



ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΜΠΣ: ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Ε.Μ.Π.

Τομέας II: [Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων.](#)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ($PM_{10}/PM_{2.5}$) ΑΠΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ
ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.
ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ/ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ.**

Επιμέλεια: Καίρη Όλγα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Αναπλ. Καθ. Α. Χαλουλάκου-Χριστοδουλάκη.

ΑΘΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ	3
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	5
2.1 Αιωρούμενα Σωματίδια	5
2.1.1 Εισαγωγή	5
2.1.2 Κατάταξη αιωρούμενων σωματιδίων	5
2.1.2.1 Κατάταξη με κριτήριο των τρόπο σχηματισμού	5
2.1.2.2 Κατάταξη με κριτήριο το μέγεθος	6
2.1.2.2.1 Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSP)	6
2.1.2.3 Κατάταξη με κριτήριο την διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό	9
2.1.3 Ορισμοί μετρούμενων σωματιδιακών ρύπων	10
2.1.4 Χημική σύσταση σωματιδίων	12
2.1.5 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων	17
2.1.5.1 Εισαγωγή	17
2.1.5.2 Ανθρωπογενείς πηγές	18
2.1.5.3 Φυσικές πηγές	21
2.1.6 Επιπτώσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια	22
2.1.6.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	22
2.1.6.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον	22
2.2 Πρότυπα Ποιότητας αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια	23
2.2.1 Η Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία – πλαίσιο	23
2.2.2 Πρότυπα ποιότητας κατά US-EPA	32
2.3 Μεθοδολογία	34
2.4 Οργανολογία	34
2.5 Επεξεργασία Μετρήσεων	36
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	37
3.1 PM10	37
3.1.1 Εξωτερική συγκέντρωση	37
3.1.2 Εσωτερική συγκέντρωση	38
3.1.3 Σχολιασμός στατιστικών στοιχείων	39
3.2 PM2,5	39
3.2.1 Εξωτερική συγκέντρωση	39
3.2.2 Εσωτερική συγκέντρωση	40
3.2.3 Σχολιασμός στατιστικών στοιχείων	40
3.3 Επικρατούσες συνθήκες	41

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	41
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	51
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	53

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πλήθος επιδημιολογικών μελετών συνδέει την έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM με σοβαρές συνέπειες στην υγεία, μεταξύ των οποίων αναπνευστικές δυσλειτουργίες, καρδιαγγειακά νοσήματα, καρκινογένεσεις ή πρόωρη θνησιμότητα. Στις αστικές περιοχές, με σημεία έντονης ρύπανσης (hotspots), όπως κοντά σε κεντρικές οδικές αρτηρίες καταγράφονται χρόνιες επιπτώσεις στην υγεία.

Αυξημένη ευαισθησία ως προς την έκθεση έχουν τα πολύ νεαρά άτομα (παιδιά), οι ηλικιωμένοι και οι ασθενείς καρδιοαναπνευστικού συστήματος, οι οποίοι, όπως άλλωστε και οι κάτοικοι αστικών περιοχών, παραμένουν κατά το μεγαλύτερο διάστημα της μέρας σε εσωτερικό χώρο. Έχει βρεθεί ότι στους κλειστούς χώρους η δημιουργία σωματιδίων οφείλεται στην ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα, ενώ ένα μεγάλο ποσοστό των σωματιδίων του εξωτερικού περιβάλλοντος εισέρχονται στο εσωτερικό.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀/PM_{2,5} από κυκλοφορία σε κεντρική περιοχή κατοικιών στην Αθήνα και η συσχέτιση εσωτερικών/ εξωτερικών συγκεντρώσεων.

Για να εστιάσουμε στις εκπομπές που προέρχονται από την κίνηση των οχημάτων, επιλέγεται «θερινή» περίοδος δειγματοληψίας, όπου δε χρησιμοποιούνται κεντρικές θερμάνσεις, ώστε ο όγκος της εξωτερικής συγκέντρωσης να προκύψει επί το πλείστον λόγω κυκλοφορίας. Παράλληλα για να ερευνηθεί η επιρροή της κυκλοφορίας στη συγκέντρωση σωματιδίων στο εσωτερικό της κατοικίας, αποκλείεται η παράμετρος της φυσικής παρουσίας/κινητικότητας, εκτός του περιοδικού ανάμματος ενός τσιγάρου.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι τοποθέτηση σταθμικών δειγματοληπτών PM₁₀ και PM_{2,5} και φωτόμετρου σε διαμέρισμα 4^{ου} ορόφου πολυκατοικίας σε δρόμο διπλής κυκλοφορίας μιας λωρίδας, με πολύ αυξημένη κίνηση (αρχή της οδού Ηρακλείου – Άνω Πατήσια), για τη συλλογή επί προζυγισμένου φίλτρου σωματιδίων του αέρα επί 24h. Η μάζα των σωματιδίων προσδιορίζεται με τη ζύγιση του φίλτρου μετά τη συλλογή. Οι μετρήσεις είναι συνεχείς και λαμβάνονται συγχρόνως τιμές indoor/ outdoor σε διαστήματα τριαντάλεπτων (30min), με εναλλαγή δειγματοληψίας εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου ανά τέταρτο. Η περίοδος της στοιχειοληψίας είναι διάστημα ενός μήνα μεταξύ 5/9/06 - 3/10/06, όπου λαμβάνονται, ανά 48ωρα ή 72ωρα, εκ περιτροπής μετρήσεις για PM₁₀ και PM_{2,5}. Στο ίδιο διάστημα συλλέγονται μετεωρολογικά δεδομένα θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου και σχετικής υγρασίας. Στη συνέχεια ακολουθεί δίμηνη περίπου επεξεργασία των μετρήσεων που περιλαμβάνει μετατροπή μονάδων, αναγωγή σε πλήρη 24ωρα, υπολογισμούς στατιστικών μεγεθών, γραμμική παλινδρόμηση και κατασκευή γραφημάτων.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, οι τιμές εξωτερικών συγκεντρώσεων που καταγράφονται, τόσο για PM₁₀ όσο και PM_{2,5} συνιστούν σαφείς υπερβάσεις των μέγιστων επιτρεπτών ορίων που τίθενται από την Ε.Ε., με τους μέσους όρους Cout να εμφανίζονται κατά 40% αυξημένοι. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις των PM₁₀ είναι πολύ χαμηλότερες της οριακής τιμής, αλλά για τα σωματίδια PM_{2,5} υπάρχει και εδώ παραβίαση της τάξης του 20%. Επιπλέον η ειδική δραστηριότητα του τσιγάρου, οδηγεί στην εμφάνιση υψηλών τιμών, μεγαλύτερων των Cout (I/O>1) και αποτελεί ένδειξη της σοβαρής συμμετοχής της δραστηριότητας στα επίπεδα των ρύπων στο εσωτερικό. Αναφορικά με τα αμερικανικά πρότυπα κατά EPA οι τιμές εξωτερικών

συγκεντρώσεων είναι σημαντικά χαμηλότερες των μέγιστων επιτρεπτών για PM10 και κοντά σε αυτές για PM2,5, ενώ οι εσωτερικές συγκεντρώσεις είναι κατά μέσο όρο χαμηλότερες αυτών για τους δύο τύπους σωματιδίων.

Η συσχέτιση εσωτερικών/ εξωτερικών συγκεντρώσεων, αποδεικνύεται ισχυρά θετική, με συντελεστές $R=0,73$ και $R= 0,72$ για PM10 και PM2,5 αντίστοιχα. Άρα οι υψηλές τιμές εξωτερικών συγκεντρώσεων, έχουν άμεσο αντίκτυπο στην εσωτερική ατμόσφαιρα της οικίας.

Τα επίπεδα συγκέντρωσης επηρέασε κυρίως η ταχύτητα του ανέμου. Οι συντελεστές συσχέτισης εξωτερικών συγκεντρώσεων PM/ ταχύτητας ανέμου, που προκύπτουν από τη γραμμική παλινδρόμηση, δείχνουν (ισχυρά) αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους, $R_{PM10} = -0,41$ και $R_{PM2,5} = -0,64$. Επομένως η αυξημένη ταχύτητα ανέμου βοηθάει στη μείωση των σωματιδιακών συγκεντρώσεων (ιδιαίτερα των λεπτόκοκκων PM2,5) και αντίστροφα. Η θερμοκρασία μένοντας σταθερή στο διάστημα στοιχειοληψίας, δεν επηρέασε τις τιμές των συγκεντρώσεων. Αντίθετα η αύξηση της σχετικής υγρασίας στο μέσο περίπου του διαστήματος από 18/9 και πέρα, σε συνδυασμό με την προφανή άνοδο των τιμών Cout των PM2,5 στο ίδιο διάστημα (από 25/9), δημιουργεί σκέψεις και αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης πάνω στην πιθανή συμμετοχή αυτής στα επίπεδα συγκεντρώσεων.

Η τάση εμφάνισης συγκεντρώσεων σωματιδίων υψηλότερων από τις επιτρεπόμενες τιμές (βάσει προτύπου E.E.) κατά τη «θερινή» περίοδο, εκτιμάται ότι θα ενταθεί το χειμώνα, τόσο λόγω αύξησης των εκπομπών από τις κεντρικές θερμάνσεις, όσο και λόγω μειωμένου αερισμού των κτηρίων τους ψυχρούς μήνες. Έτσι μια μελλοντική επέκταση της μελέτης σε χειμερινή περίοδο, θα έδινε σαφή εικόνα των πραγματικών επιβαρύνσεων. Εξάλλου κατά τους χειμερινούς μήνες, θα μπορούσε επίσης να αξιολογηθεί η αυξημένη υγρασία ως ενδεχόμενος παράγοντας επιβάρυνσης. Να σημειωθεί ότι μεταξύ της στοιχειοληψίας του 2006 και του παρόντος χρόνου, η μεσολάβηση της οικονομικής κρίσης με δυσμενείς επιπτώσεις στα ποσοστά ανεργίας, στο εισόδημα των πολιτών και στις τιμές καυσίμων, έχει επιφέρει μείωση της κυκλοφορίας των οχημάτων στις μεγάλες πόλεις, χωρίς ανάλογη αύξηση της μετακίνησης με Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Θα είχε νόημα η επανάληψη μιας αντίστοιχης σειράς μετρήσεων στις τρέχουσες συνθήκες για την αποτύπωση των σημερινών επιπέδων ρύπανσης.

Τέλος στο πλαίσιο δράσης σε ευρωπαϊκό επίπεδο για τον περιορισμό των συγκεντρώσεων ρύπων, η Επιτροπή των Περιφερειών ήδη από την 3/5/12 με Γνωμοδότησή της (2012/C 225/3) προωθεί «Αναθεώρηση της πολιτικής της E.E. για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και τις εκπομπές» με στόχο την παρουσίασή της στο τέλος του 2013.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ

Η έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , $PM_{2,5}$ και UFPs πρωτογενή (προερχόμενα από κίνηση οχημάτων, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καύσεις αστικές και βιομηχανικές, εμπρησμούς δασών, οικοδομές, λατομεία, ορυχεία, θαλάσσια αερολύματα) ή δευτερογενή (σχηματιζόμενα στην ατμόσφαιρα από αέριες ενώσεις μέσω ομογενών ή ετερογενών χημικών αντιδράσεων) έχει συνδεθεί, από πλήθος επιδημιολογικών μελετών, με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία (Pope and Dockery 2006, Pope et al. 2002, Von Klot et al. 2002, Katsouyanni et al. 2001, Goldberg et al. 2001, Penttinen et al. 2001, Peters 2000, Pope 2000a, b, Pekkanen et al. 1997, Peters et al. 1997b).

Ειδικότερα η έκθεση σε σωματιδιακή ρύπανση μπορεί να προκαλέσει καρδιαγγειακές ασθένειες, να επιδεινώσει προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος, είτε προκαλώντας βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων, είτε αυξάνοντας την ευαισθησία τους σε μολύνσεις από βακτήρια και ιούς, να επιδράσει στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, όπως επίσης να προξενήσει καρκινογενέσεις και πρόωρο θάνατο. Πιθανές συνέπειες αποτελούν επίσης κάποια λιγότερο επώδυνα συμπτώματα όπως επίμονος βήχας, φλέγματα, ζαλάδες και αδιαθεσία.

Η έκθεση σε συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ενδέχεται να μειώσει τη διάρκεια της ανθρώπινης ζωής από 1 έως 2 χρόνια, κατά μέσο όρο, και σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO), αποτελεί την αιτία περίπου 3.000.000 θανάτων ετησίως, σε παγκόσμιο επίπεδο.

Σύμφωνα με σχετικές μελέτες, τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία είτε σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια για μακρόχρονη έκθεση, είτε για μικρής διάρκειας έκθεση σε υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Υποστηρίζεται ότι πολλά χρόνια συμπτώματα οφείλονται στην επαναλαμβανόμενη βραχυχρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Schwartz 2000).

Ιδιαίτερα ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού, ως προς την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια, αποτελούν τα πολύ νεαρά και ηλικιωμένα άτομα, καθώς και οι πάσχοντες από αναπνευστικές και καρδιακές παθήσεις, ενώ οι επιπτώσεις σε παιδιά προεφηβικής ηλικίας λόγω έκθεσης, έχουν απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα την τελευταία δεκαετία. Υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{10} , $PM_{2,5}$, UFPs, καθώς και μαύρου καπνού (black smoke, BS) έχει βρεθεί ότι σχετίζονται με αναπνευστικά συμπτώματα σε νεαρά άτομα και αυξημένη χρήση φαρμακευτικής αγωγής σε παιδιά πάσχοντα από άσθμα (Chaloulakou, Kassomenos 2005, Pekkanen et al. 1997, Peters et al. 1997a). Αύξηση της συγκέντρωσης των PM_{10} κατά $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στη πόλη του Μεξικού συνδέεται με κατά 8 % αύξηση ασθενειών του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος σε ασθματικά παιδιά (Romieu et al. 1996) Στα πλαίσια μιας 10-ετούς επιδημιολογικής μελέτης στην Νότια Καλιφόρνια, βρέθηκαν ενδείξεις ελλιπούς ανάπτυξης της πνευμονικής λειτουργίας των παιδιών, οι οποίες σχετίζονταν με υψηλές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (Wu et al. 2005). Σύμφωνα με μελέτη για τις ετήσιες εκπομπές PM_{10} στην Αθήνα, ελάττωση αυτών στα επίπεδα που ορίζονται από την Air Quality Guideline (WHO), θα οδηγούσε στην μείωση των εισαγωγών αναπνευστικών και καρδιαγγειακών περιστατικών και της θνησιμότητας (Mavroidis & Chaloulakou 2010).

Τα σωματίδια PM₁₀ έχουν έντονη δραστηριότητα, γεγονός που αποδεικνύεται πειραματικά με αποσύνθεση του DNA. Μέρος αυτής της δραστηριότητας οφείλεται στην ρίζα υδροξυλίου, μια ελεύθερη ρίζα ισχυρά δηλητηριώδη, η οποία εκλύεται από τα PM₁₀ σε υδατικό μέσο. Πολύ μεγαλύτερη φαίνεται να είναι η επίδραση ορισμένων οργανικών ενώσεων, και ιδίως των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs), η καρκινογόνος και μεταλλαξιογόνος δράση των οποίων είναι αναγνωρισμένη. Η ανάλυση του μεταλλαξιογόνου χαρακτήρα των σωματιδίων έχει προγνωστική αξία για τις πιθανές καρκινογενέσεις, καθώς οι περισσότερες ουσίες που έχουν ταξινομηθεί ως μεταλλαξιογόνες έχουν και καρκινογενή δράση (Villalobos-Pietrini et al. 2000).

Εκτός από τις σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία τα PM επιδρούν στο περιβάλλον, επηρεάζοντας με έμμεσο τρόπο το παγκόσμιο κλίμα. Τα PM_{2,5} δρουν ως ένα είδος φίλτρου προς την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε μόνο ένα ποσοστό από αυτή να καταφέρνει να τα διαπεράσει, με αποτέλεσμα αφενός μειωμένη ορατότητα (αναφέρεται ότι σωματιδιακή συγκέντρωση περίπου 150 μg/m³ συνεπάγεται μέγιστη ορατότητα ίση με 8 χιλιόμετρα) και αφετέρου ελάττωση της γεωργικής παραγωγής στις αγροτικές περιοχές.

Τα σωματίδια επιπλέον προκαλούν αλλοιώσεις σε επιφάνειες του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, φυτά, δένδρα, υφάσματα μεταλλικές ή χρωματισμένες επιφάνειες κ.α, είτε μέσω διάβρωσης, εισχωρώντας στο βάθος του υλικού, είτε ως σημεία συμπύκνωσης και άλλων διαβρωτικών ρύπων, ή με την επικάλυψη. Τα φαινόμενα αυτά επηρεάζουν σημαντικά το χρόνο ζωής των υλικών, αυξάνοντας το κόστος συντήρησης και διατήρησής τους.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως παιδιά, ηλικιωμένοι και ασθενείς είναι ομάδες πληθυσμού με ιδιαίτερη ευαισθησία στην έκθεση σε σωματιδιακή ρύπανση. Λόγω της φύσης των δραστηριοτήτων τους ή/ και της φυσικής τους κατάστασης αναμένεται να βρίσκονται το μεγαλύτερο μέρος του 24ώρου τους σε εσωτερικό χώρο, σπίτι, σχολείο, θεραπευτήριο. Έτσι η ποιότητα της ατμόσφαιρας εντός παίζει σημαντικό ρόλο στις συνθήκες διαβίωσής τους.

Θεωρώντας ότι τα επίπεδα των αιρουμένων σωματιδίων στον εσωτερικό χώρο των κατοικιών (σχολείων, κλινικών κλπ) προκύπτουν τόσο από την εντός ανθρώπινη δραστηριότητα, όσο και από την είσοδο ρύπων από τον εξωτερικό χώρο, και καθώς μεγάλο μέρος των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων στον αστικό ιστό προέρχεται από την κίνηση των οχημάτων, σκοπό της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των επιπέδων συγκέντρωσης PM σε περιοχή κατοικιών που γειτονεύει με επιβαρυνμένες κυκλοφοριακά οδούς, ώστε να εξεταστεί η σχέση/ συσχέτιση των μετρούμενων εξωτερικών συγκεντρώσεων με τις εσωτερικές. Οι τιμές συγκεντρώσεων, εξωτερικών και εσωτερικών, που θα προκύψουν θα συγκριθούν με τα ευρωπαϊκά και αμερικανικά πρότυπα, για να διαπιστωθεί αν και σε ποιο βαθμό υπερβαίνουν τα ημερησία και ετήσια επιτρεπτά όρια. Ως διάστημα δειγματοληψίας επιλέγεται περίοδος που δε χρησιμοποιείται θέρμανση (central heating), συγκεκριμένα το «θερινό» διάστημα 5/9/06 - 3/10/06, με δεδομένο ότι κατά τη χειμερινή περίοδο, που στον όγκο της ρύπανσης από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων προστίθενται οι εκπομπές της κεντρικής θέρμανσης κατοικιών και κτηρίων, υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο αύξησης των τιμών τους (και ενδεχομένως περεταίρω υπερβάσεων των ορίων).

Θέλοντας να εστιάσουμε στην επιρροή της κυκλοφορίας στις τιμές των σωματιδίων στο εσωτερικό της κατοικίας, αποκλείεται η παράμετρος της φυσικής παρουσίας/

κινητικότητας, ενώ η μοναδική ειδική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα είναι το περιοδικό άναμμα ενός τσιγάρου. Σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, τα παράθυρα του διαμερίσματος παρέμειναν κλειστά, καθώς η έλλειψη αερισμού του χώρου έχει σαν αποτέλεσμα την είσοδο λιγότερων σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον και αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της χειμερινής περιόδου.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Αιωρούμενα Σωματίδια

2.1.1 Εισαγωγή

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

2.1.2 Κατάταξη αιωρούμενων σωματιδίων

2.1.2.1 Κατάταξη με κριτήριο των τρόπο σχηματισμού

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

- **Σκόνη:** Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών κατά την διάρκεια διαδικασιών όπως σύνθλιψη, τριβή, έκρηξη.
Τυπικό μέγεθος: 1 έως 10.000 μm
- **Καπνός:** Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση οργανικών υλών όπως το κάρβουνο, ο καπνός ή το ξύλο.
Τυπικό μέγεθος: 0,5 έως 1 μm .
- **Ιπτάμενη τέφρα:** Μικρά, μη καύσιμα ορυκτά ή μεταλλικά σωματίδια που εκπέμπονται από τις καπνοδόχους κατά τη καύση κάρβουνο.
Τυπικό μέγεθος: 1 έως 1.000 μm .
- **Αιθάλη:** Μικρά, στερεά σωματίδια, τα οποία σχηματίζονται από την συμπύκνωση ατμών στερεών υλικών, συχνά οξειδίων των μετάλλων (όπως είναι τα οξείδια του ψευδαργύρου και του μόλυβδου) και στοιχειακό άνθρακα.
Τυπικό μέγεθος: 0,03 έως 0,3 μm .
- **Σπρέι:** Υγρά σωματίδια που μορφοποιούνται από το ράντισμα υγρών, όπως τα φυτοφάρμακα ή τα παρασιτοκτόνα.
Τυπικό μέγεθος: 10 έως 1.000 μm .

- **Ομίχλη:** Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που δημιουργούνται από τη συμπύκνωση ατμών.
Τυπικό μέγεθος: 0,1 έως 10 μm.

2.1.2.2 Κατάταξη με κριτήριο το μέγεθος

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

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

Συνήθως, ως κριτήριο καθορισμού της ισοδύναμης διαμέτρου, χρησιμοποιείται η φυσική συμπεριφορά του σωματιδίου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η διάμετρος Stokes (D_p) ή η αεροδυναμική διάμετρος (D_a). Ο ορισμός της πρώτης βασίζεται στο προσδιορισμό της αντίστασης που εμφανίζεται πάνω στο σωματίδιο, όταν αυτό κινείται μέσα σε ένα ρευστό με διαφορετική ταχύτητα. Σωματίδια με ίδια διάμετρο Stokes και ίδια πυκνότητα έχουν την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης. Η αεροδυναμική διάμετρος εξαρτάται από την πυκνότητα του σωματιδίου και ορίζεται ως «η διάμετρος σφαίρας πυκνότητας μονάδας (1 g/cm^3), η οποία έχει την ίδια τελική ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο».

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

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

όπου: ρ_p η πυκνότητα του σωματιδίου.

Σωματίδια με το ίδιο πρακτικό μέγεθος και σχήμα, αλλά με διαφορετικές πυκνότητες, θα έχουν ίδιες διαμέτρους Stokes αλλά όχι τις ίδιες αεροδυναμικές διαμέτρους. Για σωματίδια μεγαλύτερα από 0,5 μm 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.

2.1.2.2.1 Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSP)

Είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Τα TSP ποικίλουν γενικά σε μέγεθος από 0,01 μm έως και μερικές εκατοντάδες μm. Ωστόσο τα σωματίδια εκείνα με μέγεθος άνω των 50 μm έχουν την τάση να καθιζάνουν πολύ εύκολα. Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε

δύο τύπους σωματιδίων, οι οποίοι με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε επιμέρους κλάσματα.

A) Τα λεπτόκοκκα (fine mode)

Λεπτόκοκκα καλούνται τα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 2,5 μm. Συνήθως τα σωματίδια αυτά παράγονται δευτερογενώς από αέριες ενώσεις. Χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο κατηγορίες.

A1) Υποκατηγορία πυρήνα (nuclei mode / nuclei range)

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

- ❖ **Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken Nuclei)**
Αντιπροσωπεύει εκείνη την ομάδα των σωματιδίων πυρήνα που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος πάνω από τα 15 nm.
- ❖ **Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra-fine Nuclei)**
Πρόκειται για τα υπόλοιπα σωματίδια πυρήνα. Τα σωματίδια αυτά παρουσιάζουν τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος κάτω από τα 15 nm.

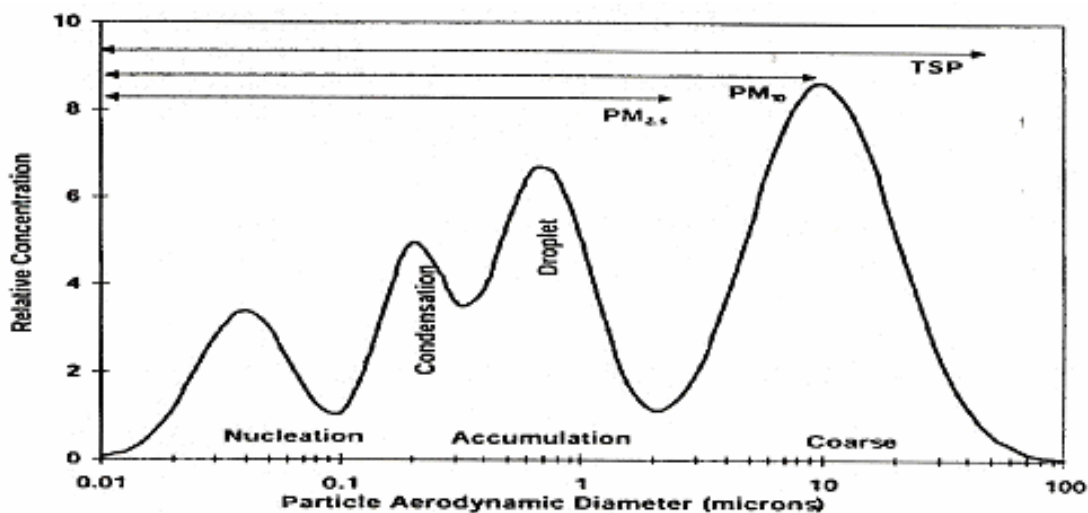
A2) Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range)

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

- ❖ **Σταγονίδια (droplet mode)**
Είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αντιδράσεις υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη ή παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας, επάνω στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων. Η συσσωμάτωση που επέρχεται ως αποτέλεσμα, δημιουργεί την ομάδα των σταγονιδίων.
- ❖ **Συμπυκνώματα (condensation mode)**
Πρόκειται για μικρότερα σωματίδια από τα προηγούμενα. Σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα.

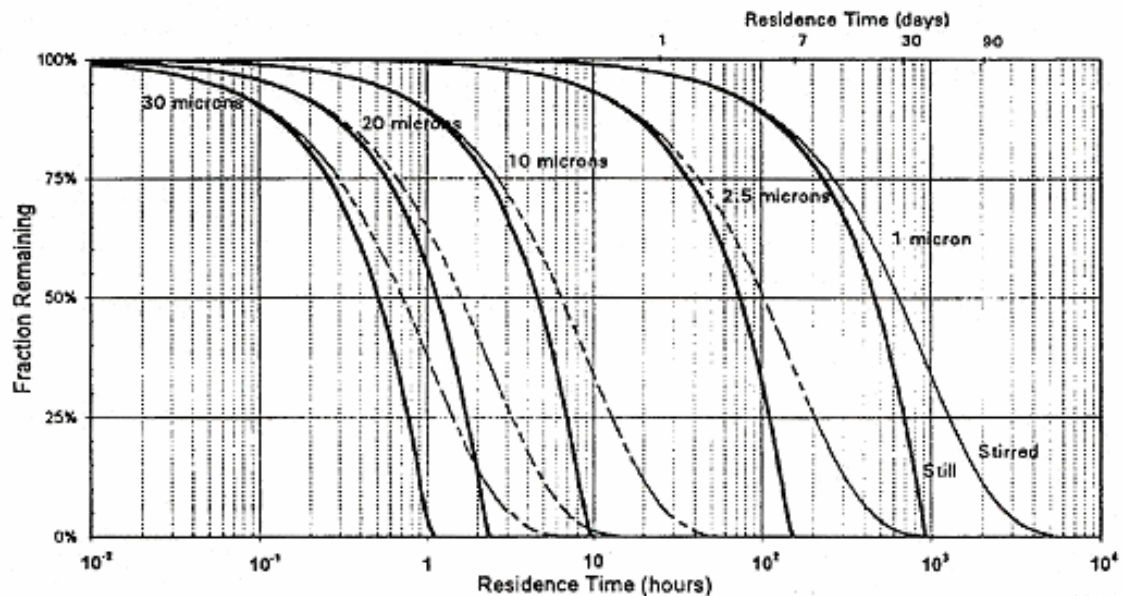
B) Τα χονδρόκοκκα (coarse mode)

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



Σχήμα 2.1. Ιδανική κατανομή κατά μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας (Watson et al. 1997).

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



Σχήμα 2.2. Χρόνος αώρησης σωματιδίων συναρτήσει της διαμέτρου τους. Τα στοιχεία αναφέρονται σε μέγιστο ύψος 100 m και στις περιπτώσεις: α. ακίνητου αέρα (Still) και β. Αναδευόμενου αέρα (Stirred) (Watson et al. 1997).

2.1.2.3 Κατάταξη με κριτήριο την διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό

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

A) Εισπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles)

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

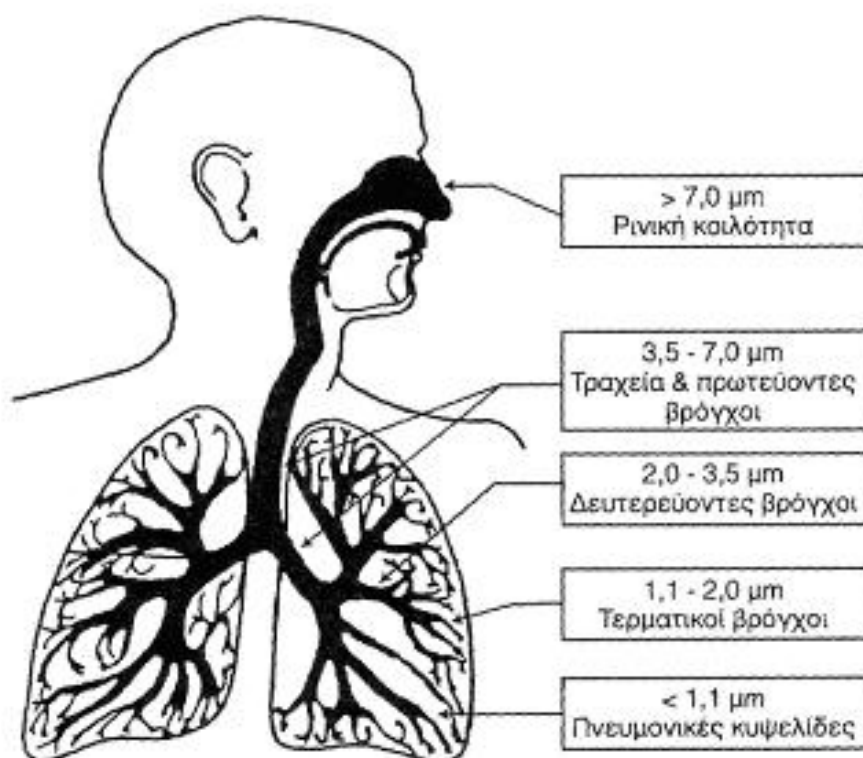
B) Θωρακικά σωματίδια (thoracic particles)

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

Γ) Αναπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles)

Το σωματιδιακό κλάσμα με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερο από 2,5 μm είναι το πιο σημαντικό από άποψη επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Τα σωματίδια αυτά καταφέρνουν γενικά να διεισδύσουν έως τα βάθη των πνευμόνων και γι' αυτό

καλούνται αναπνεύσιμα (E.C. Technical Working Group on Particles 1996, Natural Resources Defense Council 1996b, Paterson 1995).



Σχήμα 2.3. Διεσδυτικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό.

2.1.3 Ορισμοί μετρούμενων σωματιδιακών ρύπων

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

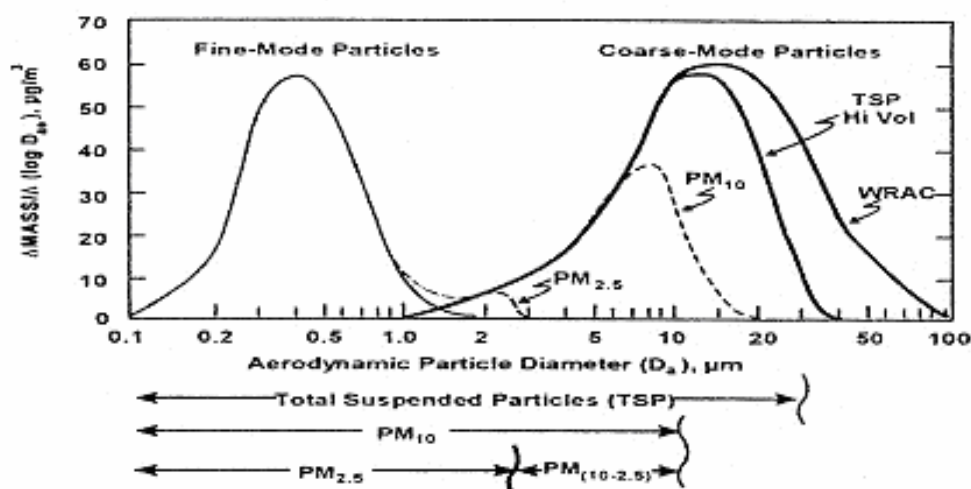
Γενικά, θεωρείται ότι τα PM_{10} ταυτίζονται με την κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων και έχουν διάμετρο έως 10 μm. Ωστόσο, ο ορισμός αυτός δεν λαμβάνει υπ' όψη του το γεγονός ότι είναι αδύνατον να κατασκευασθεί δειγματολήπτης ικανός να λειτουργεί υπό μορφή βηματικής συνάρτησης, οπότε να αποκλείει τη συλλογή των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο παραπλήσια της επιθυμητής, ώστε να είναι δυνατόν να προσδιορισθούν σωματίδια μέχρι ή από μία διάμετρο και πέρα. Στην πράξη δηλαδή, τα PM_{10} περιλαμβάνουν και ένα περιορισμένο αριθμό σωματιδίων με

μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm . Για το λόγο αυτό ο αυστηρός ορισμός, όπως αναφέρεται στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), είναι :

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

Αντίστοιχα, τα $PM_{2.5}$ ταυτίζονται με τα αναπνεύσιμα σωματίδια και ο σχετικός ορισμός της Ε.Ε. είναι:

« $PM_{2.5}$ νοούνται σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50 % των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5 μm .»



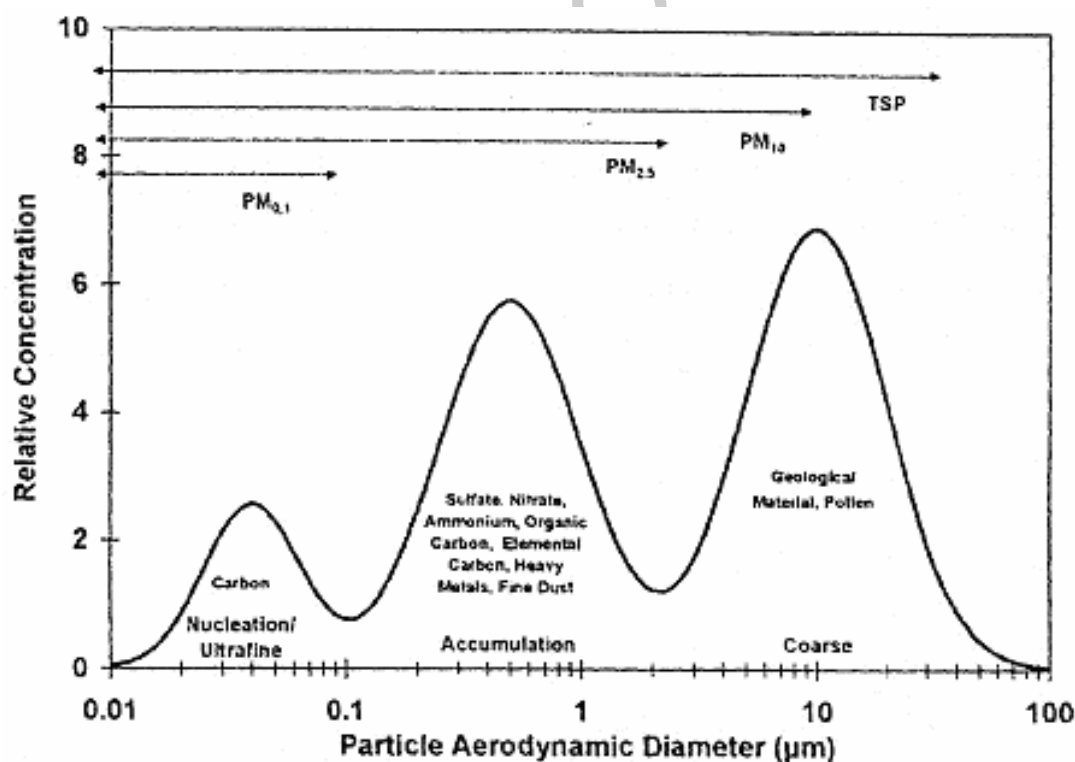
Σχήμα 2.4. Κυριότερα κλάσματα αιωρουμένων σωματιδίων (EPA 1996).

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

2.1.4 Χημική σύσταση σωματιδίων

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

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



Σχήμα 2.5. Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά (Watson et al. 1998).

Επιπλέον, το υγρό H_2O είναι ένα ακόμα βασικό συστατικό στα διαλυτοποιήσιμα σωματίδια. Προσροφάται σε αυτά όταν η σχετική υγρασία υπερβαίνει περίπου το

70 %. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού του νερού εξατμίζεται στα φίλτρα πριν από τη μέτρηση (Ohta et al. 1998, Chow 1995).

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

Θειικά

Τα θειικά προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου (SO_2) στην ατμόσφαιρα και συνήθως βρίσκονται υπό την μορφή θειικού αμμωνίου. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα $\text{PM}_{2.5}$. Θειικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές, όπου το θειικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Παρόλο που ο γύψος και κάποια άλλα γεωλογικά υλικά περιέχουν θειικά, αυτά δεν είναι εύκολα διαλυτοποιήσιμα στο νερό ώστε να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκα σωματίδια έναντι των $\text{PM}_{2.5}$ και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά (Theodosi et al. 2011, Harrison & Yin 2000,).

Νιτρικά

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

Αμμωνιακά

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

Χλωριόντα

Η κύρια πηγή των ιόντων χλωρίου είναι το υδρόλυμα θαλάσσης (sea spray), ακόμη και σε περιοχές που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα από την ακτή. Οι θαλάσσιες πηγές χλωριούχων σωματιδίων συνεισφέρουν κυρίως σε χλωριούχο νάτριο (NaCl). Η κατηγορία αυτή σωματιδίων εντάσσεται στο χονδρόκοκκο κλάσμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην Ανταρκτική, όπου, λόγω της

προφανούς έλλειψης ανθρωπογενών πηγών, άνω του 70 % των ατμοσφαιρικών σωματιδίων αποτελείται από θαλάσσιο NaCl, η κατά μάζα κατανομή μεγέθους παρουσιάζει μέγιστο για σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο περίπου ίση με 3 μm (Veli-Matti et al. 2000).

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

Οργανικός άνθρακας

Ο οργανικός άνθρακας είναι δυνατόν να εκπέμπεται από πρωτογενείς πηγές εκπομπής. Σημαντική όμως ποσότητα παράγεται δευτερογενώς, μέσω ατμοσφαιρικών φωτοχημικών διεργασιών μεταξύ πρωτογενών αέριων οργανικών χημικών ειδών, οι οποίες παράγουν χαμηλής πτητικότητας οργανικές ενώσεις. Σύμφωνα με ερευνητικές εργασίες, ο σχηματισμός δευτερογενών σωματιδίων συσχετίζεται με τον λόγο οργανικού προς στοιχειακό άνθρακα. Συγκεκριμένα, τιμές του λόγου άνω του 2 υποδεικνύουν δευτερογενή παραγωγή οργανικού άνθρακα (Grivas et al. 2011, Prosmittis et al. 2004, Kavouras et al. 1999).

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

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

Αρωματικοί > κυκλολεφίνες > ολεφίνες > παραφίνες

Οι PAHs εντάσσονται στην κατηγορία των τοξικών οργανικών μικρο-ρύπων (Toxic Organic Micro Pollutants, TOMPs), όπου ανήκουν και οι πολυχλωριωμένες διοξίνες και φουράνια, καθώς και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), ομάδες ενώσεων που πρόσφατα γνώρισαν μεγάλη δημοσιότητα, και επίσης σχετίζονται με τα αιωρούμενα σωματίδια (Mantis et al. 2005, Harrison & Jones 1995).

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

Στοιχειακός άνθρακας

Κατά τις διαδικασίες καύσης, και ιδίως εξαιτίας της κυκλοφορίας οχημάτων, εκπέμπονται σωματίδια αιθάλης, τα οποία περιέχουν άνθρακα υπό μορφή ενός πυρήνα από στερεό μαύρο στοιχειακό άνθρακα (είτε καθαρό γραφίτη ή υψηλού μοριακού βάρους μη πτητική ύλη, όπως πίσσα ή κωκ). Στην επιφάνεια του πυρήνα συχνά υπάρχει επικάλυψη από ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες συμπυκνώνονται από τα αέρια καύσης. Περιέχονται επίσης και κάποιες χαρακτηριστικές ομάδες (υδροξυλικές, φαινολικές, καρβονυλικές, καρβοξυλικές κ.α.).

Ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται καλός δείκτης της πρωτογενούς ανθρωπογενούς αέριας ρύπανσης, καθώς οι χημικές μεταβολές του (χημικές αντιδράσεις ή εναλλαγές φάσεων) είναι περιορισμένες γενικά (Grivas et al. 2011, Prosmittis et al. 2004, Offenbergl & Baker 2000, Kim et al. 1999, Molnar et al. 1999).

Γεωλογικά υλικά

Στην κατηγορία των γεωλογικών υλικών περιλαμβάνεται επιφανειακή σκόνη και αερομεταφερόμενα αποσαθρωμένα πετρογενή ορυκτά υλικά. Η σύστασή τους δεν είναι σταθερή, αλλά αντικατοπτρίζει τα εκάστοτε τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην επαναιώρησή τους από το έδαφος (Harrison & Yin 2000).

Ορισμένα από τα φυσικά ορυκτά που έχουν αναγνωρισθεί στην σωματιδιακή μάζα είναι: χαλαζίας (SiO_2), ασβεστίτης (CaCO_3), γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), αστρίοι (feldspar, KAlSi_3O_8), εψωμίτης ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), χλωρίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, αιμανίτης κ.α. (Harrison & Jones 1995).

Βιολογικά υλικά

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

οργανικός άνθρακας παρά ως βιολογικά υλικά (Harrison & Yin 2000, Mattias-Maser et al. 2000).

Μέταλλα και μεταλλικά ιχνοστοιχεία

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

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

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

Ο μόλυβδος βρίσκεται στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή αλογονιδίων του (PbCl₂, PbClBr, PbBr₂), τα οποία σχηματίζονται κατά την αντίδραση των αντικροτικών ουσιών του καυσίμου (τετρααιθυλιούχος μόλυβδος) με το διχλωροαιθάνιο ή το διβρωμοαιθάνιο που προστίθενται για να αποτρέψουν την συσσώρευση των οξειδίων του μόλυβδου μέσα στους κινητήρες. Τα αλογονίδια του μόλυβδου είναι αρκετά πτητικά ώστε να εξέλθουν από την εξάτμιση, αλλά συμπυκνώνονται σε σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Ο υδράργυρος είναι παρόν στην ατμόσφαιρα με την μορφή οργανομεταλλικών ενώσεών του, όπως οι: (CH₃)₂Hg και (CH₃)HgBr. Άλλα μέταλλα απαντώνται με την μορφή των οξειδίων τους, όπως Fe₃O₄, V₂O₅, CaO (Manahan 1994).

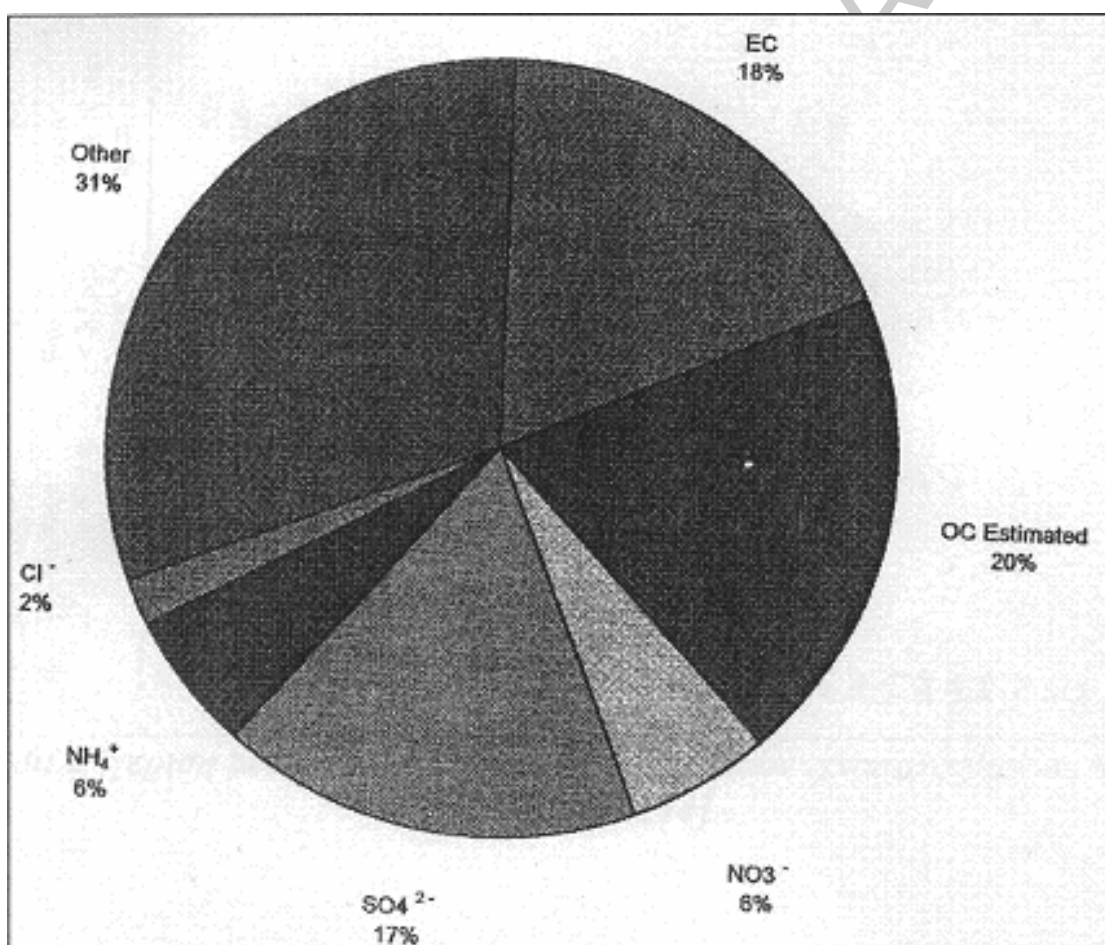
Σε αστικές περιοχές, θεωρείται ότι η έκθεση σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία μέσω της εισπνοής αιωρούμενων σωματιδίων είναι ανεπαρκής ώστε να έχει τοξική επίδραση στον άνθρωπο. Εντούτοις, έχει αποδειχθεί ότι κάποια στοιχεία μετάπτωσης, και συγκεκριμένα ο σίδηρος, είναι δυνατόν να παρουσιάσουν αρνητικά αποτελέσματα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

Με εξαίρεση μέταλλα όπως ο μόλυβδος, του οποίου η κύρια πηγή είναι η κυκλοφορία οχημάτων που οδηγεί στην ευρεία διασπορά του στην αστική ατμόσφαιρα, τα άλλα μεταλλικά ιχνοστοιχεία προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές διαδικασίες, και συνεπώς η κατανομή τους στο χώρο είναι ανομοιόμορφη (Manalis et al. 2005, Harrison & Yin 2000).

Ισχυρά οξέα

Ο σχηματισμόςθειικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα, μέσω της οξείδωσης των SO₂ και NO₂, αρχικά γίνεται υπό την μορφή των ισχυρών τους οξέων H₂SO₄ και HNO₃.

Το νιτρικό οξύ, λόγω της μεγάλης του πτητικότητας, είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια μόνο μέσω απώλειας της οξύτητάς του (μέσω είτε αντίδρασης με υδροχλωρικό οξύ ή εξουδετέρωσης από την αμμωνία). Αντιθέτως, το θειικό οξύ είναι μη πτητικό και, μόλις σχηματιστεί, ενσωματώνεται κατευθείαν στα σωματίδια, όπου κατόπιν είναι δυνατόν να εξουδετερωθεί από την αμμωνία της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, σε περιβάλλοντα με χαμηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής αμμωνίας, τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν ένα σημαντικό ποσοστό ισχυρού οξέος, το οποίο αντικατοπτρίζει το μη εξουδετερωμένο ή μερικά εξουδετερωμένο θειικό οξύ. Ορισμένες παλαιότερες μελέτες υποστηρίζουν ότι η παρουσία ισχυρού οξέος είναι υπαίτια για την τοξική δράση των σωματιδίων (Harrison & Yin 2000).



Σχήμα 2.6. Τυπική σύσταση σωματιδίων PM₁₀ στο Birmingham, U.K. (Watson et al. 1998).

2.1.5 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

2.1.5.1 Εισαγωγή

Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι είτε **πρωτογενείς** (δηλαδή εκπέμπονται μέσα στην ατμόσφαιρα) ή **δευτερογενείς** (δηλαδή σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα

από αέριες ενώσεις μέσω ομογενών ή ετερογενών χημικών αντιδράσεων). Εξαιτίας αυτής της διαφοροποίησης των πηγών, τα σωματίδια παρουσιάζουν διαφορετική σύσταση και κατανομή κατά μέγεθος.

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

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

2.1.5.2 Ανθρωπογενείς πηγές

Εκπομπές από οχήματα

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

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

Η χρήση καταλυτών, αντίστοιχων με αυτούς που χρησιμοποιούνται στους βενζινοκινητήρες, αποτελεί μια λύση για την μείωση των εκπομπών σωματιδίων, αλλά παρουσιάζει ουσιαστικά προβλήματα. Καθώς ο κινητήρας ντίζελ λειτουργεί με περίσσεια αέρα, ο καταλύτης που θα εφαρμοστεί στα αέρια της εξάτμισης, θα λειτουργεί σε οξειδωτικό περιβάλλον. Επίσης, είναι ενδεχόμενη η αστοχία ενός

καταλυτικού συστήματος, λόγω της παρουσίας σωματιδίων στα καυσαέρια και λόγω της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο. Το θείο οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου και σεθεικό οξύ, οδηγώντας σε όξινες εκπομπές, αλλά και σε σχηματισμόθεικών σωματιδίων. Αυτό το φαινόμενο είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αύξηση των σωματιδιακών εκπομπών, σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο είναι άνω του 0,2 % κ.β. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με διατήρηση υψηλής θερμοκρασίας στο καταλύτη, όπου δεν ευνοείται η μετατροπή του SO₂ σε SO₃, και με χρήση ντίζελ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

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

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

Βιομηχανικές εκπομπές

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

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

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

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

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

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

Οικιακές πηγές

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

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

Δασικές και γεωργικές πυρκαγιές

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

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

2.1.5.3 Φυσικές πηγές

Μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις

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

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

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

Επαναιώρηση σκόνης από το έδαφος

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

Η επίδραση των ανέμων σε εκτεθειμένες χαλαρές επιφάνειες ξηρού χώματος έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται τα σωματίδια αυτά στον αέρα. Στις πόλεις, τέτοιου είδους εκτεθειμένες χωμάτινες επιφάνειες είναι μάλλον σπάνιες, ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές. Υπάρχουν, όμως, αξιοσημείωτες ποσότητες σκόνης πάνω στους δρόμους και στα πεζοδρόμια. Η σκόνη αυτή προέρχεται από :

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

Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην California για το έτος 1995, ο ρυθμός εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ από την επαναιώρηση σκόνης από τους δρόμους ήταν 12,9 ton/ημέρα για ασφαλτοστρωμένους δρόμους και 21,0 ton/ημέρα για μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους. Η αντίστοιχη τιμή για την αερομεταφερόμενη σκόνη ήταν 7,6 ton/ημέρα (Magliano et al. 1999).

Υδρόλυμα θαλάσσης

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

Ηφαιστειακή δραστηριότητα και εκρήξεις

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

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν μια συγκεντρωμένη πηγή όλων των ατμοσφαιρικών ρύπων και ιδιαίτερα των σωματιδίων. Η έκρηξη του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης στις 18 Μαΐου 1980 εκτόξευσε όγκο σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ίσο με 4 km³. Η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το συνολικό ετήσιο ποσό των εκπεμπόμενων σωματιδίων που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες στην Βόρεια Αμερική. Το μέγεθος των εκπεμπόμενων σωματιδίων κυμάνθηκε από στερεά σώματα, ορατά με γυμνό μάτι, έως και υπερλεπτόκοκκα σωματίδια, διαμέτρου 0,001 μm.

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

2.1.6 Επιπτώσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια

2.1.6.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η έκθεση του οργανισμού σε αιωρούμενα σωματίδια βραχυχρόνια ή μακροχρόνια φαίνεται να έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση πλήθος ασθενειών από τις πιο ήπιες (βήχας, φλέματα, αδιαθεσία), ως τις πιο σοβαρές (μειωμένη πνευμονική λειτουργία, καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνο) αλλά και τη μείωση του προσδοκόμενου χρόνου ζωής.

Αυτό οφείλεται όχι μόνο στην αλλά και στην τοξικότητά τους και την μεταλλαξιογόνα δράση κάποιων συστατικών τους.

2.1.6.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Η αέρια σωματιδιακή ρύπανση:

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

2. Επιδρά στο κλίμα:

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

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

2.2 Πρότυπα Ποιότητας αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια

2.2.1 Η Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία - πλαίσιο

Οι δυνατότητες της εκάστοτε διοίκησης να ελέγξει τις πηγές και τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συχνά υπαγορεύονται από διεθνείς και εθνικές πολιτικές και νόμους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει οδηγίες - πλαίσιο, βάσει των οποίων οφείλουν τα κράτη μέλη να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία. Η οδηγία - πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών οδηγιών. Κάθε θυγατρική οδηγία αναφέρεται σε ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων.

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

Πίνακας 2.1. Οδηγία της Ε.Ε. για τα TSP (1983).

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

Στις 24 Μαρτίου 1999, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε, μετά από επίσημη προετοιμασία, μια νέα θυγατρική οδηγία για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας, που αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀. Η οδηγία αναφέρει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα, ώστε οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM₁₀ στον ατμοσφαιρικό αέρα να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές που δίδονται στον Πίνακα 2.2, στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα και πριν από τις αναφερόμενες στην οδηγία ημερομηνίες. Επίσης, σύμφωνα με την οδηγία, τα κράτη μέλη οφείλουν να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για τη συλλογή στοιχείων σχετικών με τις συγκεντρώσεις PM_{2,5}.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να διαβιβάζουν ετησίως στην Επιτροπή, όχι αργότερα από εννέα μήνες μετά το τέλος κάθε έτους, τον αριθμητικό μέσο, το διάμεσο, το 98^ο εκατοστημόριο και τη μέγιστη συγκέντρωση, όπως υπολογίζονται από τις 24-ωρες μετρήσεις PM_{2,5} μέσα στο έτος. Στόχος της καταγραφής των επιπέδων συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{2,5} ήταν η συλλογή στοιχείων για την θέσπιση οριακών τιμών και για το κλάσμα αυτό (Οδηγία 1999/30/EC).

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

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

Μετά από ενδελεχή μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων από μετρήσεις των επιπέδων συγκέντρωσης των PM στην Ευρώπη και από σχετικές επιδημιολογικές μελέτες, η ομάδα εργασίας C.A.F.E. καταλήγει στην επιλογή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{2,5}, και όχι αυτής των PM₁₀, ως βασικό μέτρο της έκθεσης του πληθυσμού σε αέρια σωματιδιακή ρύπανση. Η ομάδα αναφέρει ότι η ετήσια οριακή τιμή των PM_{2,5} δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 20 μg/m³, ενώ προτείνει και 24-ωρη οριακή τιμή ίση με 35 μg/m³ (να μην υπερβαίνεται περισσότερο από το 10 % των ημερών μέσα στο έτος). Παράλληλα, υποστηρίζει ότι οι οριακές τιμές για τα σωματίδια PM₁₀ που έχουν οριστεί στο στάδιο 2 της θυγατρικής οδηγίας 1999/30/EC, είναι απαραίτητο να διατηρηθούν, ώστε να επιτευχθεί και ο έλεγχος των χονδρόκοκκων σωματιδίων PM_{2,5-10} (CAFE 2004).

Με βάση τις γενικές διαπιστώσεις και τις προτάσεις που περιέχονται στην τελική έκθεση της ομάδας C.A.F.E., η Ε.Ε. προχώρησε στην θέσπιση ετήσιας οριακής τιμής για τα σωματίδια PM_{2,5} (Πίνακας 2.3) (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 2005).

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

Πίνακας 2.2. Θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα PM_{10} (1999).

Πίνακας 2.3. Θέσπιση μέσης ετήσιας οριακής τιμής της συγκέντρωσης των PM_{2,5} από την Ε.Ε.

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

Σύμφωνα με την οδηγία 2008/50/EK, 21/5/2008, οι απαιτήσεις για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5} στον ατμοσφαιρικό αέρα εντός ζώνης ή οικισμού καθώς και οι οριακές τιμές συγκεντρώσεων PM₁₀ ορίζονται ως εξής:

Πίνακας 2.4 Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5}.

	Μέσος όρος 24 ωρών PM ₁₀	Μέσος ετήσιος όρος PM ₁₀	Μέσος ετήσιος όρος PM _{2,5} ⁽¹⁾
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (35 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	70% της οριακής τιμής (28 µg/m ³)	70% της οριακής τιμής (17 µg/m ³)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (25 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	50% της οριακής τιμής (20 µg/m ³)	50% της οριακής τιμής (12 µg/m ³)

⁽¹⁾ Τα ανώτερα και τα κατώτερα όρια εκτίμησης για τα PM_{2,5} δεν ισχύουν για τις μετρήσεις για την εκτίμηση της συμμόρφωσης προς το στόχο μείωσης της έκθεσης σε σωματίδια PM_{2,5} που αποσκοπεί στην προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Πίνακας 2.5 Οριακές τιμές PM10 για την προστασία της υγείας του ανθρώπου

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να επιτευχθεί η οριακή τιμή
PM10			
1 ημέρα	50 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50%	- ⁽¹⁾
Ημερολογιακό έτος	50 µg/m ³	20%	- ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ισχύει ήδη από 1^{ης} Ιανουαρίου 2005.

Ειδικά για τα σωματίδια PM_{2,5} παρατίθενται αναλυτικά ο εθνικός στόχος μείωσης της έκθεσης, η τιμή στόχος και η οριακή τιμή όπως ορίζονται από την ίδια οδηγία.

Δείκτης μέσης έκθεσης

Ο δείκτης μέσης έκθεσης εκφράζεται σε µg/m³ (ΔΜΕ) και υπολογίζεται με μετρήσεις από μη εκτεθειμένες αστικές τοποθεσίες σε ζώνες και οικισμούς ανά την επικράτεια κράτους μέλους. Πρέπει να υπολογίζεται ως κυλιόμενη ετήσια μέση συγκέντρωση για τρία ημερολογιακά έτη όλων των σημείων δειγματοληψίας. Ο ΔΜΕ για το έτος αναφοράς 2010 είναι η μέση συγκέντρωση για τα έτη 2008, 2009 και 2010.

Ωστόσο, στις περιπτώσεις όπου δεν διατίθενται δεδομένα για το 2008 τα κράτη μέλη ενδέχεται να χρησιμοποιήσουν τη μέση τιμή συγκέντρωσης των ετών 2009 και 2010 ή τη μέση τιμή συγκέντρωσης των ετών 2009, 2010 και 2011. Τα κράτη μέλη που χρησιμοποιούν τη δυνατότητα αυτή, κοινοποιούν την απόφασή τους στην Επιτροπή έως τις 11 Σεπτεμβρίου 2008.

Ο ΔΜΕ για το έτος 2020 είναι η τριετής τρέχουσα μέση συγκέντρωση που προκύπτει από το μέσο όρο όλων των ανωτέρω σημείων δειγματοληψίας για τα έτη 2018, 2019 και 2020. Ο ΔΜΕ χρησιμοποιείται για να εξεταστεί εάν τηρείται ο εθνικός στόχος μείωσης της έκθεσης.

Ο ΔΜΕ για το έτος 2015 είναι η τριετής τρέχουσα μέση συγκέντρωση που προκύπτει από το μέσο όρο όλων των ανωτέρω σημείων δειγματοληψίας για τα έτη 2013, 2014 και 2015. Ο ΔΜΕ χρησιμοποιείται για να εξεταστεί εάν έχει επιτευχθεί ο εθνικός στόχος μείωσης της έκθεσης.

Πίνακας 2.6 Εθνικός στόχος μείωσης της έκθεσης.

Στόχος μείωσης της έκθεσης σε σχέση με τον ΔΜΕ το 2010		Έτος κατά το οποίο πρέπει να επιτευχθεί ο στόχος μείωσης της έκθεσης
Αρχική συγκέντρωση σε (μg/m ³)	Στόχος μείωσης σε %	2020
< 8,5 = 8,5	0 %	
> 8,5 - < 13	10 %	
= 13 - < 18	15 %	
= 18 - < 22	20 %	
≥ 22	Όλα τα δέοντα μέτρα προς επίτευξη 18 μg/m ³	

Εάν ο δείκτης μέσης έκθεσης κατά το έτος αναφοράς είναι μικρότερος ή ίσος των 8,5 μg/m³, ο στόχος μείωσης της έκθεσης είναι μηδέν. Ο στόχος μείωσης της έκθεσης ισούται προς μηδέν και στις περιπτώσεις που ο δείκτης μέσης έκθεσης φθάνει στο επίπεδο των 8,5 μg/m³ σε οποιαδήποτε στιγμή κατά την περίοδο 2010-2020 και διατηρείται στο επίπεδο αυτό ή κάτω του επιπέδου αυτού.

Πίνακας 2.7 Υποχρέωση όσον αφορά στη συγκέντρωση της έκθεσης.

Υποχρέωση όσον αφορά στη συγκέντρωση της έκθεσης	Έτος στο οποίο πρέπει να έχει επιτευχθεί η τιμή της υποχρέωσης
20 μg/m ³	2015

Πίνακας 2.8 Τιμή στόχος.

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή στόχος	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η τιμή στόχος
Ημερολογιακό έτος	25 μg/m ³	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Πίνακας 2.9 Οριακή τιμή.

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογιακό έτος	25 µg/m ³	20% στις 11 Ιουνίου 2008 μειούμενο έως την 1 ^η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% έως την 1 ^η Ιανουαρίου 2015	1 ^η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 ⁽¹⁾			
Ημερολογιακό έτος	20 µg/m ³		1 ^η Ιανουαρίου 2020

⁽¹⁾ Στάδιο 2 – Ενδεικτική οριακή τιμή που θα επανεξετασθεί από την Επιτροπή το 2013 υπό το φως περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον, του τεχνικά εφικτού και της εμπειρίας από την τιμή στόχο στα κράτη μέλη.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρόσφατα ανέπτυξε ένα εκτενές σύνολο κανονισμών που καθιερώνουν νέα στάνταρτς και στόχους για έναν αριθμό ατμοσφαιρικών ρύπων. Στάνταρτς και στόχοι που αφορούν στα σωματίδια PM₁₀, PM_{2,5} εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Αυτά ισχύουν για διαφορετικές χρονικές περιόδους γιατί οι επιπτώσεις τους στην υγεία συνδέονται με την έκθεση σε διαφορετικούς ρύπους ανάλογα με τις περιόδους έκθεσης.

Πίνακας 2.10.α Νέα πρότυπα - στόχοι της συγκέντρωσης των PM από την Ε.Ε.

POLLUTANT	CONCENTRATION	AVERAGING PERIOD	LEGAL NATURE	PERMITTED EXCEEDENCES EACH YEAR
Fine articles (PM _{2.5})	25µg/m ³ ***	1 year	Target value entered into force 1.1.2010 Limit value enter into force 1.1.2005	n/a
PM 10	50µg/m ³ s	24 hours	Limit value enter into force 1.1.2005**	35
	40µg/m ³	1 year	Limit value enter into force 1.1.2005**	n/a

** Σύμφωνα με την νέα οδηγία το Κράτος Μέλος μπορεί να ζητήσει παράταση ως και 3 χρόνια μετά την ημερομηνία που μπαίνει σε ισχύ η νέα οδηγία (π.χ. Μάιος 2011) για μια συγκεκριμένη ζώνη. Το αίτημα υποβάλλεται προς εκτίμηση από την επιτροπή. Σε τέτοιες περιπτώσεις μέσα στο διάστημα της παράτασης τα όρια των τιμών που ισχύουν είναι η οριακή τιμή + το μέγιστο περιθώριο ανοχής (35 μέρες στα 75µg/m³ για ημερήσια οριακή τιμή PM₁₀ και 48µg/m³ για ετήσιο οριακή τιμή PM₁₀).

*** Πρότυπα που εισάγονται με τη νέα οδηγία.

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

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

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

Πίνακας 2.10.β Νέα πρότυπα - στόχοι της συγκέντρωσης των PM από την Ε.Ε.

Title	Metric	Averaging period	Legal nature	Permitted exceedences each year
PM2.5 Exposure concentration obligation	20 µg/m ³ (AEI)	Based on 3 year average	Legally binding in 2015 (years 2013,2014,2015)	n/a
PM2.5 Exposure reduction target	Percentage reduction* + all measures to reach 18 µg/m ³ (AEI)	Based on 3 year average	Reduction to be attained where possible in 2020, determined on the basis of the value of exposure indicator in 2010	n/a

* Ανάλογα με την τιμή του μέσου δείκτη έκθεσης που προέκυψε για το 2010 απαιτείται από την οδηγία ένα ποσοστό μείωσης (0, 10, 25, ή 20%). Αν ο μέσος δείκτης έκθεσης εκτιμηθεί πάνω από 22µg/m³ πρέπει να ληφθούν όλα τα κατάλληλα μέτρα ώστε να μειωθεί στα 18µg/m³ ως το 2020.

2.2.2 Πρότυπα ποιότητας κατά US-EPA

Ο ρόλος του Αμερικανικού Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S Environmental Protection Agency, EPA), 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 ποιότητας αέρα της χώρας (National Ambient Air Quality Standards - NAAQS). Αυτά τα όρια πρέπει να είναι αρκετά αυστηρά ώστε να προστατεύεται η υγεία ακόμα και των πιο ευαίσθητων ομάδων του πληθυσμού.

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

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

Το 1987 θεσπίστηκε το πρώτο εθνικό αμερικάνικο πρότυπο ποιότητας αέρα (NAAQS) για τα PM₁₀. Συγκεκριμένα, το πρότυπο δεν επέτρεπε οι συγκεντρώσεις στο περιβάλλον να υπερβαίνουν τα 50 μg/m³ (μέση ετήσια τιμή) περισσότερο από μια φορά σε τρία συνεχόμενα έτη, και τα 150μg/m³ (μέση 24-ωρη τιμή) περισσότερο από τρεις φορές μέσα σε τρία έτη.

Το 1992, η αμερικάνικη πνευμονολογική εταιρεία (American Lung Association) μήνυσε την US-EPA επειδή δεν είχε επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM₁₀. Το δικαστήριο που έγινε στην πολιτεία της Αριζόνα απεφάνθη στις 6 Οκτωβρίου 1994, ότι η EPA οφείλει να επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM₁₀ και, αν κριθεί απαραίτητο, να αναθεωρήσει τα αμερικάνικα πρότυπα ποιότητας αέρα το αργότερο έως τις 31 Δεκεμβρίου 1997.

Ήδη τον Ιούλιο 1997, η EPA είχε προσδιορίσει τις αναθεωρήσεις που έπρεπε να γίνουν στο πρότυπο ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια, ώστε να ανταποκρίνονται στην τότε τρέχουσα επιστημονική γνώση. Τελικά, οι αναθεωρήσεις αυτές (40 CFR Part 50) τέθηκαν σε ισχύ στις 16 Σεπτεμβρίου 1997. Στον Πίνακα 2.11 παρουσιάζονται τα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια όπως ίσχυαν το 1987, καθώς και με την αναθεώρηση που πραγματοποιήθηκε το 1997 (Milloy 1998, US EPA 1997a, b, c, Chow 1995).

Πίνακας 2.11 Πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2,5} κατά US - EPA.

Σωματιδιακό κλάσμα	Οριακή τιμή 1987	Επεξήγηση	Οριακή τιμή 1997	Επεξήγηση
PM ₁₀	Ετήσια 50 µg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή πάνω από 1 φορά σε 3 συνεχόμενα έτη.	Ετήσια 50 µg/m ³	Καμία αλλαγή σε σχέση με το 1987.
	24-ωρη 150 µg/m ³	Οι 24-ωρες μετρήσεις από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβούν την οριακή τιμή περισσότερες από 3 φορές σε 3 συνεχόμενα έτη.	24-ωρη 150 µg/m ³	Το 99 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24-ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή περισσότερο από 3 φορές σε 3 συνεχόμενα έτη.
PM _{2,5}		Δεν υπάρχει οριακή τιμή.	Ετήσια 15 µg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων από έναν ή περισσότερους σταθμούς σε οικιστικές περιοχές, δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή.
		Δεν υπάρχει οριακή τιμή.	24-ωρη 65 µg/m ³	Το 98 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24-ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβεί την οριακή τιμή περισσότερο από 3 φορές σε 3 συνεχόμενα έτη.

Πίνακας 2.12 Νεότερα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2,5} κατά US – EPA (Οκτώβριος 2011).

Particle Pollution [71 FR 61144, Oct 17, 2006]	PM _{2.5}	primary and secondary	Annual	15 µg/m ³	annual mean, averaged over 3 years
			24-hour	35 µg/m ³	98th percentile, averaged over 3 years
	PM ₁₀	primary and secondary	24-hour	150 µg/m ³	Not to be exceeded more than once per year on average over 3 years

2.3 Μεθοδολογία

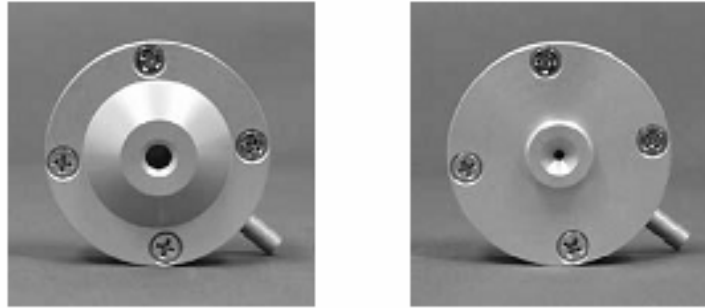
Για την εκπόνηση της μελέτης επιλέγεται μια τυπική κατοικία, διαμέρισμα 4^ο ορόφου πολυκατοικίας (multistore), η οποία βρίσκεται σε περιοχή κατοικιών (residential region) στην Αθήνα, πάνω σε δρόμο διπλής κυκλοφορίας μιας λωρίδας, με πολύ αυξημένη κίνηση (αρχή της οδού Ηρακλείου – Άνω Πατήσια). Καθώς δεν υπάρχει σταθμός μέτρησης ρύπων του Τμήματος Ποιότητας Ατμόσφαιρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) στην περιοχή, πραγματοποιούνται μετρήσεις για να προσδιοριστούν τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων.

Για τη λήψη μετρήσεων χρησιμοποιούνται σταθμικοί δειγματολήπτες PM₁₀ και PM_{2,5} με τους οποίους συλλέγονται επί προζυγισμένου φίλτρου τα σωματίδια του αέρα για 24h. Η μάζα των σωματιδίων προσδιορίζεται με τη ζύγιση του φίλτρου μετά τη συλλογή. Οι μετρήσεις είναι συνεχείς, ενώ λαμβάνονται συγχρόνως τιμές indoor/outdoor σε διαστήματα τριαντάλεπτων (30min), με εναλλαγή δειγματοληψίας εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου ανά τέταρτο. Οι 24h τιμές που καταγράφονται δίνουν τη δυνατότητα σύγκρισης με τα πρότυπα και παράλληλα στους ημερήσιους κύκλους αποτυπώνονται οι ημερήσιες μεταβολές, που θα οδηγήσουν σε χρήσιμα συμπεράσματα.

Παράλληλα με τη δειγματοληψία με τη χρήση εξειδικευμένου οργάνου, συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία, ώστε να αξιολογηθεί πιθανή επίδραση των συνθηκών με την εμφάνιση και συμπεριφορά των σωματιδιακών συγκεντρώσεων εκτός και εντός κατοικίας.

2.4 Οργανολογία

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια σταθμικών δειγματοληπτών (Harvard Personal Exposure Monitors, PEMs) που σχεδιάστηκαν στη Σχολή Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου του Harvard (Demokritou et al. 2001). Χρησιμοποιήθηκαν για τις εσωτερικές και εξωτερικές μετρήσεις, σε συνδυασμό με αντλίες DOA-V113-AC (Gast Manufacturing Inc.). Οι δειγματολήπτες PEMs συλλέγουν σωματίδια PM₁₀ ή PM_{2,5} (Σχήμα 2.7 α και β).



Σχήμα 2.7 Δειγματολήπτες Harvard PEMs: **α)** Δειγματολήπτης PM_{10} και **β)** Δειγματολήπτης $PM_{2,5}$.

Οι δειγματολήπτες λειτουργούν με ροή 4 L/min και δέχονται φίλτρα μεγέθους 37 mm. Κατά τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα ινών υάλου με επικάλυψη από Teflon (Pallflex Membrane Filters - EMFAB TX40HI20WW, Pall Corporation). Τα φίλτρα ζυγίζονταν πριν και μετά από κάθε δειγματοληψία σε ζυγό 5 δεκαδικών ψηφίων (Sartorius M2P Electronic Microbalance), του Εργαστηρίου Οργανικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Για τη στοιχειοληψία χρησιμοποιήθηκε επίσης φωτόμετρο σωματιδίων laser τύπου DustTrak (Μοντέλο 8520) της εταιρίας TSI Inc. Το όργανο, του οποίου η λειτουργία στηρίζεται στη σκέδαση του φωτός, δίνει ένδειξη συγκέντρωσης σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο, αποθηκεύει δεδομένα με χρονική σειρά και τα αναπαριστά γραφικά και τηρεί βάση στατιστικών στοιχείων. Η συσκευή διαθέτει σύστημα αέρα που απομονώνει τα σωματίδια εντός θαλάμου, ώστε να διατηρείται καθαρή και αξιόπιστη και να χρειάζεται λιγότερη συντήρηση. Χρησιμοποιώντας τη διασπορά φωτός σε γωνία 90° , ο μετρητής υπολογίζει την κατά μάζα συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων σε αέριο ρεύμα. Το ρεύμα αέρα εισέρχεται στον δειγματολήπτη με παροχή 1,7 L/min, μέσω εσωτερικής αντλίας και στην συνέχεια διασταυρώνεται με ακτίνα laser. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων προσδιορίζεται μέσω της σκέδασης του φωτός από τα σωματίδια. Ο μετρητής είναι δυνατόν να μετρήσει συγκεντρώσεις στο εύρος $0,001 - 100 \text{ mg/m}^3$, με ανάλυση ίση με $\pm 0,1 \%$ ή $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (όποιο από τα δύο δίνει την μεγαλύτερη τιμή). Η χρήση διαφορετικών κεφαλών εισόδου, επιτρέπει τον προσδιορισμό της μάζας των σωματιδίων PM_{10} , PM_4 , $PM_{2,5}$ και PM_1 . Για σωματίδια μεγέθους μικρότερου από το $1/3$ του μήκους κύματος της ακτίνας laser (780 nm), το σκεδαζόμενο φως μειώνεται συναρτήσει της 6^{th} δύναμης της διαμέτρου, με αποτέλεσμα η ελάχιστη ανιχνεύσιμη διάμετρος να ισούται κατά προσέγγιση με $0,1 \text{ } \mu\text{m}$. Ο μετρητής έχει βαθμονομηθεί από την κατασκευάστρια εταιρεία με πρότυπη σκόνη ISO 12103-1, A1 Arizona road dust (μεγέθους $0,1 - 10 \text{ } \mu\text{m}$). Η συγκεκριμένη σκόνη χρησιμοποιείται συχνά σε βαθμονομήσεις, καθώς θεωρείται αντιπροσωπευτική για ένα ευρύ φάσμα αερολυμάτων της ατμόσφαιρας (TSI, 2006). Καθώς, όμως, τα μετρούμενα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατόν να έχουν διαφορετική χημική σύσταση και κατανομή μεγέθους, κρίνεται απαραίτητη η χρήση του μετρητή DustTrak παράλληλα με τους σταθμικούς δειγματολήπτες, ώστε να ελέγχεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του.

Ο δειγματολήπτης τύπου Dusttrak μετράει ρυπαντές όπως σκόνη, καπνό και ομίχλη. Το προηγμένο λογισμικό του οργάνου παρέχει τη δυνατότητα προγραμματισμού και

ρύθμισης παραμέτρων (π.χ. χρόνος έναρξης, συνολικό διάστημα δειγματοληψίας, διαστήματα παύσης) ώστε να λειτουργεί συνεχόμενα και για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθιστώντας το κατάλληλο για δειγματοληψία μεγάλης διάρκειας χωρίς ανθρώπινη επιτήρηση.



Σχήμα 2.8 Αυτόματος μετρητής DustTrak (Μοντέλο 8520, TSI, Inc.).

2.5 Επεξεργασία Μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στο διάστημα από 5/9 έως 3/10 για τα PM₁₀ και PM_{2,5} και ανά δύο ή τρία εικοσιτετράωρα γίνεται εναλλαγή μεταξύ των μετρούμενων τύπων σωματιδίων. Οι τιμές που καταγράφονται πολλαπλασιάζονται με συντελεστή διόρθωσης PEM/dt (βάρους φίλτρου μετά τη στοιχειοληψία προς χρονικό διάστημα μεταξύ λήψεων μέτρησης) για μεγαλύτερη εγκυρότητα. Επιπλέον οι μετρήσεις πολλαπλασιάζονται επί 1000 για τη μετατροπή των μονάδων από mg/m³ σε µg/m³. Για τους δύο τύπους σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5} στην επεξεργασία των μετρήσεων ακολουθείται η ίδια λογική.

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται ανά τύπο σωματιδίων είναι συνεχείς και συχνά ξεκινούν το μεσημέρι, για να ολοκληρωθούν μετά από δύο ή τρεις μέρες, αντίστοιχα το μεσημέρι. Επομένως για τον προσδιορισμό τιμών 24ώρου (0.00-24.00), εξαιρούνται οι μετρήσεις πριν και μετά το πλήρες εικοσιτετράωρο. Για κάθε πλήρες 24ωρο (0.00-24.00) γίνονται γραφικές παραστάσεις εξωτερικών και εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων ανά ημερομηνία. Στη συνέχεια από τις τιμές συγκεντρώσεων όλων των πλήρων 24ώρων, εξωτερικών και εσωτερικών, υπολογίζονται μέσοι όροι και αναπαρίσταται γραφικά ο μέσος ημερήσιος κύκλος για Cout και Cin. Υπολογίζονται επιπλέον ξεχωριστά μέσοι ημερήσιοι κύκλοι για καθημερινές και σαββατοκύριακα και γίνεται το ανάλογο γράφημα. (για τα σωματίδια PM₁₀ υπάρχει καταγραφή μόνο ενός Σαββάτου, οπότε δεν αντιμετωπίζεται σαν ξεχωριστή περίπτωση).

Για το διάστημα στοιχειοληψίας, οι εικοσιτέσσερις ώρες μοιράζονται σε τρία ωχτάωρα 0.00-8.00, 8.00-16.00 & 16.00-24.00, ώστε με υπολογισμούς αντίστοιχων μέσων όρων συγκεντρώσεων, να συγκριθεί η επιβάρυνση μεταξύ των δώρων. Έτσι προσδιορίζονται μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συγκεντρώσεων δώρων για Cout και Cin και σχηματίζονται οι τρεις λόγοι μέσων όρων δώρου προς μέσο όρο 24ώρου. Από τις μετρήσεις για την κάθε πλήρη μέρα υπολογίζονται για τις Cout, Cin και το λόγο συγκεντρώσεων i/o στατιστικά στοιχεία (μέσος όρος τιμών και τυπική

απόκλιση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή) και παρουσιάζονται σε κοινό ραβδόγραμμα οι μέσοι όροι εξωτερικών και εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων ανά ημερομηνία, για το διάστημα στοιχειοληψίας. Επιπλέον αναπαρίσταται γραφικά ο μέσος λόγος συγκεντρώσεων i/o στο ίδιο διάστημα. Οι μέσοι όροι εξωτερικών και εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων ανά ημερομηνία, τοποθετούνται και σε διάγραμμα, όπου απεικονίζονται οι οριακές τιμές που επιβάλλονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την EPA (US Environmental Protection Agency), προς σύγκριση με αυτές.

Στο σύνολο των μετρήσεων που λαμβάνονται (χωρίς εξαίρεση κάποιων τιμών), γίνεται επίσης υπολογισμός στατιστικών στοιχείων (μέσος όρος τιμών και τυπική απόκλιση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή), καθώς και του λόγου μέγιστης προς μέση τιμή $\max/average$.

Για τη διερεύνηση της συσχέτισης εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων, γίνεται με χρήση του προγράμματος excel γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των τιμών C_{in}/C_{out} και προσδιορίζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης R.

Για να εξεταστεί η πιθανή εξάρτηση της συγκέντρωσης σωματιδίων από τις επικρατούσες συνθήκες και κυρίως την ταχύτητα του ανέμου, κατασκευάζονται διαγράμματα ταχύτητας του ανέμου ανά ημερομηνία, τα οποία συνοδεύουν τα διαγράμματα εξωτερικών-εσωτερικών συγκεντρώσεων ανά ημερομηνία. Από υπολογισμούς μέσων όρων τιμών ταχύτητας του ανέμου προκύπτει γράφημα μέσου ημερήσιου κύκλου ταχύτητας ανέμου στο διάστημα στοιχειοληψίας. Επίσης γίνεται γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ τιμών συγκεντρώσεων C_{out} - ταχύτητας ανέμου και προσδιορίζεται ο συντελεστής συσχέτισης για τα σωματίδια PM10 και PM2,5.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 PM10

3.1.1 Εξωτερική συγκέντρωση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τη μελέτη των γραφημάτων συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 ανά 24ωρο (5/9 – 28/9), η εξωτερική συγκέντρωση εμφανίζει μέγιστα κατά τις πρωινές και νυχτερινές ώρες, ενώ τις περισσότερες μέρες της δειγματοληψίας παρουσιάζονται επιπλέον κορυφές κοντά στο μεσημέρι (5, 18, 19 & 27/9) (Διαγρ. 1α-7α). Αυτή η συμπεριφορά αποτυπώνεται στο γράφημα μέσου ημερήσιου κύκλου PM10 και επηρεάζεται από δύο βασικές παραμέτρους, τον κυκλοφοριακό φόρτο τις ώρες αιχμής και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, κυρίως την ταχύτητα του ανέμου (Διάγρ. 8).

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα της ταχύτητας του ανέμου, τις νυχτερινές ώρες η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλή, αυξάνεται σημαντικά κοντά στο μεσημέρι (κορυφή) και μειώνεται πάλι σταδιακά προς το βράδυ, φαινόμενο που επαναλαμβάνεται στην Αττική το Σεπτέμβριο (Διαγρ. 1β-7β). Μελετώντας το συντελεστή συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης σωματιδίων και ταχύτητας ανέμου, προκύπτει αρνητική συσχέτιση των δύο μεγεθών $R = -0,41$, δηλαδή με τη μείωση του

ανέμου, αυξάνεται η συγκέντρωση PM10, γεγονός που εξηγεί την αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων τη νύχτα (Διάγρ. 13).

Χωρίζοντας το 24ωρο σε τρία 8ωρα, και συγκρίνοντας τους μέσους όρους συγκέντρωσης 8ώρων με το μέσο όρο πλήρους 24ώρου, περισσότερο επιβαρυνμένο αποδεικνύεται το διάστημα μεταξύ 8.00-16.00 για την Couit. Αυτό οφείλεται στην εντονότερη κινητικότητα που σημειώνεται τις ώρες αυτές, λόγω πρωινών δραστηριοτήτων (υπηρεσίες, συναλλαγές, αγορά), καθώς και το μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο, λόγω εμπορευματικών μεταφορών (τροφοδοσία καταστημάτων) και μετακίνησης περισσότερων οδηγών προς και από την εργασία τους στο διάστημα αυτό (Πίν. 1). Ο μέσος όρος εξωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων των ημερών εντός εβδομάδας υπολογίζεται υψηλότερος από τον αντίστοιχο του Σαββάτου (9/9), ωστόσο λόγω μεγάλης ταχύτητας του αέρα η συγκεκριμένη μέρα δε μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική.

Εξετάζοντας τα πειραματικά αποτελέσματα σε ημερήσιο επίπεδο, η εξωτερική συγκέντρωση σωματιδίων αγγίζει την οριακή τιμή των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ που ορίζεται από την Ε.Ε. Τις περισσότερες φορές καταγράφονται τιμές υψηλότερες, average = 69,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, μέχρι και 3 φορές πάνω από το όριο την 20/9 όπου η μέση τιμή υπολογίζεται average = 163,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε σύγκριση με το αμερικάνικο πρότυπο της EPA με οριακή τιμή 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ οι μέσες συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 1/3 και 2/3 αυτής, ενώ η μέση τιμή συγκέντρωσης προκύπτει στο 1/2 της οριακής τιμής average = 69,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Παρόλα αυτά την 20/9 υπερβαίνεται και αυτή η οριακή τιμή, καθώς ο μέση τιμή υπολογίζεται average = 163,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Διαγρ. 14α,β).

3.1.2 Εσωτερική συγκέντρωση

Όπως δείχνουν οι μετρήσεις που ελήφθησαν, οι εσωτερικές συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες από τις εξωτερικές και ακολουθούν τη συμπεριφορά αυτών (ο λόγος των συγκεντρώσεων I/O είναι μικρότερος της μονάδας). Τα μέγιστα της εξωτερικής συγκέντρωσης ακολουθούνται με μικρή χρονική υστέρηση (15-75 min) από ανάλογη κορυφή στην εσωτερική συγκέντρωση, ενώ οι αυξομειώσεις της εξωτερικής συγκέντρωσης εξομαλύνονται στο εσωτερικό (Διαγρ. 1α-7α).

Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζεται μέγιστο εσωτερικής συγκέντρωσης χωρίς να έχει προηγηθεί κορυφή στην εξωτερική συγκέντρωση, το οποίο οφείλεται στο κάπνισμα ενός τσιγάρου – τη μοναδική εσωτερική πηγή.

Από τη σύγκριση των τριών 8ώρων της ημέρας, μεγαλύτερες τιμές εσωτερικής συγκέντρωσης PM10 προκύπτουν μεταξύ 8.00-16.00, αφενός γιατί στο εσωτερικό ακολουθείται η συμπεριφορά της εξωτερικής συγκέντρωσης, αφετέρου λόγω ύπαρξης της εσωτερικής πηγής στο εν λόγω διάστημα που επιβαρύνει την εσωτερική συγκέντρωση σωματιδίων (Πίν. 1).

Σε σχέση με την οριακή τιμή των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ του προτύπου της Ε.Ε., η μέση ημερήσια εσωτερική συγκέντρωση είναι χαμηλότερη, average = 35,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επίσης είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντίστοιχη ανώτατη τιμή του αμερικανικού οργανισμού EPA των 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Διαγρ. 14α,β).

3.1.3 Σχολιασμός στατιστικών στοιχείων

Από τα στατιστικά στοιχεία φαίνεται ότι κατά μέσο όρο η εξωτερική συγκέντρωση των σωματιδίων PM10 είναι υψηλότερη και σχεδόν διπλάσια από την εσωτερική.

Οι min & max τιμές των συγκεντρώσεων in και out και η τυπική απόκλιση δείχνουν πως υπάρχει σημαντική διακύμανση μέσα στην ημέρα, αφού η max τιμή είναι 4πλάσια ή 3πλάσια του μέσου όρου για Cout και Cin αντίστοιχα. Οι τιμές που καταγράφονται για Cout = 302,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και Cin = 109,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ είναι πολλαπλάσιες φορές υψηλότερες από τα σχετικά πρότυπα γεγονός που έχει τη σημασία του για την έκθεση του πληθυσμού, έστω και σημειακά σε τέτοιες συγκεντρώσεις. Ωστόσο η τυπική απόκλιση για Cin είναι πολύ μικρότερη της Cout (Πίν. 2).

Τις μέρες εσωτερικής δραστηριότητας καταγράφεται εσωτερική συγκέντρωση σωματιδίων υψηλότερη από την εξωτερική και ο λόγος I/O είναι μεγαλύτερος της μονάδας όπως αποτυπώνεται στα στατιστικά στοιχεία.

Η εκτίμηση της έντονης εξάρτησης της εσωτερικής συγκέντρωσης από την εξωτερική επιβεβαιώνεται από την τάση συσχέτισης μεταξύ Cin και Cout που προκύπτει από τη γραμμική παλινδρόμηση και το συντελεστή που υπολογίζεται $R=0,726$ (Διάγρ. 13).

3.2 PM2,5

3.2.1 Εξωτερική συγκέντρωση

Όπως φαίνεται από τις πειραματικές μετρήσεις και τις γραφικές παραστάσεις συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 ανά 24ωρο (7/9 – 2/10), η εξωτερική συγκέντρωση παρουσιάζει κορυφές κατά τις πρωινές ώρες (πριν το μεσημέρι) και τις βραδινές (Διαγρ. 15α-22α). Τα μέγιστα ωστόσο δεν είναι πολύ υψηλότερα από τις υπόλοιπες τιμές, γεγονός που απεικονίζεται στο γράφημα μέσου ημερήσιου κύκλου σωματιδίων (Διάγρ. 23). Οι παράμετροι που και εδώ επηρεάζουν, είναι η κίνηση των οχημάτων (κυκλοφοριακός φόρτος) αλλά και η ταχύτητα του ανέμου ιδιαίτερα, καθώς λόγω κοκκομετρίας τα σωματίδια PM2,5 πέφτουν ευκολότερα στο έδαφος.

Όπως έχει σχολιαστεί προηγουμένως, ο μέσος ημερήσιος κύκλος ταχύτητας ανέμου στο διάστημα στοιχειοληψίας παρουσιάζει χαμηλές τιμές τις βραδινές/ νυχτερινές ώρες και αυξημένες κοντά στο μεσημέρι (Διάγρ. 9), ενώ ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης σωματιδίων και ταχύτητας ανέμου, που υπολογίζεται $R = -0,64$ δείχνει ισχυρή αρνητική συσχέτιση των δύο μεγεθών (Διάγρ. 28). Έτσι με την αύξηση του ανέμου, η συγκέντρωση των σωματιδίων μειώνεται σημαντικά, παράγοντας που αντισταθμίζει την αυξημένη εκπομπή τις ώρες αιχμής και δεν επιτρέπει την εμφάνιση έντονων κορυφών, όπου αυτές προκύπτουν.

Εξετάζοντας τα τρία 8ωρα του 24ώρου, οι λόγοι μέσων όρων συγκέντρωσης 8ώρου προς μέσο όρο 24ώρου, δείχνουν για την εξωτερική συγκέντρωση Cout μεγαλύτερη επιβάρυνση μεταξύ του διαστήματος 0.00-8.00 (Πίν 4). Τις νυχτερινές ώρες παρουσιάζεται αυξημένη συγκέντρωση PM2,5, καθώς ο άνεμος πέφτει.

Ο μέσος ημερήσιος κύκλος τόσο τις καθημερινές όσο και το σαββατοκύριακο παρουσιάζει αντίστοιχη μορφή, με ήπιες κορυφές πρωί και βράδυ (Διαγρ. 23-24).

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις που λαμβάνονται με το πρότυπο της Ε.Ε. που θέτει την ετήσια οριακή τιμή στα 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, υπάρχουν σαφείς παραβιάσεις, τόσο σε επίπεδο μέσης τιμής average = 35,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, όσο και σε ημερήσιο επίπεδο, όπου καταγράφεται ημερήσια μέση τιμή average = 49,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (25/9), 2πλάσια της οριακής. Το ανώτατο ημερήσιο όριο των 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ που τίθεται από την ΕΡΑ παραβιάζεται επίσης, οριακά ή σημαντικά, όπως φαίνεται από τις μετρήσεις (Διαγρ. 29α,β).

3.2.2 Εσωτερική συγκέντρωση

Γενικά οι εσωτερικές συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες από τις εξωτερικές και ακολουθούν αντίστοιχες αυξομειώσεις.

Οι κορυφές της εξωτερικής συγκέντρωσης ακολουθούνται με κάποια χρονική υστέρηση (30-90 min) από λιγότερο οξείες κορυφές στην εσωτερική συγκέντρωση, ενώ κάποια μέγιστα εσωτερικής συγκέντρωσης εμφανίζονται χωρίς να έχει προηγηθεί κορυφή στην εξωτερική, λόγω της εσωτερικής πηγής (κάπνισμα τσιγάρου), που σε δεδομένες περιπτώσεις μάλιστα, αγγίζουν τιμές υψηλότερες της εξωτερικής συγκέντρωσης Cout (Διαγρ. 15α-22α).

Αναφορικά με την επιβάρυνση των δώρων της ημέρας, οι εσωτερικές συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες στο διάστημα 8.00-16.00 (Πίν 4). Τις πρωινές/ μεσημεριανές ώρες με τις αυξημένες εκπομπές λόγω κυκλοφορίας προκύπτει μεγαλύτερος αριθμός σωματιδίων PM_{2,5} που λόγω μεγέθους ενδεχομένως να εισέρχονται ευκολότερα και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στον εσωτερικό χώρο.

Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις με μέση τιμή average = 30,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ κινούνται 20% υψηλότερα από την ετήσια οριακή τιμή 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ που ορίζει η Ε.Ε., ενώ οι παραβιάσεις σε ημερήσιο επίπεδο είναι πιο σημαντικές, μιάμιση φορά παραπάνω, με καταγραφές ημερήσιων average = 38,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε σύγκριση με το αμερικανικό πρότυπο της ΕΡΑ με ημερήσιο όριο τα 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπάρχει παραβίαση κοντά στο 10% (Διαγρ. 29α,β).

3.2.3 Σχολιασμός στατιστικών στοιχείων

Σύμφωνα με τα στατιστικά δεδομένα οι εσωτερικές συγκεντρώσεις σωματιδίων είναι χαμηλότερες των εξωτερικών περίπου κατά 20%.

Μέσα στην ημέρα υπάρχει αρκετά έντονη διακύμανση αν λάβουμε υπόψη min & max τιμές για τις εξωτερικές και τις εσωτερικές συγκεντρώσεις. Οι max τιμές σε σχέση με τους μέσους όρους είναι για την εξωτερική συγκέντρωση 2πλάσια και για την εσωτερική 4πλάσια, ενώ η μέγιστη τιμή εσωτερικής συγκέντρωσης που εμφανίζεται είναι διπλάσια της μέγιστης εξωτερικής που μετρήθηκε (Πίν 5). Οι υψηλές σημειακές τιμές εξωτερικής συγκέντρωσης που εμφανίζονται, max = 67,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ συνιστούν σοβαρές παραβιάσεις του ορίου και επιβαρύνουν τον πληθυσμό ακόμα και για βραχεία έκθεση. Οι δε εσωτερικές συγκεντρώσεις που στα μέγιστα καταγεγραμμένα επίπεδα αγγίζουν τιμές 112,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 98,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 79,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 78,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, επηρεάζόμενες σαφώς από την εσωτερική δραστηριότητα του τσιγάρου, καθώς όπως φαίνεται από τα αντίστοιχα διαγράμματα δεν έχει προηγηθεί αντίστοιχο μέγιστο εξωτερικής συγκέντρωσης, αποτελούν χαρακτηριστικό δείγμα ποσότητας σωματιδίων σε οικιακό περιβάλλον με ανθρώπινη δραστηριότητα εντός.

Οι τιμές I/O είναι (εκτός των παραπάνω περιπτώσεων) μικρότερες της μονάδας, αλλά κατά μέσο όρο μεγαλύτερες του 0,7, οπότε η εξάρτηση του C_{in} από το C_{out} είναι εμφανής και ενισχύει την εκτίμηση της αυξημένης εισροής PM_{2,5} στο εσωτερικό (Διάγρ 26).

Επιπλέον από τη γραμμική παλινδρόμηση C_{in} - C_{out} συγκεντρώσεων προκύπτει ισχυρή συσχέτιση R=0,723 και επιβεβαιώνεται η μεγάλη επίδραση της εξωτερικής ατμόσφαιρας στα εσωτερικά επίπεδα ρύπανσης (Διάγρ. 27).

3.3 Επικρατούσες συνθήκες

Πέρα από την ταχύτητα του ανέμου που επηρεάζει σημαντικά τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων, η θερμοκρασία και σχετική υγρασία που καταγράφηκαν στο διάστημα στοιχειοληψίας δεν έδειξαν αντίστοιχη συμμετοχή στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς των σωματιδίων.

Κατά το διάστημα των μετρήσεων η θερμοκρασία δεν παρουσίασε ιδιαίτερες μεταβολές, διατηρήθηκε πρακτικά σταθερή mean= 22,5 °C, σε φυσιολογικά επίπεδα για την εποχή (Διάγρ. 30). Η συνεκτίμηση του γραφήματος μέσης θερμοκρασίας και των ημερήσιων μέσων συγκεντρώσεων PM₁₀ και PM_{2,5} στην περίοδο που εξετάστηκε, δε δίνει κάτι ενδιαφέρον που να μαρτυρά πιθανή επιρροή της σε αυτές.

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα, η σχετική υγρασία μέχρι το μέσο περίπου της περιόδου δειγματοληψίας κινήθηκε σε ένα μέσο όρο average=45,6% και στη συνέχεια αυξήθηκε αρκετά, average= 72,5%. Συναξιολογώντας τις τιμές σχετικής υγρασίας και τις ημερήσιες μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM_{2,5}, θα μπορούσε ενδεχομένως να σχετιστεί η άνοδος των μέσων συγκεντρώσεων PM_{2,5} μεταξύ 25/9-3/10 με τα αυξημένα επίπεδα υγρασίας που εμφανίζονται στο ίδιο διάστημα, μετά την 17/9 (Διάγρ. 31). Παρόλα αυτά για τις αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις PM₁₀, που παρουσιάζουν μια σχετική αύξηση μεταξύ 18-20/9, δε μπορεί να υποθεθεί κάτι ανάλογο, καθώς οι τιμές C_{out}/ C_{in} επανέρχονται στα προηγούμενα επίπεδα παρά τη διατήρηση της αυξημένης υγρασίας (Διάγρ. 25). Έτσι το παραπάνω σχόλιο, που αφορά στα PM_{2,5} και προέκυψε ως παρατήρηση πάνω στις καταγραφόμενες τιμές, δε μπορεί να αποτελέσει συμπέρασμα, παρά μόνο ίσως αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως περιγράφηκε αναλυτικά προηγουμένως, οι τιμές συγκεντρώσεων σωματιδίων που σημειώνονται, τόσο για PM₁₀ όσο και PM_{2,5} συνιστούν σαφείς υπερβάσεις των μέγιστων επιτρεπτών ορίων, δίνοντας απάντηση στο σκέλος της μελέτης ως προς τα επίπεδα των συγκεντρώσεων που προκύπτουν και το ενδεχόμενο παραβάσεων.

Ειδικότερα, σε σύγκριση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα που θέτουν την ανώτατη μέση 24ωρη τιμή PM₁₀ στα 50 μg/m³, ο μέσος όρος C_{out} average=69,52 μg/m³ είναι σχεδόν 40% αυξημένος, ενώ εμφανίζονται σημειακά τιμές πολλαπλάσια υψηλότερες (x4). Όσον αφορά στις τιμές εσωτερικής συγκέντρωσης PM₁₀, ο μέσος όρος είναι περίπου 30% χαμηλότερος του ορίου, C_{in} average=35,74 μg/m³, κάτι που δηλώνει την προστασία από την έκθεση εντός της οικίας. Ωστόσο η εσωτερική δραστηριότητα του τσιγάρου αρκεί για να αυξηθούν αισθητά τα επίπεδα έκθεσης (λόγος I/O>1). Αναφορικά με τα αμερικανικά πρότυπα της EPA, η οριακή τιμή

24ώρου των 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ είναι πολύ υψηλότερη των μέσων όρων C_{out} και C_{in} που καταγράφονται.

Για τα σωματίδια $\text{PM}_{2,5}$ το ετήσιο ανώτατο όριο των 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ που ορίζεται από την Ε.Ε., παραβιάζεται εξίσου κατά 40%, αφού $\text{C}_{\text{out average}}=35,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Παράλληλα σε ημερήσιο επίπεδο σημειώνονται υπερβάσεις που προσεγγίζουν τιμές διπλάσιες της οριακής. Στο εσωτερικό της οικίας, αντίθετα με τα σωματίδια PM_{10} , υπάρχουν επίσης παραβιάσεις του επιτρεπτού ορίου σε ποσοστό 20%, $\text{C}_{\text{in average}}=30,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ σε ημερήσιο επίπεδο καταγράφεται υπέρβαση κατά μιάμιση φορά. Η 24ώρη ανώτατη τιμή 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά ΕΡΑ, υπερβαίνεται οριακά κατά μέσο όρο από τις εξωτερικές συγκεντρώσεις και παραμένει υψηλότερη από τη μέση εσωτερική συγκέντρωση. Ωστόσο οι ανώτερες μέσες ημερήσιες καταγραφές C_{out} και C_{in} ξεπερνούν την οριακή τιμή σχεδόν κατά 40% και 10% αντίστοιχα. Στις περιπτώσεις ανάμματος του τσιγάρου η συγκέντρωση σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$ αυξάνει κατακόρυφα (σχεδόν 4πλάσια της μέσης τιμής), στοιχείο ενδεικτικό των υψηλών συγκεντρώσεων σε εσωτερικό χώρο όπου λαμβάνουν χώρα δραστηριότητες.

Εδώ μπορεί να σημειωθεί ότι οι τιμές εξωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$ που καταγράφονται στην παρούσα μελέτη, είναι πολύ κοντά αριθμητικά με τιμές που σημειώθηκαν σε αντίστοιχης θεματολογίας μελέτη, στο πλαίσιο της οποίας ελήφθησαν μετρήσεις στην Αθήνα και τρεις ακόμα μεγάλες πόλεις [Ο.Ο. Hänninen et al/ Atmospheric Environment 38 (2004) 6411-6423]. Παρατηρώντας τους Πίνακες 5 και 7 διακρίνεται μέσος όρος εξωτερικής συγκέντρωσης $\text{C}_{\text{out average}}=37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, με τυπική απόκλιση $\text{SD}=27$, ελάχιστη και μέγιστη τιμή $\text{min}=9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $\text{max}=140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στη μελέτη του 2004 και αντίστοιχα $\text{C}_{\text{out average}}=35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SD}=13$, $\text{min}=11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $\text{max}=68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στην τρέχουσα μελέτη. Οι τιμές για τις εσωτερικές συγκεντρώσεις δεν συναξιολογούνται καθώς ο μελετητής έχει λάβει μετρήσεις στο εσωτερικό με την παρουσία δραστηριότητας και καπνού. Η συμφωνία των μετρήσεων των δύο εργασιών συνηγορεί υπέρ της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν.

Επισημαίνεται ότι η επιλογή του «θερινού» διαστήματος στοιχειοληψίας είχε σαν στόχο την καταγραφή συγκεντρώσεων προερχόμενων κυρίως από τις μηχανοκίνητες οδικές μεταφορές, μια από τις σημαντικότερες άμεσες αιτίες έντονης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές, καθώς την εν λόγω περίοδο δεν προστίθενται στο δείγμα παραπάνω εκπομπές από κεντρικές θερμάνσεις κτηρίων. Έτσι η υπέρβαση των ορίων που ήδη σημειώνεται από τις μετρούμενες συγκεντρώσεις, θα είναι πιθανότατα σημαντικότερη το χειμερινό εξάμηνο. Επιπλέον οι πολύ υψηλές τιμές που μετρούνται (και αμβλύνονται με τον συνυπολογισμό στους μέσους όρους), φανερώνουν τάση περαιτέρω παραβιάσεων και επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας.

Σε σχέση με το δεύτερο σκέλος της παρούσας εργασίας, πέρα από την ξεκάθαρη υπέρβαση των οριακών τιμών που αποτυπώνεται στις μετρήσεις, προέκυψε ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των τιμών εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$. Η γραμμική παλινδρόμηση που εφαρμόστηκε, έδωσε τιμές συντελεστών συσχέτισης για τα μεν PM_{10} $R=0,73$ και για τα $\text{PM}_{2,5}$ $R=0,72$. Κατόπιν αυτού και λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη συμμετοχής εσωτερικής δραστηριότητας στη C_{in} , εκτός από το συγκεκριμένο άναμμα τσιγάρου, διαφαίνεται σημαντική εξάρτηση των εσωτερικών συγκεντρώσεων PM από τις εξωτερικές. Έτσι με δεδομένο ότι οι εξωτερικές συγκεντρώσεις εμφανίζονται αυξημένες, άνω των ορίων, και μεγάλο ποσοστό των σωματιδίων εισέρχεται στο εσωτερικό, είναι πολύ πιθανό αυτό σε συνδυασμό με τις εκπομπές λόγω οικιακής δραστηριότητας να

ανεβάζει σε ακόμα υψηλότερα επίπεδα τις συγκεντρώσεις εντός. Ιδιαίτερα τη χειμερινή περίοδο όπου περιορίζεται ο αερισμός λόγω κλειστών παραθύρων, μέρος των εξωτερικών συγκεντρώσεων εμποδίζεται, όπως στις τεχνητές συνθήκες της μελέτης, αλλά ταυτόχρονα δεν μετριάζεται η επιβάρυνση λόγω εσωτερικών πηγών.

Σε ότι αφορά τις επικρατούσες συνθήκες, όπως ήταν αναμενόμενο, η ταχύτητα του ανέμου παίζει σημαντικό ρόλο στη συγκέντρωση των σωματιδίων PM10 και PM2,5. Η συναξιολόγηση εξωτερικών-εσωτερικών συγκεντρώσεων και συμπεριφοράς του ανέμου ανά 24ωρο δείχνει τάση εξάρτησης μεταξύ τους. Από τη γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ εξωτερικών συγκεντρώσεων των δύο τύπων σωματιδίων PM και ταχύτητας του ανέμου, προέκυψαν συντελεστές συσχέτισης $R=-0,41$ για τα PM10 και $R=-0,64$ για τα PM2,5, δηλαδή αρνητική συσχέτιση και ισχυρά αρνητική συσχέτιση αντίστοιχα. Επομένως η εμφάνιση ανέμου βοηθάει στη μείωση της συγκέντρωσης σωματιδίων και αντίστροφα, με εντονότερη επίδραση στα πιο λεπτόκοκκα PM2,5. Βάσει αυτού μπορεί ίσως να υποθεθεί, ότι η απουσία αερισμού τη χειμερινή περίοδο στον κλειστό χώρο δεν περιορίζει τις συγκεντρώσεις λόγω εσωτερικής δραστηριότητας.

Οι υπόλοιπες καιρικές συνθήκες που εξετάστηκαν, θερμοκρασία και σχετική υγρασία, δεν παρουσίασαν ιδιαίτερη επιρροή στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων. Η θερμοκρασία παραμένοντας πρακτικά σταθερή σε όλο το διάστημα στοιχειοληψίας δεν αναμένεται να επηρεάσει κατά όποιο τρόπο τα επίπεδα των συγκεντρώσεων. Η σχετική υγρασία ωστόσο, ενώ ήταν σε σταθερά επίπεδα μέχρι το μέσο του διαστήματος, από την 18/9 αυξήθηκε αρκετά και παρέμεινε σε ψηλές τιμές στη συνέχεια. Καθώς οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 που σημειώθηκαν από την 25/9 και πέρα είναι αυξημένες, συγκριτικά με τις προηγούμενες, θα μπορούσαν ενδεχομένως να έχουν επηρεαστεί από τα επίπεδα σχετικής υγρασίας (άλλωστε η υγρασία συνεπάγεται μειωμένη ταχύτητα ανέμου). Παρόλα αυτά δεν παρατηρείται ανάλογη άνοδος των τιμών συγκεντρώσεων PM10 και το δείγμα είναι μικρό για να στοιχειοθετήσει μια αξιόπιστη εκτίμηση. Επομένως η πιθανή εξάρτηση της συγκέντρωσης σωματιδίων (PM2,5) από τη σχετική υγρασία μπορεί να διερευνηθεί στο πλαίσιο μελλοντικής εργασίας.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, η τάση εμφάνισης υψηλών τιμών εξωτερικών και εσωτερικών συγκεντρώσεων PM10 και PM2,5 (ανώτερων των επιτρεπόμενων τιμών) που σημειώνεται στο «θερινό» διάστημα που εξετάστηκε, αναμένεται να είναι εντονότερη το χειμώνα (τόσο λόγω αύξησης των εκπομπών σωματιδίων από τις κεντρικές θερμάνσεις, όσο και λόγω περιορισμένου αερισμού εντός των κτηρίων κατά τους ψυχρούς μήνες). Έτσι πιθανό αντικείμενο μελλοντικής εργασίας μπορεί να αποτελέσει η λήψη αντίστοιχων μετρήσεων τη χειμερινή περίοδο ώστε να διαπιστωθεί αν και κατά πόσο υπάρχει περαιτέρω επιβάρυνση στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον. Επίσης μια σειρά μετρήσεων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με παρουσία οικιακής δραστηριότητας για την εξέταση του ίδιου ενδεχομένου. Παράλληλα η επέκταση της στοιχειοληψίας σε διάστημα με αυξημένη σχετική υγρασία και η καταγραφή ικανού δείγματος, θα φώτιζε ενδεχομένως την υπόθεση εξάρτησης της συγκέντρωσης σωματιδίων από αυτή.

Άλλωστε η επικαιροποίηση των μετρήσεων, καθώς οι μετρήσεις που αναφέρονται στην παρούσα εργασία έχουν ληφθεί το 2006, έχει ουσιαστική αξία, διότι η

οικονομική κρίση που μεσολάβησε και παραμένει, με την αύξηση της ανεργίας, την μείωση των εισοδημάτων και την σημαντική αύξηση των τιμών των καυσίμων, έχει επιφέρει μείωση στην κυκλοφορία των οχημάτων (ΙΧ και ταξί) στις μεγάλες πόλεις, χωρίς ανάλογη αύξηση της μετακίνησης με Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Αν ήταν δυνατό δε, να λαμβάνονται ταυτόχρονα τιμές για τα PM10 και PM2,5, θα μπορούσε να γίνει και μια σύγκριση μεταξύ της συμπεριφοράς των συγκεντρώσεων τους ως αποτέλεσμα των ίδιων ακριβώς συνθηκών.

Επιπλέον, πέρα από την επέκταση την ερευνητικής δραστηριότητας, με δεδομένη την υπέρβαση των μέγιστων ορίων συγκεντρώσεων, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων, λόγω κυκλοφορίας στα αστικά κέντρα. Ήδη η Επιτροπή των Περιφερειών στο πλαίσιο της Γνωμοδότησης με θέμα «Αναθεώρηση της πολιτικής της Ε.Ε. για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και τις εκπομπές» της 03/05/12 συνιστά να ενισχυθεί η πολιτική της Ε.Ε. για τις εκπομπές. Καθιστώντας την αναθεώρηση της οδηγίας ΕΑΟΕ αρκετά φιλόδοξη ώστε να συμβάλει στη μείωση των συγκεντρώσεων υποβάθρου, με τη θέσπιση αυστηρότερων προτύπων Euro για τα οχήματα όσον αφορά το NO₂/ NO_x και τα αιωρούμενα σωματίδια, και αυστηρότερων προδιαγραφών για τις εκπομπές των άλλων κινητών πηγών, για να καλυφθεί το χάσμα μεταξύ των προτύπων Ε.Ε. για τις εκπομπές οχημάτων και των σημερινών υπό πραγματικές συνθήκες εκπομπών και να μειωθούν οι εκπομπές στη ναυτιλία και τις αεροπορικές μεταφορές, και οι εκπομπές αμμωνίας στη γεωργία. Παράλληλα για τη μελλοντική εξέλιξη της πολιτικής της Ε.Ε. για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, προτείνει την παρουσίαση αναθεωρημένης θεματικής στρατηγικής για την ατμοσφαιρική ρύπανση στις αρχές του 2013, την εξέτασή της στο πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων της ΕΕ κατά τη διάρκεια του έτους, και την παρουσίαση της αναθεωρημένης οδηγίας για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και των μέτρων της Ε.Ε. για τη μείωση της ρύπανσης στην πηγή στα τέλη του 2013. Τέλος προτείνει ενδιάμεση αξιολόγηση και ενδεχόμενη προσαρμογή με βάση πιθανούς νέους δείκτες το 2017 [18].

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abt E. Helen H., Allen G., and Koutrakis P., Characterization of Indoor Particle Sources: A Study Conducted in the Metropolitan Boston Area Environmental Health Perspectives, Volume 108, Number 1, January 2000.
2. Adgate J.L., Ramachandran G., Pratt G.C, Waller L.A., Sexton K. Spatial and temporal variability in outdoor, indoor, and personal PM_{2.5} exposure, Atmospheric Environment 36 (2002) 3255–3265.
3. American Lung Association of Washington (ALAW), “Facts about Particulate Matter Air Pollution”, <http://alaw.org/pmfact.html>, 2004.
4. Atmospheric Research and Information Center (ARIC), “ARIC Briefing Note: Particulate Matter”, <http://doc.mmu.ac.uk/aric/notes/bn52.htm>, 1997.
5. CAFE Working Group on Particulate Matter, “Second Position Paper on Particulate Matter”, 2004.
6. Chaloulakou A., Kassomenos P., Grivas G., Spyrellis N., “Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece” Environment international 31 (5), 651-659, 2005.
7. Chow J.C., “Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles”, Journal of the Air and Waste Management Association, Vol. 45, pp. 320-382, 1995.
8. Demokritou P., Kavouras I.G., Ferguson S.T., Koutrakis P., “Development and Laboratory Performance Evaluation of a Personal Multipollutant Sampler for Simultaneous Measurements of Particulate and Gaseous Pollutants”, Aerosol Science and Technology, Vol. 35, pp. 741-752, 2001.
9. Diapouli E., Chaloulakou A., Mihalopoulos N., Spyrellis N., “Indoor and outdoor PM mass and number concentrations of schools in the Athens area”, Environmental monitoring and assessment 136 (1), 13-20, 2008(a).
10. Diapouli E., Grivas G., Chaloulakou A., Spyrellis N., “PM₁₀ and Ultrafine Particles Counts In-Vehicle and On-Road in Athens Area”, Water, Air, & Soil Pollution: Focus 8 (1), 89-97(b).
11. Donaldson K., Brown D., Clouter A., Duffin R., Macnee W., Renwick L., Tran L., Stone V., “The Pulmonary Toxicology of Ultrafine Particles”, Journal of Aerosol Medicine, Vol. 15(2), pp. 213-220, 2002.
12. E.C. Technical Working Group on Particles, “Ambient Air Pollution by Particulate Matter - Draft Position Paper”, Version 4.0, 1996.
13. Environmental Protection Agency’s (EPA) Office of Research and Development (ORD), “Air Quality Criteria for Particulate Matter”, (EPA/600/P-95/001aF-cF), Federal Register 61(89): 20522, 1996.
14. European Environment Agency & World Health Organization, “Air and Health- Some Common Air Pollutants”, [http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/Air Health/air%20pollutants.htm](http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/Air%20Health/air%20pollutants.htm), 1999(a).
15. European Environment Agency & World Health Organization, “Air and Health- Sources of Air Pollution”, <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/Air Health/sources.htm>, 1999(b).
16. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της 21/5/2008, Οδηγία 2008/50/EK για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερου αέρα για την Ευρώπη, Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
17. Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, “Πρόταση Οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την Ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα

18. Επιτροπή των περιφερειών, “Γνωμοδότηση για την αναθεώρηση της πολιτικής της Ε.Ε. για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και τις εκπομπές” (2012/C 225/03, Επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
19. Ferro A.R, Kopperud R.J., and Hildemann L.M, Source Strengths for Indoor Human Activities that Resuspend Particulate Matter, *Environ. Sci. Technol.*, 2004, 38 (6), 1759-1764• DOI: 10.1021/es0263893.
20. Fischer P.H., Hoek G., van Reeuwijk H., Briggs D.J., Lebret E., van Wijnen J.H, Kingham S., Elliott P.E., Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam, *Atmospheric Environment* 34 (2000) 3713}3722.
21. Goldberg M.S., Burnett R.T., Bailar J.C., Brook J., Bonvalot Y., Tamblyn R., Singh R., Valois M.F., Vincent R., “The Association between Daily Mortality and Ambient Air Particle Pollution in Montreal, Quebec, 2. Cause-Specific Mortality”, *Environmental Research*, Vol. A86, pp. 26-36, 2001.
22. Gramotnev G., Ristovski Z., “Experimental Investigation of Ultrafine Particle Size Distribution near a Busy Road”, *Atmospheric Environment*, Vol. 38(12), pp. 1767-1776, 2004.
23. Grivas G., Cheristanidis S., Chaloulakou A., “Elemental and organic carbon in the urban environment of Athens, Seasonal and diurnal variation and estimates on secondary organic carbon”, *Science of the Total Environment*, 2011.
24. Hanninen O.O., Lebret E., Llacqua V., Katsouyanni K., Kunzli N, Sram R.J., Jantunen M., Infiltration of ambient PM2.5 and levels of indoor generated non-ETS PM2.5 in residences of four European cities *Atmospheric Environment* 38 (2004) 6411–6423.
25. Harrison R.M., Jones M., “The Chemical Composition of Airborne Particles in the U.K. Atmosphere”, *Science of the Total Environment*, Vol. 168, pp. 195-214, 1995.
26. ICRP, “Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection”, ICRP Publication 66, Pergamon Press, Oxford, 1994.
27. Jones A.P., “Indoor Air Quality and Health”, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4535-4564, 1999.
28. Junker M., Kasper M., Roosli M., Camenzind M., Kunzli N., Monn C., Theis G., Braun-Fahrlander C., “Airborne Particle Number Profiles, Particle Mass, Distributions and Particle – Bound PAH Concentrations within the City Environment of Basel”, *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 3171-3181, 2000.
29. Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E., Gryparis A., La Tertre A., Monopolis Y., Rossi G., Zmirou D., Ballester F., Boumghar A., Anderson H.R., Wojtyniak B., Paldy A., Braunstein R., Pekkanen J., Schindler C., Schwartz J., “Confounding and Effect Modification in the Short-Term Effects of Ambient Particles on Total Mortality: Results from 29 European Cities within the APHEA2 Project”, *Epidemiology*, Vol. 12(5), pp. 521-531, 2001.
30. Kavouras I.G., Joy L., Koutrakis P., Stephanou E.G., Oyola P., “Measurement of Particulate Aliphatic and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Santiago de Chile: Source Reconciliation and Evaluation of Sampling Artifacts”, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4977-4986, 1999.
31. Keywood M.D., Ayers G.P., Gras J.L., Gillett R.W., Cohen D.D., “Relationships Between Size Segregated Mass Concentration Data and Ultrafine Particle

32. Kim Y.P., Moon K.C., Lee J.H., Baik N.J., "Concentrations of Carbonaceous Species in Particles at Seoul and Cheju in Korea", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 2751-2758, 1999.
33. Kingham S., Briggs D., Elliott P., Fischer P., Lebret E., Spatial variations in the concentrations of traffic-related pollutants in indoor and outdoor air in Huddersfield, England, *Atmospheric Environment* 34 (2000) 905-916.
34. Lachenmyer C. and Hidy G.M., Urban Measurements of Outdoor] Deep South. Part I. Pilot Study of Mass Concentrations for Nonsmoking Subjects, *Aerosol Science and Technology* 32:34] 51 (2000).
35. Lee S.C., Guo H., Li W.M., Chan L.Y., Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong, *Atmospheric Environment* 36 (2002) 1929-1940.
36. Lunden M.M., Revzan K.L., Fischer M.L., Thatcher T.L., Littlejohn D., Hering S.V., Brown N.J., "The Transformation of Outdoor Ammonium Nitrate Aerosols in the Indoor Environment", *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 5633-5644, 2003(a).
37. Magliano K.M., Hugues V.M., Chinkin L., Coe D.L., Haste T.L., Kumar N., Lurmann F.W., "Spatial and Temporal Variations in PM₁₀ and PM_{2.5} Source Contributions and Comparison to Emissions during the 1995 Integrated Monitoring Study", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4757-4773, 1999.
38. Manahan S.E., "Environmental Chemistry", 6th Edition, Lewis Publishers, Florida, 1994.
39. Manalis N., Grivas G., Protonotarios V., Moutsatsou A., Samara C., Chaloulakou A., "Toxic metal content of particulate matter (PM₁₀), within the Greater Area of Athens", *Chemosphere* 60 (4), 557-566, 2005.
40. Mantis J., Chaloulakou A., Samara C., "PM₁₀-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Greater Area of Athens", *Chemosphere* 59 (5), 593-604, 2005.
41. Massey D., Masih J., Kulshrestha A., Habil M., Taneja A., Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2.5 mm (PM_{2.5}) in residential homes locations in central Indian region, *Building and Environment* xxx (2009) 1-9.
42. Martuzevisius D., A. Grinshpun S., Lee T., Hu S., Biswas P., Reponen T., LeMasters G, Traffic-related PM_{2.5} aerosol in residential houses located near major highways: Indoor versus outdoor concentrations, *Atmospheric Environment* 42 (2008) 6575-6585.
43. Mattias-Maser S., Obolkin V., Khodzer T., Jaeniche R., "Seasonal Variation of Primary Biological Aerosol Particles in the Remote Continental Region of Lake Baikal / Siberia", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 3805-3811, 2000.
44. Mavroidis I., Chaloulakou A., "Characteristics and expected health implications of annual PM₁₀ concentrations in Athens, Greece", *International Journal of Environment and Pollution* 41, 124-139, 2010.
45. Menichini E., Monfredini F., Merli F., "The Temporal Variability of the Profile of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Air: A Study in a Medium Traffic Area in Rome", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 3739-3750, 1999.
46. Milloy S.J., "Scientists at Toxicology Meeting Question Data Adequacy for PM Standard", Bureau of National Affairs Daily Environment Report (9 March 1998), <http://www.alaw.org/pmfact.html>, 1998.

47. Molnar A., Meszaros E., Hansson H.C., Karlsson H., Gelencser A., Kiss G., Krivacsy Z., "The Importance of Organic and Elemental Carbon in the Fine Atmospheric Aerosol Particles", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 2745-2750, 1999.
48. Morawska L., Thomas S., Hofmann W., Ristovski Z., Jamriska M., Rettenmoser T., Kagerer S., "Exploratory Cross-Sectional Investigations on Ambient Submicrometer Particles in Salzburg, Austria", *Atmospheric Environment*, Vol. 38(21), pp. 3529-3533, 2004.
49. Natural Resources Defense Council, "Danger in the Air: Thousands of Early Deaths could be Averted with Cleaner Air Standard", Natural Resources Defense Council, <http://www.nrdc.org/find/aibresum.html>, 1996(b).
50. Oberdorster G., Utell M.J., "Ultrafine Particles in the Urban Air: To the Respiratory Tract – and Beyond?", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 110, pp. A440-A441, 2002.
51. Offenberg J.H., Baker J.E., "Aerosol Size Distributions of Elemental and Organic Carbon in Urban and Over Water Atmospheres", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 1509-1517, 2000.
52. Ohta S., Hori M., Yamagata S., Murao N., "Chemical Characterization of Atmospheric Fine Particles in Sapporo with Determination of Water Content", *Atmospheric Environment*, Vol. 32(6), pp. 1121-1125, 1998.
53. Olhstrom M.O., Lehtinen K., Moisio M., Jokiniemi J.K., "Fine Particle Emissions of Energy Production in Finland", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 3701-3711, 2000.
54. Oosterlee A., Drijver M., Lebret E., Brunekreef B., "Chronic Respiratory Symptoms in Children and Adults Living along Streets with High Traffic Density", *Occupational Environmental Medicine*, Vol. 53, pp. 241-247, 1996.
55. Paterson K., "CE352 Air Particulate Laboratory: Analysis of Second Hand Smoke, Types of Air Particulate, Representative Sizes of Air Particulate", http://www.bic.ac.civil.mtu.edu/public_html/classes/cd352/labs/particulates.html, First Prototype Internet Laboratory of the MTU Environment Course Ware Series, 1995.
56. Pekkanen J., Timonen K.L., Ruuskanen J., Reponen A., Mirme A., "Effects of Ultrafine and Fine Particles in an Urban Air on Peak Expiratory Flow among Children with Asthmatic Symptoms", *Environmental Research*, Vol. 74, pp. 24-33, 1997.
57. Peters A., "Air Pollution and Incidence of Cardiac Arrhythmia", *Epidemiology*, Vol. 11, pp. 11-17, 2000.
58. Peters A., Dockery D.W., Heinrich J., Wichmann H.E., "Short-Term Effects of Particulate Air Pollution on Respiratory Morbidity in Asthmatic Children", *European Respiratory Journal*, Vol. 10, pp. 872-879, 1997(a).
59. Peters A., Wichmann H.E., Tuch T., Heinrich J., Heyder J., "Respiratory Effects are Associated with the Number of Ultra-Fine Particles", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 155, pp. 1376-1383, 1997(b).
60. Pope C.A., Dockery D.W., "Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect", *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 56, pp. 709-742, 2006.
61. Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D., "Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution", *Journal of the American Medical Association*, Vol. 287(9), pp. 1132-1141, 2002.

62. Pope C.A., "Review: Epidemiological Basis for Particulate Air Pollution Health Standards", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 32, pp. 4-14, 2000(a).
63. Pope III C.A., "Epidemiology of Fine Particulate Air Pollution and Human Health: Biologic Mechanisms and Who's at Risk", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108(Suppl. 4), pp. 713-723, 2000(b).
64. Prosmittis AB., Diapouli E., Grivas G., Chaloulakou A., Spyrellis N., "Continous field measurements of organic and elemental carbon concentrations in Athens, Greece", *J. Aerosol Sci* 35, S1077-S1078, 2004.
65. Querol X., Alastuey A., Lopez-Soler A., Plana F., "Levels and Chemistry of Atmospheric Particulates induced by a Spill of Heavy Metal Mining Wastes in Donana Area, Southwest Spain", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 239-253, 2000.
66. Raes F., van Dingenen R., Vignati E., Wilson J., Putaud J.P., Seinfeld J.S., Adams P., "Formation and Cycling of Aerosols in the Global Troposphere", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 4215-4240, 2000.
67. Romieu I., Meneses F., Ruiz-Velazco S., Sierra-Monge J.J., Huerta J., White M.C., Etzel R., "Effects of Air Pollution on the Respiratory Health of Asthmatic Children Living in Mexico City", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 154, pp. 300-307, 1996.
68. Schwartz J., "Is There Harvesting in the Association of Airborne Particles with Daily Deaths and Hospital Admissions?", *Epidemiology*, Vol. 12, pp. 55-61, 2000.
69. Seinfeld J.H., Pandis S.N., "Atmospheric Chemistry and Physics – From Air Pollution to Climate Change", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2006.
70. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ., "Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών", Αθήνα, 1993.
71. Theodosi C., Grivas G., Zarmpas P., Chaloulakou A., Mihalopoulos N., "Mass and chemical composition of size-segregated aerosols (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) over Athens Greece: local versus regional sources", *Atmos. Chem. Phys* 11, 11895-11911, 2011.
72. Thomas S., Morawska L. "Size-Selected Particles in an Urban Atmosphere of Brisbane, Australia", *Atmospheric Environment*, Vol. 36(26), pp. 4277-4288, 2002.
73. U.S. Environmental Protection Agency, "40 CFR Part 50; National Ambient Air Quality Standards for Particulate matter; Final Rule", *Federal Register/ Vol.62, No.138/ Friday, July 18 1997/Prepublication*, 1997(a).
74. U.S. Environmental Protection Agency, "Current and Revised Standards for Ozone and Particulate Matter", <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/current.html>, 1997(b).
75. U.S. Environmental Protection Agency, "What Changes Were Made to the Particulate Matter Standards", <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/partstan.html>, 1997(c).
76. Valavanidis A., Salica A., Theodoropoulou A., "Generation of Hydroxy Radicals by Urban Suspended Particulate Matter. The Role of Iron Ions", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 2379-2386, 2000.
77. Veli-Matti K., Kimmo T., Risto H., "Chemistry of the Sea-Salt Particles in the Summer Antarctic Atmosphere", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 2817-2825, 2000.

78. Villalobos-Pietrini R., Blanco S., Gomez-Arroyo S., "Mutagenicity Assessments of Airborne Particles in Mexico City", *Atmospheric Environment*, Vol. 29, pp. 517-524, 2000.
79. Von Klot S., Wolke G., Tuch T., Heinrich J., Dockery D.W., Schwartz J., Kreyling W.G., Wichmann H.E., Peters A., "Increased Asthma Medication Use in Association with Ambient Fine and Ultrafine Particles", *European Respiratory Journal*, Vol. 20, pp. 691-702, 2002.
80. Wahlin P., Palmgren F., van Dingenen R., "Experimental Studies of Ultrafine Particles in Streets and the Relationship to Traffic", *Atmospheric Environment*, Vol. 35(Suppl. 1), pp. S63-S69, 2001.
81. Wark K., Warher C.F., Davis W.T., "Air Pollution: Its Origin and Control", Addison Wesley Longman, 1998.
82. Watson J.G., Chow J.C., Moosmoller H., Green M., Frank N., Pitchford M., "Guidance for Using Continuous Monitors in PM_{2.5} Monitoring Network", Office of Air Quality Planning and Standards - U.S. Environmental Protection Agency, 1998.
83. Watson J.G., Chow J.C., Dubois D., Green M., Frank N., Pitchford M., "Guidance for Network Design and Optimum Site Exposure for PM_{2.5} and PM₁₀", Office of Air Quality Planning and Standards - U.S. Environmental Protection Agency (Research Triangle Park, NC27711), 1997.
84. WHO, "Air Quality Guidelines for Europe", 2nd Edition, World Health Organization, Copenhagen, 2000.
85. Wichmann H.-E., Peters A., "Epidemiological Evidence of the Effects of Ultrafine Particle Exposure", *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 358, pp. 2751-2769, 2000.
86. Woo K.S., Chen D.R., Pui D.Y.H., McMurry P.H., "Measurement of Atlanta Aerosol Size Distribution: Observations of Ultrafine Particle Events", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 34(1), pp. 75-87, 2001.
87. Wu C.F., Delfino R.J., Floro J.N., Quintana P.J.E., Samimi B.S., Kleinman M.T., Allen R.W., Liu L.J.S., "Exposure Assessment and Modeling of Particulate Matter for Asthmatic Children Using Personal Nephelometers", *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 3457-3469, 2005.
88. Yamasoe M.A., Artaxo P., Miguel A.H., Allen A.G., "Chemical Composition of Aerosol Particles from Direct Emissions from Vegetation Fires in the Amazon Basin: Water Soluble Species and Trace Elements", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 1641-1653, 2000.
89. http://europa.eu/index_el.htm
90. www.hnms.gr
91. www.who.int/en/

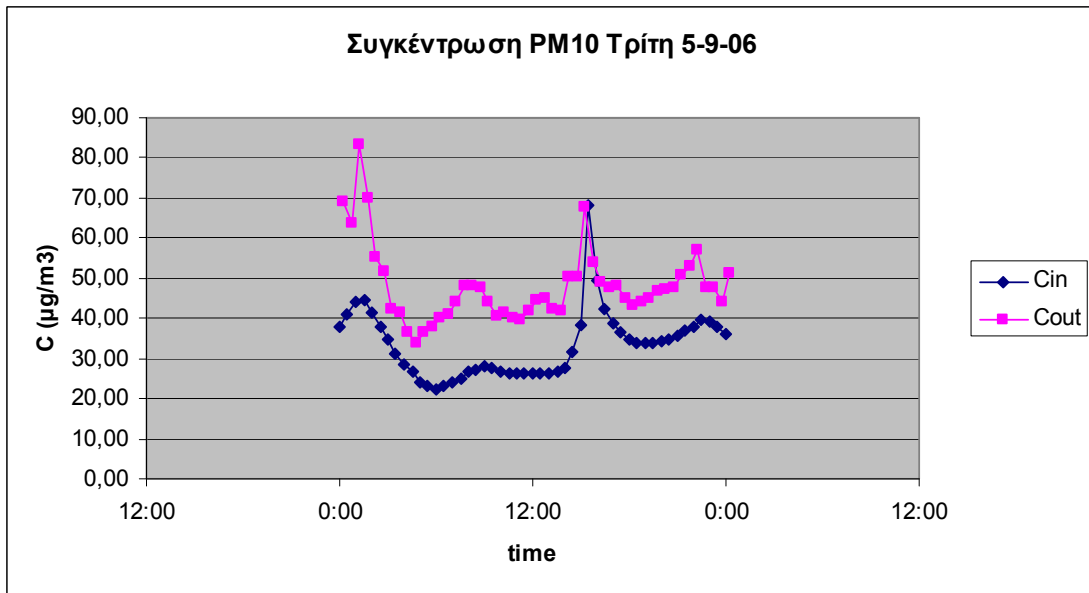
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

Συγκέντρωση PM10 Τρίτη 5-9-06	Διάγραμμα 1α
Ταχύτητα ανέμου Τρίτη 5-9-06	Διάγραμμα 1β
Συγκέντρωση PM10 Σάββατο 9-9-06	Διάγραμμα 2α
Ταχύτητα ανέμου Σάββατο 9-9-06	Διάγραμμα 2β
Συγκέντρωση PM10 Τετάρτη 13-9-06	Διάγραμμα 3α
Ταχύτητα ανέμου Τετάρτη 13-9-06	Διάγραμμα 3β
Συγκέντρωση PM10 Δευτέρα 18-9-06	Διάγραμμα 4α
Ταχύτητα ανέμου Δευτέρα 18-9-06	Διάγραμμα 4β
Συγκέντρωση PM10 Τρίτη 19-9-06	Διάγραμμα 5α
Ταχύτητα ανέμου Τρίτη 19-9-06	Διάγραμμα 5β
Συγκέντρωση PM10 Τετάρτη 27-9-06	Διάγραμμα 6α
Ταχύτητα ανέμου Τετάρτη 27-9-06	Διάγραμμα 6β
Συγκέντρωση PM10 Πέμπτη 28-9-06	Διάγραμμα 7α
Ταχύτητα ανέμου Πέμπτη 28-9-06	Διάγραμμα 7β
Ημερήσιος κύκλος PM10 Cout/Cin	Διάγραμμα 8
Μέσος ημερήσιος κύκλος ταχύτητας ανέμου	Διάγραμμα 9
Μέσοι όροι Cout/Cin PM10.	Διάγραμμα 10
Μέσος όρος του λόγου Cout/Cin PM10.	Διάγραμμα 11
Σύγκριση Cout/Cin PM10 ανά 8ωρο.	Πίνακας 1
Στατιστικά στοιχεία Cout/ Cin PM10	Πίνακας 2
Στατιστικά στοιχεία Cin/ Cout PM10 ανα ημερομηνία	Πίνακας 3
Συσχέτιση Cout/Cin PM10.	Διάγραμμα 12
Συσχέτιση Cout PM10 και ταχύτητας ανέμου.	Διάγραμμα 13
Σύγκριση μέσω όρων Cout/Cin PM10 προτύπων Ε.Ε.	Διάγραμμα 14α
Σύγκριση μέσω όρων Cout/Cin PM10 προτύπων ΕΡΑ.	Διάγραμμα 14β
Συγκέντρωση PM2,5 Πέμπτη 7-9-06	Διάγραμμα 15α
Ταχύτητα ανέμου Πέμπτη 7-9-06	Διάγραμμα 15β
Συγκέντρωση PM2,5 Δευτέρα 11-9-06	Διάγραμμα 16α
Ταχύτητα ανέμου Δευτέρα 11-9-06	Διάγραμμα 16β
Συγκέντρωση PM2,5 Παρασκευή 15-9-06	Διάγραμμα 17α
Ταχύτητα ανέμου Παρασκευή 15-9-06	Διάγραμμα 17β
Συγκέντρωση PM2,5 Σάββατο 16-9-06	Διάγραμμα 18α
Ταχύτητα ανέμου Σάββατο 16-9-06	Διάγραμμα 18β
Συγκέντρωση PM2,5 Δευτέρα 25-9-06	Διάγραμμα 19α

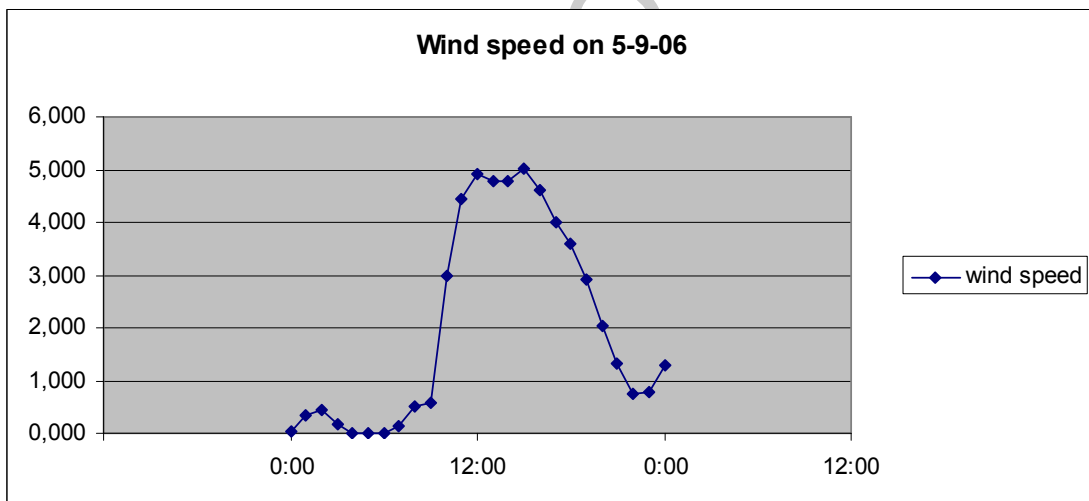
Ταχύτητα ανέμου Δευτέρα 25-9-06	Διάγραμμα 19β
Συγκέντρωση PM _{2,5} Σάββατο 30-9-06	Διάγραμμα 20α
Ταχύτητα ανέμου Σάββατο 30-9-06	Διάγραμμα 20β
Συγκέντρωση PM _{2,5} Κυριακή 1-10-06	Διάγραμμα 21α
Ταχύτητα ανέμου Κυριακή 1-10-06	Διάγραμμα 21β
Συγκέντρωση PM _{2,5} Δευτέρα 2-10-06	Διάγραμμα 22α
Ταχύτητα ανέμου Δευτέρα 2-10-06	Διάγραμμα 22β
Μέσος ημερήσιος κύκλος Cout/Cin PM _{2,5} .	Διάγραμμα 23
Μέσοι ημερήσιοι κύκλοι Cout/Cin PM _{2,5} καθ/σκ.	Διάγραμμα 24
Μέσοι όροι Cout/Cin PM _{2,5} .	Διάγραμμα 25
Μέσος όρος του λόγου Cout/Cin PM _{2,5} .	Διάγραμμα 26
Σύγκριση Cout/Cin PM ₁₀ ανά 8ωρο.	Πίνακας 4
Στατιστικά στοιχεία Cout/ Cin PM _{2,5}	Πίνακας 5
Στατιστικά στοιχεία Cout/ Cin PM _{2,5} ανά ημερομηνία	Πίνακας 6
Συσχέτιση Cout/Cin PM _{2,5} .	Διάγραμμα 27
Συσχέτιση Cout PM _{2,5} και ταχύτητας ανέμου	Διάγραμμα 28
Σύγκριση μέσων όρων Cout/Cin PM _{2,5} προτύπου Ε.Ε.	Διάγραμμα 29α
Σύγκριση μέσων όρων Cout/Cin PM _{2,5} προτύπου ΕΡΑ.	Διάγραμμα 29β
Μέση θερμοκρασία	Διάγραμμα 30
Μέση σχετική υγρασία	Διάγραμμα 31
Summary of the PM _{2,5} and sulphur concentration and residence volume data. [24]	Πίνακας 7

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

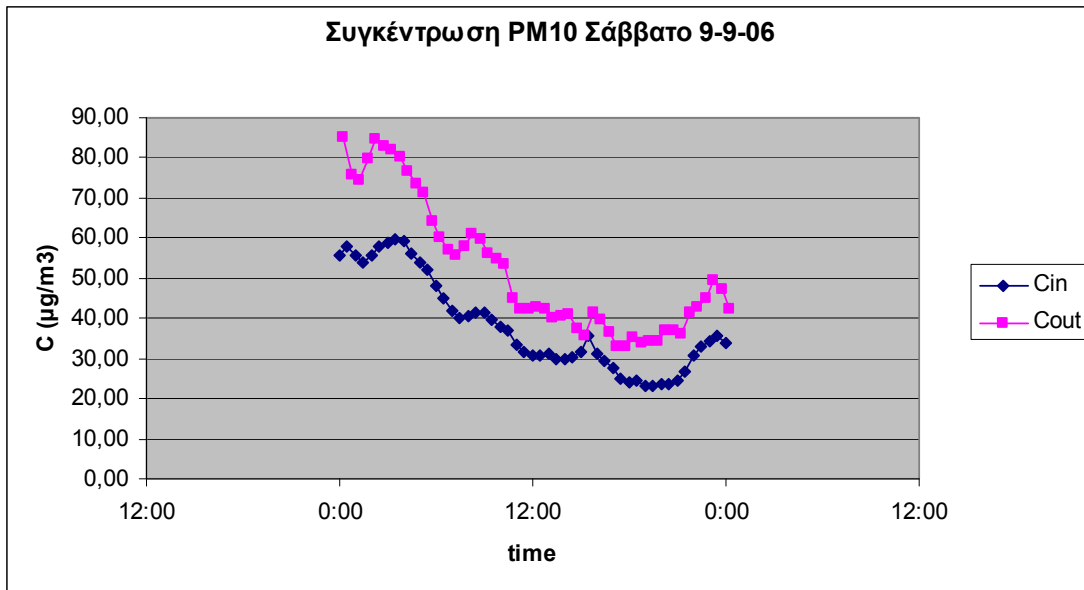
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



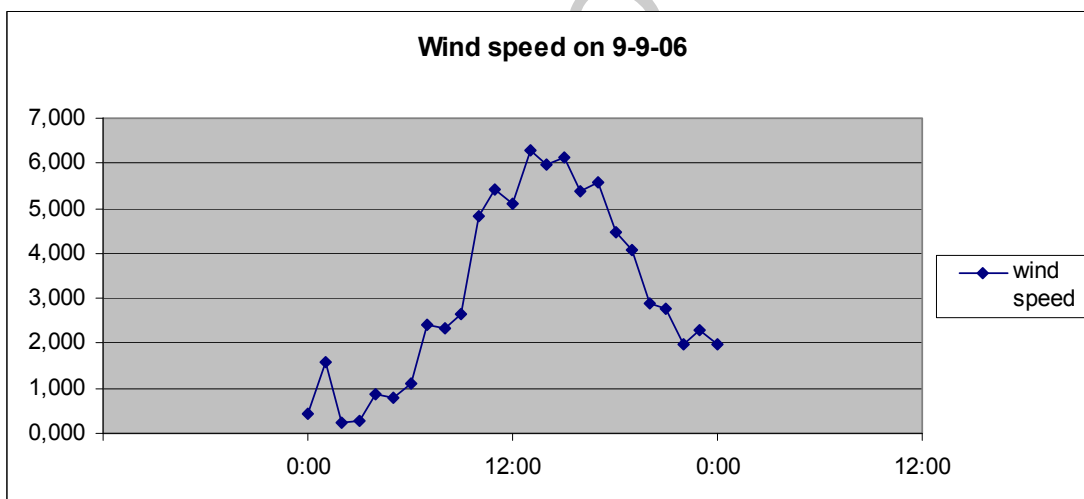
Διάγραμμα 1α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε ένα 24ωρο.



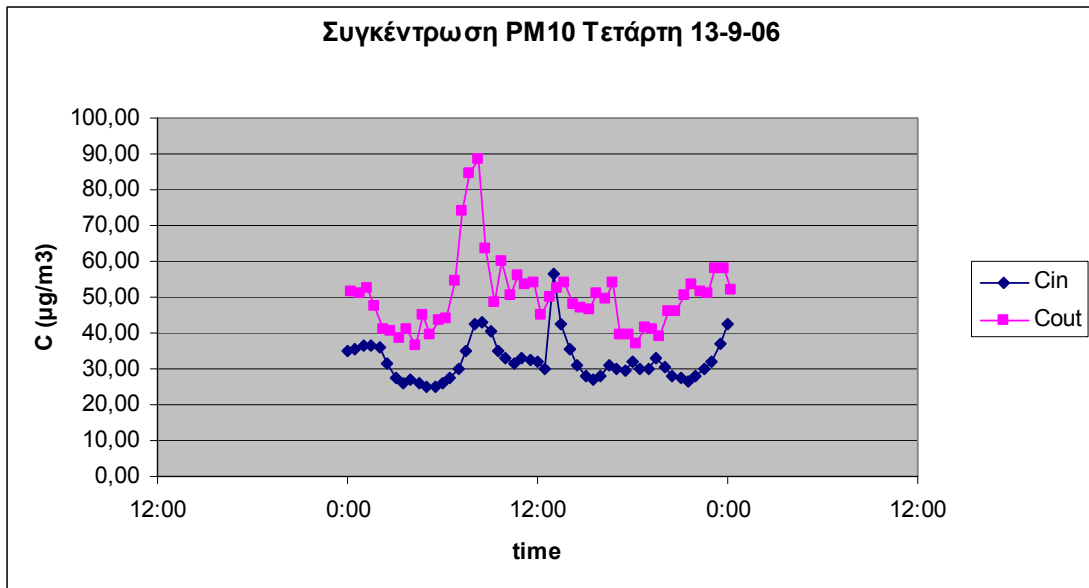
Διάγραμμα 1β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



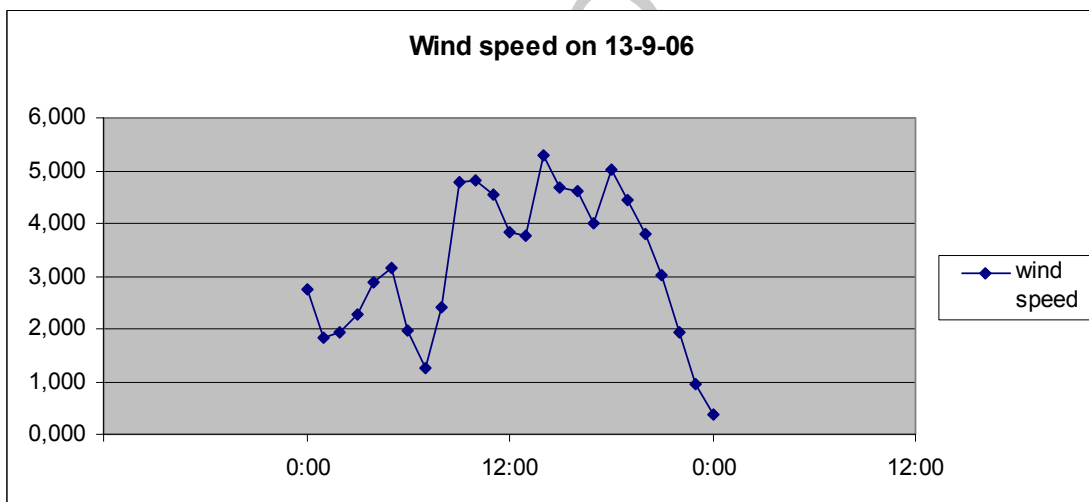
Διάγραμμα 2α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε ένα 24ωρο.



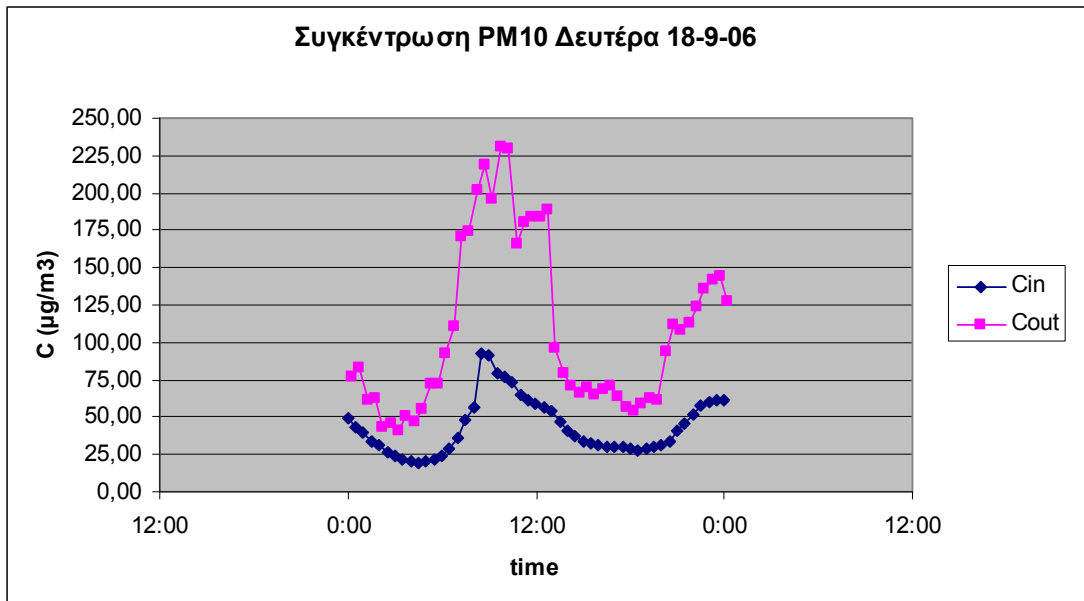
Διάγραμμα 2β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



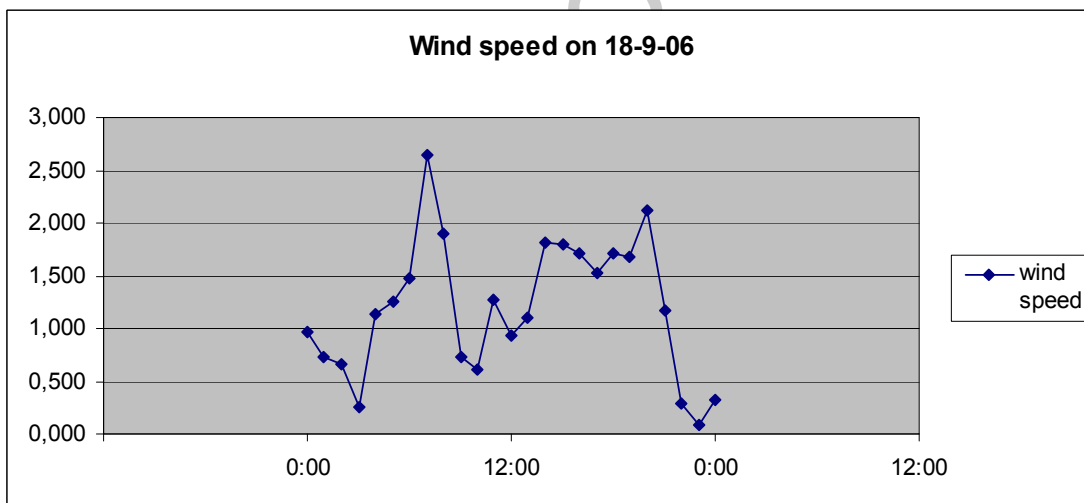
Διάγραμμα 3α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε ένα 24ωρο.



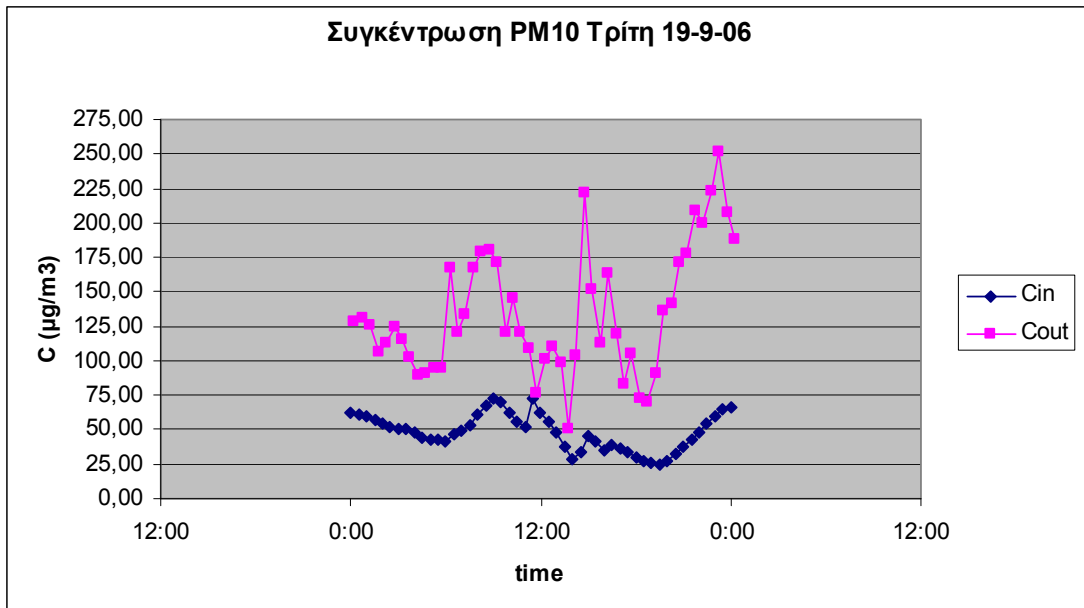
Διάγραμμα 3β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



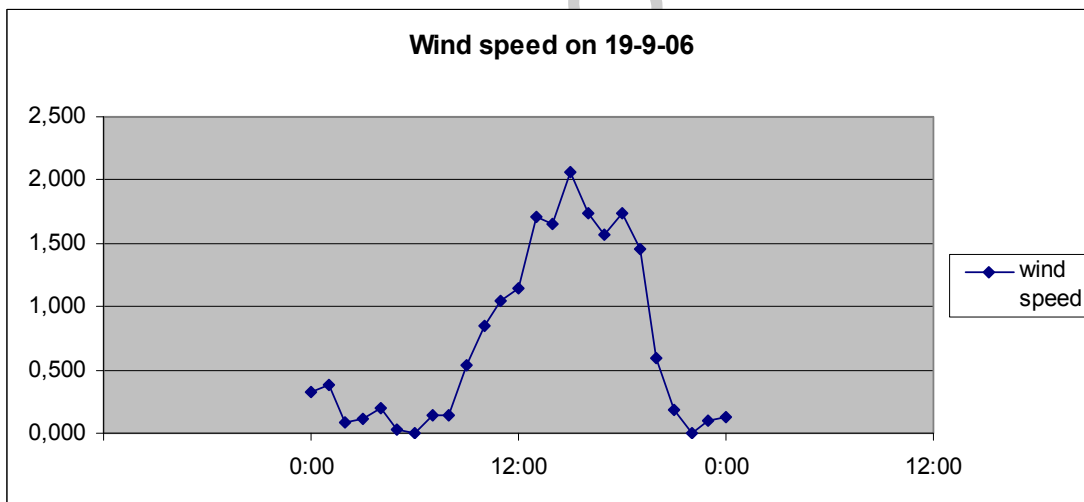
Διάγραμμα 4α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε ένα 24ωρο.



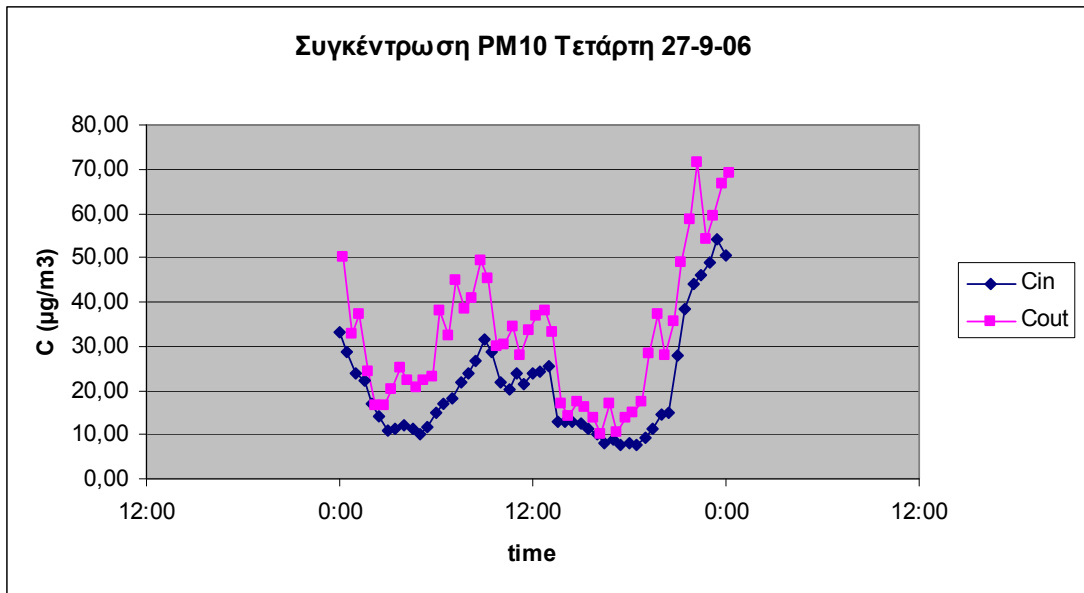
Διάγραμμα 4β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



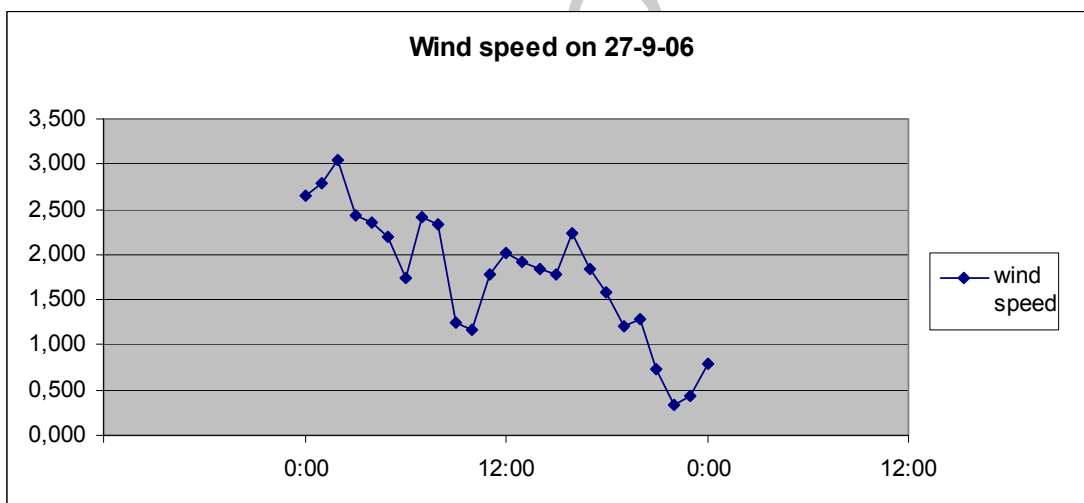
Διάγραμμα 5α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε ένα 24ωρο.



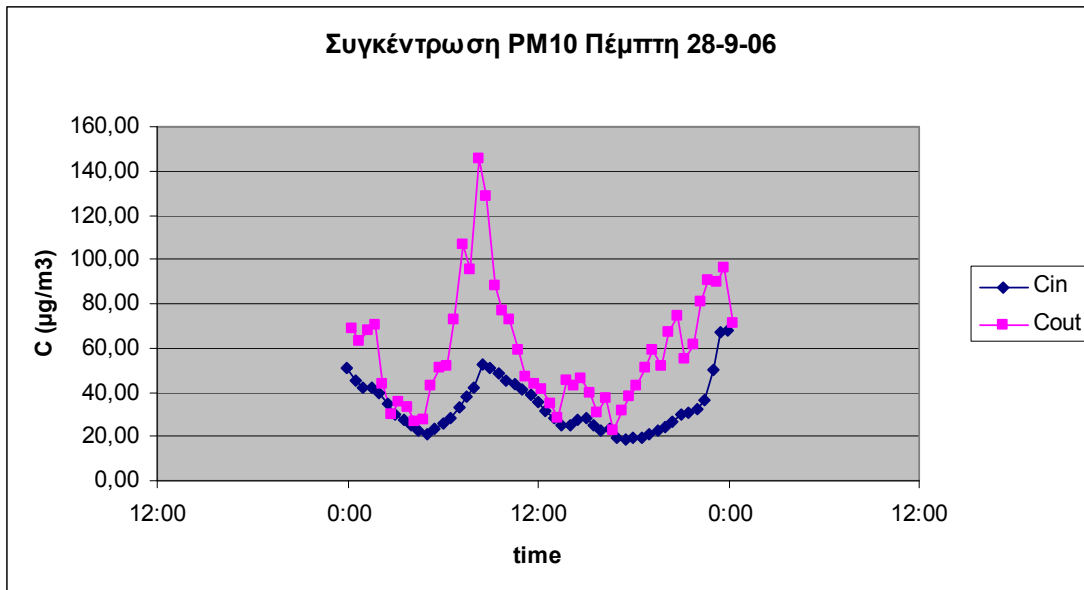
Διάγραμμα 5β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



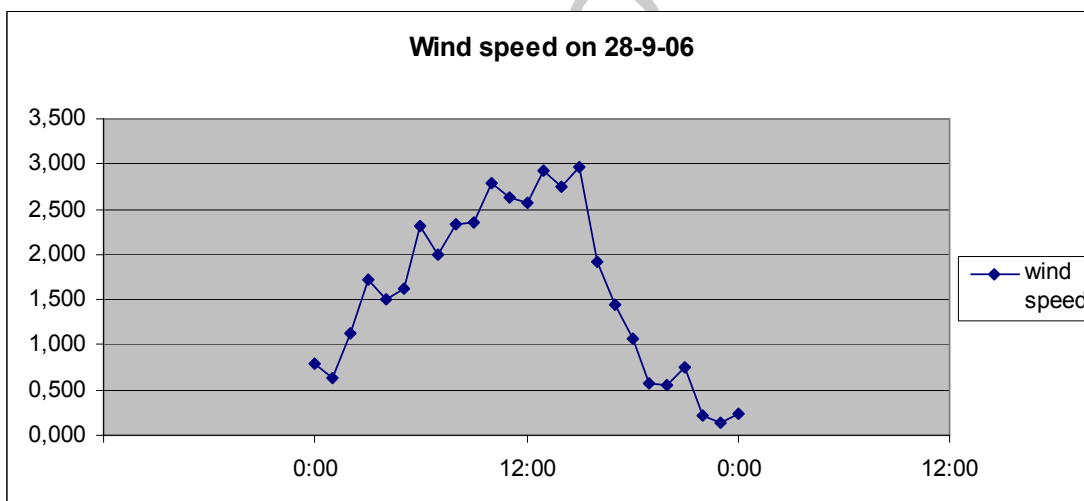
Διάγραμμα 6α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε ένα 24ωρο.



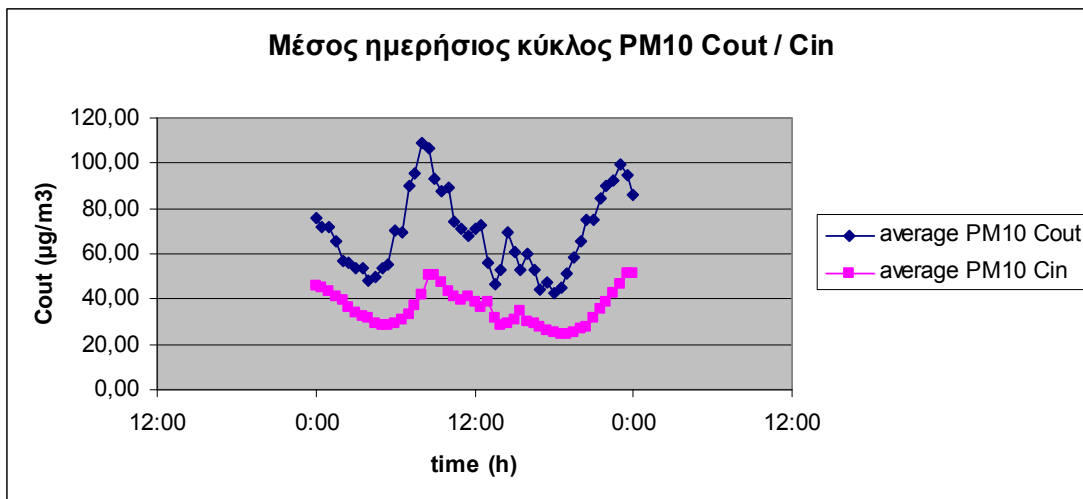
Διάγραμμα 6β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



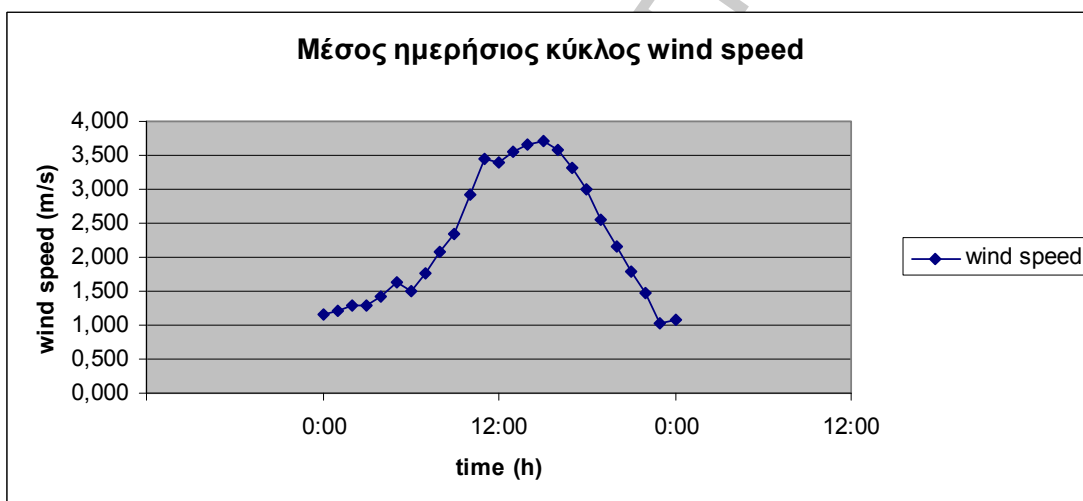
Διάγραμμα 7α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε ένα 24ωρο.



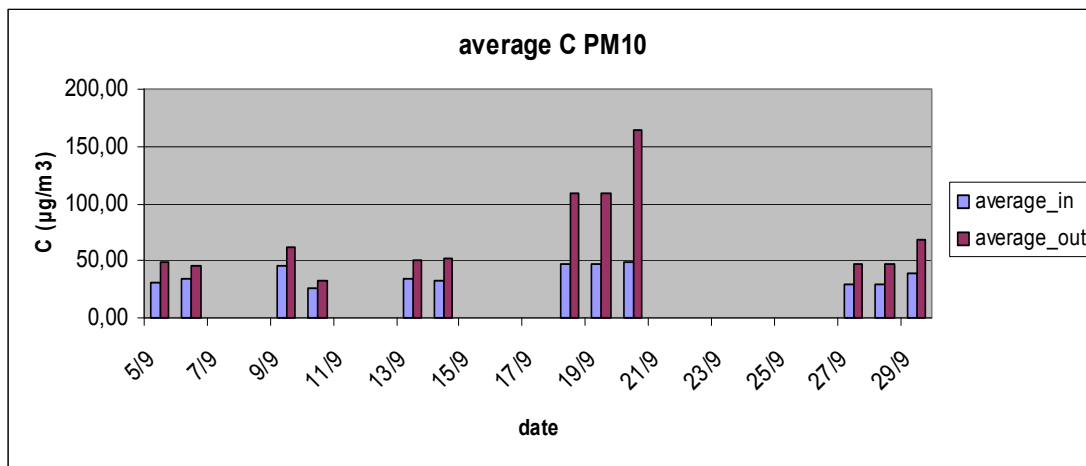
Διάγραμμα 7β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



Διάγραμμα 8. Μέσος ημερήσιος κύκλος εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10.



Διάγραμμα 9. Μέσος ημερήσιος κύκλος ταχύτητας αέρα.



Διάγραμμα 10. Μέσοι όροι εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 στο διάστημα στοιχειοληψίας.



Διάγραμμα 11. Μέσος όρος του λόγου συγκεντρώσεων I/O σωματιδίων PM10 στο διάστημα στοιχειοληψίας.

i	8-hour	C _{OUT}			C _{IN}		
		AVERAGE _{OUT}		69,0248	AVERAGE _{IN}		35,7406
		average	stdev	average i/ AVERAGE _{OUT}	average	stdev	average i/ AVERAGE _{IN}
1	00:00 - 08:00	67,4096	17,3427	0,9766	35,7175	5,8584	0,9994
2	08:00 - 16:00	73,0129	18,5131	1,0578	38,3629	6,8366	1,0734
3	16:00 - 00:00	68,4748	19,8831	0,9920	33,1384	9,1286	0,9272

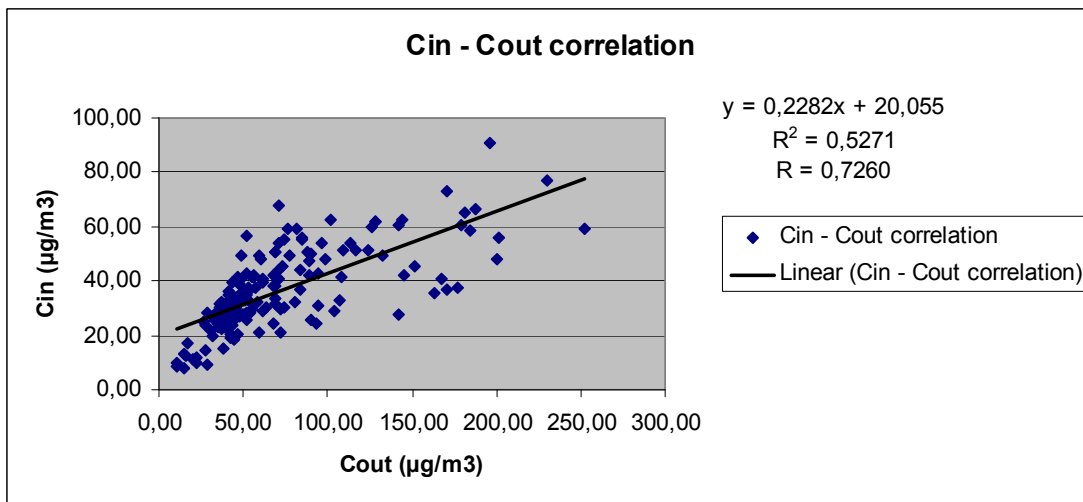
Πίνακας 1. Σύγκριση εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 ανά δωρο.

PM10			
	CIN	COU	I/O
average	36,7893	69,3499	0,6165
stdev	14,5859	46,6843	0,2142
min	7,6654	10,2040	0,1515
max	109,6866	302,9208	2,9834
max/ average	2,9815	4,3680	

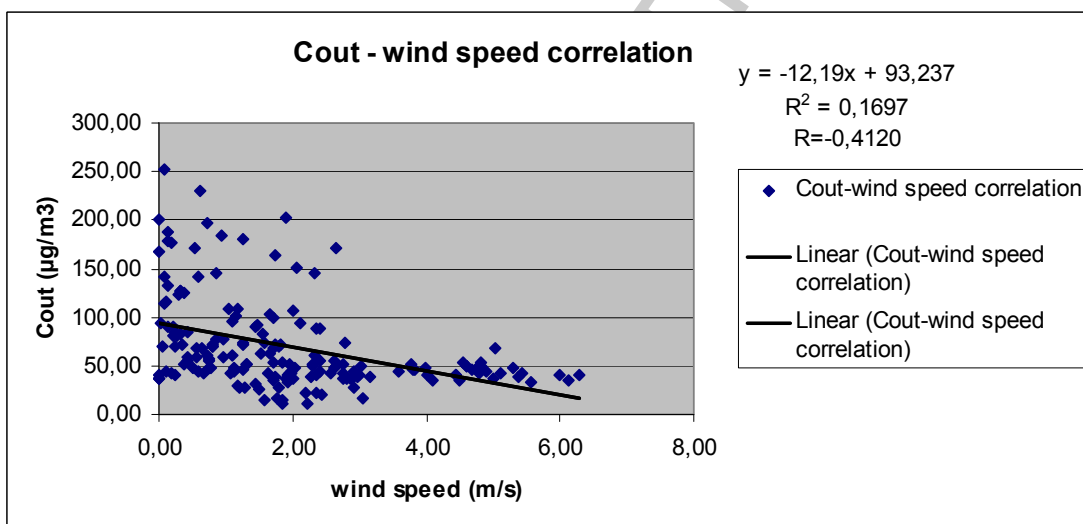
Πίνακας 2. Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία Cin/ Cout σωματιδίων PM10.

Date	IN				OUT				I/O			
	min	max	average	stdev	min	max	average	stdev	min	max	average	stdev
5/9	22,373	55,060	30,249	6,756	34,064	85,102	49,539	12,400	0,379	1,021	0,629	0,122
6/9	28,128	67,969	34,362	6,476	37,183	68,678	45,310	6,753	0,468	1,260	0,763	0,111
9/9	29,852	59,857	44,757	9,105	35,843	87,629	61,720	14,028	0,613	0,878	0,733	0,061
10/9	15,024	47,116	25,461	7,906	20,496	49,588	33,059	8,051	0,638	1,113	0,752	0,091
13/9	24,761	96,294	33,952	11,279	32,277	88,680	49,836	11,693	0,335	2,983	0,721	0,377
14/9	24,999	56,393	31,971	5,968	37,013	88,303	51,370	10,353	0,395	1,076	0,637	0,131
18/9	19,678	109,687	47,826	21,422	41,110	230,912	108,696	56,952	0,214	0,824	0,481	0,155
19/9	27,891	73,080	47,826	13,052	54,213	188,617	108,696	36,809	0,245	0,962	0,459	0,108
20/9	25,113	76,696	48,175	14,314	50,879	302,921	163,548	60,122	0,151	0,740	0,319	0,118
27/9	9,965	82,831	29,175	14,648	16,411	99,531	47,829	21,821	0,334	1,074	0,638	0,176
28/9	7,665	54,084	29,175	14,659	10,204	145,462	47,829	29,924	0,290	1,161	0,668	0,210
29/9	18,938	67,718	38,308	12,906	22,911	134,239	67,533	23,062	0,350	1,020	0,592	0,172

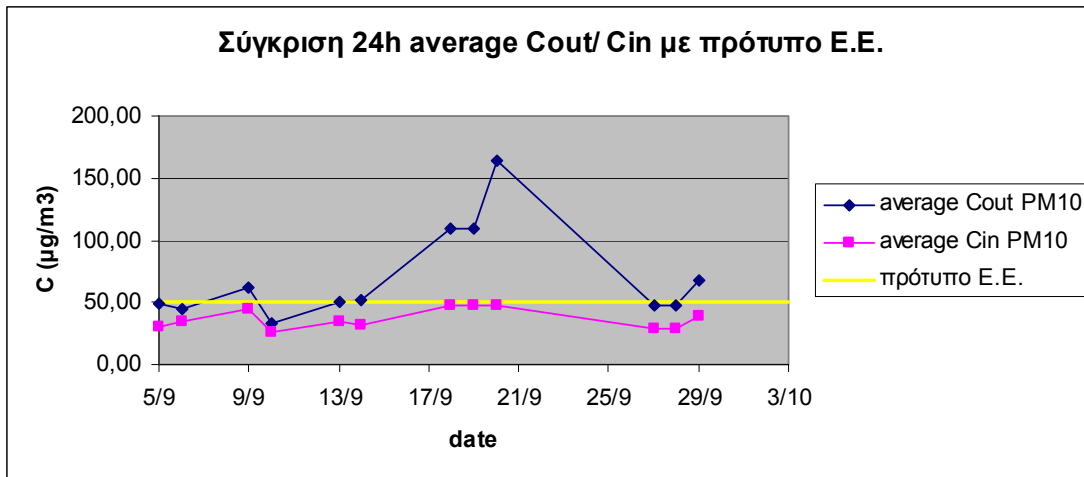
Πίνακας 3. Στατιστικά στοιχεία Cin/ Cout σωματιδίων PM10 ανα ημερομηνία.



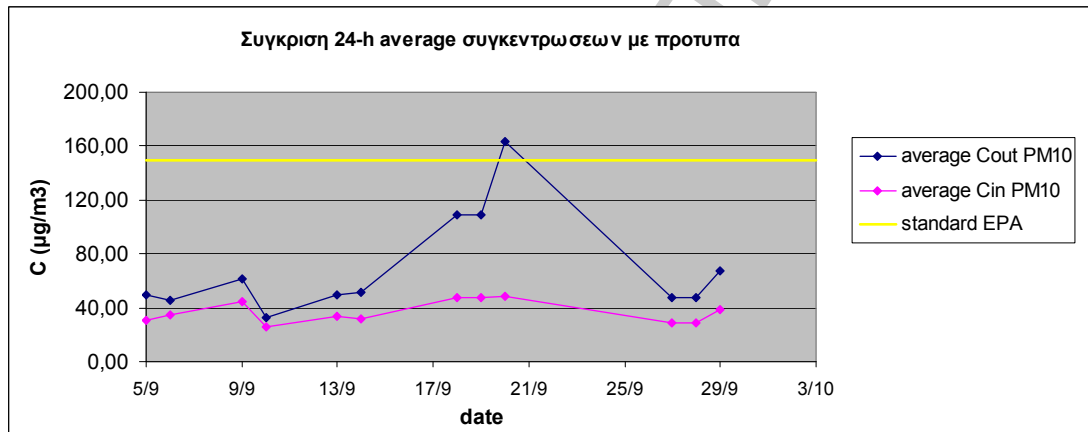
Διάγραμμα 12.. Συσχέτιση εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 στο διάστημα στοιχειοληψίας



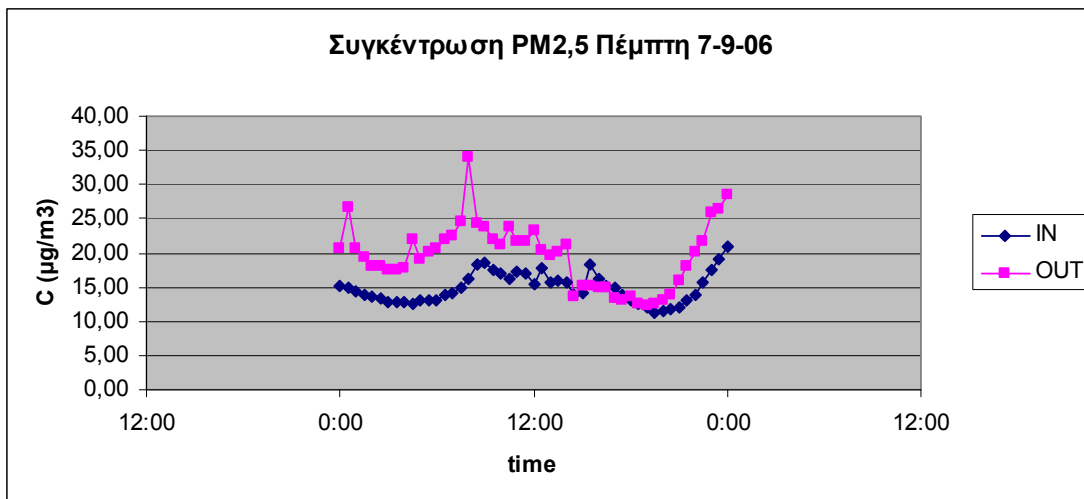
Διάγραμμα 13. Συσχέτιση εξωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 και ταχύτητας ανέμου στο διάστημα στοιχειοληψίας.



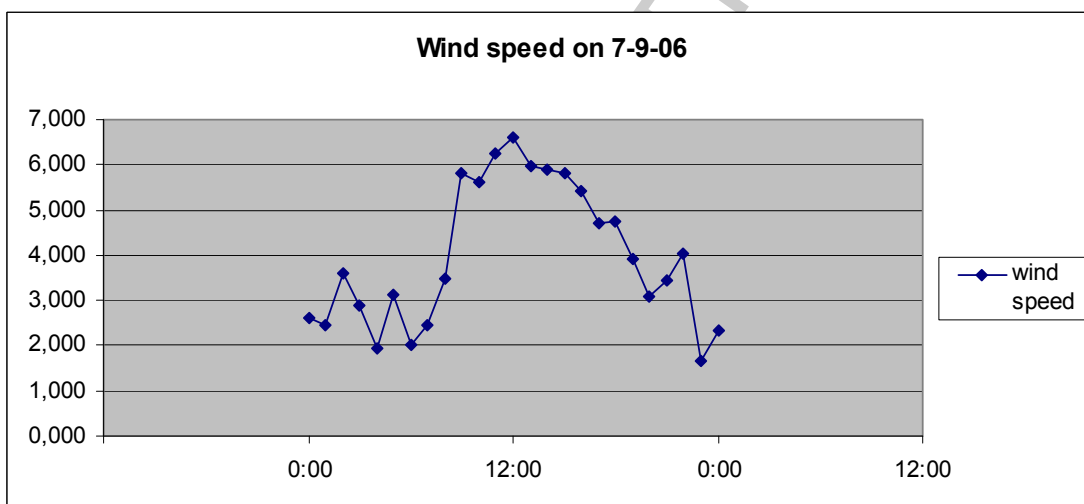
Διάγραμμα14α. Σύγκριση μέσων όρων εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 και προτύπου Ε.Ε. στο διάστημα στοιχειοληψίας.



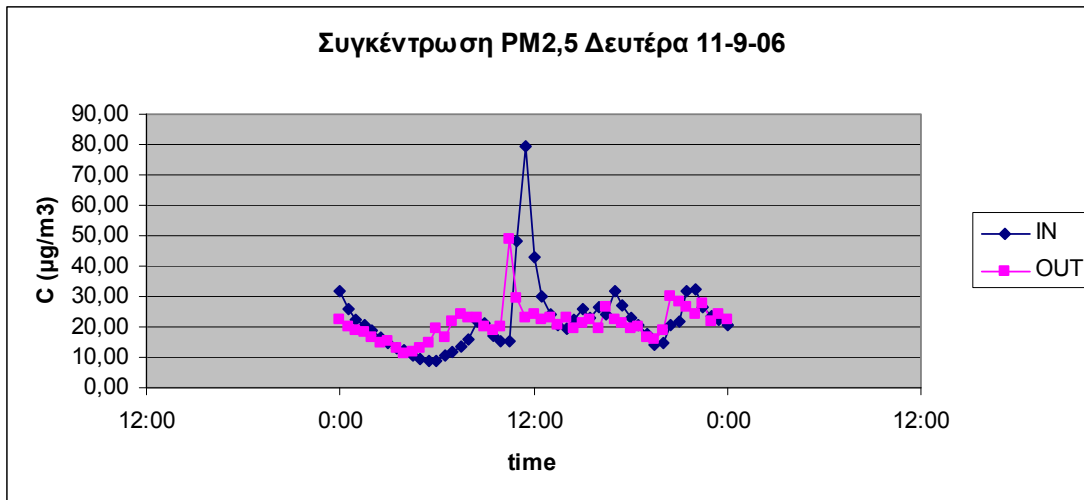
Διάγραμμα14β. Σύγκριση μέσων όρων εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 και προτύπων EPA στο διάστημα στοιχειοληψίας.



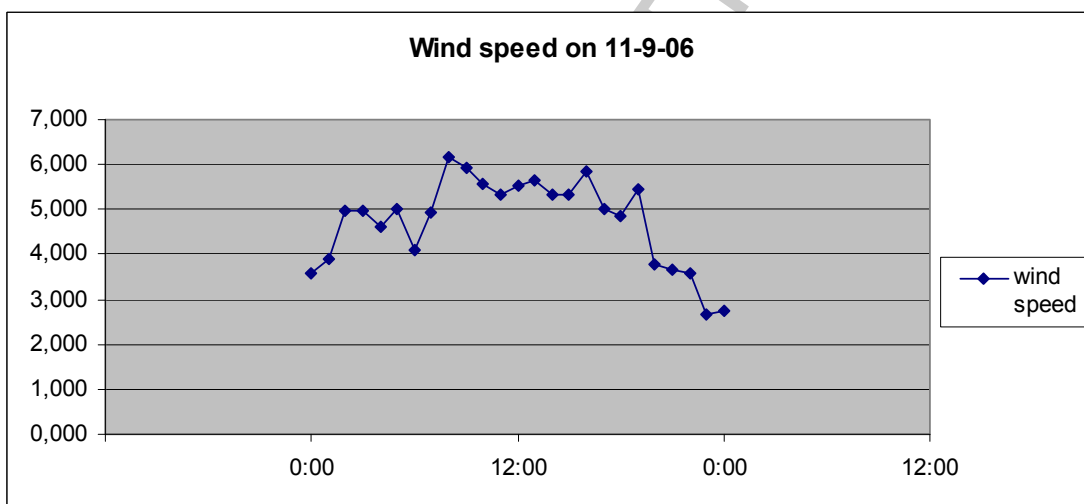
Διάγραμμα 15α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε ένα 24ωρο.



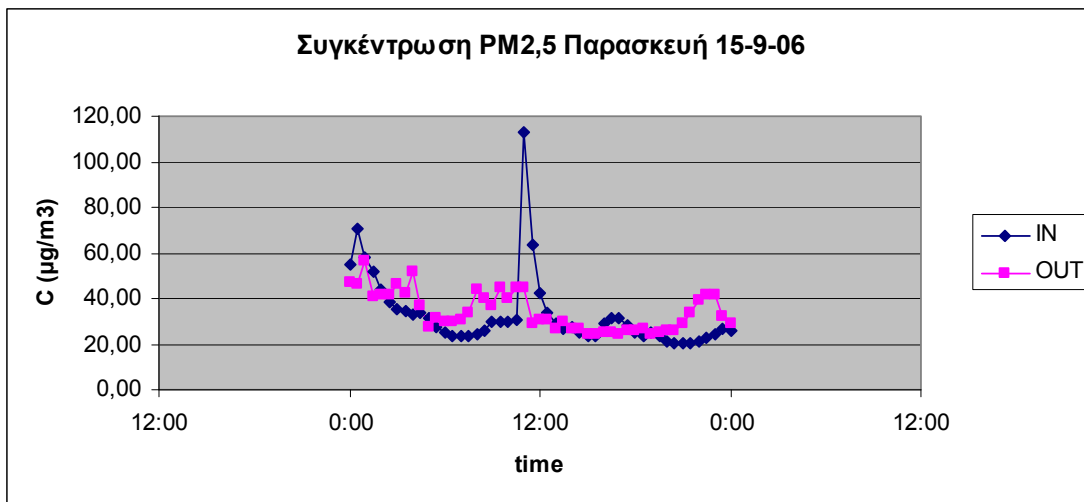
Διάγραμμα 15β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



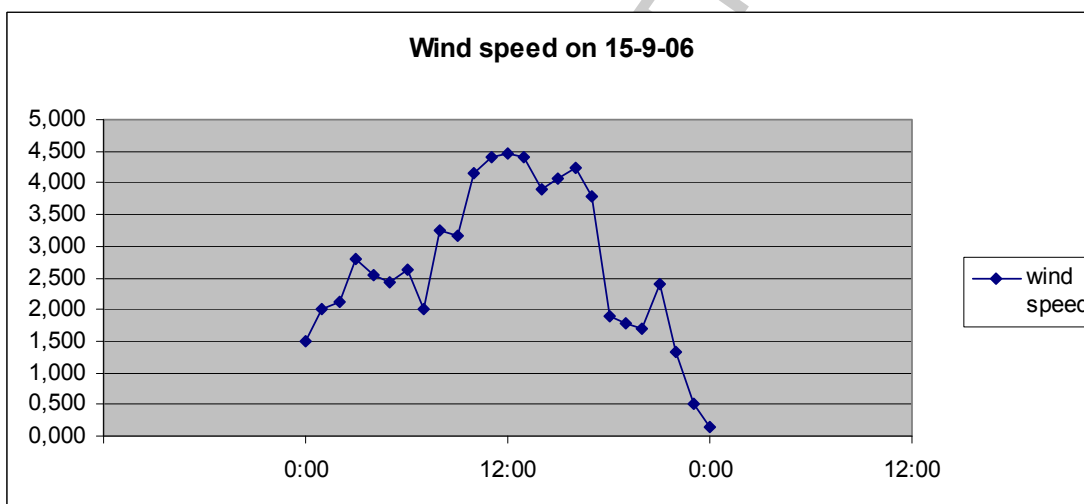
Διάγραμμα 16α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε ένα 24ωρο.



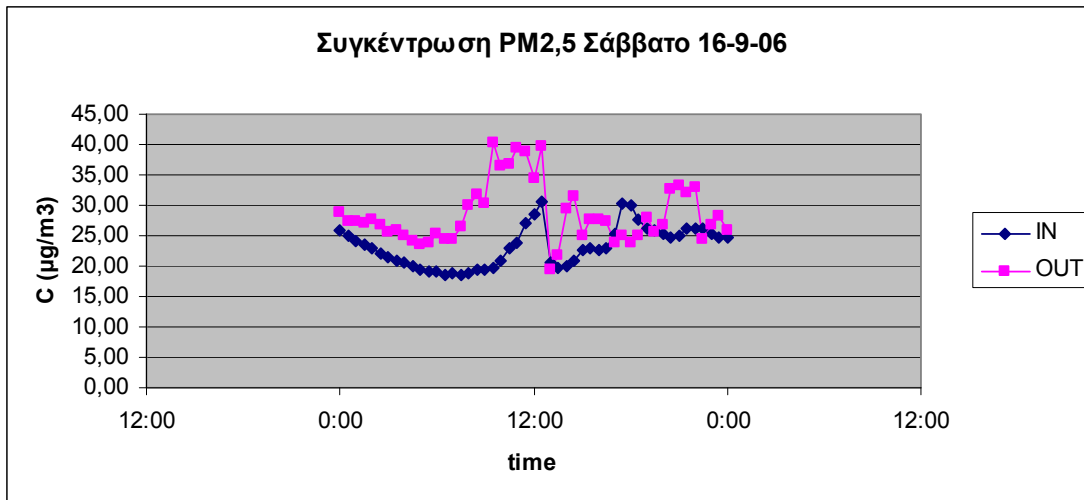
Διάγραμμα 16β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



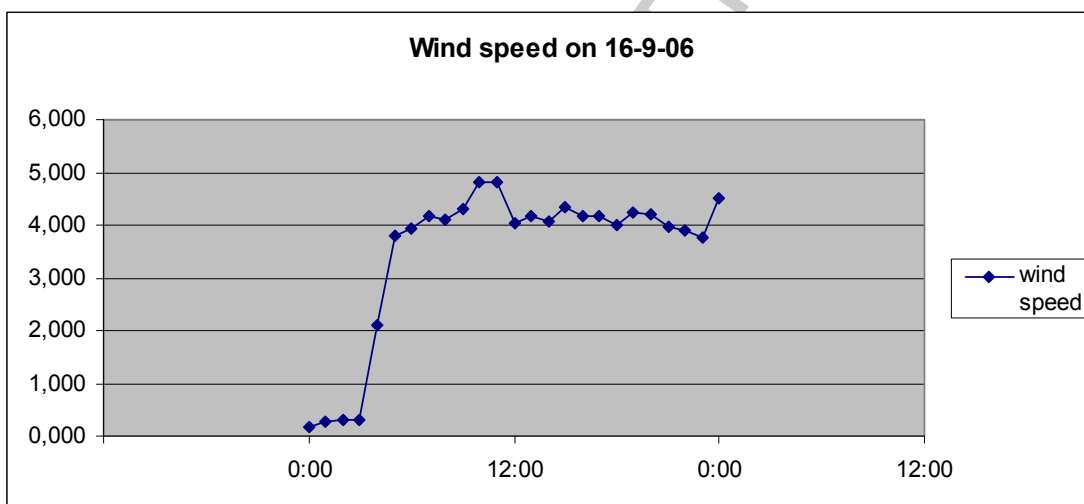
Διάγραμμα 17α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε ένα 24ωρο.



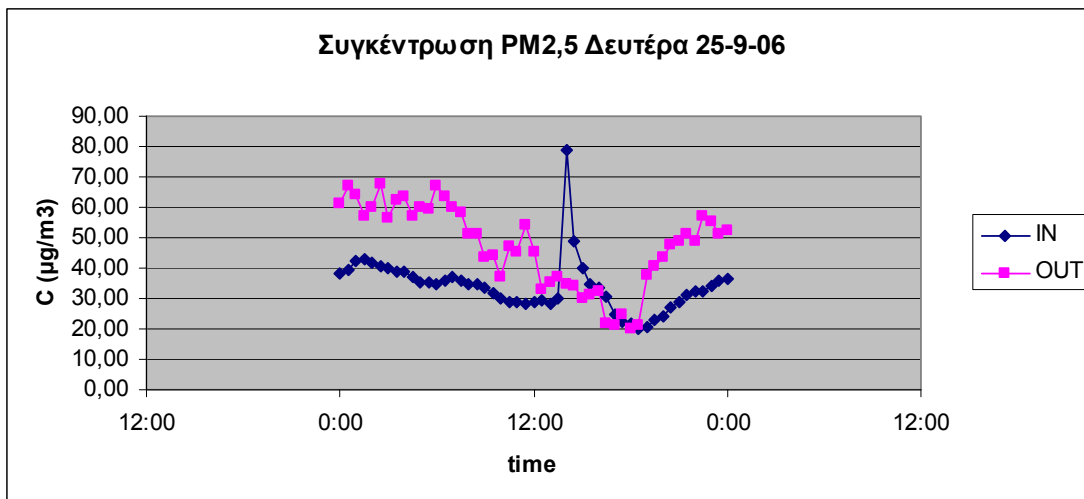
Διάγραμμα 17β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



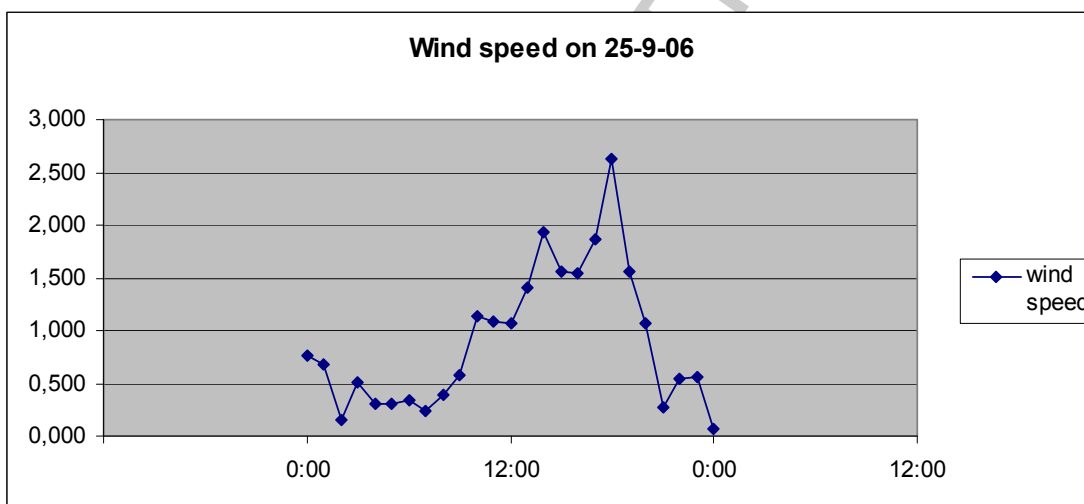
Διάγραμμα 18α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM_{2,5} σε ένα 24ωρο.



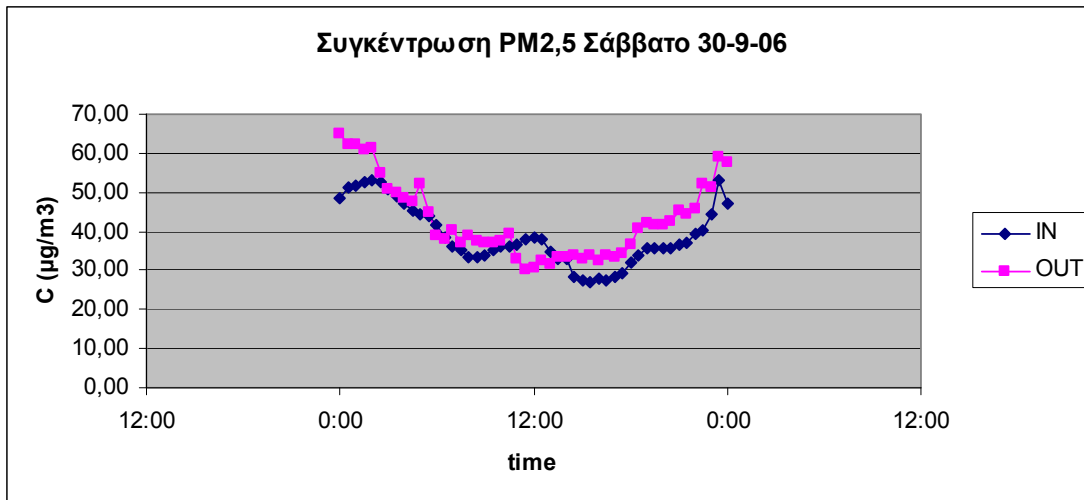
Διάγραμμα 18β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



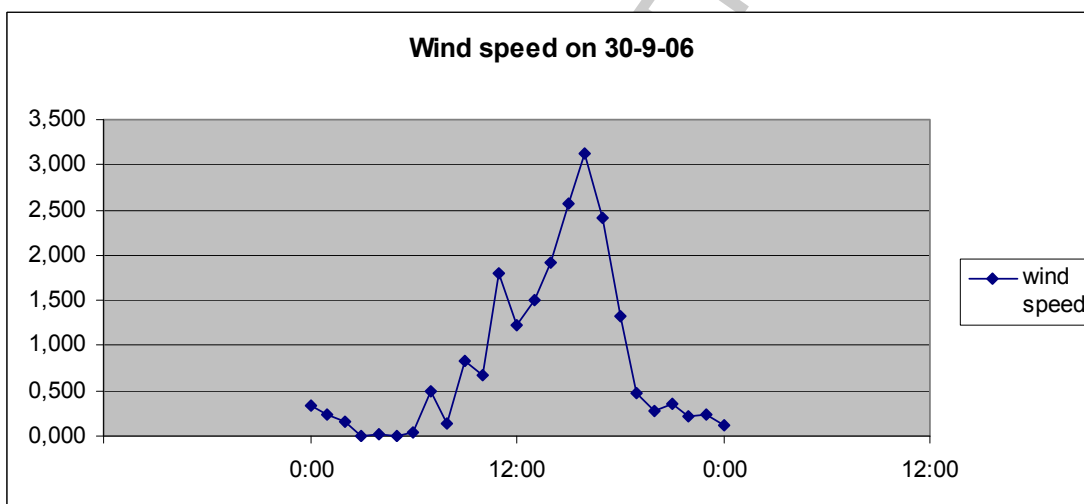
Διάγραμμα 19α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε ένα 24ωρο.



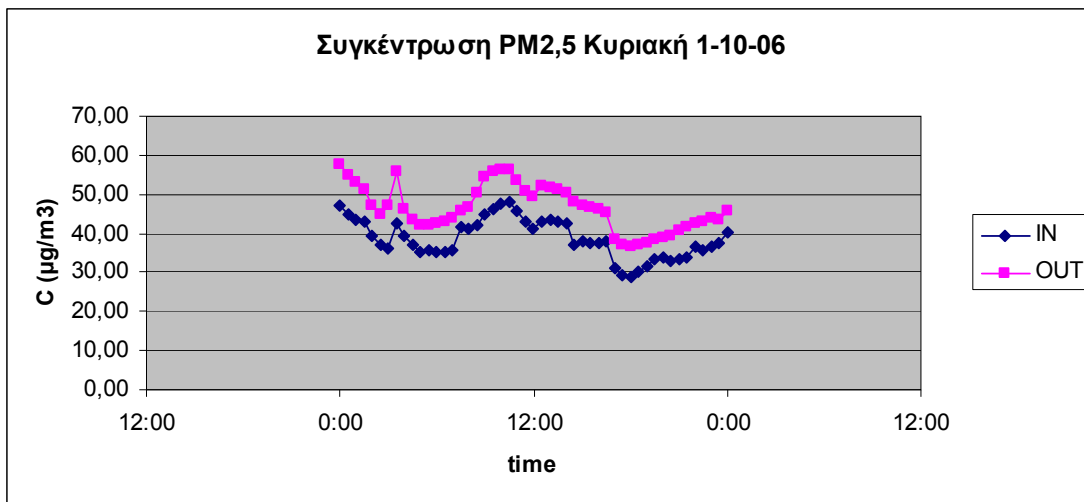
Διάγραμμα 19β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



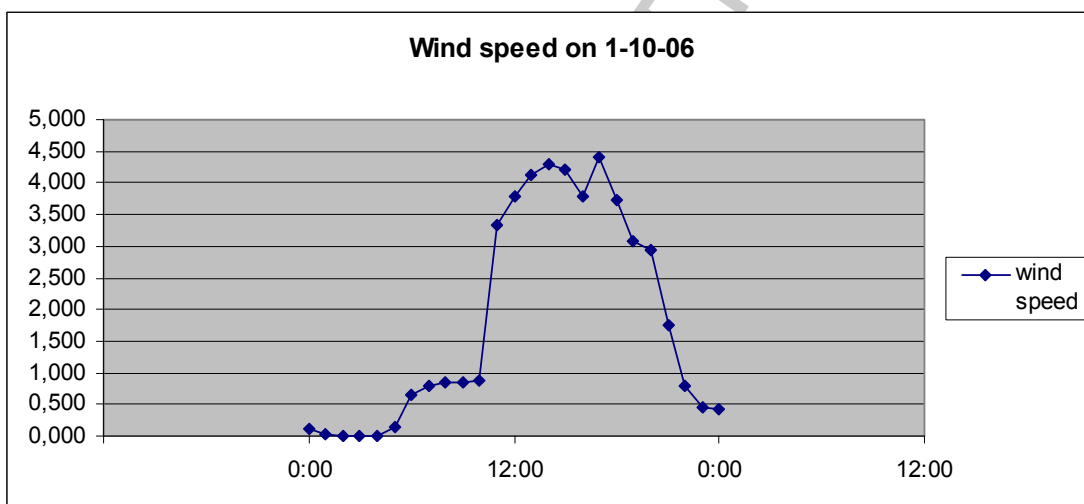
Διάγραμμα 20α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε ένα 24ωρο.



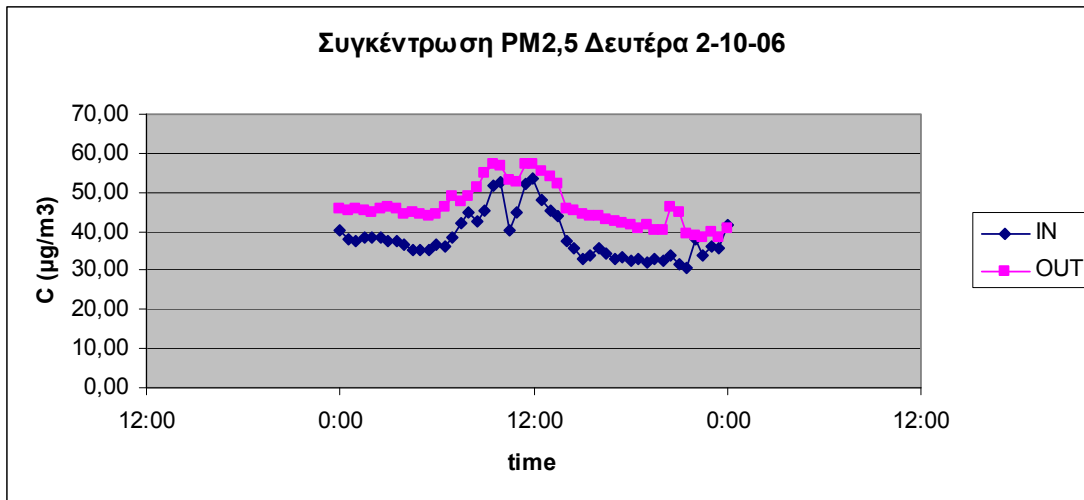
Διάγραμμα 20β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



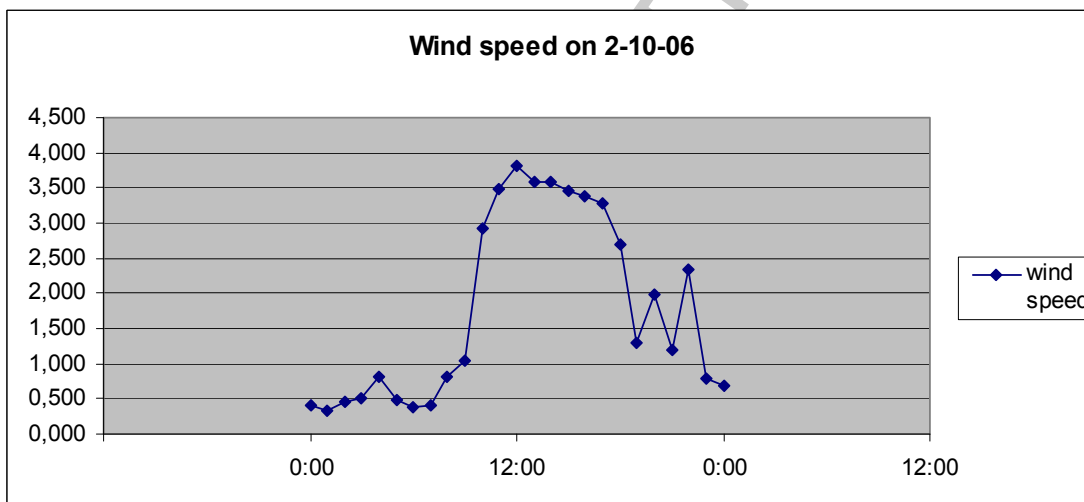
Διάγραμμα 21α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε ένα 24ωρο.



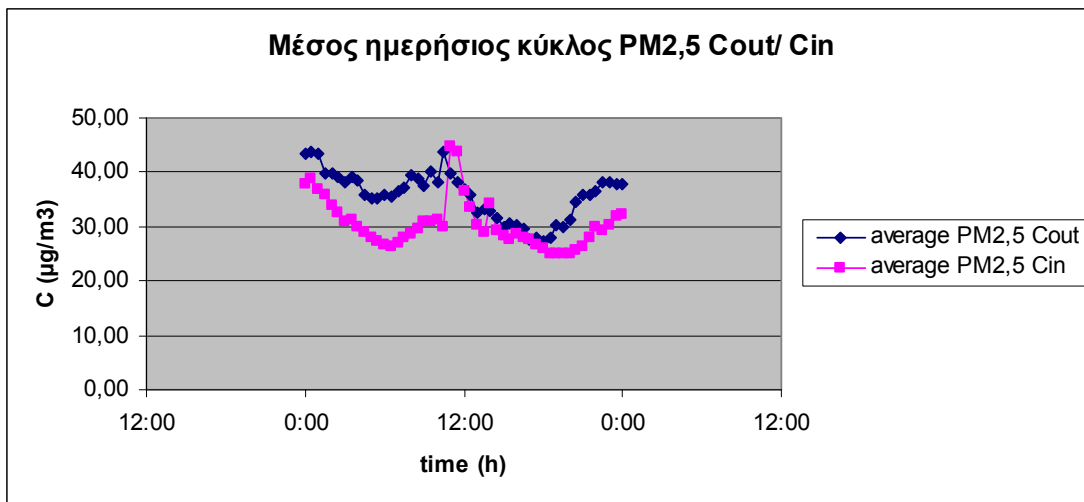
Διάγραμμα 21β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο.



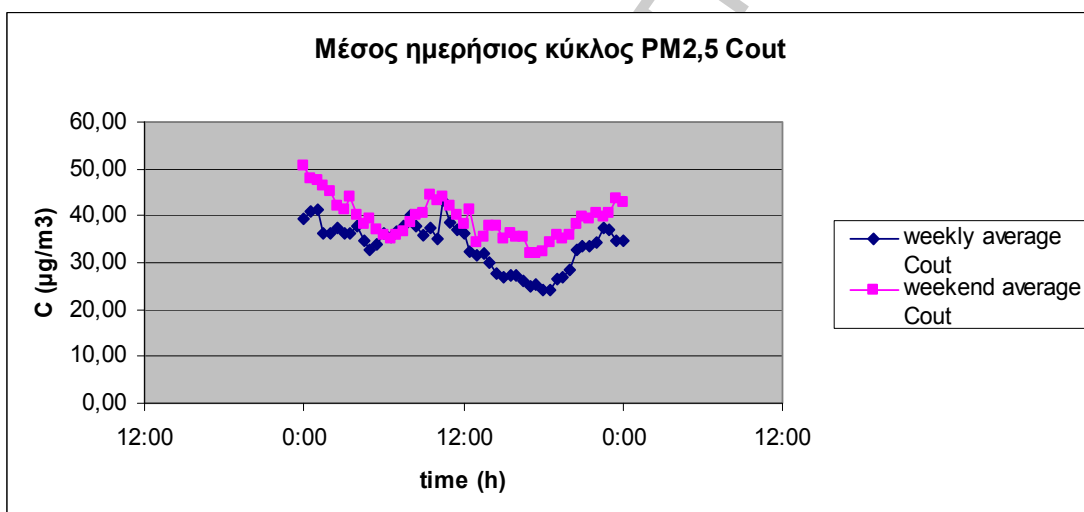
Διάγραμμα 22α. Περιγραφή εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε ένα 24ωρο.



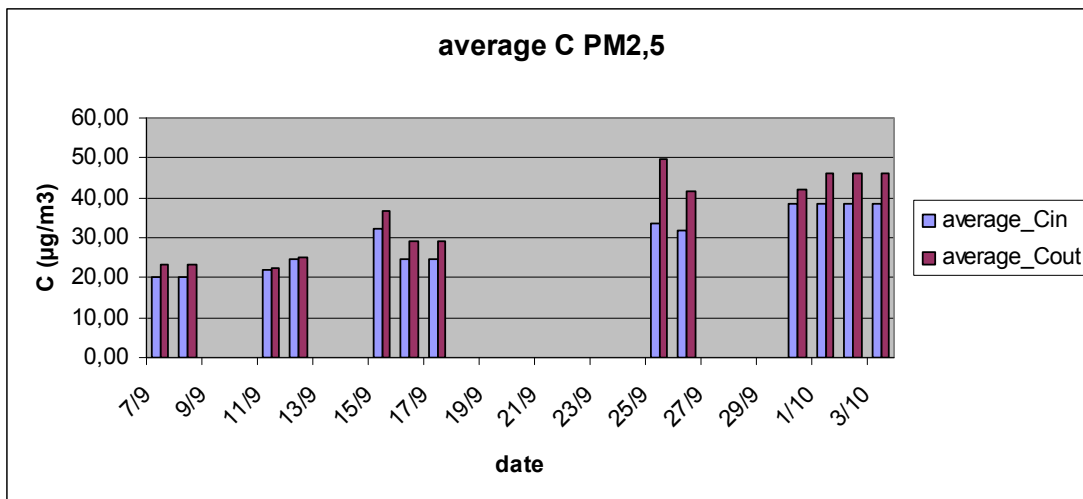
Διάγραμμα 22β. Περιγραφή ταχύτητας ανέμου σε ένα 24ωρο



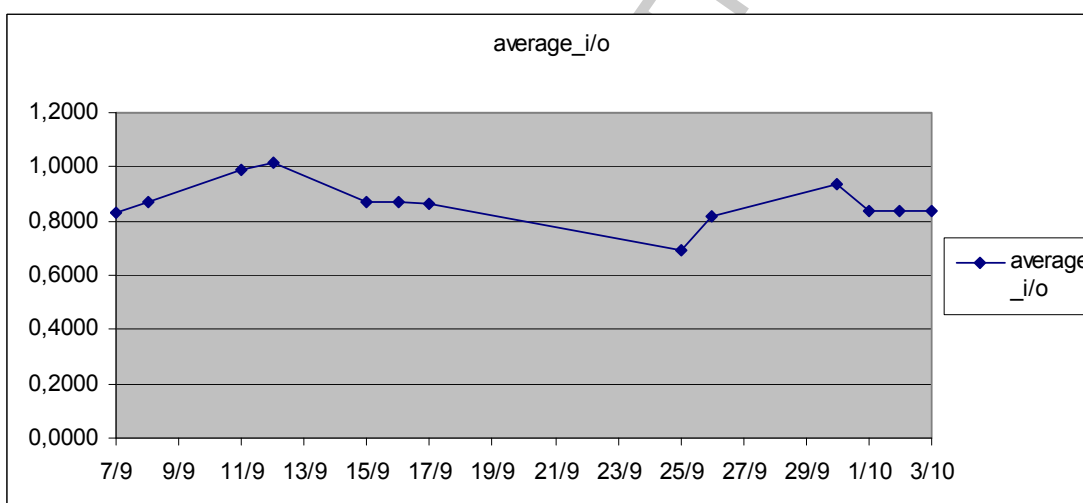
Διάγραμμα 23. Μέσος ημερήσιος κύκλος εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5.



Διάγραμμα 24. Μέσοι ημερήσιοι κύκλοι εξωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 καθημερινών/σαββατοκύριακου.



Διάγραμμα 25. Μέσοι όροι εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM2,5 στο διάστημα στοιχειοληψίας.



Διάγραμμα 26. Μέσος όρος του λόγου συγκεντρώσεων I/O σωματιδίων PM2,5 στο διάστημα στοιχειοληψίας

		C _{OUT}			C _{IN}		
		AVERAGE _{OUT}		35,7769	AVERAGE _{IN}		30,3712
i	8-hour	average	stdev	average i/ AVERAGE _{OUT}	average	stdev	average i/ AVERAGE _{IN}
1	00:00 - 08:00	38,6119	2,8879	1,0792	31,0884	4,0026	1,0236
2	08:00 - 16:00	35,8780	4,0910	1,0028	32,1478	4,9277	1,0585
3	16:00 - 00:00	32,7409	4,2294	0,9151	27,6704	2,3205	0,9111

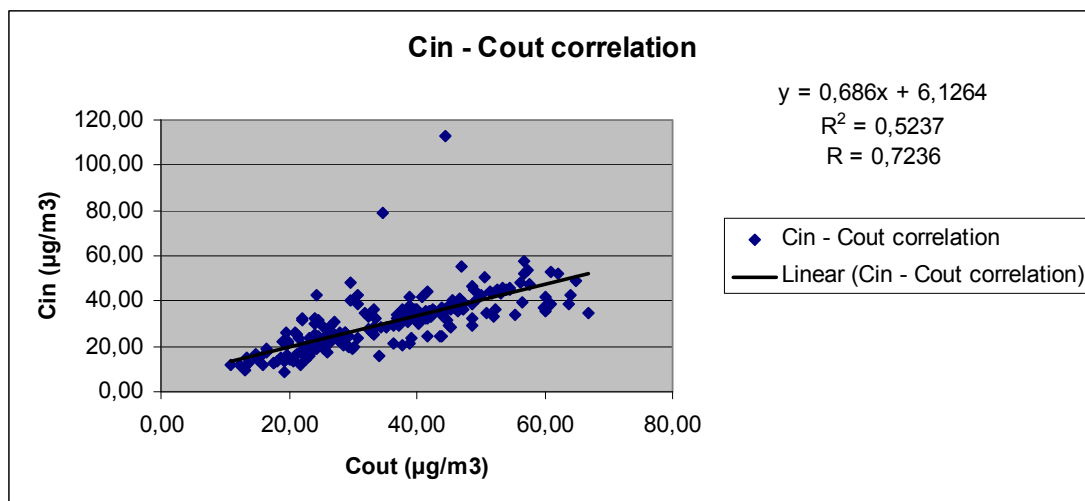
Πίνακας 4. Σύγκριση εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 ανά 8ωρο.

PM2,5			
	C _{IN}	C _{OUT}	I/O
average	29,8335	35,4341	0,8680
stdev	11,3991	12,6424	0,2623
min	8,7016	11,0191	0,3099
max	112,7329	67,7550	3,4974
max/ average	3,7787	1,9121	

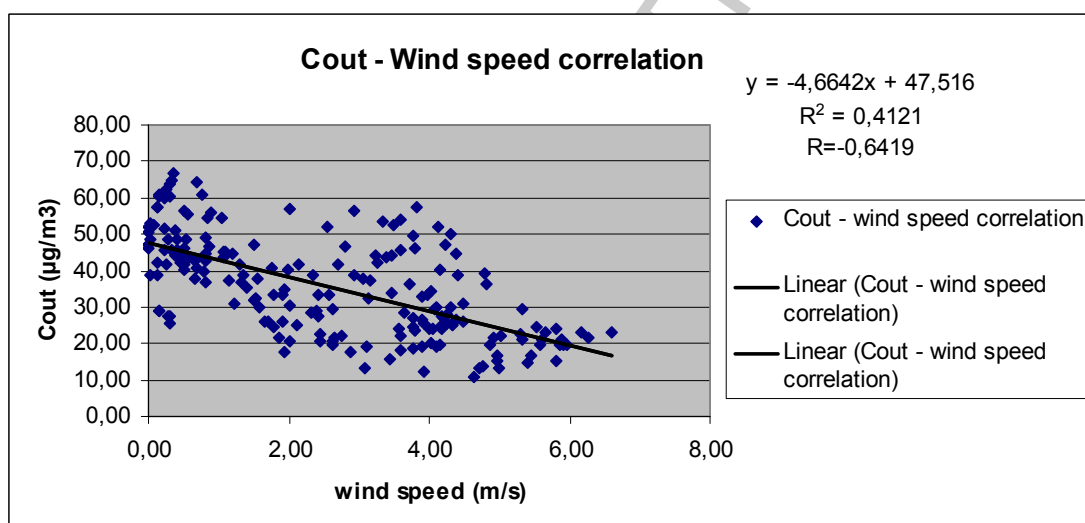
Πίνακας 5. Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία C_{in}/ C_{out} σωματιδίων PM2,5.

Date	IN				OUT				I/O			
	min	max	average	stdev	min	max	average	stdev	min	max	average	stdev
7/9	12,598	98,501	20,044	14,011	17,527	34,076	23,283	4,130	0,473	2,969	0,831	0,390
8/9	11,351	43,239	20,044	6,797	12,370	56,779	23,283	9,307	0,574	1,207	0,873	0,141
11/9	8,702	54,978	21,936	10,443	11,019	48,925	22,399	6,914	0,310	1,740	0,992	0,342
12/9	14,402	79,370	24,438	9,412	15,674	43,919	24,986	5,912	0,498	3,497	1,015	0,434
15/9	15,519	112,733	32,086	16,687	16,494	56,690	36,824	9,215	0,394	2,535	0,871	0,340
16/9	18,539	63,809	24,731	7,250	23,512	41,769	29,227	5,396	0,491	2,190	0,867	0,272
17/9	19,706	35,205	24,731	3,576	19,520	48,188	29,227	6,532	0,563	1,258	0,866	0,139
25/9	27,457	42,668	33,783	4,372	29,463	67,755	49,865	10,921	0,483	0,996	0,695	0,115
26/9	19,854	78,696	31,967	8,929	19,847	61,340	41,703	10,755	0,540	2,274	0,821	0,331
30/9	29,368	52,992	38,463	6,987	29,180	64,960	42,176	10,418	0,669	1,253	0,933	0,133
1/10	26,800	53,014	38,672	6,239	32,496	58,829	46,207	7,384	0,764	0,911	0,837	0,028
2/10	29,026	53,339	38,672	5,968	36,450	57,346	46,207	5,760	0,761	0,932	0,835	0,040
3/10	30,448	55,447	38,672	6,162	38,528	59,841	46,207	5,808	0,706	1,027	0,836	0,066

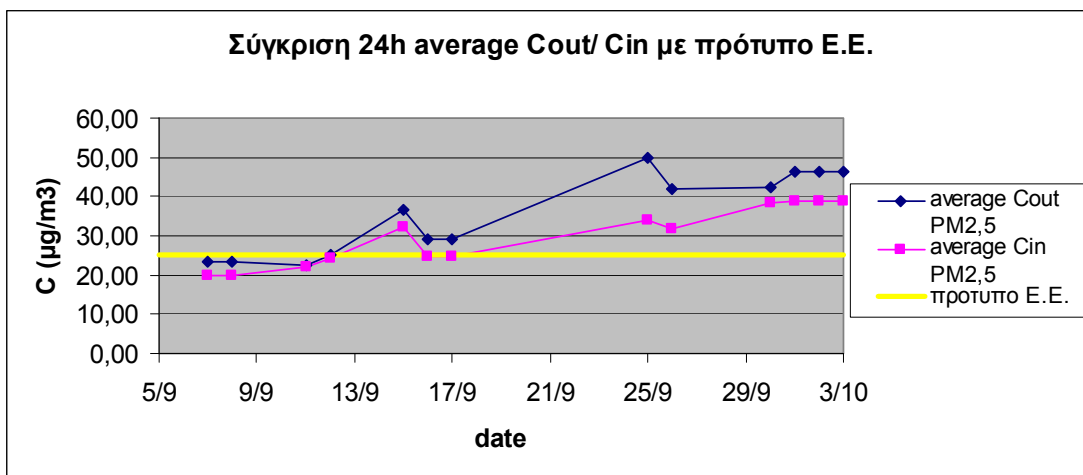
Πίνακας 6. Στατιστικά στοιχεία C_{in}/ C_{out} σωματιδίων PM2,5 ανα ημερομηνία.



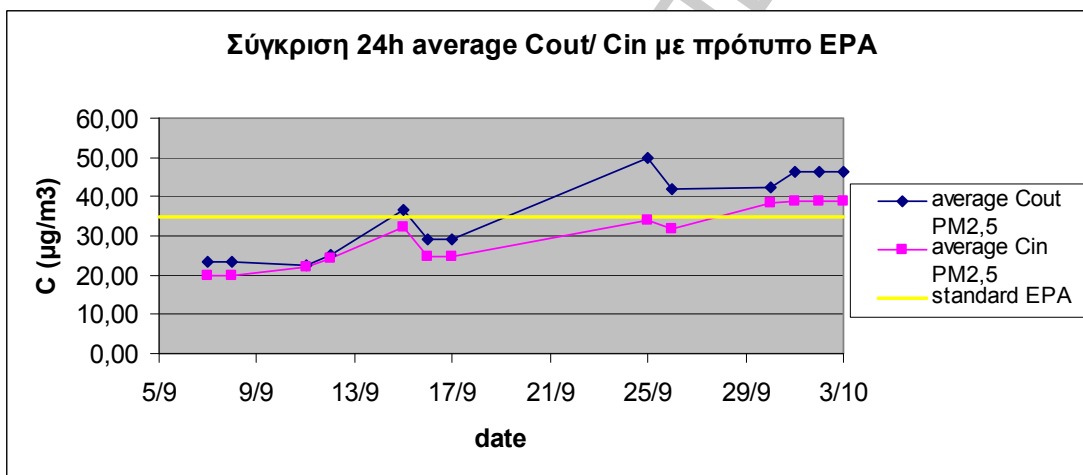
Διάγραμμα 27. Συσχέτιση εξωτερικής/εσωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM_{2,5} στο διάστημα στοιχειοληψίας.



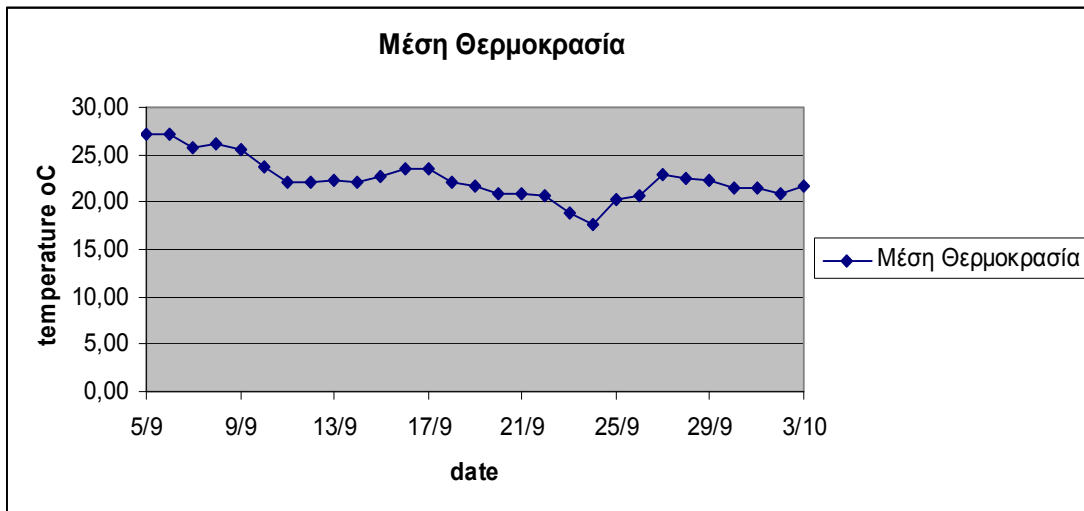
Διάγραμμα 28. Συσχέτιση εξωτερικής συγκέντρωσης σωματιδίων PM_{2,5} και ταχύτητας ανέμου στο διάστημα στοιχειοληψίας.



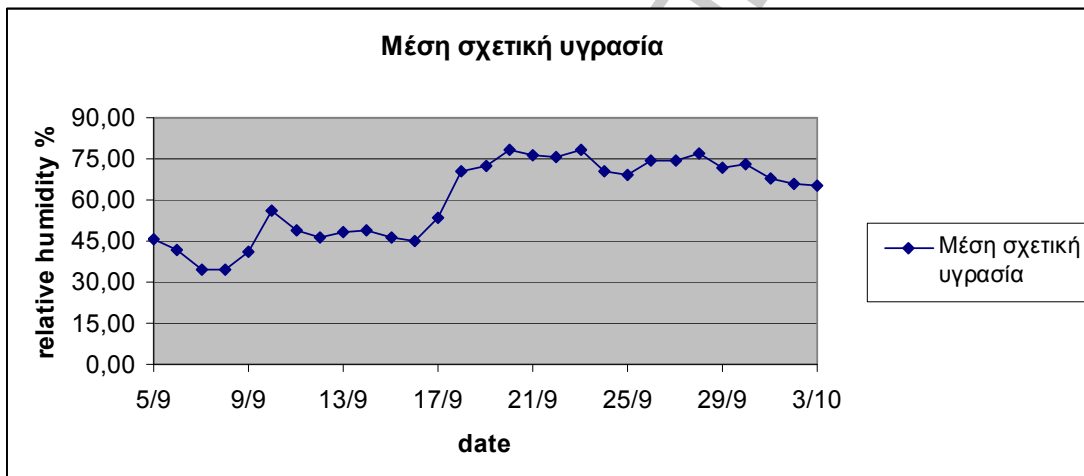
Διάγραμμα 29α. Σύγκριση μέσων όρων εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM_{2,5} και προτύπων στο διάστημα στοιχειοληψίας



Διάγραμμα 29β. Σύγκριση μέσων όρων εξωτερικών/εσωτερικών συγκεντρώσεων σωματιδίων PM_{2,5} και προτύπων στο διάστημα στοιχειοληψίας.



Διάγραμμα 30. Μέση θερμοκρασία στο διάστημα στοιχειοληψίας.



Διάγραμμα 31. Μέση σχετική υγρασία στο διάστημα στοιχειοληψίας.

	PM _{2.5} (µg m ⁻³)								
	Residence outdoors			Indoors, all			Indoors, non-ETS		
	Mean ± SD	(min, max)	<i>n</i>	Mean ± SD	(min, max)	<i>n</i>	Mean ± SD	(min, max)	<i>n</i>
Athens	37 ± 27	[9, 140]	47	31 ± 17	[12, 75]	35	23 ± 11	[12, 52]	21
Basle	19 ± 12	[5, 59]	47	26 ± 26	[6, 140]	40	17 ± 8	[6, 39]	29
Helsinki	10 ± 7	[2, 45]	170	13 ± 16	[2, 122]	170	9 ± 6	[2, 27]	135
Prague	27 ± 10	[10, 48]	20	36 ± 30	[10, 124]	47	25 ± 16	[10, 96]	32

	PM _{2.5} -bound sulphur (ng m ⁻³)						Residence volumes (m ³)		
	Residence outdoors			Indoors, all			Mean ± SD	(min, max)	<i>n</i>
	Mean ± SD	(min, max)	<i>n</i>	Mean ± SD	(min, max)	<i>n</i>			
Athens	7564 ± 5095	[2047, 29175]	37	5291 ± 2020	[2739, 9016]	28	290 ± 83	[140, 508]	50
Basle	3291 ± 1594	[951, 7822]	41	2619 ± 1625	[728, 7215]	30	280 ± 169	[95, 910]	50
Helsinki	2151 ± 1502	[175, 6434]	98	1586 ± 1287	[215, 5930]	84	205 ± 83	[63, 524]	189
Prague	3971 ± 1536	[1275, 7802]	20	3073 ± 1278	[1268, 5492]	16	233 ± 80	[79, 360]	49

Πίνακας 7. Summary of the PM_{2.5} and sulphur concentration and residence volume data. [O.O. Hänninen et al/ Atmospheric Environment 38 (2004) 6411-6423]