποδειχθεί από μελέτες, η προσβολή του εμβρύου καθώς και οι επικείμενες βλάβες στον οργανισμό του

είναι σοβαρότερες συγκριτικά με την μητέρα (*Pope et al., 1992; Brundage et al., 1988; Nolan et al., 1991; ALA, 1993; CDCATS, 1991*). Τα έμβρυα είναι ιδιαίτερα ευπαθή στο CO για τρεις κυρίως λόγους:

1. ο σχηματισμός της καρβοξυαιμοσφαιρίνης στο αίμα της μητέρας περιορίζει την ποσότητα του οξυγόνου που απελευθερώνεται στο έμβρυο,
2. η αιμοσφαιρίνη του εμβρύου εμφανίζει μεγαλύτερη χημική συγγένεια ως προς το CO σε σχέση με την αιμοσφαιρίνη των ενηλίκων. Συνεπώς, ενώ αρχικά τα επίπεδα COHb στο έμβρυο υστερούν σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα στο αίμα της μητέρας, τελικά τα επίπεδα COHb στο εμβρυακό αίμα υπερβαίνουν αυτά της μητέρας σε ποσοστό 10-15% (*USEPA, 1991; Longo L.D., 1979*),
3. τα επίπεδα CO στο έμβρυο θα συνεχίσουν να αυξάνουν, και μετά την στιγμή κατά την οποία τα επίπεδα στο μητρικό αίμα μεγιστοποιούνται και αρχίζουν να ελαττώνονται. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι το έμβρυο καθυστερεί να αποβάλει το τοξικό αέριο από το αίμα του.

Σύμφωνα με την American Gas Association's "Revised Abstract & Health Effects" (Section of 1998), λόγω όλων των παραπάνω, ενώ η μητέρα μπορεί να συνέλθει τελείως, το έμβρυο κινδυνεύει είτε να γεννηθεί νεκρό είτε να υποστεί σοβαρές εγκεφαλικές βλάβες.

Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι το κάπνισμα κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης έχει ως αποτέλεσμα την έκθεση του εμβρύου σε συγκεντρώσεις CO της τάξης των 500-1000 ppm. Καταγεγραμμένες συνέπειες μιας τέτοιας έκθεσης, εκτός από τον κίνδυνο της αποβολής, είναι ο θάνατος του εμβρύου λόγω ελλιπούς βάρους, επανειλημμένες εισαγωγές του παιδιού σε νοσοκομεία κατά τα 5 πρώτα χρόνια της ζωής του, καθώς και χαμηλότερη από την αναμενόμενη απόδοσή του στις σχολικές δραστηριότητες κατά τα 11 πρώτα χρόνια της ζωής του.

#### *Παιδιά και βρέφη*

Τα παιδιά, κυρίως μικρής ηλικίας, αποτελούν μία ευαίσθητη υποομάδα του πληθυσμού. Σύμφωνα με τον Dr. Marc Bayer, Ιατρικό Διευθυντή του Connecticut Poison Control Center, το CO μπορεί να προκαλέσει στα εκτεθειμένα παιδιά νευρολογικά προβλήματα, μαθησιακή ανικανότητα και προβλήματα ανάπτυξης. Ο υψηλός κίνδυνος που αντιμετωπίζουν τα παιδιά οφείλεται στις υψηλότερες απαιτήσεις σε οξυγόνο (*Brundage et al., 1988; Nolan et al., 1991; ALA, 1993; CDCATS, 1991*).

Αναλυτικότερα, τα παιδιά χαρακτηρίζονται από ταχύτερους ρυθμούς μεταβολισμού σε σχέση με τους ενήλικες, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις των ζωτικών τους οργάνων, όπως ο εγκέφαλος και η καρδιά, σε οξυγόνο να είναι μεγαλύτερες. Επιπλέον, εφόσον το CO παρεμποδίζει την μεταφορά και την απελευθέρωση του οξυγόνου στους ιστούς και τα κύτταρα του οργανισμού, μπορεί να βλάψει το αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα των βρεφών.

### *Καπνιστές*

Τα επίπεδα COHb στο αίμα υγιών ενηλίκων, μη καπνιστών, είναι της τάξης των 0,4-0,7% και οφείλονται στις μεταβολικές διεργασίες. Αντιθέτως, στους καπνιστές τα επίπεδα είναι κατά πολύ υψηλότερα και κυμαίνονται μεταξύ 4-20%.

Αναλυτικότερα, η περιεκτικότητα του καπνού του τσιγάρου σε CO κυμαίνεται μεταξύ 200 και 400 ppm. Αποτέλεσμα αυτού είναι το 5,9% των μορίων αιμοσφαιρίνης στο αίμα ενός καπνιστή, που καπνίζει 1 πακέτο/ημέρα, να είναι δεσμευμένα από το CO με την μορφή COHb. Στην περίπτωση του καπνιστή που καπνίζει 2 πακέτα/ημέρα τα επίπεδα ανέρχονται σε 10-15%, ενώ ενός καπνιστή πούρων τα επίπεδα αυτά ανέρχονται στο 20%. Τα υψηλά αυτά επίπεδα COHb θέτουν τους καπνιστές σε ιδιαίτερο κίνδυνο στην περίπτωση περαιτέρω έκθεσης (*IARC, 1986; AHACC&CC, 1992; Burge et al., 1990; Brundage et al., 1988; Nolan et al., 1991; ALA, 1993*).

Όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μερικές μελέτες επισήμαναν την ικανότητα του ανθρώπινου οργανισμού να προσαρμόζεται σε ορισμένα επίπεδα έκθεσης. Πράγματι, υγιή άτομα που εκτέθηκαν σε συγκέντρωση CO της τάξης των 44 ppm για μια παρατεταμένη περίοδο, δεν εκδήλωσαν συμπτώματα δηλητηρίασης [*AGGIH 1986*] (*Burge et al., 1990*). Επιπλέον, ενώ τα άτομα που εκτέθηκαν σε συγκέντρωση 50 ppm για μερικές μόνο ημέρες εκδήλωσαν πονοκεφάλους, τα ίδια άτομα, κατά την έκθεσή τους σε συγκέντρωση 40 ppm για 60 ημέρες, δεν εκδήλωσαν κανένα σύμπτωμα [*AGGIH 1986*] (*Burge et al., 1990*). Κατ' ανάλογο τρόπο και οι καπνιστές εμφανίζουν κάποια προσαρμοστικότητα στα υψηλά επίπεδα COHb που διαμορφώνονται στο αίμα τους.

### *Άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικές παθήσεις*

Όπως προαναφέρθηκε, τα υγιή μη καπνίζοντα άτομα εκδηλώνουν συμπτώματα δηλητηρίασης όταν τα επίπεδα COHb στο αίμα τους είναι περίπου 5%. Τα άτομα όμως που πάσχουν από καρδιακά νοσήματα (στηθάγχη, κακή κυκλοφορία κ.α.) εκδηλώνουν



συμπτώματα όταν τα επίπεδα COHb στο αίμα τους είναι αρκετά χαμηλότερα (2,5%). Το CO επιδρά στην ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς και επιδεινώνει την δυσλειτουργία της. Τα άτομα αυτά υποφέρουν από ισχυρούς πόνους στο στήθος και από έντονο αίσθημα κόπωσης, κατά την διάρκεια ήπιας σωματικής άσκησης (*Burge et al., 1990; Brundage et al., 1988; ALA, 1993*).

### *Ηλικιωμένοι*

Ιδιαίτερα ευαίσθητη υποομάδα του πληθυσμού αποτελούν και τα άτομα προχωρημένης ηλικίας. Ο εξασθενημένος από τα χρόνια οργανισμός τους, οι μειωμένες από τις ασθένειες αντοχές τους και η περιορισμένη κινητική και αντιληπτική τους ικανότητα, τους καθιστούν ευπρόσβλητους από το CO. Ακόμα, περιορίζει την ικανότητά τους να δράσουν έγκαιρα και αποτελεσματικά, προκειμένου να σώσουν τη ζωή τους.

### **2.1.3. Επικινδυνότητα του CO**

Σύμφωνα με το αμερικανικό περιοδικό JAMA (Journal of the American Medical Association), το CO αποτελεί τη βασικότερη αιτία θανάτου από δηλητηρίαση στις ΗΠΑ (*IARC, 1986*). Αναλυτικότερα, το ύπουλο αυτό ασφυξιογόνο αέριο ευθύνεται ετησίως για την εκδήλωση συμπτωμάτων δηλητηρίασης (πυρετός, ρίγη, πονοκέφαλοι, ζαλάδες, ναυτία κ.λπ.) σε 10.000 περίπου ανθρώπους, οι οποίοι καταφεύγουν σε ιατρική υποστήριξη. Παράλληλα, το CO αποτελεί ετησίως αιτία θανάτου 800-1000 ανθρώπων, εκ των οποίων οι 200, σύμφωνα με το CPSC (US Consumer Product Safety Commission) σχετίζονται με τη λειτουργία οικιακών συσκευών. Οι ειδικοί επισημαίνουν ότι είναι δύσκολο να εκτιμήσουν τον συνολικό αριθμό των περιστατικών, λόγω του ότι τα συμπτώματα της δηλητηρίασης από αυτόν τον ρύπο παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με τα συμπτώματα πολλών καθημερινών ασθενειών (*Arlian, 1989; Croft, 1986*).

Ειδικότερα στην Καλιφόρνια, σύμφωνα με το US Department of Health and Human Services, το τοξικό αυτό αέριο ευθύνεται για το θάνατο 45 κατά μέσο όρο κατοίκων ετησίως. Περισσότεροι από τους μισούς θανάτους οφείλονται στην δυσλειτουργία ή στην ανυπαρξία κατάλληλου συστήματος εξαερισμού των οικιακών συσκευών, που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας πλούσια σε άνθρακα καύσιμα, όπως θερμάστρες και φούρνους υγραερίου, μαγκάλια κ.α. Το 1/3 των θανάτων οφείλεται στην παρουσία αυτοκινήτων σε λειτουργία σε κλειστούς ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης ή αυτοκινήτων ακινητοποιημένων για μεγάλο χρονικό διάστημα έξω από το σπίτι.

Επιπλέον, σύμφωνα με τα στοιχεία της ετήσιας έκθεσης της American Association of Poison Control Centers Toxic Exposure Surveillance System για τα έτη 1996 και 1997:

**Πίνακας 7: Προσβληθείσες ομάδες από CO**

<b>Προσβληθείσες ομάδες</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>
Παιδιά ηλικίας κάτω των 6 ετών	3.029	3.116
Παιδιά ηλικίας μεταξύ 6 και 19 ετών	3.814	3.530
Ενήλικες ηλικίας άνω των 19 ετών	12.220	11.869

**Παρατηρήσεις:-**

**Πηγή:** American Association of Poison Control Centers Toxic Exposure Surveillance System

Σύμφωνα με τη μελέτη των Kim & Kreisel, στην Κορέα, στο 70% των νοικοκυριών χρησιμοποιείται ως συσκευή θέρμανσης και μαγειρέματος η μπριγκέτα κάρβουνου. Το γεγονός αυτό αποτελεί τη βασική αιτία για τις 4.304 δηλητηριάσεις που καταγράφηκαν κατά τη έτη 1965-1976, εκ των οποίων οι 3.158 απέβησαν θανατηφόρες. Επιπλέον, το CO καθίσταται ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους κατοίκους των μεγάλων πόλεων, οι οποίοι εκθέτονται αναπόφευκτα σε καθημερινή βάση στα υψηλά επίπεδα του ρύπου που χαρακτηρίζουν τις αστικές ατμόσφαιρες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η συγκέντρωση CO στους κεντρικούς αστικούς δρόμους, κατά τις ώρες αιχμής, κυμαίνεται μεταξύ 50-100 ppm. Συνεπώς, ο κίνδυνος προβλημάτων υγείας που διατρέχουν οι πεζοί, οι ποδηλάτες, οι μοτοσικλετιστές και οι πολίτες που εργάζονται στο δρόμο (τροχονόμοι, οδοκαθαριστές, τα πληρώματα των κινητών συνεργείων, οι διανομείς κ.α.) είναι αρκετά υψηλός. Μελέτες που διεξήχθησαν σε διάφορες χώρες απέδειξαν ότι, ενώ οι συγκεντρώσεις CO στο εσωτερικό των αυτοκινήτων τείνουν να είναι κατά μέσο όρο 4-5 φορές υψηλότερες των αντιστοίχων αστικών συγκεντρώσεων υποβάθρου, τα επίπεδα έκθεσης των πεζών και των ποδηλατών είναι 40-60% των καταμετρούμενων συγκεντρώσεων στο εσωτερικό των αυτοκινήτων.

Ειδικότερα, οι μελέτες που διεξήγαγε ο *Chovin* στο Παρίσι αναφέρουν μια αξιόλογη αύξηση της συγκέντρωσης CO στο αίμα των τροχονόμων μετά από 5 ώρες εργασίας. Παράλληλα, η ίδια μελέτη επισημαίνει την εμφάνιση υψηλών επιπέδων COHb στο αίμα και των οδηγών των αυτοκινήτων. Επιπρόσθετα, οι *Colwill & Hickman* ανέφεραν ότι η μέση συγκέντρωση CO στο εσωτερικό των αυτοκινήτων που κινούνται στο κέντρο του Λονδίνου κυμαίνεται από 12-60 ppm, δηλαδή μεταξύ 30-80% του επιπέδου του ρύπου στο δρόμο. Οι ίδιοι μελετητές εκτίμησαν ότι τα επίπεδα COHb στο αίμα των επιβατών που εκθέτονται σε αυτές τις συγκεντρώσεις κυμαίνεται από 1,5-3,0%.

Από άλλες μελέτες που διεξήχθησαν σε διάφορες πόλεις των ΗΠΑ επισημάνθηκε ότι οι επιβάτες οχημάτων, κυρίως αυτών που κινούνται σε περιοχές κυκλοφοριακής συμφόρησης εκθέτονται σε επίπεδα της τάξης τουλάχιστον των 7 ppm και σε μερικές περιπτώσεις στην επικίνδυνα υψηλή συγκέντρωση των 77 ppm. Στο Λος Άντζελες, οι *Peterson & Allen* ανέφεραν ότι οι επιβάτες των οχημάτων εκθέτονται σε συγκεντρώσεις CO της τάξης του 92% των αντιστοίχων επιπέδων του δρόμου. Σύμφωνα με μελέτες, στη Βοστώνη, οι ποδηλάτες εκθέτονται κατά μέσο όρο σε συγκεντρώσεις της τάξης των 12 ppm, ενώ κατά τις ώρες αιχμής οι στιγμιαίες μέγιστες τιμές έκθεσης ανέρχονται στα 100 ppm. Ακόμα, οι *Koushki et al.* απέδειξαν ότι, στην πόλη Ριάντ της Σαουδικής Αραβίας, κατά τις ώρες αιχμής, οι μοτοσικλετιστές εκθέτονται σε μια μέση συγκέντρωση CO που κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40 ppm, δηλαδή στο 84% του μέσου επιπέδου CO στο δρόμο. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί η επικινδυνότητα του τσιγάρου ως πηγή εκπομπής του CO. Όπως προαναφέρθηκε, η περιεκτικότητα του καπνού του τσιγάρου σε CO ανέρχεται στα 200-400 ppm. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι τα επίπεδα COHb στο αίμα ενός μέσου καπνιστή κυμαίνονται μεταξύ 5-10%, ενώ στην περίπτωση μανιωδών καπνιστών τα επίπεδα ανέρχονται στα 15-17%. Είναι προφανές ότι τα επίπεδα αυτά είναι από μόνα τους επαρκώς υψηλά για να προκαλέσουν προβλήματα υγείας, ενώ παράλληλα επιδεινώνουν τον κίνδυνο των καπνιστών σε περίπτωση περαιτέρω έκθεσης. Επιπλέον, η συσσώρευση CO λόγω καπνίσματος στο εσωτερικό ενός οχήματος επιφέρει αύξηση των επιπέδων CO στα 90 ppm. Συνεπώς, είναι προφανές ότι η μεγάλης διάρκειας ή μεγάλης συχνότητας παραμονή ατόμων σε τέτοιους χώρους κρύβει υψηλό κίνδυνο για την υγεία των εκτεθειμένων (*IARC, 1986*).

## 2.2. CO και αστικό περιβάλλον.

Μία σειρά μελετών έχουν δείξει ότι η ρύπανση από CO αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα στις αστικές κυρίως περιοχές σε ολόκληρο τον κόσμο (Πίνακας 7), ειδικά σε μεγαλουπόλεις όπου το κυκλοφοριακό πρόβλημα είναι αρκετά υψηλό.

**Πίνακας 8: Μελέτες σχετικές με την εκπομπή CO από το κυκλοφοριακό**

Μελέτη	Έτος	Τοποθεσία	Τύπος έκθεσης	Δείγμα (διάρκεια)	Αντικείμενο ή τόπος	Επίπεδο (ppm)
Chow & Chan, 2003	Καλοκαίρι 1999	Χονγκ-Κονγκ, Κίνα	Περιβάλλον	Metrosonics pm-7700 CO-meter (2-6 min)	Τούνελς με κίνηση Ωρες αιχμής και Ωρες μη αιχμής	6-21 8-28
Abdollahi et al., 1998	Μη διαθέσιμο	Τεχεράνη, Ιράν	Περιβάλλον	Αυτόματο καρβοξύμετρο (180 ώρες αιχμής)	Κέντρο της πόλης	6,7-12,3
Venegas & Mezzeo, 2000	1994-1996	Μπουένος Άιρες	Περιβάλλον	Μόνιτορ μη διασκορπούμενης υπεριώδους ακτινοβολίας (8 h)	Αστικά οδικά κανάλια	10,2
Leong et al., 2001	Ιανουάριος-Ιούνιος 1999	Μπανγκόκ, Ταϊλάνδη	Περιβάλλον	Μόνιτορ μη διασκορπούμενης υπεριώδους ακτινοβολίας (8 h)	Δρόμος με έντονη κίνηση	6,15
Shendell & Naeher, 2002	Μάιος και Ιούνιος 1997	Γουατεμάλα (3 πόλεις)	Περιβάλλον	Langan Databear (248-370 min)	Δρόμος με έντονη κίνηση	7,2 <sup>α</sup> 10,9 <sup>β</sup>
Atimtay et al., 2000	Άνοιξη 1998	Άγκυρα, Τουρκία	Προσωπική	Ηλεκτροχημικός σένσορας (8 h)	Τροχονόμος	6,26-23,89
Fernandez-Bremauntz & Ashmore, 1995	Χειμώνας 1991	Πόλη του Μεξικό	Όχημα	Ηλεκτροχημικός σένσορας (38-99 min)	Μίνιμπας Λεωφορείο Μετρό	32-63 26-38 17-25
Chan et al., 2002	Καλοκαίρι 2000	Guangzhou, Κίνα	Όχημα	Ηλεκτροχημικός σένσορας (2.5 h peak)	Λεωφορείο Ταξί	8,6 23,7
Gómez-Pearales et al., 2004	Άνοιξη 2002	Πόλη του Μεξικό	Όχημα	Ηλεκτροχημικός σένσορας (180 min peak hours)	Μίνιμπας Λεωφορείο Μετρό	15 12 7
Zagury et al., 2000	Άνοιξη 1997	Παρίσι, Γαλλία	Προσωπική	Σένσορας Pac II (8 h)	Μη καπνιστής οδηγός ταξί	3,8
Ashmore et al., 2000	Άνοιξη 1998	Northampton, M.B.	Προσωπική	Σένσορας Pac III (6-8 min in car traffic)	Παιδιά σχολείου	4-7
Duci et al., 2003	Χειμώνας 1998-1999	Αθήνα, Ελλάδα	Όχημα	Ηλεκτροχημικός σένσορας (25-45 min)	IX Λεωφορείο Τρόλεϊ	21,4 10,4 9,6
Riediker et al., 2003	Φθινόπωρο 2001	Raleigh, NC, US	Σε όχημα στη άκρη του δρόμου - Περιβάλλον	Ηλεκτροχημικός σένσορας (3 pm-midnight)	Αστυνομικό όχημα Σταθερό σημείο Κοντά στην κίνηση	2,6 1,1 0,8

**Παρατηρήσεις:** α) τιμή για τις ζώνες με το υψηλότερο μέσο όρο κατά τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης.

β) τιμή για τη ζώνη με την υψηλότερη Max μέση τιμή σε 30 λεπτά

**Πηγή:** Xianglu Han, Luke P. Naeher, 2005

Όπως και πολλοί άλλοι αέριοι ρύποι, τα επίπεδα του CO στις αστικές περιοχές επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες όπως η πυκνότητα κυκλοφορίας, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, και οι μετεωρολογικές συνθήκες. Οι συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού CO παρουσιάζουν καθημερινές και εποχικές διακυμάνσεις, καθώς επίσης και σύνθετες χωρικές κατανομές. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του μονοξειδίου, τα επίπεδα εντός των οχημάτων, και όσον αφορά την ανθρώπινη έκθεση στον ρύπο, είναι γενικά υψηλότερη στις υπό ανάπτυξη χώρες και μικρότερη στις ήδη αναπτυγμένες, όπως έχει αποδειχθεί από πληθώρα μελετών (βλ. Πίνακα 7). Το συγκεκριμένο γεγονός μπορεί να έχει προκληθεί από διάφορους παράγοντες συμπεριλαμβανομένου της κακής συντήρησης των οχημάτων και της ανεπαρκούς χρήσης του συστήματος ελέγχου των καυσαερίων. Ειδικότερα, στην πόλη του Μεξικό (*Gómez-Perales et al., 2004*) παρατηρήθηκαν χαμηλότερα επίπεδα CO στα τρία διαφορετικά μέσα μαζικής μεταφοράς, σε σύγκριση με προηγούμενα στοιχεία (*Fernandez-Bremauntz and Ashmore, 1995*) που ελήφθησαν από την ίδια περιοχή, αν και η μείωση μπορεί να οφείλεται μερικώς στην διαφορετική εποχή των μετρήσεων. Επίσης, σε μία πιλοτική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Γουατεμάλα (*Shendell and Naeher, 2002*), βρέθηκαν και εκεί χαμηλά επίπεδα CO. Ορισμένες μελέτες που διεξήχθησαν σε ευρωπαϊκές χώρες και στις ΗΠΑ φαίνονται στον πίνακα 7 για να υπάρχει σύγκριση των αποτελεσμάτων (*Ashmore et al., 2000; Zagury et al., 2000; Duci et al., 2003; Riediker et al., 2003*).

Τα τούνελ που παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα κίνησης μπορούν να αποθηκεύσουν CO χάρη στην κλειστή κατασκευή τους. Μία μελέτη στο Χονγκ Κονγκ ερεύνησε τα επίπεδα CO σε 11 τούνελ (*Chow and Chan, 2003*). Κατά τις ώρες αιχμής, τα επίπεδα του CO διακυμάνθηκαν κατά μέσο όρο από 6 έως 21 ppm. Τα επίπεδα αυτά κυμάνθηκαν από 8 έως 28 ppm στις ώρες αιχμής. Ο σχεδιασμός του συστήματος αερισμού είναι σημαντικός για την πρόληψη της αποθήκευσης CO σε αυτά τα τούνελ.

Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι τα αποτελέσματα των μελετών από διαφορετικές περιοχές και χώρες μπορεί να μην είναι εντελώς συγκρίσιμα. Αυτό οφείλεται στις διαφορετικές μεθόδους δειγματοληψίας, στις ημέρες δειγματοληψίας, στον χρόνο και στη διάρκεια δειγματοληψίας, στην τεχνική δειγματοληψίας, στο προφίλ της κυκλοφορίας και στις μετεωρολογικές συνθήκες. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να μας δώσουν μία γενική εικόνα των συγκρίσιμων στοιχείων. Στα διάφορα εναλλασσόμενα μικροπεριβάλλοντα μελέτης, τα ΙΧ και τα ταξί παρείχαν υψηλότερα επίπεδα CO στους επιβάτες από ότι άλλα μέσα μεταφοράς, κυρίως δημόσια μέσα μεταφοράς (*Chan et al., 2002; Duci et al., 2003*). Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Μπανγκόκ (*Leong et al., 2001*) παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές από δίχρονες μοτοσικλέτες ήταν κατά μέσο όρο 1,5 και 5 φορές υψηλότερες από εκείνες των τετράχρονων μοτοσικλετών σε CO και υδρογονάνθρακες, αντίστοιχα. Στην ίδια μελέτη, ο μέσος όρος του ατμοσφαιρικού CO

πάνω από 8 ώρες στους δρόμους της Μπανγκόκ βρέθηκε να είναι χαμηλότερος (6,15 ppm). Έχει αποδειχθεί ότι τα στοιχεία που λαμβάνονται από σταθερά σημεία παρατήρησης δεν είναι ακριβή και κατά συνέπεια δεν είναι κατάλληλα για αξιολόγηση των επιβατών που υπόκεινται σε έκθεση ρύπου.

Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε 49 επαγγελματίες οδηγούς στην Τεχεράνη (*Abdollahi et al., 1998*), βρέθηκαν υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικού CO στα κεντρικά σημεία της πόλης όπου παρουσιάζεται η υψηλότερη κυκλοφορία. Μία αύξηση του επιπέδου των 6 ppm στο ατμοσφαιρικό CO, ήταν συνδεδεμένη με αύξηση 1% της COHb. Ο βαθμός σύνδεσης μπορεί να αλλάξει εάν είχαν μετρηθεί και χρησιμοποιηθεί οι προσωπικές εκθέσεις. Διάφορα μοντέλα που βασίζονται στις συγκεντρώσεις του CO στα αστικά οδικά κανάλια και σε συμπληρωματικούς παραμέτρους (κυκλοφοριακούς παράγοντες, παράμετροι οδικών καναλιών και μετεωρολογικά δεδομένα) ήδη αξιολογούνται για τις δυνατότητές τους στη διάγνωση της ποιότητας του αέρα (*Venegas and Mazzeo, 2000; Ashmore et al., 2000; Kukkonen et al., 2000; Manning et al., 2000*).

### **2.3. Ρύπανση από CO στην περιοχή των Αθηνών.**

Η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας αντιμετωπίζει αυξανόμενα προβλήματα με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, οι οποίες οφείλονται στην μετακίνηση του πληθυσμού προς την πρωτεύουσα, την αυξημένη βιομηχανοποίηση, την αυξανόμενη κυκλοφορία αυτοκινήτων και, τέλος, την τοπογραφία της συγκεκριμένης τοποθεσίας. Παρόλο αυτά, υπάρχει η ανάγκη για μια συνεχή ανάλυση των μετεωρολογικών παρατηρήσεων και της ποιότητας του αέρα στην περιοχή της Αθήνας (*Chaloulakou et al., 1998; Kassomenos et al., 1995*). Τα μέσα μαζικής μεταφοράς είναι ο κύριος παράγοντας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις πόλεις αν και πρέπει να δοθεί ειδική προσοχή στους ρυπαντές από την κυκλοφορία των οχημάτων, δηλαδή στο CO. Στην πόλη των Αθηνών, σχεδόν το 100% των εκπομπών CO οφείλεται σε κινητές πηγές (*PERPA, 1998a*). Επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν αυξημένο σχετικό κίνδυνο ημερήσιας θνησιμότητας και νοσηρότητας του πληθυσμού της τάξης 0,9-4,7% σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες συγκεντρώσεως του CO στην Αθήνα (*Touloumi et al., 1994*), καθώς επίσης και σε πόλεις του Καναδά (*Burnett et al., 1997, 1998*). Για το λόγο αυτό ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει προτείνει συγκεκριμένα όρια έκθεσης για το CO, τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 9: Προτεινόμενα όρια έκθεσης του WHO για το CO**

Μέση ετήσια συγκέντρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα	Κρίσιμο επίπεδο για την υγεία	Προτεινόμενη τιμή		Μέση τιμή
		mg/m <sup>3</sup>	ppm	
500-7000 (g/m <sup>3</sup> )	COHb<2,5%	100	87	15 min
		60	52	30 min
		30	26	1 h
		10	9	8 h

**Παρατηρήσεις:** 1 mg/m<sup>3</sup> CO = 0,859 ppm

**Πηγή:** WHO

Τέλος, τα κύρια χαρακτηριστικά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας μπορούν να συνοψιστούν όπως ακολουθεί (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006):

- Ø Η εποχιακή μεταβολή των μετρούμενων συγκεντρώσεων των ρύπων στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, από το 1984, μας δείχνει μια μείωση στις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων. Αυτή η μείωση παρατηρείται κυρίως στις συγκεντρώσεις των πρωτογενών ρύπων μεταξύ των οποίων και του CO. Αυτή η μείωση είναι αξιοσημείωτη, δεδομένου της αύξησης του πληθυσμού και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην συγκεκριμένη περιοχή και για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Ø Οι τιμές συγκέντρωσης του CO είναι υψηλότερες στους σταθμούς παρακολούθησης στο κέντρο της πόλης.
- Ø Οι συγκεντρώσεις του CO κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι υψηλότερες από εκείνες που καταγράφονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι υψηλότερες τιμές του CO καταγράφονται συνήθως μεταξύ των ωρών 08:00 και 09:00 το πρωί και μεταξύ των 22:00 και 23:00 το βράδυ.
- Ø Τις Κυριακές, όλες οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων, υφίστανται μείωση, εκτός από το όζον και τα PM<sub>10</sub>.

#### 2.4. Οργανολογία.

Για την καταγραφή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό όργανο μετρητής CO. Πρόκειται για το μοντέλο Neotox Mk5 της Zellweger Analytics Lt., το οποίο μπορεί να μεταφερθεί από ένα άτομο χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα. Σκοπός του οργάνου είναι η συνεχής παρακολούθηση της ατμόσφαιρας σε μία περιοχή στην οποία γνωρίζουμε την ύπαρξη ενός

συγκεκριμένου επικίνδυνου αερίου και η παροχή μίας ένδειξης συναγερμού - προειδοποίησης όταν υπάρχει έκθεση σε όρια μεγαλύτερα των επιτρεπομένων (MAN0584.P65, 1999).

Το εν λόγω όργανο διαθέτει:

- Ø έναν ηλεκτροχημικό αισθητήρα ανίχνευσης CO,
- Ø ένα σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων,
- Ø ένα σύστημα που παρέχει την δυνατότητα προγραμματισμού της λειτουργίας του οργάνου.

Ο αισθητήρας ανίχνευσης CO συνίσταται σε ένα ηλεκτροχημικό κελί, το οποίο αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, το ηλεκτρόδιο ανίχνευσης (άνοδος) και το ηλεκτρόδιο μέτρησης (κάθοδος). Τα δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από ένα στρώμα ηλεκτρολύτη. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην πραγματοποίηση εντός του αισθητήρα μιας οξειδοαναγωγικής αντίδρασης, η οποία αποδίδεται από τις ακόλουθες χημικές εξισώσεις:

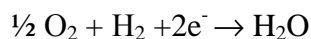




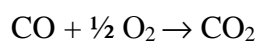
### Ηλεκτρόδιο ανίχνευσης (άνοδος +)



### Ηλεκτρόδιο μέτρησης (κάθοδος -)



### Συνολική αντίδραση



Αποτέλεσμα αυτής είναι η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, αναλόγου της συγκέντρωσης CO στον περιβάλλοντα αέρα, το οποίο καταγράφεται και μετατρέπεται από το όργανο σε μονάδες συγκέντρωσης του ρύπου.

#### 2.4.1. Τεχνικές προδιαγραφές.

Τα τεχνικές προδιαγραφές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 10: Τεχνικές προδιαγραφές**

Εύρος μετρήσεων (Range)	Διακριτική ικανότητα (Resolution)	Τυπική ακρίβεια (Typical accuracy)	Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας (Temperature range)	Χρόνος απόκρισης	Προτεινόμενη συχνότητα βαθμονόμησης
0 – 999,0 ppm	1 ppm	+/- 5ppm στα 100ppm	0°C έως +40°C	10 sec	Κάθε 6 μήνες

**Παρατηρήσεις:-**

**Πηγή:** MAN0584.P65, 1999

Επίσης, το συγκεκριμένο όργανο είναι διαθέσιμο με μία ενσωματωμένη μπαταρία τύπου NiMH, την οποία συνοδεύει μια βάση επαναφόρτισης των μπαταριών.

Το όργανο αυτόματα καταχωρεί τις μετρήσεις του οργάνου σύμφωνα με τα εκ των προτέρων ρυθμισμένα διαστήματα μετρήσεων (MAN0584.P65, 1999). Περισσότερες από 40 ώρες μετρήσεων μπορούν να αποθηκευθούν στο συγκεκριμένο όργανο και χρησιμοποιώντας το λογισμικό LogView, τα συγκεκριμένα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν σε έναν Η/Υ για ανάλυση, σύγκριση, αποθήκευση ή εκτύπωση. Χρησιμοποιώντας το LogView, μπορούμε να ρυθμίσουμε το διάστημα μετρήσεων του οργάνου, στα οποία καταχωρούνται τα δεδομένα (P.059-0258-00 Issue 2, 1998).

## 2.5. Πειραματική Μεθολογία

Μετά τον έλεγχο / συντήρηση και βαθμονόμηση του οργάνου καταγραφής πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο εσωτερικό ιδιωτικού επιβατικού οχήματος (1.600κ.ε.) προς και από τον τόπο εργασίας και σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων στη Λεωφόρο Βάρης, στην περιοχή του Δήμου Βάρης Αττικής. Ο τόπος εργασίας βρίσκεται στην περιοχή Πατησίων του Δήμου Αθηναίων. Για τις μετρήσεις στα σταθερά σημεία (φαρμακείο και ταβέρνα) θα γίνει αναφορά και σχολιασμός/αξιολόγηση των μετρήσεων λόγω των λιγοστών μετρήσεων που είχαμε.

Οι μετρήσεις, όσον αφορά το I.X., πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια τριών εργάσιμων εβδομάδων, οι οποίες ήταν οι εξής:

- Ø από 22-05-2006 έως 26-05-2006,
- Ø από 29-05-2006 έως 02-06-2006, και
- Ø από 05-06-2006 έως 09-06-2006.

Οι χρόνοι των διαδρομών ήταν οι εξής:

**Πίνακας 11:Μετακίνηση με I.X. όχημα προς και από τον τόπο εργασίας**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ (min)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ (min)
22/05/06	53	50
23/05/06	53	55
24/05/06	52	59
25/05/06	44	67
26/05/06	58	59
29/05/06	46	54
30/05/06	48	52
31/05/06	43	64
01/06/06	54	63
02/06/06	41	71
05/06/06	57	55
06/06/06	49	59
07/06/06	53	60
08/06/06	52	70
09/06/06	54	65
<b>MEAN</b>	<b>50,46</b>	<b>61,53</b>

Παρατηρήσεις:-  
Πηγή:-

Παρατηρούμε ότι η μέση διάρκεια διαδρομής είναι μεγαλύτερη από τον τόπο εργασίας προς την κατοικία, ειδικά τις μονές ημέρες κατά τις οποίες δεν κυκλοφορούσε το Ι.Χ. στην περιοχή του κέντρου.

Η διαδρομή που ακολουθήθηκε από την κατοικία διαμονής προς την εργασία ήταν καθιερωμένη και ήταν η ακόλουθη: Λεωφόρος Βάρης – Καλύμνου – Βουλιαγμένης – Στύλοι Ολυμπίου Διός – Συγγρού – Αμαλίας – Πανεπιστημίου – 3<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου - Καποδιστρίου – Αχαρνών – Κνωσσού.

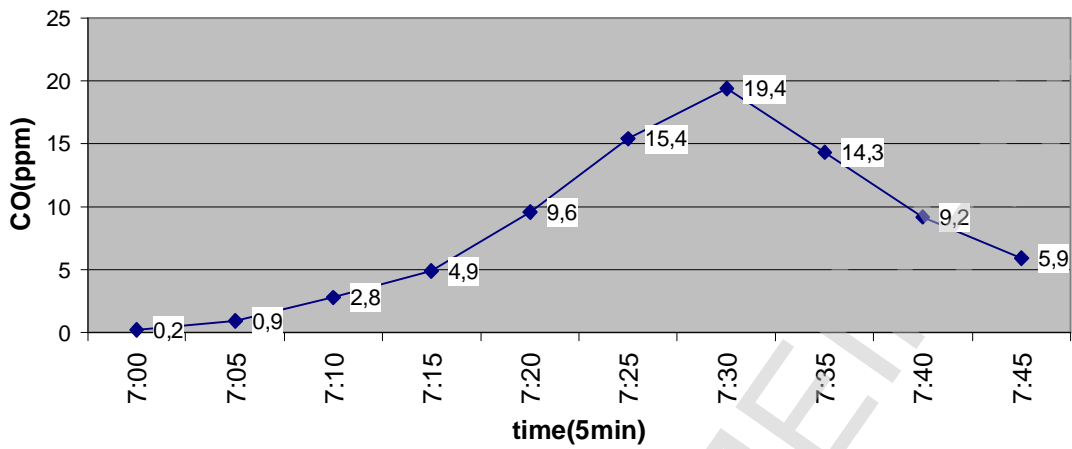
Η διαδρομή που ακολουθήθηκε από τον τόπο εργασίας προς την κατοικία δεν ήταν καθιερωμένη λόγω διάφορων λόγων, όπως ο δακτύλιος, κλειστό κέντρο λόγω πορείων κ.λπ. Στην περίπτωση που το Ι.Χ. κυκλοφορούσε στο κέντρο, η διαδρομή ήταν η ακόλουθη: Πατησίων – Σταδίου – Φιλελλήνων – Αμαλίας – Συγγρού – Στύλοι Ολυμπίου Διός – Βουλιαγμένης – Καλύμνου – Λεωφόρος Βάρης. Στην περίπτωση που δεν κυκλοφορούσε στο κέντρο λόγω δακτυλίου ή σε περίπτωση αλλαγής διαδρομής λόγω κάποιας πορείας διαδήλωσης, η διαδρομή ήταν η εξής: Πατησίων – Ιουλιανού – Δηλιγιάννη – Πλατεία Καραϊσκάκη – Αχιλλέως – Θερμοπυλών – Πειραιώς – Ηρακλειδών – Χαμοστέρνας – Συγγρού - Ποσειδώνος – Λεωφόρος Βάρης.

Οι περισσότεροι δρόμοι που ακολουθήθηκαν είναι διπλής κατευθύνσεως και γενικότερα η διαδρομή περιλαμβάνει ποικιλία τύπων δρόμων οι οποίοι διατρέχουν περιοχές κατοικήσιμες, περιοχές με εμπορικά κέντρα και περιοχές με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Μερικοί δρόμοι από αυτούς, σχηματίζουν τα λεγόμενα οδικά κανάλια, τα οποία αποτρέπουν τη διασπορά των εκπομπών των αέριων ρύπων.

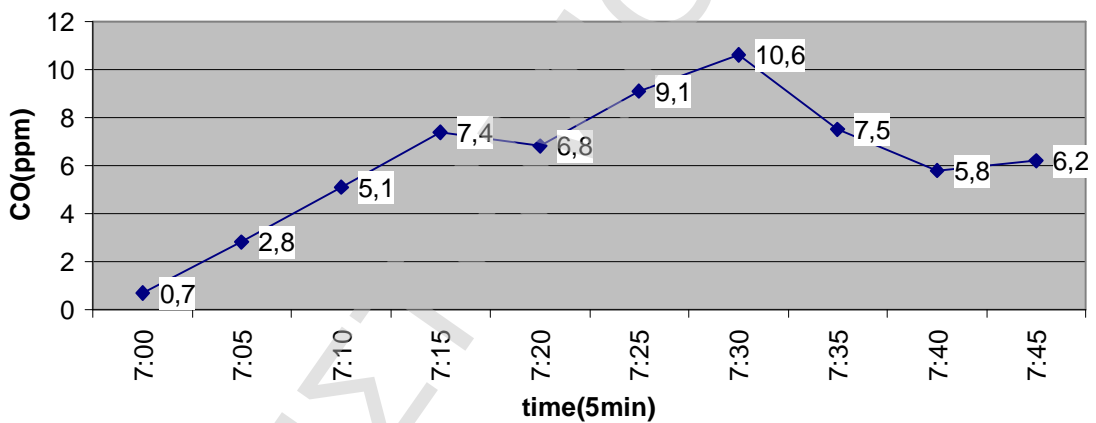
Οι περισσότεροι δρόμοι παρουσιάζουν έντονη κυκλοφορία και χαρακτηρίζονται από χαμηλές ταχύτητες.

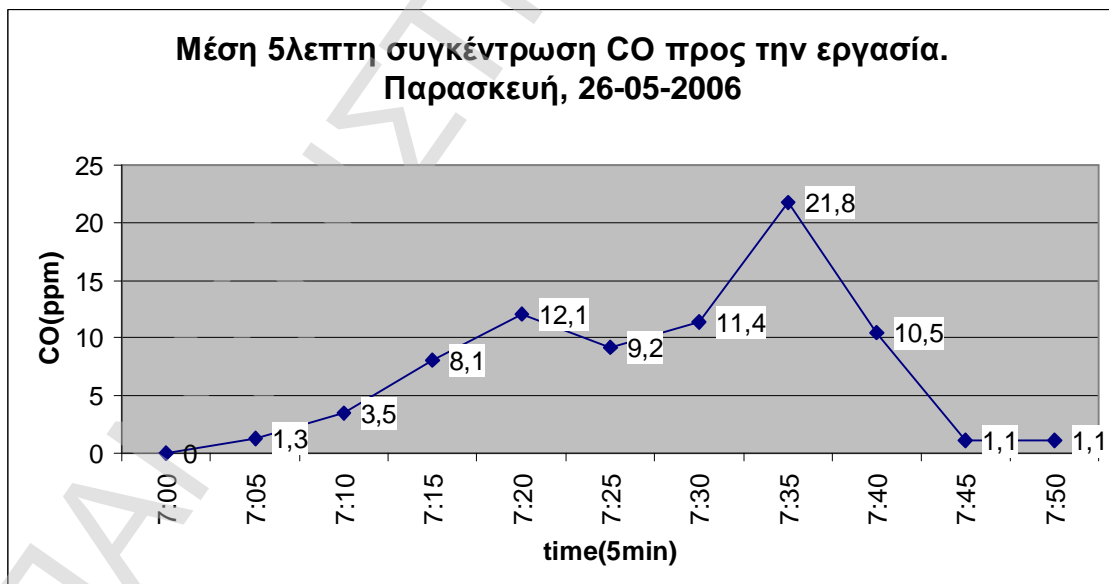
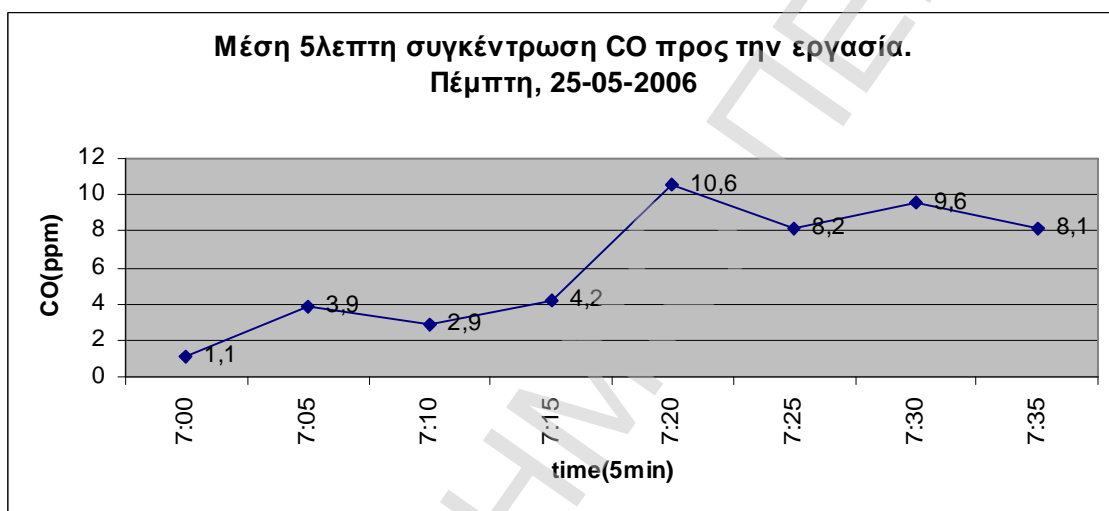
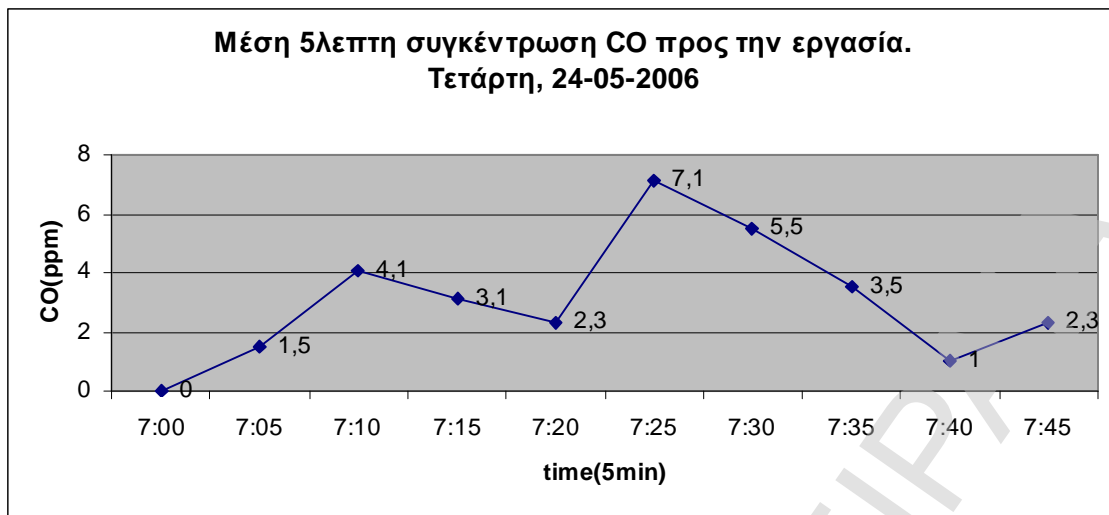
Παρακάτω φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των μέσων 5λεπτων συγκεντρώσεων προς τον τόπο εργασίας και από τον τόπο εργασίας.

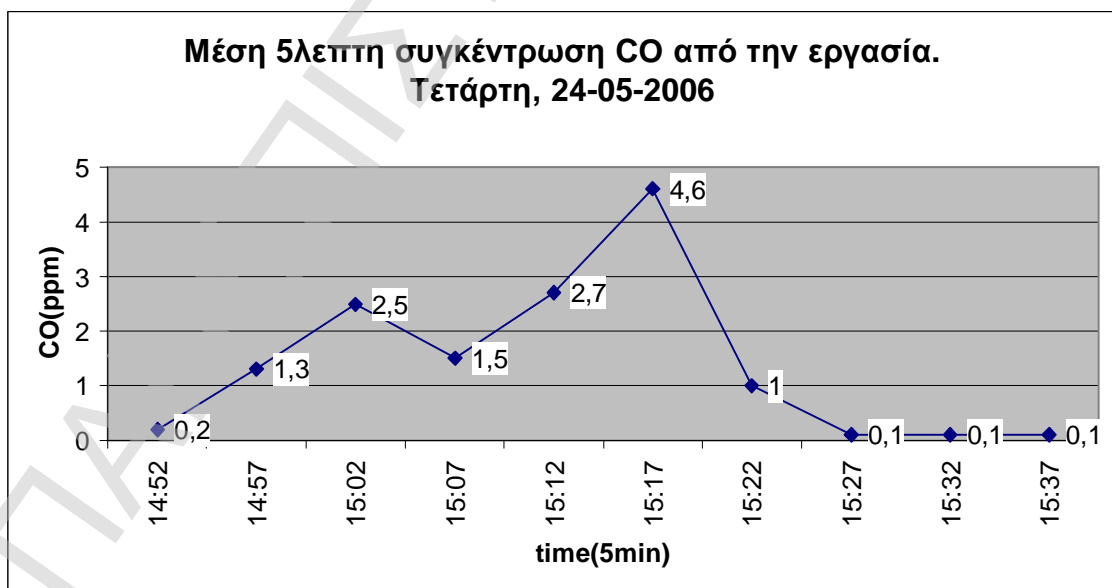
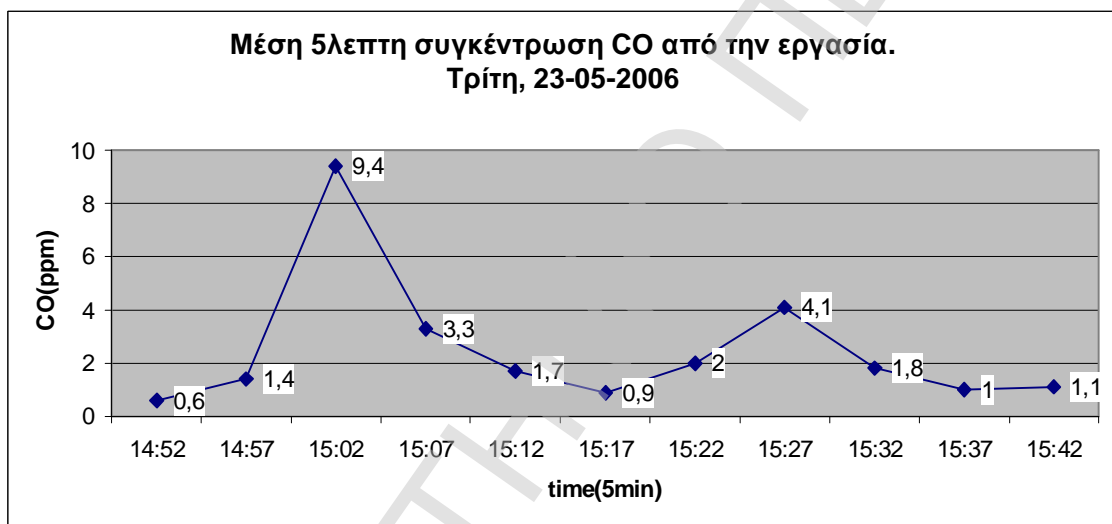
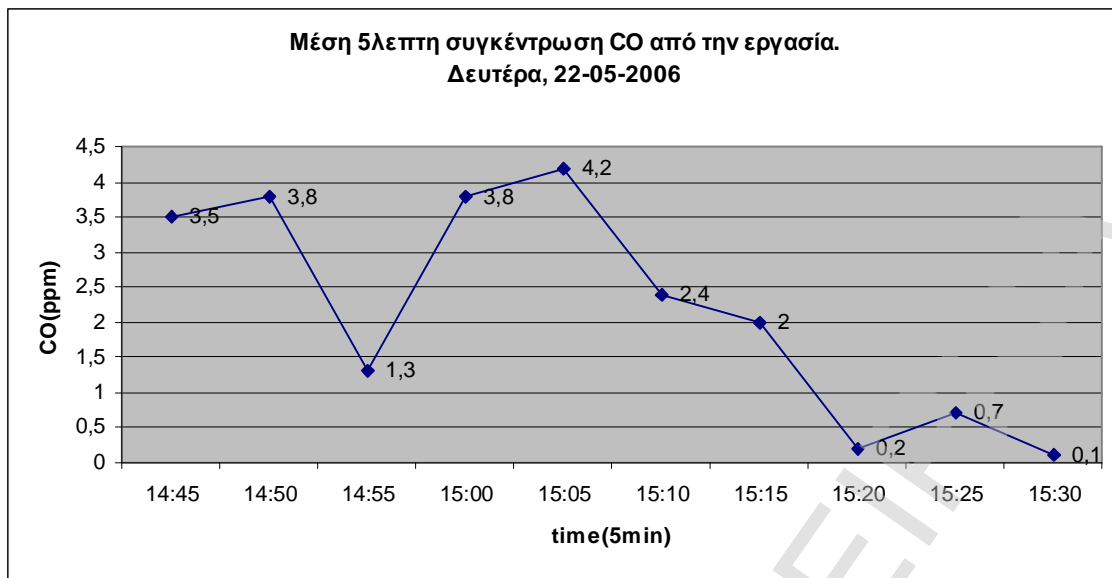
**Μέση 5λεπτη συγκέντρωση CO προς την εργασία.  
Δευτέρα, 22-05-2006**

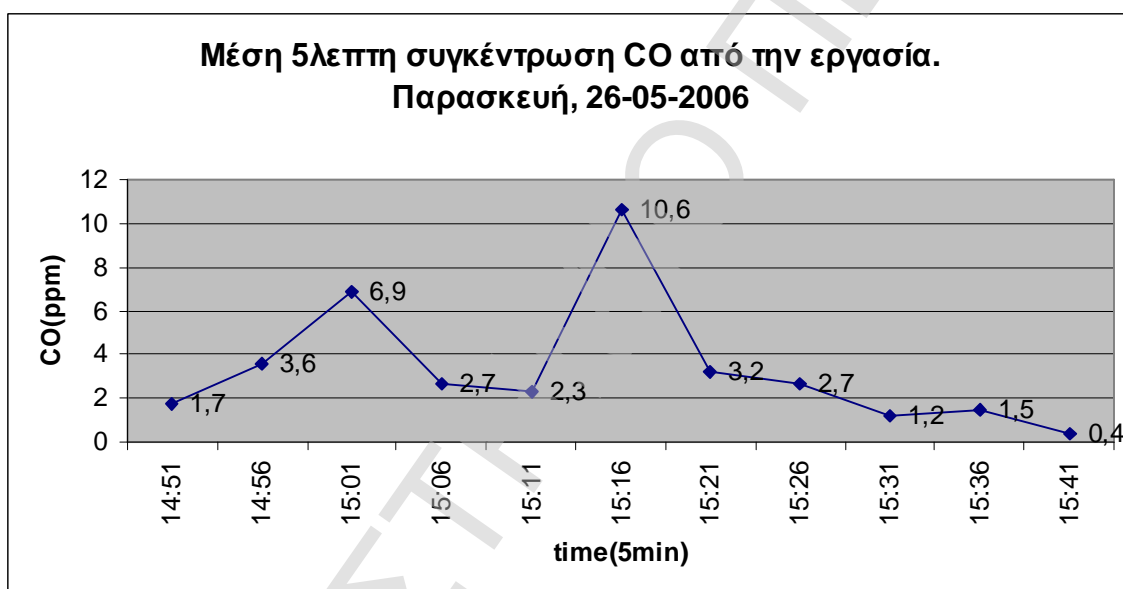


**Μέση 5λεπτη συγκέντρωση CO προς την εργασία.  
Τρίτη, 23-05-2006**









Εξετάζοντας τις γραφικές παραστάσεις των 5 πρώτων διαδρομών προς τον τόπο εργασίας διαπιστώνουμε ότι οι τιμές είναι επικίνδυνες για εκείνη την ομάδα των εργαζομένων που εργάζονται σε συγκεκριμένα σημεία. Δηλαδή, βλέπουμε ότι οι τιμές CO αρχίζουν να ανεβαίνουν όταν το Ι.Χ. φτάνει στο σημείο του σταθμού του μετρό του Αγίου Δημητρίου και συνεχίζουν να αυξάνονται όσο εισέρχεται το Ι.Χ. προς το κέντρο της πόλης. Η αύξηση αυτή παρατηρείται από τις 07:15-07:45.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο σημείο του σταθμού του Αγ. Δημητρίου υπάρχει συσσώρευση οχημάτων (στάση λεωφορείων, στάση Ι.Χ. για την αποβίβαση επιβατών, δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης λόγω κατάληψης μιας λωρίδας κυκλοφορίας από τις τρεις, η οποία οφείλεται στη στάση Ι.Χ.-ταξί κ.λπ.). Στο συγκεκριμένο σημείο παρατηρούμε ότι στην πρώτη γραφική παράσταση έχουμε 9,6 ppm την Δευτέρα 22/05/2006 (07:20π.μ.), 7,4 ppm την Τρίτη 23/05/2006 (07:15π.μ.), την Τετάρτη 24/05/06 παρατηρούμε μια γενική πτώση των τιμών η οποία

οφείλεται στην μικρότερη κίνηση που είχε τη συγκεκριμένη ημέρα, την Πέμπτη 25/05/06 παρατηρείται ότι μεταξύ του σταθμού του Αγ. Δημητρίου και του σταθμού της Δάφνης παρατηρείται άνοδος των συγκεντρώσεων και, τέλος, την Παρασκευή 26/05/06 (07:15π.μ) έχουμε συγκέντρωση 8,1 ppm στο σταθμό. Συμπεραίνουμε ότι υπάρχει άνοδος των τιμών η οποία οφείλεται στην έντονη κυκλοφοριακή κίνηση που παρατηρείται από το σημείο του μετρό του Αγ. Δημητρίου, το οποίο οφείλεται στο ότι από το σημείο αυτό ξεκινά η κίνηση προς το κέντρο.

Επιπλέον, παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στους στίλους του Ολυμπίου Διός την Δευτέρα 22/05/06, 19,4 ppm (07:30π.μ.), Τρίτη 23/05/06, 10,6 ppm (07:30π.μ) και την Παρασκευή 26/05/06, 21,8 ppm (07:35π.μ.). Στο σημείο αυτό διασταυρώνεται η λεωφόρος Βουλιαγμένης με την οδό Καλλιρρόης, οπότε υπάρχει συσσώρευση οχημάτων.

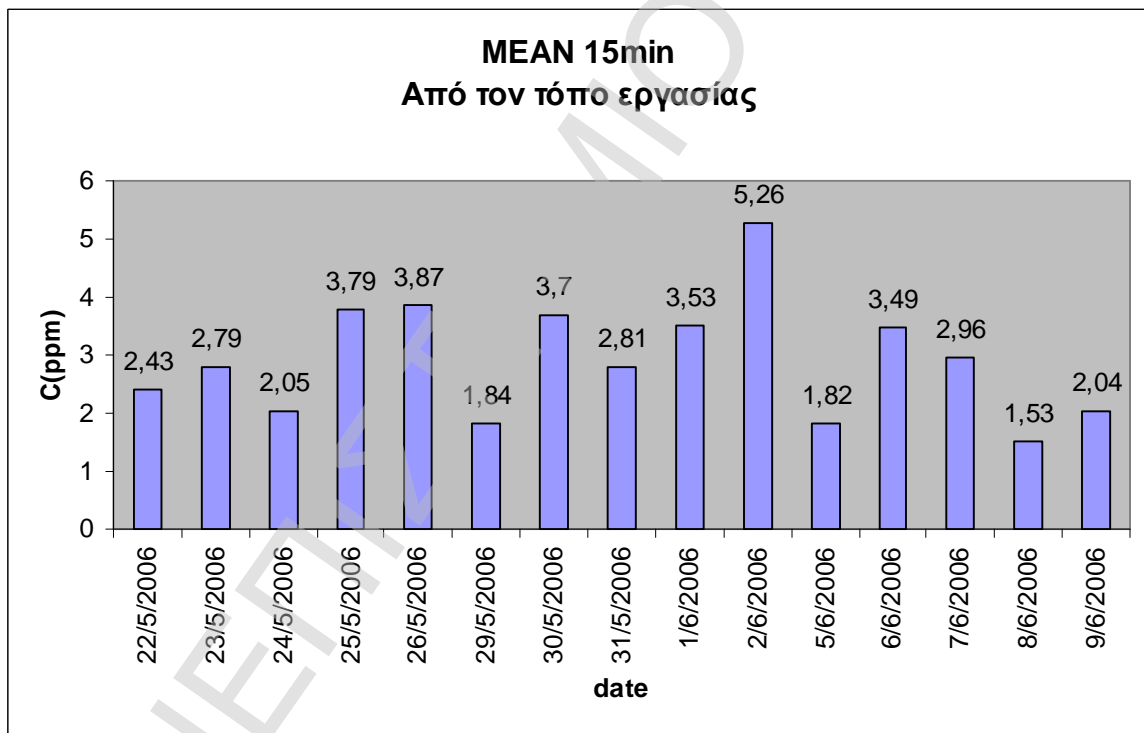
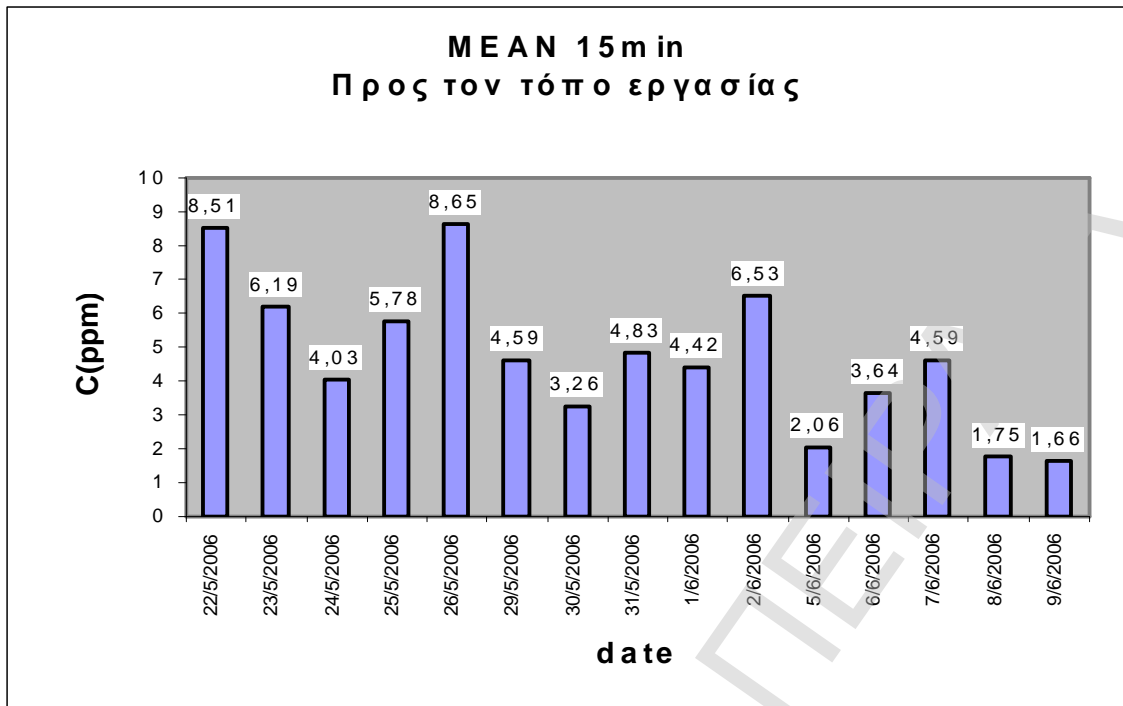
Όσον αφορά τις διαδρομές από την εργασία προς την κατοικία ακολουθήθηκε η πρώτη διαδρομή στις 22/05/06, στις 24/05/06 και 26/05/06 και η δεύτερη διαδρομή στις 23/05/06 και 25/05/06. Αυτό έγινε λόγω δακτυλίου. Τις ζυγές ημέρες οι υψηλότερες τιμές 4,2 ppm (15:05μ.μ.), 4,6 ppm (15:17μ.μ) και 10,6 ppm (15:16μ.μ) παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Ν. Κόσμου. Τις μονές ημέρες παρατηρούμε ότι έχουμε τις υψηλότερες τιμές, 9,4 ppm (15:02μ.μ) σε φανάρι στην Ιουλιανού και 12,8 ppm (15:32μ.μ.) λόγω έντονης κίνησης στην περιοχή του Φαλήρου.

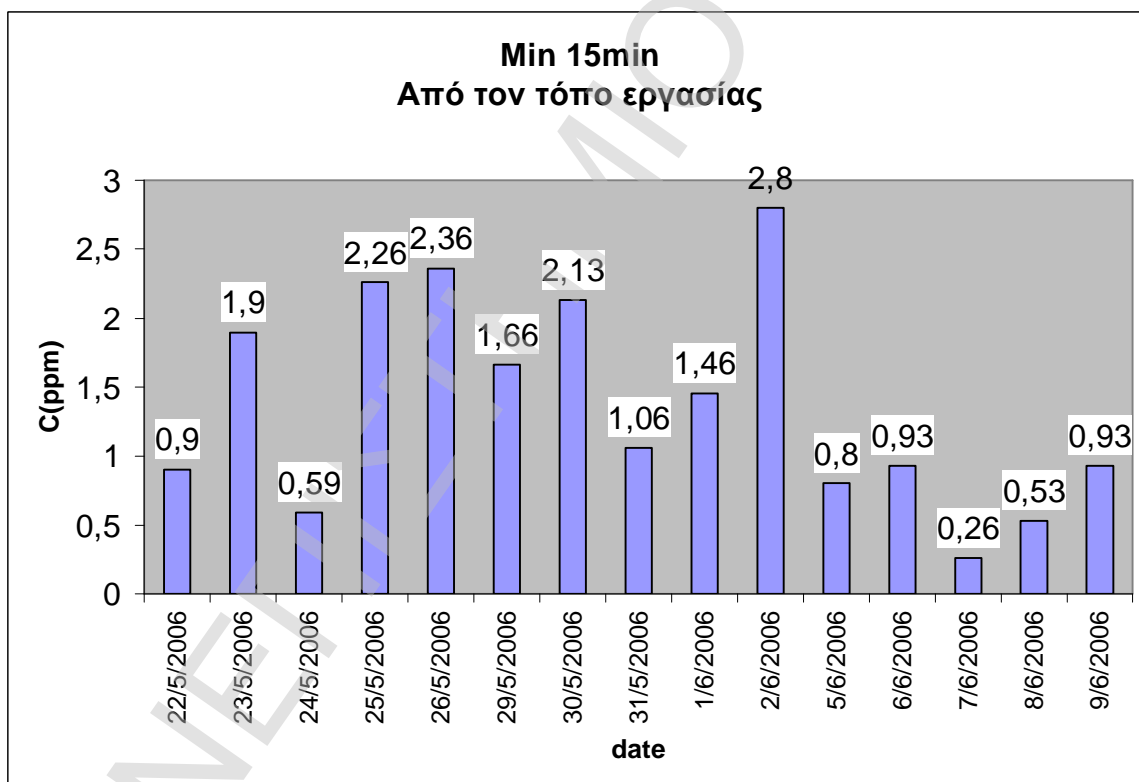
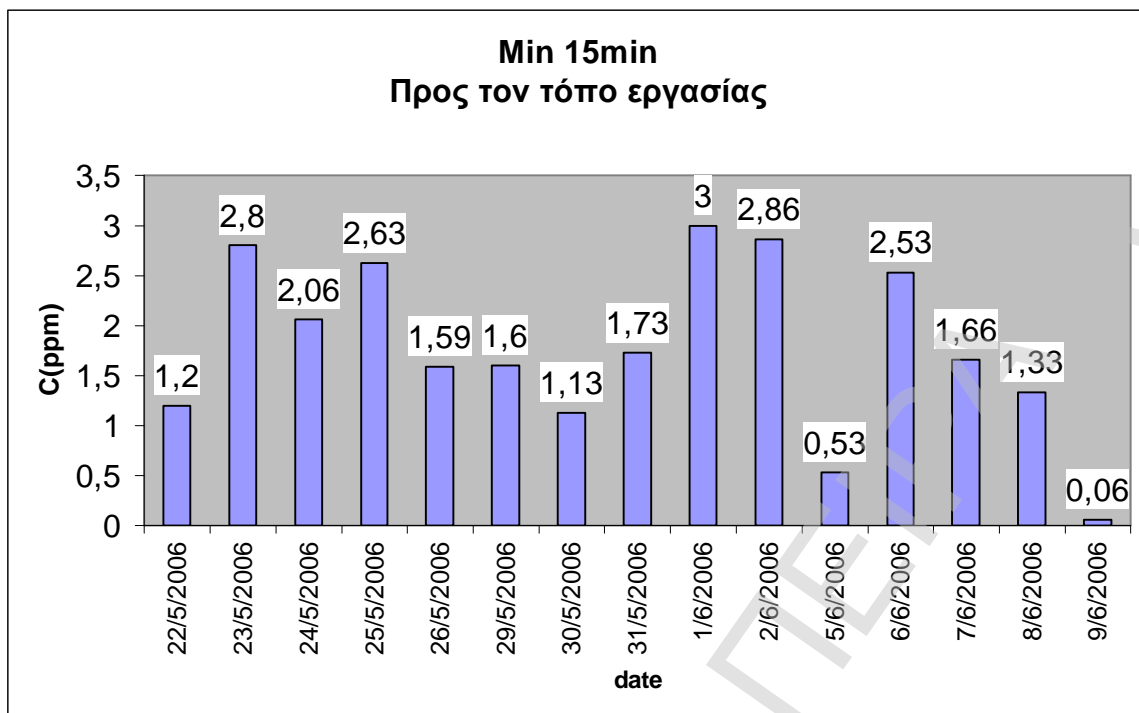
Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι από τις συγκεκριμένες συγκεντρώσεις CO επηρεάζονται οι διάφοροι πωλητές που βρίσκονται στα συγκεκριμένα σημεία ή εργαζόμενοι που πρέπει να βρίσκονται στα συγκεκριμένα σημεία, όπως οι τροχονόμοι για τη διευκόλυνση της κυκλοφορίας, για μεγάλο χρονικό διάστημα της ημέρας.

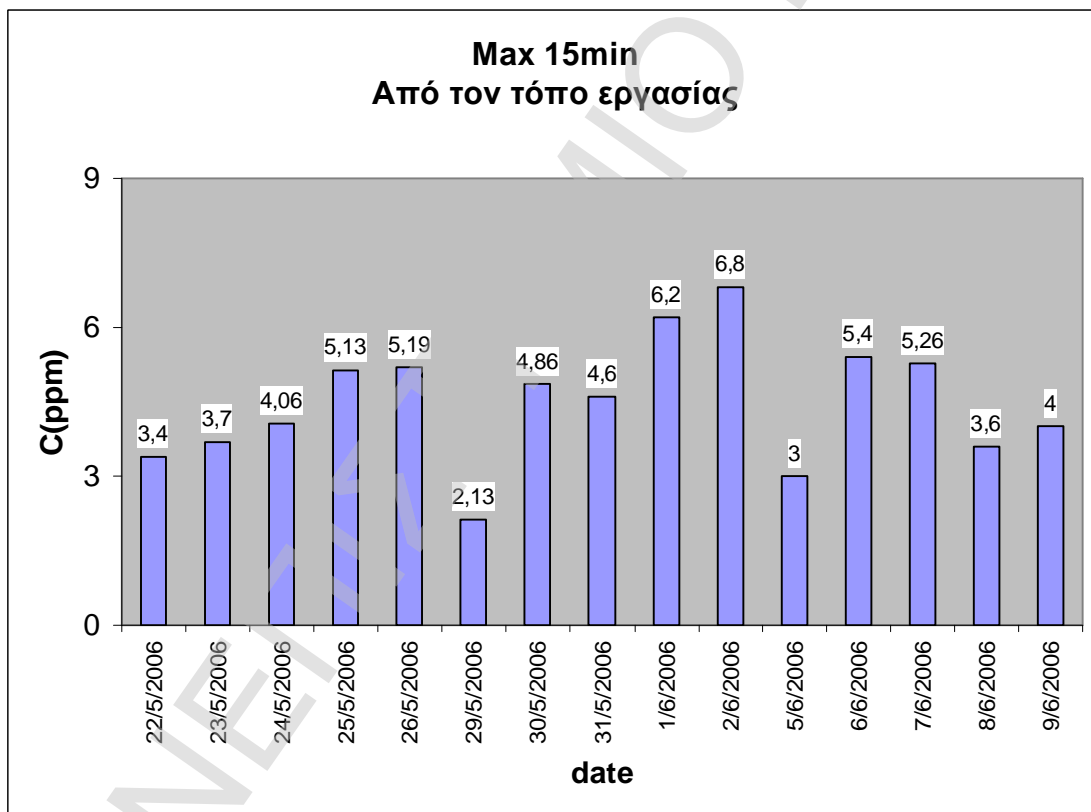
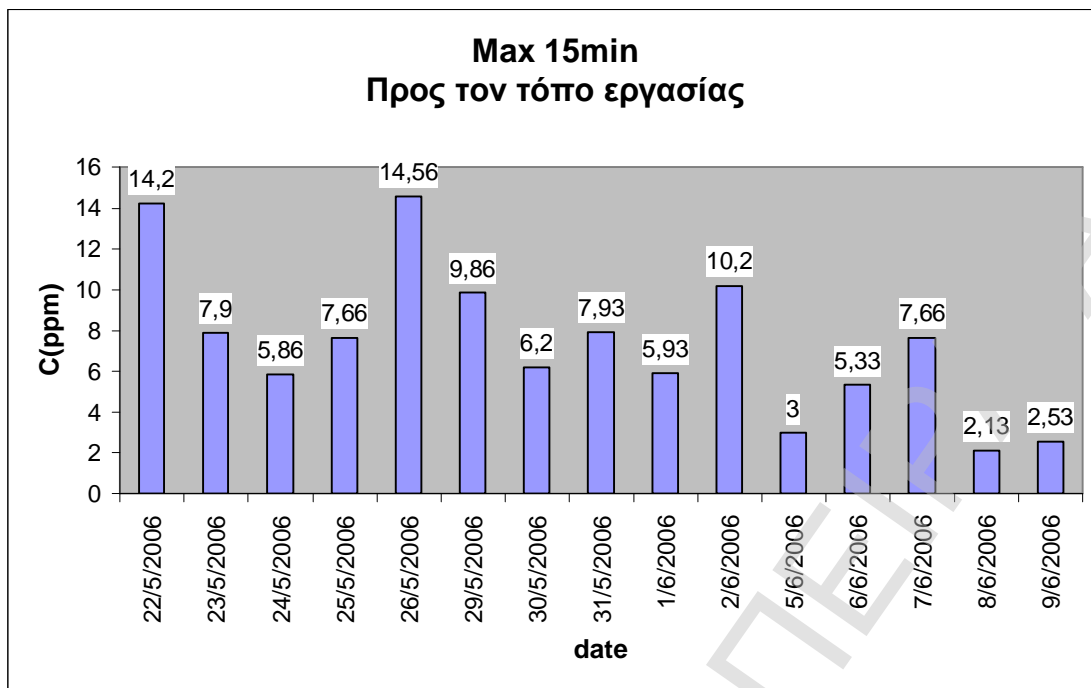
Επιπλέον, από τα παρακάτω σχεδιαγράμματα διαπιστώνουμε ότι σε καμία περίπτωση δεν ξεπερνάμε τα πρότυπα που έχει θέσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας για τα 15min. Αξίζει να σημειώσουμε ότι στις 8/06/06 και στις 09/06/06 παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις λόγω ελαφριάς βροχόπτωσης, ενώ έχουμε τις μέσες τιμές που κυμαίνονται από 1,66 έως 8,65 ppm κατά τη διαδρομή προς την εργασία και 1,53 έως 5,26 ppm κατά τη διαδρομή προς την κατοικία.

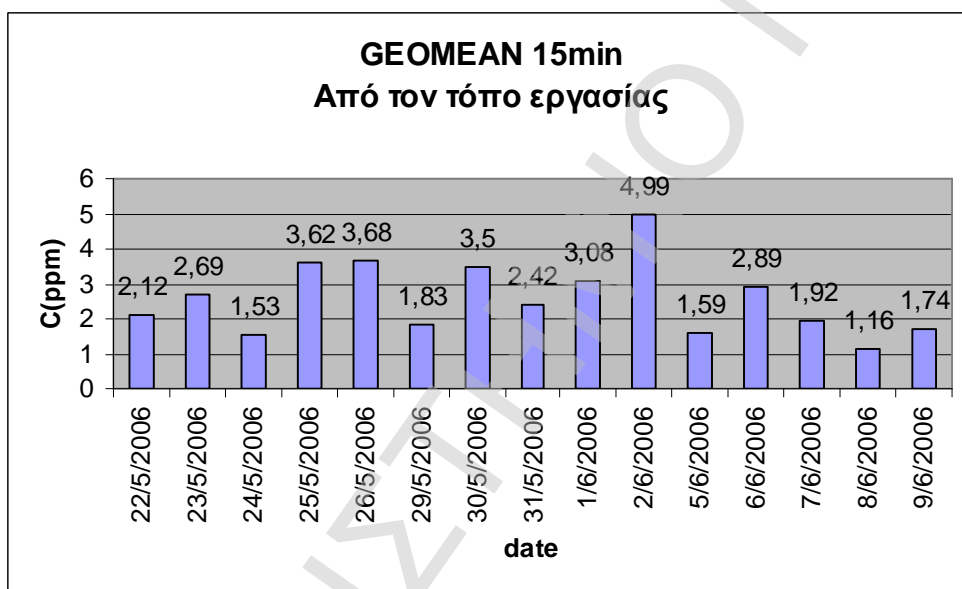
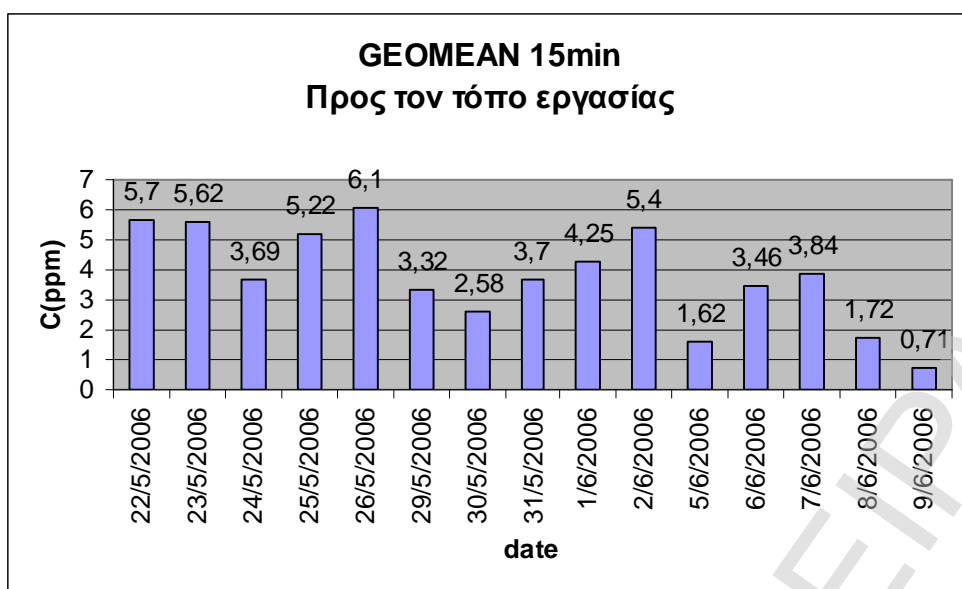
Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτουν και από τον γεωμετρικό μέσο.











Η έρευνα αυτή έδειξε ότι σε καμία περίπτωση δεν είχαμε υπέρβαση των 15min προτεινόμενων προτύπων κατά τη διάρκεια των διαδρομών. Σημειώνουμε σε αυτό το σημείο ότι σύμφωνα με μελέτη των *Duci et al.*, σημαντικό ρόλο στις μετρήσεις παίζει και η περίοδος του χρόνου που πραγματοποιήθηκαν αυτές. Σύμφωνα με τη μελέτη η διαφορά μεταξύ καλοκαιρινών και χειμερινών μέσων συγκεντρώσεων CO είναι σημαντική για όλα τα μέσα μαζικής μεταφοράς, με τις συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα να παρουσιάζονται αυξημένες (*Duci et al., 2003*). Ειδικά αναφέρουμε για τις καλοκαιρινές μετρήσεις οι τιμές διακυμάνθηκαν από 5,3 έως 19,6; 6,3 έως 15,2; 1,8 έως 4,1; και 6,7 έως 14ppm αντίστοιχα για το λεωφορείο, το τρόλλεϊ, το ηλεκτρικό τρένο και για τους πεζούς. Από την ίδια μελέτη παρατηρούμε ότι στις μεσημεριανές διαδρομές παρουσιάζονται μικρότερες συγκεντρώσεις από ότι το πρωί, πράγμα που επιβεβαιώνεται και από αυτήν τη έρευνα.

Όσον αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον 1<sup>ο</sup> όροφο κτιρίου αυτές έγιναν κατά τη διάρκεια 24-h (00:00-23:55) και με διάστημα αναφοράς τα 5min. Οι ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι παρακάτω:

- Ø 29/05/2006,
- Ø 30/05/2006,
- Ø 31/05/2006,
- Ø 01/05/2006,
- Ø 02/06/2006.

Οι μέγιστες τιμές που πήραμε ήταν οι εξής: 11ppm(00:55), 16ppm(08:15), 14ppm(13:45), 13ppm(06:55) και 16ppm(00:40) για τις αντίστοιχες ημέρες. Από ότι παρατηρούμε παρουσιάζονται 2 μέγιστες τιμές το βράδυ, δύο το πρωί και μία το μεσημέρι. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι βραδινές τιμές οφείλονται σε κάποιο φορτηγό που πέρασε ή σταμάτησε στο χώρο στάθμευσης του κτιρίου, δεδομένου ότι δίπλα υπάρχει μαγαζί με φαγητά. Οι πρωινές και η μεσημεριανή μέγιστες τιμές οφείλονται στην έντονη κίνηση που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος δρόμος.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει πρόβλημα από τις συγκεκριμένες μέγιστες τιμές που καταγράφονται.

Αντίστοιχα οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εξωτερικό υπόγειο χώρο κτιρίου, πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια 24-h (00:00-23:55) και με διάστημα μετρήσεων τα 5min. Οι ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι παρακάτω:

- Ø 10/05/2006,
- Ø 15/05/2006.

Οι μέγιστες τιμές που πήραμε ήταν οι εξής: 47ppm(12:15) και 16ppm(23:05) για τις αντίστοιχες ημέρες. Εκτός από αυτές τις μέγιστες τιμές, δεν παρατηρούνται άλλες αξιόλογες καταγραφές παρά μόνο 1ppm (00:20 και στις 08:15) στις 10/05/2006 και 1ppm (00:30) στις 15/05/2006, οι οποίες είναι αρκετά ελάχιστα για να είναι αξιοποιήσιμες. Όσον αφορά τις δύο μέγιστες τιμές, αυτές οφείλονται στο ότι το όργανο καταμέτρησης ήταν τοποθετημένο κοντά στο χώρο στάθμευσης της ταβέρνας, όποτε εάν ένα όχημα ήταν παρκαρισμένο με την εξάτμιση προς το όργανο, με το ξεκίνημά του θα προκάλεσε τις συγκεκριμένες στιγμιαίες μέγιστες τιμές.

## ΜΕΡΟΣ Β: ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

### 3. Γενικές έννοιες

#### **Σωματιδιακή ύλη (Particulate matter, PM)**

Είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των διεσπαρμένων, στον αέρα, υγρών και στερεών σωματιδίων, με μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό των απλών μορίων (περίπου  $2 \times 10^{-4} \mu\text{m}$  σε διάμετρο), αλλά μικρότερο από **500 $\mu\text{m}$** . Αναφέρονται ακόμη και ως αιωρούμενα σωματίδια (suspended particles) ή απλά σωματίδια (particles). Μερικά σωματίδια έχουν αρκετά μεγάλο μέγεθος και τέτοιο χρώμα ώστε είναι ορατά δια γυμνού οφθαλμού ενώ άλλα, μπορούν να ανιχνευθούν μόνο με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (EPA, 1996; Work et al., 1998).

#### **Αερολύματα (aerosols)**

Είναι τα κολλοειδή συστήματα όπου κάποια αέρια, υγρή ή στερεά ουσία κολλοειδών διαστάσεων βρίσκεται διασκορπισμένη μέσα σε αέριο μέσο διασποράς. Η περίπτωση διασποράς αερίου σε αέριο είναι εφικτή μονάχα στην ατμόσφαιρα, η οποία θεωρείται ένα αερόλυμα όπου λόγω των μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών μπορούμε να δεχθούμε ότι τμήματα αέρα μεγαλύτερης πυκνότητας είναι διασκορπισμένα μέσα στον αέρα σε κολλοειδείς διαστάσεις. Συνεπώς, ως ατμοσφαιρικά αερολύματα μπορούν να χαρακτηριστούν τα ατμοσφαιρικά σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων και αποτελούνται από στερεά ή υγρά σωματίδια μεγέθους μικρότερου από **100 $\mu\text{m}$** .

Πολλά ατμοσφαιρικά φαινόμενα όπως ο σχηματισμός των σύννεφων και της ομίχλης οφείλονται στην παρουσία των αερολυμάτων. Η πιο σημαντική ίσως δράση των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων είναι η δράση τους ως «πυρήνες» για το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου και σταγονιδίων (Manahan, 1991). Τα αερολύματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

#### **Στερεά αερολύματα (solid aerosols)**

Σχηματίζονται από τη διασπορά στερεών σωματιδίων σε αέριο μέσο και ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων διακρίνονται σε αιθάλη και σκόνη.

#### **Αιθάλη (Fume)**

Σχηματίζεται από μικρά, στερεά σωματίδια τα οποία προκύπτουν κατά τη συμπύκνωση ατμών στερεών υλικών κυρίως οξειδίων των μετάλλων, όπως είναι τα οξείδια του ψευδαργύρου και του μολύβδου και από στοιχειακό άνθρακα (**soot, carbon black**). Το μέγεθος της διαμέτρου τους είναι από **0,03** έως **1 $\mu\text{m}$** .

### **Σκόνη (Dust)**

Σχηματίζεται από μικρά, στερεά σωματίδια τα οποία προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών κατά τη διάρκεια διαδικασιών όπως είναι η τριβή, η έκρηξη και η σύνθλιψη. Το μέγεθος της διαμέτρου τους είναι από **1** έως **10.000μm**. Η προέλευση τους είναι κυρίως φυσική και γεωλογική.

Τα σωματίδια που προέρχονται από τις διαδικασίες καύσης χωρίζονται σε καπνό και ιπτάμενη τέφρα.

### **Καπνός (Smoke)**

Σχηματίζεται από μικρά, στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση υλών όπως το κάρβουνο και το ξύλο. Το μέγεθος της διαμέτρου τους είναι από **0,5** έως **1μm**

### **Ιπτάμενη τέφρα (Fly ash)**

Σχηματίζεται από μικρά, στερεά σωματίδια που διαφεύγουν από τις καπνοδόχους κατά την καύση στερεών καυσίμων. Η σύσταση της ιπτάμενης τέφρας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου και τα κύρια συστατικά της είναι οξείδια του αργιλίου, του ασβεστίου και του πυριτίου καθώς και ιχνοστοιχεία όπως μαγνήσιο Mg, θείο S, θάλλιο 77 Ti, νάτριο Na, κάλιο K. Το μέγεθος της διαμέτρου των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας είναι από **1** έως **100μm** (Manahan, 1991; De Nevers Noel, 1995; Heinsohn et al., 1999).

### **Υγρά αερολύματα (liquid aerosols)**

Σχηματίζονται από τη διασπορά υγρών σωματιδίων σε αέριο μέσο. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων διακρίνονται σε ομίχλη και σπρέι.

### **Ομίχλη (Mist)**

Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που δημιουργούνται από τη συμπύκνωση ατμών. Το μέγεθος της διαμέτρου τους είναι από **0,1** έως **10μm**.

### **Σπρέι (Spray)**

Υγρά σωματίδια που μορφοποιούνται από το ράντισμα υγρών, όπως τα φυτοφάρμακα ή τα παρασιτοκτόνα. Το μέγεθος της διαμέτρου τους είναι από **10** έως **1.000μm** (Heinsohn et al., 1999).

Στην ατμόσφαιρα σχηματίζονται και τα ατμοσφαιρικά υγρά αερολύματα, η μάζα των συμπυκνωμένων υδρατμών πάνω από το έδαφος, υπό τη μορφή ορατής συγκέντρωσης υγρών

σταγονιδίων, παγοκρυστάλλων ή και των δύο ονομάζεται **νέφος (cloud)** ή απλά σύννεφο. Ο όρος **ομίχλη (fog)**, υποδηλώνει την ύπαρξη νέφους σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους και με πυκνότητα τέτοια ώστε η ορατότητα σε οριζόντια διεύθυνση να είναι μικρότερη από 1.000m.

Κάτω από παρόμοιες συνθήκες αλλά με ορατότητα μεγαλύτερη των 1.000m το αερόλυμα ονομάζεται **άχλυσ (haze)**. Το τυπικό μέγεθος της διαμέτρου των σωματιδίων των νεφών κυμαίνεται μεταξύ **2 και 80μm**.

Τα υγρά σωματίδια που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα σε μέγεθος μεγαλύτερο των **100μm**, έχουν ελάχιστο χρόνο αιώρησης και η ονομασία τους ταυτίζεται με τα ορατά φαινόμενα της βροχής (**άνω των 500μm**) ή της **ψιχάλας (drizzle)** (*Natural Resources Defence Council, 1996*).

### 3.1. Ορισμοί σωματιδιακών ρύπων

Με βάση την ταξινόμηση των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος (σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα) και σε σχέση με τη διεσδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό (εισπνεύσιμα και αναπνεύσιμα) εισήχθηκαν δύο νέες ρυπαντικές παράμετροι, τα **PM<sub>10</sub>** σωματίδια και τα **PM<sub>2.5</sub>**. Τα πρώτα αποτελούνται από σκόνη και άμμο που με φυσικό και μηχανικό τρόπο εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, ενώ τα δεύτερα, είτε εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα υπό μορφή μικρών σωματιδίων άνθρακα, είτε σχηματίζονται κατά τη διαδικασία φωτοχημικών αντιδράσεων, όπως είναι οι οξειδώσεις του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου οπότε και προκύπτουν θείο και άζωτο, αντίστοιχα.

Θεωρητικά, τα **PM<sub>10</sub>** είναι τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο έως **10μm**, ενώ τα **PM<sub>2.5</sub>** είναι όσα σωματίδια έχουν αεροδυναμική διάμετρο έως **2,5μm**.

Ωστόσο οι δειγματολήπτες που χρησιμοποιούνται επιτρέπουν τη διόδο σε σωματίδια με διαφορετικό μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου από την καθορισμένη να περάσει, γι' αυτό και ο παραπάνω ορισμός για τα σωματίδια δεν είναι πλήρης (*Chow Judith, 1995*).

Για τον παραπάνω λόγο ο αυστηρός ορισμός των **PM<sub>10</sub>** όπως τον αναφέρει η ΕΕ στις οδηγίες της είναι:

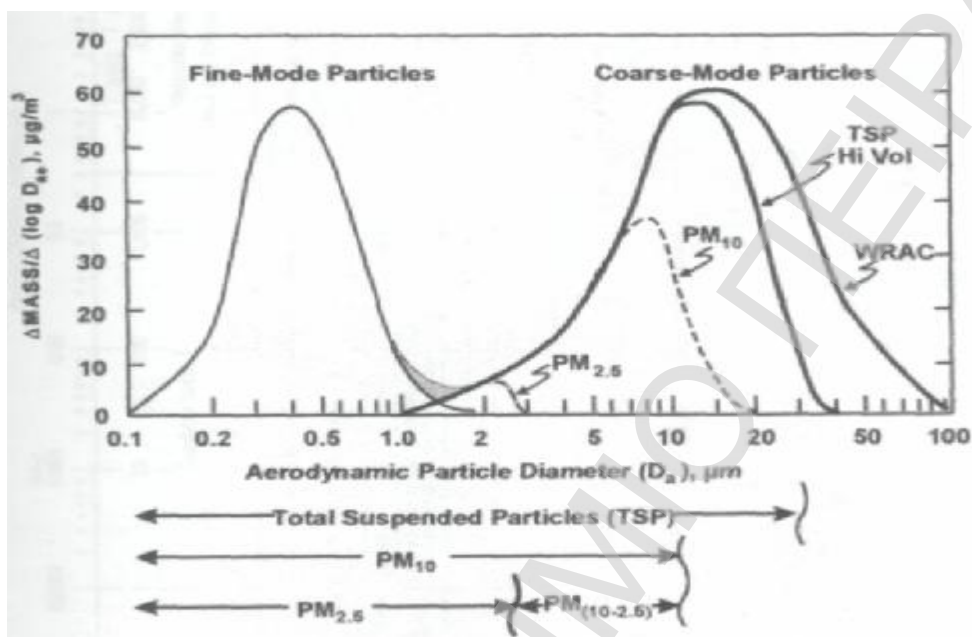
**“PM<sub>10</sub> νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10μm”.**

Τα **PM<sub>2.5</sub>** ταυτίζονται με την κατηγορία των αναπνεύσιμων σωματιδίων και θεωρείται ότι έχουν διάμετρο έως και **2.5μm**. Ο αντίστοιχος ορισμός της ΕΕ για τα **PM<sub>2.5</sub>** είναι:



“PM<sub>2.5</sub> νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2.5μm”.(European Commission, 1996).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα κυριότερα κλάσματα των αιωρούμενων σωματιδίων, όπως ορίστηκαν παραπάνω. Φαίνεται ξεκάθαρα σε αυτό, ότι στα PM<sub>10</sub> περιλαμβάνεται και ένας αριθμός σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 10μm (EPA, 1996; WHO, 1999).



Σχήμα 3.1. Μια ιδανική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων όπου εμφανίζονται τα λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα, σωματίδια, καθώς και τα κλάσματα PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> και TSP, που συγκρατούν οι δειγματολήπτες.

Η κατανομή των σωματιδίων συναρτήσει της αεροδυναμικής τους διαμέτρου αποτελεί μία πολύ σημαντική φυσική παράμετρο που καθορίζει τη συμπεριφορά τους. Συνήθως, οι συσχετίσεις μεγέθους εκφράζονται με το δεκαδικό λογάριθμο του σωματιδίου στον χ-άξονα ενώ, στον y-άξονα είναι η ποσότητα των σωματιδίων ανά cm<sup>3</sup> όγκο αέρα,  $\Delta N/\Delta(\log D_p)$ , των οποίων οι διάμετροι κυμαίνονται μεταξύ  $\log D_p$  έως  $\log(D_p + \Delta D_p)$  ([http:// www.epa.gov /ncea /partmatt .htm](http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm)).

Τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 0,1μm έχουν μία τυχαία κίνηση **Brown**, σωματίδια μεταξύ 0,1 και 2μm έχουν ταχύτητες απόθεσης στον αέρα πολύ μικρότερες σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου, ενώ σωματίδια μεγαλύτερα από 2μm έχουν σχετικά μεγαλύτερες ταχύτητες απόθεσης(<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>).

## 3.2. Ταξινόμηση των σωματιδίων

### 3.2.1. Ταξινόμηση με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού

Ανάλογα με την προέλευσή τους τα σωματίδια διακρίνονται σε πρωτογενή και δευτερογενή:

#### Πρωτογενή σωματίδια (Primary particles)

Πρωτογενή είναι τα σωματίδια τα οποία εκπέμπονται απευθείας από πηγές. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις τους είναι ανάλογες προς τις εκπεμπόμενες ποσότητες. Μία κατηγορία πρωτογενών σωματιδίων είναι τα προερχόμενα από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών και την επαναιώρηση των θραυσμάτων στον αέρα. Ενώ μία άλλη κατηγορία, προκύπτει κατά τη συμπύκνωση των ατμών σε υψηλές θερμοκρασίες μετά από τη διαδικασία της καύσης. Η κύρια μάζα αυτών των πρωτογενών σωματιδίων αποτελείται από σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου από 1μm όμως, η κατ' αριθμό κατανομή τους παρουσιάζει μέγιστο στην περιοχή 0,1-1μm. (WHO, 1999; [http:// www.epa.gov/ncea / partmat .htm](http://www.epa.gov/ncea/partmat.htm); [http:// www.epa.gov /oar /aqtrnd95 /pm10.html](http://www.epa.gov/oar/aqtrnd95/pm10.html)).

#### Δευτερογενή σωματίδια (Secondary particles)

Δευτερογενή ονομάζονται τα σωματίδια τα οποία σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα στα πλαίσια χημικών δράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των πρωτογενώς εκπεμπόμενων σωματιδίων.

Τα δευτερογενή σωματίδια σχηματίζονται μέσα σε λίγες ώρες και το μέγεθος τους ποικίλλει μεταξύ 0,1 και 1μm ([http:// www.epa.gov/ncea / partmat .htm](http://www.epa.gov/ncea/partmat.htm); Judith, 1995).

Πιο συγκεκριμένα σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα με τρεις κυρίως τρόπους:

Πυρήνωση (π.χ αέρια μόρια ενώνονται και σχηματίζουν ένα νέο μεγαλύτερο σωματίδιο)

Συμπύκνωση αερίων και σχηματισμός σωματιδίων

Με αντίδραση απορροφούμενων αερίων σε υγρά σταγονίδια, κυρίως κατά τις αντιδράσεις οξείδωσης διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), της αμμωνίας (NH<sub>4</sub>) και των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) (WHO, 1999; USEPA, 1998).

### 3.2.2. Ταξινόμηση με κριτήριο το μέγεθος

Η ταξινόμηση των σωματιδίων με κριτήριο το μέγεθος τα διακρίνει σε σωματίδια μεγέθους κάτω από 5nm σε διάμετρο και σε μεγαλύτερα τα οποία έχουν αεροδυναμική διάμετρο έως και 10μm. Πρόκειται για τα **ολικά αιωρούμενα στερεά (TSP)**, όρος που έχει αποδοθεί στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και των σταγονιδίων. Γενικότερα, το μέγεθός τους ποικίλλει από 0,01μm έως και μερικές εκατοντάδες μm. Ωστόσο, τα σωματίδια εκείνα με

διάμετρο άνω των 50 $\mu\text{m}$  έχουν την ικανότητα να καθιζάνουν πολύ εύκολα. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

#### **α) Λεπτόκοκκα (Fine particles)**

Λεπτόκοκκα καλούνται όλα τα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 2.5 $\mu\text{m}$  και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

##### **α<sub>1</sub>) Υποκατηγορία πυρήνα (Nucleus mode)**

Το μέγεθός τους ποικίλλει από 0,01 έως 0,1 $\mu\text{m}$ . Τα σωματίδια αυτά προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης και έχουν μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα διότι συσσωματώνονται και σχηματίζουν σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου. Επίσης, λειτουργούν ως εστίες συμπύκνωσης άλλων αερίων συστατικών.

Καθώς τα σωματίδια φθάνουν σε μία διάμετρο της τάξης των 60nm η συμπύκνωση γίνεται ελεγχόμενη από τη διάχυση και επιβραδύνεται, ενώ η συσσωμάτωση σταματά καθώς ο αριθμός των σωματιδίων μειώνεται. Εκτιμάται ότι η ανάπτυξη του μεγέθους των σωματιδίων σε 0,1 $\mu\text{m}$  σε συνήθεις συνθήκες αστικής ρύπανσης απαιτεί λιγότερο από μία μέρα. Έχουμε λοιπόν:

##### **Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken mode particles)**

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

##### **Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra – fine nucleus particles)**

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

Τα πλέον λεπτόκοκκα σωματίδια έχουν κατασκευαστεί για ερευνητικούς σκοπούς και έχουν μέγεθος περίπου 10nm. Η διαδικασία παραγωγής τους, περιλαμβάνει τη θέρμανση ενός μετάλλου μέχρι το σημείο εξάχνωσής του και κατόπιν την συμπύκνωση του ατμού με γρήγορη ψύξη ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία πολλών μεγαλύτερων σωματιδίων.

##### **α<sub>2</sub>) Υποκατηγορία συσσώρευσης (Accumulation range)**

Το τυπικό μέγεθος των σωματιδίων που ανήκουν σ αυτή την κατηγορία είναι από 0,1 έως 2.5 $\mu\text{m}$ . Τα σωματίδια προκύπτουν από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων (υποκατηγορία πυρήνα) και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές. Μια άλλη

διαδικασία σχηματισμού των σωματιδίων υποκατηγορίας συσσώρευσης είναι οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται στα σύννεφα. Έχουμε λοιπόν:

#### **Συμπυκνώματα (Condensation mode)**

Είναι τα μικρότερα σωματίδια της υποκατηγορίας. Σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα και παρουσιάζουν μέγιστο στην κατανομή κατά μάζα περίπου στα 0.2μm.

#### **Σταγονίδια (Droplet mode particles)**

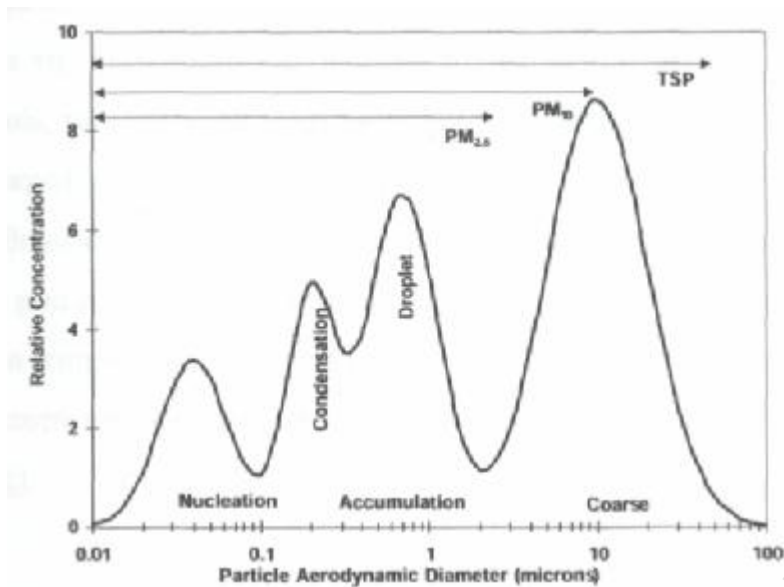
Είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αντιδράσεις υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη ή παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας επάνω στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων. Η συσσωμάτωση που προέρχεται δημιουργεί την ομάδα των σταγονιδίων, τα οποία παρουσιάζουν μέγιστο στην κατά μάζα κατανομή στα 0.7μm. (*Judith, 1995*).

Η απομάκρυνση των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα γίνεται με ξηρή και υγρή εναπόθεση. Τα σωματίδια της υποκατηγορίας συσσώρευσης διαχέονται στην επιφάνεια της γης, μία διαδικασία που επιβραδύνεται καθώς το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνει. Όσον αφορά την υγρή απόθεση, μόνο εάν τα σωματίδια έχουν τις κατάλληλες υγροσκοπικές ιδιότητες μπορούν να απομακρυνθούν ως βροχή.

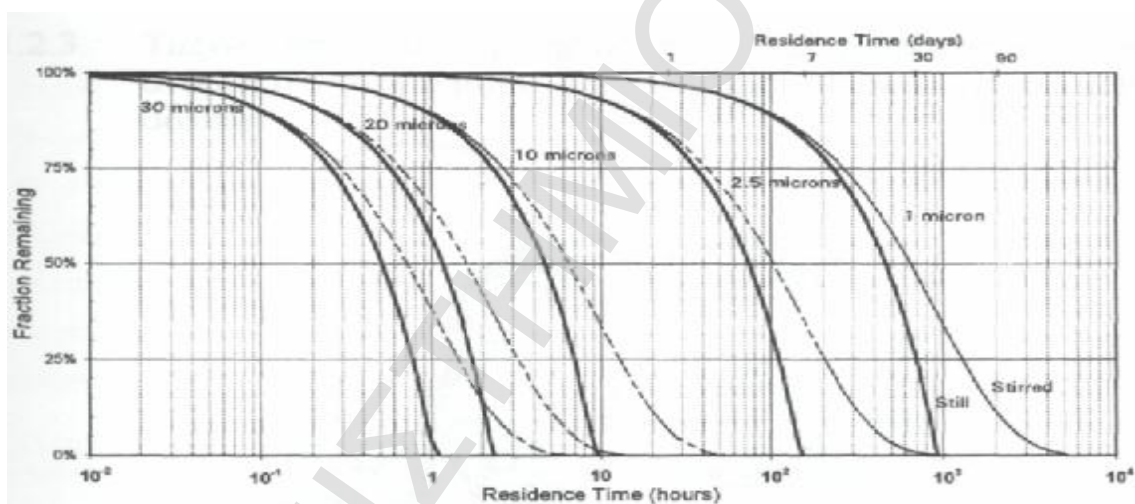
Συνεπώς η απομάκρυνση τους από την ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα δύσκολη και γι' αυτό έχουν χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από 7 έως και 30 ημέρες (*Work et al., 1998; EPA, 1996*).

#### **Χονδρόκοκκα (Coarse mode particles)**

Χονδρόκοκκα αποκαλούνται τα σωματίδια που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη των 2.5μm. Παράγονται συνήθως με μηχανικούς τρόπους.



Σχήμα 3.2. Ιδανική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων εξωτερικής ατμόσφαιρας κατά μέγεθος.



Σχήμα 3.3. Χρόνος αιώρησης σωματιδίων σε συνάρτηση με τη διάμετρό τους. Τα στοιχεία αναφέρονται σε μέγιστο ύψος 100m και στις περιπτώσεις α. όπου δε γίνεται ανάδευση του αέρα (Still) και β. όπου ο αέρας αναδεύεται (stirred).

Τα σωματίδια αυτά είναι δυνατόν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα σε αιώρηση για 10 με 20 ώρες πριν την καθίζηση τους στο κάτω τμήμα της τροπόσφαιρας. Με μέση ταχύτητα ανέμου τα σωματίδια μπορούν να ταξιδέψουν έως και 20 με 30 χιλιόμετρα, ενώ ακόμη μικρότερα σωματίδια φθάνουν μέχρι και αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το σημείο εκπομπής τους. Ένα τμήμα των σωματιδίων μπορεί να φθάσει έως το άνω τμήμα της τροπόσφαιρας (8 με 15 χιλιόμετρα ύψος) και να παραμείνουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα έως και 1 έτος (EPA, 1996).

Όπως, προκύπτει από τον πίνακα 12 τα πρωτογενή σωματίδια εκπέμπονται συνήθως απευθείας στην ατμόσφαιρα ενώ τα δευτερογενή σχηματίζονται μέσα σε αυτή από τα πρωτογενή. Αν και

κάποια από τα πρωτογενή σωματίδια μπορούμε να τα συναντήσουμε ανάμεσα στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων, αυτό αποτελείται κυρίως από δευτερογενή σωματίδια.

Επιπλέον, τα χονδρόκοκκα και τα λεπτόκοκκα σωματίδια έχουν διαφορετική διαλυτότητα. Με εξαίρεση τον άνθρακα και κάποια οργανικά συστατικά, τα λεπτόκοκκα έχουν υγροσκοπικό χαρακτήρα. Είναι πολύ διαλυτά στο νερό και συμπεριφέρονται ως οξέα, σε περίπτωση που δεν επικρατούν ομιχλώδεις συνθήκες. Αντιθέτως, τα χονδρόκοκκα σωματίδια δεν παρουσιάζουν διαλυτότητα, δεν είναι υγροσκοπικά και έχουν γενικά συμπεριφορά βάσεων.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

	Fine		Coarse
	Nuclei	Accumulation	
Formed from:	Combustion, high-temperature processes, and atmospheric reactions		Break-up of large solids/droplets
Formed by:	Nucleation Condensation Coagulation	Condensation Coagulation Evaporation of fog and cloud droplets in which gases have dissolved and reacted	Mechanical disruption (crushing, grinding, abrasion of surfaces) Evaporation of sprays Suspension of dusts Reactions of gases in or on particles
Composed of:	Sulfates Elemental carbon Metal compounds Organic compounds with very low, saturation vapor pressure at ambient temperature	Sulfate, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Nitrate, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Ammonium, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Hydrogen ion, H <sup>+</sup> Elemental carbon, Large variety of organic compounds Metals: compounds of Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, etc. Particle-bound water	Suspended soil or street dust Fly ash from uncontrolled combustion of coal, oil, and wood Nitrates/chlorides from HNO <sub>3</sub> /HCl Oxides of crustal elements (Si, Al, Ti, Fe) CaCO <sub>3</sub> , NaCl, sea salt Pollen, mold, fungal spores Plant and animal fragments Tire, brake pad, and road wear debris
Solubility:	Probably less soluble than accumulation mode	Largely soluble, hygroscopic, and deliquescent	Largely insoluble and nonhygroscopic
Sources:	Combustion Atmospheric transformation of SO <sub>2</sub> and some organic compounds High temperature processes	Combustion of coal, oil, gasoline, diesel fuel, wood Atmospheric transformation products of NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , and organic compounds, including biogenic organic species (e.g., terpenes) High-temperature processes, smelters, steel mills, etc.	Resuspension of industrial dust and soil tracked onto roads and streets Suspension from disturbed soil (e.g., farming, mining, unpaved roads) Construction and demolition Uncontrolled coal and oil combustion Ocean spray Biological sources
Atmospheric half-life:	Minutes to hours	Days to weeks	Minutes to hours
Removal Processes:	Grows into accumulation mode	Forms cloud droplets and rains out Dry deposition	Dry deposition by fallout Scavenging by falling rain drops
Travel distance:	<1 to 10s of km	100s to 1000s of km	<1 to 10s of km (100s to 1000s in dust storms)

Πίνακας 12. Σύγκριση των λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων όσον αφορά τον τρόπο σχηματισμού τους, το μέγεθός τους, τη σύστασή τους, τη διαλυτότητά τους, τους χρόνους παραμονής τους και τις πηγές εκπομπής τους. (EPA)

Επιπλέον, τα λεπτόκοκκα σωματίδια έχουν μεγαλύτερο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τα χονδρόκοκκα, ενώ η διασπορά τους στην ατμόσφαιρα μίας αστικής περιοχής είναι ομοιογενής. Π.χ. ο σχηματισμός θεικών από το διοξείδιο του θείου που εκπέμπεται από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε απόσταση έως και 300

χιλιομέτρων από το σημείο εκπομπής και μετά από 12 ώρες από την εκπομπή. Οπότε, τα σωματίδια που προκύπτουν έχουν πολύ καλά αναμιχθεί στον αέρα. Από τη στιγμή που τα λεπτόκοκκα σωματίδια θα σχηματιστούν οι υψηλοί χρόνοι παραμονής τους και η ομοιογένεια τους καθορίζεται από τη μικρή ταχύτητα απόθεσης που έχουν.

Τέλος, τα μεγαλύτερα σωματίδια αποτίθενται πιο γρήγορα απ' ό,τι τα μικρότερα, συνεπώς τα πρώτα έχουν μικρότερους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα απ' ό,τι έχουν τα δεύτερα. Η χωρική κατανομή, όμως, των σωματιδίων περιορίζεται και από άλλους παράγοντες όπως είναι η τάση που αυτά επιδεικνύουν να επικάθονται υπό την επίδραση μιας περιοχής που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο του πνέοντα ανέμου "downwind area" (<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>).

### 3.2.3. Ταξινόμηση με κριτήριο τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό

Η συμπεριφορά των σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό είναι θέμα που ακόμη μελετάται και τα μέχρι τώρα συμπεράσματα κατατάσσουν τα σωματίδια στις εξής ομάδες:

#### **Εισπνεύσιμα σωματίδια (Inhalable particles)**

Εισπνεύσιμα είναι τα σωματίδια που εισέρχονται στο ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Αυτό το κλάσμα των ολικών σωματιδίων περιλαμβάνει σωματίδια με διαμέτρους μικρότερες από 10 $\mu$ m καθώς η μεγάλη πλειοψηφία των σωματιδίων με διαμέτρους μεγαλύτερες από 10 $\mu$ m κατακρατούνται στη στοματική και τη ρινική κοιλότητα.

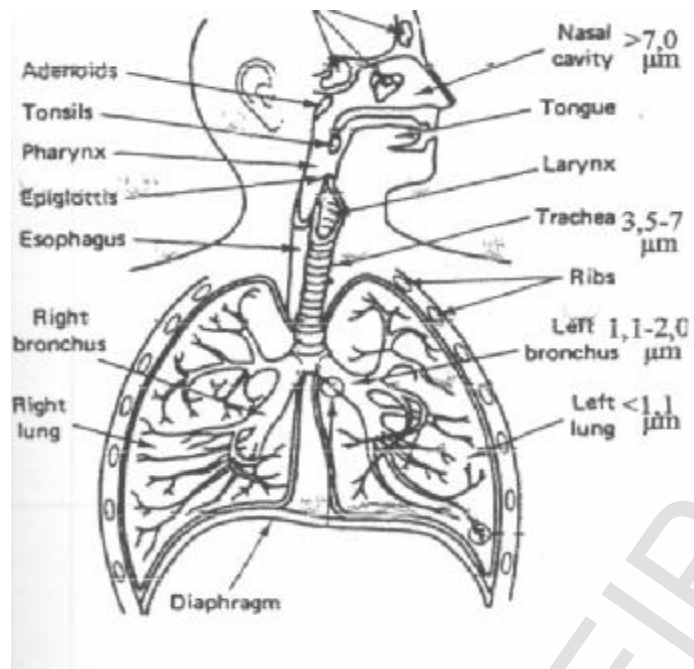
#### **Θωρακικά σωματίδια (Thoracic particles)**

Θωρακικά καλούνται το κλάσμα των σωματιδίων των PM<sub>10</sub> που καταφέρνουν να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού. Θεωρείται ότι έχουν μέγεθος μικρότερο των 7 $\mu$ m.

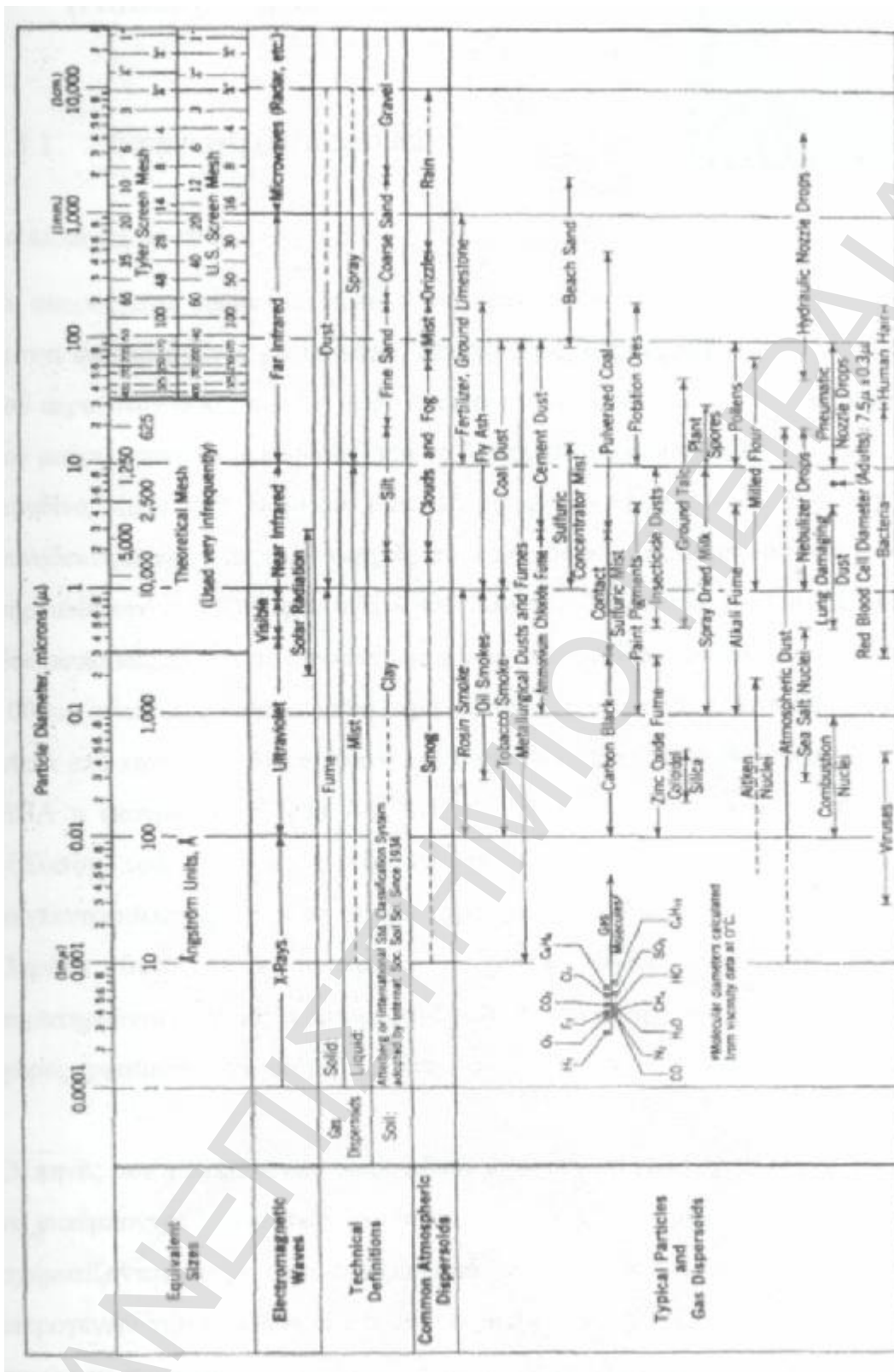
#### **Αναπνεύσιμα σωματίδια (Respirable particles)**

Το κλάσμα των σωματιδίων με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου έως και περίπου 2,5 $\mu$ m είναι το πιο σημαντικό από άποψη επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Τα σωματίδια αυτά καταφέρνουν να διεισδύσουν έως τα βάθη των πνευμόνων και γι' αυτό καλούνται αναπνεύσιμα. <http://www.epa.gov/ncea/partmat.htm>; Kurt, 1995; NRDC, 1996).





Σχήμα 3.4. Το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα [2]

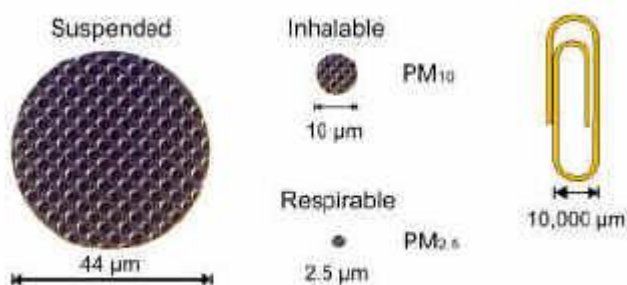


Πίνακας 13. Κατάταξη των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος και τη φυσική κατάσταση, κατάταξη χαρακτηριστικών τύπων σωματιδίων κατά μέγεθος και εύρος λειτουργίας συστημάτων κατακράτησης σωματιδίων. (Heinsohn, 1999).

### 3.2.4. Μέγεθος σωματιδίων

#### Ορισμός αεροδυναμικής και ισοδύναμης διαμέτρου

Τα σωματίδια βρίσκονται σε διάφορα σχήματα και συνεπώς είναι αδύνατη η έκφραση κοινής παραμέτρου μεγέθους, εφόσον πολλές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται από το μέγεθός τους (όγκος, μάζα, ταχύτητα εναπόθεσης). Στις κατανομές κατά μέγεθος ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται το μέγεθος της **ισοδύναμης διαμέτρου** του σωματιδίου.



Σχήμα 3.5. Μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων.

Η ισοδύναμη διάμετρος του σωματιδίου είναι μία έννοια συμβατική και μπορεί να προσδιοριστεί γεωμετρικά (με το οπτικό ή το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο) από τη σκέδαση του φωτός και από τα φυσικά χαρακτηριστικά του σωματιδίου, όπως είναι η ηλεκτρική ευκινησία, η ταχύτητα εναπόθεσης και η αεροδυναμική συμπεριφορά του. Από αυτά τα χαρακτηριστικά κυρίως χρησιμοποιείται η φυσική συμπεριφορά του σωματιδίου ως κριτήριο προσδιορισμού της ισοδύναμης διαμέτρου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η διάμετρος Stokes ( $D_p$ ) ή η αεροδυναμική διάμετρος ( $D_a$ ). Ο ορισμός της πρώτης βασίζεται στον προσδιορισμό της αντίστασης που εμφανίζεται πάνω στο σωματίδιο όταν αυτό κινείται μέσα σε ένα ρευστό, με διαφορετική ταχύτητα. Σωματίδια με την ίδια διάμετρο Stokes και την ίδια πυκνότητα έχουν την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης.

Η αεροδυναμική διάμετρος εξαρτάται από την πυκνότητα του σωματιδίου και ορίζεται ως η διάμετρος σφαίρας μοναδιαίας πυκνότητας, η οποία έχει την ίδια οριακή ταχύτητα πτώσης στον ακίνητο αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο.

Οπότε η σχέση που μας δίνει την αεροδυναμική διάμετρο είναι η ακόλουθη:

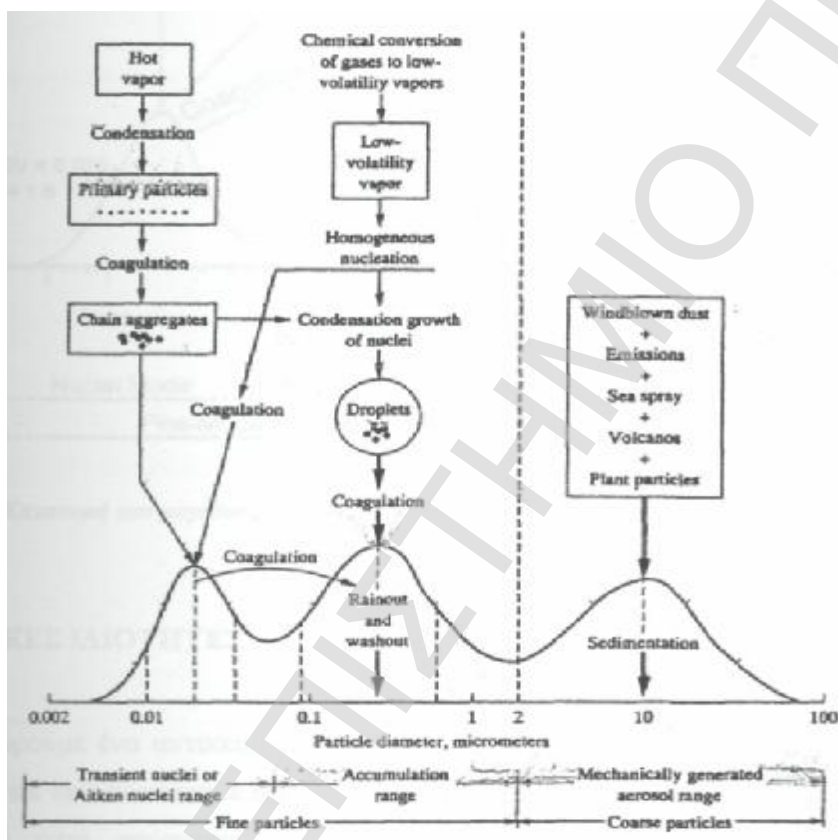
$$D_a = D_p (\rho_{part} C)^{0.5}$$

Η αεροδυναμική διάμετρος σχετίζεται με τη διάμετρο Stokes προσεγγιστικά με τον ακόλουθο τύπο:

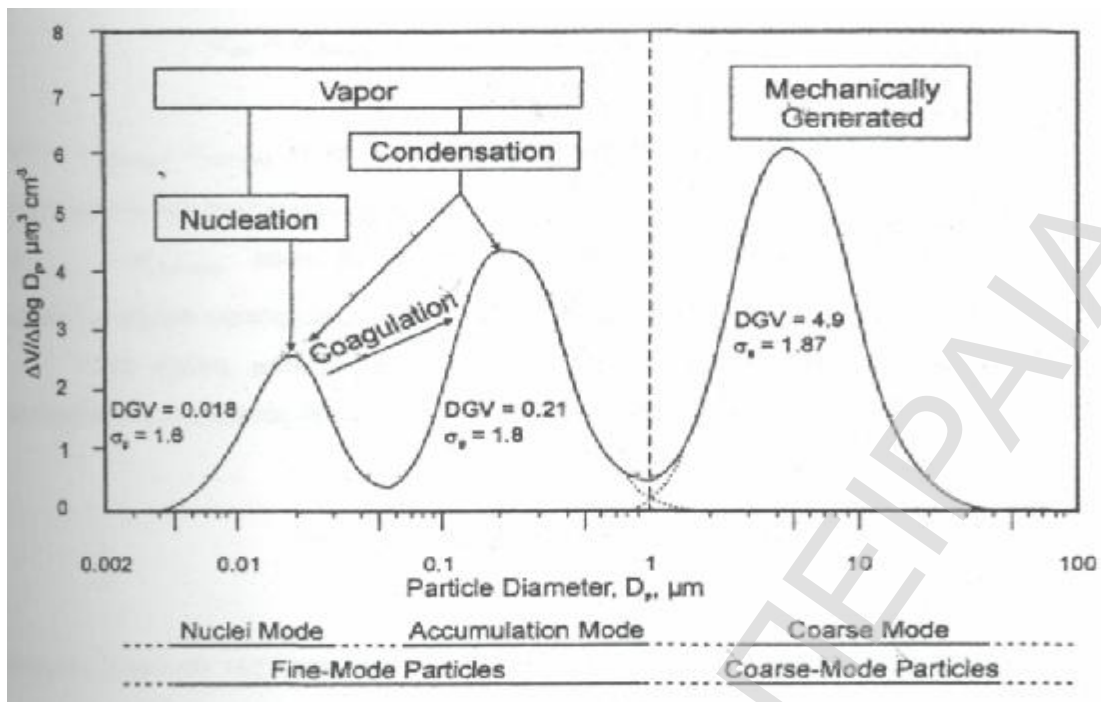
$$D_a = D_p (p_p)^{0.5}$$

Επιπλέον, σωματίδια με το ίδιο πρακτικό μέγεθος και σχήμα αλλά με διαφορετικές πυκνότητες θα έχουν ίδιες διαμέτρους Stokes αλλά όχι και τις ίδιες αεροδυναμικές διαμέτρους.

Για σωματίδια μεγαλύτερα από 0.5μm 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 (EPA, 1996; Work, 1998; <http://www.epa.gov/ncea/partmat.htm>).



Σχήμα 3.6. Επίδραση των μικροφυσικών ιδιοτήτων στην κατανομή του μεγέθους των ατμοσφαιρικών σωματιδίων (Noel, 1995).



Σχήμα 3.7. Κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους (WHO, 1999).

### 3.3. Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων

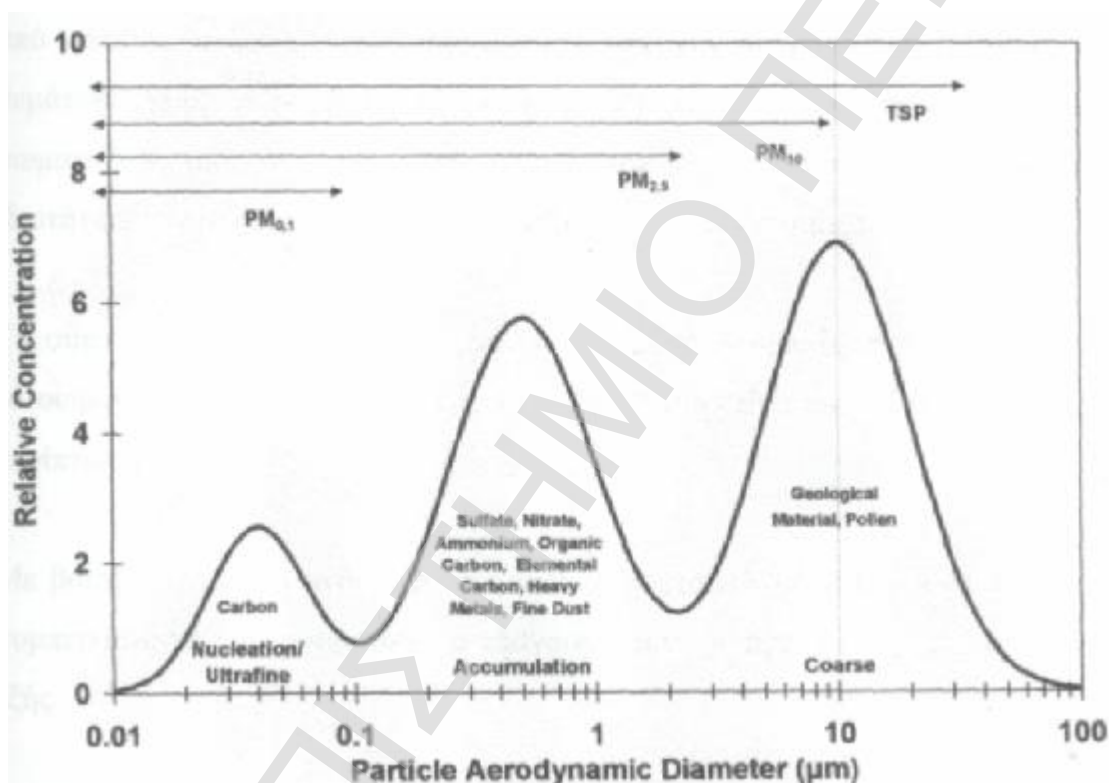
Οι χημικές αναλύσεις των σωματιδίων έχουν δείξει ότι η μάζα τους αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά:

- Ø Θειικά
- Ø Νιτρικά
- Ø Αμμωνιακά
- Ø Χλωρίοντα
- Ø Γεωλογικά υλικά
- Ø Στοιχειακός άνθρακας
- Ø Οργανικός άνθρακας
- Ø Βιολογικά υλικά
- Ø Μέταλλα
- Ø Ισχυρά οξέα

Σημαντική είναι και η παρουσία του νερού, το οποίο είναι ένα βασικό συστατικό στα υγροσκοπικά σωματίδια. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η σχετική υγρασία υπερβαίνει περίπου το 70%. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό της υγρασίας εξατμίζεται από τα φίλτρα.

Οι περισσότερες μελέτες που έχουν γίνει στις Η.Π.Α., αλλά και στην Ευρώπη συσχετίζουν τη χημική σύσταση των σωματιδίων με το μέγεθος τους. Συγκεκριμένα τα θειικά, τα αμμωνιακά, ο στοιχειακός άνθρακας, τα δευτερογενή οργανικά συστατικά και κάποια πρωτογενή οργανικά συστατικά βρίσκονται κυρίως στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων,  $PM_{2.5}$ .

Γεωλογικά υλικά όπως το ασβέστιο, το αλουμίνιο, το πυρίτιο, το μαγνήσιο και τα συστατικά του θαλάσσιου αερολύματος όπως είναι τα χλωριόντα, είναι χονδρόκοκκα συστατικά αεροδυναμικής διαμέτρου 2.5–10 $\mu m$ ,  $PM_{(10-2.5)}$ . Επίσης, βιολογικά υλικά όπως μικροοργανισμοί, ζωικά κύτταρα από τον άνθρωπο αλλά και από κατοικίδια ζώα, γύρη λουλουδιών και σπόρια αποτελούν συστατικά του χονδρόκοκκου κλάσματος.

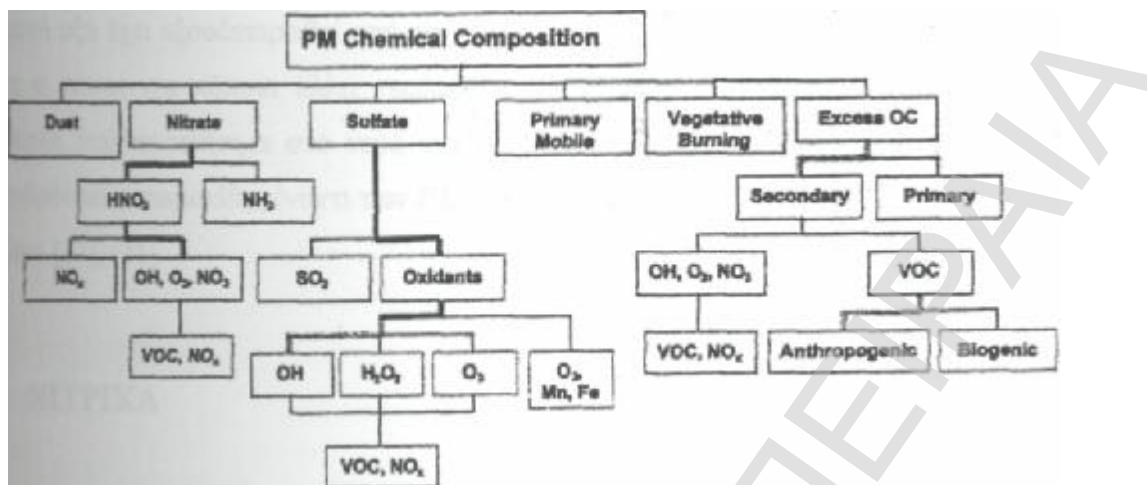


Σχήμα 3.8. Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά.

Επιπλέον, υπάρχουν συστατικά τα οποία μπορούν να βρίσκονται και στα δύο κλάσματα των σωματιδίων. Τέτοια συστατικά είναι τα θειικά, τα αμμωνιακά, τα νιτρικά, το κάλιο. Π.χ. το χονδρόκοκκο κάλιο είναι κυρίως γεωλογικής προέλευσης, ενώ το λεπτόκοκκο προέρχεται από την καύση του ξύλου.

Τα αμμωνιακά ιόντα βρίσκονται στο χονδρόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων υπό τη μορφή των ατμών του υδροχλωρικού οξέος, ενώ στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων είναι προϊόντα της αντίδρασης του αέριου υδροχλωρικού με την ατμοσφαιρική αμμωνία. (<http://www.epa.gov/ncea/partmat.htm>).

Όλα αυτά εξηγούνται στο σχήμα 3.9 αναλυτικά για κάθε ένα συστατικό της σωματιδιακής μάζας.



Σχήμα 3.9. Χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους (Chow et al., 1996).

### Θειικά (Sulphates)

Προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα. Η οξείδωση του θείου μπορεί να γίνει στην αέρια κατάσταση με αντίδραση του διοξειδίου του θείου με υδροξυλικές ρίζες, ενώ στην υγρή κατάσταση γίνεται με αντίδραση του διοξειδίου του θείου με υπεροξείδιο του υδρογόνου  $H_2O_2$  ή με ατμοσφαιρικό οξυγόνο  $O_2$  καταλυόμενη από Fe ή Mn. Οι ετερογενείς αυτές αντιδράσεις μπορούν να συμβούν μέσα σε σταγονίδια νέφους ή ομίχλης ή μέσα σε φιλμ της σωματιδιακής επιφάνειας ([http:// www.epa.gov/ncea / partmat .htm](http://www.epa.gov/ncea/partmat.htm); USEPA, 2001).

Λόγω του γεγονότος ότι το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται πολύ αργά, οι συγκεντρώσεις των θεικών σε απόσταση δεκάδων χιλιομέτρων μπορεί να είναι πολύ μικρές, ενώ σε απόσταση εκατοντάδων ή χιλιάδων χιλιομέτρων μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές (Harrison et al., 2000; Harrison et al., 1995).

Το 85% των θεικών ανήκει στην κατηγορία των λεπτόκοκκων σωματιδίων,  $PM_{2.5}$ . Υπολογίζεται ότι τα θεικά αποτελούν το 30-35% της μάζας της συνολικής διαλυτής ιοντικής φάσης, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί το 25% του συνόλου της μάζας των λεπτόκοκκων σωματιδίων. Βρίσκεται κυρίως, υπό τη μορφή του θεικού αμμωνίου  $(NH_4)_2SO_4$  και σε μικρότερη αναλογία με τη μορφή του όξινου θεικού αμμωνίου  $NH_4HSO_4$  ή ακόμα και του θεικού οξέος  $H_2SO_4$  (Spengler et al., 1983; Harrison et al., 1997).

Θεικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές όπου το θεικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Αν και ο γύψος και κάποια άλλα

γεωλογικά υλικά περιέχουν θειικά, αυτά δεν είναι εύκολα διαλυτοποιήσιμα στο νερό για να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκο σωματίδια έναντι των  $PM_{2.5}$  και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά (Harrison et al., 2000; Spengler et al., 1983).

### **Νιτρικά (Nitrates)**

Σχηματίζονται κυρίως, από την οξειδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου και μία από τις σημαντικές μορφές του είναι το νιτρικό αμμώνιο  $NH_4NO_3$  για το οποίο πιστεύεται ότι βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τις πρόδρομες του αέριες ουσίες: την αμμωνία  $NH_3$  και τους ατμούς του νιτρικού οξέος  $HNO_3$ . Σε ορισμένες περιπτώσεις κυριαρχεί το νιτρικό νάτριο  $NaNO_3$  έναντι του  $NH_4NO_3$ . Καθότι το  $NO_2$  οξειδώνεται ταχύτερα από το  $SO_2$  και λόγω της ευαισθησίας του  $NH_4NO_3$  στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις της  $NH_3$  η χωρική κατανομή των νιτρικών είναι πολύ λιγότερο ομοιόμορφη από αυτή των θεικών (Harrison et al., 2000). Τα νιτρικά αποτελούν το 25% της συνολικής ιοντικής διαλυτής φάσης και είναι κυρίως λεπτόκοκκα σωματίδια, κάτι το οποίο δεν είναι τόσο προφανές όπως είναι με τα θειικά και τα αμμωνιακά. (Harrison et al., 1999; Chow et al., 1996; Harrison et al.; 2000).

### **Αμμωνιακά (Ammoniums)**

Όταν σχηματίζονται αρχικά στην ατμόσφαιρα τα νιτρικά και τα θειικά ιόντα είναι υπό τη μορφή των θεικών και νιτρικών οξέων αντίστοιχα. Τα οξέα αυτά εξουδετερώνονται από την ατμοσφαιρική αμμωνία σχηματίζοντας αμμωνιακά άλατα. Στις περισσότερες αστικές περιοχές το ιόν του αμμωνίου  $NH_4^+$  υπερέχει σημαντικά του ιόντος του υδρογόνου  $H^+$  το οποίο και αντικαθιστά στη διαδικασία της εξουδετέρωσης (Harrison et al., 1999; Harrison et al.; 2000).

Η συντριπτική πλειοψηφία των αμμωνιακών βρίσκεται στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων και αποτελούν το 18-25% της συνολικής διαλυτής ιοντικής φάσης. Ήταν βέβαια αναμενόμενο ότι τα αμμωνιακά θα ήταν κυρίως λεπτόκοκκα εφόσον τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από ορυκτά τα οποία καθότι αλκαλικά, δεν αντιδρούν με την αέρια αμμωνία. Τα αμμωνιακά τα συναντάμε με οποιοδήποτε συνδυασμό με θειικά και νιτρικά ιόντα καθώς και με χλωριόντα. (Harrison et al., 1999; Chow et al., 1996).

### **Χλωριόντα (Chlorine ions)**

Η κύρια πηγή των χλωριόντων είναι το υδρόλυμα θαλάσσης (sea spray, marine aerosol), ακόμη και σε αστικές περιοχές. Επίσης, κατά τους χειμερινούς μήνες σημαντική πηγή αποτελεί η ρήψη αλατιού στους δρόμους για την αντιμετώπιση του πάγου.



Συνεπώς, η πλειονότητα των χλωριόντων βρίσκεται στο χονδρόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων και είναι υπό τη μορφή του χλωριούχου νατρίου NaCl (Harrison et al., 2000; Harrison et al., 1995).

Επίσης, οι χλωριούχες ενώσεις εισέρχονται στην αέρια σωματιδιακή μάζα με δευτερογενείς διαδικασίες όπως είναι η εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από τους ατμούς του υδροχλωρικού οξέος, το οποίο εκπέμπεται από πηγές όπως αποτεφρωτήρες και σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι δευτερογενείς χλωριούχες ενώσεις ανήκουν στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων και συνίσταται κυρίως σε χλωριούχο αμμώνιο NH<sub>4</sub>Cl. (Harrison et al., 2000; Spengler, 1983).

### **Στοιχειακός άνθρακας (Elemental carbon)**

Οι κυριότερες πηγές εκπομπής του στοιχειακού άνθρακα είναι (κατά) οι διαδικασίες καύσης των συμβατικών καυσίμων στους κινητήρες των αυτοκινήτων και (από) η καύση βιομάζας. Μελέτες υπολογίζουν ότι το 90% του στοιχειακού άνθρακα στις Ευρωπαϊκές χώρες προέρχεται από τα αυτοκίνητα. Ο εκπεμπόμενος σωματιδιακός άνθρακας βρίσκεται είτε υπό τη μορφή ενός πυρήνα από στερεό μαύρο στοιχειακό άνθρακα, είτε υπό τη μορφή καθαρού γραφίτη, είτε υπό τη μορφή υψηλού μοριακού βάρους μη πτητικής ένωσης όπως είναι η πίσσα και το κώκ. Επιπλέον ποσότητες άνθρακα εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών φωτοχημικών αντιδράσεων, οι οποίες παράγουν μη πτητικά οργανικά συστατικά (Harrison et al., 2000; Pakkanen, 2000; Castro et al., 1999).

Η κύρια μάζα του στοιχειακού άνθρακα βρίσκεται στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων ή ακόμη και στο υπερλεπτόκοκκο. Ο στοιχειακός άνθρακας αποτελεί το 50-70% της συνολικής μάζας του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα (Gray et al., 1984).

### **Οργανικός άνθρακας (Organic carbon)**

Ο οργανικός άνθρακας παρέχεται στην ατμόσφαιρα είτε από ανθρωπογενείς είτε από βιολογικές πηγές. Ο βιολογικά προερχόμενος άνθρακας περιέχει σωματίδια που αποβάλλονται από τα κηρώδη αγγειακών φυτών (epicuticular waxes of vascular plant) και από την άμεση επαναίωρηση σκόνης, εντόμων και μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες και σπόρια) (Noureddine, 2001).

Ο οργανικός άνθρακας περιέχει ένα μεγάλο ποσό οργανικών ουσιών, τα περισσότερα εκ των οποίων παράγονται κατά τη διαδικασία της καύσης ή σχηματίζονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα. Οι οργανικές αυτές ενώσεις είναι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες, αρωματικές ενώσεις και οξυγονομένα παράγωγα των υδρογονανθράκων. Οι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες που ανιχνεύονται στα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από κανονικά

αλκάνια, 17-6 ατόμων άνθρακα, ενώ σημαντική είναι και η περιεκτικότητα σε διακλαδισμένες ενώσεις (Manahan, 1991; Harrison et al., 2000).

Η προέλευση των οργανικών ουσιών είναι είτε πρωτογενής είτε δευτερογενής. Τα πρωτογενή οργανικά συστατικά είναι τα αλκάνια, τα αλκένια και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα οποία προέρχονται από ατελή καύση και προσροφούνται απευθείας στην επιφάνεια των σωματιδίων. Τα δευτερογενή είναι τα καρβοξυλικά οξέα, οι αλδεΐδες, οι κετόνες, οι εστέρες και οι φαινόλες, τα οποία προκύπτουν ως επί τω πλείστον ως προϊόντα οξείδωσης των αντίστοιχων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα.

Εκτός από τους αλειφατικούς και αρωματικούς υδρογονάνθρακες, στις οργανικές ενώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων περιέχονται και οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες γνωστοί με την επωνομασία PAHs (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons). Η συγκέντρωση των PAHs συγκεντρώνει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αποδεδειγμένης καρκινογόνου και μεταλλαξιογόνου δράσης τους. Η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα σχετίζεται άμεσα με την κυκλοφορία των οχημάτων και μάλιστα αποτελεί ενδεικτικό στοιχείο της κυκλοφορίας των μη-καταλυτικών οχημάτων. Τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα με μηχανές παλαιάς τεχνολογίας, έχουν αυξημένες εκπομπές σε βενζο(α)πυρένιο benzo(a)pyrene, ουσία η οποία χρησιμοποιείται ως δείκτης της εκπομπής των PAHs, ενώ ο W.H.O. τη λαμβάνει ως ένδειξη του πόσο καρκινογόνο είναι το αερόλυμα (Kendall et al., 2001).

Τα κύρια συστατικά των PAHs σύμφωνα με τον πίνακα 1.4 είναι: φθοροαιθάνιο fluoroethane, pyrene, cyclopentapyrene, benzo(a)anthracene, chrysene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(a)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(e)pyrene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, benzo(ghi)perylene (Noureddine, 2001).

Τα PAHs, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια PCBs, και οι διοξίνες polychlorinated dibenzo-p-dioxins, που ανιχνεύονται στα σωματίδια του οργανικού άνθρακα ανήκουν στην κατηγορία των τοξικών οργανικών μικρο-ρύπων Toxic organic micropollutants TOMPs, και η προέλευση τους είναι κυρίως δευτερογενής (Harrison et al., 1995).

Compound	n
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH	1-8
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CHO	3-5
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>2</sub> OH	3-5
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>2</sub> ONO or CHO(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>2</sub> ONO <sub>2</sub>	3-5
CHO(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>2</sub> OH	3-5
CHO(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CHO	3-5
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COONO or CHO(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COONO <sub>2</sub>	3-5
CHO(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COONO	3-4
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COONO	3-4
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COONO <sub>2</sub>	4-5
HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>2</sub> ONO <sub>2</sub>	3-4
(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )-(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH	1-3
HOOC-(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )-(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>	1-2

Source: Schuetzle et al. (1975), Crom et al. (1977).

Πίνακας 14. Οργανικές ενώσεις που ανιχνεύθηκαν σε αιωρούμενα σωματίδια σε αστικές περιοχές

	South Kensington <sup>a</sup>		Birmingham <sup>b</sup>		Manchester <sup>c</sup>	
	Particulate	Vapour	Particulate	Vapour	Particulate	Vapour
Naphthalene	—	—	0.21	13.0	—	—
Acenaphthylene	—	—	0.61	14.8	—	—
Fluorene	—	—	1.1	12.6	0.5	26.0
Acenaphthene	—	—	1.6	11.9	ND	1.2
Phenanthrene	0.11	5.01	1.1	23.0	0.4	56.7
Anthracene	0.18	2.66	0.4	4.1	0.05	4.7
Fluoranthene	0.81	2.65	1.2	11.2	0.63	16.2
Pyrene	0.79	3.00	2.4	35.6	0.8	10.7
Benzo[ <i>c</i> ]phenanthrene	0.85	1.98	—	—	—	—
Cyelo[ <i>c,d</i> ]pyrene	2.61	1.47	—	—	—	—
Benzo[ <i>a</i> ]anthracene	0.79	0.62	1.5	4.1	1.0	0.5
Chrysene	1.22	0.40	2.2	4.3	1.8	1.6
Benzo[ <i>b</i> ]fluoranthene	0.98	0.24	—	—	—	—
Benzo[ <i>e</i> ]pyrene	2.00	0.31	—	—	—	—
Benzo[ <i>b</i> ]fluoranthene	1.61	0.17	2.0	0.19	2.4	ND
Benzo[ <i>k</i> ]fluoranthene	0.68	0.07	1.1	0.08	2.4	0.03
Benzo[ <i>a</i> ]pyrene	1.44	0.19	0.73	0.08	1.6	ND
Dibenzo[ <i>a,h</i> ]anthracene	0.12	ND	0.79	0.04	—	—
Benzo[ <i>g,h,i</i> ]perylene	3.30	0.01	1.9	0.06	3.1	0.02
Indeno[1,2,3- <i>c,d</i> ]pyrene	1.57	ND	2.0	ND	—	—
—	—	—	—	—	—	—
Anthanthrene	0.63	ND	—	—	—	—
Coronene	1.67	ND	1.0	ND	1.4	ND

<sup>a</sup>Annual average.

<sup>b</sup>Average of 27 daily samples, February 1992.

<sup>c</sup>Results for week 7, 1992, Manchester TOMPS site.

Πίνακας 15. Τυπική σύσταση αστικού αερολύματος πολυαρωματικών υδρογονανθράκων, PAHs στην Αγγλία (Harrison et al., 1995).

Τέλος, επισημαίνεται ότι ο οργανικός άνθρακας αποτελεί το 60-80% του συνόλου των σωματιδίων που είναι στη λεπτόκοκκη φάση. Στην Ευρώπη εκτιμάται ότι η συνεισφορά των

οχημάτων στην συνολική συγκέντρωση του σωματιδιακού άνθρακα μπορεί να είναι μέχρι και 90-93% (Noureddine, 2001; Kendall, 2001).

### **Γεωλογικά υλικά (Geological materials)**

Τα γεωλογικά υλικά περιλαμβάνουν επιφανειακή σκόνη και αερομεταφερόμενα αποσθρωμένα πετρογενή υλικά. Επομένως, έχουν σταθερή χημική σύσταση και αντικατοπτρίζουν τα εκάστοτε τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωση του εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες, με τις οποίες επαναιωρούνται από το έδαφος (Harrison, 2000).

Ορισμένα από τα φυσικά ορυκτά βρίσκονται στη σωματιδιακή μάζα και είναι τα παρακάτω: χαλαζίας  $\text{SiO}_2$ , ασβεστίτης  $\text{CaCO}_3$ , γύψος  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , άστριοι  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , εψωμίτης  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , χλωρίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, αιματίτης  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Harrison et al., 1995).

Τα γεωλογικά υλικά μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να αποτελέσουν ακόμη και το 60% της συνολικής σωματιδιακής μάζας, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα λόγω της μεταφοράς τους στην ατμόσφαιρα. Οπότε, οι συγκεντρώσεις τους δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια, υπό την έννοια ότι εξαρτώνται πολύ από τοπικούς παράγοντες (Magliano et al., 1999).

### **Βιολογικά υλικά (Biological materials)**

Ορισμένες μελέτες έχουν διαχωρίσει τη σωματιδιακή ύλη βιολογικής προέλευσης, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει μικροοργανισμούς όπως βακτήρια αλλά και σπόρια, γύρη και τεμαχίδια κυτταρινούχου φυτικού υλικού. Με την εξαίρεση κάποιων ιών και άλλων σωματιδίων που εκπέμπονται είτε από το ανθρώπινο σώμα, είτε από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες, τα σωματίδια αυτά είναι στην πλειοψηφία τους χονδρόκοκκα. Στις περισσότερες μάλιστα μελέτες έχουν χαρακτηριστεί ως οργανικός άνθρακας και όχι ως βιολογικά υλικά (Harrison et al., 2000).

Λόγω της έλλειψης υγρασίας, η ατμόσφαιρα δεν είναι ένα περιβάλλον μέσα στο οποίο μπορούν να ζήσουν και να αναπτυχθούν μικροοργανισμοί. Εντούτοις, μπορούν να επιβιώσουν στη λανθάνουσα κατάστασή τους, ανάλογα με την αντοχή τους στην ξηρασία και σε μικρότερο βαθμό ανάλογα με την αντοχή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία. Τα βακτήρια και οι μύκητες που έχουν την ικανότητα σχηματισμού σπορίων μπορούν να ζήσουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στην ατμόσφαιρα. Τα κύτταρα που βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση δεν μπορούν να επιβιώσουν περισσότερο από μερικές ώρες στον αέρα, ενώ τα σπόρια επιζούν ακόμη και χρόνια. Όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές τα σπόρια και οι κύστες διαχωρίζονται και τα λανθάνοντα κύτταρα αναπτύσσονται.

Ο αέρας είναι σημαντικός στη μικροβιολογία γιατί παρέχει έναν μηχανισμό μεταφοράς των μικροοργανισμών, ο οποίος είναι κατά πολύ ευκολότερος από αυτόν του νερού. Οι

μικροοργανισμοί αποτελούν ποσοστό της σωματιδιακής ύλης της ατμόσφαιρας. Οι κύστες που σχηματίζονται από τα πρωτόζωα είναι σχετικά μεγάλου βάρους και επικάθονται μετά από διάστημα λίγων λεπτών. Αντίθετα, τα σπόρια των βακτηριδίων και των μυκήτων είναι πολύ μικρά και έχουν βρεθεί χιλιόμετρα μακριά πάνω από την επιφάνεια της γης.

Ωστόσο, σήμερα δεν υπάρχει λεπτομερής γνώση σχετικά με τη συγκέντρωση και την κατανομή των μικροοργανισμών στην ατμόσφαιρα. Είναι μόνο προφανές το γεγονός ότι οι μικροοργανισμοί είναι διεσπαρμένοι παντού στην υδρόγειο. Γενικά, στον εξωτερικό χώρο, η ποσότητα του αέρα που αντιστοιχεί σε κάθε άτομο είναι απεριόριστη και η σωματιδιακή ύλη διαρκώς διασπείρεται και ανακατανέμεται από τα φυσικά αέρια ρεύματα (Pήγας, 1997).

### **Μέταλλα και μεταλλικά ιχνοστοιχεία**

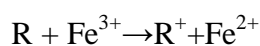
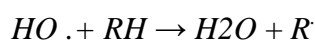
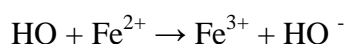
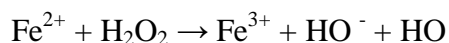
Τα μέταλλα που συναντώνται κυρίως στα αιωρούμενα σωματίδια είναι το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο υπό τη μορφή των ιόντων τους. Το κάλιο βρίσκεται ενωμένο με χλωριόντα, με νιτρικά ή με θειικά ιόντα. Το ασβέστιο βρίσκεται συνήθως ενωμένο με θειικά ή με άνθρακα ενώ το μαγνήσιο σχετίζεται κυρίως με χλωριόντα σε παραθαλάσσιες περιοχές και με ανθρακοϊόντα σε περιοχές όπου υπάρχει το γεωλογικό υλικό δολομίτης  $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$ . Σύμφωνα με αναλύσεις η ποσοστιαία σύσταση της αέριας σωματιδιακής μάζας σε  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  και  $\text{Mg}^{2+}$  είναι κατά προσέγγιση 5,6-1,8-0,8-0,6%, αντίστοιχα. Τα μέταλλα αυτά βρίσκονται συνήθως στα χονδρόκοκκο κλάσμα των ατμοσφαιρικών σωματιδίων, εφόσον είναι συστατικά του θαλάσσιου αερολύματος και της επιφανειακής σκόνης (Harrison et al., 1995; Chow et al., 1994).

Οι συγκεντρώσεις των μεταλλικών ιχνοστοιχείων, στις περισσότερες πόλεις έχουν μειωθεί λόγω των μέτρων που έχουν ληφθεί τον τελευταίο καιρό. Με εξαίρεση το μόλυβδο του οποίου η κύρια πηγή είναι η κυκλοφορία οχημάτων, που οδηγεί στην ευρεία διασπορά του στον αέρα μια πόλης, τα άλλα μεταλλικά ιχνοστοιχεία προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές διαδικασίες και συνεπώς η κατανομή τους είναι ομοιόμορφη.

Ο μόλυβδος βρίσκεται στην ατμόσφαιρα υπό τη μορφή των αλογονιδίων του,  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{PbClBr}$  και  $\text{PbBr}_2$ , τα οποία σχηματίζονται κατά την αντίδραση των αντικροτικών ουσιών του καυσίμου (τετρααιθυλιούχος μόλυβδος) με το διχλωροαιθάνιο ή το διβρωμοαιθάνιο, που προστίθεται για να αποτρέψουν τη συσσώρευση των οξειδίων του μολύβδου μέσα σε κινητήρες. Τα αλογονίδια του μολύβδου είναι αρκετά πτητικά ώστε να εξέλθουν από την εξάτμιση, συμπυκνώνονται όμως σε σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

Ο υδράργυρος είναι παρών στην ατμόσφαιρα με τη μορφή οργανομεταλλικών ενώσεων όπως είναι οι:  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ,  $(\text{CH}_3)\text{HgBr}$ . Άλλα μέταλλα απαντώνται με τη μορφή των οξειδίων τους όπως:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$  (Manahan, 1991).

Η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες των μεταλλικών ιχνοστοιχείων, μέσω της αναπνοής, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη εφόσον αυτά θεωρούνται εξαιρετικά τοξικά. Ωστόσο, η έκθεση του ανθρώπου σε αυτούς τους ρύπους όπως ήδη αναφέρθηκε θεωρείται πλέον ανεπαρκής λόγω της μείωσης των εκπομπών τους. Έχει εντούτοις αποδειχθεί ότι κάποια στοιχεία μετάπτωσης και συγκεκριμένα ο σίδηρος είναι δυνατό να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, μέσω μη-συνηθισμένων μηχανισμών όπως η συμβολή στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου παρουσία  $H_2O_2$  μέσω της αντίδρασης Fenton (Harrison et al., 2000).

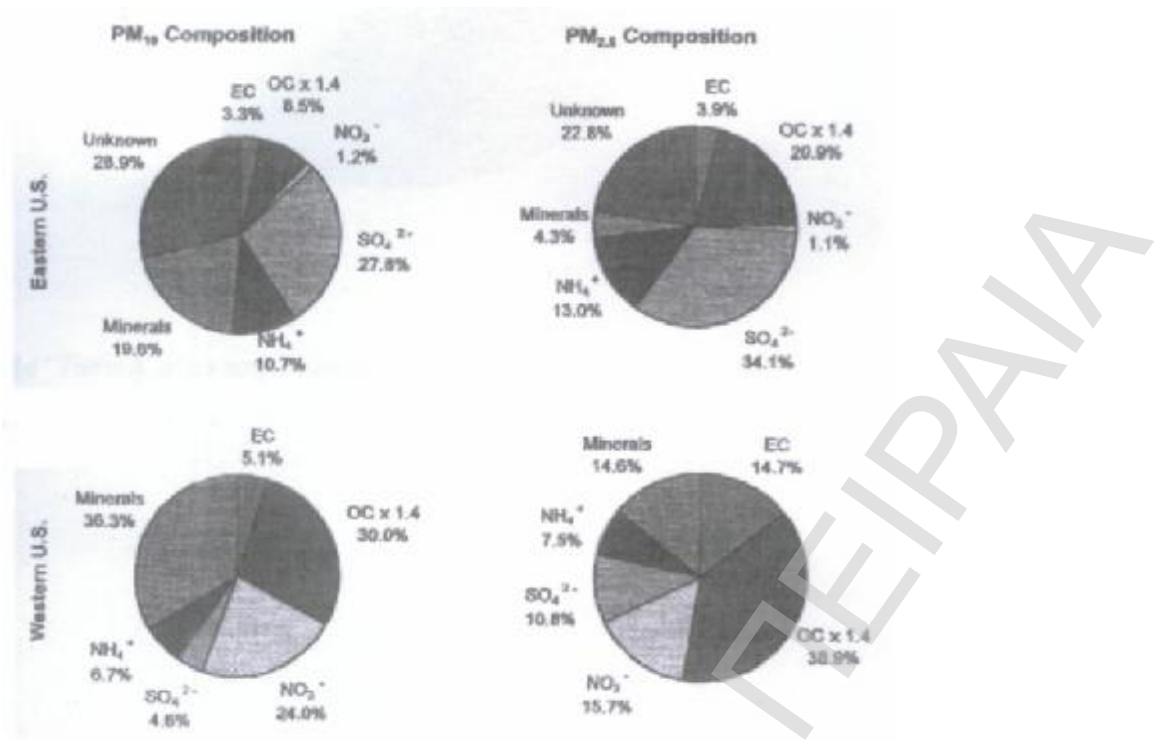


### **Ισχυρά οξέα**

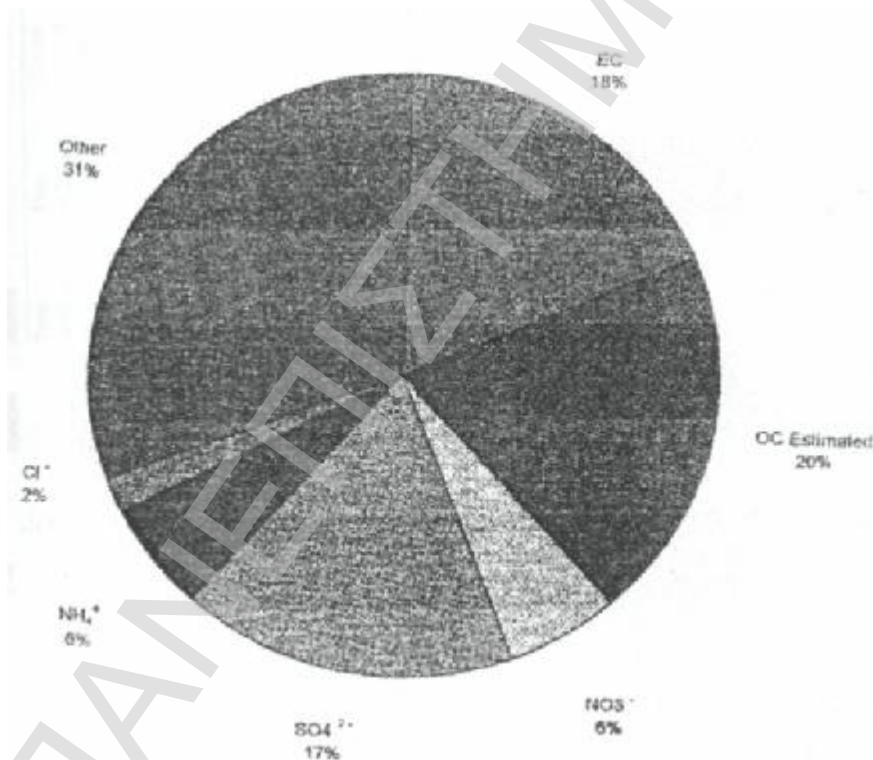
Ο σχηματισμός θεικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα από την οξείδωση των  $SO_2$  και  $NO_2$  γίνεται αρχικά υπό τη μορφή των ισχυρών οξέων,  $HNO_3$  και  $H_2SO_4$ , αντίστοιχα. Το  $HNO_3$  λόγω της μεγάλης του πτητικότητας δύναται να ενσωματωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια είτε μέσω της απώλειας της οξύτητάς του, είτε μέσω της αντίδρασής του με το  $HCl$ , είτε μέσω της εξουδετέρωσής του με την  $NH_3$ .

Αντιθέτως, το  $H_2SO_4$  είναι μη πτητικό και μόλις σχηματιστεί ενσωματώνεται κατ' ευθείαν στα σωματίδια, κατόπιν εξουδετερώνεται από την  $NH_3$  της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, σε χαμηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής αμμωνίας τα σωματίδια έχουν ένα σημαντικό περιεχόμενο ισχυρού οξέος, το οποίο αντικατοπτρίζει το μη εξουδετερωμένο θεικό οξύ. Ορισμένες παλαιότερες μελέτες υποστήριξαν σθεναρά ότι το περιεχόμενο ισχυρού οξέος είναι υπαίτιο για την τοξική δράση των σωματιδίων (Harrison et al., 2000; Harrison et al., 1995).

Επιπλέον, η οξύτητα του αερολύματος αποδεικνύεται και από την παρουσία του διθεικού αμμωνίου το οποίο αντιδρά με το νιτρικό αμμώνιο και παράγεται θεικό αμμώνιο και αέριο νιτρικό οξύ (Chow et al., 1996).



Σχήμα 3.10. Σύγκριση της κατανομής των κύριων συστατικών αιωρούμενων σωματιδίων στις Ανατολικές και Δυτικές ΗΠΑ.



Σχήμα 3.11. Τυπική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  σε μία Βρετανική βιομηχανική πόλη (Birmingham).

Species	Boston			Phoenix			Los Angeles		
	Total < 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Fine < 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Coarse 2.5 - 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Total < 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Fine < 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Coarse 2.5 - 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Total < 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Fine < 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Coarse 2.5 - 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )
Na	-	-	-	-	-	-	518	466	52
K	629	98	533	680	307	669	460	217	243
Ca	1139	70	1069	2100	170	1929	1190	335	854
Mg	-	-	-	-	-	-	287	75	212
Be	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb	-	-	-	-	< 18	< 16	-	-	-
Al	3459	-	3458	2670	130	2539	847	250	597
Tl	154	-	154	140	< 30	121	165	60	106
V	28	20	8	-	< 16	< 14	9	7	3
Cr	8	4	4	10	3	8	42	25	17
Mn	30	1	29	50	23	32	63	43	21
Fe	1733	121	1612	1470	216	1259	2192	557	1635
Ni	34	12	22	10	3	3	5	7	-
Cu	58	35	23	40	15	21	178	273	-
Zn	100	46	54	90	56	34	293	298	-
As	3	2	1	-	< 20	< 2	19	15	4
Se	1	1	-	-	< 2	< 2	10	11	-
Sr	-	-	-	14	-	-	24	28	-
Pb	462	285	177	60	39	22	251	185	66
Si	6904	144	6760	7440	430	7013	2162	520	1642
Bi	-	-	-	10	< 106	< 77	127	43	84
Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb	-	-	-	-	< 2.5	3	-	-	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
In	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	< 28	< 26	-	-	-
Li	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total mass	140400	34800	105600	62450	29370	33000	67400	41100	26300

Πίνακας 16. Σύγκριση μέσων συγκεντρώσεων μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε πόλεις των ΗΠΑ (Boston, Phoenix, Los Angeles).



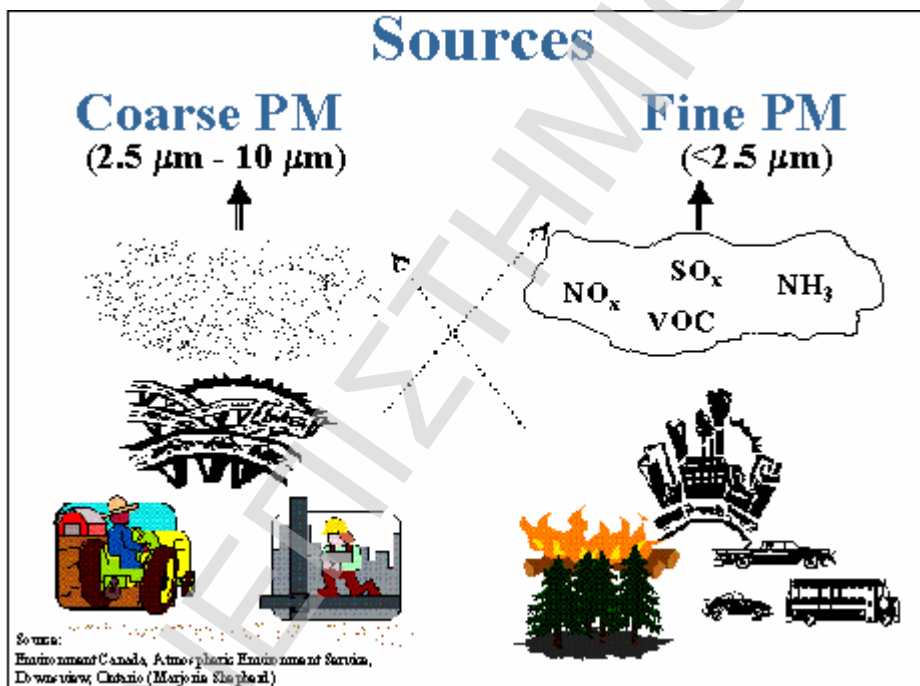
Species	Chicago			Houston			St. Louis		
	Total <10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Fine <2.5 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Coarse 2.5 - 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Total <10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Fine <2.5 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Coarse 2.5 - 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Total <10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Fine <2.5 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )	Coarse 2.5 - 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ )
Na	22	22	<17	<1490	<380	<740	-	-	-
K	161	61	101	289	119	170	653	261	392
Ca	761	45	716	2935	155	2780	2949	132	2817
Mg	118	12	106	-	-	-	-	-	-
Se	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bc	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	<41	<29	<12	<12	<3	<6	5	4	1
Sb	<59	<42	<17	6	6	<9	7	6	1
Al	269	46	223	1216	123	1093	1412	203	1209
Tl	19	<29	19	36	<14	36	587	112	475
V	<13	<9	<4	<45	<8	<30	6	2	4
Cr	<7.3	<5	<2.4	7	<5	2	15	6	9
Mn	13	5	8	35	14	21	71	36	35
Fe	432	89	344	766	162	604	1493	275	1218
Ni	<1.8	<1	<0.7	8	4	4	9	4	5
Cu	17	11	6	46	28	18	43	29	14
Zn	90	52	38	142	84	58	175	101	74
As	<4.3	<3	<1.3	<15	<5	<6	3	2	1
Se	<1.7	<1	<0.6	<3	<2	-	5	4	1
Sr	-	1	-	-	<2	-	9	2	7
Pb	32	27	5	589	465	124	877	688	189
Si	831	74	739	3200	210	2990	4928	458	4470
Ba	<130	<91	38	139	48	91	54	20	34
Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb	-	-	-	<6	<2	<3	2	0	2
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
In	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	<70	<49	<21	-	<5	<9	10	9	1
La	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total mass	28 540	13 570	14 970	63 400	38 600	24 800	62 000	34 000	28 000

Πίνακας 17. Σύγκριση μέσων συγκεντρώσεων μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε πόλεις των ΗΠΑ (Chicago, Houston, St.Louis).

### 3.4. Ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

Τα σωματίδια της ατμόσφαιρας δημιουργούνται τόσο από φυσικά αίτια όσο και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Παράδειγμα φυσικών αιτίων είναι οι εκρήξεις των ηφαιστειών, τα σταγονίδια από τους ωκεανούς, καθώς και η σκόνη που μεταφέρει ο άνεμος. Οι ανθρώπινες πηγές έχουν κατά κύριο λόγο σχέση με τις ενεργειακές δραστηριότητες, όπως τα σωματίδια από την καύση καυσίμων για ενέργεια και κίνηση, καθώς και η σκόνη που δημιουργείται από τις βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες. Ο κύριος όγκος των σωματιδίων της ατμόσφαιρας είναι φυσικής προέλευσης, παρόλο που εκτιμάται ότι η συμμετοχή του ανθρώπου είναι 5-45% (Ρήγας, 1997; Chan et al., 2000).

Σε γενικές γραμμές, τα ατμοσφαιρικά σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης από 1 $\mu\text{m}$  παράγονται στην ατμόσφαιρα με συμπύκνωση, ενώ τα μεγαλύτερα σωματίδια είτε παράγονται από την κονιορτοποίηση μεγάλων μαζών είτε είναι προϊόντα καύσης. Οι πηγές εκπομπής των σωματιδίων μπορούν να διακριθούν στις ανθρωπογενείς και στις φυσικές (USEPA, 2001).



Σχήμα 3.12. Πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων.

### 3.4.1. Ανθρωπογενείς πηγές

Μέχρι πριν από δύο αιώνες οι περιβαλλοντικές διαταραχές που προκαλούσε ο άνθρωπος βρίσκονταν μέσα στις δυνατότητες αντιμετώπισής τους από τη φύση. Τρεις είναι οι κύριες αιτίες ανάπτυξης που προκάλεσαν έκτοτε μείωση της αποτελεσματικότητας αφομοίωσης από τη φύση. Κατά πρώτο λόγο αυτό οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού, έπειτα στην ανάπτυξη νέων βιομηχανικών μεθόδων των οποίων τα απόβλητα προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα και τέλος, στην εκρηκτική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και την εμφάνιση πολλών νέων χημικών προϊόντων (Ρήγας, 1997).

#### *Εκπομπές από οχήματα*

Οι κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων από τα οχήματα είναι τα καυσαέρια των οχημάτων και η φθορά από τη χρήση των ελαστικών και των φρένων (Gertler, 2000).

Οι εκπομπές από μηχανές ντίζελ περιέχουν κυρίως αιθάλη, πτητικές οργανικές ενώσεις και μερικά θειικά από το θείο που περιέχει το καύσιμο. Ο σχηματισμός της αιθάλης σε κινητήρες εσωτερικής καύσης γίνεται στο πρώτο στάδιο της καύσης, από το μέρος του άνθρακα που δεν καίγεται. Ο άνθρακας αυτός εμπλέκεται σε πολύπλοκες διαδικασίες πυρόλυσης, πολυμερισμού και μερικής οξειδωσης. Τα σωματίδια σε αυτή τη φάση σχηματίζονται από οργανικά και ανόργανα υλικά που εισέρχονται στον κινητήρα με το καύσιμο και τον αέρα. Τα πολύ μικρά σωματίδια αιθάλης που δημιουργούνται λειτουργούν ως πυρήνες συσσωμάτωσης, δημιουργώντας έτσι τα σωματίδια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Οι πυρήνες αυτοί συσσωμάτωσης αυξάνουν ταχύτερα σε υψηλές θερμοκρασίες. Μετά την εκπομπή τους από τις θερμότερες περιοχές της φλόγας, τα μικρά αλλά πλήρως σχηματισμένα σωματίδια αιθάλης συνεχίζουν την αύξηση του μεγέθους τους (Noel, 1995; Στούρνας κ.α., 1993).

Ο χρονισμός ψεκασμού, η καλή εκνέφωση του καυσίμου και η γεωμετρία του θαλάμου καύσης είναι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό αιθάλης. Ο καπνός που εκπέμπεται από τους ντιζελοκινητήρες ανάλογα με το χρώμα του μπορεί να χαρακτηριστεί ως μαύρος, λευκός, γκρίζος ή μπλε. Συνεπώς, ο σχηματισμός καπνού είναι δυνατόν να ελαττωθεί με τη μείωση του χρόνου κατά τον οποίο η ανάφλεξη γίνεται στη φάση διάχυσης. Ο περιορισμός των εκπομπών σωματιδίων από τους κινητήρες ντίζελ είναι δυνατός και με την αλλαγή του σχεδιασμού του θαλάμου καύσης.

Η χρήση καταλυτών αντίστοιχων με αυτούς που χρησιμοποιούνται και στους βενζινοκινητήρες αποτελεί μία λύση για τη 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, υπάρχει η

πιθανότητα παρουσίας σωματιδίων στα καυσαέρια και λόγω της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο, για το οποίο υπάρχει η πιθανότητα μετατροπής του σε θειικά άλατα. Το θείο οξειδώνεται προς τριοξείδιο του θείου με αποτέλεσμα όξινες εκπομπές αλλά και παρουσία σωματιδίων θείου στα καυσαέρια.

Σωματίδια όμως εκπέμπονται και ως αποτέλεσμα της φθοράς των φρένων και των ελαστικών κατά τη χρήση τους. Επιπλέον, η κίνηση των οχημάτων στους δρόμους προκαλεί επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου. Τα σωματίδια που εκπέμπονται και στις δύο περιπτώσεις είναι μεγέθους 3 – 30 $\mu\text{m}$  (Work et al., 1998; Harrison et al., 1999).

Το οργανικό κλάσμα που εκπέμπεται από την κίνηση των οχημάτων στους δρόμους περιλαμβάνει κυρίως πτητικές οργανικές ενώσεις, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες και βενζόλιο. Εκτός λοιπόν της αιθάλης υπάρχουν και άλλες ενώσεις που είναι ενδεικτικές των εκπομπών που προέρχονται από τα οχήματα. Οι ρύποι όμως αυτοί, δεν είναι εύκολο να συσχετιστούν μεταξύ τους εφόσον παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης παρουσιάζουν μία τάση διαφοροποίησης όσο απομακρύνονται από το δρόμο (Kmgam et al., 2000; P.H. Fischer et al., 2000).

Η πλειονότητα των σωματιδίων που εκπέμπονται από τη διαδικασία της καύσης στα οχήματα ανήκουν στο λεπτόκοκκο κλάσμα. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι μπορεί να παρατηρηθούν απώλειες στη συγκέντρωση των λεπτόκοκκων σωματιδίων λόγω εξάτμισης τόσο των ανόργανων όσο και των οργανικών συστατικών. Τα χονδρόκοκκα σωματίδια οφείλουν την ύπαρξη τους κυρίως στην επαναιώρηση της σκόνης των δρόμων από τα ελαστικά των οχημάτων και τα φρένα (Hildemann et al., 1991).

	<2,5 $\mu\text{m}$	<1 $\mu\text{m}$	<0,1 $\mu\text{m}$
Σύστημα πέδησης	0,4	0,1	0,08
Ελαστικά	0,7	0,1	0,08
Βενζινοκινητήρας			
-μη καταλυτικός	0,8	0,65	0,25
- καταλυτικός	0,9	0,85	0,5
Ντιζελοκινητήρας	0,9	0,85	0,5

Πίνακας 18. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από μηχανές οχημάτων κίνησης σε ευρωπαϊκές αστικές περιοχές.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της χρονικής διαφοροποίησης των συγκεντρώσεων των χονδρόκοκκων και των λεπτόκοκκων σωματιδίων που εκπέμπονται από τα οχήματα, λόγω της διαφορετικής τους προέλευσης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις

τους είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες, η συχνότητα κίνησης των οχημάτων και η επαναίωση της σκόνης. Εάν ορίσουμε τον καπνό ως ενδεικτικό για την εκπομπή των λεπτόκοκκων σωματιδίων, παρατηρούμε ότι οι ημερήσιες τιμές του μειώνονται όταν αυξάνονται οι άνεμοι ενώ αντίστοιχα αυξάνονται οι τιμές των χονδρόκοκκων σωματιδίων. Επιπλέον, η συγκέντρωση του καπνού είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της ημέρας και μάλιστα κατά τις πρώτες πρωινές ώρες ενώ μειώνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οποσδήποτε βέβαια, η συγκέντρωση του αυξάνει όσο αυξάνει και η κυκλοφορία των αυτοκινήτων αν και με τα ισχύοντα μέτρα έχουν μειωθεί οι τιμές εκπομπής ρύπων από την εξάτμιση των οχημάτων (Pakkanen et al., 2000; Ruellan et al., 2001; Roorda-Knape, 1998).

Υπολογίζεται για τη Μεγάλη Βρετανία ότι το 25% των εκπομπών προέρχονταν από την κίνηση των οχημάτων, για το 1996 (<http://www.environment.detr.gov.uk/airq/airbornepm/index.htm>).

Hourly means	BS μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	Coarse μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> %	BC μg/m <sup>3</sup>	NV veh/h	WS m/s	T °C
mean	144	39	58	20	66	14,3	6.726	2,2	18,1
min	10	1	2	0	14	1,1	375	0	-1,1
max	668	164	194	124	100	49	15.519	6	33,9

Πίνακας 19. Ωριαία κατανομή μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία εκπέμπονται από την κίνηση των οχημάτων στην πόλη του Παρισιού (Ruellan et al., 2001)

Daily means	BS μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	Coarse μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> %	BC μg/m <sup>3</sup>	NV veh/h	WS m/s	T °C
mean	157	39	61	22	65	14,8	6.863	2,3	18,0
min	56	16	31	3	46	7,8	3.936	1,0	4,0
max	291	70	128	66	91	26	8.924	5,0	28,0

Πίνακας 20. Ημερήσια κατανομή μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία εκπέμπονται από την κίνηση των οχημάτων στην πόλη του Παρισιού (Ruellan et al., 2001).

NV: αριθμός αυτοκινήτων που διέρχονται μέσα σε μία ώρα

WS: μέση ταχύτητα ανέμου

### **Εκπομπές από διυλιστήρια πετρελαίου**

Οι σωματιδιακές εκπομπές εξαρτώνται από το είδος του καιγόμενου πετρελαίου. Τα ελαφρύτερα κλάσματα πετρελαίου παράγουν σημαντικά λιγότερα σωματίδια απ' ό,τι τα βαρύτερα. Θεωρείται ότι για τα βαρύτερα κλάσματα η παραγωγή σωματιδίων είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η προέλευση του καυσίμου είτε από ακατέργαστο πετρέλαιο χαμηλού θείου, είτε από διαδικασίες αποθείωσης έχει ως αποτέλεσμα να περιέχει λιγότερα ασφαλτένια και τέφρα και να έχει μικρότερο ιξώδες. Συνεπώς, έχει καλύτερα χαρακτηριστικά καύσης.

### **Εκπομπές κατά την καύση βιομάζας**

Η εκπομπή σωματιδίων από την καύση βιομάζας, σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στην καύση λιγνοκυτταρινούχων φυτικών υπολειμματικών προϊόντων. Οι εκπομπές από καυστήρες που χρησιμοποιούν ξύλα ως καύσιμη ύλη, κυμαίνονται μεταξύ 4,5-34 Kg/tn καιγόμενου ξύλου. Περίπου το 80-95% των ανόργανων συστατικών του ξύλου μετατρέπεται σε ιπτάμενη τέφρα στον καυστήρα. Στην κατηγορία των χονδρόκοικων σωματιδίων εντάσσεται περίπου το 10-30% των παραγόμενων σωματιδίων ιπτάμενης τέφρας.

Το πρόβλημα της παραγωγής σωματιδίων κατά την καύση υπολειμματικής ξυλείας γίνεται ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση όπου η πρώτη ύλη περιέχει θαλασσινό αλάτι, κάτι που συμβαίνει στην περίπτωση κορμών που μεταφέρονται πάνω στο νερό.

Παρά τη δεδομένη εκπομπή σωματιδίων, εκτιμάται ότι η καύση βιομάζας και πιο συγκεκριμένα του άχυρου, παράγει περίπου 4 φορές λιγότερα αιωρούμενα σωματίδια σε σχέση με την καύση ανθρακούχων ορυκτών (*Ohlstrokm et al., 2000; USEPA, 2001*).

### **Εκπομπές κατά την αποτέφρωση απορριμμάτων**

Τα αιωρούμενα σωματίδια σε αυτή την περίπτωση αποτελούνται από άκαυστη ανόργανη ύλη, που μεταφέρεται από το αέριο που εξέρχεται από την καπνοδόχο. Το τυπικό μέγεθός τους κυμαίνεται μεταξύ 1 και 50μm. Μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής σωματιδίων έχουν οι καυστήρες RDF (Refused Derived Fuel), με ενδεικτική τιμή 20 Kg PM<sub>10</sub>/ tn RDF (χωρίς σύστημα ελέγχου εκπομπών).

Σημαντικό είναι και το μέγεθος της εκπομπής βαρέων μετάλλων με πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα το αρσενικό, το κάδμιο, το νικέλιο, το μόλυβδο, το ψευδάργυρο και τον υδράργυρο, υπό τη μορφή των οξειδίων τους και των χλωριδίων τους. Οι εν λόγω ενώσεις παράγονται λόγω

της παρουσίας υλικών όπως μπαταρίες, πλαστικά και μεταλλικά κράματα στα απορρίμματα. Κάποιες από τις παραπάνω ενώσεις έχουν σημεία ζέσης χαμηλότερα των 1000°C, θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν τα συστήματα αποτέφρωσης και επομένως ατμοποιούνται στο αέριο εξόδο. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται τότε τείνουν να συμπυκνωθούν και να προσροφηθούν στα λεπτόκοκκα σωματίδια του καυσαερίου, με μέγεθος 0,2-0,7μm. Αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζουν και αρκετές οργανικές ενώσεις που παράγονται κατά τη διαδικασία.

Είναι δυνατόν ορισμένα πιο πτητικά μέταλλα, όπως ο μόλυβδος και ο υδράργυρος να παραμείνουν στην αέρια φάση. Όπως και στις υπόλοιπες διαδικασίες υψηλών θερμοκρασιών, όπου παράγονται σωματίδια, η εναπόθεση των βαρέων μετάλλων σε αυτά εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, τον αριθμό τους και τη θερμοκρασία του καυσαερίου.

### **Εκπομπές από τη χημική βιομηχανία**

Οι βιομηχανικές πηγές συνήθως γίνονται πολύ εύκολα αντιληπτές διότι οι εκπομπές εισέρχονται στην ατμόσφαιρα συνήθως μέσω μίας καμινάδας. Οι ρύποι που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα είναι τα οξείδια του αζώτου, τα οξείδια του θείου, το υδρόθειο, το μονοξείδιο του άνθρακα, οι υδρογονάνθρακες και τα αιωρούμενα σωματίδια.

Τα σωματίδια που εκπέμπονται από βιομηχανίες χρωμάτων είναι οι σκόνες των καταλυτών από τα διυλιστήρια, οι ίνες αμιάντου από τις βιομηχανίες σωληνώσεων, υφασμάτων και μονωτικών. Ορισμένα στοιχεία όπως το βόριο, το βηρύλλιο και το αρσενικό από τις βιομηχανίες επεξεργασίας μετάλλων, έχουν αναγνωριστεί επίσης ως επικίνδυνα σωματίδια ιδιαίτερα τοξικά και καρκινογόνα. Οι μεγαλύτερες σε μέγεθος βιομηχανικές εκπομπές σωματιδίων είναι της τέφρας από την καύση του άνθρακα και την επεξεργασία των ορυκτών καυσίμων καθώς και τα σωματίδια που προέρχονται από λατομεία και ορυχεία.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής σιδήρου και χάλυβα εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα περισσότερα από τα σωματίδια είναι οξείδια του σιδήρου ή οξείδια μετάλλων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ειδικών κραμάτων και έχουν μέγεθος μικρότερο από 2μm. Η αλλαγή όμως, που έγινε τις τελευταίες δύο δεκαετίες προς τους κλιβάνους οξυγόνου είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή σωματιδίων μικρότερου μεγέθους και μεγαλύτερων ποσοτήτων.

Η επεξεργασία του ξύλου όπως η κοπή, η λείανση και η διαμόρφωση απελευθερώνουν μεγάλα σε μέγεθος σωματίδια, τα οποία αν και είναι αισθητικά δυσάρεστα, είναι αρκετά μεγάλα για να μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό με την αναπνοή.

Οι μύλοι των δημητριακών απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες σωματιδίων κατά την ξήρανση, τη διαλογή, την άλεση και την επεξεργασία των δημητριακών. Περισσότερα από το 50% των σωματιδίων είναι πάνω από 220μm και συλλέγονται εύκολα. Τα σωματίδια που

αιωρούνται στην ατμόσφαιρα αυτών των εγκαταστάσεων συνιστούν ένα σημαντικό κίνδυνο έκρηξης. Επομένως, θεωρείται απαραίτητη η όσο το δυνατόν καλύτερη διαχείριση των επικίνδυνων χώρων. Ο εσωτερικός αέρας των κτηρίων ελέγχεται με την απομάκρυνση στον ελεύθερο αέρα των σωματιδίων που δεν έχει κατορθωθεί να συλληχθούν.

Τέλος, υπό τη μορφή ατμών ή υγρών ή σωματιδίων εκπέμπονται οι υδρογονάνθρακες από πλήθος βιομηχανικών διεργασιών. Στις περιπτώσεις κατασκευής ασφαλτοταπήτων, εκπέμπονται υπό τη μορφή σωματιδίων πίσσας (Pήγας, 1997; Hildemann et al., 1991).

### **Εκπομπές από σταθμούς παραγωγής ενέργειας**

Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας είναι οι κύριοι χρήστες κάρβουνου στην Ευρώπη και ευθύνονται για το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών χονδρόκοκκων σωματιδίων έως και 67%, όπως εκτιμάται από την Ε.Ρ.Α. Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας υποχρεούνται από το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο να εξοπλιστούν με ηλεκτροστατικά φίλτρα ή κυκλώνες, συστήματα τα οποία κατακρατούν το 99-99.8% των συνολικά εκπεμπόμενων σωματιδίων (USEPA, 2001).

### **Εκπομπές από τη βιομηχανική καύση**

Οι εκπομπές σωματιδίων από εργοστάσια βιομηχανικής καύσης για παραγωγή κώκ, επεξεργασίας πετρελαίου, παραγωγής σιδήρου, ατσαλιού και τσιμέντου προκύπτουν από τη χρήση κάρβουνου στις διαδικασίες της καύσης. Πλέον, οι εκπομπές έχουν μειωθεί γιατί το κάρβουνο αντικαταστάθηκε από λάδι και φυσικό αέριο. Εκτιμάται ότι για το 1996 τα εκπεμπόμενα χονδρόκοκκα σωματίδια ήταν 20 Ktn.

### *Αγροτικές εκπομπές*

Οι αγροτικές πηγές οι οποίες έχουν επηρεαστεί άμεσα από τη νομοθεσία είναι τα σφαγεία και τα εκτροφεία. Για παράδειγμα στα ορνιθοτροφεία, βάσει παρατηρήσεων προέκυψε ότι το 40% των σωματιδίων που διέφευγαν μέσω του συστήματος εξαερισμού είχε διάμετρο μικρότερη των 5μm.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό της αέριας ρύπανσης που συντελείται με την απελευθέρωση ινιδίων βάμβακος κατά τη διάρκεια της συγκομιδής και της επεξεργασίας σε τέτοιο βαθμό ώστε να έχουν αναφερθεί αναπνευστικά προβλήματα σε κατοικημένες περιοχές κοντά στα κέντρα επεξεργασίας (Pήγας, 1997; Hildemann et al., 1991).



### *Οικιακές εκπομπές*

Σε κατοικημένες περιοχές, οι οικιακές δραστηριότητες αποτελούν τις κύριες πηγές εκπομπής ρύπων. Πριν από τη βιομηχανική επανάσταση, οι οικιακές φωτιές αποτελούσαν την πιο σημαντική πηγή ρύπων στο Λονδίνο. Το πρόβλημα ενισχύονταν από το γεγονός ότι οι εκπομπές προέρχονταν από καμινάδες μικρού ύψους και από το γεγονός ότι τα οικιακά τζάκια αποτελούσαν συστήματα καύσης και θέρμανσης χαμηλής απόδοσης. Οι νέες εστίες θέρμανσης έχουν καλύτερη απόδοση, αλλά οι ρύποι εξακολουθούν να εκπέμπονται από καμινάδες μικρού ύψους. Βελτιώσεις είναι δυνατόν να επέλθουν, όταν μεταφερθούν οι εκπομπές των συστημάτων θέρμανσης σε συγκεκριμένες περιοχές όπου θα υπάρχουν υψηλές καμινάδες και συστήματα κατακράτησης των εκπομπών (Pήγας, 1997).

Η καύση κάρβουνου ως μέθοδος οικιακής θέρμανσης και μαγειρέματος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως σε χώρες αναπτυσσόμενες όπως η Ινδία και η Κίνα. Στις χώρες αυτές χρησιμοποιείται και η καύση ξύλου. Και οι δύο διαδικασίες επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με σωματιδιακούς ρύπους.

Η μείωση της καύσης κάρβουνου και ξύλου στις κατοικημένες περιοχές του Λονδίνου είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση έως και 14% της συνεισφοράς του στις συνολικές εκπομπές σωματιδίων κατά το 1996. Εντούτοις, στη Βόρεια Ιρλανδία και στις Σκανδιναβικές χώρες, σε μικρές πόλεις και σε χωριά όπου το φυσικό αέριο δεν είναι ευρέως διαθέσιμο, εξακολουθούν να καίνε κάρβουνο και ξύλο για οικιακή χρήση (<http://www.environment.detr/gov.uk/airq/airbornepm/index.htm>)

### *Εκπομπές από δασικές πυρκαγιές*

Όσον αφορά στις δασικές και γεωργικές φωτιές η γενική συμβολή στη ρύπανση της ατμόσφαιρας από τον καπνό της φωτιάς είναι προσωρινή, όμως σε περιοχές 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 μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Το πυρογενές υλικό αποτελείται από οργανική ύλη, στοιχειακό άνθρακα και ανόργανα υλικά. Είναι σε μεγάλο ποσοστό μεγέθους κάτω των 10μm και γι' αυτό μπορεί εύκολα να επαναιωρηθεί λόγω του ανέμου.

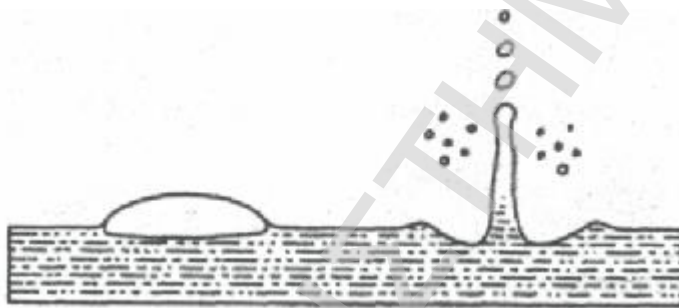
Εκτιμάται ότι οι δασικές και γεωργικές πυρκαγιές στις τροπικές ζώνες, είναι υπεύθυνες για την εκπομπή στην ατμόσφαιρα 1 Mtn/yr χαλκού, 3 Mtn/yr ψευδαργύρου και 2,2 Gtn/yr στοιχειακού άνθρακα. Κατά μέσο όρο αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν το 2%, το 3% και το 12% του παγκόσμιου συνόλου εκπομπών αυτών των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

### 3.4.2. Φυσικές πηγές

#### *Υδρόλυμα θαλάσσης*

Η θραύση των κυμάτων στη 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 σε ένα εύρος από 1 έως 20μm. Αν και τα περισσότερα σωματίδια ανήκουν στο χονδρόκοκκο κλάσμα, ένα μικρό ποσοστό της μάζας τους έχει μέγεθος αρκετά μικρό ώστε να έχουν χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα έως και τρεις ημέρες.

Το αιωρούμενο θαλασσινό αλάτι έχει μεγάλη ομοιότητα στη χημική του σύσταση με το θαλασσινό αλάτι, με ανιόντα (θειικά και χλωρίου) και κατιόντα (ασβεστίου, μαγνησίου και φωσφόρου). Επίσης έχουν ανιχνευθεί σε περιοχές με λιμενικές εγκαταστάσεις και μεταλλικά ιχνοστοιχεία όπως κάδμιο, μόλυβδος, βανάδιο και ψευδάργυρος. Αυτός ο εμπλουτισμός σε μέταλλα προέρχεται από εκείνες τις φυσαλίδες του νερού που πρώτα έρχονται σε επαφή με μεταλλικά αντικείμενα πριν διαραγούν (Ρήγας, 1997).



Σχήμα 3.13. Σχηματισμός υδρόλυματος θαλάσσης.

#### *Ηφαιστειακή δραστηριότητα*

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα λαμβάνει ακόμη χώρα σε κάποιες νησιωτικές περιοχές της Ευρώπης όπως είναι τα Κανάρια νησιά και η Σικελία. Τα σωματίδια με τη μορφή ιπτάμενης τέφρας που εκπέμπουν τα ηφαιστεια μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική τοπική πηγή σωματιδίων σε κοντινές πόλεις, αλλά και προδρόμων ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα το ηφαιστειο στο βουνό Αίτνα εκτιμήθηκε ότι εκπέμπει κατά μέσο όρο 4.000 τόνους διοξειδίου του θείου ημερησίως.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν μία συγκεντρωμένη πηγή όλων των ατμοσφαιρικών ρύπων και ιδιαίτερα των σωματιδίων. Για παράδειγμα η έκρηξη του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης

στις 18 Μαΐου 1980 εκτόξευσε όγκο σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ίσο με  $4 \text{ km}^3$ . Η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το συνολικό ετήσιο πόσο των εκπεμπόμενων σωματιδίων που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες στη βόρεια Αμερική. Το μέγεθος των εκπεμπόμενων σωματιδίων κυμάνθηκε από στέρεα σώματα, ορατά με το γυμνό μάτι, έως και υπερλεπτόκοκκα σωματίδια διαμέτρου  $0,001 \mu\text{m}$ .

Η ενέργεια των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι συχνά αρκετή ώστε να μεταφέρει τα αέρια και τα σωματίδια δια μέσου των χαμηλών στρωμάτων της ατμόσφαιρας, στη στρατόσφαιρα, όπου οι φυσικές διαδικασίες απομάκρυνσης είναι πολύ βραδείες.

Η χημική ανάλυση της ηφαιστειακής τέφρας που λήφθηκε σε απόσταση  $650 \text{ km}$  από το σημείο της έκρηξης, έδειξε ότι το 60-70% της σύστασης ήταν διοξείδιο του πυριτίου και το 16-18% τριοξείδιο του αργιλίου. Η χημική σύσταση και η κατανομή μεγεθών της τέφρας μεταβαλλόταν ανάλογα με την απόσταση από την πηγή, υποδεικνύοντας ότι τα συγκεκριμένα χημικά συστατικά συγκεντρώνονταν σε συγκεκριμένες τάξεις μεγέθους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ορισμένα στοιχεία, όπως ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και το αρσενικό, έχουν χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες εξάτμισης και συγκεντρώθηκαν σε σωματίδια μικρού μεγέθους, που σχηματίστηκαν με εξάχνωση μετά την έκρηξη (Pήγας, 1997).

#### *Μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις*

Εκτός από τις τοπικές πηγές εκπομπής σωματιδίων, σωματίδια μπορεί να μεταφερθούν με αέρια ρεύματα από άλλες χώρες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μεταφορά PM στην κεντρική Αμερική εξαιτίας της ανεξέλεγκτης καύσης βιομάζας στο νότιο Μεξικό. Με τον ίδιο τρόπο εκτιμάται ότι μεταφέρονται τόνοι σωματιδίων από την έρημο της Σαχάρας στη βορειοδυτική περιοχή της Μεσογείου και στις νότιες παραλιακές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. Σκόνη μεταφέρεται και από τις έρημους της Ασίας δια μέσου του Ειρηνικού Ωκεανού. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με τις ανεμοθύελλες, που εμφανίζονται στις έρημους ως αποτέλεσμα των ισχυρών ανέμων. Οι περισσότερες ανεμοθύελλες στις έρημους της Κίνας παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια της άνοιξης μετά το πέρασμα ισχυρών κρύων ρευμάτων, που οφείλονται στο λιώσιμο των πάγων, και προτού το έδαφος καλυφθεί με βλάστηση.

Οι ανεμοθύελλες σχετίζονται με περιόδους ισχυρών ανέμων και άστατου καιρού, που καταλήγουν σε βίαιη μεταφορά σκόνης στα μεσαία και ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας. Το φαινόμενο αυτό παρακολουθείται με δορυφόρους οι οποίοι εντοπίζουν το σύννεφο σκόνης που μεταφέρεται. Με αυτή τη μέθοδο όμως δεν εντοπίζεται η σκόνη των ορυκτών και των μεταλλευμάτων εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν υπάρχει αντίθεση μεταξύ της μεταφερόμενης δέσμης και του εδάφους.

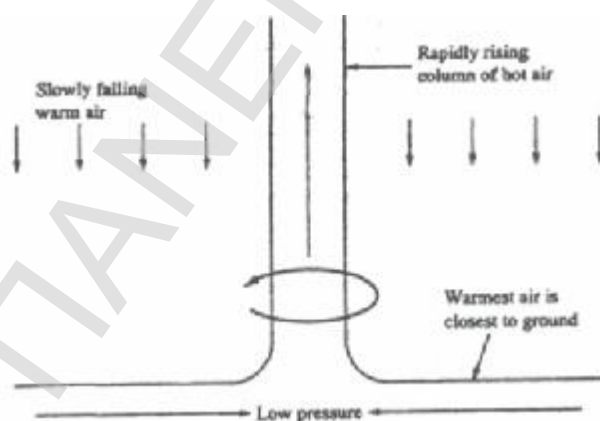
### Επαναιώρηση σκόνης από το έδαφος

Η επαναιώρηση της σκόνης από το έδαφος οφείλεται σε μετεωρολογικούς μηχανισμούς όπως είναι ο άνεμος, οι μεταβολές στη θερμοκρασία και η υγρασία, δια μέσου των οποίων γίνεται δυνατή η αποσάθρωση πετρών και ορυκτών. Η σκόνη 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 στα όρια των 5 έως 50μm. Η χημική σύσταση της σκόνης από χώμα είναι όμοια με εκείνη της γεωλογικής πηγής, όπως δολομίτης, γύψος, χαλαζίας και αργιλικά πετρώματα.

Η επίδραση των ανέμων σε χαλαρές επιφάνειες ξηρού χώματος έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται τα σωματίδια αυτά στον αέρα. Οι παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο είναι το ποσό της εκτιθέμενης ξηρής επιφάνειας από σωματίδια και η ταχύτητα του ανέμου. Στις πόλεις τέτοιου είδους εκτεθειμένες χωμάτινες επιφάνειες είναι μάλλον σπάνιες, ιδιαίτερα στο κέντρο των πόλεων. Όμως υπάρχουν αξιοσημείωτες ποσότητες σκόνης πάνω στους δρόμους και στα πεζοδρόμια. Η σκόνη αυτή προέρχεται από :

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

Οι ποσότητες της σκόνης από την επαναιώρηση από το έδαφος που συμβαίνει κάθε φορά που τα οχήματα κινούνται είτε πάνω σε ασφαλτοστρωμένο δρόμο, είτε πάνω σε χωματόδρομο, μπορεί να είναι 0,4 ακόμη και 2,5 φορές μεγαλύτερες απ' ό τι είναι οι εκπομπές των σωματιδίων από την εξάτμιση των αυτοκινήτων. Το φαινόμενο περιορίζεται κατά τις βροχερές μέρες, εξαιτίας της υγρής εναπόθεσης των σωματιδίων (Yamasoe et al., 1999).



Σχήμα 3.14. Επαναιώρηση σκόνης από το έδαφος.

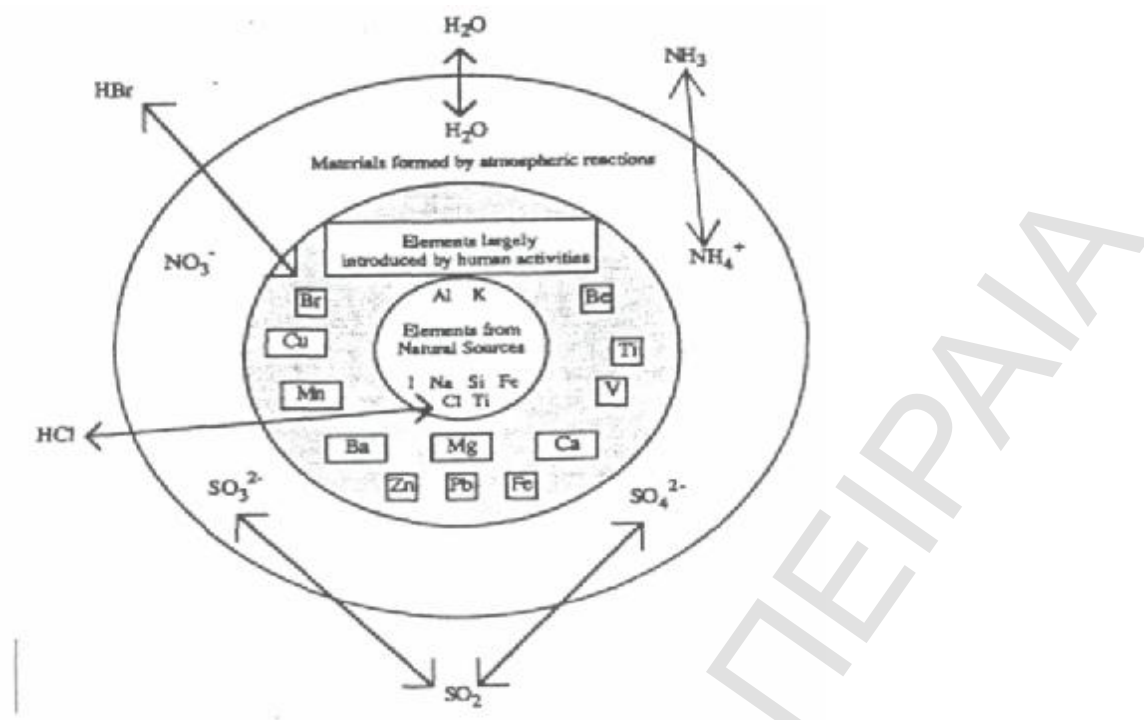
Σημαντικό ρόλο παίζει και η μετεωρολογία της περιοχής κατά την εποχή που έγιναν οι δειγματοληψίες. Χαμηλοί άνεμοι έχουν ως αποτέλεσμα περιορισμένη μεταφορά σκόνης από το έδαφος με αέριες μάζες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το ύψος ανάμιξης (mixing heights) είναι χαμηλό συνεπώς οι ρύποι δεσμεύονται κοντά στην ατμόσφαιρα και δε διαχέονται. Οπότε, τα μειωμένα ύψη ανάμιξης και η περιορισμένη οριζόντια μεταφορά, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων και την εμφάνιση επεισοδίων ρύπανσης στην ατμόσφαιρα.

Επιπλέον, η απόθεση ρύπων στην επιφάνεια γίνεται με δύο μηχανισμούς την υγρή και την ξηρή απόθεση. Η υγρή απόθεση είναι η διαδικασία που αναφέρεται σε διαλυτοποιημένους ρύπους όπως τα νιτρικά, αμμωνιακά και θειικά συστατικά. Κατά τη διάρκεια συνθηκών ομίχλης ένα μέρος των σωματιδίων μεγαλώνει απορροφώντας νερό. Καθώς τα σταγονίδια ομίχλης καθιζάνουν πιο γρήγορα απ' ό,τι τα μικρά σωματίδια, τα σωματίδια της ατμόσφαιρας τελικά καθιζάνουν ως ομίχλη. Η συγκέντρωση των σωματιδίων τυπικά μειώνεται μετά από περιστατικά ομίχλης, αν και η υγρή απόθεση εξισορροπείται από την παραγωγή υγρών σωματιδίων από τα θειικά.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη και οι άνεμοι είναι ισχυροί συνήθως βοριάδες, τα δευτερογενή σωματίδια είναι αυτά που παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά και μεγάλη ομοιογένεια στις συγκεντρώσεις τους (*Jaeger-Voirol et al., 2000*).

### 3.4.3. Σχέση πηγής – εκπεμπόμενων σωματιδίων

Η ανάγκη κατανομής του ποσοστού της συμβολής της κάθε πηγής στο συνολικό πρόβλημα των αιωρούμενων σωματιδίων μιας περιοχής και η πρόβλεψη των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του μίγματος των αιωρούμενων σωματιδίων, οδήγησε στην προσπάθεια αποκάλυψης της σχέσης πηγής-εκπεμπόμενων σωματιδίων, μία συσχέτιση που αφορά το μέγεθος και τη χημική σύσταση του σωματιδίου, τόσο από πλευράς χημικών στοιχείων – ενώσεων, όσο και από πλευράς ποσόστωσης τους μέσα στα σωματίδια. Συμπεράσματα με σημείο αναφοράς πρώτα ένα σωματίδιο και κατόπιν μια πηγή παρατίθενται στο παρακάτω σχήμα (*Manahan, 1991; Chow, 1995*).



Σχήμα 3.15. Χημική στοιχειακή ανάλυση ανόργανου σωματιδίου και προέλευσή της.

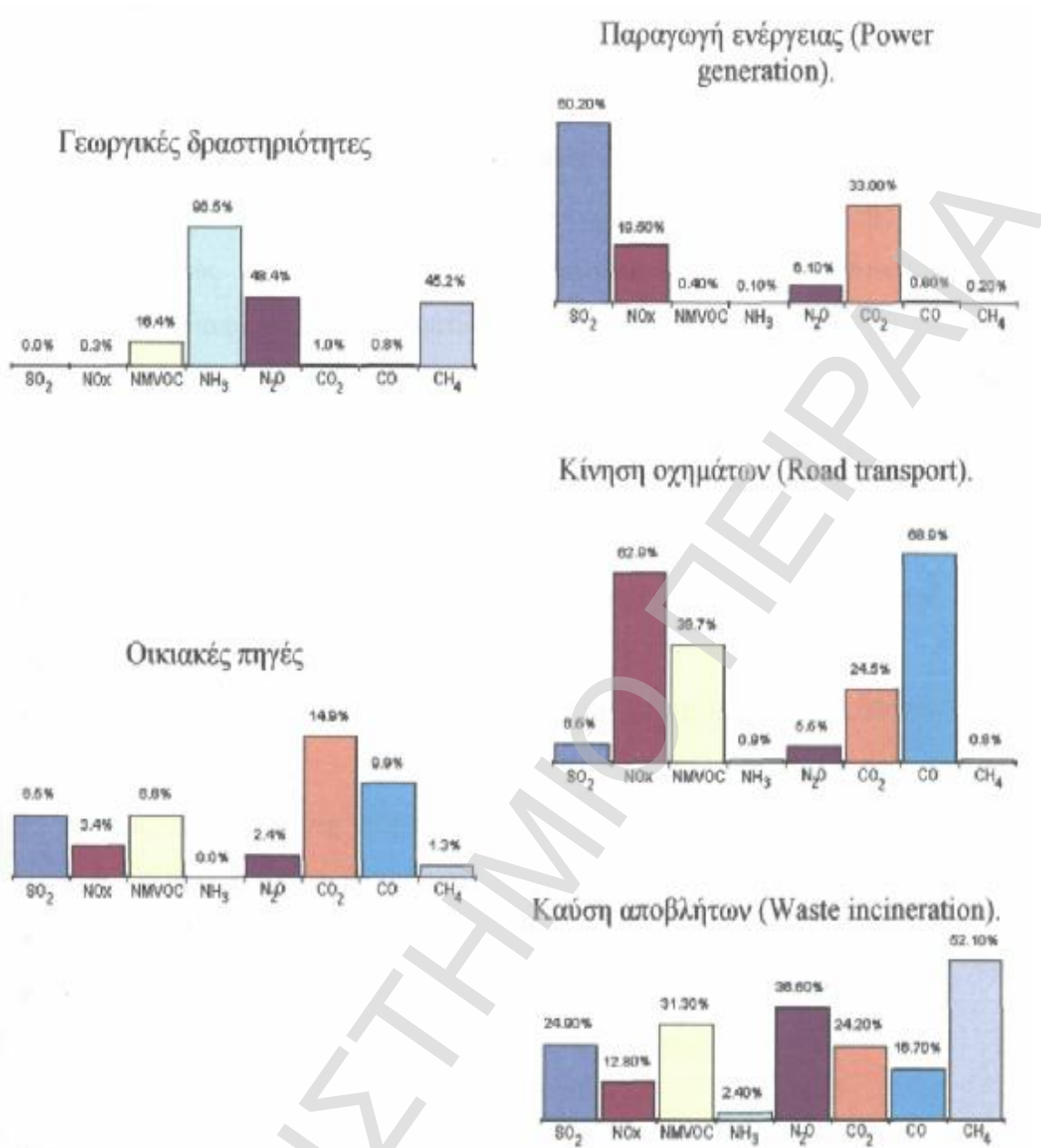
Aerosol species	Sources					
	Primary (PM <2.5 μm)		Primary (PM >2.5 μm)		Secondary PM Precursors (PM <2.5 μm)	
	Natural	Anthropogenic	Natural	Anthropogenic	Natural	Anthropogenic
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Sulfate	Sea spray	Fossil fuel combustion	Sea spray	—	Oxidation of reduced sulfur gases emitted by the oceans and wetlands and SO <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> S emitted by volcanism and forest fires	Oxidation of SO <sub>2</sub> emitted from fossil fuel combustion
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Nitrate	—	—	—	—	Oxidation of NO <sub>x</sub> produced by soils, forest fires, and lightning	Oxidation of NO <sub>x</sub> emitted from fossil fuel combustion and in motor vehicle exhaust
Minerals	Erosion and reentrainment	Fugitive dust paved and unpaved roads, agriculture, and forestry	Erosion and reentrainment	Fugitive dust, paved and unpaved road dust, agriculture, and forestry	—	—
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Ammonium	—	—	—	—	Emissions of NH <sub>3</sub> from wild animals, and undisturbed soil	Emissions of NH <sub>3</sub> from animal husbandry, sewage, and fertilized land
Organic carbon (OC)	Wild fires	Prescribed burning, wood burning, motor vehicle exhaust, and cooking	—	Tire and asphalt wear and paved road dust	Oxidation of hydrocarbons emitted by vegetation (terpenes, waxes) and wild fires	Oxidation of hydrocarbons emitted by motor vehicles, prescribed burning, and wood burning
Elemental carbon (EC)	Wild fires	Motor vehicle exhaust, wood burning, and cooking	—	—	—	—
Metals	Volcanic activity	Fossil fuel combustion, smelting, and brake wear	Erosion, reentrainment, and organic debris	—	—	—
Bioaerosols	Viruses and bacteria	—	Plant and insect fragments, pollen, fungal spores, and bacterial agglomerates	—	—	—

<sup>1</sup> Dash (-) indicates either very minor source or no known source of component.  
<sup>2</sup> Major source of each component shown in boldface type.

Πίνακας 21. Κύριες πηγές αιωρούμενων σωματιδίων σχετικές με τη χημική τους σύσταση.

Source Type	Dominant Particle size	Chemical Abundances in Percent Mass			
		< 0.1%	0.1 to 1 %	1 to 10 %	> 10 %
Paved Road Dust	Coarse	Cr, Sr, Pb, Zr	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , P, S, Cl, Mn, Zn, Ba, Ti	Elemental Carbon (EC), Al, K, Ca, Fe	Organic Carbon(OC), Si
Unpaved Road Dust	Coarse	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , P, Zn, Sr, Ba	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , P, S, Cl, Mn, Ba, Ti	OC, Al, K, Ca, Fe	Si
Construction	Coarse	Cr, Mn, Zn, Sr, Ba	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , K <sup>+</sup> , S, Ti	OC, Al, K, Ca, Fe	Si
Agricultural Soil	Coarse	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cr, Zn, Sr	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , S, Cl, Mn, Ba, Ti	OC, Al, K, Ca, Fe	Si
Natural Soil	Coarse	Cr, Mn, Sr, Zn, Ba	Cl, Na <sup>+</sup> , EC, P, S, Cl, Ti	OC, Al, Mg, K, Ca, Fe	Si
Lake Bed	Coarse	Mn, Sr, Ba	K <sup>+</sup> , Ti	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , OC, Al, S, Cl, K, Ca, Fe	Si
Motor Vehicle	Fine	Cr, Ni, Y	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Sr, Cl, Al, Si, P, Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Pb	Cl, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S	OC, EC
Vegetative Burning	Fine	Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Rb, Pt	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , S	Cl, K <sup>+</sup> , Cl <sub>2</sub> , K	OC, EC
Residual Oil Combustion	Fine	K <sup>+</sup> , OC, Cl, Ti, Cr, Co, Ga, Se	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Zn, Fe, Si	V, OC, EC, N	S, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Incinerator	Fine	V, Mn, Cu, Ag, Sn	K <sup>+</sup> , Al, Ti, Zn, Hg	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , EC, Sr, S, Ca, Fe, Br, La, Pb	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , OC, Cl
Coal-Fired Boiler	Fine	Cl, Cr, Mn, Ga, As, Se, Br, Rb, Zr	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , P, K, Ti, V, Ni, Zn, Sr, Ba, Pb	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , OC, EC, Al, S, Ca, Fe	Si
Oil-Fired Power Plant	Fine	V, Ni, Se, As, Br, Ba	Al, Si, P, K, Zn	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , OC, EC, Na, Ca, Pb	S, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Smelter Fine	Fine	V, Mn, Sb, Cr, Ti	Cd, Zn, Mg, Na, Ca, K, Se	Fe, Cu, As, Pb	S
Antimony Roaster	Fine	V, Cl, Ni, Mn	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Sb, Pb	S	None reported
Manure	Fine and Coarse	Ti, V, Ni, Sr, Zr, Pd, Ag, Sn, Sb, Pb	Al, Si, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Ba, La	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , OC, EC	Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , Na, Cl

Πίνακας 22. Τυπική χημική σύσταση και τύπος σωματιδίων σε αντιστοιχία με την πηγή.



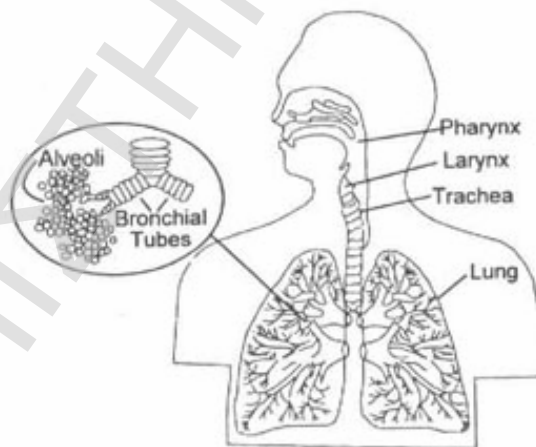
Πίνακας 23. Γενικό προφίλ διαφόρων πηγών κατά τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος.



## 4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

### 4.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η έκθεση του ανθρώπου στην αέρια ρύπανση είναι τόσο παλιά όσο και η έκθεση του στη φωτιά, όμως άρχισε να δίνεται σημασία στα προβλήματα που δημιουργεί στην ανθρώπινη υγεία αυτή του η έκθεση, μόλις στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Τότε ήταν που παρουσιάστηκαν επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως το 1930 στο Βέλγιο, το 1948 στις Η.Π.Α. και το 1952 στο Λονδίνο, με χιλιάδες νεκρούς, ενώ πολλοί ήταν και αυτοί που υπέφεραν από ενοχλήσεις στα μάτια, στο αναπνευστικό, δύσπνοια και κεφαλαλγίες. Ανάλυση του επεισοδίου που εμφανίστηκε τότε στην Αγγλία έδειξε ότι επηρεάστηκαν κυρίως οι γηραιότεροι, ιδιαίτερα όσοι έπασχαν ήδη από κάποιο καρδιοαναπνευστικό πρόβλημα και τα παιδιά. Έρευνες που έγιναν στις αρχές του 1950 στο Λονδίνο έδειξαν ότι η κατάσταση των ασθενών που έπασχαν από χρόνια βρογχίτιδα διαφοροποιούνταν ανάλογα με τα ημερήσια επίπεδα ρύπανσης, και μάλιστα τα συμπτώματα ήταν πιο ήπια όταν τα επίπεδα συγκέντρωσης του νέφους δεν ξεπερνούσαν το 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Νεότερες έρευνες για την ίδια περιοχή έδειξαν ότι τα συμπτώματα χρόνιας βρογχίτιδας μειώθηκαν καθώς η ποιότητα της ατμόσφαιρας βελτιώθηκε ([http://www.int/environmental\\_information/air/guidelines/chapter2.html](http://www.int/environmental_information/air/guidelines/chapter2.html)).



Σχήμα 4.1. Η ανατομία του αναπνευστικού συστήματος.

Η επίδραση που έχει στην ανθρώπινη υγεία η έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση καθορίζεται από το μέγεθος, τη συγκέντρωση και τη χημική σύσταση των σωματιδίων, ενώ διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με τα ωριαία επίπεδα συγκεντρώσεων των  $\text{PM}_{2.5}$  και  $\text{PM}_{10}$ .

Συνοπτικά λοιπόν, τα συμπτώματα που μπορούμε να εντοπίσουμε είναι κυρίως προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα και ενδεχόμενες καρδιακές παθήσεις. Τα

ατμοσφαιρικά σωματίδια όταν έχουν το κατάλληλο μέγεθος, είναι ικανά να εισέλθουν στο αναπνευστικό σύστημα επιδρώντας στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, προκαλώντας ταυτόχρονα βλάβες στους πνεύμονες, πνευμονικά οιδήματα, χρόνια και αλλεργική βρογχίτιδα, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και καρκινογενέσεις αλλά και πρόωρο θάνατο.

Επιπλέον, η έκθεση σε περιβάλλον υψηλής σωματιδιακής συγκέντρωσης μπορεί να αυξήσει την ευαισθησία του αναπνευστικού σε βακτηρίδια ή σε ιογενείς παθήσεις, προκαλώντας στη συνέχεια ακόμη και πνευμονία. Επιπροσθέτως, τα ενδιάμεσα σωματίδια που ελευθερώνονται μέσα στον οργανισμό κατά τη διάρκεια μίας φλεγμονώδους αντίδρασης είναι ύποπτα για να αυξήσουν τον κίνδυνο μίας συμφόρησης του κυκλοφοριακού και εν συνεχεία μίας καρδιακής προσβολής (<http://www.pmr.org>; <http://www.aqmd.gov/aqmp/97aqmp>; <http://www.particulatepollutionFAQnrdc.htm>; <http://www.epa.gov/1997-trends>).

Στις επιπτώσεις συγκαταλέγονται και κάποιες που είναι λιγότερο επώδυνες όπως ο επίμονος βήχας, οι ζαλάδες, οι ενοχλήσεις στο βλεννογόνο, η ρινίτιδα, οι αλλεργίες, οι μολύνσεις στο ιγμόρειο, η δύσπνοια και η αδιαθεσία (Ρήγας, 1997).

#### 4.1.1. Μηχανισμοί δράσης

Οι ακριβείς τοξικολογικοί μηχανισμοί με τους οποίους επηρεάζεται η ανθρώπινη υγεία από τα σωματίδια δεν είναι γνωστοί. Το αναπνευστικό σύστημα είναι ικανό να φιλτράρει τα αιωρούμενα σωματίδια με μεγέθη που, κατά την ιστορική εξέλιξη, ήταν συνήθη στον αέρα. Ωστόσο, η κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων άλλαξε ριζικά, έτσι ο αέρας που αναπνέουμε δε φιλτράρεται με την ίδια ευκολία.

Γενικά, τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 $\mu$ m κατακρατούνται και αποβάλλονται από τον οργανισμό στα σημεία εισαγωγής. Ο κύριος, λοιπόν, όγκος των χονδρόκοκκων σωματιδίων αποβάλλεται από το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Εντούτοις, ένα κλάσμα των σωματιδίων που ανήκει στα PM<sub>10</sub> μπορεί να διαφύγει από τους μηχανισμούς πρωτογενούς κατακράτησης. Το κλάσμα αυτό χαρακτηρίζεται ως εισπνεύσιμο (inhalable). Όμως, τα λεπτόκοκκα σωματίδια, PM<sub>2.5</sub> είναι αυτά τα οποία διαθέτουν την ικανότητα να εισέλθουν πιο βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα λόγω του ακόμα μικρότερου μεγέθους τους.

Σε γενικές γραμμές τα λεπτόκοκκα σωματίδια λόγω της μικρής διαμέτρου τους μπορούν να εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και στη συνέχεια εισχωρούν σε ζωτικά όργανα όπως είναι οι πνεύμονες. Υπολογίζεται ότι 20 με 60% των σωματιδίων μεγέθους μεταξύ 0.01 και 2.5 $\mu$ m που εισπνέονται, εισέρχονται στους πνεύμονες και επικάθονται πάνω σε αυτούς ([www.epa.gov/region4/pm25](http://www.epa.gov/region4/pm25)).

Τα σωματίδια αυτά κατά την πορεία τους προς τους πνεύμονες περνάνε μέσα από τους ολοένα και στενότερους βρόγχους και είναι δυνατόν να φθάσουν μέχρι και τις κυψελίδες των πνευμόνων, δια μέσου των οποίων το οξυγόνο εισέρχεται στο αίμα. Τα σωματίδια που παγιδεύονται σε αυτούς τους ιστούς είναι δυνατόν να επέμβουν στην οξυγόνωση του αίματος. Σε όλη τη διαδρομή τοξικές και καρκινογόνες ουσίες μεταφέρονται προσροφημένες αρχικά στην επιφάνεια των σωματιδίων ενώ, στη συνέχεια προσροφούνται πάνω στους πνεύμονες.

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

Όταν ξηρά αλλά διαλυτοποιημένα σωματίδια εισχωρούν στον ανθρώπινο οργανισμό όπου η σχετική υγρασία ξεπερνά το 90%, το μέγεθος τους αυξάνει σημαντικά καθώς προσροφάται σε αυτά νερό. Με τον τρόπο αυτό τα σωματίδια παίρνουν τη μορφή και το μέγεθος των σωματιδίων. Επομένως, τα σωματίδια τα οποία μπορούν να προκαλέσουν τις σοβαρότερες βλάβες στους πνεύμονες είναι τα μη υγροσκοπικά ή όσα έχουν εισέλθει υπό τη μορφή σταγονιδίων (*Harrison et al., 2000*).

#### 4.1.2. Τοξικότητα των σωματιδίων

Είναι γεγονός ότι η επιτροπή του Υπουργείου Υγείας της Μεγάλης Βρετανίας και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας δεν έχουν καταλήξει ακόμη στην ύπαρξη μιας χημικής ένωσης αρκετά τοξικής ώστε να δικαιολογεί το μέγεθος των επιπτώσεων στην υγεία που έχει η έκθεση του ατόμου στους ατμοσφαιρικούς σωματιδιακούς ρύπους. Από την άλλη πλευρά όμως, είναι αδύνατον να φανταστούμε ότι η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας δεν επηρεάζει την τοξικότητά τους (*Ostro et al., 1998*).

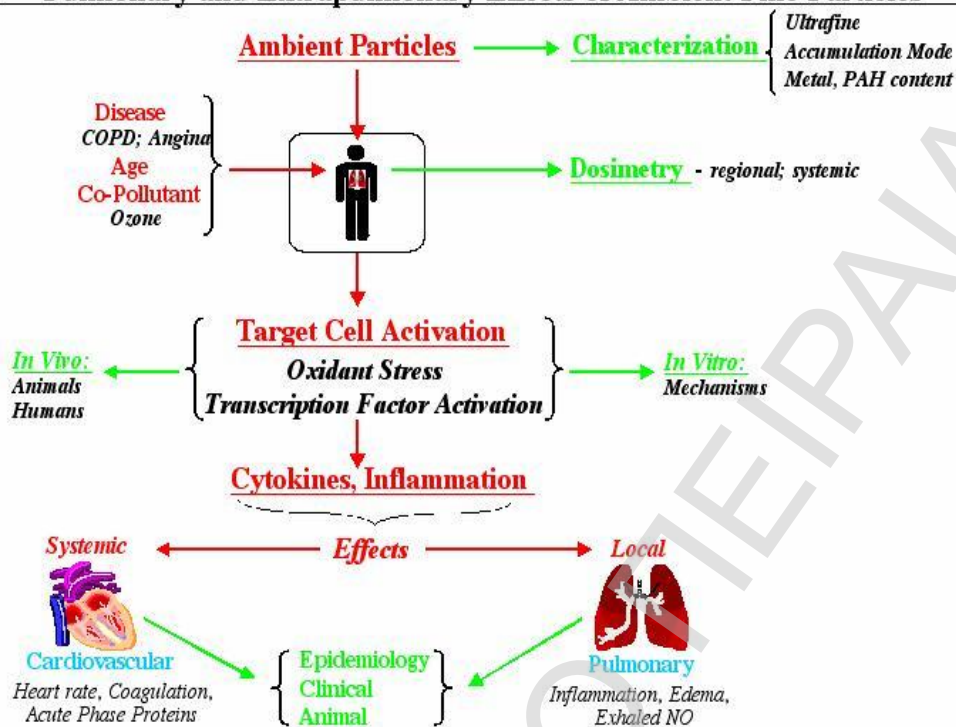
Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από συστατικά με μεγάλη διαλυτότητα όπως θεικό αμμώνιο, νιτρικό αμμώνιο και χλωριούχο νάτριο και συστατικά όπως στοιχειακός άνθρακας και διάφορες οργανικές ενώσεις, αλλά και συστατικά γεωλογικής προέλευσης όπως ο άργιλος. Οι τοξικολογικές μελέτες δέχονται ότι τα συστατικά με μεγάλη διαλυτότητα είναι αυτά που επιδεικνύουν τη μεγαλύτερη τοξικότητα (*USEPA, 2001*).

Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία όπως το κάδμιο, ο υδράργυρος και ο μόλυβδος, τα οποία αποτελούν μέρος της χημικής σύστασης των αιωρούμενων

σωματιδίων, χαρακτηρίζονται από υψηλή τοξικότητα. Η παρουσία τους σε μεγάθη μετρούμενων σωματιδίων αυξάνει σημαντικά την τοξικότητα των τελευταίων. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από τοξικολογικές μελέτες που έχουν γίνει και βασίζεται στο γεγονός ότι τα μέταλλα έχουν οξειδωτική δράση και επομένως εισάγουν ή καταλύουν χημικές αλλαγές που οδηγούν στην παραγωγή ελευθέρων ριζών όπως είναι οι ρίζες υδροξυλίου, μέσω της αντίδρασης Fenton, οι οποίες ως γνωστόν έχουν την ικανότητα να προκαλούν ερεθισμό των ιστών. Τέτοια ευρήματα είναι σημαντικά, αν και δεν είναι καταληκτικά. Κάτι εξίσου σημαντικό που μπορούμε να παρατηρήσουμε για τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία είναι ότι η χημική τους διαφοροποίηση, η βιολογική διαθεσιμότητά τους και η δυναμική τους συμμετοχή σε συγκεκριμένες χημικές δράσεις όπως είναι η αντίδραση Fenton διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τις πηγές εκπομπής τους, οπότε οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων τους ίσως να μην είναι αντιπροσωπευτικές έτσι ώστε να προσδιορίσουμε τις ακριβείς διαδικασίες δηλητηρίασης της ανθρώπινης υγείας.

Από την άλλη πλευρά, το μέγεθος των σωματιδίων έχει μεγάλη σημασία για την τοξικότητα που αυτά παρουσιάζουν. Είναι αληθές ότι τα λεπτόκοκκα σωματίδια είναι εκείνα που είναι υπεύθυνα για τις άμεσες επιπτώσεις στην υγεία. Τα  $PM_{2.5}$  εισχωρούν στο αναπνευστικό σύστημα με πολύ μεγαλύτερη ευκολία απ' ό τι τα  $PM_{10}$  λόγω του μικρότερου μεγέθους τους. Η μεγάλη όμως συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ τους δε μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε τους δύο αυτούς ρύπους και να προσδιορίσουμε το πως επιδρά ξεχωριστά ο καθένας στον άνθρωπο. Για το λόγο αυτό, κατά τις επιδημιολογικές μελέτες οι ρύποι που μετρούνται είναι κυρίως οι συγκεντρώσεις των  $PM_{10}$ , και όχι τα  $PM_{2.5}$ . Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν μελέτες που υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερα σημαντική διαφορά μεταξύ της τοξικότητας που έχουν τα  $PM_{2.5}$  και τα σωματίδια μεγέθους  $PM_{(10-2.5)}$ .

**Research Need: Multidisciplinary Approach to Evaluate  
Pulmonary and Extrapulmonary Effects of Ambient Fine Particles**



Σχήμα 4.2. Εκτίμηση των αποτελεσμάτων των λεπτόκοκκων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι πιο πρόσφατες μελέτες θεωρούν ότι τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια (ultrafine) μεγέθους κάτω των 100nm είναι εκείνα που θεωρούνται εξαιρετικής τοξικότητας. Η τοξικότητα τους φαίνεται να αυξάνει καθώς το μέγεθός τους μειώνεται. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι υπάρχει μεγαλύτερη διαθέσιμη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας για τα τοξικά στοιχεία να επικαθίσουν είτε μεμονωμένα, είτε συνολικά στην επιφάνεια των σωματιδίων.

Επιπρόσθετα, λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους επιδεικνύουν μεγαλύτερη ικανότητα ακόμη και από αυτή που έχουν τα λεπτόκοκκα να διεισδύουν στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, εισχωρώντας στους πνεύμονες και προκαλώντας λοιμώξεις του αναπνευστικού και θρομβώσεις στο αίμα (Pekkanen et al., 1997; Hughes et al., 1998).

#### 4.1.3. Συνοπτικά αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών

Οι περισσότερες επιδημιολογικές μελέτες συνδέουν περιστατικά πρόιμου θανάτου, οιδημάτων στους πνεύμονες, καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και έκτακτης εισαγωγής σε νοσοκομεία με επεισόδια σωματιδιακής φόρτισης στην ατμόσφαιρα. Το πόσο σοβαρές είναι οι επιπτώσεις της σωματιδιακής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία φαίνεται από τις μελέτες αυτές όπου σχετίζονται άμεσα με την ατμοσφαιρική συγκέντρωση των σωματιδίων. Η συσχέτιση αυτή εκφράζεται με συναρτήσεις που συσχετίζουν τη θνησιμότητα του εκτεθειμένου

πληθυσμού και των υπόλοιπων επιπτώσεων στην υγεία με τις σωματιδιακές συγκεντρώσεις. Εντούτοις, είναι αρκετά δύσκολο να προσεγγίσει κανείς μία ακριβή σχέση ανάμεσα στην έκθεση σε διάφορες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις και σε ακριβείς επιπτώσεις που αυτές έχουν στην ανθρώπινη υγεία.

Οι κατηγορίες των ανθρώπων που βρίσκονται σε μεγαλύτερο κίνδυνο είναι τα παιδιά, οι γέροι, άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα, οι καπνιστές και όσοι αθλούνται (Work, 1998; <http://www.pmra.org>).

Οι μέχρι τώρα επιδημιολογικές μελέτες ασχολούνται ως επί το πλείστον με τις επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία σε βραχυπρόθεσμη κλίμακα και λίγες μόνο έχουν ασχοληθεί με τα προβλήματα που δημιουργούνται σε μακροχρόνιο ορίζοντα. Συνοπτικά, σε διεθνές επίπεδο, οι ετήσιοι θάνατοι που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση ανέρχονται στα 2,7 εκατομμύρια, μέγεθος που αποτελεί το 33% του πληθυσμού. Περίπου τα 1,4 δισεκατομμύρια του πληθυσμού των αστικών περιοχών εκτίθενται σε πάνω από τα επιτρεπτά, επίπεδα ρύπανσης (WHO, 1999).

#### **i) Βραχυχρόνιες επιπτώσεις (short – term effects)**

##### **Ø Λατινική Αμερική**

Μία σειρά από επιδημιολογικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Λατινικής Αμερικής και πιο συγκεκριμένα στη Βραζιλία, στη Χιλή και στο Μεξικό από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Οι μελέτες στόχευαν στο να προσδιοριστεί το πώς συνδέεται η σωματιδιακή επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με την αύξηση στο ρυθμό των καθημερινών θανάτων, αλλά και τον ημερήσιο ρυθμό των εισαγωγών στα νοσοκομεία με συμπτώματα καρδιοαναπνευστικών ασθενειών.

Μία αύξηση της συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  σωματιδίων κατά  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στο Sao Paolo της Βραζιλίας συσχετίστηκε με αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας σε ποσοστό 3% για ενήλικες άνω των 65 ετών, ενώ στη Χιλή για αύξηση  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  η ημερήσια θνησιμότητα αυξήθηκε κατά 0,8%.

Σε μία άλλη μελέτη που έγινε στο Santiago της Χιλής τα επίπεδα συγκέντρωσης για τα  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  ήταν  $16\text{-}270 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $10\text{-}156 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε λοιπόν, ότι όταν η συγκέντρωση των  $PM_{10}$  αυξήθηκε κατά  $63,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  κατά τη διάρκεια δύο ημερών σημειώθηκε μία αύξηση του ποσοστού των εισαγωγών στα νοσοκομεία με αναπνευστικά προβλήματα κατά 2%. Επίσης στην ίδια μελέτη, η αύξηση της συγκέντρωσης των  $PM_{2.5}$  κατά  $36,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  σχετίστηκε με την κατά 2,2% αύξηση στον αριθμό των ατόμων που

επισκέφθηκαν το νοσοκομείο και με την κατά 5,4% αύξηση του αριθμού των ατόμων που παρουσίασαν συμπτώματα πνευμονικών οιδημάτων μέσα σε διάστημα τριών ημερών.

### Ø Η.Π.Α.

Σε μια μελέτη που έγινε στη Coachella Valley στην Καλιφόρνια, μια περιοχή απομονωμένη και έρημη με κύρια πηγή των σωματιδιακών ρύπων τα γεωλογικά υλικά, βρέθηκε ότι σε περιόδους σωματιδιακών επεισοδίων οι ημερήσιοι θάνατοι λόγω καρδιοαναπνευστικών προβλημάτων αποτελούσαν το 1,8% του συνόλου των θανάτων, ενώ το 90% αυτών αναφέρονταν σε άτομα ηλικίας άνω των 50 ετών (*Ostro et al., 1999*).

### Ø Αυστραλία

Στο Brisbane της Αυστραλίας βρέθηκε σχέση μεταξύ των καθημερινών θανάτων σε άτομα ηλικίας άνω των 65 ετών και της επιβαρημένης ατμόσφαιρας (*Chan et al., 2000*).

### Ø Ευρώπη

Από τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών που μέχρι τώρα έχουν δημοσιευθεί, η Επιτροπή για τις επιπτώσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία του Βρετανικού Υπουργείου Υγείας (COMEAP – Committee on the Medical Effects of Air Pollution), μετά από έρευνα της βιβλιογραφίας, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μία αύξηση της 24-ωρης συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  κατά  $10\mu g/m^3$  έχει σαν αποτέλεσμα μία αύξηση στους θανάτους σε ποσοστό 0,75% και μία αύξηση του αριθμού των εισαγωγών στο νοσοκομείο με αναπνευστικά προβλήματα σε ποσοστό 0,8% σε ημερήσιο επίπεδο (*Mitchell et al., 2000*).

Ύστερα από μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε Ευρωπαϊκές πόλεις (EXPOLIS study) βεβαιώνεται ότι (*Jantunen et al.*):

- Ø Αύξηση  $10\mu g/m^3$  της 24-ωρης τιμής των  $PM_{10}$  οδηγεί σε 1% αύξηση στους καθημερινούς θανάτους,
- Ø Αύξηση  $100\mu g/m^3$  της 24-ωρης τιμής των  $PM_{10}$  οδηγεί σε 12,19% αύξηση στους καθημερινούς θανάτους,
- Ø Αύξηση  $50\mu g/m^3$  της 24-ωρης τιμής των  $PM_{10}$  οδηγεί σε 25% αύξηση σε συνολικές νοσοκομειακές εισαγωγές,
- Ø Αύξηση  $25\mu g/m^3$  της 24-ωρης τιμής των  $PM_{10}$  οδηγεί σε 12% αύξηση του βήχα σε ασθματικούς.

## ii) Μακροχρόνιες επιπτώσεις (Long – term effects)

Μελέτες οι οποίες ασχολήθηκαν με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από αιωρούμενα σωματίδια σε μακροχρόνιο ορίζοντα πραγματοποιήθηκαν από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και αφορούσαν διάφορες περιοχές του κόσμου. Αποτελέσματα των ερευνών τους παρουσιάζονται ακολούθως.

### Ø Λατινική Αμερική

Λίγες είναι οι μελέτες που έχουν ασχοληθεί με τις επιπτώσεις που έχει η μακροχρόνια έκθεση του ατόμου στη σωματιδιακή ρύπανση. Σε μία μελέτη στο Rio de Janeiro βρέθηκε μία σχέση μεταξύ της μέσης συγκέντρωσης των ολικών σωματιδίων (TSP) και του αριθμού των βρεφικών θανάτων. Μάλιστα, βρέθηκε ότι για αύξηση 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  η θνησιμότητα ανάμεσα στα βρέφη λόγω πνευμονικών οιδημάτων αυξήθηκε κατά 2,2% για πληθυσμό 10.000.

### Ø Κίνα

Στην Κίνα οι επιδημιολογικές μελέτες αποδεικνύουν μία σχέση μεταξύ του καρκίνου του πνεύμονα και της μακροχρόνιας έκθεσης σε υψηλές σωματιδιακές συγκεντρώσεις. Μία έρευνα που έγινε σε 26 πόλεις ανάμεσα σε 50 εκατομμύρια κατοίκους με μέσα 24-ωρα επίπεδα συγκέντρωσης των  $\text{PM}_{10}$  ίσα με 460  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , οι θάνατοι από καρκίνο του πνεύμονα ανέρχονταν στο 14% του συνόλου των θανάτων. Επιπλέον, στην ίδια έρευνα αποδείχθηκε ότι μία αύξηση της μέσης ετήσιας τιμής των TSP ίση με 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  οδηγεί σε 6,75% αύξηση των περιστατικών χρόνιας βρογχοπνευμονίας.

### Ø Αυστραλία

Στο Sydney της Αυστραλίας αύξηση του 10<sup>ου</sup> και 90<sup>ου</sup> εκατοστημορίου στην ετήσια μέση συγκέντρωση σχετίστηκε με αύξηση των καρδιακών ασθενειών, σε άτομα ηλικίας 65 ετών και άνω, σε ποσοστό 2,82% (WHO, 1999).

### Μελέτες σε παιδιά

Ένας μέσος ενήλικας εισπνέει 13.000 λίτρα αέρα την ημέρα, ενώ τα παιδιά εισπνέουν τουλάχιστον 50% μεγαλύτερη ποσότητα αέρα. Η εισπνοή λεπτόκοκκων σωματιδίων από τα παιδιά πιστεύεται ότι προκαλεί άμεσα και χρόνια προβλήματα στο αναπνευστικό όπως είναι το άσθμα. Μάλιστα, το 42% των περιπτώσεων που πάσχουν από άσθμα είναι παιδιά (<http://www.epa.gov/region4/pm2.5>).



Από μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας σε παιδιά μεταξύ 7 και 12 ετών σε πέντε σχολεία στο κέντρο του Κιουρίο και σε τρία σχολεία στα περίχωρα του Κιουρίο μέσα στο χρονικό διάστημα του ενός έτους έδειξε ότι μεταξύ 2.554 παιδιών το 54% διαγνώστηκε από γιατρό ότι έπασχε από άσθμα και το 30% παρουσίασε συμπτώματα αλλεργίας. Το 57% των παιδιών της μελέτης έπασχε από χρόνια συμπτώματα επίμονου βήχα.

Στο Cubatao της Βραζιλίας συμπέραναν μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων παιδιών, έπειτα από μακροχρόνια έκθεσή τους σε αυξημένα επίπεδα σωματιδιακών ρύπων. Παιδιά που διέμεναν σε περιοχές που παρουσίαζαν μέγιστη ρύπανση είχαν πιο έντονα συμπτώματα πνευμονικής ανεπάρκειας. Στη Χιλή αναφέρθηκε ότι παιδιά που έμεναν στο Santiago, που είναι μία αστική περιοχή με ιδιαίτερα επιβαρημένη ατμόσφαιρα, παρουσίασαν λοιμώξεις του άνω αναπνευστικού συστήματος και των πνευμόνων.

Παράλληλα στην Ιαπωνία ανάμεσα σε 15.000 παιδιά σημειώθηκε μία συσχέτιση μεταξύ ασθματικών συμπτωμάτων και μέσων επιπέδων συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  μεταξύ 25 και  $57\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Επιπλέον αποτελέσματα ερευνών ανάμεσα σε παιδιά με χρόνια αναπνευστικά προβλήματα που διεξάγονται στο Μεξικό έδειξαν ότι μία αύξηση στη συγκέντρωση των σωματιδίων  $PM_{10}$  της τάξης των  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  είχε σαν συνέπεια αύξηση σε ποσοστό 4% των παιδιών που παρουσίασαν ελαφρά αναπνευστικά προβλήματα και 0,35% των σοβαρών αναπνευστικών προβλημάτων. Στην ίδια μελέτη αύξηση της συγκέντρωσης των  $PM_{2.5}$  κατά  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  είχε σα συνέπεια αύξηση 8% των περιστατικών με αναπνευστικά προβλήματα (WHO, 2000).

Κατά τη διάρκεια των χειμερινών περιόδων για τα έτη 1992-1994, σε μια μελέτη σε αστικές και σε μη-αστικές περιοχές της Ολλανδίας, καταγράφονταν καθημερινά οι περιπτώσεις αναπνευστικών προβλημάτων και ένας δείκτης αναπνευστικής λειτουργίας (PEF – peak expiratory flow – μέγιστη ροή εκπνοής) σε ομάδες παιδιών 7-11 ετών, προκειμένου να εκτιμηθεί η συσχέτιση τους με διάφορους ρύπους. Η έρευνα κατέδειξε τη μεγάλη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  και των συμπτωμάτων του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος καθώς και της μείωσης του PEF, ιδίως σε παιδιά με αναπνευστικά προβλήματα. Αποδείχθηκε ακόμη ότι η χρήση βρογχοδιαλυτικών για το άσθμα δεν προλαμβάνει την αρνητική επίδραση των σωματιδίων σε παιδιά με αντίστοιχα προβλήματα (Van de Zee et al., 1999).

#### *Μελέτες σε ηλικιωμένα άτομα*

Έχει αποδειχθεί ότι τα άτομα μεγάλης ηλικίας (άνω των 65 ετών), είναι 1,5-3 φορές πιο πιθανό απ' ότι είναι τα άτομα νεότερης ηλικίας να έχουν επιπλοκές στην υγεία τους λόγω της αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Π.χ. σε μία μελέτη αναφέρεται ότι τα άτομα ηλικίας άνω

των 65 ετών διατρέχουν κίνδυνο 1,08 φορές μεγαλύτερο να εισέλθουν στο νοσοκομείο επειγόντως λόγω αναπνευστικών προβλημάτων κατά την έκθεσή τους σε υψηλές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> (Williams et al., 2000; Ostro et al., 1998).

#### 4.2. Επιπτώσεις στην ορατότητα

Σύμφωνα με το μετεωρολογικό ορισμό, η ορατότητα είναι η μεγαλύτερη απόσταση κατά ορισμένη διεύθυνση στην οποία μπορεί το μάτι να αναγνωρίσει κατά την ημέρα ένα χαρακτηριστικό αντικείμενο στον ορίζοντα, και κατά τη νύχτα μία σαφή, μη εστιασμένη, φωτεινή πηγή μέτριας έντασης.

Εξαρτάται από την ικανότητα του ματιού να διακρίνει ένα αντικείμενο ανάλογα με την αντίθεση που αυτό έχει με το υπόβαθρο, και από τη μετάδοση του φωτός στην ατμόσφαιρα. Η μεταβολή στην αντίθεση οφείλεται στη σκέδαση και την απορρόφηση του φωτός από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας (Work et al., 1998).

Σύμφωνα με έναν άλλο ορισμό, η ορατότητα είναι ο βαθμός στον οποίο η ατμόσφαιρα είναι διαυγής και χαρακτηρίζεται από απόλυτη καθαρότητα χρώματος, όταν διαπερνάται από το ορατό φως. Η οπτική ακτίνα είναι η μεγαλύτερη απόσταση στην οποία ένα μαύρο αντικείμενο μπορεί να γίνεται διακριτό στον ορίζοντα. Η εξασθένηση της ορατότητας χαρακτηρίζεται από την εξασθένηση της έντασης του φωτός, της οπτικής ακτίνας, της αντίθεσης που υπάρχει στον ορίζοντα και της απόχρωσης.

Η εξασθένηση της ορατότητας σχετίζεται άμεσα με τα σωματίδια της ατμόσφαιρας, την κατανομή του μεγέθους τους, με τη χημική σύσταση του αερολύματος και με τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας. Με την αύξηση της σχετικής υγρασίας, το ποσό της υγρασίας που είναι διαθέσιμο στα σωματίδια για απορρόφηση αυξάνει, οπότε αυξάνουν και τα σωματίδια σε όγκο και σε μάζα. Αυτή η αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων οδηγεί σε αύξηση του ποσοστού της ακτινοβολίας που σκεδάζεται. Βασιζόμενοι στην παραπάνω παρατήρηση, μπορούμε να εξηγήσουμε γιατί η ορατότητα σε ξηρά κλίματα είναι καλύτερη από ότι είναι στα υγρά κλίματα (<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.hmt>).

Οι σχέσεις που συνδέουν την ορατότητα με τη συγκέντρωση των σωματιδίων και την ακτίνα τους είναι οι ακόλουθες:

$$L_u = \frac{5.2 p_p r}{KC}$$

$$L_u = \frac{1.2 \cdot 10^3}{C}$$

όπου  $L_w$ : η ορατότητα

$r$ : η ακτίνα των αιωρούμενων σωματιδίων

$K$ : μία σταθερά

$C$ : η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων

$P_p$ : η σωματιδιακή πυκνότητα

Οι παραπάνω εξισώσεις βασίζονται σε εμπειρικές διαπιστώσεις για τα σωματίδια και όταν η υγρασία ξεπερνά το 70% έχουν σημαντικό σφάλμα εφόσον μεγάλο μέρος των σωματιδίων παίρνει τη μορφή των σταγονιδίων.

Καθώς το φως διέρχεται στην ατμόσφαιρα εκτρέπεται από την ευθύγραμμη πορεία λόγω των φαινομένων της ανάκλασης, της διάθλασης και της σκέδασης που υφίσταται από τα σωματίδια που υπάρχουν στη γήινη ατμόσφαιρα. Ένα μέρος των εκπεμπόμενων φωτονίων ακολουθεί ευθύγραμμη πορεία και καταλήγει κατευθείαν στο μάτι. Ένα άλλο μέρος σκεδάζεται από τα σωματίδια και δε γίνεται ορατό από το μάτι. Ένα τρίτο μέρος απορροφάται από τα σωματίδια και πάλι δε γίνεται ορατό από το ανθρώπινο μάτι. Τέλος, υπάρχουν φωτόνια τα οποία λόγω της σκέδασης που υφίστανται περισσότερο από μία φορές καταλήγουν στο ανθρώπινο μάτι με διαφορετική διεύθυνση από την αρχική.

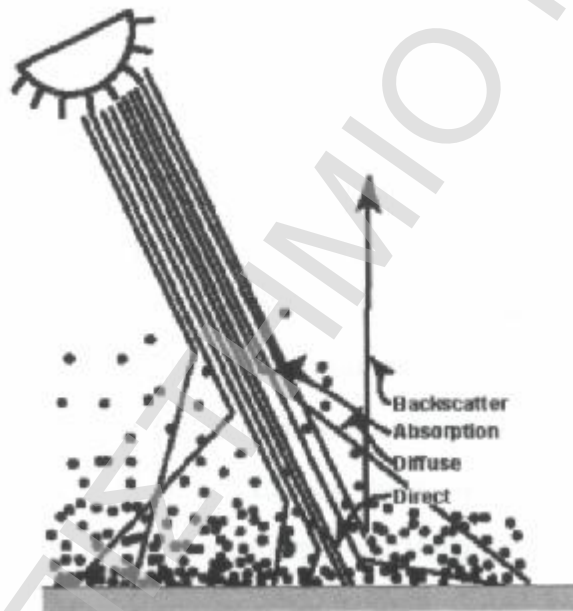
Ο λόγος της διαμέτρου του σωματιδίου προς το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπει το φως καθορίζει εάν το φωτόνιο θα απορροφηθεί ή θα σκεδαστεί από τα σωματίδια. Στην περίπτωση που η διάμετρος του σωματιδίου είναι μεγαλύτερη από το μήκος κύματος, το φωτόνιο θα απορροφηθεί ή εάν είναι πολύ μεγάλο σε μέγεθος θα ανακλαστεί. Εφόσον η διάμετρος του σωματιδίου είναι σημαντικά μικρότερη από το μήκος κύματος του φωτός το φωτόνιο δε θα απορροφηθεί, αλλά ούτε θα σκεδαστεί. Τέλος, εάν η διάμετρος του σωματιδίου και το μήκος κύματος είναι περίπου της ίδιας τάξης μεγέθους, το φωτόνιο θα σκεδαστεί.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που περιγράφει τη συμπεριφορά των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ανάλογα με το μέγεθός τους, είναι ότι τα λευκά σύννεφα δεν οδηγούν σε βροχή σε αντίθεση με τα μαύρα σύννεφα. Τα λευκά σύννεφα αποτελούνται από λεπτόκοκκα σωματίδια, τα οποία σκεδάζουν την ηλιακή ακτινοβολία. Αντιθέτως, το μαύρο χρώμα οφείλεται στη σύστασή τους από μεγαλύτερα σωματίδια, τα οποία είναι αρκετά μεγάλα ώστε να απορροφούν την ακτινοβολία και να πέσουν ως σταγόνες βροχής.

Τα αέρια σωματίδια με ιδιαίτερα μικρό μέγεθος (0,5nm) σκεδάζουν το φως (σκέδαση Raleigh), όχι όμως με την ίδια ικανότητα που το σκεδάζουν τα μεγαλύτερα σωματίδια (0,3 με 0,6μm). Η σκέδαση από τα μόρια ή από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας ευθύνεται για τις αλλαγές

του χρώματος του φωτός. Εφόσον, το μήκος κύματος του γαλάζιου φωτός είναι μικρότερο από αυτό του κόκκινου φωτός, η αναλογία μήκος κύματος προς μέγεθος σωματιδίου είναι μικρότερη για το γαλάζιο χρώμα από ότι είναι για το κόκκινο. Το χρώμα λοιπόν του ουρανού είναι γαλάζιο όταν ο ήλιος (φωτεινή πηγή) είναι σε μεγάλη απόσταση από τον παρατηρητή και η ακτινοβολία σκεδάζεται από τα μόρια οξυγόνου, που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, πλευρικά. Κατά το ηλιοβασίλεμα όμως, όταν ο ήλιος ευθυγραμμίζεται με το ανθρώπινο οπτικό πεδίο, το μεγαλύτερο μέρος της γαλάζιας ακτινοβολίας σκεδάζεται μακριά από το ανθρώπινο οπτικό πεδίο. Το χρώμα του ήλιου είναι πιο κόκκινο κατά τη δύση και όχι κατά την ανατολή, λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης σωματιδίων τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτό οφείλεται στη θέρμανση του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία.

Η σκέδαση και η απορρόφηση του φωτός χρησιμοποιούνται ως ένας τρόπος προσδιορισμού των εκπομπών των σωματιδίων από μία καμινάδα αλλά και από άλλες πηγές.



Σχήμα 4.3. Μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.

Αυτό ονομάζεται αδιαφάνεια (opacity) και είναι το επί τοις εκατό ποσοστό του φωτός που παρεμποδίζεται κατά τη διέλευση του μέσα από μια διαφυγούσα εκπομπή ρύπων από καμινάδα. Ο τύπος που δίνει την αδιαφάνεια είναι:

$$Opacity = \frac{I - I_o}{I_o} \cdot 100\%$$

Η Ε.Ρ.Α. (Environmental Protection Agency) παρακολουθεί το φαινόμενο της εξασθένησης της ορατότητας και συλλέγει δεδομένα από το 1960 έχοντας τοποθετήσει 280

σταθμούς παρατήρησης του φαινομένου σε περιοχές κοντά σε αεροδρόμιο. Σε αυτούς τους σταθμούς γίνονται μετρήσεις της οπτικής ακτίνας και καταρτίστηκαν χάρτες, οι οποίοι δείχνουν το ποσό της ομίχλης κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών μέσα στις δεκαετίες του 1970, 1980 και 1990.

Το 1987 άρχισε στις Η.Π.Α. μία σημαντική προσπάθεια για την εκτίμηση της ορατότητας. Η προσπάθεια αυτή ήταν μία συνεργασία της E.P.A., των πολιτειών, του Εθνικού Οργανισμού Προστασίας των Πάρκων (National Park Service), (U.S. Forest Service), (Bureau of Land Management), (U.S. Fish and Wildlife Service).

Σε 156 εθνικά πάρκα συνολικής έκτασης 5.000 εκταρίων, εγκαταστάθηκαν σταθμοί μέτρησης των σωματιδίων, όπου αποτίμησαν τη συνολική συγκέντρωση των σωματιδίων και τη συσχέτισαν με τις πηγές εκπομπής τους ([www.epa.gov/1997-trends](http://www.epa.gov/1997-trends)).

Η μείωση της ποιότητας της ορατότητας είναι ιδιαίτερα εμφανής στις Ανατολικές Η.Π.Α. και στη βόρεια Καλιφόρνια. Στις Η.Π.Α. σημαντικός παράγοντας εξασθένησης της ορατότητας είναι η σκέδαση που υφίσταται το φως από τα θειικά σωματίδια και σε μικρότερο βαθμό από τα νιτρικά σωματίδια, τα γεωλογικά υλικά και την αιθάλη. Η ομίχλη στον ουρανό των Η.Π.Α. έχει αυξηθεί κατά 80% από το 1950 λόγω των θεικών και είναι ιδιαίτερα ορατή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα νιτρικά συνεισφέρουν περίπου 40% στην ολική σκέδαση του φωτός και σε κάποιες πολιτείες μόνο 10-20%.

Τα οργανικά σωματίδια είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που συντελεί στη μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας των περισσότερων πόλεων στις Η.Π.Α. και πιο συγκεκριμένα, των πολιτειών του Oregon, Idaho, Pacific Northwest και Montana όπου ευθύνονται για το 4-4,5% της συνολικής μείωσης. Επιπλέον, ο οργανικός άνθρακας συμμετέχει σε ποσοστό 15-20% στη συνολική εξασθένηση της καθαρότητας της ατμόσφαιρας στις δυτικές Η.Π.Α. και σε ποσοστό 20-30% στις υπόλοιπες Η.Π.Α.

Η παρουσία χονδρόκοκκων σωματιδίων και μάλιστα γεωλογικής προέλευσης, θεωρούνται πρωταρχικώς οι κύριοι υπεύθυνοι για τη μείωση της ορατότητας στη νότια California, στη Nevada, στο Oregon, στο νότιο Idaho και στο δυτικό Wyoming. Η σκόνη που μεταφέρεται στη νότια California σχετίζεται με την ομίχλη που παρουσιάζεται στο Grand Canyon.

Το 1997 ένα νέο πρόγραμμα βελτίωσης της ορατότητας ξεκίνησε στα εθνικά πάρκα των Η.Π.Α. Όταν το πρόγραμμα τελειώσει θα δώσει μία εκτίμηση για το ποιες πολιτείες πήραν μέτρα για τη βελτίωση της ορατότητας και κατά συνέπεια και για τη μείωση των εκπομπών των ρύπων. Επιπλέον, θα αποτελέσει μία εναρκτήρια δύναμη για την κατάστρωση σχεδίων δράσης έναντι της εξασθένησης της ορατότητας. Οι στρατηγικές αυτές θα αποβλέπουν στην αντιμετώπιση των λεπτόκοκκων σωματιδίων, εφόσον η παρουσία τους

κρίνεται πιο σημαντική έναντι των χονδρόκοκκων.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά οι ρύποι μεγέθους σωματιδίων που συμβάλλουν στη μείωση της ορατότητας στις Η.Π.Α.

	<i>West</i>	<i>East</i>
<i>Θειικά</i>	25-65%	> 60%
<i>Οργανικός άνθρακας</i>	15-35%	10-15%
<i>Νιτρικά</i>	5-45%	10-15%
<i>Στοιχειακός άνθρακας (soot)</i>	15-25%	10-15%
<i>Γεωλογικά σωματίδια (soil dust)</i>	10-20%	10-15%

Πίνακας 24. Οι κυριότεροι ρύποι μεγέθους σωματιδίων που συνεισφέρουν στη μείωση της ποιότητας της ορατότητας και το ποσοστό συμμετοχής του καθενός στις ανατολικές και δυτικές Η.Π.Α.

#### 4.3. Επιπτώσεις στο κλίμα

Η θερμοκρασία της γης είναι δυνατόν να αυξηθεί εξαιτίας της αύξησης της μετάδοσης της ηλιακής υπέρυθρης ακτινοβολίας (UV-B) μέσα στην ατμόσφαιρα της γης και δευτερευόντος εξαιτίας της μείωσης του όζοντος της στρατόσφαιρας λόγω των ανθρόπινων εκπομπών χλωροφθοριωμένων υδρογονανθράκων (CFC<sub>s</sub>) και άλλων ρύπων (φαινόμενο του θερμοκηπίου – greenhouse effect). Επομένως, το μέλλον της ατμόσφαιρας εξαρτάται από το ποσό των εκπεμπόμενων ρύπων, το μέγεθός τους και τη χημική τους σύσταση. Βέβαια, η παρουσία των σωματιδιακών ρύπων δεν είναι τόσο επικίνδυνη και απειλητική όσο είναι η παρουσία των αερίων του θερμοκηπίου.

Οι φυσικές διαδικασίες που ευθύνονται για τη μετάδοση της ηλιακής υπέρυθρης και ορατής ακτινοβολίας είναι οι ίδιες που ευθύνονται για την εξασθένηση της ορατότητας. Η σκέδαση του ηλιακού φωτός και η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι οι διαδικασίες που καθορίζουν την επίδραση των σωματιδίων στην ηλιακή ακτινοβολία. Υπολογίζεται ότι το ποσοστό της εξερχόμενης UV-B ακτινοβολίας που δεσμεύεται από τα σύννεφα στην ατμόσφαιρα είναι το 86% της εισερχόμενης. Είναι αληθές, ότι τα σύννεφα είναι κυρίως υπεύθυνα για την παγίδευση της εξερχόμενης ακτινοβολίας.

Δυστυχώς, μετρήσεις που να δείχνουν τις μεταβολές στη συγκέντρωση των σωματιδίων συναρτήσει της UV – B ακτινοβολίας δεν υπάρχουν (<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>; USEPA, 2001).

Επιπλέον, τα σωματίδια είναι δυνατόν να επηρεάσουν το κλίμα της ατμόσφαιρας με έμμεσο τρόπο. Συγκεκριμένα, είναι πιθανό να δράσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης προκαλώντας το σχηματισμό σταγόνων, στερώντας έτσι τα σύννεφα από τα ογκωδέστερα σταγονίδια τους. Παράλληλα, με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των νεφών στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια που εμφανίζουν αυτή τη δραστηριότητα είναι τα λεπτόκοκκα, υγροσκοπικά σωματίδια και όχι τα χονδρόκοκκα, τα οποία έχουν υδρόφοβο χαρακτήρα (Noel, 1995).

Τα σωματίδια όμως, δύνανται να επηρεάσουν με την παρουσία τους και με χημικό τρόπο τη μετάδοση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα, είναι υπεύθυνα για το ρυθμό και την πορεία των φωτοχημικών δράσεων στην ατμόσφαιρα. Εξαρτώμενος από το ποσό των συστατικών που απορροφούνται από τα σωματίδια, ο ρυθμός των φωτοχημικών δράσεων μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί (<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>; USEPA, 2001).

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία της γης αυξηθεί, δραματικές αλλαγές θα συντελεστούν όσον αφορά το κλίμα της σε παγκόσμια κλίμακα. Μία προσέγγιση του προβλήματος σε μακροχρόνια κλίμακα γίνεται με προγράμματα εξομοίωσης σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η αύξηση της θερμοκρασίας στην Ανταρκτική θα έχει ως αποτέλεσμα να λιώσουν οι πάγοι και να ανέλθει το επίπεδο της θάλασσας, γεγονός που ελλοχεύει τον κίνδυνο των πλημμύρων και την εξαφάνιση των παραθαλάσσιων περιοχών και νησιών. Παράλληλα, πολλές περιοχές κινδυνεύουν να μετατραπούν σε ερήμους. Οι γεωργικές και καλλιεργήσιμες περιοχές, οι οποίες θρέφουν κατά μεγάλο μέρος τον πληθυσμό της γης, θα υποφέρουν από ξηρασία και θα εξαφανιστούν σταδιακά (Noel, 1995).

Οι μέχρι τώρα εκτιμήσεις για το παγκόσμιο κλίμα είναι ότι η μέση θερμοκρασία στη γη θα αυξηθεί κατά 0,2-0,5°C μέσα στην επόμενη δεκαετία. Αυτή η πρόβλεψη κρίνεται ιδιαίτερα αισιόδοξη εάν λάβει κανείς υπόψη του την κατακόρυφη αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία δύο χρόνια και το γεγονός ότι κάποιες μέρες του φετινού χειμώνα διέφεραν θερμοκρασιακά κατά 7 και πλέον βαθμούς Κελσίου από τον περσινό.

#### 4.4. Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Τα φυτά εκτίθενται στη σωματιδιακή μόλυνση είτε μέσω του φυλλώματος τους, είτε μέσω της αναρρόφησης από τις ρίζες τους. Τα υδρόφιλα σωματίδια διαλύονται στο νερό και είναι ευκολότερη η απορρόφησή τους από το φυτό. Υποστηρίζεται ότι ο συνδυασμός των σωματιδίων με άλλους ρύπους όπως είναι το SO<sub>2</sub> ενισχύει την προσβολή τους από βαρέα μέταλλα.

Τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτίθενται στα φύλλα των φυτών, μειώνοντας την ανταλλαγή ζωτικών, για το φυτό, αερίων, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της επιφάνειας και επιβραδύνοντας τη φωτοσύνθεση, οπότε τα φύλλα του κιτρινίζουν (χλωρίωση – chlorosis).

Επιπλέον, φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά και η υγεία των ζώων. Ύστερα από πειράματα που έχουν γίνει πάνω στα ζώα σε εργαστηριακή κλίμακα, φαίνεται ότι οι επιπτώσεις των σωματιδίων πάνω τους είναι ανάλογες με αυτές που υφίσταται ο άνθρωπος (π.χ. καρκίνος, λοιμώξεις των πνευμόνων και θάνατος ακόμη και στα νεογέννητα ζώα).

Η επιρροή όμως, στα ζώα είναι και έμμεση μέσω της διατροφής τους με φυτά, των οποίων οι αστοί έχουν επηρεαστεί από τα σωματίδια και από τοξική ύλη. Η τοξική αυτή ύλη είναι δυνατόν να απορροφηθεί και από τους ιστούς των ζώων. Η ασθένεια που μπορεί να διαγνωστεί πλέον στα ζώα, ύστερα από κατάποση ρυπασμένων φυτών είναι η φθορίαση (fluorosis) (*Work et al., 1998; Noel et al., 1995*).

#### 4.5. Επιπτώσεις στα υλικά

Τα περισσότερα μέταλλα αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και με άλλα συστατικά ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα μέταλλα και τα κεραμικά αποσυντίθεται καταστροφικά, τα πολυμερή μπορούν να γίνουν ψαθυρά. Τα μέταλλα μπορούν να καταναλωθούν ομοιογενώς ή εκλεκτικά ή μπορούν να παρουσιάσουν ρωγμές οδηγώντας σε πρόωρη αστοχία (*Μοροπούλου Α.*)

Τα σωματίδια μπορεί να είναι εκ φύσεως είτε χημικά αδρανή, είτε χημικά ενεργά. Συνεπώς, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και τις φυσικές τους ιδιότητες τα σωματίδια μπορούν να καταστρέψουν τα μεταλλικά υλικά πάνω στα οποία επικάθονται. Είναι δυνατόν, να προκαλέσουν άμεση χημική καταστροφή, είτε με κατευθείαν διαβρωτική δράση των ιδίων, είτε με τη δράση διαβρωτικών χημικών ουσιών, οι οποίες προσροφούνται σε αδρανή σωματίδια.

Υπό κανονικές συνθήκες, τα μέταλλα δύνανται να αντισταθούν στη διάβρωση είτε από τον καθαρό και ξηρό αέρα, είτε από τον καθαρό και υγρό αέρα. Εντούτοις, τα υδροσκοπικά σωματίδια τα οποία βρίσκονται συνήθως στην ατμόσφαιρα μπορούν να προσβάλλουν τις μεταλλικές επιφάνειες παρουσία άλλων ρύπων, όπως είναι SO<sub>2</sub>, αλλά και ανεξάρτητα αυτών. Είναι χαρακτηριστικά τα παραδείγματα της διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών εξαιτίας της έκθεσής τους στα ατμοσφαιρικά σωματίδια, όπως η διάβρωση επιφανειών από χάλυβα και ψευδάργυρο σε συγκεντρώσεις TSP άνω των 60 μg/m<sup>3</sup> (*Work et al., 1998; Noel et al., 1995*).

Υλικά κατασκευής κτηρίων (μέταλλα, πέτρες, τσιμέντο και μογιές), υφίστανται φυσική φθορά λόγω της μακροχρόνιας έκθεσής τους στο περιβάλλον και στα διάφορα περιβαλλοντικά φαινόμενα (αέρας, υγρασία, έντονες θερμοκρασιακές μεταπτώσεις, ηλιακή



ακτινοβολία κοκ.). Οι μεταλλικές επιφάνειες σχηματίζουν ένα προστατευτικό φιλμ, ενάντια στη διάβρωση από περιβαλλοντικά αίτια. Η φυσική διάβρωση των μετάλλων κατά την έκθεσή τους στο περιβάλλον συνδέεται με την έκθεση αυτών σε ανθρωπογενείς ρύπους και ιδιαιτέρως στο SO<sub>2</sub> το οποίο καταστρέφει σταδιακά το προστατευτικό φιλμ.

Ένα άμεσο αποτέλεσμα των σωματιδίων πάνω στις επιφάνειες είναι η επικάλυψή τους πάνω σε αυτές δημιουργώντας έτσι ένα στρώμα χρώματος. Η διαδικασία αυτή της επιχωμάτωσης αλλάζει την ανάκλαση που παθαίνει το ορατό φως όταν προσπίπτει σε ένα αδιαφανές υλικό και μειώνει τη μετάδοση του φωτός μέσα από διαφανή υλικά. Η επιχωμάτωση είναι μία διαδικασία η οποία αντιμετωπίζεται με συχνό καθαρισμό και ίσως και βάνσιμο της επιφάνειας (<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>).

#### 4.6. Επιπτώσεις στην οικονομία

Εκτιμώντας τις επιπτώσεις που έχει η ατμοσφαιρική ρύπανση στην ανθρώπινη υγεία, συμπεραίνει κανείς ότι αποτελεί ένα κοινωνικό πρόβλημα του οποίου η λύση αφορά ακόμη και την πολιτεία. Συνδυάζει την αναγνώριση και τον ακριβή υπολογισμό των επιπτώσεων που έχει στην υγεία και την εκτίμηση την χρηματικής επιβάρυνσης που σχετίζεται με την αύξηση του αριθμού των θανάτων και των επειγόντων περιστατικών στα νοσοκομεία.

Αρχικά λοιπόν, προσδιορίζονται με τις επιδημιολογικές μελέτες οι επιπτώσεις στην υγεία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και κατόπιν εκτιμώνται οι οικονομικές επιπτώσεις. Σε μία μελέτη οικονομικού χαρακτήρα που έγινε στο Λίβανο, υπολογίστηκε ότι το ποσοστό των ανθρώπινων ζώων που σώζονται από τη μείωση 10μg/m<sup>3</sup> για τις ηλικίες 40-59 και 60-69 είναι 2-10 και 3-122, αντιστοίχως. Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν με βάση τα εξής περιοριστικά δεδομένα:

- Ø Οι παραγωγικές ηλικίες είναι μεταξύ 25 και 69
- Ø Τα ηλικιακά γκρουπ 40-59 και 60-69 είναι αντιπροσωπευτικές ηλικίες θανάτου που σχετίζονται με μείωση των παραγωγικών χρόνων έως και 20 και 50, χρόνια αντίστοιχα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η οικονομική επιβάρυνση που έχει το κράτος από την αύξηση των θανάτων, των επειγόντων περιστατικών λόγω απώλειας εργατικού δυναμικού αλλά και χρημάτων που δίνονται για τη θεραπεία χρόνιων ασθενειών.

	<i>US(\$)</i>
<i>Νοσοκομειακές εισαγωγές</i>	
<i>COPD</i>	8.100
<i>Πνευμονικά οιδήματα</i>	7.900
<i>Αναπνευστικές δυσκολίες</i>	6.100
<i>Αναπνευστικά οιδήματα</i>	
<i>Χρόνια βρογχίτιδα</i>	260.000
<i>Άμεση βρογχίτιδα</i>	45
<i>Άμεσο άσθμα</i>	32
<i>Άμεσα αναπνευστικά συμπτώματα</i>	18
<i>Συμπτώματα στο άνω αναπνευστικό σύστημα</i>	19
<i>Συμπτώματα στο κάτω αναπνευστικό σύστημα</i>	12
<i>Μειωμένη ημερήσια δραστηριότητα</i>	
<i>Χαμένες εργάσιμες μέρες</i>	83
<i>Εργάσιμες μέρες μειωμένης δραστηριότητας</i>	38

Πίνακας 25. Οικονομική επιβάρυνση της Αμερικάνικης κυβέρνησης σε νοσοκομειακή περίθαλψη.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η προσέγγιση των οικονομικών επιπτώσεων όχι μόνο από τη σκοπιά της ανθρώπινης υγείας, αλλά και από τα αποτελέσματα που έχει η μόλυνση της ατμόσφαιρας στο οικοσύστημα και στα υλικά. Είναι γεγονός ότι τα κτήρια υφίστανται καταστροφές από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και η συντήρηση και επισκευή τους κοστίζει.

Από την άλλη μεριά, η καταστροφή που υφίστανται τα δάση και οι καλλιέργειες απαιτούν την κατανάλωση σημαντικών χρηματικών ποσών για την αποκατάστασή τους.

Συμπερασματικά, η οικονομική προσέγγιση του θέματος της ρύπανσης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί απεικονίζει τις κοινωνικές προεκτάσεις του θέματος, εφόσον δείχνει την οικονομική επιβάρυνση που υφίστανται οι κοινωνίες (Holland, 1995).

## 5. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

### 5.1. Εισαγωγή

Οι δυνατότητες της εκάστοτε διοίκησης να ελέγξει τις πηγές και τα επίπεδα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, συχνά υπαγορεύονται από διεθνείς και εθνικές πολιτικές και νόμους. Για παράδειγμα, ο τρόπος με τον οποίο μια βιομηχανική μονάδα λειτουργεί και τα επίπεδα των επιτρεπόμενων εκπομπών, συνήθως αποφασίζονται σε εθνικό επίπεδο. Το ίδιο συμβαίνει και με τις οριακές τιμές για τις εκπομπές των αυτοκινήτων. Ωστόσο, συχνά η τοπική διοίκηση σε επίπεδο δήμου ή νομού είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή της (εθνικής, διεθνούς ή ευρωπαϊκής-για τα μέλη της ένωσης) νομοθεσίας, π.χ. με την έγκριση αδειών για βιομηχανικές μονάδες. Η τοπική διοίκηση μπορεί ακόμη να παρεμβαίνει στον έλεγχο της ποιότητας του αέρα, με την απαγόρευση ή την άδεια κυκλοφορίας των οχημάτων σε συγκεκριμένες περιοχές. Ο σχεδιασμός σχετικών προγραμμάτων ελέγχου είναι ένα μέσο διασφάλισης ότι οι κύριες σημειακές πηγές ρύπανσης δεν εγκαθίστανται σε αστικές ή άλλες προστατευόμενες περιοχές.

Οι ενέργειες σε τοπικό επίπεδο, για να είναι αποτελεσματικές, χρειάζεται να τύχουν υποστήριξης και συντονισμού από:

- Ø εθνικά σχέδια δράσης για την ποιότητα του αέρα, όπως π.χ. της Αγγλίας (UK national air quality strategy, 1997), ή των Η.Π.Α. (Clean air act 1970, 1977, 1990)
- Ø σχετική νομοθεσία, όπως είναι η επερχόμενη οδηγία πλαίσιο της Ε.Ε. (Ambient air quality assessment and management directive)
- Ø και διεθνείς συμφωνίες, όπως είναι η συνθήκη για τη μεταφορά αέριας ρύπανσης σε μεγάλες αποστάσεις (Convention on the long range transport of air pollution), ή το πρωτόκολλο του Montreal για τις χημικές ενώσεις που μειώνουν το στρώμα του όζοντος (Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer).

Με σκοπό να βοηθηθούν οι δημόσιες υπηρεσίες των κρατών, να ελέγξουν και να μειώσουν τις επιπτώσεις στην υγεία αλλά και άλλους κινδύνους από τους αέριους ρύπους, διεθνείς οργανισμοί όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU) και κρατικοί οργανισμοί (πχ US – EPA) ορίζουν κατευθυντήριες (guidelines) και εθνικά πρότυπα ποιότητας αέρα (National Ambient Air Quality Standards – NAAQS) για τους περισσότερους από τους διαδεδομένους αέριους ρύπους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κατευθυντήριες και τα πρότυπα ποιότητας αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια, από τρεις χαρακτηριστικές πηγές: τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Αμερικάνικο Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (US – EPA).

## 5.2. Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία – πλαίσιο

Σε επίπεδο νομοθεσίας, η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει οδηγίες – πλαίσια, βάσει των οποίων τα κράτη – μέλη πρέπει 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 παλαιότερη θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα αιωρούμενα σωματίδια είχε εκδοθεί το 1983 και αναφέρονταν στα TSP προτείνοντας τις παρακάτω τιμές:

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

Στις 24 Μαρτίου 2001, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε, για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας, τη νέα θυγατρική οδηγία σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια. Η οδηγία αναφέρει ότι τα κράτη – μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε οι συγκεντρώσεις  $\text{PM}_{10}$  στον ατμοσφαιρικό αέρα να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές που δίνονται στον παρακάτω πίνακα, στο συντομότερο δυνατό διάστημα και πριν από τις αναφερόμενες ημερομηνίες. Ακόμη, σύμφωνα με την οδηγία τα κράτη – μέλη οφείλουν να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για τη συλλογή στοιχείων σχετικών με τις συγκεντρώσεις  $\text{PM}_{2.5}$ . Η Ε.Ε., αν και δεν έχει ακόμη αρκετά στοιχεία (χρονοσειρές) ώστε να ορίσει οριακές τιμές για τα  $\text{PM}_{2.5}$ , ωστόσο προβλέπει συνεχή καταγραφή του ρύπου αυτού, σε όλα τα κράτη – μέλη, ώστε σύντομα να υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τη θέσπιση οριακών τιμών και για τα  $\text{PM}_{2.5}$ . (<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι οριακές τιμές που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τις συγκεντρώσεις σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  στην ατμόσφαιρα (EK, 1998; EK, 1997; USEPA, 1997).

## ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ PM<sub>10</sub> ‘Ε.Ε.’

	Περίοδος αναφοράς για τον προσδιορισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή		Προθεσμία για τη συμμόρφωση προς την οριακή τιμή
<b>Στάδιο 1</b>				
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50μg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 35 φορές ανά 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 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	40μg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	20% την 1/1/2001 μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005
<b>Στάδιο 2</b>				
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50μg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 7 φορές ανά έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων που θα είναι ισοδύναμα με την οριακή τιμή του σταδίου 1	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2010
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	20μg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	50% την 1/1/2005 μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2010	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2010

### 5.3. Πρότυπα ποιότητας αέρα κατά US-EPA

Ο ρόλος του Αμερικάνικου Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος, είναι σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης των ΗΠΑ (US Clean Air Act 1970,1977,1990) να ορίζει και να θέτει σε ισχύ τα εθνικά πρότυπα αέρα της χώρας (National Air Quality Standards – NAAQS). Αυτά τα όρια πρέπει να είναι αρκετά αυστηρά ώστε να προστατεύεται η υγεία ακόμη και των πιο ευαίσθητων ομάδων πληθυσμού (<http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>).

Τα διεθνή όρια (NAAQS) ορίστηκαν από την Ε.Ρ.Α. μέσω του προγράμματος Clean Air Act τη δεκαετία του 1970. Αρχικά, αφορούσαν το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου, το όζον, το μόλυβδο και τα

αιωρούμενα σωματίδια. Οι ρύποι αυτοί είναι οι έξι βασικοί ρύποι – κριτήρια για τους οποίους η Ε.Ρ.Α, έχει αποφασίσει ότι είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό και την καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης. Τα όρια που δόθηκαν ορίστηκε ότι πρέπει να ανανεώνονται κάθε πενταετία ώστε να αντανακλούν την πιο πρόσφατη επιστημονική γνώση, που προκύπτει από τη συνεχή παρακολούθηση και καταμέτρηση των ρύπων. Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια, αναγνωρίζονται από την Ε.Ρ.Α. ως ένας από τους ρύπους – κριτήρια. Το 1987, θεσπίστηκε ένα εθνικό αμερικάνικο πρότυπο ποιότητας αέρα για τα  $PM_{10}$ . Συγκεκριμένα για τα  $PM_{10}$  οι ατμοσφαιρικές τους συγκεντρώσεις δεν έπρεπε να ξεπερνούν σε αριθμητικό ετήσιο μέσο όρο τα  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και τα  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ως ημερήσια μέση τιμή περισσότερο από τρεις φορές μέσα σε τρία χρόνια.

Παρ' όλες όμως τις ανακοινώσεις και τις μελέτες οι συγκεντρώσεις των ρύπων δε μειώνονταν και περίπου 107 εκατομμύρια άτομα ζούσαν σε περιοχές με επιβαρημένο με ρύπους αέρα, με αποτέλεσμα τον Ιούλιο του 1997 η Ε.Ρ.Α. να ανανεώσει τα όρια σχετικά με το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι μελέτες για την Ευρώπη δείχνουν ότι για το χρονικό διάστημα 1989-1998 οι εκπομπές των λεπτόκοκκων σωματιδίων σε αστικές περιοχές αυξήθηκαν, ενώ οι συγκεντρώσεις των  $PM_{2.5}$  παρουσίασαν αύξηση σε 7 από τις 10 πόλεις. Κατά την ίδια περίοδο στην Αμερική τα μέσα επίπεδα των  $PM_{2.5}$  μειώθηκαν κατά 5%. (*Chow, 1995; USEPA, 1997, USEPA, 1997*).

Το 1992, η αμερικανική πνευμονολογική εταιρεία (American Lung Association) μήνυσε τη US-E.P.A. επειδή δεν είχε επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας για τα  $PM_{10}$ .

Το δικαστήριο στις 6 Οκτωβρίου απεφάνθη ότι η Ε.Ρ.Α. όφειλε να επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα το αργότερο ως τις 31 Δεκεμβρίου 1997.

Η Ε.Ρ.Α. εξέδωσε τις αναθεωρήσεις της τον Ιούλιο του 1997, οι οποίες τέθηκαν σε ισχύ στις 16 Σεπτεμβρίου 1997.

Η προσθήκη προτύπου ποιότητας για τα  $PM_{2.5}$  προκάλεσε αρκετές διαμάχες στις Η.Π.Α. Για την απόκτηση μεγαλύτερου επιστημονικού υπόβαθρου χρηματοδοτήθηκαν έρευνες κάποιες ακόμη και σε συνεργασία με τον εθνικό ερευνητικό οργανισμό, National Research Council-NRC. Η Ε.Ρ.Α. εκτιμά ότι χάρη στο νέο πρότυπο για τα σωματίδια  $PM_{2.5}$  θα μειωθούν κατά 15.000 περίπου οι πρόωροι θάνατοι και κατά 250.000 περίπου τα κρούσματα σοβαρών αναπνευστικών προβλημάτων σε παιδιά, σε ετήσια βάση (*USEPA, 1997, USEPA, 1997*).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια

### ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ US-EPA

Κλάσμα αιωρούμενων σωματιδίων	Οριακή τιμή 1987	Επεξήγηση	Οριακή τιμή 1997	Επεξήγηση
Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως 10 μm (PM10)	Ετήσια <b>50μg/m<sup>3</sup></b>	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή <b>50 μg/m<sup>3</sup></b> πάνω από μια φορά σε τρία συνεχόμενα έτη.	Ετήσια <b>50μg/m<sup>3</sup></b>	Καμία αλλαγή σε σχέση με το 1987
	24ωρη <b>150μg/m<sup>3</sup></b>	Οι 24ωρες μετρήσεις από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής δεν πρέπει να υπερβούν την τιμή των <b>150μg/m<sup>3</sup></b> περισσότερες από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη.	24ωρη <b>150μg/m<sup>3</sup></b>	Το 99 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο του συνόλου των 24ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή των <b>150 μg/m<sup>3</sup></b> περισσότερο από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη.
Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως 2,5 μm (PM2,5)		Δεν υπάρχει οριακή τιμή	Ετήσια <b>15 μg/m<sup>3</sup></b>	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων από έναν ή περισσότερους σταθμούς σε οικιστικές περιοχές, δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή <b>15,0 μg/m<sup>3</sup></b>
		Δεν υπάρχει οριακή τιμή	24ωρη <b>65 μg/m<sup>3</sup></b>	Το 98 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο του συνόλου των 24ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή των <b>65 μg/m<sup>3</sup></b> περισσότερο από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη.

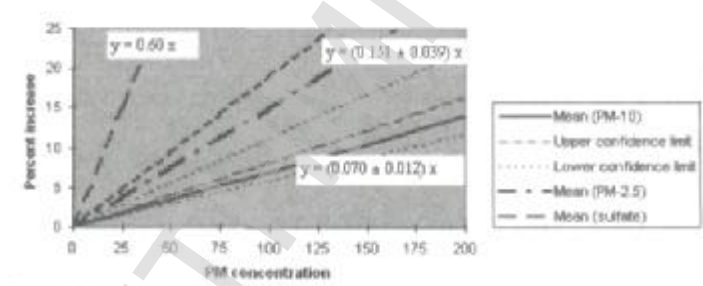
όπως ίσχυαν από το 1987 και με την αναθεώρηση που έγινε το 1997.

#### 5.4. Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.)

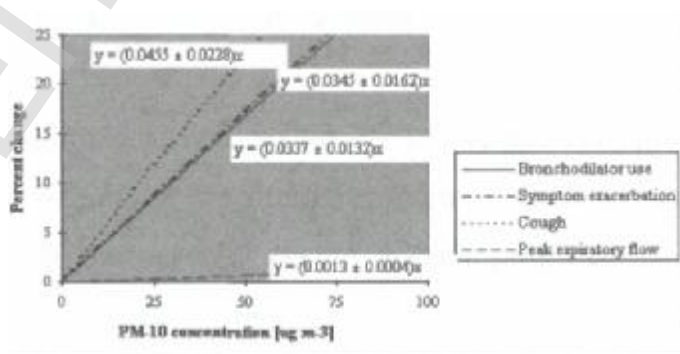
Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας – W.H.O. (World Health Organization) έχει δημιουργήσει ένα πρόγραμμα σχετικά με τη μελέτη της ποιότητας του αέρα, το οποίο είναι γνωστό ως AMIS (Air Management Information System). Ο σκοπός αυτού του προγράμματος είναι να συγκεντρώσει και να μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με τις συγκεντρώσεις των ρύπων στην ατμόσφαιρα πόλεων σε όλες τις χώρες, τις πηγές εκπομπής τους, τα μοντέλα μεταφοράς τους και κατόπιν μελετά τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία πρωτίστως, αλλά και στους υπόλοιπους τομείς.

Ο W.H.O. λοιπόν, όπως και η E.P.A. έχει θέσει όρια για τις εκπομπές ρύπων και έχει εκδώσει οδηγίες σχετικά με τα όρια των συγκεντρώσεων των ρύπων και τον τρόπο ελέγχου αυτών.

Εντούτοις, δεν προτείνει κάποια συγκεκριμένη οριακή τιμή για τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά, παραθέτει τα παρακάτω διαγράμματα, από τα οποία το κάθε κράτος δύναται να επιλέξει από μόνο του το κατάλληλο επίπεδο επικινδυνότητας.

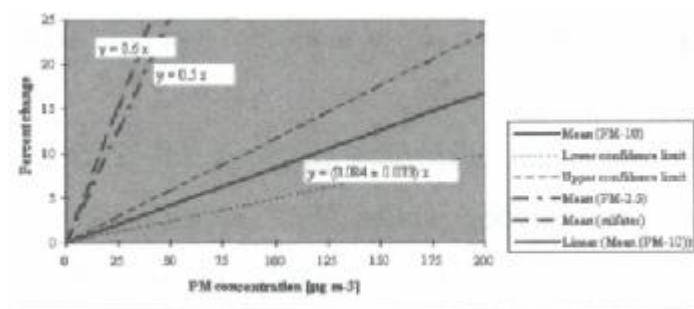


Σχήμα 5.1. Ποσοστό της ημερήσιας θνησιμότητας που αποδίδεται στα  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  και στα θειικά.



Σχήμα 5.2. Επίδραση των  $PM_{10}$ , στο ποσοστό μεταβολής αναπνευστικών παραμέτρων.





Σχήμα 5.3. Ποσοστό μεταβολής στις εισαγωγές σε νοσοκομεία που αποδίδεται σε  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  και στα θειικά.

Τα γραφήματα αυτά δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν για συγκεντρώσεις κάτω από  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (για  $PM_{10}$ ) και  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (για  $PM_{2.5}$ ) και πάνω από  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις κάτω ή πάνω από αυτά τα όρια, δεν έχουν μελετηθεί από τη W.H.O. κατά την εξαγωγή των παραπάνω τριών γραφημάτων.

## 6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

### 6.1. Ιστορική αναδρομή

Κατά το παρελθόν, ο άνθρωπος ήταν ικανός να ανιχνεύσει την ατμοσφαιρική ρύπανση με τους πνεύμονες του, τη μύτη και τα μάτια του. Η εισπνοή καπνού κοντά στις εστίες τον ανάγκαζε να κινείται προς τη διεύθυνση του ανέμου για να διευκολύνει την αναπνοή του. Όμως η σημαντικότερη ένδειξη ρύπανσης ήταν τα ορατά σύννεφα που ήταν αποτέλεσμα της σκέδασης και της απορρόφησης του φωτός από τα αιωρούμενα σωματίδια.

Η πρώτη καταγεγραμμένη οδηγία κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εκδόθηκε το 14<sup>ο</sup> αιώνα στην Αγγλία με τη μορφή βασιλικού διατάγματος και προέβλεπε τη μείωση της χρήσης κάρβουνου. Ήδη από εκείνη τη χρονική περίοδο είχε παρατηρηθεί η συσχέτιση μεταξύ του μαύρου καπνού από τις καμινάδες και της μειωμένης ορατότητας, των επικαθήσεων σε κτίρια και ρούχα και των αναπνευστικών δυσκολιών. Αν και πολλά από τα προκαλούμενα προβλήματα στην υγεία οφείλονταν και στο αόρατο διοξείδιο του θείου του οποίου τότε την ύπαρξη αγνοούσαν, η οδηγία ήταν σωστή.

Το 1867 στο Saint Lewis (Missouri) εισήχθη ένα θεσμικό πλαίσιο για τις εκπομπές καπνού και μέχρι το 1940 στις περισσότερες πόλεις των Η.Π.Α ο έλεγχος των εκπομπών καπνού από τις βιομηχανίες γινόταν με απλή οπτική παρατήρηση. Το 1910 στο Λονδίνο ιδρύθηκε το πρώτο δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στο οποίο η βροχή συλλεγόταν σε επισμαλτωμένο δοχείο αφού είχε διέλθει από φίλτρο υαλοβάμβακα. Η βροχή ήταν τόση όξινη ώστε ο υαλοβάμβακας διαλυόταν και το επισμαλτωμένο δοχείο χαρασσόταν. Αργότερα, η μέθοδος αυτή εξελίχθηκε κατάλληλα, ώστε να συλλέγονται εναποθέσεις σωματιδίων.

Αν και οι λεπτομέρειες για τον τρόπο λειτουργίας διαφέρουν, αυτό το δίκτυο, συνέλεγε τα μεγάλα σωματίδια που με το μηχανισμό φυσικής εναπόθεσης, κατέληγαν μέσα σε ειδικά, καθαρά δοχείο με ανοιχτό στόμιο. Για το λόγο αυτό, η μέθοδος δεν καθιστούσε δυνατή την ακριβή μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Η δειγματοληψία διαρκούσε αρκετές εβδομάδες. Στη συνέχεια τα δοχεία πλένονταν με γνωστό όγκο νερού το οποίο μετά φιλτραριζόταν. Η μάζα των μη διαλυτοποιήσιμων σωματιδίων μετριόταν μέσω της αύξησης της μάζας στο στεγνό φίλτρο. Η μάζα των διαλυτοποιήσιμων σωματιδίων προσδιορίζονταν από την αύξηση

της μάζας ενός χωνευτηρίου, μετά την εξάτμιση του νερού. Έντομα, φύκια, μύκητες, και κομμάτια από φυτά συχνά αποτελούσαν ένα μεγάλο μέρος από τη μετρούμενη μάζα. Το ποσό της μάζας που λαμβανόταν εξαρτώταν ισχυρά από την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου. Συγκρίσεις αποτελεσμάτων μεταξύ γειτονικών δειγματοληπτών έδιναν μεγάλες διαφοροποιήσεις.

Σε αυτή τη μέθοδο έγιναν προσαρμογές και βελτιώσεις, οι οποίες επέτρεψαν την καταγραφή των όξινων εναποθέσεων (acid deposition) έως τη δεκαετία του '80. Ωστόσο, η μέθοδος αδυνατούσε να συλλέξει τα μικρά, αναπνεύσιμα σωματίδια τα οποία συνδέονται με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων.

Η μέτρηση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων επιχειρήθηκε για πρώτη φορά το 1885 με τη διέλευση αέρα μέσω ενός φίλτρου. Η τεχνική αυτή λόγω έλλειψης ηλεκτρικών αντλιών, μηχανισμών αυτόματης χρονομέτρησης, μεθοδολογίας ελέγχου της ροής και τρόπων βαθμονόμησης ακριβείας, δεν μπόρεσε να αναπτυχθεί πλήρως πριν τα τέλη της 10ετίας του 1940. Τότε δημιουργήθηκε ο πρώτος δειγματολήπτης (high – volume sampler) με σκοπό τη δειγματοληψία των σωματιδίων που εξέπεμπαν ακτινοβολία, αμέσως μετά από μια πυρηνική δοκιμή. Η συσκευή αναπτύχθηκε από τότε αλλά η βασική αρχή παρέμενε η ίδια. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης γινόταν ως εξής: Το φίλτρο ζυγίζόταν πριν και μετά τη δειγματοληψία. Η διαφορά βάρους διαιρούταν με τον όγκο του αέρα που αντλούσε η συσκευή. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιούταν για τη μέτρηση συνήθως 24ωρων μέσων συγκεντρώσεων. Λόγω της ευκολίας της, η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα κατά τη 10ετία του 1950 για τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Τα είδη των σωματιδίων που μπορούσε να συλλέξει, ωστόσο, ήταν ανεπαρκώς προσδιορισμένα αν και υπήρχε η ένδειξη ότι η πλειοψηφία αυτών περνώντας από την είσοδο της δειγματοληψίας, κατέληγε στο φίλτρο. Τα πρώτα ανώτατα όρια συγκέντρωσης ολικών αιωρούμενων σωματιδίων που ορίστηκαν, βασίστηκαν στην πληθώρα στοιχείων που είχαν καταγραφεί με δειγματολήπτες high-volume. Εκατοντάδες συσκευές λειτουργούσαν σε όλες τις πολιτείες των ΗΠΑ από τη 10ετία του 1960 ως τη 10ετία του 1980. Η δειγματοληψία ήταν 24ωρη και πραγματοποιούνταν κάθε 6 ημέρες ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος.

Έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970, είχε ολοκληρωθεί η διερεύνηση των δυνατοτήτων της συσκευής. Οι έρευνες έδειξαν ότι ο δειγματολήπτης αυτός είχε  $D_{50}$  : 30-50 $\mu\text{m}$ . Ως  $D_{50}$  ορίζεται η αεροδυναμική σωματιδιακή διάμετρος για την οποία το 50% των αιωρούμενων σωματιδίων φτάνουν ως το φίλτρο του δειγματολήπτη. Η

ακριβής τιμή εξαρτώταν από τον προσανατολισμό της συσκευής, τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου.

Ακόμα κάποιοι ερευνητές υποστήριξαν ότι κατά τη διάρκεια των ημερών που μεσολαβούσαν μέχρι τη λήψη του φίλτρου (όταν δε λειτουργούσε η συσκευή) λόγω του φαινομένου της παθητικής εναπόθεσης σωματιδίων από τον αέρα, παρατηρήθηκε θετική απόκλιση στη μετρούμενη μάζα 10-15%. Επίσης τα φίλτρα υάλου που χρησιμοποιούνταν αποδείχτηκε ότι προσροφούσαν σημαντικές ποσότητες αερίων ενώσεων (για παράδειγμα οξείδια αζώτου και θείου) τα οποία προσέθεταν ακόμη μερικά  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στη μέτρηση. Γενικά, οι μελέτες και οι έρευνες αποκάλυψαν μία μεγάλη ποικιλία από προβλήματα και σφάλματα που αφορούσαν τη λειτουργία του δειγματολήπτη υψηλής παροχής. Άλλα από αυτά μπορούσαν να ελαχιστοποιηθούν με μερικές απλές αλλαγές στην πειραματική διαδικασία και άλλα δεν είναι παρά αναπόφευκτα μειονεκτήματα που υπάρχουν σε κάθε μέθοδο που βασίζεται στη δειγματοληψία με φίλτρο. Με σκοπό την ελαχιστοποίηση των συστηματικών σφαλμάτων, σχεδιάστηκαν νέες αλλαγές επάνω στο βασικό αρχικό μηχανισμό λειτουργίας του δειγματολήπτη υψηλής παροχής. Έτσι, σχεδιάστηκαν αρχικά οι δειγματολήπτες μεσαίας παροχής και αργότερα οι δειγματολήπτες χαμηλής παροχής (Chow, 1995).

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια οικονομική αξιολόγηση των μεθόδων που αναφέρθηκαν καθώς και μία αποτίμηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που αυτές παρουσιάζουν.

<i>Box 5.12 - Air Monitoring Techniques</i>			
<b>Method</b>	<b>Advantages</b>	<b>Disadvantages</b>	<b>Capital Cost</b>
<i>Passive Samplers</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very low cost.</li> <li>• Very simple.</li> <li>• No dependence on mains electricity.</li> <li>• Can be deployed in very large numbers</li> <li>• Useful for screening, mapping and baseline studies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unproven for some pollutants.</li> <li>• In general only provide monthly and weekly averages.</li> <li>• Labour-intensive deployment/analysis.</li> <li>• Slow data throughput.</li> </ul>	US\$10-70 per sample.
<i>Active Samplers</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Low cost.</li> <li>• Easy to operate.</li> <li>• Reliable operation/performance.</li> <li>• Historical dataset.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provide daily averages.</li> <li>• Labour-intensive sample collection and analysis.</li> <li>• Laboratory analysis required.</li> </ul>	US\$1000-3000 per unit.
<i>Automatic Analysers</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proven.</li> <li>• High performance.</li> <li>• Hourly data.</li> <li>• On-line information.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complex.</li> <li>• Expensive.</li> <li>• High skill requirement.</li> <li>• High recurrent costs.</li> </ul>	US\$10 000-15 000 per analyser.
<i>Remote sensors</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provide path or range-resolved data.</li> <li>• Useful near sources.</li> <li>• Multi-component measurements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very complex and expensive.</li> <li>• Difficult to support, operate, calibrate and validate.</li> <li>• Not readily comparable with point data.</li> <li>• Atmospheric visibility and interferences.</li> </ul>	US\$70 000 - 150 000 per sensor, or more.

Πίνακας 26. Οικονομική αξιολόγηση των μεθόδων ανάλυσης.

## 6.2. Ταξινόμηση των μεθόδων μέτρησης και ανάλυσης

Οι διαθέσιμες σήμερα μέθοδοι ανάλυσης των συλλεγόμενων φίλτρων ταξινομούνται γενικά σε:

- Ø Σταθμικές μεθόδους (Mass measurement methods)
- Ø Φυσικές μεθόδους ανάλυσης (Physical analysis), π.χ. XRF, ICP, AAS
- Ø Ιονοεναλλακτικές μεθόδους (Wet chemical analysis) π.χ. IC
- Ø Αναλύσεις οργανικών (Organic Analysis) π.χ. TMO, TOR

Στη συνέχεια αναγράφονται οι μέθοδοι ανάλυσης, τι μετράει κάθε μία και ποια είναι η βασική της μεθοδολογία όπως παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία.

Από αυτές τις μεθόδους οι σταθμικές ταξινομούνται περαιτέρω σε πρότυπες και ισοδύναμες μεθόδους:

Οι πρότυπες μέθοδοι, πιστοποιούνται κάτω από αυστηρές εργαστηριακές συνθήκες και από μετρήσεις πεδίου. Η χρήση των πρότυπων μεθόδων, προϋποθέτει το στάδιο της εξισορρόπησης για το φίλτρο (πριν και μετά τη δειγματοληψία), και τη ζύγιση του φίλτρου μέσα σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Για το λόγο αυτό με πρότυπες μεθόδους μόνο μη συνεχείς μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Οι ισοδύναμες μέθοδοι, πιστοποιούνται από την ικανότητα τους να παράγουν συγκρίσιμα αποτελέσματα με εκείνα των πρότυπων μεθόδων. Επιτρέπουν τη μέτρηση των σωματιδίων με χρήση ακτινοβολίας βήτα ή με ειδικό μικροζυγό. Παρέχουν συνεπώς τη δυνατότητα για συνεχείς μετρήσεις (*EPA, 1996*).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ισοδύναμες και οι πρότυπες κατά Ε.ΡΑ. μέθοδοι, όπως ίσχυαν το 1996.

Οι πρότυπες μέθοδοι σταθμικής ανάλυσης κατατάσσονται με τη σειρά τους ανάλογα με την παροχή αέρα που διέρχεται από το φίλτρο δειγματοληψίας σε :

- Ø Υψηλής παροχής (1000 L/min)
- Ø Μεσαίας παροχής (100 L/min)
- Ø Χαμηλής παροχής (20 L/min)

Συνοψίζοντας, μπορεί να αναφερθεί ότι τα πλεονεκτήματα των δειγματοληπτών χαμηλής παροχής έναντι εκείνων υψηλής παροχής είναι το, σημαντικά, χαμηλότερο συστηματικό σφάλμα. Ακόμη αν και οι πρότυπες μέθοδοι είναι ακριβέστερες των ισοδύναμων, ωστόσο στερούνται της δυνατότητας των συνεχών μετρήσεων. Ενώ συνεπάγονται και ένα σημαντικό υψηλότερο λειτουργικό κόστος (*BCME, 1996; Clark et al., 1984*).

Species Measured	Measurement Method	Measurement Principle
Particle Mass	Gravimetric Analysis	Determine the net mass by weighing the filter before and after sampling with a balance in a temperature and relative humidity controlled environment.
Elements (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ba, La, Au, Hg, Tl, Pb, and U)	X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis	The filter deposit is irradiated by high energy x-rays which eject inner shell electrons from the atoms of each element in the sample. When a higher energy electron drops into the vacant lower energy orbital, a fluorescent x-ray photon, unique to each element, is released. The number of photons is proportional to the concentration of each element. Commonly used are: 1) wavelength dispersive XRF (WDXRF), which utilizes crystal diffraction for observation of fluorescent x-rays and 2) energy dispersive XRF (EDXRF), which uses a silicon semiconductor detector. EDXRF provides simultaneous determination of multi-elements with high sensitivity but potential spectral interferences requiring complex spectral deconvolution procedures. WDXRF determines one element at a time, minimizes peak overlaps, and provides high spectral resolution.
	Proton-Induced X-Ray Emission (PIXE) Analysis	PIXE differs from XRF analysis in the excitation source for producing fluorescence. The filter deposit is bombarded with high energy protons to remove inner shell electrons.
	Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA)	The filter sample is exposed to a high thermal neutron flux in a nuclear reactor. The neutron bombardment transforms elements into radioactive isotopes that emit gamma rays. The energy and intensity of these gamma rays are detected by lithium-drifted germanium detector. The energy identifies the isotope and the intensity is proportional to the amount of the parent element present in the sample. INAA does not quantify elements such as silicon, nickel, tin, and lead.
	Inductively Coupled Plasma (ICP) Emission Spectroscopy	The filter is extracted in acid and the extract is nebulized into an atmosphere of gaseous argon plasma, sustained inside an induction coil, energized with a high frequency alternating current. The high temperature in the induced plasma raises valence electrons above their ground states. When these electrons return to their ground states, a photon of light is emitted which is unique to the element that was excited. This light is detected with a photomultiplier tube, at specified wavelengths, to identify the elements in the sample. ICP responds linearly with five or more orders of magnitude changes in concentrations. Coupled with a mass spectrometer, ICP-MS can quantify elemental concentrations with high-sensitivity.
	Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)	After acid extraction, the dissolved sample is gasified in a region through which light of a specific wavelength is transmitted. The wavelengths are chosen to correspond to the absorption energies of the desired elements. The amount of light transmitted is detected by a mono-chromator and photomultiplier. Commonly used are: 1) flame AAS, where sample extracts are nebulized into a flame which dissociates the sample into free ground-state atoms of the element; and 2) graphite furnace or electrothermal AAS, where the sample extract is heated stepwisely to dry, char, and atomize the analyte at temperatures up to 3,000°C.
Ions (fluoride, chloride, nitrite, phosphate, bromide, nitrate, sulfate, potassium, ammonium, and sodium)	Ion Chromatographic (IC) Analysis	A liquid chromatographic technique which is based on an ion exchange mechanism and a suppressed conductimetric detection for the separation and quantification of anions and cations. The sample ions are eluted from the ion-exchange column as discrete bands based on their retention time and are quantified by a conductivity detector. Most commonly used to measure anions such as chloride, nitrate, and sulfate.
Ions (chloride, nitrite, nitrate, sulfate, and ammonium)	Automated Colorimetric Analysis	A sample extracted in water is mixed with reagents and drawn into mixing coils by a peristaltic pump, which introduces air bubbles into the sample stream at known intervals. The ion being measured reacts with reagents in the mixing coils to form a colored liquid. The liquid absorbance is measured by a photomultiplier tube through an interference filter which is specific to the species being measured. Most commonly used to measure ammonium or nitrite ions on impregnated filters.
Total Carbon	Thermal Combustion Method	Combustion or decomposition of a filter sample deposit to carbon dioxide followed by nondispersive infrared, gas chromatography (GC) with thermal conductivity detection, coulometry, or by GC with flame ionization detection (FID) following hydrogenation to methane.
Total Carbon, Organic Carbon, Elemental Carbon	Solvent Extraction Method	A filter is extracted in an organic solvent by Soxhlet extraction to remove organic material. The extractable mass, organic carbon, is determined gravimetrically by weighing the filter before and after sample extraction. The unextractable carbon can be analyzed by the thermal combustion method to determine elemental carbon.
Total Carbon, Organic Carbon, Elemental Carbon, Carbonate Carbon	Thermal Manganese Oxidation (TMO) Method	Manganese dioxide (MnO <sub>2</sub> ) is used as an oxidizing agent, present and in contact with the sample punches, throughout the analysis. Temperature changes distinguish between organic carbon (OC) and elemental carbon (EC). Carbon evolved at 525°C is classified as OC, and carbon evolved at 850°C is classified as EC. Carbonate carbon can be determined by acidification of the filter punch at room temperature.

	Thermal/Optical Reflectance (TOR) or Thermal/Optical Transmittance (TOT) Method	A filter punch is submitted to volatilization at temperatures of 120, 250, 450, and 550°C in a 100% helium atmosphere, then to combustion at temperatures of 550, 700, and 800°C in a 2% oxygen and 98% helium atmosphere. The carbon evolved at each temperature is converted to methane by a methanator and quantified by a FID. The reflectance or transmittance from the filter punch is monitored throughout the analysis to correct for the pyrolysis of organic material. OC is defined as that which evolves prior to re-attainment of the original reflectance or transmittance, and EC is defined as that which evolves after the original reflectance or transmittance has been attained. Carbonate carbon can be determined by acidification of the filter punch at room temperature.
Absorbance (light absorbing carbon)	Optical Absorption, Transmission Densitometry	The light transmittal through a filter before and after sampling is measured. This method assumes that elemental carbon is the only light absorbing species on the filter. Empirically derived absorption coefficients are required for different filter media to estimate elemental carbon concentrations.
	Integrating Plate or Integrating Sphere Method	The Integrating Plate method measures the light that is transmitted in a forward cone before and after sample collection. The decrease in intensity for the exposed filter is assumed to be caused by optical absorption. The underlying assumptions are: 1) the amount of light reaching the detector is not affected by particle scattering; 2) no internal reflections within the filter will interact with absorbing particles; 3) no interference between particles (mass correctors are applied to correct for interference). For the Integrating Sphere method, the exposed filter is first placed at the front of the sphere to measure the amount of transmitted light, then moved to the back of the sphere to measure the reflected light. Large angle scattering by particles and internal scattering in the filter do not affect the measurement in this method.

Πίνακας 27. Μέθοδοι ανάλυσης, τι μετρά η κάθε μία και ποια είναι η βασική της μεθοδολογία.



**U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-DESIGNATED REFERENCE  
AND EQUIVALENT METHODS FOR PM<sub>10</sub>**

Method No	Identification	Description	Type	Date
RFPS-1087-062	Wedding & Associates PM Critical Flow High-Volume Sampler.	High-volume (1.13 m <sup>3</sup> /min) sampler with cyclone-type PM <sub>10</sub> inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 in) filter.	Manual reference method	10/06/87
RFPS-1287-063	Sierra-Andersen or General Metal Works Model 1200 PM <sub>10</sub> High-Volume Air Sampler System	High-volume (1.13 m <sup>3</sup> /min) sampler with impactation-type PM <sub>10</sub> inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 in) filter.	Manual reference method	12/01/87
RFPS-1287-064	Sierra-Andersen or General Metal Works Model 321-B PM <sub>10</sub> High-Volume Air Sampler System	High-volume (1.13 m <sup>3</sup> /min) sampler with impactation-type PM <sub>10</sub> inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 in) filter. (No longer available.)	Manual reference method	12/01/87
RFPS-1287-065	Sierra-Andersen or General Metal Works Model 321-C PM <sub>10</sub> High-Volume Air Sampler System	High-volume (1.13 m <sup>3</sup> /min) sampler with impactation-type PM <sub>10</sub> inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 in) filter. (No longer available.)	Manual reference method	12/01/87
RFPS-0389-071	Oregon DEQ Medium Volume PM Sampler	Non-commercial medium-volume (110 L/min) sampler with impactation-type inlet and automatic filter change; two 47-mm diameter filters.	Manual reference method	3/24/89
RFPS-0789-073	Sierra-Andersen Models SA241 or SA241M or General Metal Works Models G241 and G241M PM <sub>10</sub> Dichotomous Samplers	Low-volume (16.7 L/min) sampler with impactation-type PM <sub>10</sub> inlet; additional particle size separation at 2.5 micron, collected on two 37-mm diameter filters.	Manual reference method	7/27/89
EQPM-0990-076	Andersen Instruments Model FH621-N PM <sub>10</sub> Beta Attenuation Monitor	Low-volume (16.7 L/min) PM <sub>10</sub> analyzers using impactation-type PM <sub>10</sub> inlet, 40 mm filter tape, and beta attenuation analysis.	Automated equivalent method	9/18/90

**(cont'd). U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-DESIGNATED REFERENCE  
AND EQUIVALENT METHODS FOR PM<sub>10</sub>**

Method No.	Identification	Description	Type	Date
EQPM-1090-079	Rupprecht & Patashnick TEOM Series 1400 and Series 1400a PM <sub>10</sub> Monitors	Low-volume (16.7 L/min) PM <sub>10</sub> analyzers using impaction-type PM <sub>10</sub> inlet, 12.7 mm diameter filter, and tapered element oscillating microbalance analysis.	Automated equivalent method	10/29/90
EQPM-0391-081	Wedding & Associates PM Beta Gauge Automated Particle Sampler	Low-volume (16.7 L/min) PM <sub>10</sub> analyzer using cyclone-type PM <sub>10</sub> inlet, 32 mm filter tape, and beta attenuation analysis.	Automated equivalent method	3/5/91
RFPS-0694-098	Rupprecht & Patashnick Partisol Model 2000 Air Sampler	Low-volume (16.7 L/min) PM <sub>10</sub> sampler with impaction-type inlet and 47 mm diameter filter.	Manual reference method	7/1/94

Πίνακας 28. Οι ισοδύναμες και πρότυπες κατά ΕΡΑ μέθοδοι, όπως ίσχυαν το 1996.

## 7. Πειραματική Μεθοδολογία

Μετά τον έλεγχο / συντήρηση των οργάνων και τις δοκιμαστικές μετρήσεις για την επιλογή των κατάλληλων θέσεων δειγματοληψίας, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη χρονική περίοδο από 20/05/2006 έως 02/06/2006 εντός και εκτός του 1<sup>ου</sup> ορόφου φαρμακείου που βρίσκεται επί της λεωφόρου Βάρης, στην περιοχή του Δήμου Βάρης. Η συγκεκριμένη λεωφόρος συνδέει την παραλιακή λεωφόρο Ποσειδώνος με τον Δήμο Κρωπίας και εν συνεχεία με τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών Ελ. Βενιζέλο και με την Αττική οδό. Αποτελείται από δύο λωρίδες κυκλοφορίας και παρουσιάζει έντονη κίνηση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, εκτός βέβαια από τις νυχτερινές ώρες. Ως συμπληρωματικά αναφέρουμε την έντονη κατασκευαστική δραστηριότητα (ανέγερση νέων κατοικιών και εμπορικών κτιρίων) της περιοχής, καθώς επίσης και την ύπαρξη στην ευρύτερη περιοχή ανενεργών λατομείων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως χώροι απόθεσης μπαζών, αλλά και ενεργών λατομείων, με συνέπεια από τον συγκεκριμένο δρόμο να περνούν συχνά φορτηγά οχήματα που μεταφέρουν οικοδομικά υλικά και μπάζα.

Αξιίζει να αναφέρουμε ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο ισόγειο, το οποίο συνδέεται με εσωτερική σκάλα με τον 1<sup>ο</sup> όροφο, πραγματοποιούνταν εργασίες κατασκευής – τοποθέτησης επίπλων, ενώ στο 1<sup>ο</sup> όροφο πραγματοποιήθηκαν εργασίες τοποθέτησης προστατευτικών κιγκλιδωμάτων.

Στα επόμενα διαγράμματα και πίνακες παρουσιάζονται οι μέσες τιμές 24-h (σταθμική μέθοδος μέτρησης) που καταγράφηκαν κατά την περίοδο της δειγματοληψίας:

**Πίνακας 29: Ημερήσιες 24-h μετρήσεις PM<sub>10</sub>**

Εσωτερικές			Εξωτερικές		
Ημερομηνία	Συγκέντρωση ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Παρατηρήσεις	Ημερομηνία	Συγκέντρωση ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Παρατηρήσεις
20/05/06	44,7	Πολλή ζέστη και αέρας	20/05/06	59,8	Πολλή ζέστη και αέρας
21/05/06	39,3	Πολλή ζέστη χωρίς αέρα	21/05/06	59	Πολλή ζέστη χωρίς αέρα
24/05/06	54	Ζέστη και αέρας, ανοιχτή η κάτω πόρτα	24/05/06	95	Ζέστη και αέρας
25/05/06	125,5	Πολλή ζέστη και λίγος αέρας, εργασίες	25/05/06	92	Πολλή ζέστη και λίγος αέρας
31/05/06	85,5	Πολλή ζέστη, κάτω στήνονται τα έπιπλα	31/05/06	79,2	Πολλή ζέστη
02/06/06	259	Φυσάει, συννεφιά, όχι πολλή ζέστη, κάτω στήνονται τα έπιπλα	02/06/06	91	Φυσάει, συννεφιά, όχι πολλή ζέστη
<b>Παρατηρήσεις:-</b>					

**Πίνακας 30: Ημερήσιες 24-h μετρήσεις PM<sub>2,5</sub>**

Εσωτερικές			Εξωτερικές		
Ημερομηνία	Συγκέντρωση (μg/m <sup>3</sup> )	Παρατηρήσεις	Ημερομηνία	Συγκέντρωση (μg/m <sup>3</sup> )	Παρατηρήσεις
22/05/06	75	Πολλή ζέστη και μέσα βάζουν τις σιδεριές	22/05/06	44	Πολλή ζέστη
23/05/06	42	Πολλή ζέστη	23/05/06	46	Πολλή ζέστη
26/05/06	108	Πολλή ζέστη και λίγος αέρας. Ο μαραγκός στο ισόγειο στήνει τα έπιπλα και έγινε και διακοπή ρεύματος 10 λεπτών	26/05/06	43,5	Πολλή ζέστη και λίγος αέρας, έγινε και διακοπή ρεύματος 10 λεπτών
30/05/06	64	Ζέστη, στο ισόγειο ο μαραγκός στήνει τα έπιπλα και στον όροφο έγινε για λίγο χρήση τρυπανιού	30/05/06	35	Ζέστη

**Παρατηρήσεις:-**

Όσον αφορά τα PM<sub>10</sub> βλέπουμε από τον πίνακα 29 ότι οι εσωτερικές 24-h μετρήσεις των ημερομηνιών 24/05/06, 25/005/06, 31/05/06 και 02/06/06 υπερβαίνουν τα θεσμοθετημένα όρια της Ε.Ε., κυρίως λόγω των εργασιών που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του φαρμακείου. Επίσης, παρατηρούμε ότι όλες τις ημέρες των εξωτερικών 24-h μετρήσεων 20/05/06, 21/05/06, 24/05/06, 25/05/06, 31/05/06 και 02/06/06, έχουμε υπέρβαση των ορίων που έχει θέσει η Ε.Ε. Αυτό οφείλεται στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, καθώς επίσης και της τοποθεσίας του φαρμακείου.

Από τον πίνακα 30, αν και δεν υπάρχουν συγκεκριμένα θεσμοθετημένα όρια, βλέπουμε ότι οι 24-h εσωτερικές μετρήσεις είναι υψηλές όταν πραγματοποιούνται εργασίες στον όροφο των μετρήσεων, δηλαδή στις 22/05/06, στις 26/05/06 και στις 30/05/06, ενώ στις εξωτερικές μετρήσεις βλέπουμε χαμηλότερες τιμές, τιμές που πλησιάζουν την τιμή της 23/05/06 εσωτερικής συγκέντρωσης, η οποία θα μπορούσε, χάρη στις καιρικές συνθήκες, να θεωρηθεί «αντιπροσωπευτική» μέτρηση. Ως παρατήρηση θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι σύμφωνα με τη θέση των Υπουργών Περιβάλλοντος των χωρών-μελών της Ε.Ε., που θα μπορούσε να τροποποιηθεί από το

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, η συγκέντρωση  $PM_{2,5}$  στον αέρα θα πρέπει να μειωθεί στα  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  το αργότερο έως το 2015.

**Πίνακας 31: Λόγος I/O ημερήσιων μετρήσεων  $PM_{10}$  και  $PM_{2,5}$**

$PM_{10}$		$PM_{2,5}$	
Ημερομηνία	Indoor/Outdoor	Ημερομηνία	Indoor/Outdoor
20/05/06	0,75	22/05/06	1,7
21/05/06	0,67	23/05/06	0,92
24/05/06	0,57	26/05/06	2,49
25/05/06	1,36	30/05/06	1,84
31/05/06	1,08		
02/06/06	3,14		

**Παρατηρήσεις:-**

**Πηγή:-**

Στον πίνακα 31 παρατηρούμε ότι ο λόγος I/O κατά τις ημέρες 25/05/06 (1,36), 31/05/06 (1,08) και 02/06/06 (3,14) για τα  $PM_{10}$ , είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα πράγμα το οποίο οφείλεται κυρίως στο ότι τις συγκεκριμένες ημέρες πραγματοποιούνταν εργασίες εντός του ισογείου, οπότε υπάρχει μία πρόσθετη πηγή αιωρούμενων σωματιδίων.

Το ίδιο συμπεραίνουμε και από τον λόγο των  $PM_{2,5}$ , για τις ημέρες 22/05/06 (1,7) , 26/05/06 (2,49) και 30/05/06 (1,84). Από την τιμή που παρατηρούμε στις 23/05/06 (0,92), συμπεραίνουμε ότι υπό κανονικές συνθήκες, τα μικροσωματίδια  $PM_{2,5}$ , εισέρχονται στο εσωτερικό πιο εύκολα από τα  $PM_{10}$ .

Ενδεικτικά αν συγκρίνουμε τον λόγο  $PM_{2,5}/PM_{10}$  των εξωτερικών μετρήσεων δύο ημερών με παρόμοιες καιρικές συνθήκες, έχουμε:  $PM_{2,5}/PM_{10}=46,14/58,96=0,78$ . Αυτό σημαίνει ότι περίπου το 80% των  $PM_{10}$  αποτελούνται από σωματίδια με διάμετρο μέχρι  $2,5\mu\text{m}$ . Οπότε, θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχει σημαντική επίδραση από την κίνηση των οχημάτων επί της Λεωφόρου Βάρης, γιατί όπως είδαμε και παραπάνω η πλειονότητα των σωματιδίων που εκπέμπονται από τη διαδικασία της καύσης στα οχήματα ανήκουν στα λεπτόκοκκα σωματίδια.

## 8. Συμπεράσματα.

Όσον αφορά το CO πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε δύο σταθερά σημεία (εσωτερικό και εξωτερικό κτιρίων), καθώς επίσης και στο εσωτερικό Ι.Χ. οχήματος κατά τη διαδρομή προς τον τόπο της εργασίας και κατά τη διαδρομή από τον τόπο εργασίας. Οι διαδρομές που ακολουθήσαμε με το Ι.Χ. μέσης διάρκειας 55 λεπτών, πραγματοποιήθηκαν σε αστικές οδικές αρτηρίες κυμαινόμενου κυκλοφοριακού φόρτου. Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι σε καμία περίπτωση δεν έχουμε υπέρβαση των ορίων που έχει θέσει η Ε.Ε. Ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται ανά πάσα στιγμή το όχημα, καταγράφονται διάφορα επίπεδα συγκεντρώσεων, με κάποια από αυτά να είναι αρκετά σοβαρά (π.χ. μέγιστη 5λεπτη τιμή προς την εργασία της τάξης 21,8ppm). Αποτέλεσμα είναι να μην διαπιστώνεται σοβαρό πρόβλημα για τους επιβάτες του οχήματος, αλλά για εκείνους τους εργαζόμενους που αναγκάζονται να εργαστούν για αρκετές ώρες στα συγκεκριμένα σημεία αστικών οδικών αρτηριών.

Ακόμα, παρατηρούμε ότι οι μεσημεριανές μετρήσεις κατά τη διαδρομή προς τον τόπο της κατοικίας είναι εν γένει χαμηλότερες από τις πρωινές.

Επιπλέον, τις ίδιες διαπιστώσεις έχουμε και για τα σταθερά σημεία, όπου δεν παρατηρείται υπέρβαση των ορίων. Αυτό οφείλεται στο ότι ο συγκεκριμένος ρύπος παρουσιάζει μεγάλη χωρική διαφοροποίηση, οπότε δεν παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις στα συγκεκριμένα σημεία μέτρησης.

Όσον αφορά τα PM<sub>10</sub> βλέπουμε ότι οι εσωτερικές 24-h μετρήσεις των ημερών 24/05/06, 25/05/06, 31/05/06 και 02/06/06 ξεπερνούν τα όρια που προτείνει η Ε.Ε. λόγω των εργασιών που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του κτιρίου. Ακόμα, παρατηρούμε ότι όλες τις ημέρες των εξωτερικών 24-h μετρήσεων, έχουμε υπέρβαση των ορίων.

Επίσης, για τα PM<sub>2,5</sub> βλέπουμε οι 24-h εσωτερικές μετρήσεις είναι υψηλές όταν πραγματοποιούνται εργασίες στον όροφο των μετρήσεων, δηλαδή στις 22/05/06, στις 26/05/06 και στις 30/05/06, ενώ στις εξωτερικές μετρήσεις παρατηρούμε χαμηλότερες, αλλά αρκετά υψηλές τιμές.

Τέλος, παρατηρούμε ότι ο λόγος I/O τις ημέρες 25/05/06 (1,36), 31/05/06 (1,08) και 02/06/06 (3,14) για τα PM<sub>10</sub>, είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα πράγμα το οποίο οφείλεται στις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τις ημέρες αυτές, αλλά κυρίως οφείλεται στο ότι τις συγκεκριμένες ημέρες πραγματοποιούνταν εργασίες εντός του ισογείου και επομένως έχουμε πρόσθετες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων. Τις υπόλοιπες ημέρες ο λόγος κυμαίνεται από 0,5 έως 0,7.

Το ίδιο συμπεραίνουμε και από τον λόγο των  $PM_{2,5}$ , για τις ημέρες 22/05/06 (1,7) , 26/05/06 (2,49) και 30/05/06 (1,84). Από την τιμή που παρατηρούμε στις 23/05/06 (0,92), συμπεραίνουμε ότι υπό κανονικές συνθήκες, τα μικροσωματίδια  $PM_{2,5}$ , εισέρχονται στο εσωτερικό πιο εύκολα από τα  $PM_{10}$ .

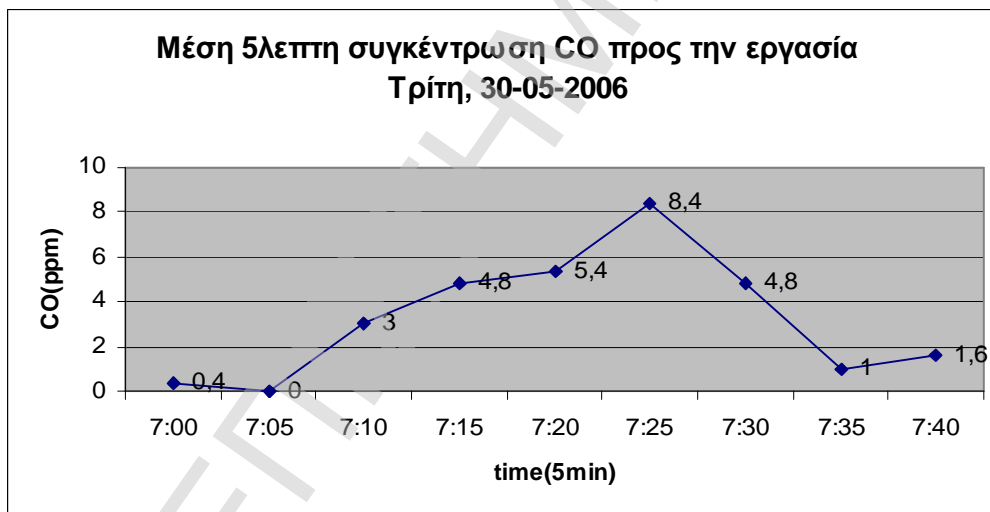
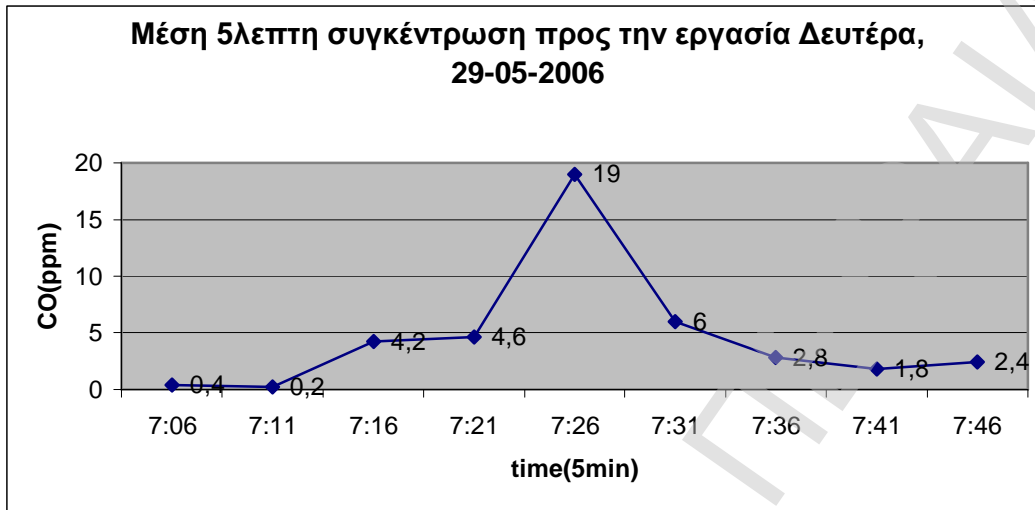
Συνεπώς, ως συμπέρασμα εξάγουμε ότι στη συγκεκριμένη περιοχή υπάρχει πρόβλημα με τα αιωρούμενα σωματίδια ( $PM_{10}$  &  $PM_{2,5}$ ) , κυρίως λόγω του δρόμου και της κυκλοφορίας των οχημάτων αλλά και της έντονης κατασκευαστικής δραστηριότητας και των γύρω λατομείων (ενεργών και ανενεργών). Αυτό προκύπτει καθαρά και από τις τιμές του λόγου  $PM_{2,5}/PM_{10}$  που κυμαίνεται στο διάστημα 0,75 έως 0,8 και υποδηλώνει σημαντική συνεισφορά των πλέον επικίνδυνων για την υγεία  $PM_{2,5}$  στις μετρούμενες συγκεντρώσεις των  $PM_{10}$ .

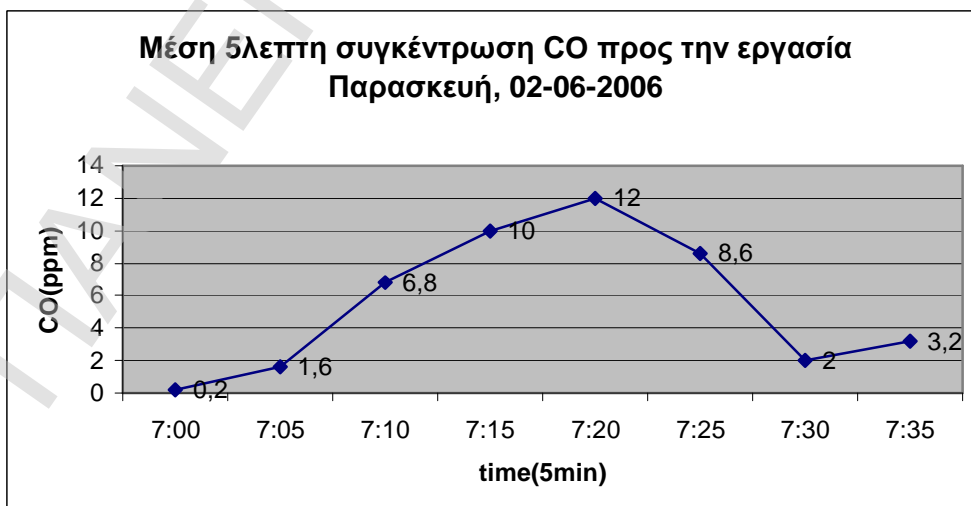
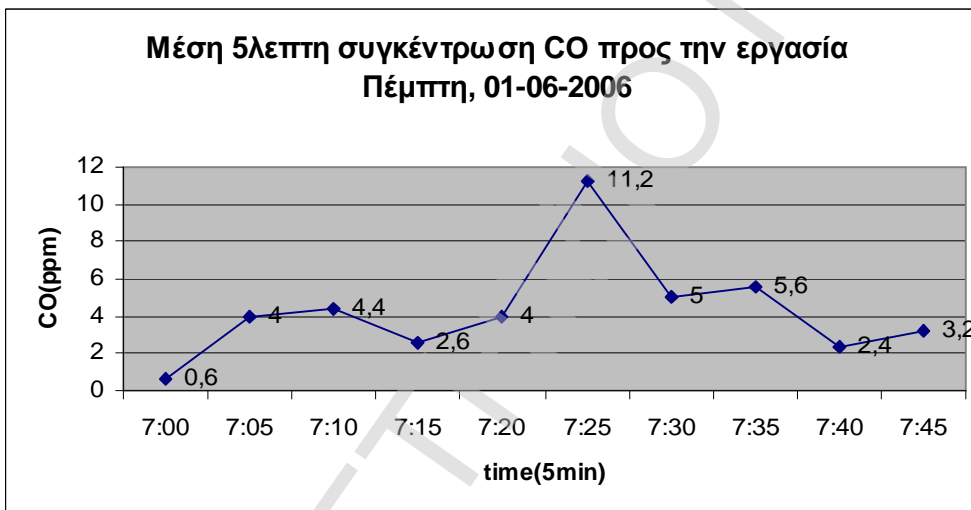
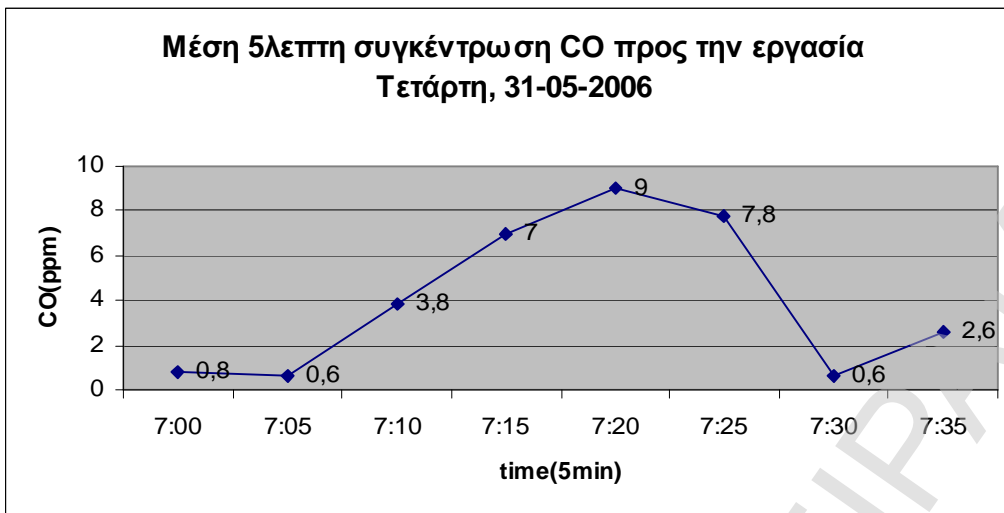
Επίσης, έντονο πρόβλημα διαπιστώνουμε και για τους περιστασιακά εργαζόμενους σε αυτούς τους χώρους, όπως προκύπτει από τις εσωτερικές μετρήσεις των σωματιδίων.

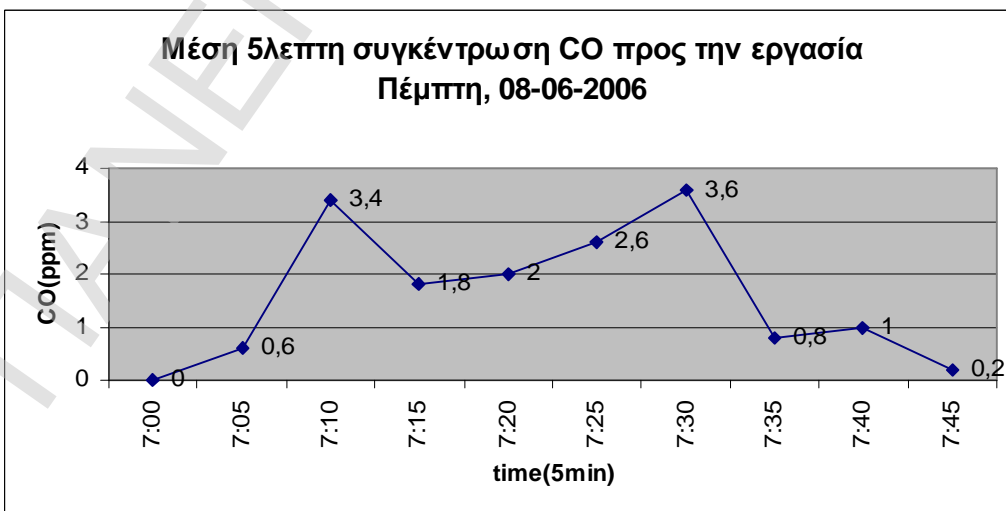
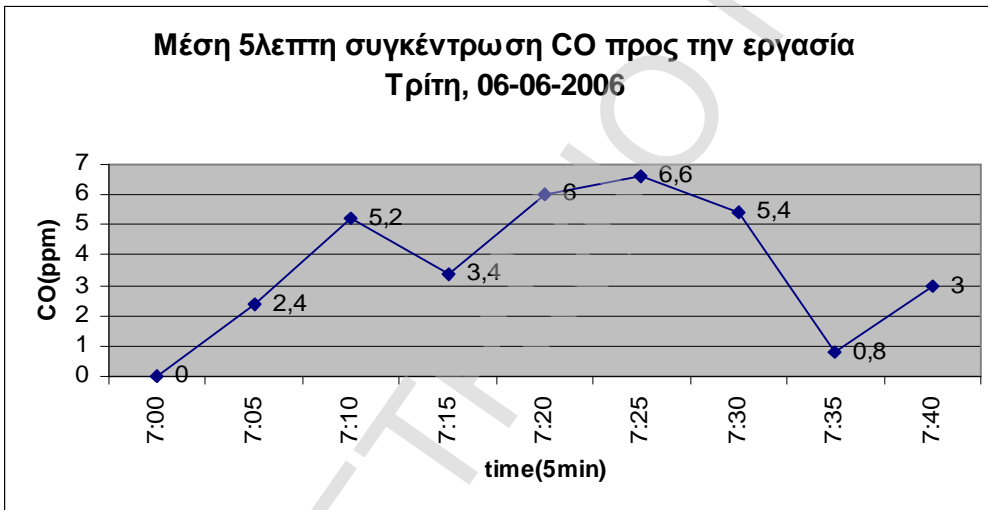
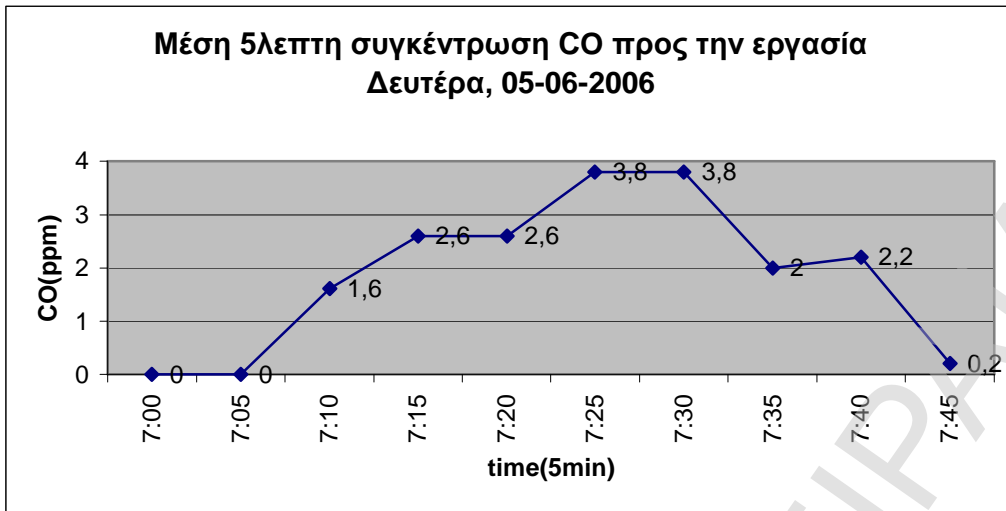


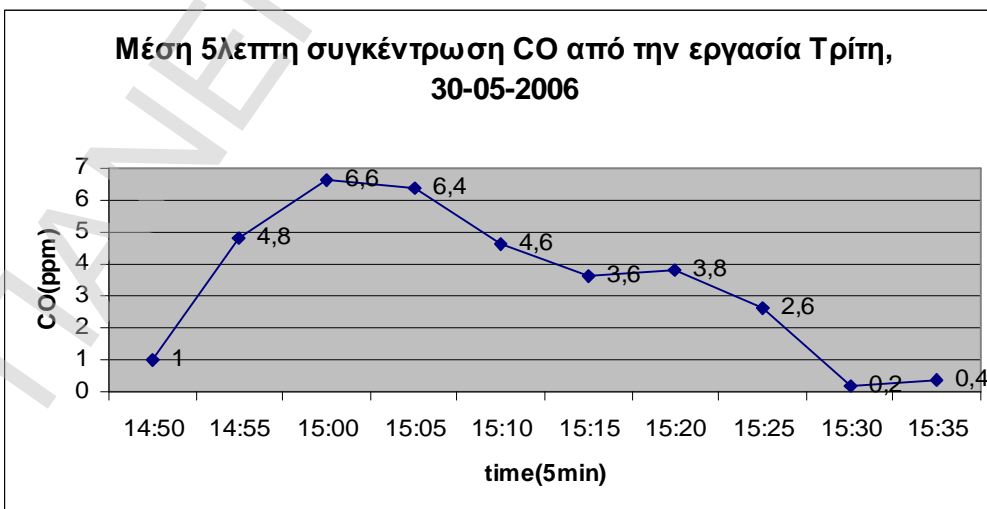
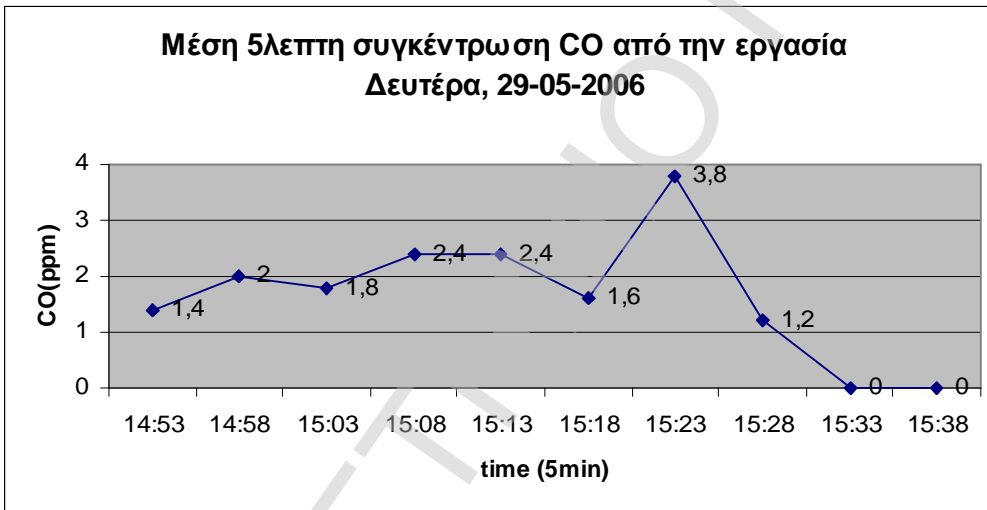
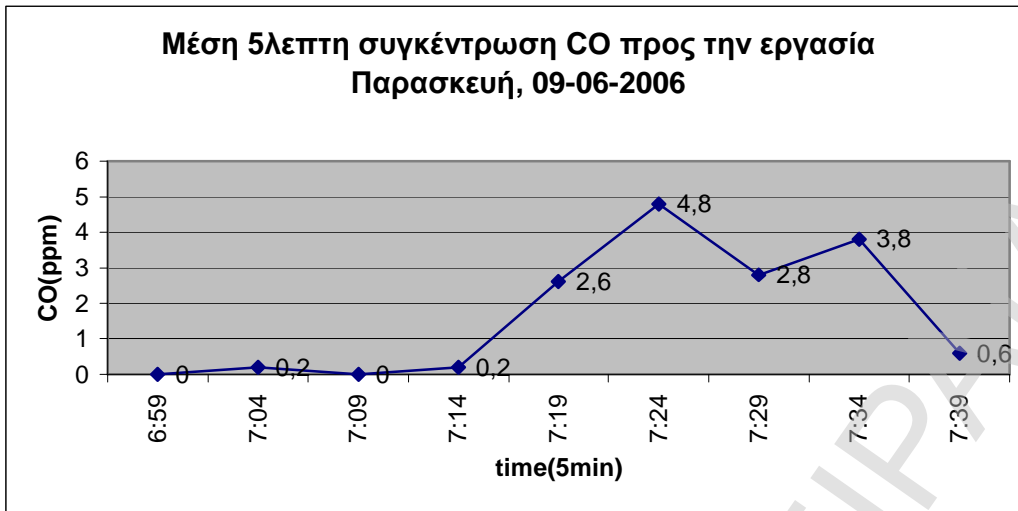
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

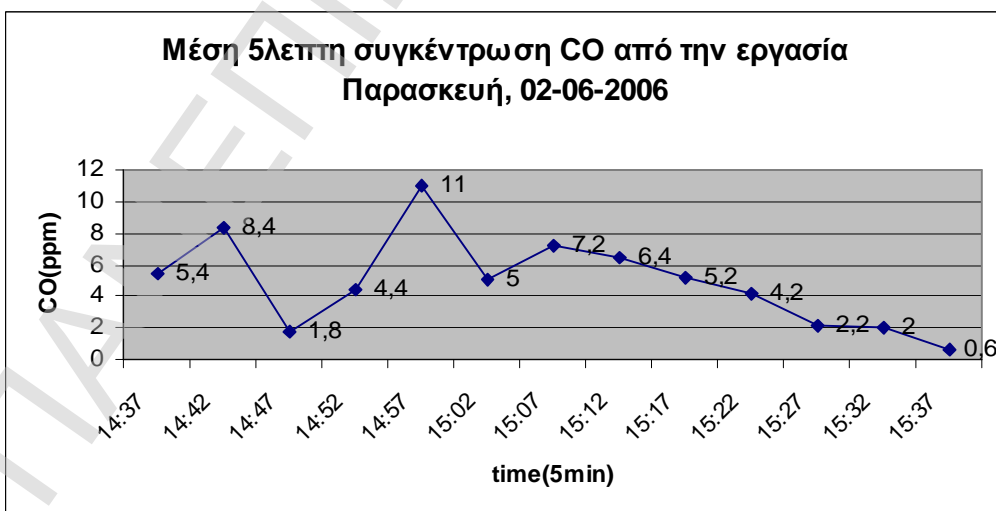
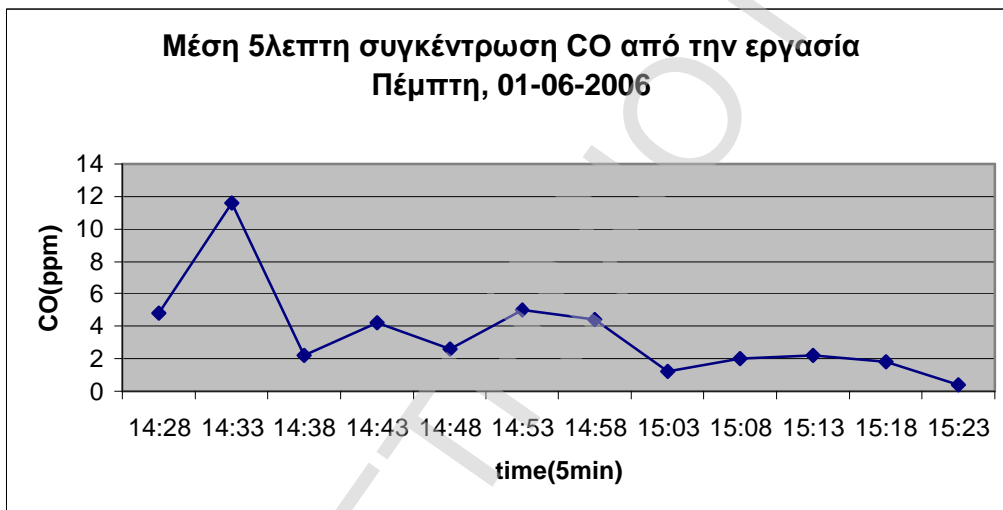
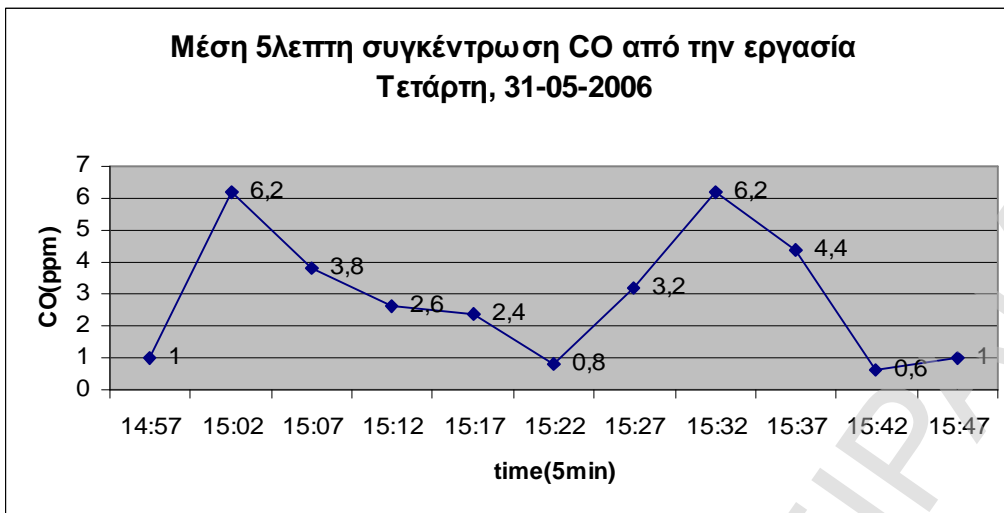
(Μέσες 5λεπτες συγκεντρώσεις CO προς και από την εργασία)

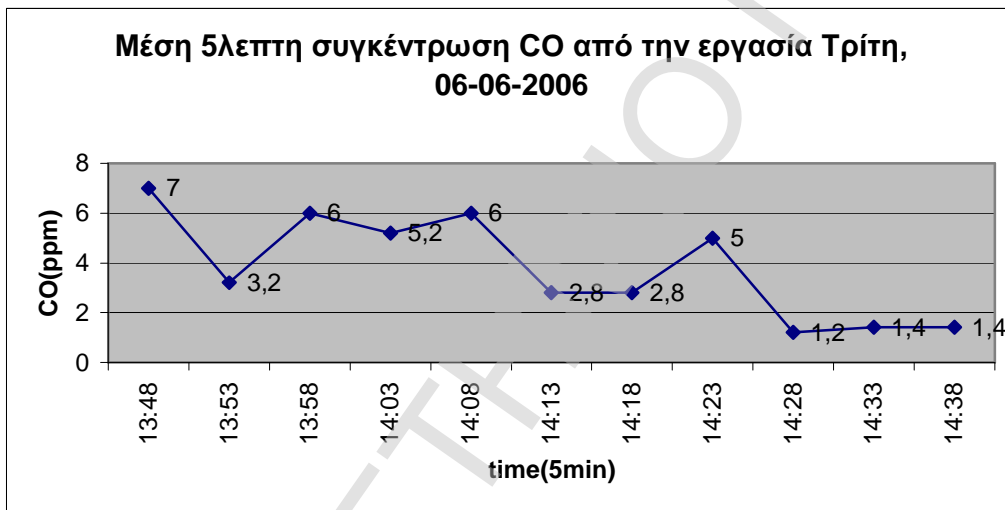
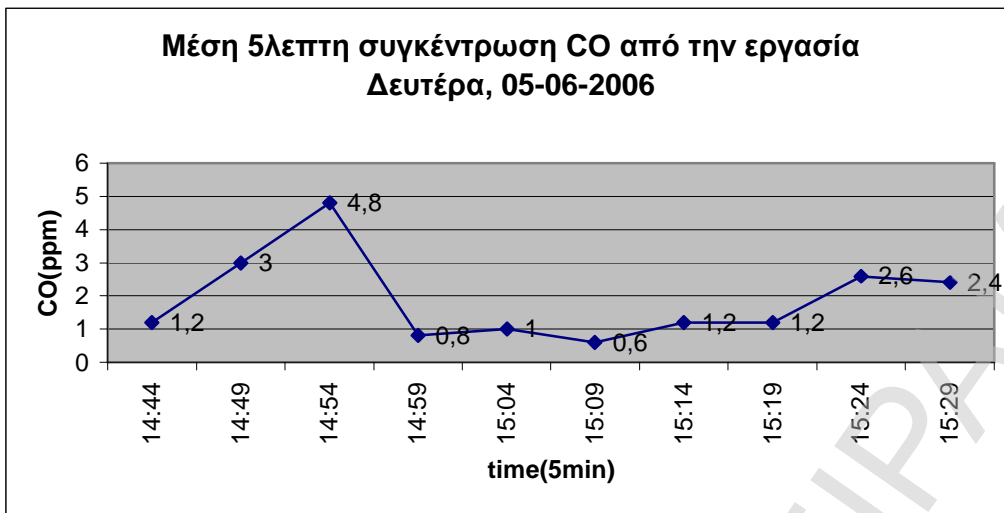


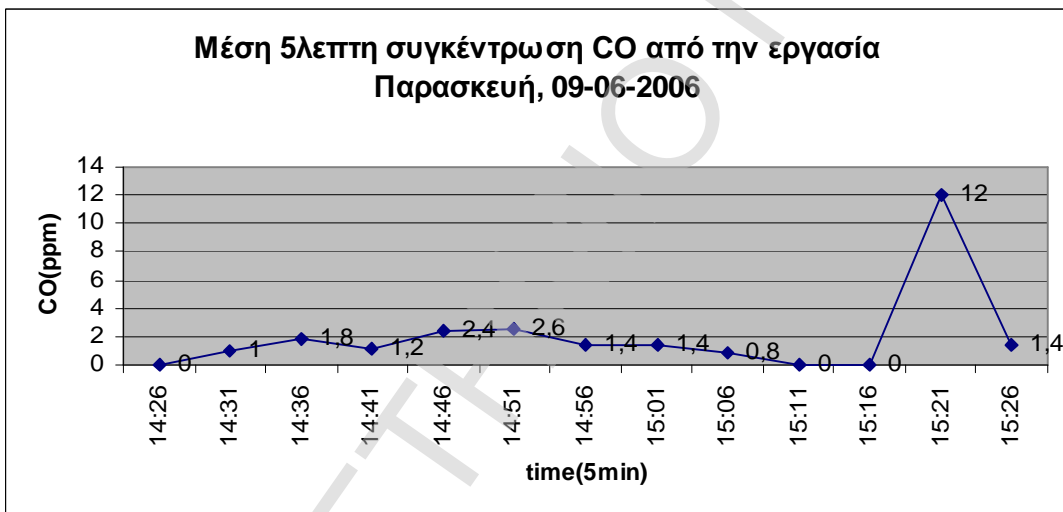
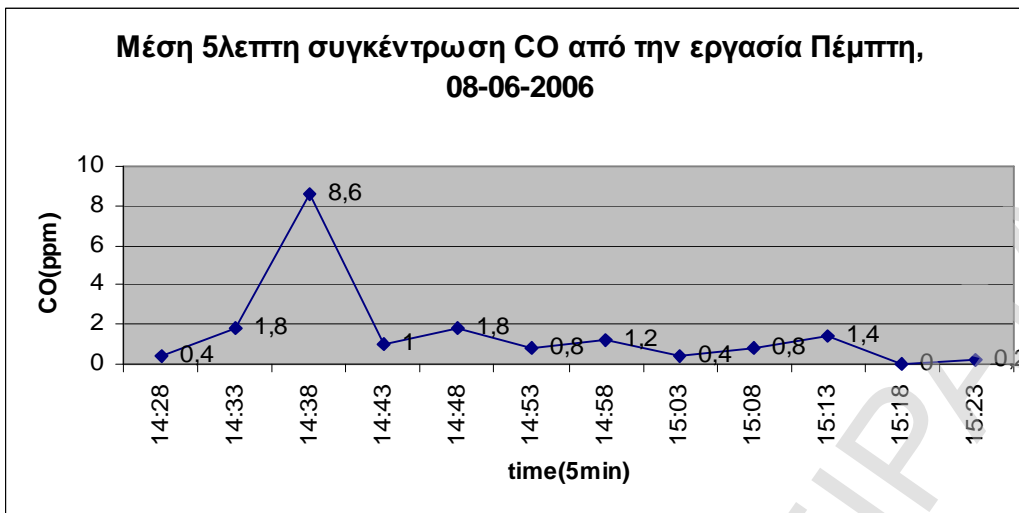












## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ

1. Environmental Protection Agency's Office of Research and Development (O.R.D.), "Air Quality Criteria for Particulate Matter", (E.P.A./600/P-95/OOlaF-cF), Federal Register 61(89): 20522, 5/7/96.
2. Work K., Warher C.F., Davis W.T. "Air pollution: its origin and control", Addison Wesley Longman, 1998.
3. E. Manahan Stanley (1991), "Environmental Chemistry", 5<sup>th</sup> edition, Lewis publishers, USA.
4. De Nevers Noel (1995), "Air pollution engineering", McGraw Hill, USA.
5. Robert Jennings Heinsohn, Robert Lynn Kobel, "Sources and Control of Air Pollution", Prentice Hall, 1999.
6. Natural Resources Defense Council, "Air Pollution FAQ" (Based on BREATH-TAKING: Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities, a May 1996 report by the Natural Resources Defense Council), <http://nrdc.org/air/pollution/qbreath.asp#health>
7. Chow Judith C. (1995), "Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles", J. Air & Waste Management Assoc., 45, 3(1995): 320-382.
8. Technical working group on particles (by European Commission), 24 July 1996, "Ambient air pollution by particulate matter" – "Draft position paper", version 4.0.
9. Air quality guidelines, W.H.O., 1999, Air quality and health, <http://www.int/environmental-information/Air/Guidelines/Chapter2.htm>.
10. U.S.-E.P.A. "Physics, chemistry, and measurement of particulate matter", <http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>.
11. U.S.-E.P.A., Office of Air & Radiation, "1995 national Air Quality: Status and Trends, Six Principal Pollutants-Particulate Matter (PM<sub>10</sub>)", <http://www.epa.gov/oar/aqtrnd95/pm10.html>
12. U.S.-E.P.A., Office of Air Quality Planning and Standards Research, "Latest findings on National Air Quality: 1997 Status and Trends", December 1998, E.P.A-454/F-98-009, <http://www.epa.gov/ebtpases/airairparticulatematterpm.html>.
13. U.S.-E.P.A, "Quality Assurance Handbook", Vol. II, Part II, Chapter 2: "Criteria Pollutants-National Trend".



14. Dr Paterson Kurt (1995), "CE352 Air Particulate Laboratory: Analysis of second hand smoke. Types of Air Particulate, Representatives sizes of air particulate" [http://www.bic.ac.civil.mtu.edu/public\\_html/classes/cd352/labs/particulates.html](http://www.bic.ac.civil.mtu.edu/public_html/classes/cd352/labs/particulates.html). First prototype Internet Laboratory of the MTU Environment Course Ware Series Last Revised: Jan. 1995.
15. Natural Resources Defense Council, "Air Pollution FAQ" (Based on BREATH-TAKING: Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities, a May 1996 report by the Natural Resources Defense Council), <http://www.nrdc.org/fmd/airesum.html>.
16. Harrison R.M., Yin. J., "Particulate matter in the atmosphere: which properties are responsible for its effects on health", The science of the total environment, 249(2000): 85-101.
17. Harrison R.M., Jones M., "The chemical composition of airborne particles in the U.K. atmosphere", The science of the total environment, 168(1995): 195-214.
18. Spengler J., Thurston G., "Mass and elemental composition of fine and coarse particles in six U.S. cities", J. Air & Waste Management Assoc., 33, 12 (1983): 1162-1171.
19. Harrison R.M., Deacon A.R., Jones M., "Sources and processes affecting concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate matter in Birmingham (U.K.)", Atmospheric environment, 31,24(1997): 4103-4117.
20. Chow J., Watson J.G., Lowenthal, Countess R.J., "Sources and chemistry of PM<sub>10</sub> aerosol in Santa Barbara county, CA", Atmospheric environment, 30,9(1996):1352-2310.
21. Harrison R.M., Turnbull A.B., "Major component contributors to PM<sub>10</sub> composition in the U.K. atmosphere", Atmospheric Environment, 34(2000): 3129-3137.
22. Pakkanen T., Kermmen V., Ojanen C., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T., "Atmospheric black carbon in Helsinki", Atmospheric Environment, 34(2000):1497-1506.
23. Castro L.M., Pio C.A., Harrison R.M., Smith D.J.T., "Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations", Atmospheric Environment, 33(1999): 271-278.
24. Gray M.A., Cass G.R., Huntzicker J.J., Heyerdahl E.K., RauJ.A., "Elemental and organic carbon: a long-term perspective", The science of the total environment, 36(1984): 17-25.

25. Yassaa Noureddine., Brahim Youcef Meklati, Angelo Cecinato, Marino Fabio, “Particulate n-alkanes, n-alkaloidal acids and polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere in Algiers City Area”, *Atmospheric environment*, 35(2001): 1843-1851.
26. Kendall M., Hamilton R.S., Watt J., Williams I.D., “Characterization of selected speciated organic compounds associated with particulate matter in London”, *Atmospheric environment*, 35(2001): 2483-2495.
27. Karen L. Magliano, Vernon M. Hughes, Lyle R. Chinkin, Dana L. Coe, Tami L Haste, Naresh Kumar , Frederick W. Lurmann, “Spatial and temporal variations in PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source contributions and comparison to emissions during the 1995 integrated monitoring study”, *Atmospheric environment*, 33(1999): 4757-4773.
28. Ρήγας Φ., “Επιστήμη και τεχνολογία περιβάλλοντος”, Αθήνα 1997.
29. Chow J., Watson J., Fujita E., Lu Z, Lawson D., Ashbaugh L, “Temporal and spatial variations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosol in the Southern California Air Quality Study”, *Atmospheric environment*, 28,12(1994): 1352-2310.
30. Gertler A.W., Gillies J.A., Pierson W.R., “An assessment of the mobile source contribution to PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the United States”, *Water, Air and Soil Pollution*, 123(2000): 203-214.
31. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ., “Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών”, Αθήνα 1993.
32. Harrison R., Shi J.P., “Investigation of ultrafine particle formation during diesel exhaust dilution”, *Environmental science and technology*, 33(1999): 3730-3736.
33. Simon Kingham, David Briggs, Paul Elliott, Paul Fische, Erik Lebret, “Spatial variations in the concentrations of traffic-related pollutants in indoor and outdoor air in Huddersfield, England”, *Atmospheric environment*, 34(2000): 905-916.
34. P.H. Fischer, G. Hoek, H. van Reeuwijk, D.J. Briggs, E. Lebret, J.H. van Wijnen, S. Kingham, P.E. Elliott, “Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam”, *Atmospheric environment*, 34(2000): 3713-3722.
35. Hildemann L., Markowski G., Cass G., “Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol”, *Environmental science and technology*, 24,4(1991): 744-759.
36. Department of the Environment transport and the regions, “Source Apportionment of airborne PM in the U.K.”. <http://www.environment.detr.gov.uk/airq/airbornepm/index.htm>

38. Ruellan S., Cachier H., "Characterization of fresh particulate vehicular exhaust near a Paris high flow road", Atmospheric environment, 35(2001): 453-468.
39. Roorda - Knape M.C., Janssen N.A.H., De HartocJ., Van Vliet P., Harssema H., Brunekreef B., "Air pollution from traffic in city districts near major motorways", Atmospheric environment, 32,11(1998): 1352-2310.
40. Mikael O. Ohlstrom, Kari E.J. Lehtinen, Mikko Moisio, Jorma K. Jokiniemi, "Fine-particle emissions of energy production in Finland", Atmospheric environment, 34(2000): 3701-3711.
41. Guidelines for Air Quality, W.H.O., Geneva 2000, "Air Quality-particulate matter".
42. 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, 33(1999):4757-4773.
43. Anne Jaeger-Voirol, Philippe Pelt, "PM<sub>10</sub> emission inventory in lie de France for transport and industrial sources: PM<sub>10</sub> re-suspension, a key factor for air quality", Environmental modeling & Software, 15(2000): 575-581.
44. Pun B.K., Seigneur C., "Understanding particulate matter formation in the California San Joaquin Valley: conceptual model and data needs", Atmospheric environment, 33(1999): 4865-4875.
45. Χαλουλάκου Α., "Προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης", Αθήνα 1994.
46. Seinfeld J.H., "Air pollution: physical and chemical fundamentals", New York, McGraw-Hill, 1991
47. [http://www.int/environmental\\_information/Air/Guidelines/Chapter2.html](http://www.int/environmental_information/Air/Guidelines/Chapter2.html)
48. <http://www.pmra.org>
49. "1997 Air Quality Management Plan", <http://www.aqmd.gov/aqmp/97aqmp>
50. [www.particulatepollutionFAQnrdc.htm](http://www.particulatepollutionFAQnrdc.htm)
51. [www.epa.gov/1997-trends](http://www.epa.gov/1997-trends)
52. [www.epa.gov/region4/pm2.5](http://www.epa.gov/region4/pm2.5)
53. American Lung Association of Washington, "Facts about particle matter air pollution", <http://alaw.prg/pmfact.html>
54. Juha Pekkanen, Kirsi L. Timonen, Juhani Ruuskanen, Auvo Reponen Aadu Mirme, "Effects of Ultrafine and Fine Particles in Urban Air on Peak Expiratory Flow

among Children with Asthmatic Symptoms”, Environmental research, 74(1997): 24-33.

**55.** Hughes L.S., Cass G., Gome J., Ames M., Olmez I., “Physical and chemical characterization of atmospheric ultrafine particles in the Los Angeles Area”, Environmental science and technology, 32, 9 (1998): 1153-1161.

**56.** Ostro B., Hurley S., Lipsett M.J., “Air pollution and daily mortality in the Coachella Valley, California: a study of PM<sub>10</sub> formation dominated by coarse particles”. Environmental Research section, 81(1999): 231-238.

**57.** G. Mitchell, A. Namdeo, D. Kay, “A new disease-burden method for estimating the impact of outdoor air quality on human health”, The Science of the Total Environment, 246(2000): 153-163.

**58.** Jantunen M.J., Katsouyanni K., Knippel H., “Air pollution Exposure in European Cities: The EXPOLIS Study”, pp. 3-5, pp.34.

**59.** Van de Zee S.C., Hoek G., Boezen H.M., Schouten J.P., Van Wijnen J.H., Brunekreef B., “Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic symptoms”, Occupational and Environmental Medicine, 59(1999):802-812.

**60.** Ron Williams, John Creason, Roy Zweidinger, Randall Watts, Linda Sheldon, Carl Shy, “Indoor, outdoor, and personal exposure monitoring of particulate air pollution: the Baltimore elderly epidemiology-exposure pilot study”, Atmospheric Environment, 34(2000): 4193-4204.

**61.** Μοροπούλου Α., “Υλικά - Σημειώσεις για το μάθημα 7<sup>ο</sup> εξαμήνου”.

**62.** Holland M.R., “Assessment of the economic costs of damage caused by air-pollution”, Water, air and soil pollution, 85(1995): 2583-2588.

**63.** Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1997), “Πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου σχετικά με οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (Ε.Ε. αριθμ. C9/98, σ.6), ΨΟΜ(97) 500 τελικό 97/0266 (SYN)”, Υποβλήθηκε από την Επιτροπή στις 21 Νοεμβρίου 1997.

**64.** Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1998), “Τροποποιημένη πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου σχετικά με οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (Ε.Ε. αριθμ. C259/98, σ. 10), Ο9Λ/(98) 386 τελικό-97/0266 (SYN)”, Υποβλήθηκε από την Επιτροπή σύμφωνα με το άρθρο 189<sup>Α</sup> παράγραφο 2 της συνθήκης ΕΚ στις 8 Ιουλίου 1998.

65. U.S. Environmental Protection Agency (1997), «Current and revised standards for Ozone and Particulate Matter», <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozmbro/current.html>
66. Environmental Protection Agency (1997), “What changes were made to the particulate standards”, *Environmental Manager*, vol.1 April 1995, p. 34-35. <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozmbro/partstant.html>
67. U.S. Environmental Protection Agency (1997), “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.
68. British Columbia Ministry of Environmental, Lands & Parks(1996), “The Environmental Protection Compedium, Air monitoring guidelines: Vol. I Particulate (non continuous), Part 1: Total Suspended Particulate, PM<sub>10</sub> Inhalable Particulate: High-Volume, PM<sub>10</sub> Inhalable Particulate: Low-Volume rate”, <http://www.env.gov.bc.ca/~cpr/guidelns/amgvlpnc.html> March 1996
69. "Strategy Assessment of Florida's environment (SAFE): Particulate Matter Emissions and Exceedance”, <http://www.fsu.edu/~cpm/safe/environ/aq4.html>
70. U.S.-E.P.A., “Sources and chemical composition of particulate matter”, March 2001, <http://www.epa.gov/ncea/partmatt.htm>
71. U.S.-E.P.A., “Effects of particulate matter”, March 2001, <http://www.epa.gov/ncea/partmatt.html>
72. Chan Y.C., Vowles P.D., Me Tainsh G.H., Simpson R.W., Cohen D.D., Baily G.M., Me Orist G.D., “Characterization and source identification of PM<sub>10</sub> aerosol samples collected with a high volume cascade impactor in Brisbane (Australia)”, *The science of the total environment*, 262(2000): 5-19.
73. Ostro B., Chestnutt L, “Assessing the health benefits of reducing particulate matter air pollution in the United States”, *Environmental Research*, 76(1998): 94-106.
74. Clark A.G., Willison M.J., Zeki E.M., “A comparison of urban and rural aerosol composition using dichotomous samplers”, *Atmospheric environment*, 18,9(1984):1767-1775.
75. Cacciola R.R., Sarva M., Polosa R., “Adverse respiratory effects and allergic susceptibility in relation to particulate air pollution: flirting with disaster”. *Allergy* 2002; 57:281-6.
76. Xianglu Han, Luke P. Naeher. “A review of traffic-related air pollution exposure assessment studiew in the developing world”, *Environmental International* 32(2006): 106-120.

77. Dockery D.W., Pope C.A., Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., et al. "An association between air pollution and mortality in six US cities", *N. Engl J Med* 1993;329:1753-9.
78. Delfino R.J., Murphy-Moulton A.M., Becklake M.R. "Emergency room visits for respiratory illnesses among the elderly in Montreal: association with low level ozone exposure." *Environ Res, Sect A* 1998;76:67-77.
79. Calderón-Garciduenas L., Mora-Tascareno A., Fordham L.A., Valencia-Salazar G., Chung C.J., Rodriguez-Alcazar A., et al. "Respiratory damage in children exposed to urban pollution". *Respiratory* 2003;3:148-61.
80. Laden F., Neas L.M., Dockery D.W., Schwartz J. "Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities". *Environ Health Perspect* 2000;108:941-7.
81. Naeher L.P., Holford T.R., Beckett W.S., Belanger K., Triche E.W., Bracken M.B., et al. "Healthy Women's PEF Variations with ambient summer concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sup>+</sup>, and O<sub>3</sub>". *AM J Respir Crit Care Med* 1999;160:117-25.
82. O'Neil M.S., Loomis D., Borja-Aburto V.H. "Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico city". *Environ Res* 2004;94:234-42.
83. Suresh Y., Sailaja Devi M.M., Manjari V., Das U.N. "Oxidant stress, antioxidants, and nitric oxide in traffic police in Hyderabad, India". *Environ Pollut* 2000;109:321-5.
84. Preutthipan A., Udomsubpayakul U., Chaisupamongkollarp T., Pentamwa P. "Effect of PM<sub>10</sub> pollution in Bangkok on children with and without asthma". *Pediatr Pulmonol* 2004;37:187-92.
85. Wilhem M., Ritz B. "Residential proximity to traffic and adverse birth outcomes in Los Angeles County, California, 1994-1996". *Environ Health Perspect* 2003;111:207-16.
86. Janssen N.A.H., Schwartz J., Zanobetti A., Suh H.H. "Air conditioning and source-specific particles as modifiers of the effect of PM<sub>10</sub> on hospital admissions for heart and lung disease". *Environ Health Perspect* 2002;110:43-9.
87. Cullis C.F. & Hirschler M.M. "Man's emissions of carbon monoxide and hydrocarbons into the atmosphere". *Atmospheric Environment* 23:1195-1203 (1989).
88. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation "Report to Congress on Indoor air quality, Volume II: Assessment and Control of Indoor Air Pollution, pp I, 4-14". EPA 400-1-89-001C, 1989.

89. American Heart Association Council on Cardiopulmonary and Critical Care. "Environmental Tobacco Smoke and Cardiovascular Disease". *Circulation* 1992;86:1-4.
90. U.S. Department of Health and Human Services. "The Health Benefits of Smoking Cessation, A report of the Surgeon General. DHHS Publication No (CDC) 89-84" 1989.
91. Samet J.M., Marbury Marian C. and Spengler J.D. "Health effects and sources of indoor air pollution, Part I". *American Review of Respiratory Disease* 1987;136:1486-1508.
92. American Thoracic Society. "Report of the ATS Workshop on Environmental Controls and Lung Disease, Santa Fe, New Mexico, March 24-26, 1988". *American Review of Respiratory Disease* 1990;142:915-39.
93. Lipsett M. "Oxides of Nitrogen and Sulfur". *Hazardous Materials Technology* 1992;000:964-69.
94. U.S. Environmental Protection Agency. "Review of the national ambient air quality standards for sulfur oxides: Updated assessment of scientific and technical information; Supplement to the 1986 staff paper addendum (July 1993)".
95. Burge Harriet A. and Feely J.C. "Indoor air pollution and infections diseases". In Samet J.M. and Spengler J.D., *Indoor air pollution, A health Perspective* (Baltimore MD: Johns Hopkins University Press, 1991), pp273-84, 1993.
96. Nardell E.A., Keegan Joann et al. "Airborne infection: Theoretical limits of protection achievable by building ventilation". *American Review of Respiratory Disease* 1991;144:59-62.
97. International Agency for Research on Cancer. "IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man, Vol. 38: Tobacco smoking". WHO, 1986.
98. Pope C.A. III, Swartz j. and Ransom M.R. "Daily mortality and PM<sub>10</sub> pollution in Utah, Salt Lake, and Cache Valleys". *Archives on Environmental Health* 1992;46:90-96.
99. Brunekreeff R.S., Dockery W.G. et al. "Home Dampness and respiratory morbidity in children". *American Review of Respiratory Disease* 1989;140:1363-67.
100. Berstein R.S. "Exposures respirable airborne Penicillium from a contaminated ventilation system: Clinical, Environmental, and Epidemiological Aspects". *American Industrial Hygiene Association Journal* 1983;44:161-69.
101. Platt-Mills T.A.E. and Chapman M.D. "Dust Mites: Immunology, Allergic Disease and Environmental Control". *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 1987;80:755-75.

- 102.** See Samet J.M., Marbury Marian C. and Spengler J.D. "Health effects and sources of indoor air pollution, Part II". *American Review of Respiratory Disease* 1988;137:221-42.
- 103.** Black D.W., Rathe, Ann and Goldstein, Rise B. "Environmental Illness: A controlled study of 26 subjects with 20<sup>th</sup> century disease". *Journal of the American Medical Association* 1990;264:3166-70.
- 104.** Brundage J.F., Scott R. et al. "Building-Associated risk of febrile acute respiratory disease in army trainees". *Journal of the American Medical Association* 1988;259:2108-12.
- 105.** Nolan C.M., Elarth A.M. et al. "An outbreak of tuberculosis in a shelter for homeless men: A description of its evolution nad control". *American Review of Respiratory Disease* 1991;143:257-61.
- 106.** American Lung Association. *Lung Disease Data* 1993. publication No 0456, 1993.
- 107.** Centers for Disease Control nah American Thoracic Society. *Core Curriculum on Tuberculosis. Second Edition*, 1991.
- 108.** Burge Harriet A. "Riska associated with indoor infectious aerosols". *Toxicology and Industrial Health* 1990;6:263-73.
- 109.** Arlian L.G. "Biology and ecology of house dust mite, *Dermatophagoldes* spp and *Euroglyphus* spp". *Immunology and Allergy Clinics of North America* 1989;9:339-56.
- 110.** Croft W.A., Jarvia B.B., Yatawara C.S. "Airborne outbreak of trichothecene toxicosis". *Atmosph. Environ.* 20:549-552.
- 111.** Gómez-Perales J.E., Colvile R.N., Nieuwenhuijsen M.J., Fernadez-Bremauntz A., Gutierrez-Avedoy V.J., Paramo-Figueroa V.H. et al. "Commuters' exposure to PM<sub>2,5</sub>, CO and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City". *Atmos. Environ.* 2004;38:1219-29.
- 112.** Fernadez-Bremauntz A.A. and Ashmore M.R. "Exposure of commuters' to carbon monoxide in Mexico City-measurement of in-vehicle concentretions". *Atmos. Environ.* 1995;29:525-32.
- 113.** Shendell D.G. and Naeher L.P. "A pilot study to assess ground-level ambient concentrations of fine particles and carbon monoxide in urban Guatemala". *Environ. Int* 2002;28:375-82.
- 114.** Zagury E., Moullec Y.L., Momas I. "Exposure of Paris taxi drivers to automobile air pollutants within their vehicles". *Clean Occup Environ Med* 2000;57:406-10.



- 115.** Riediker M., Williams R., Devlin R., Griggs T., Bromberg P. "Exposure to particulate matter, volatile organic compounds, and other air pollutants inside patrol cars". *Environ Sci Technol* 2003;37:2084-93.
- 116.** Duci A., Chaloulakou A., Spyrellis N. "Exposure to carbon monoxide in the Athens urban area during commuting". *Sci Total Environ* 2003;309:47-58.
- 117.** Ashmore M.R., Batty K., Machin F., Gulliver J., Grossinho A., Elliott P., et al. "Effects of traffic management and transport mode on the exposure of school children to carbon monoxide". *Environ Monit Assess* 2000;65:49-57.
- 118.** Chow W.K., Chan M.Y. "Field measurement on transient carbon monoxide levels in vehicular tunnels". *Build Environ* 2003;38:227-36.
- 119.** Chan L.Y., Lau W.L., Zou S.C., Cao Z.X., Lai S.C. "Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China". *Atmos. Environ.* 2002;36:5831-40.
- 120.** Leong S.T., Muttamara S., Laortanakul P. "Evaluation of air pollution burden from contribution of motorcycle emission in Bangkok". *Water Air Soil Pollut* 2001;131:41-60.
- 121.** Kukkonen J., Valkonen E., Walden J., Koskentalo T., Karppinen A., Berkowicz R., et al. "Measurements and modeling of air pollution in a street canyon in Helsinki". *Environ Monit Assess* 2000;65:371-9.
- 122.** Manning A.J., Nicholson K.J., Middleton D.R., Rafferty S.C. "Field study of wind and traffic to test a street canyon pollution model". *Environ Monit Assess* 2000;65:283-313.
- 123.** Venegas L.E., Mazzeo N.A. "Carbon monoxide concentration in a canyon of Buenos Aires City (Argentina)". *Environ Monit Assess* 2000;65:417-24.
- 124.** Abdollahi M., Zadparvar L., Ayatollahi B., Baradaran M., Nikfar S., Hastaie P., et al. "Hazard of carbon monoxide poisoning for bus drivers in Teheran, Iran". *Bull Environ Contam Toxicol* 1998;61:210-5.
- 125.** Chaloulakou A., Assimakopoulos D., Lekkas T., 1998. "Forecasting daily maximum ozone concentrations in the Athens Basin". *Environ Monit Assess* 56:97-112.
- 126.** Kassomenos P., Kotroni V., Kallos G., 1995. "Analysis of climatological and air quality observations from greater Athens area". *Atmospheric Environment* 29 (24):3671-3688.
- 127.** PERPA, 1989a. "Air pollution in the Athens basin, Vol 2: Pollution sources. Technical report, Hellenic Ministry of the Environment, Physical Planning and Public Works, Athens".

- 128.** Touloumi G., Pocock S.J., Katsouyanni K., Trichopoulos D., 1994. "Short term effects of air pollution on daily mortality in Athens: a time series analysis". *International Journal of Epidemiology* 23:957-967.
- 129.** Burnett R.T., Dales R.E., Brooks J.R., Raizenne M.E., Krewski D., 1997. "Association between ambient carbon monoxide levels and hospitalizations for congestive heart failure in the elderly in 10 Canadian cities". *Epidemiology* 8:162-167.
- 130.** Burnett R.T., Cakmak S., Raizenne M.E., Stieb D., Vincent R., Krewski D., Brooks J.R., Philips O., Ozkaynak H., 1998. "The association between ambient carbon monoxide levels and daily mortality in Toronto, Canada.". *Journal of the Air and Waste Management Association* 48:689-700.
- 131.** PERPA, 2005. "Air pollution in the Athens basin, Technical report, Hellenic Ministry of the Environment, Physical Planning and Public Works, Athens".
- 132.** Κώττης Χ. Γεώργιος, 1994. "Οικολογία και Οικονομία". Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.