



**ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**Μελέτη της Προσωπικής Έκθεσης από Αιωρούμενα Σωματίδια  
των Φυσικοχημικών Χαρακτηριστικών τους και των Πηγών τους  
σε Εσωτερικούς Χώρους Κατοικιών.**

**Εξεταστική Επιτροπή**

**Αν. Καθ. Μιχάλης Λαζαρίδης  
Καθ. Δημοσθένης Ασημακόπουλος  
Καθ. Νίκος Καλογεράκης  
Καθ. Γεώργιος Καρατζάς  
Καθ. Ευριπίδης Στεφάνου  
Καθ. Νίκος Μιχαλόπουλος  
Καθ. Βασίλειος Γκέκας**

**ΜΑΡΙΑ Κ. ΛΙΑΝΟΥ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2010**

**Μελέτη της Προσωπικής Έκθεσης από Αιωρούμενα Σωματίδια  
των Φυσικοχημικών Χαρακτηριστικών τους και των Πηγών τους  
σε Εσωτερικούς Χώρους Κατοικιών.**

**Διερεύνηση της Συνεισφοράς του Εξωτερικού Περιβάλλοντος και των  
Οικιακών Δραστηριοτήτων στα Αερολύματα Εσωτερικών Χώρων**

**ΜΑΡΙΑ Κ. ΛΙΑΝΟΥ**

## **Εξεταστική Επιτροπή**

- **Μιχάλης Λαζαρίδης**

*(Αν. Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης  
– Επιβλέπων)*

- **Δημοσθένης Ασημακόπουλος**

*(Καθηγητής, Πρύτανης, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών)*

- **Νίκος Καλογεράκης**

*(Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης)*

- **Γεώργιος Καρατζάς**

*(Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης)*

- **Βασίλειος Γκέκας**

*(Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης)*

- **Ευριπίδης Στεφάνου**

*(Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Ηρακλείου)*

- **Νίκος Μιχαλόπουλος**

*(Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Ηρακλείου)*

- **Ηλίας Κάβουρας**

*(Επικ. Καθηγητής, Nevada System of Higher Education, Atmospheric  
Sciences Graduate Program)*

### **Ευχαριστίες**

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επιστημονική επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. **Μιχάλη Λαζαρίδη**, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου τη συγκεκριμένη εργασία και την αδιάλειπτη υποστήριξή του για την περάτωσή της. Ακόμη θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στους:

- Στον Επίκουρο Καθηγητή κ. **Ηλία Κάβουρα** για τη συνεχή και ουσιαστική βοήθειά του τόσο κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών όσο κατά την πραγματοποίηση της διατριβής,
- Στον Διευθυντή Ερευνών του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών κ. **Μιχάλη Πετράκη** για τη βοήθειά του, την εμπιστοσύνη και την υπομονή που έδειξε,
- Στον Πρύτανη του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Καθηγητή κ. **Δημοσθένη Ασημακόπουλο**, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε,
- Στον συνάδελφο, Ειδικό Τεχνικό Επιστήμονα του ΙΕΠΒΑ/ ΕΑΑ κ. **Σπυρίδωνα Αυκούδη** για την πολύτιμη βοήθειά του και τις χρήσιμες συμβουλές του στη στατιστική ανάλυση,
- Στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής καθηγητές κ. **Νικόλαο Καλογεράκη, Γεώργιο Καρατζά, Βασίλειο Γκέκα, Ευριπίδη Στεφάνου** και **Νικόλαο Μιχαλόπουλο**.

Καθώς τα δεδομένα της εργασίας προέρχονται από το ερευνητικό πρόγραμμα (RUPION), θα ήθελα να ευχαριστήσω την Κύρια Ερευνήτρια κ. **Νατάσα Κοτρωνάρου**, που μου εμπιστεύτηκε τις μετρήσεις των δειγματοληψιών για την Αθήνα, καθώς και για τη βοήθειά της και τη συνεργασία της, κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου **Κωνσταντίνο** και **Αικατερίνη** και το σύζυγό μου **Γρηγόριο Κωνσταντόπουλο** για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράστασή τους.

## Περίληψη

Η μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ) αποτελεί αντικείμενο έντονου ενδιαφέροντος λόγω των επιπτώσεων τους στην υγεία του ανθρώπου. Από τα κλάσματα των ΑΣ, τα «λεπτά» σωματίδια ( $AS_{2.5}$ , σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των  $2.5\mu m$ ), θεωρούνται περισσότερο επικίνδυνα διότι λόγω του μικρού μεγέθους τους μπορούν να εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες, με αποτέλεσμα να προκαλούν ή να επιδεινώνουν σοβαρά αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα. Τα αδρά σωματίδια ( $AS_{10-2.5}$ , σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεταξύ  $2.5$  και  $10\mu m$ ) φαίνεται να σχετίζονται με αλλεργικά περιστατικά του ανώτερου αναπνευστικού.

Τα σωματίδια εσωτερικού χώρου αποτελούν σημαντική συνιστώσα της έκθεσης του ανθρώπου σ' αυτά καθώς ο άνθρωπος περνάει περισσότερο από το 80% του ημερήσιου χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους (εργασία, κατοικία). Χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος όπως η βροχόπτωση, οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι καθημερινές δραστηριότητες επίσης επηρεάζουν τα επίπεδα των ΑΣ. Επομένως είναι σημαντικό να διευκρινιστούν ο βαθμός στον οποίο οι φυσικές ιδιότητες των ΑΣ (μάζα, επιφάνεια, αριθμός) επιδρούν στον ανθρώπινο οργανισμό και οι συσχετισμοί μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων.

Σκοπός της διατριβής είναι η μελέτη των συσχετισμών, της μάζας και του αριθμού των αιωρούμενων σωματιδίων αστικού περιβάλλοντος, εξωτερικού και εσωτερικού χώρου και η εκτίμηση της επίδρασης των μετεωρολογικών συνθηκών, στοιχείων της κυκλοφοριακής κίνησης και των οικιακών δραστηριοτήτων (τύπος και συχνότητα). Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν συνεχείς, επαναλαμβανόμενες, μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ( $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ , αριθμός σωματιδίων και ανακλαστικότητα) σε κεντρικό σταθμό/σταθμό αναφοράς καθώς και εντός και εκτός 35 κατοικιών των Αθηνών, για δεκαοκτώ (18) μήνες (Οκτώβριος 2002 – Μάρτιος 2004). Οι δειγματοληψίες στις κατοικίες πραγματοποιήθηκαν διαδοχικά, σε διάστημα 7 ημερών σε κάθε κατοικία.

Από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι ο σταθμός αναφοράς μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα επίπεδα των λεπτών ΑΣ και του συντελεστή απορρόφησης (αντιπροσωπεύει την αιθάλη) για όλη την πόλη των Αθηνών καθώς οι μετρήσεις τους εμφανίζουν μικρή χωρική απόκλιση. Οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις των  $AS_{10}$  στον σταθμό αναφοράς αποδίδονται, στα υψηλά ποσοστά αδρών σωματιδίων λόγω επαναίωρησης της σκόνης, από την κίνηση των οχημάτων και σε τοπικές εκπομπές, σε περιοχές στις οποίες εκτελούνταν έργα για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004.

Οι συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου στις κατοικίες, επηρεάζονται σημαντικά από χαρακτηριστικά κατοικιών που αφορούν στην κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων και στον καλό αερισμό της περιοχής στην οποία βρίσκεται η κατοικία.

Το μέγεθος των ΑΣ και η σύστασή τους επηρεάζουν το βαθμό διείσδυσης των ΑΣ εξωτερικού χώρου του περιβάλλοντος αέρα, μέσα στην κατοικία. Τα λεπτά ΑΣ και ο συντελεστής απορρόφησης (αιθάλη) εμφανίζουν μεγάλο ποσοστό διείσδυσης στον εσωτερικό χώρο των κατοικιών.

Οι συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου επηρεάζονται σημαντικά από χαρακτηριστικά που αφορούν στη διαρρύθμιση της κατοικίας και ειδικότερα τον τύπο της κουζίνας, τον αριθμό των ενδιάμεσων πορτών, την όψη του σαλονιού προς το δρόμο. Οι δραστηριότητες εσωτερικού χώρου, επιδρούν σημαντικά στις συγκεντρώσεις του αριθμού ΑΣ εσωτερικού χώρου, ανάλογα με το είδος τους αλλά και το πλήθος τους, με τις κυριότερες δραστηριότητες-πηγές να είναι το άναμμα των κεριών, το τηγάνισμα και δευτερευόντως το κάπνισμα.

## Abstract

The atmospheric fate of particulate matter (PM) is of great concern because of the adverse health effects. Special attention is paid to fine particulate matter ( $PM_{2.5}$ , particles with aerodynamic diameter less than  $2.5\ \mu m$ ), because of their ability to penetrate deeper into the lungs and cause or trigger respiratory and cardiovascular responses. Coarse particles ( $PM_{10-2.5}$ , particles with aerodynamic diameter between  $2.5$  and  $10\ \mu m$ ) are shown to be related to allergic responses of the upper respiratory tract. Indoor aerosol is an important component of personal PM exposures because people spend more than the 80% of their daily time indoors (work, residence). Environmental features such as precipitation, meteorological conditions and daily activities also influence PM levels. It is also important to clarify the degree to which physical properties of PM (mass, size, number) affect human organism and examine the correlation between different parameters.

The objective of this study was to investigate the relationships of ambient, outdoor residential and indoor particle mass and number, and evaluate the contributions of meteorological conditions, residential configuration, traffic patterns and indoor activities (both type and frequency).  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{(10-2.5)}$ , particle number concentration and the  $PM_{2.5}$  reflectance, were monitored continuously at a fixed ambient site and at 35 residencies in the metropolitan area of Athens (indoors and outdoors), for a 18-month period (October 2002-March 2004). Monitoring residencies was carried out consecutively for a period of 7 days for each residence.

Statistical analysis of PM data, showed that central site provides important information about fine PM and absorption coefficient for the city of Athens as a whole, due to low spatial divergence. High  $PM_{10}$  concentrations were partly attributed to coarse particles from the resuspension of road dust and from the contribution of local emissions, in areas where construction projects, related to the 2004 Olympic Games took place, during the monitoring period.

Outdoor residencies' concentrations were considerably affected by home characteristics related to traffic and area ventilation. PM size and composition affect outdoor – ambient PM penetration inside the residencies. Fine particles and absorption coefficient (represents black carbon) appear to penetrate to a high degree inside residencies.

Indoor PM levels were greatly affected by indoor home characteristics. Moreover, indoor particle concentrations were affected by indoor activities. The most important indoor activities (sources) were candle burning, frying and to some extent smoking.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup></b>                                                         | <b>1</b>  |
| 1.1 Εισαγωγή                                                                          | 1         |
| 1.2 Πηγές και χημική σύσταση ατμοσφαιρικών αερολυμάτων                                | 5         |
| 1.2.1 Πηγές αερολυμάτων σε αστικές περιοχές                                           | 7         |
| 1.2.2 Πηγές ΑΣ εσωτερικού χώρου                                                       | 10        |
| 1.3 Έκθεση ανθρώπου σε αερολύματα και επιπτώσεις στην υγεία                           | 12        |
| 1.3.1 Μηχανισμοί εισαγωγής και απομάκρυνσης των αερολυμάτων στον ανθρώπινο οργανισμό. | 13        |
| <b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup></b>                                                         | <b>29</b> |
| 2. Σκοπός της διδακτορικής διατριβής                                                  | 29        |
| <b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup></b>                                                         | <b>31</b> |
| 3 Πειραματικό μέρος                                                                   | 31        |
| 3.1 Δεδομένα                                                                          | 39        |
| 3.2 Μετρήσεις μάζας ΑΣ <sub>10</sub> και ΑΣ <sub>2.5</sub>                            | 39        |
| 3.2.1 Δειγματοληψία ΑΣ <sub>10</sub> και ΑΣ <sub>2.5</sub>                            | 39        |
| 3.2.2 Ζύγιση φίλτρων                                                                  | 42        |
| 3.3 Καταγραφή του αριθμού ΑΣ                                                          | 45        |
| 3.3.1 Δειγματοληψία αριθμού ΑΣ                                                        | 46        |
| 3.4 Μέτρηση ανακλαστικότητας φίλτρων                                                  | 49        |
| 3.4.1 Υπολογισμός του συντελεστή απορρόφησης                                          | 50        |
| 3.5 Μέτρηση του ρυθμού ανανέωσης του αέρα                                             | 52        |
| 3.6 Μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας                                | 55        |
| 3.7 Καταγραφή συμπληρωματικών δεδομένων                                               | 55        |
| <b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup></b>                                                         | <b>58</b> |
| 4. Αιωρούμενα Σωματίδια στο Αστικό Περιβάλλον                                         | 59        |
| 4.1 Εισαγωγή                                                                          | 59        |
| 4.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα                                                        | 64        |
| 4.3 Χρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων                   | 75        |
| 4.4 Συσχετίσεις των ΑΣ                                                                | 95        |

|      |                                                                                       |     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5  | Λόγοι συγκεντρώσεων μάζας ΑΣ                                                          | 102 |
| 4.6  | Επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. | 108 |
| 4.7  | Χημική ανάλυση φίλτρων ΑΣ <sub>2.5</sub>                                              | 122 |
| 4.8  | Κατανομές ΑΣ                                                                          | 127 |
| 4.9  | Υπερβάσεις ορίων στα ημερήσια επίπεδα των ΑΣ <sub>10</sub>                            | 132 |
| 4.10 | Συμπεράσματα                                                                          | 137 |

## **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>** 143

|       |                                                                         |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.    | Αιωρούμενα σωματίδια σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους κατοικιών    | 143 |
| 5.1   | Εισαγωγή                                                                | 143 |
| 5.2   | Περιγραφή κατοικιών                                                     | 146 |
| 5.2.1 | Εξωτερικά χαρακτηριστικά                                                | 146 |
| 5.2.2 | Εσωτερικά χαρακτηριστικά                                                | 152 |
| 5.3   | Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κατοικιών                                    | 156 |
| 5.3.1 | Αποτελέσματα εξωτερικού χώρου των κατοικιών                             | 156 |
| 5.3.2 | Αποτελέσματα μετρήσεων σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών                  | 163 |
| 5.4   | Συσχέτιση συγκεντρώσεων ΑΣ εσωτερικού χώρου κατοικιών– εξωτερικού χώρου | 176 |
| 5.5   | Συσχέτιση των συντελεστών R με χαρακτηριστικά των κατοικιών             | 197 |
| 5.6   | Προσδιορισμός του λόγου των συγκεντρώσεων εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου  | 200 |
| 5.7   | Ρυθμός ανανέωσης αέρα                                                   | 214 |
| 5.8   | Συμπεράσματα                                                            | 219 |

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>** 226

|       |                                                                            |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.    | Πηγές ΑΣ εσωτερικού χώρου                                                  | 226 |
| 6.1   | Εισαγωγή                                                                   | 226 |
| 6.2   | Καταγραφή δραστηριοτήτων εντός των κατοικιών                               | 229 |
| 6.3   | Επίδραση των δραστηριοτήτων στις συγκεντρώσεις ΑΣ                          | 235 |
| 6.3.1 | Επίδραση των δραστηριοτήτων ανά κατηγορία, στα επίπεδα του ΑΑΣ             | 238 |
| 6.3.2 | Ισοδύναμη επίδραση των δραστηριοτήτων στα επίπεδα του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου | 250 |
| 6.4   | Συμπεράσματα                                                               | 253 |

## **Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>** 256

|    |                                                                      |     |
|----|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 7. | Επίδραση των χαρακτηριστικών των κατοικιών στις συγκεντρώσεις των ΑΣ | 256 |
|----|----------------------------------------------------------------------|-----|

|                               |                                                                                                              |     |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1                           | Εισαγωγή                                                                                                     | 256 |
| 7.2                           | Εξωτερικά χαρακτηριστικά κατοικιών                                                                           | 258 |
| 7.3                           | Εσωτερικά χαρακτηριστικά κατοικιών                                                                           | 260 |
| 7.4                           | Υπολογισμός του Συντελεστή Χωρικής Απόκλισης                                                                 | 261 |
| 7.5                           | Συσχέτιση των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου με τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κατοικιών                    | 267 |
| 7.6                           | Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση των ημερήσιων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς                 | 276 |
| 7.7                           | Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και διαφόρων χαρακτηριστικών των κατοικιών | 286 |
| 7.8                           | Συσχέτιση των συγκεντρώσεων εσωτερικού χώρου με τα «εσωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών                  | 290 |
| 7.9                           | Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των συγκεντρώσεων εσωτερικού χώρου και διαφόρων χαρακτηριστικών των κατοικιών | 295 |
| 7.10                          | Συμπεράσματα                                                                                                 | 299 |
| <b>Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup></b> |                                                                                                              | 304 |
| 8.1                           | Συμπεράσματα                                                                                                 | 304 |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b>            |                                                                                                              | 313 |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b>            |                                                                                                              | 323 |

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## 1.1 Εισαγωγή

Οι μεγάλες επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι σήμερα, συνέβαλαν ουσιαστικά στην οικονομική ανάπτυξη και στην ποιοτική και ποσοτική αναβάθμιση των συνθηκών και του επιπέδου διαβίωσης ενός μεγάλου τμήματος του ανθρώπινου πληθυσμού της γης, ιδιαίτερα στις βιομηχανικές χώρες. Όμως, η οικονομική ανάπτυξη είχε και σοβαρές παρενέργειες, όπως η αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων και η ανεξέλεγκτη διάθεση μη επεξεργασμένων αποβλήτων στο περιβάλλον, οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική επιβάρυνση των περιβαλλοντικών συστημάτων και σε αρκετές περιπτώσεις, τη μερική ή ολοκληρωτική καταστροφή οικοσυστημάτων. Μία από τις παρενέργειες της «ανάπτυξης» ήταν και η συνεχής υποβάθμιση της ατμόσφαιρας η οποία αποτελεί έναν σημαντικό αποδέκτη ρύπων, κυρίως αέριων, οι οποίοι παράγονται από ανθρωπογενείς, βιομηχανικές και μη, δραστηριότητες.

Η υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας γίνεται αντιληπτή, καθημερινά, με την εμφάνιση νέφους (φωτοχημικού ή αιθαλομίχλης) στα αστικά κέντρα (Cvitas et al., 1985; Clappier et al., 2000; Flokas et al., 2003; Petrakis et al., 2003) και με τη μείωση της ορατότητας (Kim et al., 2006; Ozer et al., 2007; IPCC 2007). Ανθρωπογενείς, ρύποι όπως, το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και άλλοι, ευθύνονται για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και το λιώσιμο των πάγων στους πόλους και τους υπεрайονόβιους παγετώνες (IPCC 2007; Ozer et al., 2007; Rignot et al., 2002; Abdalati et al., 1997). Ενώσεις που εμπεριέχονται στο φρέον (HFCs, PFCs) προκαλούν την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος στην Ανταρκτική, στον Βόρειο Πόλο και σε άλλες περιοχές του Βόρειου ημισφαιρίου (Rex et al., 2006).

Από τους αέριους ρύπους, το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), το όζον ( $\text{O}_3$ ), το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), τα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs: Volatile Organic Compounds) αποτελούν τους κυριότερους ρύπους στην τροπόσφαιρα, στο κατώτερο

μέρος της ατμόσφαιρας (0-11 km), το οποίο είναι σε άμεση επαφή με το άνθρωπο-κεντρικό περιβάλλον.

Από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, τα αερολύματα, αποτελούν την πιο πολύπλοκη και ίσως πιο σημαντική κατηγορία, λόγω των πολλαπλών βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεών τους στο κλίμα (IPCC 2007; Collins et al., 2004), στη δημόσια υγεία (Pope et al. 2006) και στη βιωσιμότητα των οικολογικών συστημάτων (Collins et al., 2004) και των ιστορικών μνημείων (Torfs et al. 1997; Leysen et al., 1989).

Ως αερολύμα ορίζεται το εναιώρημα στερεών και υγρών σταγονιδίων με αεροδυναμική διάμετρο από  $0.002\ \mu\text{m}$  ( $10^{-9}\ \text{m}$ ) ως  $100\ \mu\text{m}$  μέσα σε αέριο (Pandis et al., 1992). Συχνά, χρησιμοποιείται ο όρος «αιωρούμενα σωματίδια» (ΑΣ, particulate matter), κατά τη μελέτη των επιπτώσεών τους στην υγεία, ενώ όταν προσδιορίζονται οι επιπτώσεις τους στο κλίμα αναφέρονται ως «σωματίδια αερολυμάτων» (particulates; Putuad, 2002). Τα αερολύματα, ανάλογα με τον τρόπο που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, διαχωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή (primary) εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα, από πηγές όπως, οι εκπομπές οχημάτων, η φθορά ελαστικών, η επαναιώρηση σκόνης (Harrison et al., 1997). Τα δευτερογενή (secondary) σωματίδια προκύπτουν από τη συμπύκνωση των προϊόντων των φωτοχημικών διεργασιών στην ατμόσφαιρα, όπως η μετατροπή του  $\text{SO}_2$  και  $\text{NO}_x$  σε θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) και νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) ιόντα (Seinfeld and Pandis, 1999). Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να δράσουν ως μεταφορείς για διάφορα χημικά στοιχεία και ενώσεις καθώς και για βιολογικούς ρυπαντές, που απορροφώνται ή προσκολλώνται επάνω τους (Λαζαρίδης, 2008).

Ο ρόλος των ΑΣ στην ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα σημαντικός, τόσο στη δυναμική της όσο και στη ρύπανση. Ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, οι συγκεντρώσεις των ΑΣ μπορεί να φτάσουν τα  $10^7$  με  $10^8$  σωματίδια/  $\text{cm}^3$ . Τα βασικά χαρακτηριστικά των ΑΣ είναι το μέγεθος, η χημική τους σύσταση και η φάση στην οποία βρίσκονται (υγρή ή στερεά) (Λαζαρίδης, 2008).

Το μέγεθος των σωματιδίων αποτελεί μια σημαντική παράμετρο που καθορίζει την εξέλιξή τους, το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα αλλά και την επίδρασή τους στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου. Διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες

κατηγορίες: α) Τα «λεπτά» (fine) σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο ( $d_a$ ) από 0.002  $\mu\text{m}$  έως 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{AS}_{2.5}$ ) και β) τα «αδρά» (coarse) σωματίδια με  $d_a$  από 2.5  $\mu\text{m}$  έως 100  $\mu\text{m}$  (Σχήμα 1-1). Τα λεπτά σωματίδια διαχωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες: α) τους μετασταθερούς πυρήνες ή πυρήνες Aitken με  $d_a$  από 0.002  $\mu\text{m}$  έως 0.1  $\mu\text{m}$  και β) τα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης με  $d_a$  από 0.1  $\mu\text{m}$  ως 2.5  $\mu\text{m}$ , τα οποία αποτελούν το 50% της ολικής μάζας των σωματιδίων (Whitby et al., 1980).

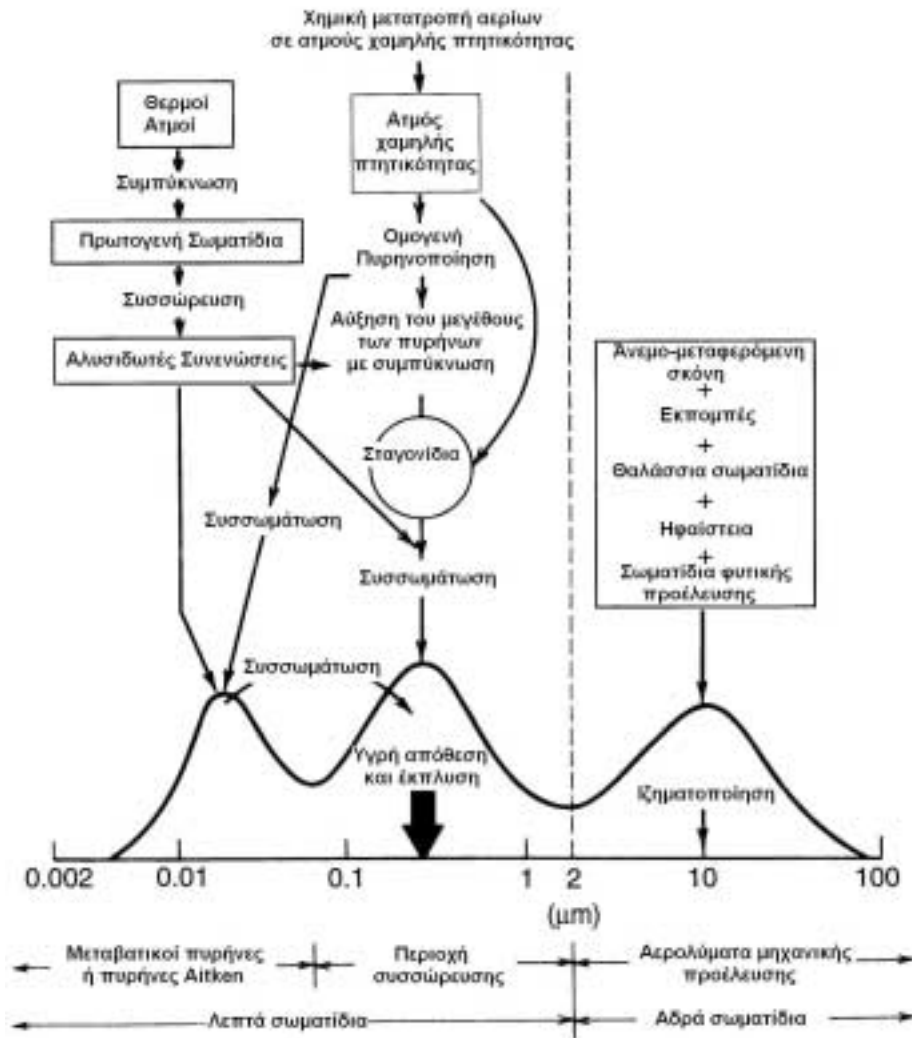
Οι πυρήνες Aitken σχηματίζονται από τη συμπύκνωση υδρατμών, αρχικά σε πρωτογενή σωματίδια και κατόπιν με τη συσσωμάτωσή τους και αλυσιδωτές συνενώσεις ή από την ομογενοποιημένη πυρηνοποίηση υδρατμών χαμηλής πτητικότητας (Σχήμα 1-1).

Τα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης, σχηματίζονται από τη συμπύκνωση ενώσεων χαμηλής πτητικότητας που παράχθηκαν από ατμοσφαιρικές αντιδράσεις ενώσεων στην αέρια φάση (π.χ. τερπένια) (Kavouras et al. 1998) και από απευθείας εκπομπές από διαδικασίες καύσης, σωματίδια καπνού και πυρήνες Aitken που έχουν συσσωματωθεί. Τα αδρά σωματίδια προέρχονται κυρίως από διαδικασίες μηχανικές και τριβής όπως: από άνεμο-μεταφερόμενα χόματα και επαναιώρηση σκόνης από τους δρόμους, βιομηχανικές εκπομπές, θαλάσσια άλατα, σωματίδια φυτικής (γύρη και σπόρους φυτών) και ζωικής προέλευσης και από εκπομπές ηφαιστειών (Hinds, 1999; Lelieveld et al., 2001; Harrison et al., 2001).

Η αρχική διάκριση των ΑΣ σε λεπτά και αδρά είναι καθοριστική καθώς τα σωματίδια αυτά διαφέρουν ως προς την προέλευση, τη χημική σύσταση, το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, τις διεργασίες απομάκρυνσης από την ατμόσφαιρα αλλά και τις οπτικές ιδιότητες και τις επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία.

Το μεγαλύτερο χρόνο παραμονής έχουν τα σωματίδια με μέγεθος 0.1 – 2  $\mu\text{m}$ . Οι πυρήνες Aitken, έχουν σχετικά μικρό χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα, λόγω ταχείας συσσωμάτωσης σε σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης. Επίσης, τα «αδρά» σωματίδια απομακρύνονται σχετικά γρήγορα από την ατμόσφαιρα καθώς χαρακτηρίζονται από μεγάλες ταχύτητες βαρυτικής κατακρήμνισης (Seinfeld and Pandis, 1997; Λαζαρίδης, 2008).

**Σχήμα 1-1** Μηχανισμοί σχηματισμού και απομάκρυνσης ΑΣ (κατά Whitby et al., 1980).



Τα ΑΣ επηρεάζουν το κλίμα είτε άμεσα, με τη σκέδαση και απορρόφηση της ηλιακής και υπέρυθρης ακτινοβολίας, είτε έμμεσα με τον σχηματισμό πυρήνων συμπύκνωσης στα νέφη (Lazaridis et al., 2002), αλλάζοντας έτσι τις οπτικές ιδιότητες των νεφών και διαταράσσοντας το μηχανισμό βροχόπτωσης (Jacob, 1999; Charlson et al., 1992; Lohman, 2002). Τα ΑΣ διαφέρουν σημαντικά, ως προς τις ιδιότητές τους οι οποίες επηρεάζουν το βαθμό στον οποίο απορροφούν και σκεδάζουν την ακτινοβολία και έτσι διαφορετικοί τύποι ΑΣ μπορεί να έχουν καθαρό αποτέλεσμα ψύξης ή θέρμανσης (IPCC: Climate Change, 2007).

## 1.2 Πηγές και χημική σύσταση ατμοσφαιρικών αερολυμάτων

Οι πηγές των ατμοσφαιρικών ΑΣ μπορεί να είναι φυσικές ή ανθρωπογενείς. Σημαντικές φυσικές πηγές ΑΣ είναι τα ηφαίστεια, το έδαφος, οι ωκεανοί και η καύση βιομάζας. Οι φυσικές εκπομπές υπερβαίνουν τις ανθρωπογενείς και επηρεάζουν τις ολικές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε παγκόσμια κλίμακα. Οι ανθρωπογενείς πηγές εντοπίζονται στις βιομηχανικές διεργασίες, στις διαφεύγουσες εκπομπές, στις μη βιομηχανικές καύσεις και στις εκπομπές από τα οχήματα (Λαζαρίδης, 2008).

Τα αερολύματα, ως προς τη χημική τους σύσταση αποτελούν έναν περίπλοκο συνδυασμό οργανικών και ανόργανων υλικών. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το είδος και η ένταση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, η παρουσία φυσικών οικοσυστημάτων και οι μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά τη σύσταση των αερολυμάτων.

Πιο αναλυτικά, τα «λεπτά» σωματίδια ως προς τη χημική τους σύσταση, αποτελούνται κυρίως από θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) και αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ), μεταβατικά στοιχεία (Cu, Mn, Zn, As, Ni, Pb), στοιχειακό άνθρακα (αιθάλη) και οργανικές ενώσεις που προέρχονται από διαδικασίες καύσης, από οχήματα και βιομηχανικές δραστηριότητες (Seinfeld and Pandis, 1997; IPCC 2007; Wilson et al., 1995; Tucker, 2000). Τα «αδρά» αερολύματα περιέχουν κυρίως οξείδια μετάλλων που αποτελούν συστατικά του χώματος, άλατα, και οργανικές ενώσεις βιογενούς προέλευσης όπως, Al, Si, Ca, Fe, Ti, K, Mn, Sr, Na, Cl και S σε κρυσταλλική και ιοντική μορφή (Πίνακας 1-1).

**Πίνακας 1-1:** Χημική σύσταση, πηγές και χρόνος παραμονής των λεπτών και αδρών αερολυμάτων (Wilson et al., 1995).

|                 | Λεπτά ΑΣ                                                                                                                   | Αδρά ΑΣ                                                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Χημική σύσταση: | Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ); Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ); Αμμωνία ( $\text{NH}_4^+$ ); Ιόντα υδρογόνου ( $\text{H}^+$ ); | Επαναιωρούμενη σκόνη, σκόνη χώματος, σκόνη δρόμων. Κάρβουνο και στάχτη. Οξείδια μετάλλων Si, Al, Mg, Ti, Fe. |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Οργανικός και στοιχειακός<br>άνθρακας, Μέταλλα                                                                                                                                                                                                                              | CaCO <sub>3</sub> , NaCl, άλατα θαλάσσης, γύρη,<br>σπόροι, κομμάτια φυτών.                                                                                                                           |
| Πηγές:                     | Καύση άνθρακα, λαδιού,<br>βενζίνης, πετρελαίου, ξύλου.<br><br>Ατμοσφαιρικοί μετασχηματισμοί<br>προϊόντων NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , και<br>οργανικών<br>συμπεριλαμβανομένων των<br>βιογενών, π.χ. τερπένια.<br>Διαδικασίες με υψηλές<br>θερμοκρασίες, χυτήρια κ.α. | Επαναιώρηση σκόνης από τους δρόμους,<br>Διασπορά χώματος, π.χ. όργωμα, μετάλ-<br>λευση. Επαναιώρηση βιομηχανικής σκό-<br>νης. Κατασκευές, καύση λαδιού και κάρ-<br>βουνου, ψεκάδες από του ωκεανούς. |
| Χρόνος                     | Ημέρες μέχρι εβδομάδες                                                                                                                                                                                                                                                      | Λεπτά μέχρι ώρες                                                                                                                                                                                     |
| Παραμονής:                 |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                      |
| Απόσταση                   | 10 <sup>2</sup> - 10 <sup>3</sup> km                                                                                                                                                                                                                                        | 1 - 10 km.                                                                                                                                                                                           |
| που μπορούν<br>να φτάσουν: |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                      |

Η ορυκτής προέλευσης ενώσεις και τα θαλάσσια άλατα, συνεισφέρουν περισσότερο στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αδρών ΑΣ ενώ το αμμώνιο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), τα θειϊκά ιόντα (όχι θαλάσσιας προέλευσης, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) και η οργανική ύλη συνεισφέρουν περισσότερο στο κλάσμα των λεπτών ΑΣ. Η αιθάλη (BC) και τα νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) συνεισφέρουν περισσότερο στην αύξηση των λεπτών ΑΣ ενώ η συνεισφορά τους στα αδρά σωματίδια είναι σαφώς μικρότερη. Η οργανική ύλη, στο κλάσμα των λεπτών ΑΣ μπορεί να προέρχεται από πρωτογενείς εκπομπές, από διαδικασίες καύσεως ή από την οξείδωση πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC), ενώ στα αδρά μπορεί να περιλαμβάνονται και βιολογικά απόβλητα (biogenic debris) (Σχήμα 1-2). Η παρουσία του μαύρου άνθρακα, στα αδρά ΑΣ πιθανόν να προέρχεται από τη φθορά των ελαστικών ή την κάπνα που επικάθεται επάνω στην επαναιωρούμενη σκόνη ή να είναι αποτέλεσμα των διαφόρων τεχνικών καταμέτρησης των ΑΣ, οι οποίες τροποποιούν την οργανική ύλη

σε μαύρο άνθρακα λόγω καύσης (charring) κατά τη διάρκεια της ανάλυσης των στοιχείων (Putuad, 2002).

**Σχήμα 1-2:** Περιγραφή της προέλευσης των αερολυμάτων και της χημικής τους σύστασης (τροποποιημένο σχήμα από το website του Paul Scherrer Institute, Laboratory for Radiochemistry & Environmental Chemistry).



### 1.2.1 Πηγές αερολυμάτων σε αστικές περιοχές

Ο κυκλοφοριακός φόρτος στους δρόμους αποτελεί την κύρια πηγή λεπτών ΑΣ σε αστικές περιοχές (Gramotnev, 2004). Τα πρωτογενή αερολύματα που εκπέμπονται από τα οχήματα είναι αποτέλεσμα άμεσων εκπομπών παραγώγων καύσεως, καυσίμων και λαδιών (fuel and oil), φθοράς ελαστικών (σωματίδια άνθρακα) και φρένων (σωματίδια ασβέστου και άνθρακα) καθώς και επαναιώρησης σκόνης από τους δρόμους.

Επιπλέον, στις αστικές περιοχές, εκπέμπονται πτητικές και ημιπτητικές οργανικές ενώσεις, οξείδια του αζώτου, τα οποία μετασχηματίζονται σε δευτερογενή νιτρικά και οργανικά αερολύματα, αντίστοιχα (Vallius, 2005). Τα άμεσα εκπεμπόμενα αερολύματα κάπνας ανήκουν στην κατηγορία της φάσης πυρηνοποίησης ( $0.01-0.05\mu\text{m}$ ; Σχήμα 1-1), ενώ εκείνα που έχουν παραμείνει στην ατμόσφαιρα, για κάποιο διάστημα, έχουν προλάβει να συσσωματωθούν, οπότε διαμορφώνουν μεγέθη ( $0.05-2.5\mu\text{m}$ ). Τα ΑΣ που προέρχονται από την τριβή των ελαστικών, έχουν μεγαλύτερο μέγεθος ( $3-30\mu\text{m}$ ) (Tasic et al., 2006).

Γενικά, τα ΑΣ που προέρχονται από την κυκλοφοριακή κίνηση εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις, κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, λόγω των αυξανόμενων εκπομπών και σε συνδυασμό με τις ανεπαρκείς συνθήκες φυσικού εξαερισμού και λόγω της γεωμετρίας των δρόμων και των κτηρίων, όπως π.χ. σε δρόμο με καναλισμό (canyon effect) (Vardoulakis et al., 2003).

Παράγοντες όπως οι οικιακές πηγές (κεντρική θέρμανση, σόμπες, τζάκι), οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας (που κάνουν χρήση λιγνίτη, πετρελαίου και βενζίνης) και τα βιομηχανικά πάρκα, αποτελούν τις σταθερές πηγές καύσεως. Το χειμώνα, η καύση άνθρακα και ξύλων, αποτελεί, κατά παράδοση, μία κύρια πηγή παραγωγής ΑΣ σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις (κυρίως της βόρειας Ευρώπης).

Όσον αφορά στα αερολύματα που προέρχονται από βιομηχανικές διαφεύγουσες πηγές, η συνεισφορά τους στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως, η γεωμορφία της περιοχής που βρίσκεται η βιομηχανική μονάδα, ο τύπος καυσίμου και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται (Vallius, 2005). Το μέγεθος των παραγόμενων βιομηχανικών αερολυμάτων εξαρτάται από τη φύση της πηγής ( $0.5-100\mu\text{m}$ ). Στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, συνήθως γίνεται χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων, τα οποία απομακρύνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπεμπόμενων αερολυμάτων (περίπου κατά 99.5%), με αποτέλεσμα μόνο τα ‘λεπτά’ σωματίδια να μπορούν να μεταφερθούν με τον άνεμο, συνεισφέροντας έτσι, στην αύξηση των συγκεντρώσεων των ΑΣ σε άλλες περιοχές (Tasic et al., 2006).

Η επαναιώρηση ΑΣ, περιλαμβάνει μηχανιστικές (φυσικές ή ανθρωπογενείς) διαδικασίες όπως, η διάβρωση του εδάφους και της επιφάνειας του οδοστρώματος, η

φθορά ελαστικών λόγω τριβής, η μεταφορά δομικών υλικών καθώς και η μεταφερόμενη από τον άνεμο σκόνη από τα κατασκευαστικά έργα. Οι διαδικασίες αυτές επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ (Sternbeck, 2002). Στην κατηγορία αυτή των ΑΣ, η επίδραση της γεωμετρίας των δρόμων και των κτηρίων στις συγκεντρώσεις των ΑΣ φαίνεται από τις διαφορές στις συγκεντρώσεις τους με τους σταθμούς υποβάθρου. Στους σταθμούς καταμέτρησης ΑΣ που υπόκεινται στο φαινόμενο του καναλισμού, η συνεισφορά ορυκτής σκόνης (mineral dust) στα ΑΣ<sub>10</sub> είναι υψηλή, σε σύγκριση με τους σταθμούς υποβάθρου, γεγονός που αποδεικνύει τη συνεισφορά της κυκλοφοριακής κίνησης στην επαναιώρηση σκόνης (Putuad, 2002).

Γενικά, οι χώρες με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ΑΣ, στα αστικά κέντρα τους, είναι, της Ασίας, Κίνα (Πεκίνο, Σαγκάη) (Zhang et al., 2004) και Ινδία (Ν. Δελχί) ενώ ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν κράτη της Αμερικής (Μεξικό, Σαντιάγο της Χιλής κ.α.). Συγκεκριμένα, μελέτες που έχουν διεξαχθεί στη Χιλή, σε πόλεις με μεγάλο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως το Santiago και το Temuco, δείχνουν ότι, οι πηγές των θειικών και του χλωρίου καθώς και οι εκπομπές από την κυκλοφοριακή κίνηση συνεισφέρουν περισσότερο από το 70% στα ΑΣ<sub>2.5</sub> (Artaxo et al., 1999; Kavouras et al., 2001a). Επίσης, βρεθηκε ότι εκπομπές από τα οχήματα και την καύση ξυλείας συνεισφέρουν μέχρι και 50% σε ΑΣ<sub>2.5</sub> της πόλης Temuco (Kavouras et al., 2001a).

Όσον αφορά στις «καθαρές πόλεις», δηλαδή εκείνες που δεν παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, αυτές επηρεάζονται κυρίως από τη μεταφορά ΑΣ από τις «ρυπασμένες» περιοχές. Κατά τη μεταφορά των ΑΣ, διάφοροι μηχανισμοί, όπως η διάλυση, μειώνουν τη συγκέντρωση και τον αριθμό τους, ενώ με τη συσσωμάτωση επιτυγχάνεται απομάκρυνση των μικρότερων σωματιδίων καθώς αυτά συγκρούονται με τα μεγαλύτερα (Putuad, 2002).

### 1.2.2 Πηγές ΑΣ εσωτερικού χώρου

Ο άνθρωπος καθημερινά εκτίθεται σε ΑΣ, όχι μόνο από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον αλλά και από το περιβάλλον της κατοικίας του καθώς και του εργασιακού χώρου. Κατά μέσο όρο, ο άνθρωπος περνάει περίπου το 80-90% του ημερήσιου χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους (Finlayson-Pitts, 2000; Jones, 1999; Long et al, 2001). Τα ΑΣ στους εσωτερικούς χώρους, επηρεάζονται από τη διείσδυση των σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον και τις απευθείας εκπομπές από πηγές εσωτερικού χώρου συμπεριλαμβανόμενης της επαναιώρησης των σωματιδίων λόγω των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός των κτιρίων (Tucker, 2000).

Η επιβάρυνση του αέρα εσωτερικού χώρου, από πηγές εντός της κατοικίας μπορεί να είναι σημαντική, με αύξηση μέχρι και 10 φορές των συγκεντρώσεων ΑΣ, σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου, σύμφωνα με μελέτες που έχουν διεξαχθεί στις ΗΠΑ (Pearson, 1991). Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (EPA) ο αέρας εσωτερικού χώρου μπορεί να είναι μέχρι και 70% πιο ρυπασμένος από τον εξωτερικό αέρα λόγω των διαφόρων δραστηριοτήτων. Συνέπεια των παραπάνω είναι, ο λόγος των συγκεντρώσεων ΑΣ εσωτερικού προς εξωτερικού χώρου να αυξάνεται αισθητά ( $>1$ ) σε σύγκριση με τις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν πηγές, οπότε και ο λόγος είναι  $<1$ .

Ο χαμηλός, φυσικός, ρυθμός ανανέωσης του αέρα (κάτω των 10L/s ανά άτομο), σε εσωτερικούς χώρους, επιβαρύνει το εσωτερικό περιβάλλον και συσχετίζεται με εμφάνιση των «συμπτωμάτων άρρωστων κτιρίων» (SBS). Ο τεχνητός μηχανισμός ανανέωσης του αέρα μπορεί να συντελέσει στην επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα εσωτερικού χώρου, λόγω κακού σχεδιασμού, κακής λειτουργίας και συντήρησης των συστημάτων αερισμού (Seppanen et al., 2004). Σύμφωνα με μελέτες, ένας επιπρόσθετος παράγοντας επιβάρυνσης του εσωτερικού περιβάλλοντος, αποτελεί η εφαρμογή των τεχνικών στην κατασκευή κτιρίων, με τη χρήση συνθετικών δομικών υλικών, τα οποία δεν είναι ιδιαίτερα φιλικά για τον άνθρωπο (Jones, 1999).

Ο αριθμός πηγών εσωτερικού χώρου που έχουν καταγραφεί είναι μεγάλος. Οι περισσότερες οφείλονται σε δραστηριότητες των ανθρώπων, οι εκπομπές των οποίων έχουν μελετηθεί αρκετά. Σύμφωνα με σχετικές μελέτες, οι πιο σημαντικές πηγές

περιλαμβάνουν: το κάπνισμα, το μαγείρεμα, τη θέρμανση με καύση κηροζίνης και ξυλείας, την καύση κεριών, τη χρήση σπρέυ κ.α. (Tuckett et al., 1998; Long et al., 2000; He et al., 2004; Codish, 1989). Άλλες πηγές ή ανθρώπινες δραστηριότητες που συνεισφέρουν στην αύξηση των επιπέδων των σωματιδίων εσωτερικού χώρου είναι, η επαναιώρηση σωματιδίων, από την κίνηση των ανθρώπων που διαμένουν στο κτίριο, τα κατοικίδια ζώα, το καθάρισμα (ξεσκόνισμα, σκούπισμα, χρήση ηλεκτρικής σκούπας), η χρήση ντους, η λειτουργία υγραντήρων, οι ηλεκτροκίνητες μηχανές κ.α. (Monn et al., 1995; Tucker, 2000). Στις περισσότερες μελέτες, η καταγραφή των συγκεντρώσεων γίνεται σε ελεγχόμενες συνθήκες και όχι σε συνθήκες κανονικής διαβίωσης.

Από όλες τις παραπάνω δραστηριότητες, αυτές που σχετίζονται άμεσα με διαδικασίες καύσης θεωρούνται πιο παραγωγικές σε ΑΣ. Από τις πιο σημαντικές πηγές, το κάπνισμα, συμβάλλει στην αύξηση μέχρι και 4.5 φορές τις συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>2.5</sub> (Brauer et al., 2000). Ο καπνός του τσιγάρου περιέχει ΑΣ μεγέθους 0.1-0.7μm (Li et al., 1993). Σε πολλές μελέτες, ως δεύτερη πιο σημαντική πηγή, αναγνωρίζεται το μαγείρεμα (Wallace, 1996; Li et al., 1993) ενώ αναγνωρίζεται και η σημαντικότητα άλλων πηγών όπως το καθάρισμα και το βάδισμα των ανθρώπων (Abt et al., 2000). Τα σωματίδια που παράγονται από το μαγείρεμα εξαρτώνται από τον τύπο φαγητού που μαγειρεύεται, ανεξάρτητα από τον τύπο κουζίνας που χρησιμοποιείται (Afshari 2005). Γενικά, το μαγείρεμα, το καθάρισμα και οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός της κατοικίας αυξάνουν σημαντικά τη συγκέντρωση των ΑΣ με αεροδυναμική διάμετρο 1-2μm (Abt et al., 2000). Η καύση κεριών αυξάνει κατά πολύ τον αριθμό των πολύ λεπτών σωματιδίων 0.03-3μm, τα οποία λόγω μεγέθους παραμένουν αιωρούμενα για σημαντικό χρονικό διάστημα (Fine et al. 1999; Cole 1998; Afshari, 2005).

### 1.3 Έκθεση του ανθρώπου σε αερολύματα και επιπτώσεις στην υγεία

Σύμφωνα με μελέτες, η προσωπική έκθεση του ανθρώπου σε ΑΣ, είναι αυξημένη σε σχέση με τις συγκεντρώσεις εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου στις οποίες εκτίθεται. Η αύξηση αυτή, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει και το 50%, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το γεγονός αυτό, οδήγησε τους επιστήμονες στο συμπέρασμα ότι, καθώς η προσωπική έκθεση (ΠΕ) του ανθρώπου είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων όπως των συνθηκών που επικρατούν στο περιβάλλον, των συνθηκών εντός της κατοικίας και του χώρου εργασίας, υπάρχει και μια άλλη παραμέτρος, την οποία ονόμασαν «προσωπικό νέφος», η οποία δεν έχει προσδιοριστεί ακριβώς και αποδίδεται στο ότι πιθανώς ο άνθρωπος να βρίσκεται κοντά σε πηγές σωματιδίων εσωτερικού χώρου (μαγείρεμα, ξεσκόνισμα κ.α.) (Wallace 1996; Rodes et al., 1991).

Οι επιπτώσεις του ακατάλληλου εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων στους εργαζόμενους και γενικότερα στους ανθρώπους που περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας τους μέσα στα κτίρια, μπορεί να είναι σοβαρές (Μπαλαράς et al., 2007). Ακόμη και αν το εσωτερικό περιβάλλον δεν είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένο με ρύπους, το γεγονός ότι τα άτομα παραμένουν στους χώρους αυτούς για μεγάλα χρονικά διαστήματα, αυξάνει τη διάρκεια έκθεσης. Οι δυσμενείς επιπτώσεις, λόγω έκθεσης σε εσωτερικούς χώρους είναι οι εξής:

- Σύνδρομο αρρώστων κτιρίων (Sick Building Syndrome), όπου οι επιπτώσεις εξαφανίζονται με την απομάκρυνση από το κτίριο.
- Ασθένειες σχετιζόμενες με κτήρια (λόγω έκθεσης σ' αυτά).
- Πολλαπλή ευαισθησία σε χημικά (International Laboratory of Air Quality and Health).

Ένας σημαντικός παράγοντας για τις επιπτώσεις των ΑΣ στην υγεία του ανθρώπου είναι το μέγεθός τους το οποίο καθορίζει τους μηχανισμούς εισαγωγής και απομάκρυνσής τους από τον ανθρώπινο οργανισμό.

### 1.3.1 Μηχανισμοί εισαγωγής και απομάκρυνσης των αερολυμάτων στον ανθρώπινο οργανισμό.

Κατά την έκθεση του ανθρώπου σε περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις αερολυμάτων, αυτά μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό με δύο μηχανισμούς, της αναπνοής και της κατάποσης. Η αναπνοή αποτελεί την κύρια διαδικασία αλλά καθώς τα αερολύματα εναποτίθενται στις υδάτινες επιφάνειες, εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό και με τη διαδικασία της κατάποσης.

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα μεταφερθούν και το πως θα αντιδράσουν μέσα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου είναι το μέγεθος, το σχήμα, η πυκνότητα και η δραστικότητα τους (ηλεκτρικό φορτίο επιφανείας). Οι μηχανισμοί εναπόθεσης των αερολυμάτων είναι τρεις: η ενσφήνωση, η καθίζηση και η διάχυση. Το πού θα επικαθήσουν μέσα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, εξαρτάται κυρίως από την αεροδυναμική τους διάμετρο (da) καθώς και από άλλους παράγοντες. Συνοπτικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν την εναπόθεση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σύμφωνα με το International Laboratory of Air Quality and Health είναι:

- Οι φυσικο-χημικές ιδιότητες των ΑΣ: μέγεθος σωματιδίου/ κατανομή ανά μέγεθος, πυκνότητα, σχήμα, υγροσκοπικός / υγροφοβικός χαρακτήρας, χημικές αντιδράσεις.
- Η ανατομία του αναπνευστικού σωλήνα: διάμετρος, μήκος, γωνίες τμημάτων αεραγωγών.
- Η φυσιολογία της αναπνευστικής οδού (airflow pattern, breathing pattern).

Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (ΕΡΑ) των ΗΠΑ και τα Εθνικά Επίπεδα Ποιότητας Ατμοσφαιρικού Αέρα (NAAQS), «αναπνεύσιμα σωματίδια» είναι αυτά με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm (ΑΣ<sub>10</sub>) (Σχήμα 1-3). Κατά την είσοδό τους στον ανθρώπινο οργανισμό τα ΑΣ, επιδρούν στην αναπνευστική οδό και τους πνεύμονες με διάφορους μηχανισμούς. Στη συνέχεια, απορροφούμενα από το αίμα (αυτά με την μικρότερη αεροδυναμική διάμετρο) μεταφέρονται σε όλο το σώμα.

Από τη συσχέτιση της αεροδυναμικής διαμέτρου των αερολυμάτων με το κλάσμα εναπόθεσής τους (Σχήμα 1-3) φαίνεται ότι, ανάλογα με το σημείο εναπόθεσής τους, στον

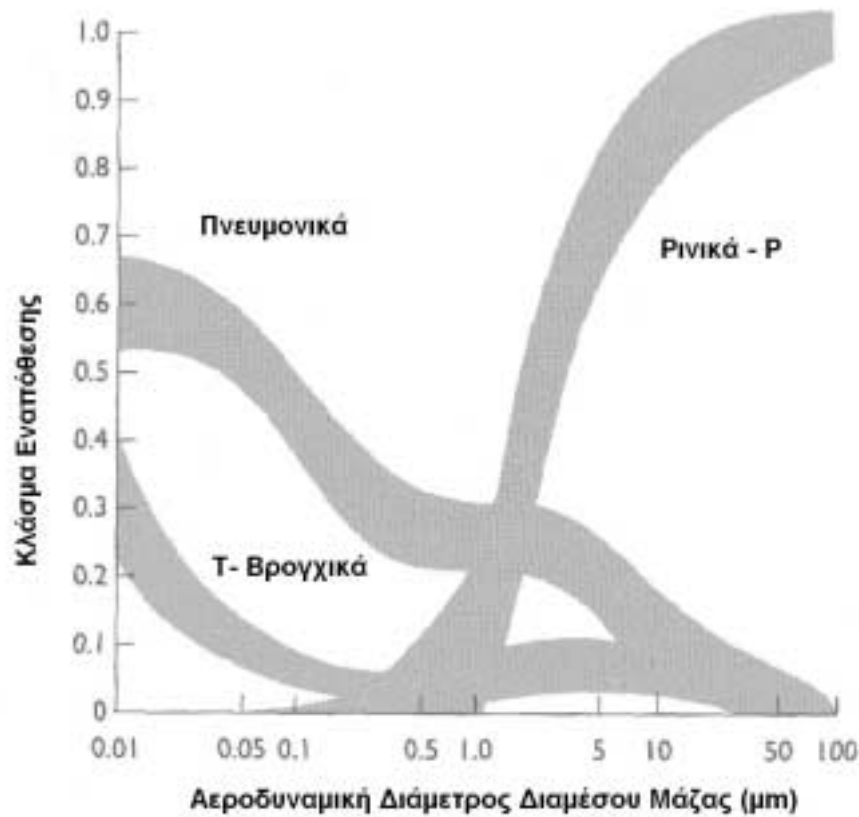
ανθρώπινο οργανισμό, τα ΑΣ με  $da > 2.5\mu m$  αναφέρονται ως «ρινικά», με το κλάσμα εναπόθεσης τους να αυξάνεται ραγδαία καθώς αυξάνεται η αεροδυναμική τους διάμετρος. Τα ΑΣ με  $da < 2.5\mu m$ , ανήκουν στην κατηγορία των «πνευμονικών», ενώ τα πολύ μικρά ( $da < 0.1\mu m$ ), τα οποία μπορούν να εισέλθουν στους βρόγχους, αναφέρονται και ως βρογχικά (T-bronchial).

Ο τρόπος με τον οποίο αναπνέει ο άνθρωπος, επηρεάζει την επικινδυνότητα των μικρών, σε μέγεθος, αερολυμάτων. Η αύξηση της συχνότητας των αναπνοών (αναπνοές/min) συνεπάγεται αύξηση της ταχύτητας του αέρα στους αεραγωγούς, ενίσχυση της ενσφήνωσης και μείωση της καθίζησης και της διάχυσης (Καρακατσάνη, 2007). Τα περισσότερα ΑΣ με διάμετρο μεγαλύτερη των  $10\mu m$  ( $da > 10\mu m$ ) και περίπου το 60-80% των σωματιδίων με διάμετρο 5- $10\mu m$  παγιδεύονται στην ρινοφαρυγγική περιοχή (Σχήμα 1- 4). Οι μηχανισμοί εναπόθεσης των πιο μεγάλων ΑΣ, είναι η πρόσκρουση, η καθίζηση και πιθανώς η αναχαίτιση.

Σε αντίθεση με τα αδρά ΑΣ, αυτά με  $da < 2.5\mu m$  (λεπτά ΑΣ) θεωρούνται πιο επικίνδυνα καθώς διαμέσου της αναπνοής, εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες. Τα λεπτά ΑΣ, παρακάμπτουν πολλούς από τους αμυντικούς μηχανισμούς του αναπνευστικού συστήματος, όπως τον βλεννοκροσσώτο μηχανισμό, μεταφέροντας έτσι αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις επικίνδυνων ουσιών, με αποτέλεσμα να προκαλούν συχνά σοβαρές ζημιές σε κυτταρικό επίπεδο. Αντίθετα, τα σωματίδια διαμέτρου  $2\mu m$  παγιδεύονται στο βλεννοκροσσώτο της μύτης πριν φτάσουν στους πνεύμονες, αλλά η εισπνοή από το στόμα, διευκολύνει την εισχώρηση των σωματιδίων που φτάνουν στους πνεύμονες (Li, et al. 1993).

Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των ΑΣ, είναι κοινοί για όλα τα αερολύματα και εξαρτώνται από την περιοχή στην οποία έχουν εναποτεθεί, τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους και τη συγκέντρωση μάζας ή του αριθμού των αερολυμάτων που έχουν καθιζάνει στην επιφάνεια.

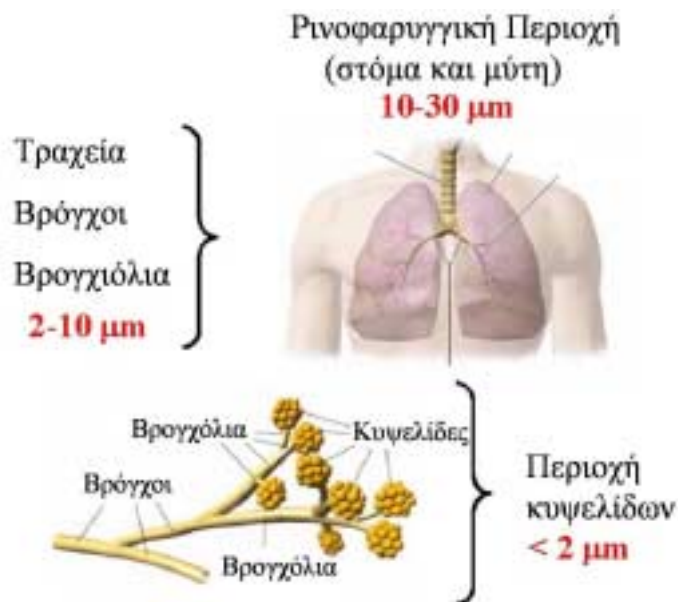
**Σχήμα 1-3:** Συσχέτιση του κλάσματος εναπόθεσης των ΑΣ με την αεροδυναμική τους διάμετρο, σύμφωνα με μοντέλο της ΕΕ.



Το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου έχει διάφορους μηχανισμούς με τους οποίους απομακρύνει τα αερολύματα. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο διεργασίες που δρουν ανταγωνιστικά:

- Τη μεταφορά αερολυμάτων προς το γαστρεντερικό σύστημα και τους λεμφαδένες αλλά και από το ένα μέρος του αναπνευστικού συστήματος σε άλλο. Η μεταφορά πραγματοποιείται με το στρώμα της βλέννας και τη λειτουργία των βλεφαρίδων καθώς και με τη δράση των μακροφάγων κυττάρων. Στην περιοχή εκτός θώρακα επιδρούν άλλοι μηχανισμοί όπως ο βήχας (Λαζαρίδης, 2008).
- Την απορρόφηση στο αίμα. Η μεταφορά των συστατικών των σωματιδίων ακόμα και των πολύ μικρών γίνεται μέσω του αίματος. Πραγματοποιείται σε δύο γενικά στάδια, τη διάσπαση των σωματιδίων στα συστατικά τους και τη διάλυσή τους στο αίμα (Λαζαρίδης, 2008).

**Σχήμα 1- 4:** Μορφολογία των πνευμόνων και επικάθιση ΑΣ ανάλογα με το μέγεθός τους.



### 1.3.2 Επικινδυνότητα αερολυμάτων και επιπτώσεις στην υγεία

Μία σημαντική παράμετρος των αερολυμάτων, για τις μετέπειτα επιπτώσεις τους στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι η τοξικότητα. Ανάμεσα στα χαρακτηριστικά των αερολυμάτων που επηρεάζουν την τοξικότητά τους, είναι το μέγεθος, το ηλεκτρικό φορτίο επιφανείας και η υγροσκοπικότητα. Η τελευταία ιδιότητα επηρεάζει και την διαλυτότητα των αερολυμάτων, η οποία αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για τον προσδιορισμό της τοξικότητάς τους. Τα διαλυτά σωματίδια, μπορεί να έχουν μικρή ή καθόλου τοξικότητα ή να εμφανίζουν συστηματική τοξικότητα, ενώ τα αδιάλυτα σωματίδια είναι πολύ πιθανό να εμφανίζουν υψηλή τοξικότητα (Καρακατσάνη, 2007).

Οι προαναφερθέντες παράγοντες, όπως η τοξικότητα και ο βαθμός εισχώρησης των αερολυμάτων στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι επικίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου. Επιδημιολογικές μελέτες, στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη, δείχνουν συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων αερολυμάτων και της εμφάνισης κάρδιο-αναπνευστικών και αγγειακών νοσημάτων, αύξησης των εισαγωγών σε νοσοκομεία και αύξησης της θνησιμότητας (Harisson et al., 1997; Dockery et al. 1993; Pope et al. 1995; Liao et al. 1999).

Σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη στις Η.Π.Α. (Harvard Six Cities), παρατηρήθηκαν συσχετίσεις των  $AS_{2.5}$  με θνησιμότητα από καρδιαγγειακά προβλήματα, πιο συγκεκριμένα από ισχαιμικά επεισόδια (έχουν προθρομβωτικά αποτελέσματα), αρρυθμίες και ανακοπή καρδιάς (Pope et al. 2006). Επίσης, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε κατοίκους του Los Angeles, τα  $AS_{2.5}$  συσχετίστηκαν με την εμφάνιση αθηροσκλήρωσης, η οποία συνεργεί στην εμφάνιση καρδιαγγειακών και εγκεφαλικών περιστατικών (Pope et al. 2006). Ακόμη, η βραχυχρόνια έκθεση σε  $AS$  συσχετίζεται με αύξηση των περιστατικών έκτακτης νοσηλείας και του θανάτου από καρδιακή προσβολή. Συγκεκριμένα, μελέτη που διεξήχθη σε 9 πόλεις των Η.Π.Α., έδειξε μικρή αλλά στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των  $AS_{10}$  και της εμφάνισης ισχαιμικού επεισοδίου (Pope et al. 2006). Άλλες μελέτες, καταδεικνύουν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων  $AS_{10}$  και της αύξησης της θνησιμότητας από καρκίνο του πνεύμονα και του αυξημένου ρυθμού εμφάνισης νοσημάτων (Abbey et al, 1999; Harrison et al, 1997; Dockery et al., 1993; Pope et al. 1995; Schlesinger, 1995).

Τα στατιστικά αποτελέσματα σχετικών μελετών, δεν είναι καθόλου ενθαρρυντικά. Πλήθος μελετών και ερευνητικών προγραμμάτων, έχουν καταδείξει συσχέτιση της αύξησης της συγκέντρωσης  $AS$  με την εμφάνιση σοβαρών νοσημάτων που μπορεί να καταλήξουν σε θάνατο. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Dockery και Pope (1997), παρατηρήθηκε συσχέτιση της αύξησης της θνησιμότητας κατά 1% με αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης των  $AS_{10}$  κατά  $10\mu g/m^3$ , ενώ σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Ευρωπαϊκού προγράμματος APHEA παρατηρείται 0.6% αύξηση στην ημερήσια ολική θνησιμότητα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος APHEA2 (Aga et al., 2003), η αύξηση των ημερήσιων συγκεντρώσεων  $AS_{10}$  κατά  $10\mu g/m^3$ , συνδέθηκε με ημερήσια αύξηση του αριθμού θανάτων από 0 μέχρι 1.7%. Επίσης, βρέθηκε υψηλή συσχέτιση, της αύξησης των  $AS_{10}$  κατά  $10\mu g/m^3$ , με την αύξηση της θνησιμότητας λόγω καρδιαγγειακών νοσημάτων (περίπου 1.4% ανά  $10\mu g/m^3$   $AS_{10}$ ) και με τη θνησιμότητα λόγω αναπνευστικών προβλημάτων (περίπου 3.4% ανά  $10\mu g/m^3$   $AS_{10}$ ) (Wilson and Spengler, 1996). Ειδικά, για τους θανάτους από καρδιακές και αναπνευστικές αιτίες, η παρατηρούμενη αύξηση των περιστατικών είναι 0.7 – 0.8% (Κατσουγιάννη, 2007).

Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες, υπάρχει ακόμη αρκετή αβεβαιότητα, καθώς υπάρχουν κενά, στο κατά πόσο τα αερολύματα που προέρχονται από ατελή καύση μπορεί να συμβάλλουν σε μικρή αύξηση του κινδύνου εμφάνισης καρκίνου των πνευμόνων (Pope et. al., 2006). Τέλος, δεν υπάρχει ένδειξη για το ποια φυσική ή χημική ιδιότητα των ΑΣ είναι υπεύθυνη γι' αυτά τα αποτελέσματα. Πάντως, πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα ΑΣ<sub>10</sub> σχετίζονται περισσότερο με αναπνευστικά προβλήματα ενώ τα ΑΣ<sub>2.5</sub> με καρδιαγγειακά (Wyzga, 2002). Μερικά στατιστικά αποτελέσματα από τις επιπτώσεις των ΑΣ<sub>10</sub> παρουσιάζονται στον Πίνακα 1-2 (Health Effect Institute, 2000).

Πίνακας 1-2: Στατιστικά αποτελέσματα από τις επιπτώσεις των ΑΣ<sub>10</sub>, προσαρμοσμένα από το Health Effect Institute (2000).

| Επίπεδο ΑΣ <sub>10</sub><br>στο περιβάλλον<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Αύξηση<br>Θνησιμότητας<br>(%) | Νοσηλεία για<br>καρδιακά<br>νοσήματα (%) | Νοσηλεία για<br>πνευμονία &<br>COPD (%) |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 10                                                                 | 0.5                           | 1                                        | 2                                       |
| 50                                                                 | 2.5                           | 5                                        | 10                                      |
| 65                                                                 | 4                             | 6.5                                      | 13                                      |
| 100                                                                | 5                             | 10                                       | 20                                      |
| 150                                                                | 7.5                           | 15                                       | 30                                      |

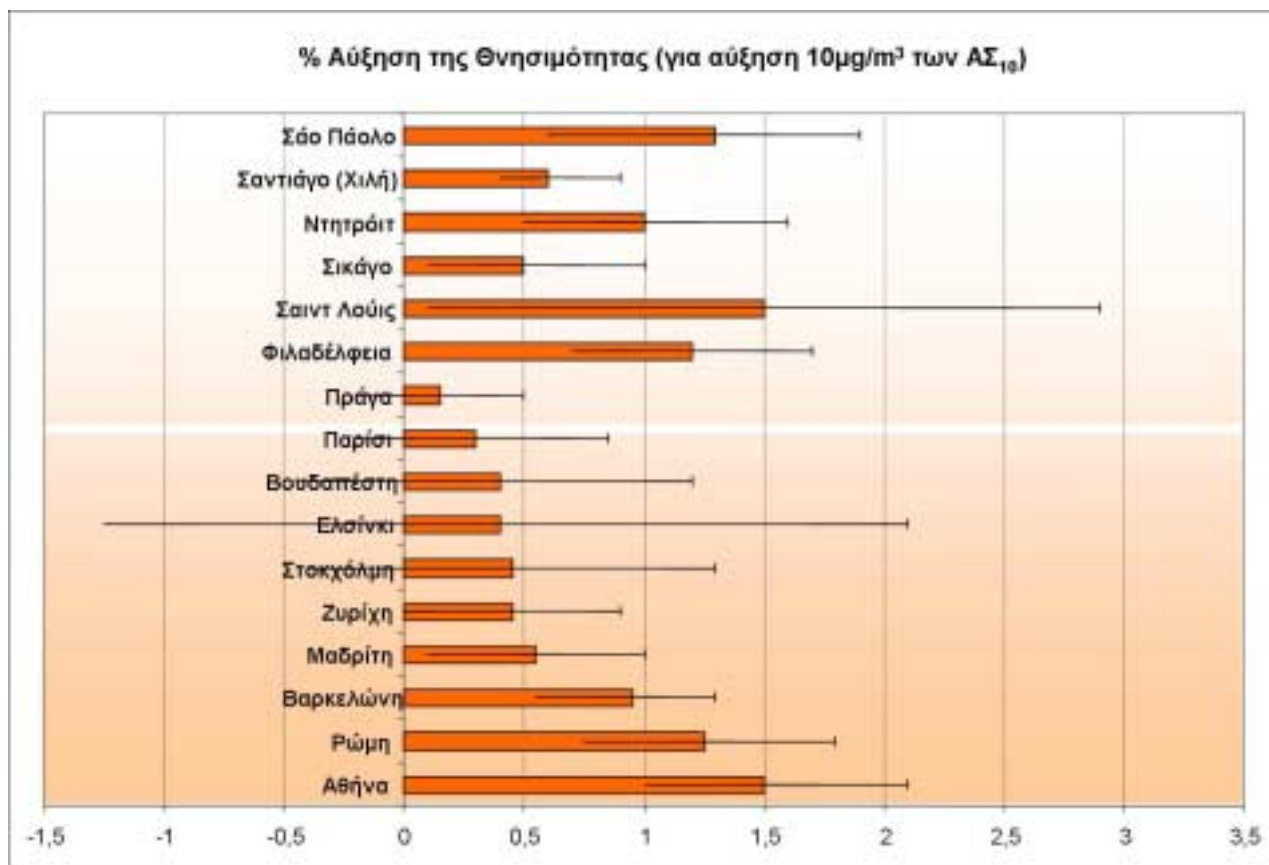
Σύμφωνα με ιατρικές μελέτες, οι επιπτώσεις των αερολυμάτων στην υγεία του ανθρώπου, μπορεί να είναι τόσο άμεσες ή βραχυχρόνιες (ερεθισμός λαιμού, βήχας, δύσπνοια κ.α.), όσο και μακροχρόνιες (συνέργεια στην εκδήλωση νοσημάτων όπως: άσθμα, βρογχίτιδα, τοξικότητα κ.α.). Στην πραγματικότητα, υπάρχει μια χρονική συνέχεια στις επιδράσεις αλλά οι μηχανισμοί δεν έχουν γίνει ακόμα πλήρως κατανοητοί (Pope et al. 2006).

Συνοπτικά, τα βασικά σημεία επίδρασης των αερολυμάτων στην υγεία του ανθρώπου είναι:

- Εξασθένιση της λειτουργίας των πνευμόνων.
- Αυξανόμενα αναπνευστικά συμπτώματα όπως βήχας, προβλήματα στην αναπνοή (shortness of breath), βρογχίτιδα, φτέρνισμα και κρίσεις άσθματος.
- Χρόνια αναπνευστική αποφρακτική νόσος (COPD: chronic obstructive pulmonary disease).
- Αναπνευστικό και οξειδωτικό στρες, φλεγμονή, αθηροσκλήρωση και συσχετιζόμενα καρδιαγγειακά νοσήματα.
- Πιθανή εμφάνιση καρκίνου των πνευμόνων.

Οι πιο ευάλωτες ομάδες θεωρούνται τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι. Επίσης, όσοι πάσχουν από άσθμα, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (COPD) ή αναπνευστική αλλεργία είναι πιο ευαίσθητοι στα βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα των αερολυμάτων, με την κατάστασή τους να επιβαρύνεται κατά την εκθεσή τους σ'αυτά (Pope et al. 2006). Σύμφωνα με μελέτες, αύξηση κατά  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  στη μέση ημερήσια συγκέντρωση των  $\text{A}\Sigma_{10}$  συσχετίστηκε με αύξηση των συμπτωμάτων του κατώτερου αναπνευστικού κατά 3% (Harrison et al., 1997; Dockery et al. 1993; Pope et al. 1995). Στο Σχήμα 1-5, φαίνονται αποτελέσματα μελέτης κατά την οποία, αύξηση των  $\text{A}\Sigma_{10}$  κατά  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θνησιμότητας, σε αυξημένο ποσοστό, σε αρκετές πόλεις όπως: το Σάο Πάολο, το Ντητρόιτ, το Σάιντ Λούις, η Ρώμη και η Αθήνα (Katsouyanni et al., 2001).

Σχήμα 1-5: Ποσοστιαία αύξηση της θνησιμότητας σε αύξηση των  $AS_{10}$  κατά  $10\mu g/m^3$ , για διάφορες πόλεις (Katsouyanni et al., 2001; Dockery και Pope, 1994, ενημερώθηκε από τους Wilson και Spengler).



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Abbey D. E., Nishino N., Mac Donnell W. F., Burchette R. J., Knutsen S. F., Beeson W. L., and Yang J. X., 1999: Long-Term Inhalable Particles and Other Air Pollutants Related to Mortality in Nonsmokers, *American Journal Respir. Crit. Care Med* Vol 159, pp 373–382.

Abdalati W and Steffen Konrad, 1997: Snowmelt on the Greenland Ice Sheet as Derived by Passive Microwave Satellite Data. *Journal of Climate*, Vol. 10, pp. 165 - 175.

Abt E., Suh H., Catalano P. and Koutrakis P., 2000: Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentrations, *Environ. Sci. Technol.*, 34, pp. 3579–3587.

Afshari A., Matson U., Ekberg L. E., 2005: Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber, *Indoor Air*, 15: 141–150.

Aga E., Samoli E., Touloumi G., Anderson H. R., Cadum E., Forsberg B., Goodman P., Goren A., Kotesovec F., Kriz B., Macarol-Hiti M., Medina S., Paldy A., Schindler C., Sunyer J., Tittered P., Wojtyniak B., Zmirou Schwartz D., J., Katsouyanni K., 2003: Short-term effects of ambient particles on mortality in the elderly: results from 28 cities in the APHEA2 project, *European Respiratory Journal*, Vol. 21: Suppl. 40, pp. 28–33.

Artaxo P., Oyola P., Martinez R., 1999: Aerosol Composition And Source Apportionment in Santiago De Chile, *INIST-CNRS*, Vol. 150, no1-4, pp. 409-416.

Brauer, M., Hirtle, R., Lang, B., Ott, W., 2000: Assessment of indoor fine aerosol contributions from environmental tobacco smoke and cooking with a portable nephelometer, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 10, No 2, pp.136–144.

Charlson R. J., Schwartz S. E., Hales J. M., Cess R. D., Coakley Jr. J. A., J. E. Hansen, and Hofmann D. J., 1992: Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols, *Science* 24 January 1992: Vol. 255, no. 5043, pp. 423 – 430.

Clappier A, Martilli A., Grossi P, Thunis P., Pasi F., Krueger B. C., Calpini B., Graziani G, van den Bergh H, 2000: Effect of sea breeze on air pollution in the greater Athens

area. Part I: Numerical simulations and field observations, *Journal of Applied Meteorology*, 39 (4), pp. 546 – 562.

Codish T., 1989: Indoor air pollution control (book), Technology and Industrial Arts.

Cole C., 1998: Candle Soot Deposition and Its Impacts on Restorers, USA, Sentry Construction Company.

Collins, W. D.; Washington, W. M.; Meehl, G. A., 2004: Effects of Aerosols on the Climate and Ecosystem of Northern Eurasia: Results from Global Models, American Geophysical Union, Fall meeting, A24C-06.

Cvitas, T., Guesten, H., Heinrich, G., Klasnic, L., Lalas, D. P., Petrakis, M , 1985: Characteristics of air pollution during the summer in Athens, Greece. *Staub Reinhaltung der Luft*, Vol. 45, pp. 297-301.

Dockery D. W. and Pope C. A. III, 1997: Topics in Environmental Epidemiology, Oxford University Press.

Dockery, D. W., Pope, C. A. III, Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G. and Speizer, F. E., 1993: An association between air pollution and mortality in six U.S. cities., *New England Journal of Medicine*, Vol. 329, pp. 1753-1808.

Fine, P.M., Cass, G. R. and Simoneit, B. R. T., 1999: Characterization of fine particle emissions from burning church candles, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 33, pp. 2352–2362.

Finlayson-Pitts B. J., Pitts J. N., 2000: Chemistry of the upper and lower atmosphere (book), Chapter 9, Elsevier Inc.

Flokas H. A., Assimakopoulos V. D., Helmis C. G., Gusten H, 2003: VOC and O<sub>3</sub> distributions over densely populated area of greater Athens, Greece, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 42, no 12, pp. 1799- 1810.

Gramotnev G., 2004 Experimental investigation of ultra-fine particle size distribution near a busy road Galina Gramotnev, Zoran Ristovski, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 1767–1776.

Harrison R. M., Yin J., Mark D., Stedman J., Appleby R. S., Booker J., Moorcroft S., 2001: Studies of the coarse particle (2.5-10 $\mu$ m) component in UK urban atmospheres, *Atmospheric Environment*, Vol 35, pp. 366-3679.

Harrison, R. M., Deacon, A. R. and Jones, M. R., 1997: Sources and Processes Affecting Concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Particulate Matter In Birmingham (U.K.), *Atmospheric Environment*, Vol. 31, No. 24, pp. 4103-4117.

He C., Morawska L, Hitchins J., Gilbert D., 2004: Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses, *Atmospheric Environment* 38, 3405-3415.

Health Effect Institute (2000).

Hinds W. C., 1999: *Aerosol Technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles* (Wiley-Interscience), book, chapter 14.

Internacional Laboratory of Air Quality and Health.

IPCC 2007, *Climate Change 2007, The physical science basis*.

Jacob D. J., 1999: *Introduction to Atmospheric Chemistry*, Princeton University Press, (book) Chapter 8: Aerosols.

Jones A. P., 1999: Indoor air quality and health, *Atmospheric Environment*, Vol 33, pp. 4535– 4564.

Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E., Gryparis A., Le Tertre A., Monopolis Y., Rossi G., Zmirou D., Ballester F., Boumghar A., Anderson H. R., Wojtyniak B., Paldy A., Braunstein R., Pekkanen J., Schindler Ch., Schwartz J., 2001: 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, pp. 521–31.

Kavouras I. G., Koutrakis P., Tsapakis M., Lagoudaki E., Stephanou E., Von Baer D. and Oyola P., 2001<sup>a</sup>: Source Apportionment of Urban Particulate Aliphatic and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Using Multivariate Methods, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 35, pp. 2288-2294.

- Kavouras, I.G., Mihalopoulos, N., Stephanou, E.G., 1998: Formation of atmospheric particles from organic acids produced by forests, *Nature*, Vol. 395, pp. 683-686.
- Kim YJ, Kim KW, Kim SD, Lee BK, Han JS, 2006: Fine particulate matter characteristics and its impact on visibility impairment at two urban sites in Korea: Seoul and Incheon, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp. 593-605.
- Lazaridis M., Semb A., Larssen S., Hjellbrekke A. G., Hov O., Hanssen J. E., Schaugh J., Torseth K., 2002: Measurements of particulate matter within the framework of the European Monitoring and Evaluation / Programme EMEP I. First results, *The Science of the Total Environment*, Vol. 285, pp. 209-235.
- Lelieveld J., Crutzen P.J., Ramanathan V. et al., 2001: The Indian ocean experiment : Widespread air pollution from south and southeast Asia, *Science*, Vol. 291, no 5506, pp. 1031- 1036.
- Leysen L., Roekens E. and Van Grieken R., 1989: Air-Pollution-Induced chemical decay of a sandy-limestone cathedral in Belgium, *The Science of the Total Environment*, Vol. 78, pp. 263-287.
- Li C. S., Lin W. H., Jenq F. T, 1993: Removal efficiency of particulate matter by a range exhaust fan environment international, Vol. 19, No 4, pp. 371-380.
- Li Wei, Hopple PK., 1993: Initial size distributions of hygroscopicity of indoor combustion aerosol particles, *Aerosol Science & Technology*, Vol. 19, No2, pp. 305-316.
- Liao D., Creason J., Shy C., Williams R., Watts R., and Zweidinger R., 1999: Daily variation of particulate air pollution and poor cardiac autonomic control in the elderly., *Environ Health Perspect.* 1999 July; Vol. 107, No 7, pp. 521–525.
- Lohmann U., 2002: A glaciation indirect aerosol effect caused by soot aerosols, *Geophysical research letters*, Vol. 29, No 4.
- Long C., Suh H. H. and Koutrakis P., 2000: Particle sources using continuous mass and size monitors, *Air and Waste Management Association*, Vol 50, pp. 1236 – 1250.

Long C., Suh H., Catalano P. and Koutrakis P, 2001: Using Time- and Size-Resolved Particulate Data To Quantify Indoor Penetration and Deposition Behavior, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 35, pp. 2089-2099.

Monn C.H., Braendli O., Schaepi G., Schindler C.H., Ackermann-Liebrich U., Leuenberger P. H. ¶ and Sapaldia team, 1995: Particulate matter < 10µm (PM<sub>10</sub>) and Total Suspended Particulates (TSP) in urban, rural and Alpine air in Switzerland, *Atmospheric Environment* Vol. 29, No. 19, pp. 2565-2573.

National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) (website: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>)

Ozer P, Laghdaf MBOM, Lemine SOM, Gassani J, 2007: Estimation of air quality degradation due to Saharan dust at Nouakchott, Mauritania, from horizontal visibility data, *Water Air and Soil Pollution*, Vol. 178, (1-4), pp. 79-87.

Pandis S. N., Harley R. A., Cass G. R., 1992: Seinfeld Secondary organic aerosol formation and transport., *J. H. Atmospheric Environment*, Vol. 26A, No. 13, pp. 2269-2282.

Paul Scherrer Institute, Laboratory for Radiochemistry & Environmental Chemistry, website: <http://lch.web.psi.ch/webcontent/research/radionuc/>.

Pearson D., 1991: *The Natural House Book*, Conran Octopus, London.

Petrakis M., Psiloglou B., Kassomenos P. A., Cartalis C., 2003: Summertime measurements of benzene and toluene in Athens using a differential optical absorption spectroscopy system, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 53, No 9, pp. 1052 – 1064.

Pope C. A., Dockery D. W., 2006: Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect, *Air and Waste Management Association*, Vol. 56, pp. 709- 742.

Pope, C.A. III, Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E. and Heath, C. W., 1995: Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 151, pp. 669-674.

Putuad J. - P., 2002: A European Aerosol Phenomenology (report).

Rex M., Salawitch R. J., Deckelmann et al., 2006: Arctic winter 2005: Implications for stratospheric ozone loss and climate change, *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, No 23, art. no. L23808.

Rignot E., Jacobs S., 2002: Rapid Bottom Melting Widespread near Antarctic Ice Sheet Grounding Lines, *Science*, Vol 296, No 5575, pp. 2020-2023.

Rodes C. E., Kamens R. M., and Wiener R. W., 1991: The Significance and Characteristics of the Personal Activity Cloud on Exposure Assessment Measurements for Indoor Contaminants, *Indoor Air*, Vol. 2, pp. 123-145.

Schlesinger R. B., 1995: Toxicological evidence for health effects from inhaled particulate pollution: Does it support the human experience ?, *Inhalation Toxicology*, Vol. 7, No. 1., pp. 99 – 109.

Seinfeld J. and Pandis S., 1997: *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Changes*, John Wiley & Sons, London, England.

Seppanen O. A. and Fisk W. J., 2004: Summary of human responses to ventilation, *Indoor Air*, Vol. 14, pp. 102-118.

Sternbeck J., Sjodin A., Andreasson K., 2002: Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension - results from two tunnel studies, *Atmospheric Environment* Vol. 36, pp. 4735 – 4744.

Tasic M, Rajsic S., Novakovic V., Mijic Z., 2006: Atmospheric aerosols and their influence on air quality in urban areas, *Physics, Chemistry and Technology*, 4, no 1, pp. 83-91.

Torfs K. and Grieken R. Van, 1997: Chemical relations between atmospheric aerosols, deposition and stone decay layers on historic buildings at the Mediterranean coast, *Atmospheric Environment*, Vol. 31, Issue 15, pp. 2179- 2192.

Tucker W. G., 2000: An overview of PM<sub>2.5</sub> sources and control strategies, *Fuel Processing Technology*, 65–66, pp. 379–392.

Tuckett C. J., Holmes P., Harrison P. T. C., 1998: Airborne particles in home, J. Aerosol Science, Vol. 29, pp. 293 – 294.

Vallius M., Heinrich J., Hoek G., Ruuskanen J., Cyrys J., Van Grieken R., de Hartog J.J., Kreyling W.G., Pekkanen J., 2005:, Sources and elemental composition of ambient PM<sub>2.5</sub> in three European cities Janssen N.A.H., Science of the Total Environment, Vol. 337, pp. 147– 162.

Vardoulakis S., Fisher B., Pericleous K., Gonzalez-Flescac N., 2003: Modelling air quality in street canyons: a review, Atmospheric Environment, Vol. 37, pp. 155–182.

Wallace L., 1996: Indoor Particles: A review, Air & waste manage. Assoc., Vol. 46, pp. 98- 126

Whitby K. T., Sverdrup, G. M., 1980: California aerosols - their physical and chemical characteristics, Adv. Environ. Sci. Technol., Vol/Issue: 9, pp. 477-517.

Wilson, R., Spengler, J.D., 1995: Particles in our air: concentrations and health effects, Chapter 3: Particle Criteria Document.

Wyzga E. R., 2002: Air Pollution and Health; Are Particulates the answer? Proceedings of the NETL Conference, PM<sub>2.5</sub> and Electric Power Generation: Recent Findings and Implications, Pittsburgh, PA, April 9-10.

(<http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/02/PM25>).

Zhang Y., Zhu X., Slanina S., Shao M., Zeng L., Hu M., Bergin M., and Salmon L., 2004: Aerosol Pollution in some Chinese cities, IUPAC Technical Report, Pure Appl. Chem., Vol. 76, No. 6, pp. 1227–1239, 2004.

Καρακατσάνη Α., 2007: Μικροσωματίδια, Επιδράσεις στην υγεία – Μηχανισμοί, *Μικροσωματίδια, αιωρούμενη απειλή στην πόλη*, Παρουσίαση σε εσπερίδα του Ecocity.

Κατσουγιάννη Κ, 2007: Αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια και υγεία: Πρόσφατα συμπεράσματα από διεθνείς επιδημιολογικές μελέτες, *Μικροσωματίδια, αιωρούμενη απειλή στην πόλη*, Παρουσίαση σε εσπερίδα του Ecocity.

Λαζαρίδης Μ., 2008: Ποιότητα Αέρα σε Εσωτερικούς Χώρους, Εκδόσεις Τζιόλα.

Μπαλαράς Κ.Α., Δασκαλάκη Ε., Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων, Εκδόσεις Σέλκα-4Μ Τεκδοτική, Αθήνα (Υπό έκδοση 2007), Κεφ. 3: Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### 2. Σκοπός της Διδακτορικής Διατριβής

Οι συνέπειες στην δημόσια υγεία εξαιτίας της εισπνοής των αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ) έχουν προσδιοριστεί αρκετά ικανοποιητικά ιδιαίτερα σε επιδημιολογική και κλινική κλίμακα. Είναι πλέον αποδεκτό ότι τα «λεπτά» σωματίδια (ΑΣ<sub>2.5</sub>) προκαλούν ή επιδεινώνουν το σύνολο σχεδόν των επιπτώσεων, ενώ αλλεργικά περιστατικά συνήθως συσχετίζονται με έκθεση σε μεγαλύτερα σωματίδια (ΑΣ<sub>10-2.5</sub>). Όμως, δεν έχουν διευκρινιστεί οι φυσικές ιδιότητες (μάζα, επιφάνεια, αριθμός) ή / και χημικές ενώσεις (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, οργανικές ενώσεις, H<sup>+</sup>) που πραγματικά ευθύνονται για τις επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό και οι συσχετισμοί μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων. Άλλες παράμετροι που ενδεχομένως συμβάλλουν στην «δραστηριότητα» των ΑΣ σχετίζονται με το «είδος» του περιβάλλοντος χώρου (π.χ. αστικό περιβάλλον, κατοικία, εργασιακός χώρος), τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις καθημερινές δραστηριότητες.

Σκοπός της διδακτορικής διατριβής, είναι να προσδιοριστούν οι συσχετίσεις μεταξύ των αιωρούμενων σωματιδίων στο αστικό περιβάλλον και σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά των χώρων, το είδος και τη συχνότητα των οικιακών δραστηριοτήτων. Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου στόχου πραγματοποιήθηκαν συνεχείς, επαναλαμβανόμενες, μετρήσεις των αερολυμάτων (ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>2.5</sub>, ΑΣ<sub>10-2.5</sub>, αριθμός σωματιδίων και ανακλαστικότητα) σε αστικό περιβάλλον και εντός και εκτός κατοικιών των Αθηνών για δεκαοκτώ (18) μήνες.

Πιο συγκεκριμένα, οι επιμέρους στόχοι της μελέτης είναι:

- i. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της μάζας τριών κλασμάτων των αιωρούμενων σωματιδίων, ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>10-2.5</sub> και ΑΣ<sub>2.5</sub>.
- ii. Ο προσδιορισμός του συντελεστή απορρόφησης, του ΑΣ<sub>2.5</sub>, ως δείκτη συγκέντρωσης του στοιχειακού άνθρακα.
- iii. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του συνολικού αριθμού των ΑΣ.

- iv. Η μελέτη της διακύμανσης της μάζας, του συντελεστή απορρόφησης και του αριθμού των σωματιδίων στο αστικό περιβάλλον, οι συσχετίσεις μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση και τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες.
- v. Η μελέτη της χωρικής διακύμανσης της μάζας, του συντελεστή απορρόφησης και του αριθμού των σωματιδίων στο αστικό περιβάλλον και στους εξωτερικούς χώρους των κατοικιών, οι συσχετίσεις μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων σε σχέση με τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κατοικιών.
- vi. Η μελέτη της διακύμανσης της μάζας, του συντελεστή απορρόφησης και του αριθμού των σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών, οι συσχετίσεις μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των κατοικιών και τις δραστηριότητες των συμμετεχόντων που δρούν είτε ως «πηγές» είτε ως «καταβόθρες» των ΑΣ.
- vii. Ο προσδιορισμός του ρυθμού εναλλαγής του αέρα και της διείσδυσης του αστικών ΑΣ στους εσωτερικούς χώρους.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3 Πειραματικό μέρος

Σύμφωνα με μελέτες της επιστημονικής κοινότητας, τα άτομα με αναπνευστικά προβλήματα και ειδικότερα με COPD είναι πιο ευαίσθητα στις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης (Pope et al., 1991; Boezen et al., 1999; Zee et al., 1999). Η ανάγκη για τη βαθύτερη μελέτη των επιπτώσεων των ΑΣ στον άνθρωπο οδηγεί στην αναγκαιότητα καταμέτρησης των επιπέδων ΑΣ στον εξωτερικό αλλά και στον εσωτερικό χώρο που κινείται και διαβιεί, με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τα επίπεδα αυτά.

Η ανάγκη για τον προσδιορισμό των συσχετίσεων των αερολυμάτων στο αστικό περιβάλλον και στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών οδήγησε στην διεξαγωγή πειράματος, κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν συνεχείς, επαναλαμβανόμενες, μετρήσεις των αερολυμάτων ( $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ , αριθμός σωματιδίων και ανακλαστικότητα) σε σταθμό αναφοράς καθώς και εντός και εκτός 35 κατοικιών, σε διάφορες περιοχές, των Αθηνών. Το πείραμα διήρκησε 18 μήνες, κατά την περίοδο, Οκτώβριος 2002 - Απρίλιος 2004.

Ο κεντρικός σταθμός / σταθμός αναφοράς τοποθετήθηκε στην περιοχή Γουδί, της Αθήνας (φ: 37° 59' 04" Β, λ: 23° 46' 04" Α, υψόμετρο: 155m από την επιφάνεια της θάλασσας), στις εγκαταστάσεις του σταθμού καταμέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της Διεύθυνσης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου, του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΕΑΡΘ, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ/ ΥΠΕΚΑ) (Σχήμα 3-1).

Ο σταθμός του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ λειτουργεί στον προαύλιο χώρο της Οδοντιατρικής Σχολής Αθηνών, πλησίον του χώρου στάθμευσης των αυτοκινήτων της σχολής και παραπλεύρως της Ιατρικής Σχολής. Απέχει 15m από τα φανάρια της διασταύρωσης των οδών Θηβών και Μ. Ασίας, 500m από τα φανάρια της Φειδιππίδου με την Μιχαλακοπούλου και 800m από αυτά της Φειδιππίδου με την λεωφόρο Μεσογείων (Σχήμα 3-2).

Σχήμα 3-1: Κεντρικός σταθμός – Σταθμός αναφοράς.



Ο συγκεκριμένος χώρος, επιλέχθηκε για την τοποθέτηση των καταγραφικών οργάνων, καθώς πληρούσε τα κριτήρια που τέθηκαν έτσι ώστε να υπάρχει αντιπροσωπευτική απεικόνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της υπό μελέτη περιοχής (των Αθηνών), σε ακτίνα αρκετών km.. Τα κριτήρια ήταν τα εξής:

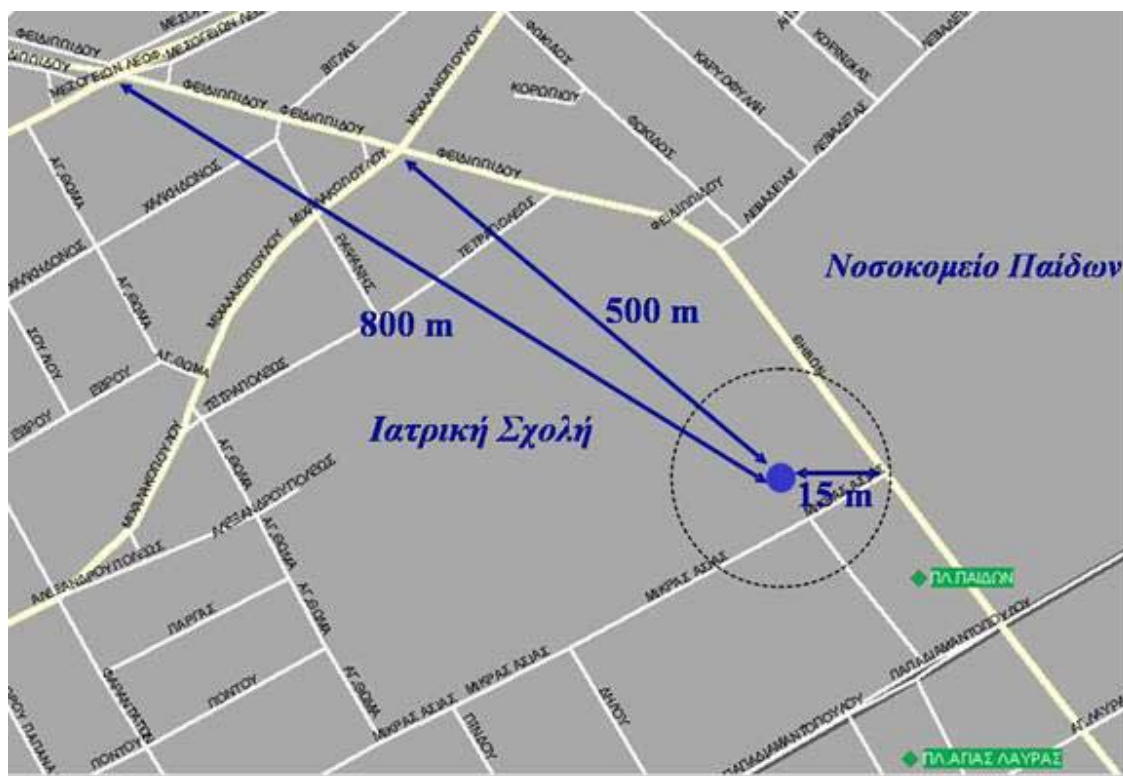
- Η τοποθεσία του σταθμού, να είναι σχετικά κεντρική στην υπό μελέτη περιοχή των Αθηνών και όχι στην περιφέρεια αυτής.
- Να βρίσκεται μακριά από τη βιομηχανική περιοχή των Αθηνών.
- Να είναι εντός της κατοικήσιμης περιοχής.

Τα χαρακτηριστικά του σταθμού που ορίστηκαν με βάση την θέση του, ήταν τα εξής:

- Να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 5m, από κάθε πλευρά των δρόμων που τον περιβάλλουν.

- Να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 50m, από δρόμο με κυκλοφορία μεγαλύτερη των 10 000 αυτ./ ημέρα.
- Να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 100m, από δρόμο με κυκλοφορία μεγαλύτερη των 25 000 αυτ./ ημέρα.
- Να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 200m, από δρόμο με κυκλοφορία μεγαλύτερη των 70 000 αυτ./ ημέρα.

**Σχήμα 3-2:** Χάρτης της περιοχής που βρίσκεται ο σταθμός αναφοράς.



Βάσει των παραπάνω κριτηρίων, το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ κατατάσσει το σταθμό, στους αστικούς – κυκλοφορίας.

Οι μετρήσεις στον σταθμό αναφοράς ήταν συνεχείς, καθόλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας, συμπεριλαμβανομένων εορτών και αργιών.

Κατά την περίοδο των δειγματοληψιών στον Σταθμό Αναφοράς (Σ.Α.), διεξήχθησαν δειγματοληψίες, σε 35 κατοικίες σε ολόκληρο το λεκανοπέδιο των Αθηνών. Χάρτης με την ακριβή τοποθεσία των κατοικιών παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-3. Στον Πίνακα 3-1 φαίνονται: ο κωδικός κάθε κατοικίας, το γεωγραφικό μήκος (λ) και πλάτος (φ) τους καθώς και η περιοχή που βρίσκονταν.

**Σχήμα 3-3:** Χάρτης της ευρύτερης περιοχής Αθηνών με τις θέσεις των κατοικιών (Google earth).



Από τις 35 κατοικίες, οι 7 βρίσκονταν εντός των ορίων του δήμου Αθηνών ενώ οι υπόλοιπες 23 ήταν διασκορπισμένες σε δήμους προαστίων. Από το χάρτη του Σχήματος 3-3 φαίνεται ότι, οι υπό μελέτη κατοικίες καλύπτουν περισσότερο τον ΒΔ άξονα την πόλης, ευρισκόμενες σε

αστικές περιοχές, μακριά από εργοστάσια και βιομηχανίες. Η επιλογή των συγκεκριμένων κατοικιών, έγινε σύμφωνα με την καταλληλότητα για την εκπλήρωση των στόχων που έχουν τεθεί στη συγκεκριμένη μελέτη, όπου απαιτείται η σύγκριση των συγκεντρώσεων των ΑΣ του σταθμού αναφοράς με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των κατοικιών. Αντίθετα, ο περιορισμός των κατοικιών σε ένα μικρό τμήμα της πόλης θα περιόριζε σημαντικά τα συμπεράσματα σχετικά με τη χωρική μεταβλητότητα των ΑΣ. Συνεπώς, η περιοχή μελέτης, συμπεριλαμβάνει το κέντρο της πόλης και ορισμένα προάστια αλλά όχι μικρές αγροτικές περιοχές κοντά σε αυτήν ενώ η απόκλιση ορισμένων περιοχών, για καθαρά πρακτικούς λόγους (δυσκολίες στην δειγματοληψία, μεγάλη απόσταση) ήταν αναπόφευκτη.

Στη λίστα των επιλεγμένων κατοικιών συμπεριλήφθηκαν τόσο μονοκατοικίες όσο και διαμερίσματα σε πολυκατοικίες. Η απόσταση των κατοικιών από το σταθμό αναφοράς δεν αποτέλεσε κριτήριο καθώς η απόσταση από μόνη της δεν μπορεί να καθορίσει, πόσο αντιπροσωπευτικός, μπορεί είναι ο σταθμός αναφοράς.

Η μελέτη επικεντρώθηκε σε κατοικίες και όχι σε γραφεία και κατοικίες παλιάς κατασκευής, καθώς σε αυτά αναμένεται να υπάρχουν διαφορετικοί ρυθμοί ανανέωσης αέρα και να γίνεται διαφορετική χρήση των κλιματιστικών και μηχανισμών εξαερισμού. Επειδή τόσο η εγγύτητα των κατοικιών σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας όσο και η κυκλοφορική κίνηση αποτελούν παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν τα επίπεδα του αριθμού ΑΣ, επιλέχθηκαν κατοικίες που παρουσίαζαν κάποιο από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Ως επί το πλείστον επιλέχθηκαν κατοικίες μη καπνιστών, ώστε να μην επηρεάζονται οι καταγραφείς, από τον καπνό του τσιγάρου.

Για τις ανάγκες του πειράματος, οι μετρήσεις ΑΣ διεξήχθησαν τόσο στον εσωτερικό χώρο της κάθε κατοικίας (συνήθως στο σαλόνι) όσο στον εξωτερικό χώρο (μπαλκόνι ή αυλή) (Σχήματα 3-4). Συγχρόνως γινόταν μετρήσεις της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντα αέρα.

Λόγω δυσκολίας στην εύρεση εθελοντών, για τη συμμετοχή τους στο πείραμα, και λόγω πολυπλοκότητας των καταγραφών του αριθμού ΑΣ, θεωρήθηκε ως ικανό και εφικτό διάστημα δειγματοληψίας, για την απόκτηση ικανοποιητικών και αξιόπιστων δεδομένων, η μία εβδομάδα, από την ημέρα εγκατάστασης των οργάνων καταμέτρησης μέχρι και την απεγκατάστασή τους. Στο συγκεκριμένο διάστημα δειγματοληψίας συμφωνούν και οι Janssen et al. (1998), στην

μελέτη των οποίων, η δειγματοληψία διάρκειας 7–8 μετρήσεων, ανά αντικείμενο μελέτης (κατοικία), θεωρείται ικανή να δώσει αποτελέσματα συσχέτισης ΑΣ εσωτερικού – εξωτερικού χώρου.

**Πίνακας 3-1:** Στοιχεία των υπό μελέτη κατοικιών

| Κωδικός κατοικίας (ID) | Γεωγραφικό Μήκος (λ) | Γεωγραφικό πλάτος (φ) | Περιοχή       |
|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------|
| 100                    | N37 55 51.7          | E23 41 48.5           | Φάληρο        |
| 104                    | N37 55 51.6          | E23 45 29.5           | Ηλιούπολη     |
| 105                    | N38 00 25.1          | E23 49 15.0           | Αγ. Παρασκευή |
| 106                    | N38 02 05.7          | E23 43 54.2           | Ν. Χαλκηδόνα  |
| 107                    | N37 57 57.1          | E23 43 35.7           | Κουκάκι       |
| 108                    | N 37 59 50.0         | E 23 45 12.0          | Πολύγωνο      |
| 109                    | N37 58 36.9          | E23 42 03.8           | Κέντρο Αθηνών |
| 110                    | N37 59 06.6          | E23 44 15.3           | Κέντρο Αθηνών |
| 111                    | N37 56 18.9          | E23 44 01.3           | Αγ. Δημήτριος |
| 112                    | N37 59 04.6          | E23 44 10.4           | Κέντρο Αθηνών |
| 113                    | N37 52 52.8          | E23 45 32.0           | Γλυφάδα       |
| 114                    | N38 00 07.2          | E23 43 19.6           | Κέντρο Αθηνών |
| 115                    | N37 54 47.6          | E23 42 29.3           | Φάληρο        |
| 116                    | N38 03 59.4          | E23 42 58.2           | Ζεφύρι        |
| 117                    | N37 59 47.5          | E23 48 27.6           | Χολαργός      |
| 118                    | N38 02 31.3          | E23 45 56.7           | Ν. Ιωνία      |
| 119                    | N37 59 44.5          | E23 48 23.6           | Χολαργός      |
| 120                    | N37 55 59.4          | E23 43 02.7           | Αγ. Δημήτριος |
| 121                    | N37 58 15.1          | E23 44 33.8           | Παγκράτι      |
| 122                    | N37 59 18.1          | E23 51 02.1           | Γλυκά Νερά    |
| 123                    | N37 57 03.1          | E23 42 20.4           | Καλλιθέα      |
| 124                    | N37 59 49.7          | E23 47 58.4           | Χολαργός      |
| 125                    | N37 57 20.2          | E23 45 49.1           | Βύρωνας       |
| 126                    | N38 05 13.8          | E23 48 45.7           | Ν. Ερυθραία   |

|     |             |             |                               |
|-----|-------------|-------------|-------------------------------|
| 127 | N38 01 15.8 | E23 49 42.4 | Κοντόπευκο<br>(Αγ. Παρασκευή) |
| 128 | N37 59 45.0 | E23 48 24.5 | Χολαργός                      |
| 129 | N37 53 48.1 | E23 46 01.2 | Γλυφάδα                       |
| 130 | N38 01 28.4 | E23 42 24.0 | Ν. Λιόσια                     |
| 131 | N37 55 40.3 | E23 41 49.9 | Π. Φάληρο                     |
| 132 | N37 58 30.3 | E23 45 41.5 | Κέντρο Αθηνών                 |
| 133 | N38 02 25.7 | E23 46 00.3 | Ν. Ιωνία                      |
| 134 | N38 01 36.1 | E23 48 01.6 | Χαλάνδρι                      |
| 135 | N37 48 56.4 | E23 47 33.7 | Βουλιαγμένη                   |
| 136 | N38 03 07.7 | E23 48 01.5 | Μαρούσι                       |
| 137 | N37 58 58.8 | E23 45 34.9 | Κέντρο Αθηνών                 |

Σε κάθε κατοικία, κάθε ημέρα λειτουργούσαν 4 δειγματολήπτες (Harvard Impactors; HI), δύο για τον εσωτερικό χώρο ( $AS_{10}$  και  $AS_{2.5}$ ) και δύο για τον εξωτερικό. Οι δειγματολήπτες εξωτερικού χώρου ήταν τοποθετημένοι σε ειδική μεταλλική βάση με τριγωνικό πλαίσιο, στην κορυφή τους. Σε κάθε γωνία του πλαισίου τοποθετούνταν ένας HI. Οπότε, υπήρχε δυνατότητα για την τοποθέτηση 6 δειγματοληπτών, 3 για τα  $AS_{10}$ , στην μία βάση, και 3 για τα  $AS_{2.5}$  (Σχήματα 3-4). Η διάρκεια της κάθε δειγματοληψίας ήταν 24 ώρες, με έναρξη το μεσημέρι (στις 12:00π.μ.).

Με την ολοκλήρωση της δειγματοληψίας της 1<sup>ης</sup> ημέρας των HI και τη συμπλήρωση της 24<sup>ης</sup> ώρας γινόταν αυτόματη αλλαγή από την αντλία για να αρχίσει η δειγματοληψία της 2<sup>ης</sup> ημέρας μέχρι και την ολοκλήρωση της 3<sup>ης</sup> ημέρας, όπου γινόταν συλλογή των χρησιμοποιημένων φίλτρων και η αντικατάστασή τους με καινούργια.

Τα όργανα καταγραφής, εσωτερικού χώρου (Σχήματα 3-4 (γ-δ)), ήταν τοποθετημένα σε ειδικά σχεδιασμένο έπιπλο ώστε να μην υπάρχει ενόχληση από τους ενοίκους τόσο ως προς το αισθητικό μέρος όσο από πιθανούς θορύβους. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίστηκε η ασφάλεια των παιδιών, που τυχόν να βρίσκονταν στις κατοικίες, αλλά και των οργάνων. Επίσης, το έπιπλο με τα όργανα μέτρησης έφερε οπές και βρίσκονταν σε ικανή απόσταση από τους τοίχους και τα έπιπλα ώστε να υπάρχει καλός αερισμός των οργάνων.

**Σχήματα 3-4:** Φωτογραφίες των οργάνων σε εξωτερικό χώρο (α) και (β) και εσωτερικό χώρο (γ) και (δ) σε μερικές από τις υπό μελέτη κατοικίες.



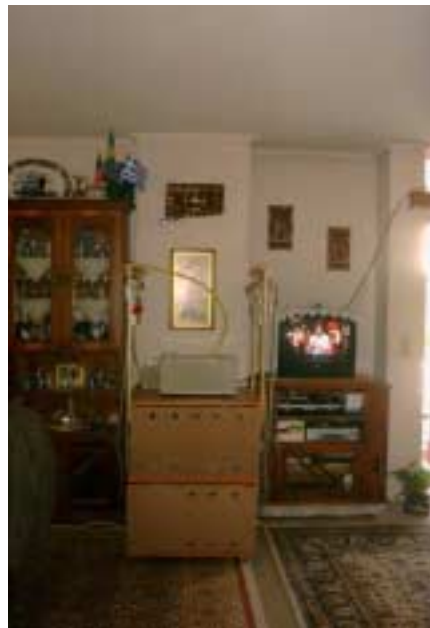
(α): Κατοικία (100), Π. Φάληρο.



(β): Κατοικία (125), Βύρωνας



(γ): Κατοικία (107), Κουκάκι



(δ): Κατοικία (113), Γλυφάδα

### 3.1 Δεδομένα

Οι παράμετροι που κατεγράφησαν στον σταθμό αναφοράς ήταν:

- Δείγματα κλασμάτων ΑΣ με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2.5 και 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{ΑΣ}_{2.5}$  και  $\text{ΑΣ}_{10}$ ).
- Αριθμός των αιωρούμενων σωματιδίων.
- Θερμοκρασία και υγρασία.

Στις κατοικίες γινόταν η καταγραφή όλων των παραπάνω παραμέτρων, στον εσωτερικό και εξωτερικό τους χώρο και επιπρόσθετα:

- Ρυθμός ανανέωσης αέρα (AER: Air Exchange Rate).

### 3.2 Μετρήσεις μάζας $\text{ΑΣ}_{10}$ και $\text{ΑΣ}_{2.5}$

Δείγματα κλασμάτων ΑΣ με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2.5 και 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{ΑΣ}_{2.5}$  και  $\text{ΑΣ}_{10}$ ) συλλέγονταν κάθε τρεις ημέρες στο σταθμό αναφοράς. Το χρονικό διάστημα των δειγματοληψιών ήταν 18μήνες, από 23/10/2002 – 31/03/2004. Ενδιάμεσα πραγματοποιούνταν οι δειγματοληψίες μάζας στις κατοικίες, ταυτόχρονα στον εσωτερικό χώρο, συνήθως σαλόνι - τραπεζαρία, και στον εξωτερικό χώρο, στο μπαλκόνι ή στην αυλή του σπιτιού, συνήθως έξω από το καθιστικό.

#### 3.2.1 Δειγματοληψία $\text{ΑΣ}_{10}$ και $\text{ΑΣ}_{2.5}$

Για τη συλλογή των δειγμάτων κλασμάτων  $\text{ΑΣ}_{10}$  και  $\text{ΑΣ}_{2.5}$  χρησιμοποιήθηκαν δειγματολήπτες χαμηλού όγκου, που επιτρέπουν το διαχωρισμό των σωματιδίων ανά μέγεθος, και τη συλλογή τους σε φίλτρα (Harvard Impactors (HI), Air Diagnostics and Engineering Inc. ME). Οι Harvard Impactors (Σχήμα 3-5) μαζί με τους Κρουστικούς Διαχωριστές (Impactor) χαμηλού όγκου και τον Dichotomous Sampler, ανήκουν στην κατηγορία των πιο κοινών, στη χρήση, δειγματοληπτών για τη συλλογή κλασμάτων  $\text{ΑΣ}_{10}$  και  $\text{ΑΣ}_{2.5}$  (Sarnat et al., 2003).

Ειδικότερα, οι HI δειγματολήπτες αποτελούνται από: α) στόμιο εισόδου για την ομαλοποίηση της ροής και τη μείωση της επίδρασης της ταχύτητας του αέρα στην

δειγματοληψία, β) αδρανειακό προσκρουστή (inertial impactor), με βαθμονομημένα σημεία διαχωρισμού, στα 10 και 2.5  $\mu\text{m}$ , με ροή δειγματοληψίας 10lt/min (Marple et al., 1987; Kavouras and Koutrakis, 1999) και γ) φίλτρο πολυ-τέτραφθόρο-αιθυλενίου, διαμέτρου 37mm, με μέγεθος πόρου 2 $\mu\text{m}$  (Teflon filters; Σχήμα 3-6), και αποτελεσματικότητα συλλογής 99,9% για σωματίδια διαμέτρου >0.3 $\mu\text{m}$  (Pall Sciences, USA).

**Σχήμα 3-5:** Σχηματική διάταξη του Κρουστικού Διαχωριστή Harvard.



Οι ΗΙ δειγματολήπτες συνδέονταν μέσω λαστιχένιων σωλήνων με αντλία η οποία έφερε κατάλληλο χρονοδιακόπτη, για τον προγραμματισμό της, ώστε η αλλαγή φίλτρων, από τον χειριστή, να γίνεται κάθε 3 ημέρες. Γι' αυτό το λόγο, στο σταθμό αναφοράς, έγινε χρήση 6 δειγματοληπτών, οι οποίοι τοποθετήθηκαν στην οροφή του σταθμού (ISOBOX), πάνω σε μεταλλική βάση στήριξης (Σχήμα 3-1), δύο για κάθε ημέρα (έναν για ΑΣ<sub>2.5</sub> και έναν για τα ΑΣ<sub>10</sub>), ενώ στις κατοικίες 6 δειγματολήπτες είχαν τοποθετηθεί στο εσωτερικό και 6 στον εξωτερικό χώρο τους. Η διάρκεια της κάθε δειγματοληψίας ήταν 24-ώρη, με έναρξη το μεσημέρι (12:00π.μ.). Η συλλογή των φίλτρων και ο εκ νέου προγραμματισμός του χρονοδιακόπτη

γινόταν κατά τη συμπλήρωση του τρίτου 24-ώρου και με απόκλιση 1h από την ώρα λήξης της δειγματοληψίας. Τα φίλτρα φυλάσσονταν και μεταφέρονταν μέσα σε τριβλία για την καλύτερη προφύλαξή τους. Κατά την αλλαγή των φίλτρων, ο χειριστής φορούσε πλαστικά γάντια και έκανε χρήση ειδικής λαβίδας, έτσι ώστε να μη μολυνθούν τα φίλτρα με την επαφή τους με ξένα σώματα. Κατόπιν, τα επιμέρους κομμάτια των HI και τα Ο-δακτυλίδια καθαρίζονταν (με πανί), για να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα καπνού και σκόνης. Επίσης, γινόταν αλλαγή των δίσκων κρουστικού διαχωριστή (Impactor plates) με καθαρούς δίσκους, στην άνω πλευρά των οποίων είχαν λαδωθεί τα πλακίδια τους με λάδι μηχανής. Οι χρησιμοποιημένοι δίσκοι καθαρίζονταν στο εργαστήριο, αρχικά με αιθανόλη και κατόπιν με υπέρηχους σε απιονισμένο νερό και σαπούνι.

Σε κάθε αλλαγή φίλτρων γινόταν μέτρηση της ροής αέρα, με βαθμονομημένο ροόμετρο (SKC Inc.), σε κάθε στόμιο εισόδου της αντλίας, λίγο πριν τη συλλογή των χρησιμοποιημένων φίλτρων και μετά την εγκατάσταση καινούργιων φίλτρων. Στο τέλος, γινόταν καταγραφή του χρονικού διαστήματος δειγματοληψίας, σε min.

**Σχήμα 3-6:** α) Φίλτρο Teflon 37mm, πριν τη χρήση του, με το πλαίσιο στήριξης και β) Φίλτρο Teflon 37mm, μετά τη χρήση του.

α)



β)



Οι δειγματολήπτες που χρησιμοποιούνταν σε εξωτερικό χώρο ήταν τοποθετημένοι σε ειδική μεταλλική βάση στήριξης (Σχήματα 3-4) και στερεωμένοι με μεταλλικές βίδες ώστε να αποφευχθεί η πτώση τους σε περίπτωση μεγάλης έντασης του ανέμου. Επίσης, κάθε δειγματολήπτης προφυλασσόταν από πιθανή βροχόπτωση με ειδικά μεταλλικά «καπέλα» (Σχήμα 3-7).

**Σχήμα 3-7:** Λεπτομέρεια, στήριξη και προφύλαξη των δειγματοληπτών Harvard Impactor.



### 3.2.2 Ζύγιση φίλτρων

Πριν την έναρξη της δειγματοληψίας και μετά το τέλος της γινόταν ζύγιση των φίλτρων με αναλυτικό μικροζυγό ακρίβειας  $1\mu\text{g}$ , (MX-5, Mettler-Toledo Inc.) (Εικόνα 3-1). Μετά τη συλλογή των χρησιμοποιημένων φίλτρων ακολουθούσε 48-ωρη περιβαλλοντική προσαρμογή τους σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) και σχετικής υγρασίας ( $35 \pm 5\%$ ). Η ζύγιση των προς χρήση φίλτρων γίνονταν στις ίδιες, συγκεκριμένες, συνθήκες θερμοκρασίας ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) και σχετικής υγρασίας ( $35 \pm 5\%$ ), στα πλαίσια της μεθόδου EN-12341 («Air Quality Field Test Procedure to Demonstrate Reference Equivalence of Sampling Methods for the  $\text{PM}_{10}$  fraction of particulate matter»). Η διαδικασία αυτή ακολουθείται στους επίσημους σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ./ ΥΠΕΚΑ που είναι εγκατεστημένοι σε όλες τις έδρες Νομών της Ελλάδος.

Πριν τη ζύγιση γινόταν καταγραφή των συνθηκών που επικρατούσαν στο χώρο του ζυγού, θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ατμοσφαιρική πίεση. Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο ζύγισης, πρώτα λάμβανε χώρα βαθμονόμηση του ζυγού με πρότυπα βάρη ακρίβειας E2. Κατόπιν, ζυγίζονταν 2 λευκά φίλτρα (Blank filters), τα οποία τα είχαν οριστεί ως «πρότυπα» και

στη συνέχεια 2 χρησιμοποιημένα (exposed), millipore φίλτρα, του ίδιου τύπου με τα προς ζύγιση. Τα φίλτρα αυτά ζυγίζονταν και μετά τη ζύγιση των υπό δειγματοληψία φίλτρων.

**Εικόνα 3-1:** Αναλυτικός μικροζυγός ακρίβειας 1μg, (MX-5, Mettler-Toledo Inc).



Σε κάθε φίλτρο πραγματοποιούνταν δύο ζυγίσεις, οι οποίες δεν έπρεπε να διαφέρουν περισσότερο από  $\pm 5\mu\text{gr}$ . Αρχικά γινόταν έλεγχος, κατά πόσο οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ήταν σταθερές. Εφόσον δεν υπήρχαν προβλήματα, ακολουθούσε η ζύγιση των φίλτρων ανά δεκάδες. Με το πέρας της ζύγισης της πρώτης δεκάδας ακολουθούσε και δεύτερη, η οποία δεν έπρεπε να διαφέρει της  $1^{\text{ης}}$  κατά  $\pm 5\mu\text{gr}$ . Εφόσον υπήρχαν μεγαλύτερες αποκλίσεις, μεταξύ των δύο ζυγίσεων, ακολουθούσε και τρίτη. Η τελική τιμή της ζύγισης προερχόταν από τη μέση τιμή των επιμέρους ζυγίσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε φίλτρο ήταν αριθμημένο και έφερε τον κωδικό του. Επίσης, κάθε φίλτρο τοποθετούνταν σε ειδικό αποστειρωμένο τριβλίο (Andersen), με τον κωδικό του να αναγράφεται στο καπάκι. Η τοποθέτηση των φίλτρων γινόταν πάντοτε με ειδικές λαβίδες (Σχήμα 3-6, β). Κατά τη ζύγιση των φίλτρων χρησιμοποιήθηκε ιονιστής προκειμένου να μειωθεί ο στατικός ηλεκτρισμός στα φίλτρα.

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης μάζας των ΑΣ<sub>10</sub> και ΑΣ<sub>2.5</sub> έγινε σύμφωνα με τον τύπο:

$$C = \frac{\Delta m}{V} = \frac{\left( \overline{m_{\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}}} - \overline{m_{\pi\rho\iota\nu}} \right) - \overline{m_{\lambda}}}{\left( \frac{P_{\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}} + P_{\pi\rho\iota\nu}}{2} \right) \cdot t}$$

όπου C: η υπολογισμένη συγκέντρωση μάζας

$\Delta m$ : η υπολογισμένη μάζα του φίλτρου,

V: ο όγκος του φίλτρου

$\overline{m}_{\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}}$  : Η μέση τιμή των ζυγίσεων μετά τη δειγματοληψία.

$\overline{m}_{\pi\rho\iota\nu}$  : Η μέση τιμή των ζυγίσεων πριν τη δειγματοληψία.

$\overline{m}_{\lambda}$  : Η μέση τιμή των ζυγίσεων των λευκών φίλτρων.

P<sub>πριν</sub> : Η ροή πριν από τη δειγματοληψία.

P<sub>μετά</sub> : Η ροή μετά τη δειγματοληψία.

t : Ο χρόνος δειγματοληψίας σε min, με μέγιστο τα 1440min.

Ο υπολογισμός των αδρών σωματιδίων έγινε από την αφαίρεση της συγκέντρωσης των 2.5 από τα 10:

$$A\Sigma_{(10-2.5)} = A\Sigma_{10} - A\Sigma_{2.5}$$

### 3.3 Καταγραφή του αριθμού ΑΣ

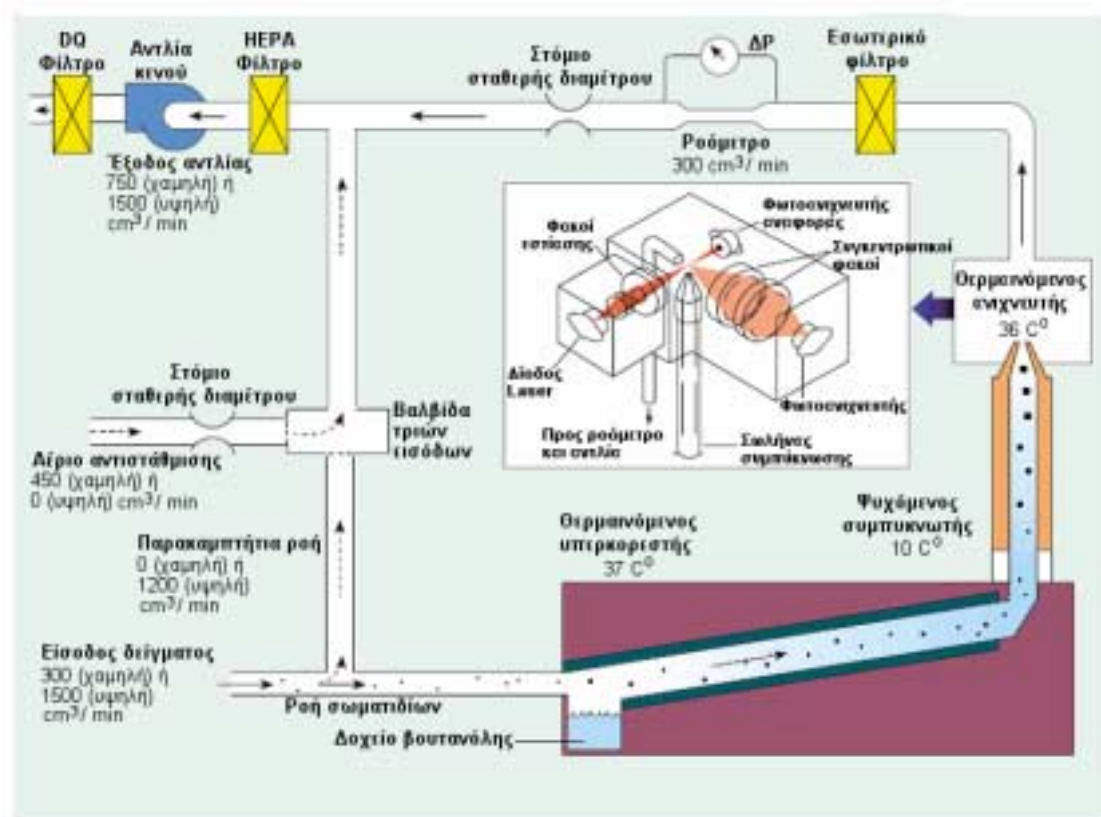
Παράλληλα με τη δειγματοληψία της μάζας των  $AS_{10}$  και  $AS_{2.5}$  γινόταν καταγραφή του αριθμού των ΑΣ (ΑΑΣ) με τη χρήση του καταγραφέα σωματιδίων, Condensation Particle Counter (CPC) της TSI (3022A) (Σχήμα 3-8). Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο CPC, το ένα ήταν μόνιμα τοποθετημένο στον σταθμό αναφοράς και το δεύτερο μεταφέρονταν στις εκάστοτε κατοικίες.

**Σχήμα 3-8:** Condensation Particle Counter (CPC, TSI 3022A)



Ο συγκεκριμένος τύπος καταγραφέα μετράει από 100 μέχρι  $10^7$  σωματίδια/ $cm^3$ , διαμέτρου μεγαλύτερη των 7nm, σε θερμοκρασίες  $10^{\circ}$ -  $35^{\circ}C$  και σχετική υγρασία 0-90%. Η αρχή λειτουργίας του καταγραφέα (Σχήμα 3-9) βασίζεται στην αρχή ότι, ο υπερκορεσμένος ατμός συμπυκνώνεται πάνω σε μικρά σωματίδια. Υψηλές συγκεντρώσεις, μέχρι  $10^7$  σωματίδια/ $cm^3$ , καταγράφονται ανιχνεύοντας το φως που σκεδάζεται από όλα τα σωματίδια που βρίσκονται εντός της ζώνης ανίχνευσης και συγκρίνοντας την ένταση του σκεδαζόμενου φωτός με τα αντίστοιχα βαθμονομημένα επίπεδα (φωτομετρική μέθοδος).

Σχήμα 3-9: Αρχή λειτουργίας του καταγραφέα αριθμού ΑΣ, CPC, TSI 3022A.



### 3.3.1 Δειγματοληψία αριθμού ΑΣ

Το CPC του σταθμού αναφοράς βρίσκονταν εντός του isobox, με το ακροφύσιο του να βρίσκεται σε ύψος 3.5m από το έδαφος (Σχήμα 3-1) και σε ικανή απόσταση από τους δειγματολήπτες ΗΙ. Για την αποφυγή προβλημάτων, γινόταν χρήση κλιματιστικού προκειμένου να είναι σταθερές οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Για να αποφευχθεί η συμπύκνωση του εισερχόμενου αέρα μέσα στο CPC, και προκειμένου να επιτευχθεί η ξήρανση του σε θερμοκρασία δρόσου  $<10^{\circ}\text{C}$ , χρησιμοποιήθηκε ξηραντήρας, silica gel, η οποία βρισκόταν μέσα σε κυλινδρικό σωλήνα (Σχήμα 3-10).

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν σύγκριση των μετρήσεων των CPC, μεταξύ των τιμών 24-ώρου, έτσι ώστε να μην υπάρχει απόκλιση μεγαλύτερη από 20% από τις τιμές του πεδίου.

Κατά την επίσκεψη του χειριστή, γινόταν έλεγχος για την καλή λειτουργία του οργάνου (λαμπτήρες). Συγκεκριμένα γινόταν έλεγχος των κάτωθι:

- Laser: η ένδειξη είναι στο ΟΝ και λειτουργεί στο σωστό επίπεδο ισχύος.
- Ροής:  $5 \pm 0.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ .
- Οπτικών: η θερμοκρασία οπτικών (εντός  $2^\circ\text{C}$  από τη διορθωμένη T).
- Κορεστή: η θερμοκρασία του κορεστή (εντός  $0.5^\circ\text{C}$  από τη διορθωμένη T).
- Συμπυκνωτή: η θερμοκρασία του συμπυκνωτή (εντός  $0.5^\circ\text{C}$  από τη διορθωμένη T).
- Της στάθμης του υγρού: βουτανόλη, να είναι γεμάτο το δοχείο.
- Της καταγραφής των ΑΣ.
- Του χρώματος της σιλικόνης: πορτοκαλί.

Επίσης καταγράφονταν η ροή κατά το διάστημα του ελέγχου. Όλες οι φωτεινές ενδείξεις θα έπρεπε να έχουν πράσινο χρώμα. Το πορτοκαλί ή κόκκινο σήμαινε ότι υπήρχε πρόβλημα με την αντίστοιχη ένδειξη.

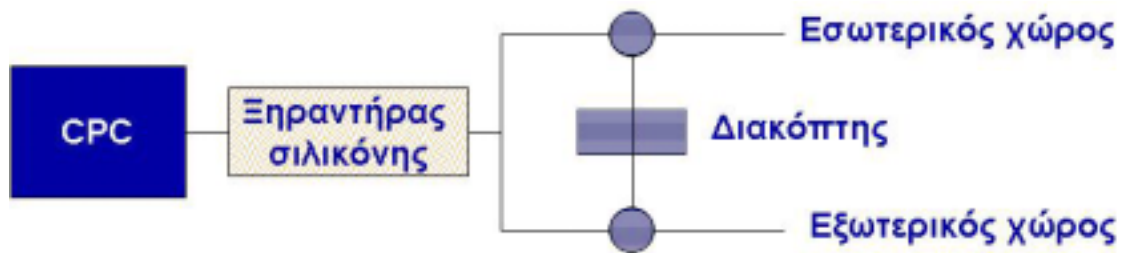
Ο χειριστής συμπλήρωνε ειδικό έντυπο (Παράρτημα Α), φόρμα (Β) για την καλή λειτουργία του οργάνου και μια φορά την εβδομάδα συμπλήρωνε τη φόρμα (Α). Κατόπιν γινόταν αποθήκευση του αρχείου με τις μετρήσεις, από τον υπολογιστή, με τον οποίο ήταν συνδεδεμένος ο καταγραφέας.

Ένα δεύτερο CPC χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του αριθμού των ΑΣ στις κατοικίες. Η καταγραφή του ΑΑΣ πραγματοποιούνταν στον εσωτερικό αλλά και στον εξωτερικό χώρο, από το ίδιο όργανο, με τη βοήθεια ενός διακόπτη /εναλλάκτη, ο οποίος επέτρεπε την καταγραφή στους αντίστοιχους χώρους εναλλάξ (Σχήμα 3-10).

Το CPC τοποθετήθηκε σε ειδικά σχεδιασμένο έπιπλο (Σχήματα 3-4 γ, δ), για λόγους ασφαλείας, με σκοπό την προστασία του από την περιέργεια των ενοίκων και προκειμένου να μην υπάρχει ηχητική όχληση και αλλοίωση της αισθητικής του χώρου. Για να εξαλειφθούν οι οσμές λόγω εξάτμισης της βουτανόλης έγινε χρήση ενεργού άνθρακα. Κατά την επίσκεψη του χειριστή τόσο στις κατοικίες όσο και στον σταθμό αναφοράς ακολουθούνταν η ίδια διαδικασία, ελέγχου καλής λειτουργίας του οργάνου και συμπλήρωσης των αναλόγων εντύπων.

Η καταγραφή του ΑΑΣ γινόταν ανά 1 min. Μετά τη συλλογή δεδομένων έγινε η ολοκλήρωση των τιμών ανά 5 min, 30min, 1h και 24h.

**Σχήμα 3-10:** Σχηματική διάταξη του CPC



### 3.4 Μέτρηση ανακλαστικότητας φίλτρων

Πριν την πρώτη ζύγιση των φίλτρων (πριν την δειγματοληψία) και μετά το τέλος της δειγματοληψίας, γινόταν μέτρηση της «απορρόφησης»/ ανακλαστικότητας των φίλτρων των ΑΣ<sub>2.5</sub>, με τη χρήση ειδικού ψηφιακού διαθλασιμέτρου (M43D Smoke-Stain Reflectometer, Σχήμα 3-11), σύμφωνα με το πρωτόκολλο OECD για την καταμέτρηση του καπνού.

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων, καθαρίζονταν η κεφαλή, η μάσκα και το πλακίδιο του οργάνου με πανί εμποτισμένο σε καθαρή αιθυλική αλκοόλη. Γινόταν η προθέρμανση του οργάνου για 30min. Η κλίμακα του διαθλασιμέτρου είναι από 0 (μαύρο) μέχρι 100 (λευκό). Το διαθλασίμετρο φέρει δύο πλακίδια, ένα λευκό και ένα γκρι, έτσι ώστε για να γίνεται ο προκαθορισμένος έλεγχος, πριν από τη μέτρηση των φίλτρων, προκειμένου να υπάρχουν δύο συγκεκριμένα σημεία αναφοράς. Το γκρι πλακίδιο είχε τιμή ανάκλασης 34-36, ενώ στο κέντρο του λευκού πλακιδίου, το όργανο ρυθμιζονταν στο 100.

**Σχήμα 3-11:** Διαθλασίμετρο, M43D Smoke-Stain Reflectometer

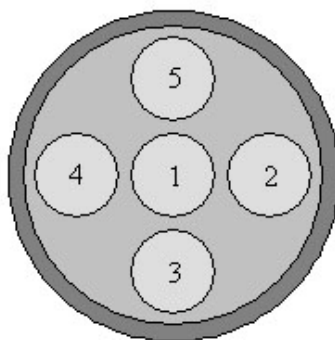


Κατόπιν πέντε από τα υπό μέτρηση λευκά φίλτρα επιλέγονταν ως «φίλτρα ελέγχου» (control filters). Αρχικά επιλέγονταν 1 από τα 5 φίλτρα ελέγχου και κατά τη μέτρηση στο κέντρο του φίλτρου το όργανο ρυθμιζονταν στο 100. Κατόπιν, γινόταν η μέτρηση και των υπολοίπων 4 φίλτρων.

Ακολουθούσε η μέτρηση των φίλτρων δειγματοληψίας, κάθε σετ των οποίων δεν ξεπερνούσε τα 25. Σε κάθε φίλτρο πραγματοποιούνταν πέντε μετρήσεις, μία στο κέντρο του και τέσσερις στα σημεία των δύο νοητών κάθετων αξόνων (Σχήμα 3-12). Η τελική τιμή της

ανακλαστικότητα υπολογιζόταν από τη μέση τιμή των πέντε μετρήσεων. Μετά το τέλος των μετρήσεων, γινόταν επανάληψη του 10% των μετρήσεων των φίλτρων. Στην περίπτωση που η μέση τιμή (5 σημείων) απέκλινε περισσότερο από  $\pm 3\%$ , από τις αρχικές μετρήσεις, έπρεπε να επαναληφθεί η μέτρηση όλων των φίλτρων.

**Σχήμα 3-12:** Σχηματική διάταξη των σημείων μέτρησης της ανακλαστικότητας φίλτρου.



Η τοποθέτηση των φίλτρων επάνω στο πλακίδιο του οργάνου γινόταν με ειδική λαβίδα. Μετά το τέλος και της τελευταίας ζύγισης τα φίλτρα αποθηκεύονταν σε καταψύκτη στους  $-28^{\circ}\text{C}$ .

### 3.4.1 Υπολογισμός του συντελεστή απορρόφησης

Η απορρόφηση, όπως αυτή καθορίζεται από το ISO 9835 (Ambient air - Determination of a black smoke index (1993)), υπολογίστηκε από την ανακλαστικότητα των φίλτρων βάσει του τύπου:

$$a = \left( \frac{(A/2)}{V} \right) * \ln \left( \frac{Ro}{Rf} \right) * 10^5$$

όπου:  $a$  : ο συντελεστής απορρόφησης ( $10^{-5}/\text{m}$ ).

$A$ :  $A = 2\pi \left( \frac{d}{2} \right)$  η επιφάνεια του φίλτρου, όπου  $d$  η «εσωτερική» διάμετρος του δακτυλίου του

Teflon φίλτρου Andersen, με  $d = 37\text{mm}$  και  $2\text{ }\mu\text{m}$  μέγεθος πόρου,  $A = 780 \times 10^{-6} \text{m}^2$ .

$V$  : ο όγκος του δείγματος ( $m^3$ )

$R_o$  : η μέση ανακλαστικότητα των λευκών φίλτρων (%)

$R_f$  : η ανακλαστικότητα του δείγματος (%).

### 3.5 Μέτρηση του ρυθμού ανανέωσης του αέρα

Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα μετρήθηκε με την παθητική μέθοδο Perfluorocarbon Tracer (PFT). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο, λάμβανε χώρα παθητική εκπομπή αδρανούς, μη-τοξικού, αερίου υπερφθοριομένου μέθυλο- κύκλο- εξανίου (perfluorinated methylcyclohexane; PMCH), η συλλογή του γινόταν με παθητικούς δειγματολήπτες ενεργού άνθρακα (Σχήμα 3-13) και η ανάλυσή τους με αέριο χρωματογράφο και ανιχνευτή παγίδευσης ηλεκτρονίων (GC/ECD).

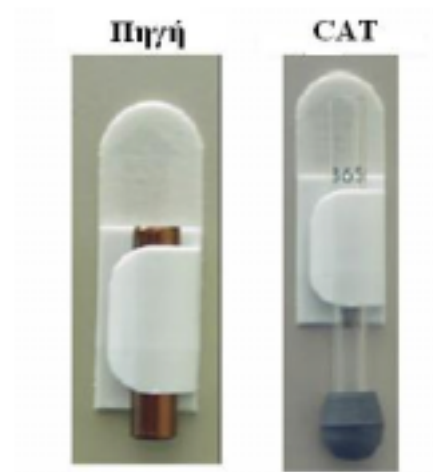
Σε κάθε κατοικία, ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα (AER) μετριόταν μια φορά, κατά τη διάρκεια της εβδομάδας δειγματοληψίας των μετρήσεων εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου. Το εύρος τιμών του AER είναι 0.1 – 2.5 εναλλαγές αέρα / ώρα (air changes per hour: ACH)

Η διάταξη της παθητικής εκπομπής αποτελείτο από την πηγή (PMCH) και τον τριχοειδή σωλήνα προσρόφησης, ανιχνευτή (CAT), ο οποίος επέτρεπε τη συλλογή PMCH. Σε κάθε κατοικία χρησιμοποιήθηκαν μία ή περισσότερες πηγές, ανάλογα με την επιφάνεια της κατοικίας και ειδικότερα το μέγεθος του δωματίου που γινόταν η δειγματοληψία εσωτερικού χώρου και ένας ανιχνευτής (CAT). Πάντα, η μία από τις πηγές τοποθετούνταν στο σαλόνι σε απόσταση 0.5-1.5 m από το πάτωμα. Γενικά, μία πηγή αναλογούσε σε 50 m<sup>2</sup> της κατοικίας. Προτεινόμενο μέρος τοποθέτησης του CAT ήταν επιφάνειες όπως τραπέζια, βιβλιοθήκες, γραφεία. Το CAT ενεργοποιείτο με την αφαίρεση του καλύμματος. Στις περιπτώσεις όπου αναμένονταν υψηλές τιμές του AER (καλοκαιρινή περίοδος) αφαιρούνταν και τα δύο καλύμματα του CAT. Μετά το τέλος της δειγματοληψίας ο συλλέκτης (CAT), επέστρεφε στο εργαστήριο για τον υπολογισμό του PMCH που είχε συλλεχθεί.

Οι πηγές και οι ανιχνευτές ποτέ δεν μεταφέρονταν μαζί και την ίδια ημέρα. Οι πηγές ήταν τοποθετημένες στο κουτί τους, μέσα σε πλαστικό σακουλάκι ενώ τα CAT μεταφέρονταν μέσα σε πλαστικό σακουλάκι μαζί με την προστασία άνθρακα. Η τοποθέτηση των πηγών γινόταν 24h πριν από τους ανιχνευτές.

Οι πηγές και οι ανιχνευτές δεν φυλάσσονταν στο ίδιο μέρος. Επίσης, τα CAT δεν φυλάσσονταν μέσα και κοντά σε ψυγείο λόγω πιθανής επίδρασης με το φρέον. Προληπτικά φυλάσσονταν σε μέρος σκοτεινό.

**Σχήμα 3-13:** Perfluorocarbon Tracer (PFT), A: Πηγή, B: Ανιχνευτής (CAT)



Η εγκατάσταση των πηγών δε γινόταν:

- Κοντά σε παράθυρα και πόρτες όπου υπάρχουν ρεύματα αέρα.
- Κοντά σε σκάλες, όπου παρουσιάζεται αυξημένη κατακόρυφη κίνηση του αέρα λόγω θερμικών επιδράσεων.
- Επάνω σε τοίχους (τουλάχιστον 10cm μακριά).
- Σε απόσταση <1-2m από τον εξωτερικό τοίχο.
- Σε απόσταση <1m από πηγές θερμότητας ή κρύου αέρα.
- Κοντά σε πηγές ρεύματος.
- Σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία.
- Κοντά σε συσκευές όπως ψυγείο και υγραντήρες, που περιέχουν φρέον.

Αναλόγως, η τοποθέτηση των ανιχνευτών CAT, γινόταν:

- Σε απόσταση μεγαλύτερη των 2m από την πηγή PMCH
- Με την ανοικτή πλευρά, προς τα κάτω, για την ελαχιστοποίηση της συλλογής σωματιδίων.
- Σε απόσταση μεγαλύτερη των 2m από το στόμιο και την έξοδο της αντλίας.

Κατά την εγκατάσταση των πηγών και ανιχνευτών σημειωνόταν η μέρα, ώρα και το μέρος που τοποθετήθηκαν.

Ο υπολογισμός του ρυθμού ανανέωσης του αέρα έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$AER = (N * R_{PERM} * R_{CAT} * T_{CAT}) / (V_{PMCH} * V_{κατ.})$$

Όπου:

- N : ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων πηγών PFT.
- $R_{perm}$  : PFT ο ρυθμός διάχυσης σε ng/min.
- $R_{CAT}$  : CAT ο ρυθμός συλλογής σε liters/hr = 0.008308.
- $T_{CAT}$  : ο χρόνος έκθεσης του CAT σε min.
- $V_{PMCH}$  : picoliters του PMCH που ανιχνεύτηκαν στο CAT (ανάλυση σε GC).
- $V_{κατ.}$  : όγκος της κατοικίας σε  $m^3$ .

### 3.6 Μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας

Η καταγραφή της θερμοκρασίας (T, σε °C) και της σχετικής υγρασίας (RH %) του περιβάλλοντος αέρα στον σταθμό αναφοράς καθώς και στον εξωτερικό και εσωτερικό χώρο δειγματοληψίας των κατοικιών έγινε με ψηφιακά θερμο-υγρόμετρα, τύπου Microlog, ακρίβειας 0.5°C και 5% (Σχήμα 3-14). Η καταγραφή των T και RH κατέστη αναγκαία τόσο για τον έλεγχο και καλή λειτουργία των οργάνων αλλά και για την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων. Η συλλογή δεδομένων γινόταν κάθε 1 min.

Επιπρόσθετα, έγινε χρήση μετεωρολογικών δεδομένων (T και RH) αλλά και της ατμοσφαιρικής πίεσης (P), της βάσης δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, από τον σταθμό του Θησείου.

**Σχήμα 3-14:** Θέρμο-υγρόμετρο, τύπου Microlog



### 3.7 Καταγραφή συμπληρωματικών δεδομένων

Προκειμένου να υπάρχει επιπλέον πληροφορία για την καλύτερη δυνατή επεξεργασία των δεδομένων και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, έγινε καταγραφή τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών χαρακτηριστικών των κατοικιών, συμπεριλαμβανομένων των δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα εντός και κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Συγκεκριμένα έγινε:

- Καταγραφή εξωτερικών χαρακτηριστικών κατοικίας όπως: γειτνίαση με άλλα οικοδομήματα, parking, απόσταση από δρόμους, διασταυρώσεις, δρόμους μεγάλης

κυκλοφορίας, καταγραφή αριθμού οχημάτων ανά ημέρα. Η αντίστοιχη φόρμα που συμπληρωνόταν από τους επιβλέποντες του πειράματος, φαίνεται στο Παράρτημα Α.

- Καταγραφή εσωτερικών χαρακτηριστικών των κατοικιών: αριθμός δωματίων, επιφάνεια σε  $m^2$ , υπάρχουσες ηλεκτρονικές συσκευές, είδος θέρμανσης κ.λ.π. Η αντίστοιχη φόρμα που συμπληρωνόταν από τους επιβλέποντες του πειράματος, φαίνεται στο Παράρτημα Α.
- Καταγραφή δραστηριοτήτων στην κατοικία. Από την έναρξη των δειγματοληψιών στις κατοικίες μέχρι την λήξη τους, οι ένοικοι έπρεπε να καταγράφουν, σε φόρμα που τους δόθηκε (Παράρτημα Α), τις δραστηριότητές τους ανά 30min.

Επιπρόσθετα, λάμβανε χώρα ο σχεδιασμός της κάτοψης της κάθε κατοικίας, με τη χρήση του λογισμικού 3D Dream House Designer.

## Βιβλιογραφία

Boezen H.M., Zee S.C. van der, Postma D. S., Vonk J.M., Gerritsen J., Hoek G., Brunekreef B., Rijcken B., Schouten J.P., 1999: Effects of ambient air pollution on upper and lower respiratory symptoms and peak expiratory flow in children. *Lancet*, 353, pp. 874-878.

Janssen N.A.H., Hoek G., Brunekreef B., Harssema H., Mensink I., Zuidhof A., 1998: Personal sampling of PM<sub>10</sub> among adults: relation between personal, indoor and outdoor concentrations. *Am. J. Epidemiology*; Vol. 147, pp. 537- 547.

Kavouras I. G., Lawrence J., Koutrakis P. Stephanou E. G., Oyola P., 1999: 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.

Marple V. A., Liu B. Y. H. et al., 1987, - US Patent 4,670,135.

Pope C.A. III, Dockery D.W. 1992. Acute health effects of PM<sub>10</sub> pollution on symptomatic and asymptomatic children, *Am. Rev. Respir. Dis*, Vol. 145, pp. 1123-8.

Sarnat J. A., Demokritou P. and Koutrakis P., 2003: Measurement of fine, coarse and ultrafine particles, *Ann Ist Super Sanità*, Vol. 39, No 3, pp. 351-355.

Zee S. van der, Hoek G., Boezen M.H., Schouten J.P., Wijnen J.H. van, Brunekreef B., 1999: Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms, *Occup. Environ. Med.*, Vol. 56, pp. 802-12.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4. Αιωρούμενα Σωματίδια στο Αστικό Περιβάλλον

#### 4.1 Εισαγωγή

Οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις ΑΣ στην κατώτερη τροπόσφαιρα καθιστούν επιτακτική την ανάγκη επιβολής δραστικών μέτρων για τη μείωση τους. Εκτός από τα όρια των ΑΣ<sub>10</sub> που έχουν τεθεί με την Κοινοτική Οδηγία 1999/30/EC, λόγω της αυξημένης επικινδυνότητας των «λεπτών» ΑΣ στην υγεία του ανθρώπου, τέθηκαν όρια και για τα ΑΣ<sub>2.5</sub> στην ΚΟ 2008/50/EC. Οπότε, θεωρείται πλέον αναγκαία η αδιάλειπτη καταμέτρηση και μελέτη και των λεπτών ΑΣ.

Περιβαλλοντικοί οργανισμοί όπως, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) έχουν προτείνει και θεσπίσει τα δικά τους όρια για τις συγκεντρώσεις των ΑΣ στην ατμόσφαιρα. Η EPA, το 2006, διατήρησε το ημερήσιο όριο που είχε θεσπιστεί από το 1997 για τα ΑΣ<sub>10</sub>, στα 150μg/m<sup>3</sup> ενώ αναθεώρησε τα όρια που είχε προτείνει για τα ΑΣ<sub>2.5</sub>, μείωσε το ημερήσιο όριο από τα 65 στα 35μg/m<sup>3</sup> και διατήρησε το ετήσιο όριο στα 15μg/m<sup>3</sup>.

Η WHO έχοντας λάβει σοβαρά υπόψη της μελέτες, σχετικές με την μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε ΑΣ, των ACS (American Cancer Society) και Harvard Six Cities, έθεσε το 2005 αυστηρά, ετήσια όρια, τα 20μg/m<sup>3</sup> για τα ΑΣ<sub>10</sub> και τα 10μg/m<sup>3</sup> για τα ΑΣ<sub>2.5</sub>, ενώ βασιζόμενη στη συσχέτιση των ημερήσιων και ετήσιων επιπέδων ΑΣ έθεσε ημερήσια όρια τα 50μg/m<sup>3</sup> για τα ΑΣ<sub>10</sub> και τα 25 μg/m<sup>3</sup> για τα ΑΣ<sub>2.5</sub>.

Έντονη διαμάχη διαφαίνεται στους κόλπους της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) όσον αφορά το μέλλον των Κοινοτικών Οδηγιών (ΚΟ) για τα αιωρούμενα σωματίδια. Σύμφωνα με την ΚΟ 1999/30/EC, καθορίστηκαν οριακές τιμές που ισχύουν σε όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες από 1/1/2005. Έχει ορισθεί μέθοδος ώστε η οριακή τιμή να αναπροσαρμόζεται και να λαμβάνει υπόψη της όλα τα σύγχρονα δεδομένα της σχετικής, με την επίδραση στην υγεία, έρευνας καθώς και τα επίπεδα κάθε ρύπου για κάθε χρόνο. Στο πρώτο στάδιο εκτέλεσης της οδηγίας (1/1/2005), ορίστηκε ως όριο της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης των ΑΣ<sub>10</sub>, τα 50μg/m<sup>3</sup>, το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνεται

πάνω από 35 φορές το έτος (90° ποσοστημόριο). Ως ετήσιο όριο, ορίστηκαν, για τα ΑΣ<sub>10</sub>, τα 40μg/m<sup>3</sup>. Στο δεύτερο στάδιο εκτέλεσης της οδηγίας, το οποίο τίθεται σε ισχύ από 1/1/2010, θεσπίζεται πάλι ως μέση ημερήσια τιμή, τα 50μg/m<sup>3</sup>, όριο που δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 7 φορές το έτος. Η μέση ετήσια τιμή των ΑΣ<sub>10</sub> μειώνεται στα 20μg/m<sup>3</sup>.

Σύμφωνα με την οδηγία, τα κράτη μέλη της ΕΕ, μπορούν να προσδιορίσουν ζώνες ή περιοχές με πληθυσμό μεγαλύτερο των 250000 κατοίκων, στις οποίες υπάρχει υπέρβαση των καθορισμένων οριακών τιμών των ΑΣ<sub>10</sub>, στον ατμοσφαιρικό αέρα, λόγω των επαναιώρησης σωματιδίων από τη χειμερινή επικάλυψη των δρόμων. Η λίστα αυτών των ζωνών θα προσκομείται στην ΕΕ μαζί με τα αναγκαία δικαιολογητικά, για την ύπαρξη επαναιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και των μέτρων που έχουν ληφθεί για τη μείωση των συγκεντρώσεων. Κατά την υπέρβαση των ορίων λόγω φυσικών αιτιών, τα οποία αυξάνουν τα κανονικά επίπεδα υποβάθρου (προέλευσης φυσικών πηγών), τα κράτη μέλη υποχρεώνονται να προσκομίσουν τα κατάλληλα δικαιολογητικά, τα οποία θα δηλώνουν ότι οι υπερβάσεις οφείλονται σε φυσικά αίτια, σε διάστημα εννέα μηνών, μετά το τέλος κάθε έτους. Η ΕΕ πρέπει να ενημερώνεται για την εμφάνιση συγκεντρώσεων που υπερβαίνουν τα όρια και το εύρος ανοχής, τις ημέρες και τα διαστήματα που παρατηρήθηκαν τα επίπεδα αυτά και οι τιμές που καταγράφησαν (σε περίοδο εννέα μηνών, μετά το τέλος κάθε έτους) (Council Directive 96/62/EC). Επίσης, πρέπει η ΕΕ να ενημερώνεται για τους στόχους και τα προγράμματα που αναφέρονται στις ζώνες και τις περιοχές με συσσώρευση κατοίκων που παρουσιάζουν υψηλές τιμές των ρύπων, μέσα σε διάστημα όχι μεγαλύτερο από δύο χρόνια μετά το τέλος κάθε έτους. Κάθε τρία χρόνια, η ΕΕ πρέπει να ενημερώνεται για την πρόοδο των προγραμμάτων και των στόχων που έχουν τεθεί. Να αποστέλλεται η λίστα με τις ζώνες και τις περιοχές με συσσώρευση κατοίκων που παρουσιάζουν υψηλές τιμές των ρύπων, σε διάστημα όχι μεγαλύτερο από εννέα μηνών, μετά το τέλος κάθε έτους. Να ενημερώνεται η ΕΕ για τις μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προκαταρκτική εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Να αποστέλονται στην ΕΕ, κάθε τρία χρόνια, προτυποποιημένα έγγραφα σχετικά με την υλοποίηση οδηγιών σχετικών με το περιβάλλον (Council Directive 96/ 62/ EC).

Για τα ΑΣ<sub>2.5</sub> η ΕΕ θέσπισε ως ανώτατο όριο της ετήσιας μέσης συγκέντρωσής τους, τα 25μg/m<sup>3</sup>, το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή από 01/01/2010. Επίσης, ως ένα πρώτο βήμα

για τη μείωση των μέσων αστικών συγκεντρώσεων σε ολόκληρο το έδαφός τους, προτείνεται από την ΕΕ, τα κράτη μέλη να προβαίνουν σε εκτενέστερη παρακολούθηση των επιπέδων των σωματιδίων ΑΣ<sub>2.5</sub>, σε αστικές περιοχές. Τέλος, προτείνεται, ο ενιαίος ενδιάμεσος στόχος μείωσης των ΑΣ<sub>10</sub>, της τάξης του 20%, που πρέπει να έχει επιτευχθεί μεταξύ 2010 και 2020 (Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο).

Το ελληνικό κράτος σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ (1999/30/EC), προβαίνει, από το 2001, στη συστηματική καταμέτρηση των ΑΣ<sub>10</sub>. Η ενεργοποίηση των ευρωπαϊκών χωρών για τα ΑΣ γίνεται αντιληπτή και από την αύξηση των σταθμών καταγραφής των ΑΣ<sub>10</sub>, όπου το 2004 καταγράφηκαν 1815 σταθμοί.

Στον Πίνακα 4-1, παρουσιάζονται ενδεικτικά, βάσει βιβλιογραφίας, μέσες τιμές ΑΣ<sub>10</sub> σε μεγάλες πόλεις, σε διάφορες χρονικές περιόδους, από μελέτες που έχουν διεξαχθεί κυρίως βάσει κατεγραμμένων συγκεντρώσεων αλλά και από το μοντέλο GMAPS. Οι περισσότερες από αυτές, παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 20μg/m<sup>3</sup> και 40μg/m<sup>3</sup>. Τις μεγαλύτερες μέσες συγκεντρώσεις, φαίνεται να έχουν οι πόλεις της Ασίας και συγκεκριμένα της Κίνας και της Ινδίας.

**Πίνακας 4-1:** Επίπεδα ΑΣ σε μεγάλες πόλεις του κόσμου.

| Πόλη               | Συγκέντρωση ΑΣ <sub>10</sub> (μg/ m <sup>3</sup> ) | Χρόνος      | Αναφορά                               |
|--------------------|----------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Πόλη του Μεξικό    | 53                                                 | 2002        | Mc Kinley G. et al., (2005)           |
| Σαντιάγο της Χιλής | 61                                                 | 2004        | World Bank study                      |
| Ρίο ντε Τζανέιρο   | 35                                                 | 2004        | World Bank study                      |
| Ρίο ντε Τζανέιρο   | 30                                                 | 2006        | Godoy M. L. (2009)                    |
| Σαγκάη             | 100                                                | 2000 – 2004 | Clean air initiative for Asian cities |
| Ν. Δελχί           | 130                                                | 2003        | Air quality and climate change action |
| Ν. Δελχί           | 150                                                | 2004        | World Bank study                      |
| Πεκίνο (Κίνα)      | 89                                                 | 2004        | World Bank study                      |

|                            |      |                    |                                    |
|----------------------------|------|--------------------|------------------------------------|
| Κωνστ/λη (Τουρκία)         | 47.1 | 07/2002 – 07/ 2003 | Karaca F. et al. (2005)            |
| Κωνστ/λη (Τουρκία)         | 55   | 2004               | World Bank study                   |
| Κάιρο                      | 169  | 2004               | Word Development Indicators (2007) |
| Τσιάν Μάι (Ταυλάνδη)       | 86,4 | 3/1998 – 10/ 1999  | Vinitketkumnuen U. (2002)          |
| Μπανγκόκ (Ταυλάνδη)        | 79   | 2004               | World Bank study                   |
| Τζακάρτα (Ινδονησία)       | 104  | 2004               | World Bank study                   |
| Μαδρίτη                    | 35   | 2003               | Ecologistas en acción              |
| Μιλάνο                     | 63   | 2001               | Marcazzan G. M. et al. (2003)      |
| Βιέννη (Αυστρία)           | 41   | 2004               | World Bank study                   |
| Σόφια (Βουλγαρία)          | 61   | 2004               | World Bank study                   |
| Βερολίνο (Γερμανία)        | 21   | 2004               | World Bank study                   |
| Ουέλλινγκτον (Ν. Ζηλανδία) | 15   | 2003               | Υπουργείο Περ/ντος Ν. Ζηλανδίας    |

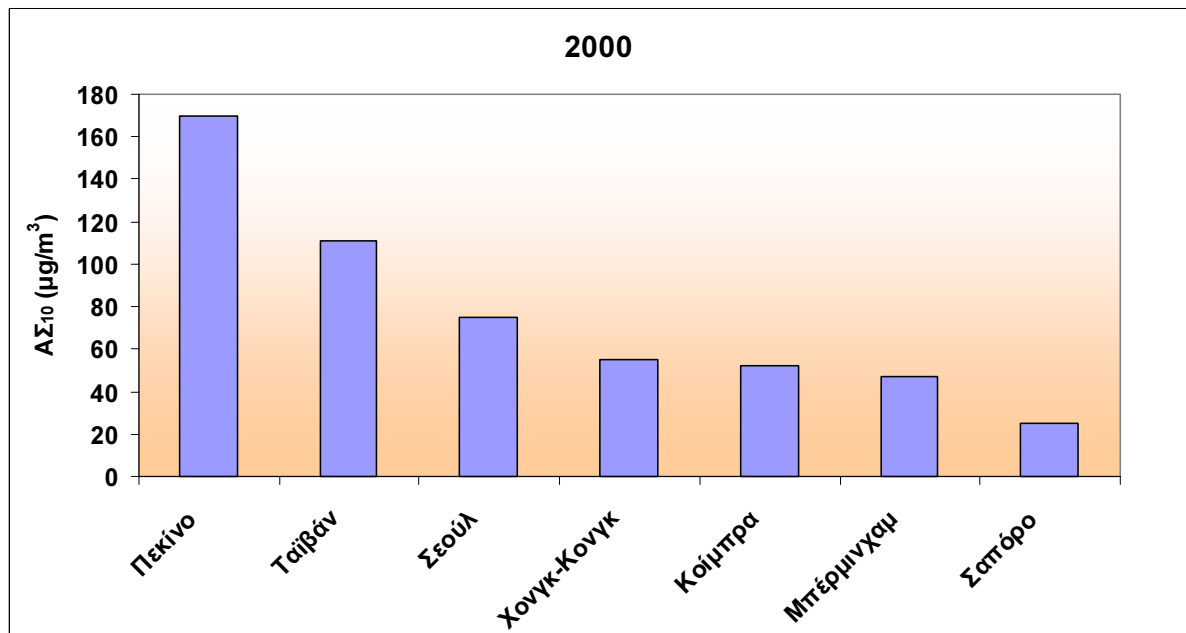
\* *World Bank study by Pandley K. D., Wheeler D., Ostro B., Deichman U., Hamilton K. and Bolt K., (2006): Ambient Particulate Matter concentration in residential and pollution hotspot areas of world cities: New estimates based on the global model of ambient particulates (GMAPS).*

Σε πολλές από τις παραπάνω αναφερόμενες πόλεις η εικόνα έχει αλλάξει, πολλές έχουν μειώσει αρκετά τα επίπεδα των ΑΣ, ενώ άλλες δεν έχουν καταφέρει σημαντικές προόδους στον έλεγχο των ΑΣ. Για παράδειγμα το 2000, μία από τις πιο ρυπασμένες πόλεις της Ασίας, το Πεκίνο, είχε μέση συγκέντρωση ΑΣ<sub>10</sub> ~170μg/m<sup>3</sup> (Σχήμα 4-1), σχεδόν 3.5 φορές πιο πάνω από το αρχικό όριο των 50μg/m<sup>3</sup> (Zhang et al., 2004). Σε σύγκριση με άλλες πόλεις της Ασίας και της Μ. Βρετανίας, το Πεκίνο εξακολουθεί να είναι η πιο ρυπασμένη πόλη σε ΑΣ (Σχήμα 4-1; Zhang et al., 2004). Το 2005 η Βομβάη εξακολουθούσε να είναι αρκετά πάνω από το όριο των 50μg/m<sup>3</sup> για τα ΑΣ<sub>10</sub> ενώ στις μισές πόλεις της Ινδίας τα επίπεδα των ΑΣ<sub>10</sub> είναι μεγαλύτερα των 90μg/m<sup>3</sup> και χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα (City Action for Clean Air campaign). Επίσης, η γειτονική στην Ελλάδα, Κωνσταντινούπολη φαίνεται να έχει αυξημένα επίπεδα ΑΣ<sub>10</sub>, αφού για την περίοδο 7/2002-7/2003 η μέση τιμή ήταν 47.1μg/m<sup>3</sup>, αρκετά κάτω από το

όριο που έχει θέσει η Τουρκία ( $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) αλλά πάνω από το όριο των  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  της ΕΕ (Karaca et. al., 2005).

Εν όψει των Ολυμπιακών Αγώνων του 2012, οι τέσσερις υποψήφιες πόλεις για την φιλοξενία των αγώνων (Λονδίνο, Παρίσι, Μαδρίτη και Νέα Υόρκη), συγκρίθηκαν ως προς την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Σύμφωνα με έκθεση του προγράμματος APHEIS, η Μαδρίτη παρουσίασε την χειρότερη εικόνα, ως προς τα επίπεδα των  $\text{A}\Sigma_{10}$ , καθώς το 2000 είχε μέση ετήσια συγκέντρωση  $37\mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ 78 ημέρες του χρόνου τα επίπεδα των  $\text{A}\Sigma_{10}$  ήταν πάνω από το όριο των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Το Παρίσι, την ίδια χρονιά, είχε  $22\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Το 2001, το Λονδίνο, βρισκόταν στα ίδια επίπεδα με την Πόλη του Φωτός ( $22\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Σχήμα 4-1:** Συγκεντρώσεις  $\text{A}\Sigma_{10}$ , σε διάφορες πόλεις, για το έτος 2000.



Καθώς πολλές επιδημιολογικές μελέτες, σχετικές με τις βραχυχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία, έχουν κάνει εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου σε πολύ λεπτά ΑΣ (UFP), βασιζόμενοι σε δεδομένα από έναν κεντρικό σταθμό αναφοράς (Σ.Α.) (Analitis et al., 2006), γεννιέται το ερώτημα; κατά πόσο οι

μετρήσεις ΑΣ, από έναν Σ.Α., παρέχουν αντιπροσωπευτικά δεδομένα για την εκτίμηση της κατάστασης που επικρατεί σε ένα αστικό κέντρο, όπως αυτό των Αθηνών.

Από τις μέχρι τώρα μελέτες, που έχουν διεξαχθεί στην ΕΕ και έχει λάβει μέρος και η Ελλάδα (EXPOLIS, APHEA, PEACE study, CAFE, Urban Aerosol) δεν υπάρχουν ταυτόχρονες μετρήσεις ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>2.5</sub>, συντελεστής απορρόφησης καθώς και της συγκέντρωσης του αριθμού των σωματιδίων, στον ελλαδικό χώρο (Katsouyanni et al 1997; Hanninen 2004; Hoek et al, 1997 a,b; KTL website).

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου, είναι η μελέτη του αστικού υποβάθρου από τις συγκεντρώσεις ΑΣ σε σταθμό των Αθηνών σε τυπική, αστική, περιοχή που δεν βρίσκονταν κοντά στη βιομηχανική ζώνη και δεν επηρεάζονταν έντονα από τοπικούς παράγοντες. Καθώς παρουσιάζονται διαφορές στις χωρικές κατανομές των ΑΣ, μεταξύ των Ευρωπαϊκών κρατών, με εμφάνιση βαθμίδας προς υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>10</sub>, από βορρά προς νότο (Gomiscek et al., 2004), γίνεται προσπάθεια μελέτης των ΑΣ με σκοπό την αξιολόγηση των επιπέδων συγκέντρωσης μάζας, αριθμού ΑΣ (ΑΑΣ) και του συντελεστή απορρόφησης.

Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η χρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων μάζας, του αριθμού των ΑΣ και του συντελεστή απορρόφησης. Έγιναν συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων των ΑΣ. Μελετήθηκαν οι μεταβολές των λόγων ΑΣ<sub>2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub> και ΑΣ<sub>10-2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub> σε εβδομαδιαία και ετήσια βάση, η ημερήσια μεταβολή των ΑΣ καθώς και η ωριαία μεταβολή του αριθμού των ΑΣ. Επιπρόσθετα, έγινε προσπάθεια μελέτης της επίδρασης διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων (βροχόπτωση, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου) στις συγκεντρώσεις ΑΣ. Βρέθηκαν ποιες κατανομές προσεγγίζουν καλύτερα τις υπό μελέτη παραμέτρους και κατά πόσο πρέπει να μεταβληθούν οι τιμές των ΑΣ<sub>10</sub> προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των 50μg/m<sup>3</sup>.

## 4.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Στον Πίνακα 4-2 παραθέτονται: η μέση τιμή, το τυπικό σφάλμα μέσης τιμής, η διάμεσος, η τυπική απόκλιση, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή, των δεδομένων συγκεντρώσεως μάζας, αριθμού και συντελεστή απορρόφησης των ΑΣ, του σταθμού αναφοράς (Σ.Α.), για την περίοδο 23/ 10/ 2002 – 31/ 03/ 2004. Από τον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι, κατά την περίοδο δειγματοληψίας, τα ΑΣ<sub>10</sub> είχαν μέση τιμή  $(56.7 \pm 1.2) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , τα ΑΣ<sub>2.5</sub>  $(25.0 \pm 0.6) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , τα ΑΣ<sub>10-2.5</sub>  $(31.6 \pm 0.8) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ο συντελεστής απορρόφησης  $(3.7 \pm 0.1) \times 10^{-5}/\text{m}$  και ο αριθμός ΑΣ (ΑΑΣ)  $(24180 \pm 623) \text{σωμ.}/\text{cm}^3$ . Τα αποτελέσματα δείχνουν υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>10</sub> που οφείλονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ.

**Πίνακας 4-2:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων ΑΣ, του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας 23/ 10/ 2002 – 31/ 03/ 2004

|                                  | ΑΣ <sub>10</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | ΑΣ <sub>2.5</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Συντελεστής<br>απορ/σης<br>( $\times 10^{-5}/\text{m}$ ) | ΑΑΣ<br>( $\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ ) |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <i>N</i>                         | 491                                              | 491                                               | 491                                                    | 491                                                      | 471                                  |
| <i>Μέση τιμή (± τυπ. σφάλμα)</i> | 56.7±1.2                                         | 25.1±0.6                                          | 31.6±0.8                                               | 3.7±0.1                                                  | 24180±623                            |
| <i>Διάμεσος</i>                  | 51.7                                             | 22.6                                              | 28.8                                                   | 3.5                                                      | 20374                                |
| <i>Τυπική Απόκλιση (σ)</i>       | 26.4                                             | 12.7                                              | 18.7                                                   | 1.6                                                      | 13521                                |
| <i>Ελάχιστη τιμή</i>             | 8.5                                              | 2.4                                               | 0.7                                                    | 0,9                                                      | 3302                                 |
| <i>Μέγιστη τιμή</i>              | 158.7                                            | 79.1                                              | 126.4                                                  | 8.4                                                      | 66099                                |

Αν και η περίοδος δειγματοληψίας ξεπερνά το ημερολογιακό έτος, ωστόσο είναι ενδιαφέρουσα η σύγκριση των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων με αντίστοιχες άλλων ευρωπαϊκών πόλεων.

Σύμφωνα με έκθεση του ΕΕΑ για την περίοδο 1990–2004 (No 2/2007), η ανοδική τάση που παρατηρήθηκε στις συγκεντρώσεις των ΑΣ<sub>10</sub> το 2003, τερματίστηκε με μία μεγάλη πτώση των τιμών το 2004 (Πίνακας 4-3). Όπως φαίνεται, η μέση τιμή της συγκέντρωσης μάζας του κλάσματος ΑΣ<sub>10</sub> (56.7μg/m<sup>3</sup>) είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τη μέση τιμή 8 κρατών μελών (Πίνακας 4-4).

Στον Πίνακα 4-4 φαίνονται ενδεικτικά οι μέσες ετήσιες τιμές ΑΣ<sub>10</sub> σε μεγάλες πόλεις, των περισσότερων κρατών – μελών της ΕΕ. Οι πλειοψηφία των σταθμών, ανήκει στην κατηγορία αστικού υποβάθρου έτσι ώστε η σύγκριση με τον σταθμό αναφοράς να είναι πιο αντικειμενική. Όμως σε πολλές από τις πρωτεύουσες των κρατών λειτουργούν μόνο σταθμοί αστικής κυκλοφορίας (π.χ. Βρυξέλλες). Από τους συγκεκριμένους σταθμούς η μικρότερη συγκέντρωση παρουσιάζεται στο σταθμό αστικού υποβάθρου στο Ελσίνκι (Kallio 2) με 16.4μg/m<sup>3</sup> και η υψηλότερη τιμή σε σταθμό αστικό- κυκλοφορίας στην πόλη Κοκάνι των Σκοπίων με 65.4μg/m<sup>3</sup> (όπου δεν υπήρχε σταθμός αστικού υποβάθρου).

**Πίνακας 4-3:** Μέσες ετήσιες τιμές ΑΣ<sub>10</sub> σε 8 κράτη μέλη της ΕΕ.

| ΑΣ <sub>10</sub>               | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| Μέση τιμή σταθμών υποβάθρου    | 26   | 29   | 27   | 26   | 26   |
| Μέγιστη τιμή σταθμών υποβάθρου | 41   | 46   | 39   | 38   | 33   |

**Πίνακας 4-4:** Ενδεικτικές μέσες τιμές συγκέντρωσης μάζας ΑΣ<sub>10</sub> σε διάφορους σταθμούς αστικού υποβάθρου και αστικούς- κυκλοφορίας σε Ευρωπαϊκά κράτη (Airbase ΕΕΑ).

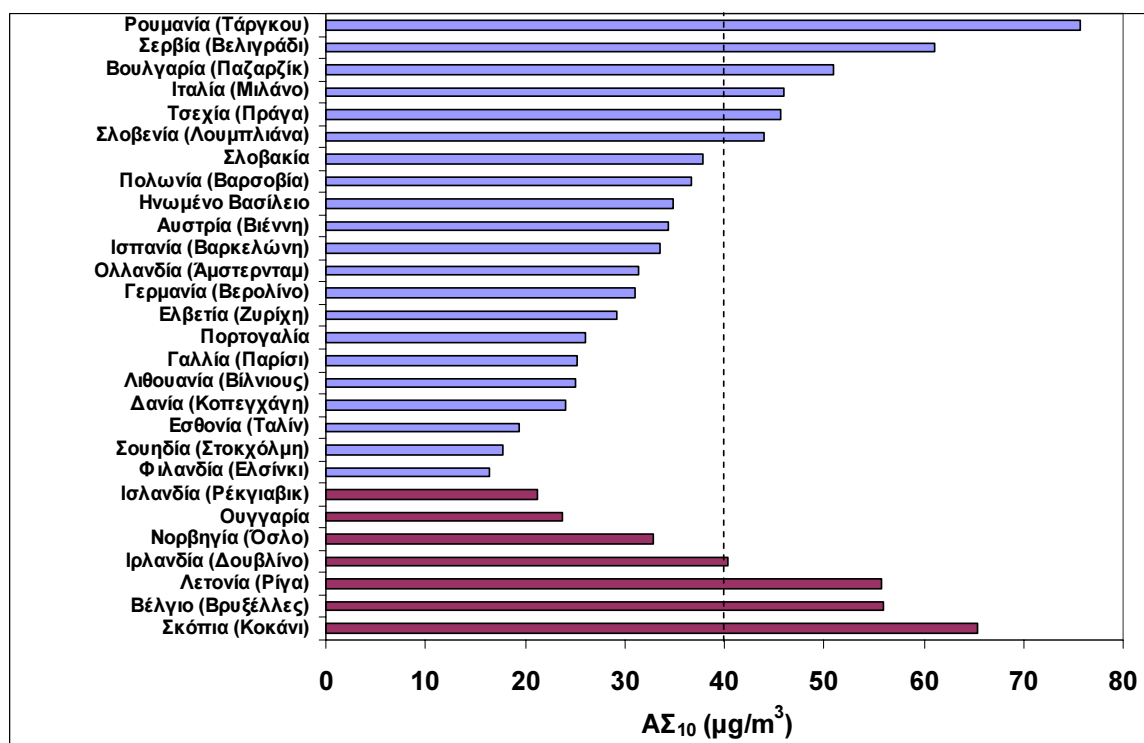
| Κράτος  | Πόλη      | Τύπος σταθμού         | ΑΣ <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | Σταθμός   |
|---------|-----------|-----------------------|---------------------------------------|-----------|
| Αυστρία | Βιέννη    | Αστικού υποβάθρου     | 34.4                                  | Stadlau   |
| Βέλγιο  | Βρυξέλλες | Αστικός - Κυκλοφορίας | 56.0                                  | Molenbeek |

|                         |                |                       |      |                                  |
|-------------------------|----------------|-----------------------|------|----------------------------------|
| <b>Βουλγαρία</b>        | Παζαρζίκ       | Αστικού υποβάθρου     | 51.0 | RloE                             |
| <b>Γαλλία</b>           | Παρίσι         | Αστικού υποβάθρου     | 25.3 | Paris 18eme                      |
| <b>Γερμανία</b>         | Βερολίνο       | Αστικού υποβάθρου     | 31.0 | B. Wedding –<br>Amrumer Str.     |
| <b>Δανία</b>            | Κοπεγχάγη      | Αστικού υποβάθρου     | 24.1 | Copen. 1259                      |
| <b>Ελβετία</b>          | Ζυρίχη         | Αστικού υποβάθρου     | 29.2 | Kaserne                          |
| <b>Εσθονία</b>          | Ταλίν          | Αστικού υποβάθρου     | 19.4 | Oismae                           |
| <b>Ηνωμένο Βασίλειο</b> | Λονδίνο        | Αστικού υποβάθρου     | 34.9 | Westminster                      |
| <b>Ιρλανδία</b>         | Δουβλίνο       | Αστικός - Κυκλοφορίας | 40.3 | College str.                     |
| <b>Ισλανδία</b>         | Ρέικιαβικ      | Αστικός - Κυκλοφορίας | 21.3 | Husdyragardu<br>rinn             |
| <b>Ισπανία</b>          | Βαρκελώνη      | Αστικού υποβάθρου     | 33.6 | ESO567A<br>Zona<br>Universitaria |
| <b>Ιταλία</b>           | Μιλάνο         | Αστικού υποβάθρου     | 46.0 | Juvara<br>301518                 |
| <b>Λετονία</b>          | Ρίγα           | Αστικός - Κυκλοφορίας | 55.7 | Brivibas str.                    |
| <b>Λιθουανία</b>        | Βίλνιους       | Αστικού υποβάθρου     | 25.1 | Lazdynai                         |
| <b>Νορβηγία</b>         | Όσλο           | Αστικός - Κυκλοφορίας | 32.9 | Kirkeveien                       |
| <b>Ολλανδία</b>         | Άμστερνταμ     | Αστικού υποβάθρου     | 31.4 | Florapark                        |
| <b>Ουγγαρία</b>         | Βουδαπέστη     | Αστικός - Κυκλοφορίας | 23.8 | Baross                           |
| <b>Πολωνία</b>          | Βαρσοβία       | Αστικού υποβάθρου     | 36.6 | Mz Warsz<br>Krucza               |
| <b>Πορτογαλία</b>       | Λισσαβόνα      | Αστικού υποβάθρου     | 26.0 | Olivais                          |
| <b>Ρουμανία</b>         | Τάργκου Μούρες | Αστικού υποβάθρου     | 75.7 | Sediul APM                       |
| <b>Σερβία</b>           | Βελιγράδι      | Αστικού υποβάθρου     | 61.0 | Bulevar<br>Despota               |
| <b>Σκόπια</b>           | Κοκάνι         | Αστικός - Κυκλοφορίας | 65.4 | Kocani                           |
| <b>Σλοβακία</b>         | Μπρατισλάβα    | Αστικού υποβάθρου     | 37.8 | Manateyova                       |
| <b>Σλοβενία</b>         | Λουμπλιάνα     | Αστικού υποβάθρου     | 44.0 | Bezigrad                         |
| <b>Σουηδία</b>          | Στοκχόλμη      | Αστικού υποβάθρου     | 17.8 | Sodermalm                        |
| <b>Τσεχία</b>           | Πράγα          | Αστικού υποβάθρου     | 45.6 | Pha2-<br>Riegrovysady            |

|                 |         |                   |      |          |
|-----------------|---------|-------------------|------|----------|
| <b>Φιλανδία</b> | Ελσίνκι | Αστικού υποβάθρου | 16.4 | Kallio 2 |
|-----------------|---------|-------------------|------|----------|

Στο Σχήμα 4-2 φαίνονται οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των ΑΣ<sub>10</sub> για το 2003, όπου οι σταθμοί αστικού υποβάθρου παρουσιάζονται με μπλε χρώμα και οι αστικοί-κυκλοφορίας με σκούρο κόκκινο.

**Σχήμα 4-2:** Γραφική απεικόνιση των μέσων τιμών των ΑΣ<sub>10</sub> του Πίνακα 4-4, σε διάφορους σταθμούς αστικού υποβάθρου (μπλε) και αστικούς - κυκλοφορίας (σκούρο κόκκινο) (Airbase 2003, ΕΕΑ).



Από τους σταθμούς αστικού υποβάθρου γίνεται αντιληπτό ότι, τα Βαλκανικά κράτη καθώς και η βιομηχανική πόλη Μιλάνο της Ιταλίας εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων, τα οποία ξεπερνούν το όριο των 40μg/m<sup>3</sup>. Αντίθετα, οι σκανδιναβικές χώρες παρουσιάζουν τις μικρότερες συγκεντρώσεις. Από τους σταθμούς αστικής-κυκλοφορίας, τα Σκόπια εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές ξεπερνώντας κατά πολύ το

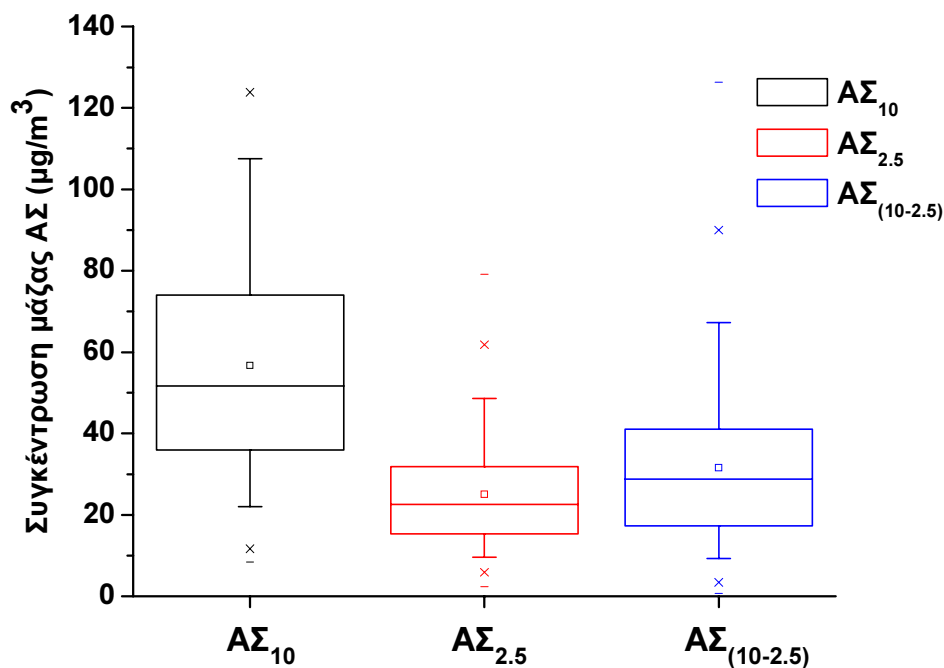
όριο των  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  και ακολουθούν οι Βρυξέλλες και η Ρίγα της Λετονίας. Συγκρίνοντας τις παραπάνω τιμές των  $\text{A}\Sigma_{10}$  (Πίνακας 4-4) με την αντίστοιχη συγκέντρωση του Σ.Α. ( $56.7\pm 1.2$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Πίνακας 4-2), φαίνεται ότι τα  $\text{A}\Sigma_{10}$  παρουσιάζονται αρκετά αυξημένα και πλησιάζουν τα επίπεδα χωρών όπως η Λετονία, η Σερβία και η Βουλγαρία.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα γραφήματα (θηκογράμματα – boxplots) των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων των συγκεντρώσεων μάζας,  $\text{A}\Sigma$  και συντελεστή απορρόφησης, των δεδομένων του Σ.Α. (Σχήματα 4-3, 4-4 και 4-5). Από το Σχήμα 4-3 φαίνεται το μεγάλο εύρος τιμών των  $\text{A}\Sigma_{10}$  συγκριτικά με τα  $\text{A}\Sigma_{2.5}$ , τα οποία παρουσιάζουν την μικρότερη συγκέντρωση. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης τιμής, στα  $\text{A}\Sigma_{10}$  φτάνει τα  $150.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ , στα  $\text{A}\Sigma_{2.5}$  τα  $76.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ στα  $\text{A}\Sigma_{(10-2.5)}$  υπολογίστηκε  $125.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Οπότε συνάγεται ότι, το μεγάλο εύρος στις συγκεντρώσεις μάζας των  $\text{A}\Sigma_{10}$  οφείλεται κυρίως σε αυτό των αδρών  $\text{A}\Sigma$ .

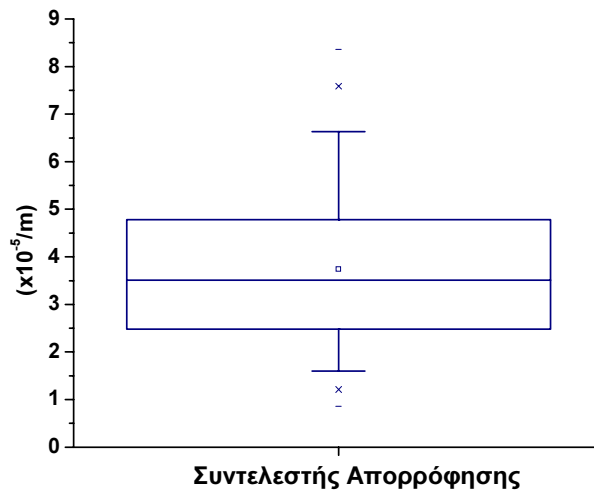
Η συνεισφορά των λεπτών  $\text{A}\Sigma$ , ανέρχεται στο 44.1% ενώ των αδρών στο 55.8% του συνόλου των  $\text{A}\Sigma_{10}$ . Παρά το γεγονός ότι ο σταθμός αναφοράς βρίσκεται σε αστική περιοχή και περιβάλλεται από δρόμους (Εικ. 3.2), όπου οι εκπομπές από την καύση πετρελαίου και βενζίνης (αυτοκίνητα, κεντρική θέρμανση) είναι σημαντικές, όπως έχει παρατηρηθεί και σε άλλα αστικά κέντρα (Halifax, Montreal, Ottawa, Chicago, Dallas κ.α.; Kavouras et al. 2001), τα αδρά  $\text{A}\Sigma$  συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο ποσοστό, στο σύνολο των  $\text{A}\Sigma_{10}$ , συγκριτικά με τα  $\text{A}\Sigma_{2.5}$ , γεγονός που αποδίδεται στην επαναιώρηση της σκόνης από τα ελαστικά και τα φρένα των οχημάτων, την επαναιώρηση της σκόνης των δρόμων και επεισόδια μεταφοράς σκόνης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από μελέτη των Wrobel et al. (2000), σύμφωνα με την οποία τα αδρά  $\text{A}\Sigma$  συνεισφέρουν κατά ένα ποσοστό μέχρι και 80% στο σύνολο των  $\text{A}\Sigma$ , σε αποστάσεις μέχρι και 150m από τον δρόμο, ενώ η συνεισφορά τους πέφτει απότομα, σε απόσταση 150-200m και στα 1500m φτάνει το 20%. Αντίστοιχα, η συνεισφορά των λεπτών  $\text{A}\Sigma$  μπορεί να φτάσει το 50-70% κοντά σε δρόμο (5m) ενώ πέφτει αυξανόμενης της απόστασης. Δεν θα πρέπει να παραγνωρίζεται ότι, κατά το χρονικό διάστημα της μελέτης, σχεδόν σε όλο το λεκανοπέδιο Αττικής, εκτελούνταν μεγάλος αριθμός έργων που συνέβαλλαν τόσο σε αυξημένες εκπομπές αδρών σωματιδίων όσο και στην επαναιώρηση σωματιδίων που είχαν καθιζάνει.

Επίσης, μεγάλο εύρος τιμών παρατηρείται στον συντελεστή απορρόφησης ( $7.5 \times 10^{-5}/\text{m}$ ) (Σχήμα 4-4) και στον ΑΑΣ ( $62797 \text{ σωμ.}/\text{cm}^3$ ), με ελάχιστη τιμή  $3302 \text{ σωμ.}/\text{cm}^3$  και μέγιστη  $66099 \text{ σωμ.}/\text{cm}^3$  (Σχήμα 4-5). Η μέση τιμή των 24-ωρων μέσων τιμών του ΑΑΣ ( $2.42 \pm 0.06 \times 10^{-4} \text{ σωμ.}/\text{cm}^3$ ) έρχεται σε συμφωνία με αντίστοιχες μετρήσεις αστικού υποβάθρου των Ping et al (1999) στο Birmingham ( $2.68 \pm 1.29 \times 10^{-4} \text{ σωμ.}/\text{cm}^3$ ).

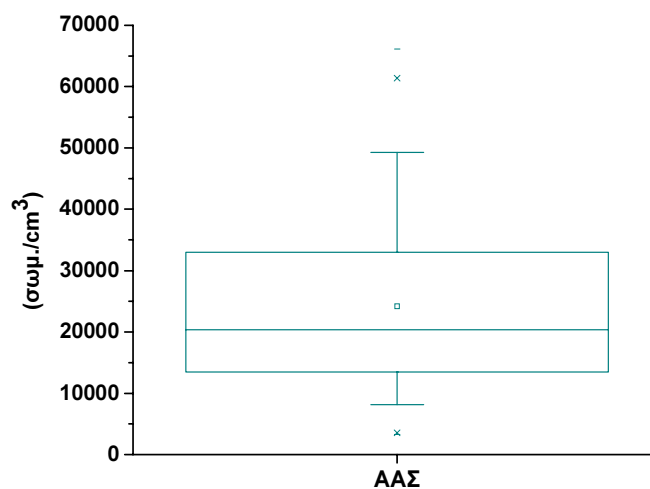
**Σχήμα 4-3:** Συγκεντρώσεις κλασμάτων ΑΣ, 10, 2.5 και (10-2.5), του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας (23/ 10/ 2002 – 31/ 03/ 2004). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊢), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 4-4:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του συντελεστή απορρόφησης από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο δειγματοληψίας (23/10/2002 – 31/03/2004). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 4-5:** Συγκέντρωση του αριθμού ΑΣ, του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας (23/10/2002 – 31/03/2004). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Σε όλα τα κλάσματα ΑΣ παρατηρείται ότι η μέση τιμή διαφέρει από τη διάμεσο, γεγονός που δηλώνει ότι η κατανομές των δεδομένων, των αντίστοιχων παραμέτρων, δεν είναι κανονικές.

Επίσης, υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες παράμετροι για τα χρονικά διαστήματα 23/10/2002 – 31/12/2002 (Πίνακας 4-5), 01/01/2003-31/12/2003 (Πίνακας 4-6) και 01/01/2003-31/03/2004 (Πίνακας 4-7).

**Πίνακας 4-5:** Μέση τιμή, διάμεσος τυπική απόκλιση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, εκατοστημόριο (25%, 75%) όλων των παραμέτρων των ΑΣ για το διάστημα 23/10/02 – 31/12/02.

| 23/10/02 –<br>31/12/02 |         | ΑΣ <sub>10</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>2.5</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | Συντελεστής<br>απορ/σης<br>(×10 <sup>-5</sup> /m) | ΑΑΣ<br>(σωμ./cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------|---------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| Μέση τιμή              |         | 56.5±3.2                                 | 28.7±1.9                                  | 27.9±1.9                                       | 4.8±0.2                                           | 36450±1488                     |
| Διάμεσος               |         | 50.2                                     | 25.3                                      | 25.3                                           | 5.1                                               | 36688                          |
| Τυπική<br>Απόκλιση (σ) |         | 26.1                                     | 15.7                                      | 15.7                                           | 1.6                                               | 12087                          |
| Ελάχιστη τιμή          |         | 8.5                                      | 7.1                                       | 1.4                                            | 1.5                                               | 12952                          |
| Μέγιστη τιμή           |         | 120.2                                    | 79.1                                      | 70.2                                           | 7.6                                               | 66099                          |
| Εκατοστημόριο          | 25%     | 34.1                                     | 15.6                                      | 14.5                                           | 3.4                                               | 26261                          |
|                        | 75%     | 76.6                                     | 36.7                                      | 37.8                                           | 5.9                                               | 45380                          |
| N                      | Έγκυρα  | 66                                       | 66                                        | 66                                             | 66                                                | 66                             |
|                        | Λείπουν | 4                                        | 4                                         | 4                                              | 4                                                 | 4                              |

**Πίνακας 4-6:** Μέση τιμή, διάμεσος τυπική απόκλιση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, εκατοστημόριο (25%, 75%) όλων των παραμέτρων των ΑΣ για το 2003.

| 2003      |  | ΑΣ <sub>10</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>2.5</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>10-2.5</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | Συντελεστής<br>απορ/σης<br>(×10 <sup>-5</sup> /m) | ΑΑΣ<br>(σωμ./cm <sup>3</sup> ) |
|-----------|--|------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| Μέση τιμή |  | 56.8±1.4                                 | 24.4±0.7                                  | 32.4±1.0                                     | 3.4±0.1                                           | 20036±620                      |

|                            |         |       |      |       |     |       |
|----------------------------|---------|-------|------|-------|-----|-------|
| <b>Διάμεσος</b>            |         | 51.7  | 21.9 | 29.5  | 3.3 | 17168 |
| <b>Τυπική Απόκλιση (σ)</b> |         | 26.2  | 12.1 | 18.9  | 1.4 | 11118 |
| <b>Ελάχιστη τιμή</b>       |         | 8.9   | 2.4  | 0.7   | 0.9 | 3302  |
| <b>Μέγιστη τιμή</b>        |         | 158.7 | 79.0 | 126.4 | 8.4 | 63077 |
| <b>Εκατοστημόριο</b>       | 25%     | 37.1  | 15.2 | 17.7  | 2.3 | 11594 |
|                            | 75%     | 73.6  | 31.1 | 42.7  | 4.4 | 25723 |
| <b>N</b>                   | Έγκυρα  | 344   | 344  | 343   | 344 | 322   |
|                            | Λείπουν | 21    | 21   | 22    | 21  | 43    |

**Πίνακας 4-7:** Μέση τιμή, διάμεσος τυπική απόκλιση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, εκατοστημόριο (25%, 75%) όλων των παραμέτρων των ΑΣ για το διάστημα 01/01/03-31/03/04.

| <b>01/01/03-31/03/04</b>   |         | <b>ΑΣ<sub>10</sub><br/>(μg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>ΑΣ<sub>2.5</sub><br/>(μg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>ΑΣ<sub>10-2.5</sub><br/>(μg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Συντελεστής<br/>απορ/σης<br/>(×10<sup>-5</sup>/m)</b> | <b>ΑΑΣ<br/>(σωμ./cm<sup>3</sup>)</b> |
|----------------------------|---------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Μέση τιμή</b>           |         | 56.4±3.1                                      | 24.7±1.3                                       | 31.4±2.2                                          | 4.2±0.2                                                  | 30501±1625                           |
| <b>Διάμεσος</b>            |         | 52.5                                          | 21.9                                           | 26.1                                              | 3.8                                                      | 29371                                |
| <b>Τυπική Απόκλιση (σ)</b> |         | 28.0                                          | 11.9                                           | 19.7                                              | 1.6                                                      | 14800                                |
| <b>Ελάχιστη τιμή</b>       |         | 12.5                                          | 3.9                                            | 3.8                                               | 1.6                                                      | 10322                                |
| <b>Μέγιστη τιμή</b>        |         | 143.6                                         | 60.0                                           | 97.0                                              | 7.7                                                      | 65058                                |
| <b>Εκατοστημόριο</b>       | 25%     | 31.7                                          | 15.3                                           | 17.4                                              | 2.8                                                      | 17410                                |
|                            | 75%     | 74.0                                          | 32.3                                           | 39.8                                              | 5.5                                                      | 39338                                |
| <b>N</b>                   | Έγκυρα  | 83                                            | 83                                             | 82                                                | 83                                                       | 83                                   |
|                            | Λείπουν | 8                                             | 8                                              | 9                                                 | 8                                                        | 8                                    |

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι η μέση τιμή, της συγκέντρωσης μάζας, των ΑΣ<sub>10</sub> είναι περίπου η ίδια και για τις τρεις χρονικές περιόδους, γεγονός που δηλώνει την σταθερότητα των επιπέδων των ΑΣ<sub>10</sub>. Αντίστοιχα, τα επίπεδα των ΑΣ<sub>2.5</sub> φαίνεται να μην διαφέρουν σημαντικά, με την ψυχρή περίοδο (23/10/2002–31/12/2002), να εμφανίζει λίγο υψηλότερη μέση τιμή (28.7±1.9μg/m<sup>3</sup>) (Chaloulakou et al., 2005). Την ίδια εικόνα

φαίνεται να παρουσιάζει και ο συντελεστής απορρόφησης με τη μέση τιμή του να φτάνει τα  $(4.8 \pm 2.0) \times 10^{-5}/\text{m}$ . Αντίθετα, τα επίπεδα των αδρών ΑΣ φαίνεται να είναι μειωμένα, κατά τους χειμερινούς μήνες (10/02-12/02), προφανώς λόγω των μετεωρολογικών συνθηκών (βροχόπτωση, η υψηλή ταχύτητα ανέμου) που βοηθούν στη γρήγορη απομάκρυνσή τους.

Για την περίοδο (01/01/2003-31/12/2003), η εικόνα είναι πιο ολοκληρωμένη καθώς η δειγματοληψία κάλυψε ολόκληρο το έτος. Τα ΑΣ<sub>10</sub> εμφανίζουν μέση τιμή συγκέντρωσης μάζας  $(56.8 \pm 1.4) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , αρκετά πάνω από το όριο των  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  που έχει επιβάλλει η ΕΕ με την κοινοτική οδηγία 1999/30/EC και ισχύει από το 2005. Επίσης, τα ΑΣ<sub>10</sub> ( $56.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) υπερβαίνουν κατά πολύ το προβλεπόμενο ετήσιο όριο της ΕΕ ( $43.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) για το 2003. Τα ΑΣ<sub>2.5</sub> έχουν μέση τιμή συγκέντρωσης μάζας  $(24.4 \pm 0.7) \mu\text{g}/\text{m}^3$  και τα ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub>  $(32.4 \pm 1.0) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , οπότε η συνεισφορά των λεπτών ΑΣ είναι 43.0% ενώ των αδρών 57%, στο σύνολο των ΑΣ<sub>10</sub>. Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην περίπτωση που εξετάστηκε ολόκληρη η περίοδος δειγματοληψίας, φαίνεται ότι τα αδρά ΑΣ συνεισφέρουν με μεγαλύτερο ποσοστό στο σύνολο των ΑΣ<sub>10</sub> λόγω της επαναιώρησης της σκόνης από τα ελαστικά και τα φρένα των οχημάτων. Το μεγάλο εύρος τιμών στη συγκέντρωση μάζας των ΑΣ<sub>10</sub> ( $149.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) φαίνεται να οφείλεται σε αυτό των αδρών ΑΣ ( $125.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### **4.3 Χρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων**

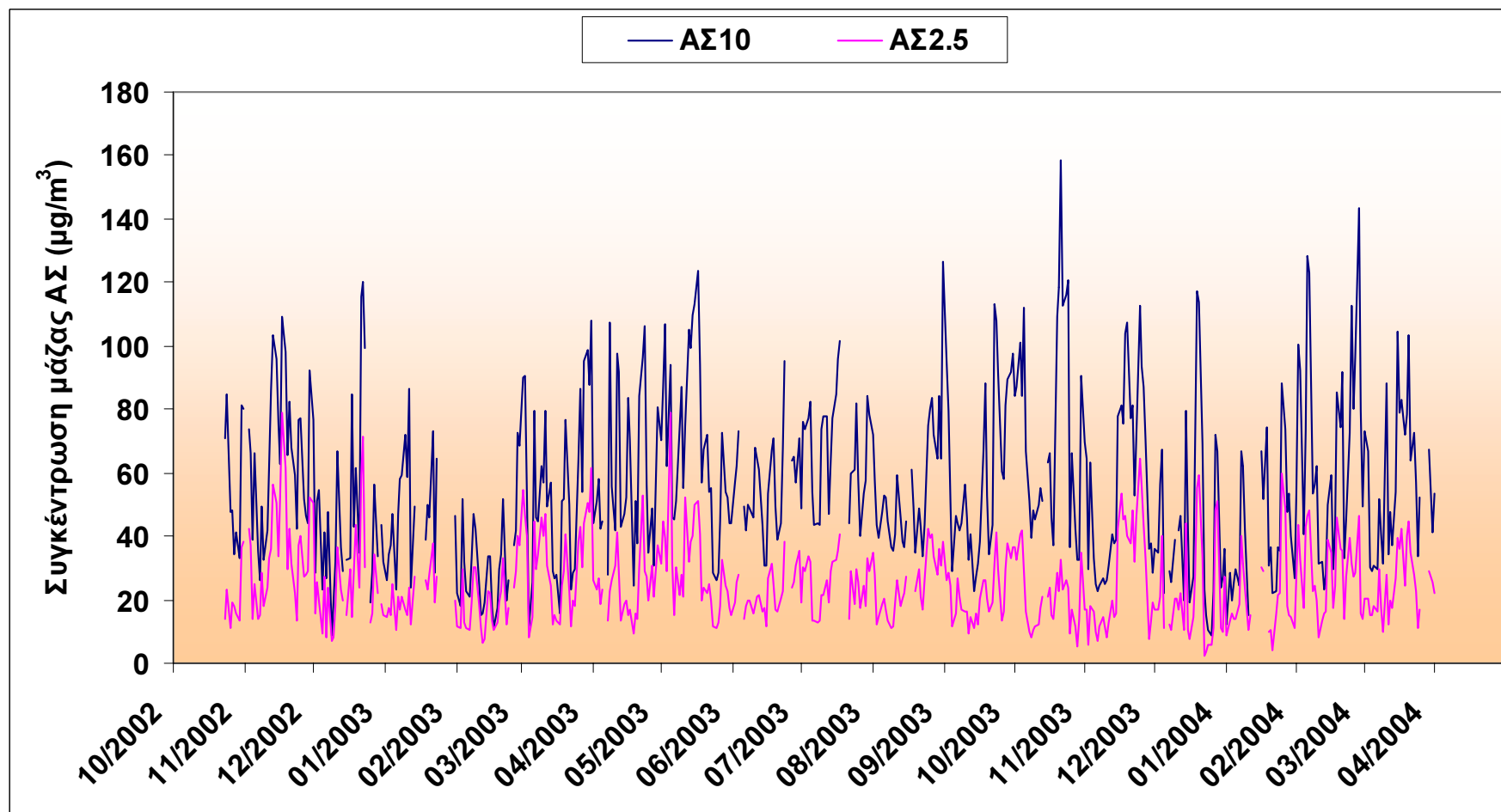
Προκειμένου να μελετηθεί η διακύμανση των παραμέτρων  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ , συντελεστής απορρόφησης και ΑΑΣ, κατά την περίοδο δειγματοληψίας (23/10/2002 – 31/03/2004), έγιναν τα αντίστοιχα γραφήματα (Σχήμα 4-6 και Σχήμα 4-7), από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς.

Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4-6, φαίνονται οι χρονικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης μάζας των κλασμάτων  $AS_{10}$  και  $AS_{2.5}$ , όπου οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις των  $AS_{10}$  παρατηρούνται την άνοιξη και το φθινόπωρο, οφειλόμενες κυρίως σε αυτές των αδρών ΑΣ. Οι μεγάλες αυτές διακυμάνσεις των  $AS_{10}$  έρχονται σε συμφωνία με μελέτη των Gomiscek et al. (2004), οι οποίες αποδόθηκαν στις καιρικές μεταβολές. Δεν φαίνεται να υπάρχει εμφανής εποχική μεταβολή, κάτι που έρχεται σε συμφωνία και με μελέτη των Chaloulakou et al. (2003) για την Αθήνα.

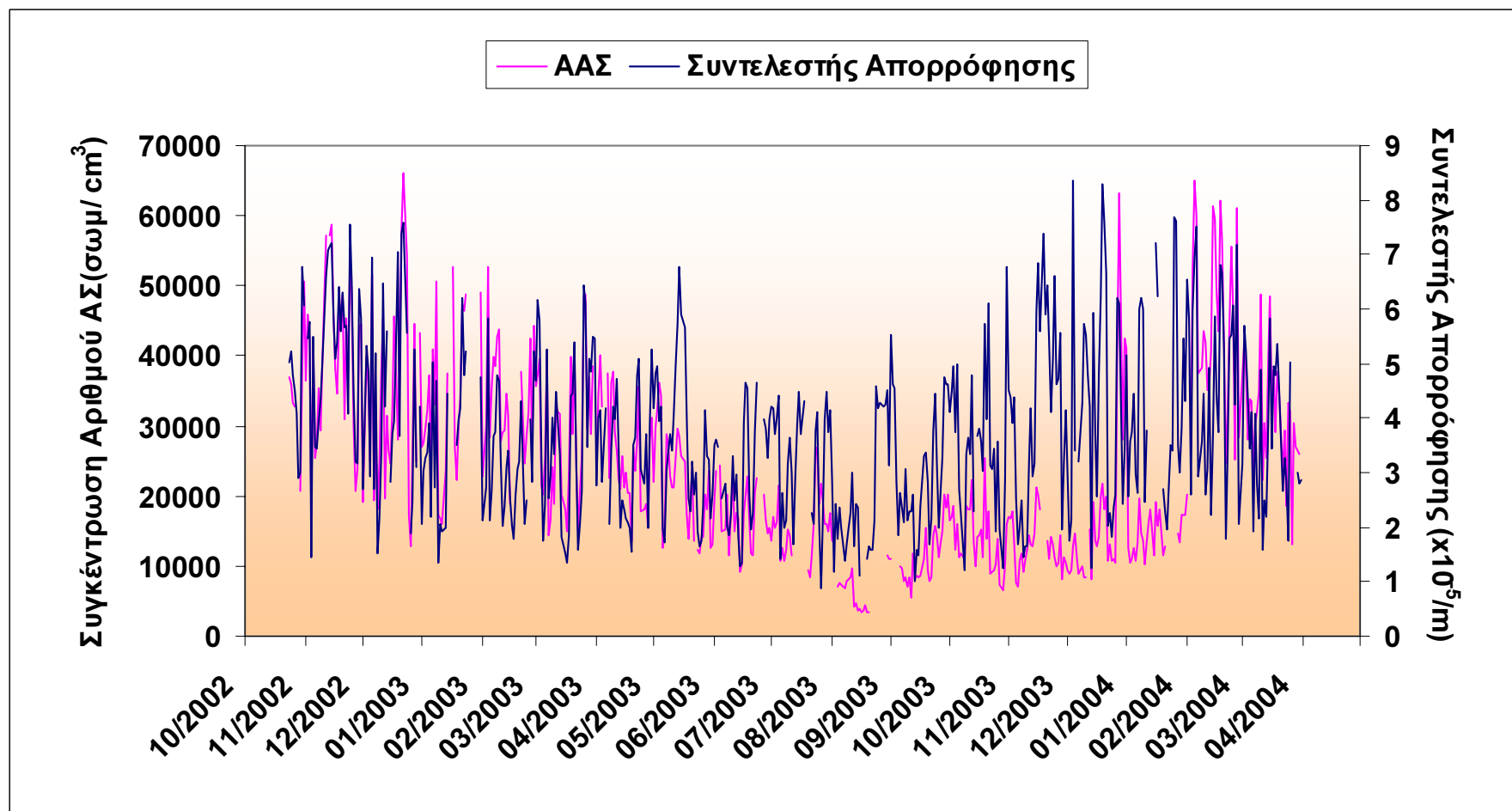
Αντίστοιχα, στο Σχήμα 4-7, παρουσιάζονται οι χρονικές διακυμάνσεις του συντελεστή απορρόφησης και του ΑΑΣ κατά την περίοδο δειγματοληψίας. Μία πρώτη εκτίμηση δίνει τον συντελεστή απορρόφησης να παρουσιάζει εποχιακή μεταβολή, με τις συγκεντρώσεις να μειώνονται κατά τη θερμή περίοδο και να αυξάνονται κατά την ψυχρή παρουσιάζοντας όμως έντονη ημερήσια διακύμανση. Ο αυξημένος συντελεστής απορρόφησης κατά την ψυχρή περίοδο αποδίδεται στις αυξημένες καύσεις (κυρίως για λόγους θέρμανσης, αυξημένη ροή οχημάτων) και κατά συνέπεια στα αυξημένα επίπεδα αιθάλης. Η αντίστοιχη μεταβολή των συγκεντρώσεων των λεπτών ΑΣ είναι σχετικά παρόμοια με του συντελεστή απορρόφησης προφανώς λόγω συνεισφοράς των ίδιων πηγών.

Η συγκέντρωση των ΑΑΣ φαίνεται να ακολουθεί εποχική διακύμανση επηρεαζόμενη αισθητά από τις μετεωρολογικές συνθήκες κατά τη χειμερινή περίοδο.

**Σχήμα 4-6:** Χρονική διακύμανση της συγκέντρωσης μάζας των κλασμάτων  $A\Sigma_{10}$  και  $A\Sigma_{2.5}$ , του σταθμού αναφοράς, κατά την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).

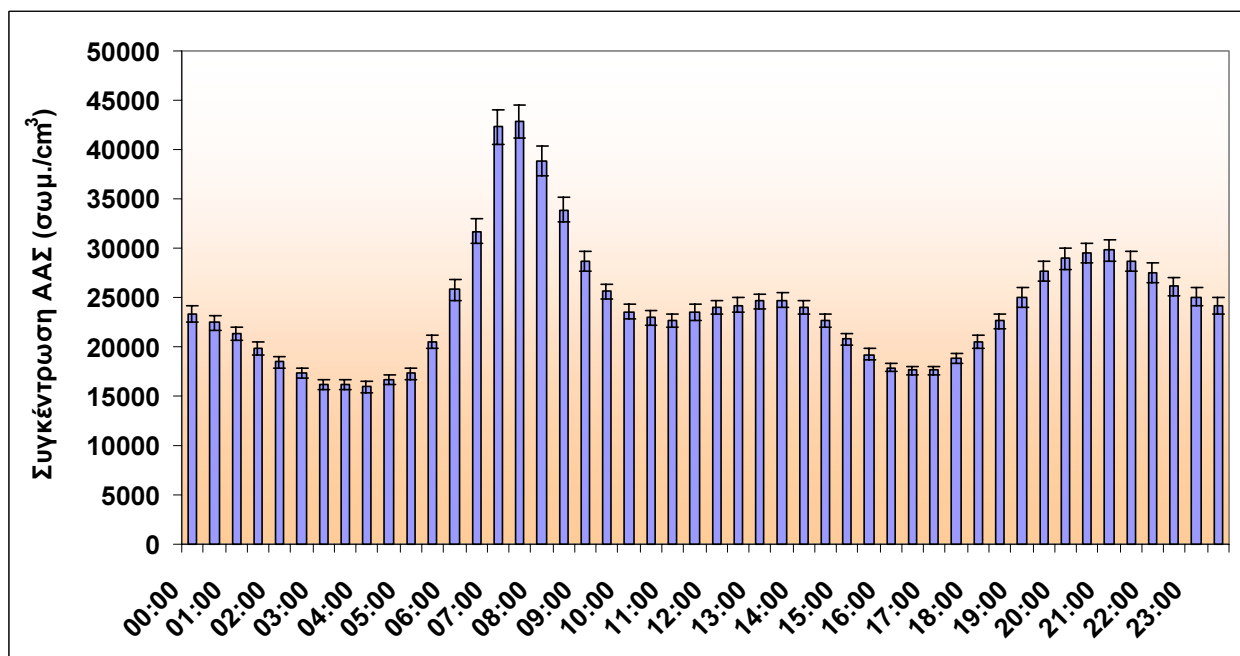


**Σχήμα 4-7:** Χρονική διακύμανση της συγκέντρωσης του ΑΑΣ και του Συντελεστή Απορρόφησης, του σταθμού αναφοράς, κατά την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).



Προκειμένου να μελετηθεί η διακύμανση των ΑΑΣ κατά τη διάρκεια της ημέρας υπολογίστηκαν οι μέσες ωριαίες τιμές του ΑΑΣ (Σχήμα 4-8). Παρατηρούμε ότι υπάρχει έντονη διακύμανση του ΑΑΣ καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, ακολουθώντας τους ρυθμούς των κατοίκων, με την ελάχιστη μέση ωριαία τιμή να παρουσιάζεται στις 3:00 π.μ. και τη μέγιστη στις 7:00π.μ.

**Σχήμα 4-8:** Ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ ( $\pm$  σταθερό σφάλμα), του σταθμού αναφοράς.

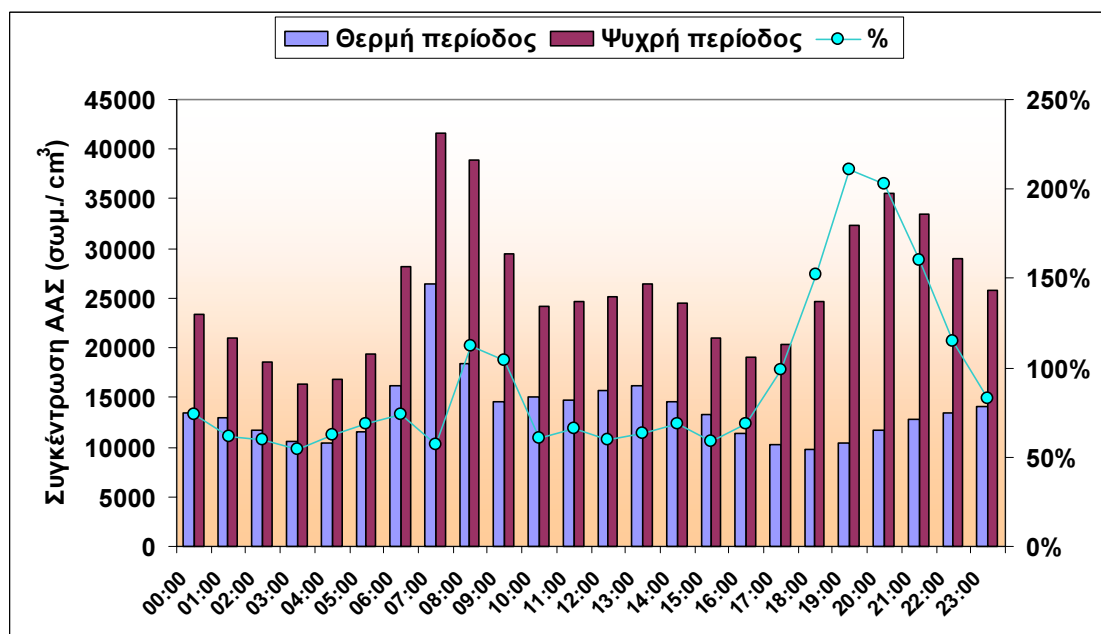


Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με το Σχήμα 4-8, κατά τη διάρκεια της ημέρας εμφανίζεται ένα έντονο μέγιστο τις πρωϊνές ώρες (7:00-8:00π.μ.), προφανώς λόγω αύξησης της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων (Hussein, 2005) από τους ανθρώπους που πάνε στις εργασίες τους, κατόπιν παρουσιάζεται έντονη μείωση της συγκέντρωσης του ΑΑΣ και ένα δεύτερο μέγιστο κατά τις 14:00μ.μ., ώρα που κλείνουν κάποια εμπορικά καταστήματα και οι δημόσιες υπηρεσίες. Στη συνέχεια, κατά τις πρώτες απογευματινές ώρες (14:30 – 17:00), όπου λαμβάνει χώρα η μεσημεριάτικη σιέστα, οι μέσες ωριαίες

τιμές μειώνονται αισθητά. Ένα τρίτο μέγιστο εμφανίζεται κατά τις βραδινές ώρες (21:00-22:00μ.μ.), κατά τη βραδινή έξοδο των Αθηναίων.

Το μέγεθος της ημερήσιας διακύμανσης του ΑΑΣ δεν παρουσιάζεται ίδιο καθόλη τη διάρκεια του έτους. Φαίνεται να υπάρχουν διαφορές μεταξύ της θερμής και της ψυχρής περιόδου (Σχήμα 4-9). Ο προσδιορισμός της θερμής και ψυχρής περιόδου έγινε με βάση τοπικές μετεωρολογικές παραδοχές (Kassomenos et al., 1995). Κατά την ψυχρή περίοδο (Οκτώβριο-Μάρτιο) έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση ΑΑΣ με τα μέγιστα, τις πρωινές ώρες (7:00-8:00π.μ.) και τις βραδινές (18:00-23:00μ.μ.), να είναι περισσότερο έντονα (Σχήμα 4-9). Αντίστοιχη διακύμανση ακολουθεί ο ΑΑΣ κατά τη θερμή περίοδο με αισθητά μειωμένες συγκεντρώσεις, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες της ψυχρής περιόδου.

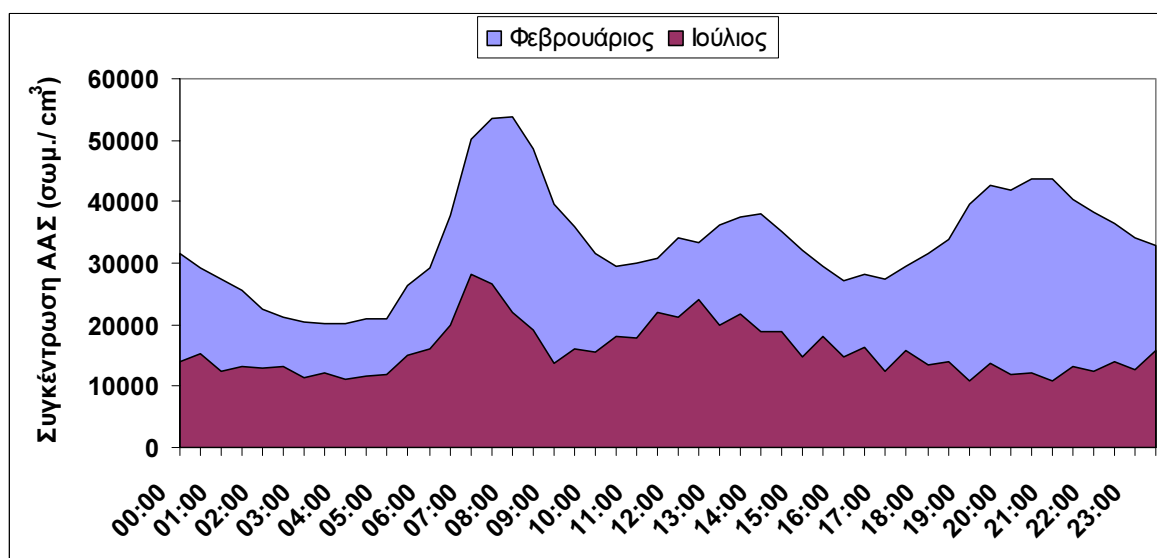
**Σχήμα 4-9:** Ημερήσια διακύμανση των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων για τη θερμή και ψυχρή περίοδο του 2003 και η ποσοστιαία μεταβολή των διαφορών.



Στο Σχήμα 4-9 φαίνεται ότι η ποσοστιαία αύξηση των συγκεντρώσεων του ΑΑΣ κατά την ψυχρή περίοδο (σε σύγκριση με τη θερμή περίοδο) δίνει ποσοστά που φτάνουν και το 211% κατά τις βραδινές ώρες (20:00μ.μ). Ως παράδειγμα των διαφορών στις ημερήσιες συγκεντρώσεις του ΑΑΣ μεταξύ θερμής και ψυχρής περιόδου αποτελούν και

οι ημερήσιες μεταβολές στους μήνες Φεβρουάριο (ο πιο ψυχρός μήνας του έτους) και Ιούλιος (θερμός μήνας, με σχετική κίνηση καθώς ο Αύγουστος θεωρείται ως μήνας διακοπών).

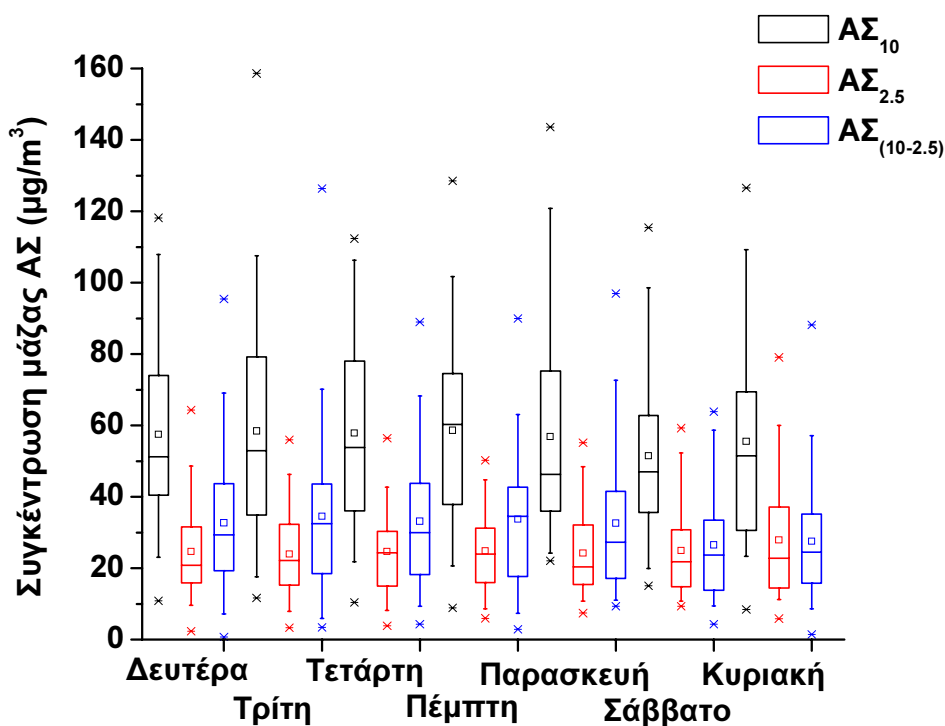
**Σχήμα 4-10:** Ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων του ΑΑΣ, του σταθμού αναφοράς για τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο του 2003.



Κατόπιν, μελετήθηκε η εβδομαδιαία διακύμανση των παραμέτρων  $ΑΣ_{10}$ ,  $ΑΣ_{2.5}$ ,  $ΑΣ_{(10-2.5)}$ , συντελεστής απορρόφησης και ΑΑΣ. Στο Σχήμα 4-11, παρουσιάζεται η εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων μάζας, του σταθμού αναφοράς, προερχόμενη από τις μέσες ημερήσιες τιμές των συγκεντρώσεων, κατά την περίοδο δειγματοληψίας. Τις εργάσιμες ημέρες τα  $ΑΣ_{10}$  και τα  $ΑΣ_{(10-2.5)}$  παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος τιμών, με τις μέσες και τις διάμεσες τιμές να παρουσιάζονται αυξημένες την Πέμπτη. Αντιθέτως, τα  $ΑΣ_{2.5}$  παρουσιάζουν, μια σταθερή πορεία καθόλη τη διάρκεια της εβδομάδας με μικρό εύρος τιμών, τις περισσότερες ημέρες της εβδομάδας, το οποίο αυξάνεται την Κυριακή. Πιο αναλυτικά, τα  $ΑΣ_{10}$  αυξάνονται τις καθημερινές, από  $53.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  μέση τιμή Σαββατοκύριακου, σε  $57.9\mu\text{g}/\text{m}^3$  μέση τιμή των υπόλοιπων ημερών, κατά ένα μικρό ποσοστό (7.8%) εν μέρει λόγω της μικρής αύξησης των αδρών ΑΣ κατά 8.4%, από  $29.6\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε  $32.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Γενικά, κατά τη διάρκεια του

Σαββατοκύριακου δεν εκτελούνται χωματουργικές εργασίες οι οποίες ευνοούν την επαναιώρηση της σκόνης, με αποτέλεσμα τη μείωση των μέσων και διάμεσων τιμών των αδρών ΑΣ ενώ αυτές παρουσιάζονται αυξημένες κατά το μέσον της εβδομάδας όπου οι εργασίες βρίσκονται σε πλήρη εξέλιξη.

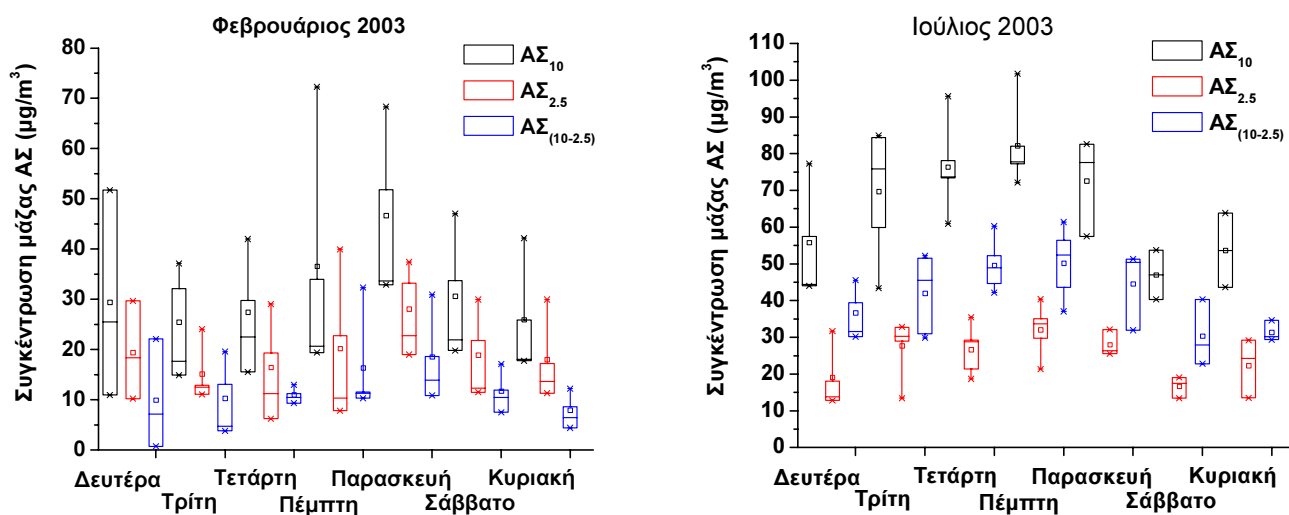
**Σχήμα 4-11:** Εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων ΑΣ, του σταθμού αναφοράς. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (ο), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αλλαγή των εβδομαδιαίων μεταβολών της συγκέντρωσης μάζας, κατά την ψυχρή και τη θερμή περίοδο. Ενδεικτικά επιλέχθηκαν δύο μήνες, ο Φεβρουάριος (Σχήμα 4-12, αριστερά), ως ο πιο ψυχρός μήνας του έτους και ο Ιούλιος, ως θερμός μήνας (Σχήμα 4-12, δεξιά), με σχετική αστική κίνηση καθώς δεν αποτελεί τον μήνα των διακοπών. Από τα Σχήμα 4-12 φαίνεται ότι το Φεβρουάριο, η μέση τιμή των

ΑΣ αυξάνεται κατά το τέλος της εβδομάδας, συγκεκριμένα την Παρασκευή, ενώ μειώνεται αισθητά κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου. Τον μήνα Φεβρουάριο, τα αδρά ΑΣ να παρουσιάζουν μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τα λεπτά ΑΣ.

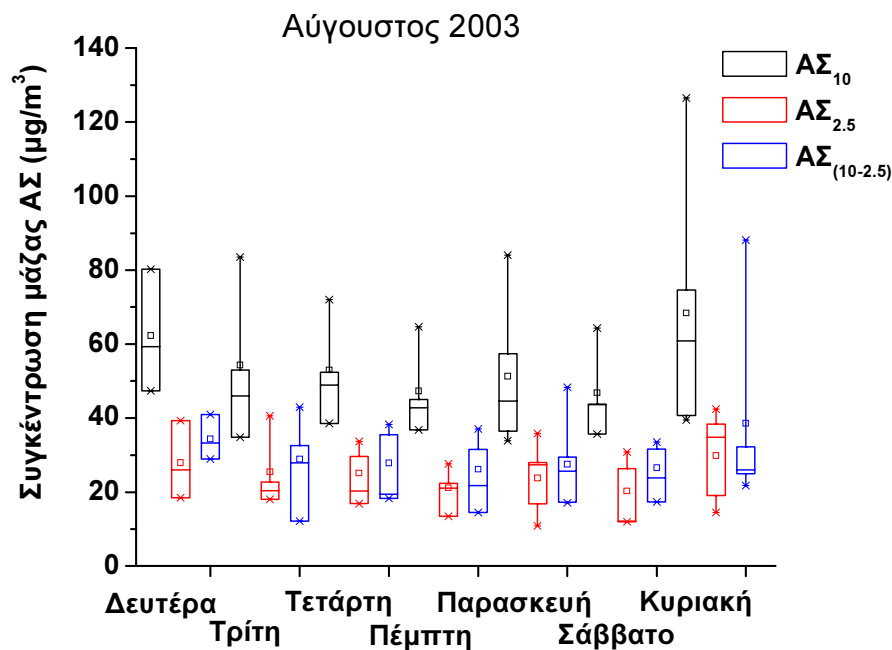
**Σχήμα 4-12:** Εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων ΑΣ, του σταθμού αναφοράς για τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο του 2003. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Αντίστοιχα, τον Ιούλιο φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις μάζας αυξάνονται αισθητά στο μέσον της εβδομάδας, ιδιαίτερα την Τετάρτη και την Πέμπτη λόγω αντίστοιχης αύξησης των αδρών ΑΣ και κατά συνέπεια των ΑΣ<sub>10</sub> ενώ το Σαββατοκύριακο η μείωση είναι εμφανής. Επίσης, υψηλές τιμές παρουσιάζουν τα αδρά ΑΣ ακολουθώντας εβδομαδιαία πορεία ανάλογη με αυτή των ΑΣ<sub>10</sub>. Μεταξύ των δύο μηνών παρουσιάζονται έντονες διαφορές, καθώς τα επίπεδα των συγκεντρώσεων φαίνονται αυξημένα τον Ιούλιο με τις τιμές των ΑΣ<sub>10</sub> να υπερέχουν των υπόλοιπων κλασμάτων και τα αδρά να είναι υψηλά ενώ τα ΑΣ<sub>2.5</sub> παρουσιάζουν μικρό εύρος τιμών σε σύγκριση με το Φεβρουάριο. Γενικά, οι διαφορές που παρουσιάζονται στις εβδομαδιαίες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων

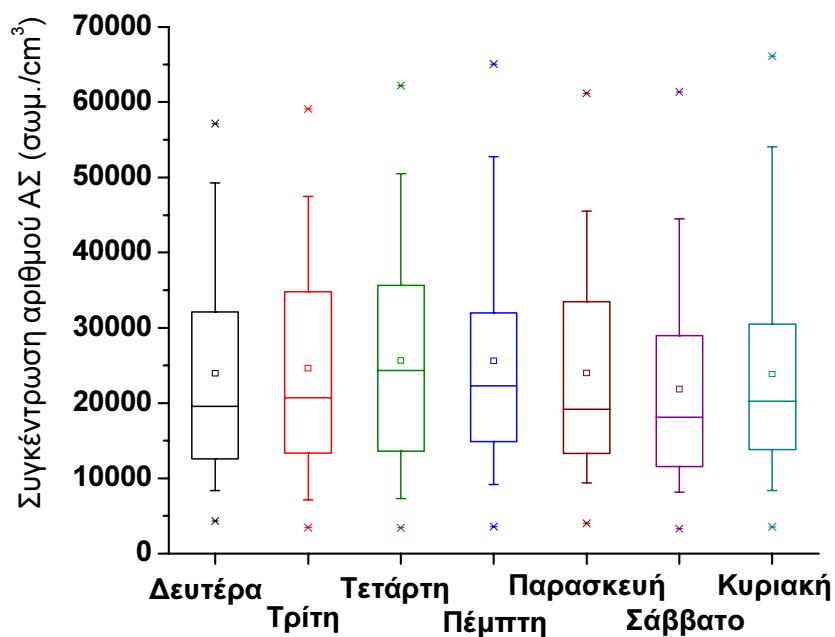
μάζας μεταξύ θερμής και ψυχρής περιόδου αποδίδονται στο ότι το χειμώνα η αυξημένη βροχόπτωση οδηγεί στην υγρή εναπόθεση και έκπλυση των ΑΣ και ιδιαίτερα των αδρών ενώ οι αυξημένες εκπομπές καύσεων από τα οχήματα αλλά και για λόγους θέρμανσης οδηγεί σε αυξημένες, σε σχέση με τα αδρά ΑΣ, συγκεντρώσεις λεπτών ΑΣ. Το καλοκαίρι, η έλλειψη βροχής οδηγεί σε αύξηση της επαναιωρούμενης σκόνης με αποτέλεσμα τα επίπεδα αδρών ΑΣ, και κατά συνέπεια των ΑΣ<sub>10</sub>, να είναι υψηλά ενώ των λεπτών ΑΣ είναι μειωμένα καθώς δεν υπάρχει η επιβάρυνση από τις εκπομπές των καυστήρων θέρμανσης. Επίσης, δραστηριότητες των κατοίκων είναι διαφορετικές καθώς το χειμώνα οι έξοδοι για διασκέδαση είναι περιορισμένοι, σε αντίθεση με το καλοκαίρι. Ο Αύγουστος, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως μήνας διακοπών, δίνει εντελώς διαφορετική εικόνα από τον Ιούλιο (Σχήμα 4-13) με τα αδρά και λεπτά ΑΣ να βρίσκονται στα ίδια επίπεδα.

**Σχήμα 4-13:** Εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων ΑΣ, του σταθμού αναφοράς για τον Αύγουστο του 2003. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



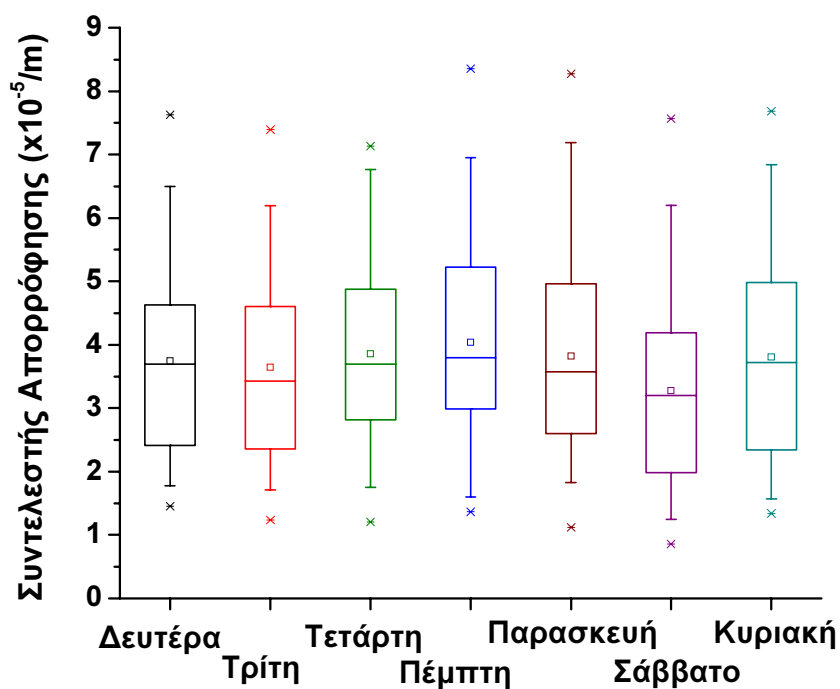
Ομοίως, στο Σχήμα 4-14, παρουσιάζεται η εβδομαδιαία διακύμανση του ΑΑΣ, όπου φαίνεται να μην υπάρχει αξιόλογη μεταβολή κατά τη διάρκεια της εβδομάδας παρά μόνο μια μικρή αύξηση της μέσης και της διαμέσου τιμής, στο μέσον της εβδομάδας, τις ημέρες Τετάρτη - Πέμπτη σε  $\sim 25500$ σωμ/cm<sup>3</sup>, από 22800σωμ/cm<sup>3</sup> το Σαββατοκύριακο (αύξηση  $\sim 10\%$ ), λόγω αύξησης των δραστηριοτήτων τις καθημερινές ημέρες.

**Σχήμα 4-14:** Εβδομαδιαία διακύμανση του αριθμού ΑΣ, από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Η εβδομαδιαία διακύμανση του συντελεστή απορρόφησης δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες μεταβολές, παρά μόνο μία μικρή αύξηση της μέσης και διαμέσου τιμής στο μέσο της εβδομάδας Τετάρτη-Παρασκευή πιθανόν λόγω αύξησης της ροής των οχημάτων. Η μικρότερη μέση συγκέντρωση, εμφανίζεται το Σάββατο ενώ την Κυριακή παρουσιάζεται αύξηση κατά 14%.

**Σχήμα 4-15:** Εβδομαδιαία διακύμανση του συντελεστή απορρόφησης. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Κατόπιν, εξετάστηκαν οι μηνιαίες μεταβολές των παραμέτρων  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ , συντελεστή απορρόφησης και  $AA\Sigma$ , όπως αυτές παρουσιάζονται στα Σχήματα 4-16 μέχρι 4-23.

Στο Σχήμα 4-16 παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση των  $AS_{10}$ . Φαίνεται ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερη εποχική διακύμανση, παρόλο ότι στη βιβλιογραφία (Marcazzan, 2001) γενικά αναφέρεται ότι τα  $AS_{10}$  παρουσιάζουν μείωση των συγκεντρώσεών τους κατά τους θερινούς μήνες και αύξηση κατά τους χειμερινούς. Κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να ισχύει στην περίπτωση των Αθηνών, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με μελέτη των Chaloulakou et al. (2003). Παρατηρείται μόνο μία μείωση των τιμών των  $AS_{10}$ , κατά τους χειμερινούς μήνες, και αύξηση του εύρους των τιμών κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, που οφείλεται κυρίως στα αδρά σωματίδια (Σχήμα 4-18).

Στο Σχήμα 4-17 παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση των λεπτών ΑΣ, όπου φαίνεται οι μέσες μηνιαίες και διάμεσες τιμές να μην μεταβάλλονται αισθητά, παρουσιάζοντας μόνο μείωση του εύρους των τιμών κατά τη θερμή περίοδο. Η σταθερή πορεία της συγκέντρωσής τους, με αύξηση του ενδοτεταρτημοριακού εύρους κατά τους φθινοπωρινούς και ανοιξιάτικους μήνες, υποδηλώνει σταθερές πηγές καύσης και σταθερά επίπεδα κυκλοφοριακών εκπομπών σε συνδυασμό με την επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών και των επεισοδίων μεταφοράς κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο.

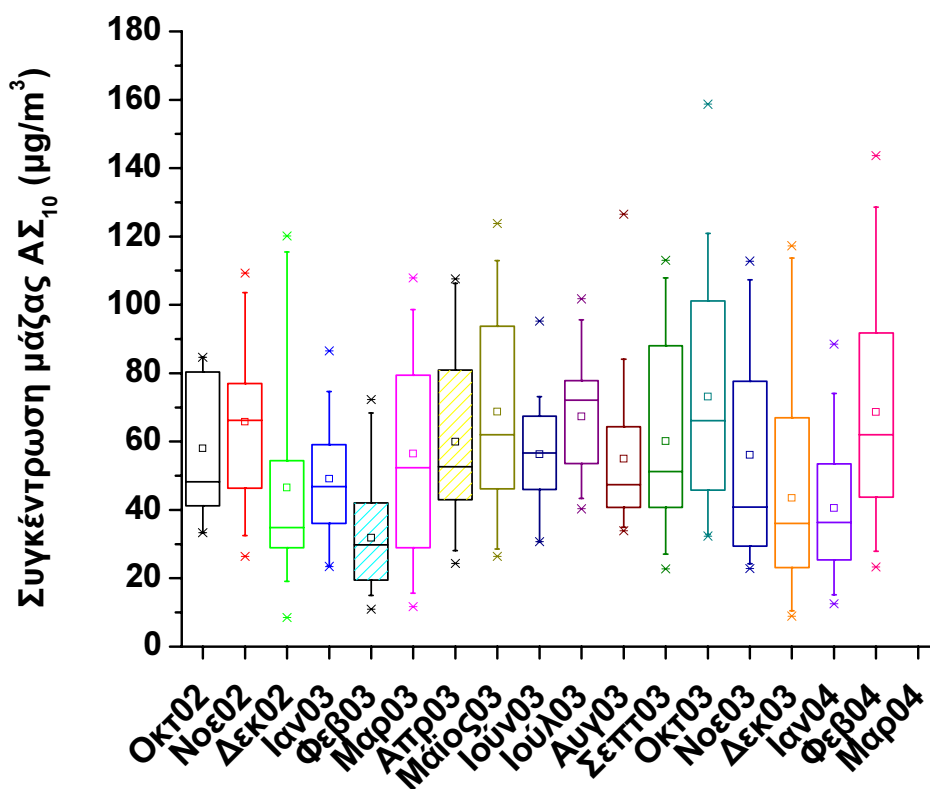
Από το Σχήμα 4-18, φαίνεται ότι τα αδρά ΑΣ παρουσιάζουν σχετική εποχική διακύμανση με αυξημένες συγκεντρώσεις κατά τη θερμή περίοδο γεγονός που συμφωνεί με μελέτη των Harrison, et al. (2001). Το φθινόπωρο και την άνοιξη, τα επίπεδα των αδρών ΑΣ παρουσιάζονται σχετικά αυξημένα με μεγάλο ενδοτεταρτημοριακό εύρος, καθώς στις συγκεκριμένες περιόδους είναι συχνό το φαινόμενο μεταφοράς ΑΣ από τη Σαχάρα. Επίσης, παρουσιάζονται μειωμένες μέσες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες, γεγονός που αποδίδεται στις μετεωρολογικές συνθήκες, όπως βροχή και ισχυρός άνεμος που βοηθούν στην απομάκρυνση τους διαμέσου της διασποράς και της υγρής εναπόθεσης. Η μηνιαία διακύμανση των αδρών ΑΣ φαίνεται να επηρεάζει την αντίστοιχη διακύμανση των ΑΣ<sub>10</sub>.

Στο Σχήμα 4-19, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων μάζας, ανά εποχή, όπου και εδώ φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι συγκεντρώσεις είναι μικρότερες κυρίως λόγω των μετεωρολογικών συνθηκών. Την άνοιξη και το φθινόπωρο οι μέσες, οι διάμεσες τιμές και το ενδοτεταρτημοριακό εύρος των αδρών ΑΣ αυξάνονται κυρίως λόγω φαινομένων μεταφοράς.

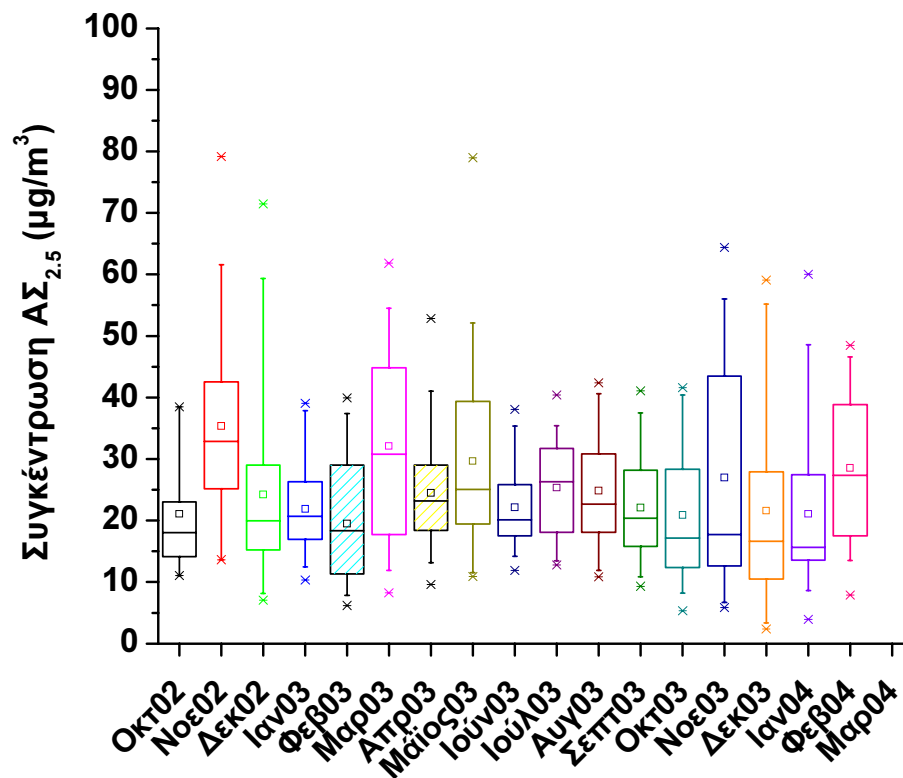
Έντονη εποχική διακύμανση παρουσιάζουν και οι μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις του ΑΑΣ (Σχήμα 4-20- Σχήμα 4-22), μειώνοντας σταδιακά τις μέσες μηνιαίες τιμές από τον μήνα Μάρτιο μέχρι και τον Αύγουστο, όπου παρουσιάζονται και οι μικρότερες τιμές λόγω αισθητής μείωσης της κίνησης των οχημάτων καθώς και των εργασιών στα κατασκευαστικά έργα. Γενικά, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οι επικρατούντες άνεμοι, που οφείλονται σε θερμικές κυκλοφορίες, είναι ισχυρότεροι και το ύψος ανάμιξης είναι βαθύτερο, οδηγώντας σε μικρή μείωση των ρύπων (Kassomenos et. al, 1995).

Επίσης, ο συντελεστής απορρόφησης παρουσιάζει έντονη εποχικότητα (Σχήμα 4-23) με μείωση της μέσης και διαμέσου τιμής, κατά τη θερμή περίοδο, ιδιαίτερα τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, οι οποίοι είναι κατά παράδοση οι μήνες διακοπών. Κατά τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων λόγω της χρήσης πετρελαίου, καύσης ξύλου και λιγότερο κάρβουνου, για λόγους θέρμανσης. Επίσης, κατά τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, η κυκλοφορία των ταξί και των μέσων μεταφοράς που κινούνται με πετρέλαιο είναι περιορισμένη (Chaloulakou et al., 2005).

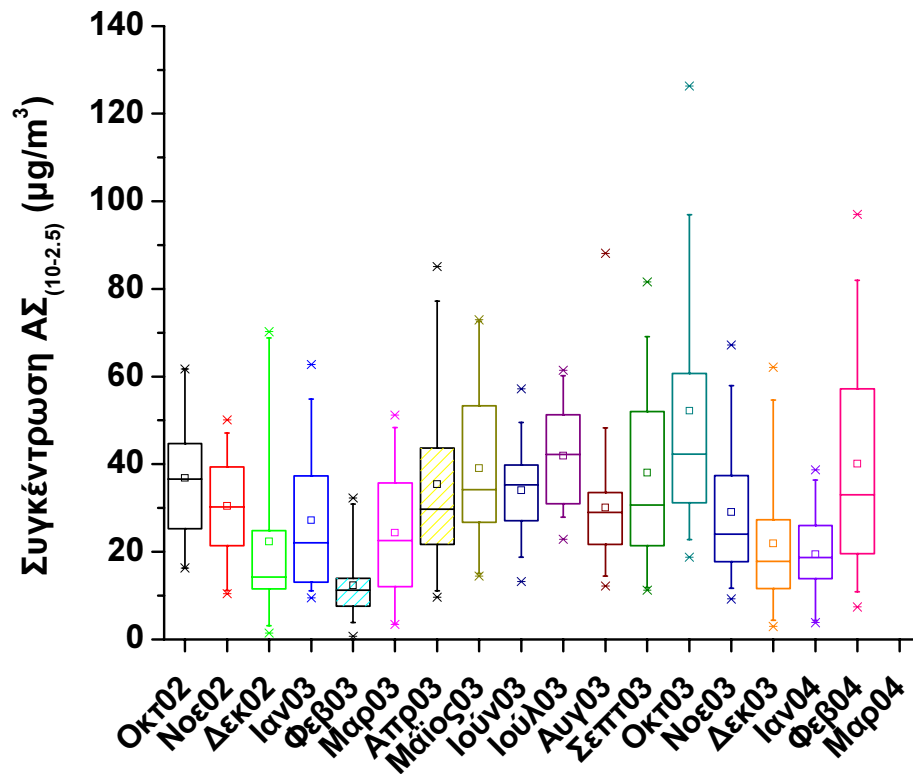
**Σχήμα 4-16:** Μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων μάζας  $AS_{10}$ , του σταθμού αναφοράς για την περίοδο δειγματοληψίας. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



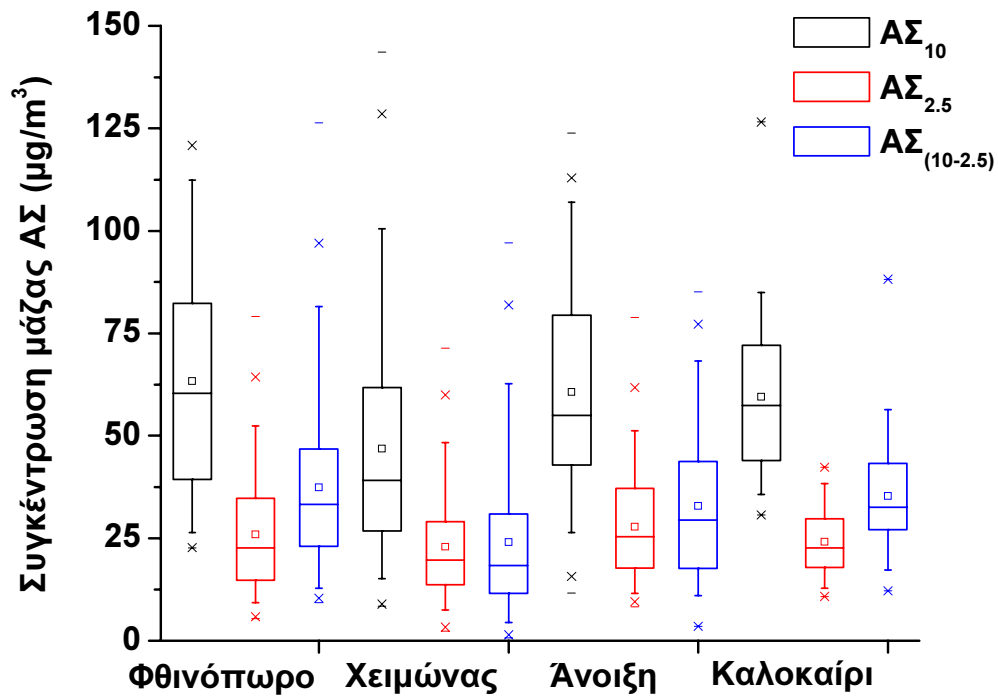
**Σχήμα 4-17:** Μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων μάζας  $AS_{2.5}$ , του σταθμού αναφοράς για την περίοδο δειγματοληψίας. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



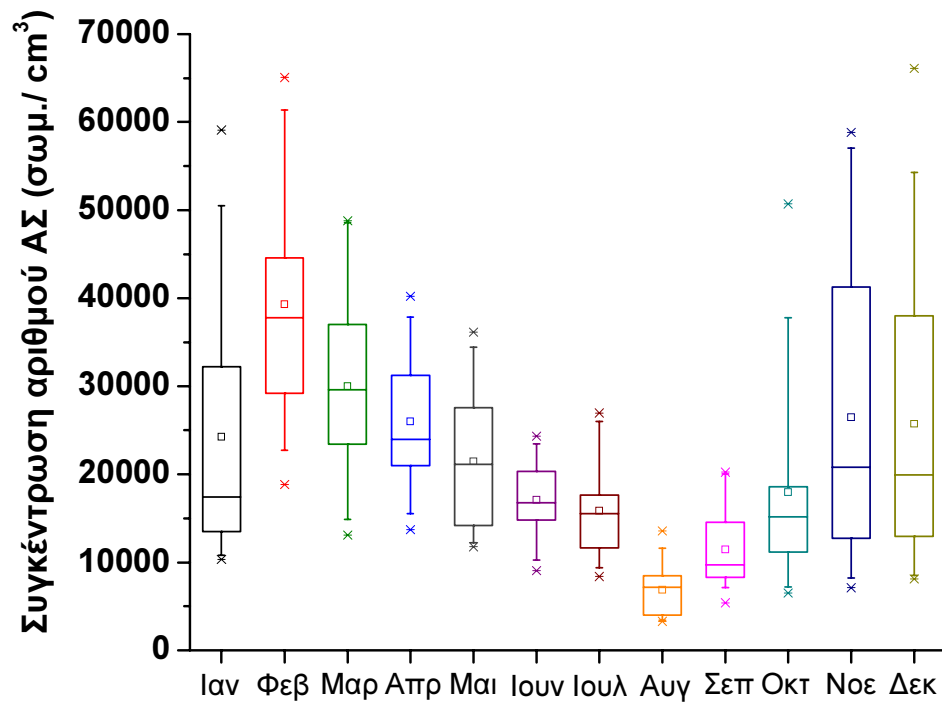
**Σχήμα 4-18:** Μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων μάζας  $AS_{(10-2.5)}$ , του σταθμού αναφοράς για την περίοδο δειγματοληψίας. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



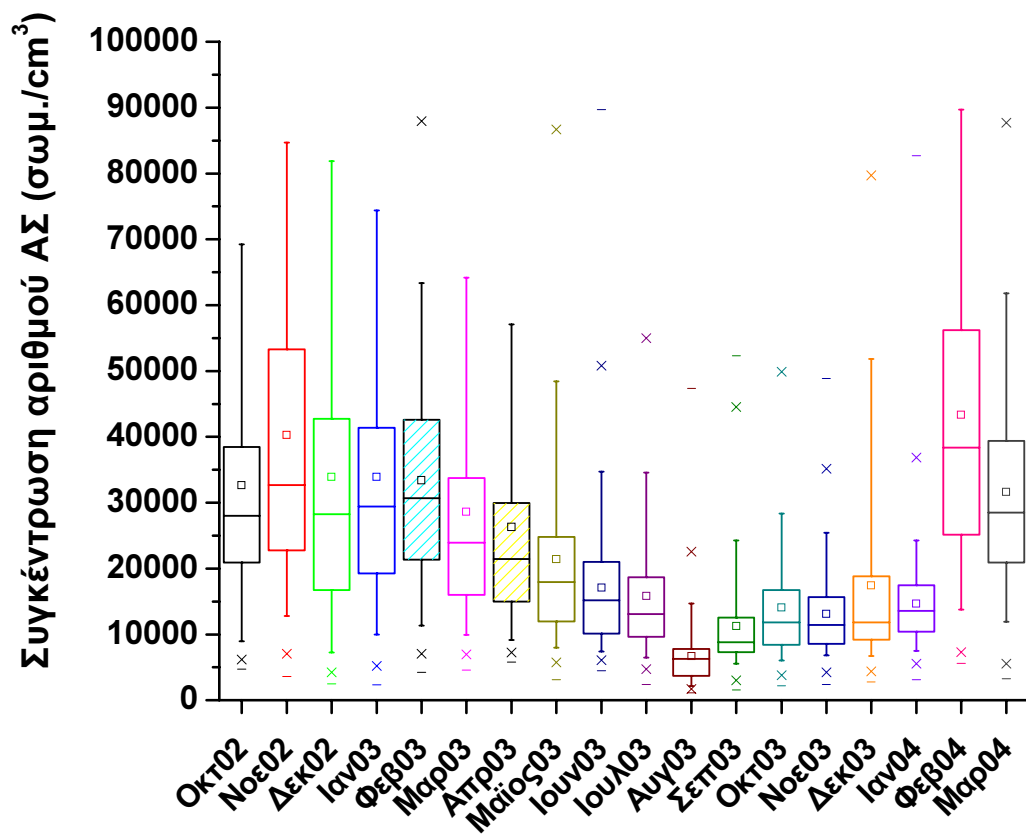
**Σχήμα 4-19:** Εποχική διακύμανση των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ, του σταθμού αναφοράς. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



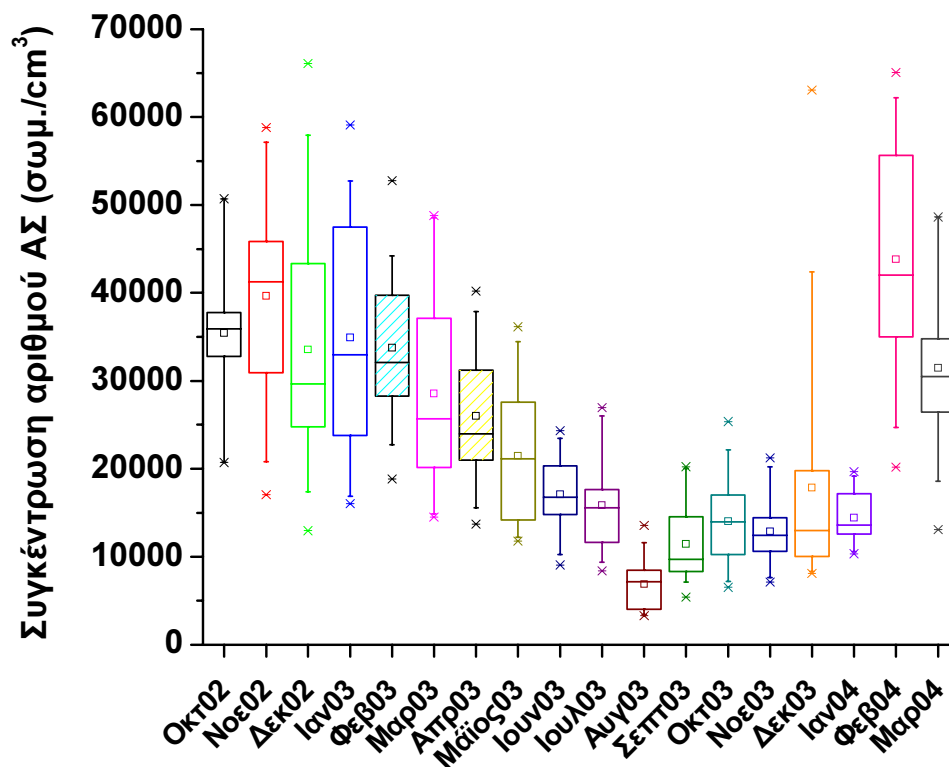
**Σχήμα 4-20:** Ετήσια διακύμανση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας, προερχόμενη από τις μέσες ημερήσιες τιμές. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



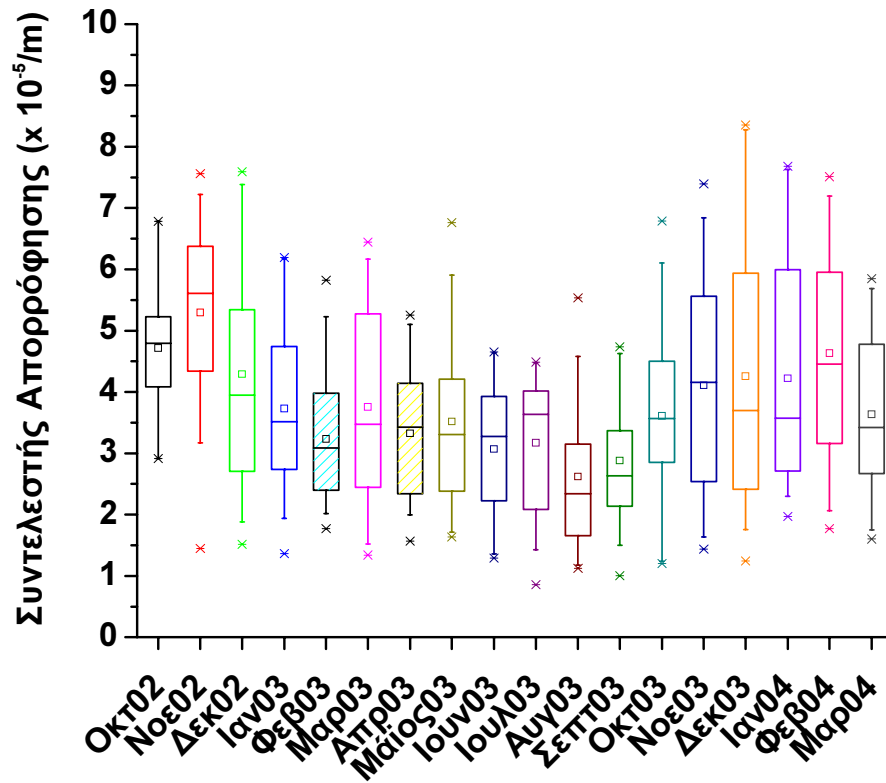
**Σχήμα 4-21:** Διακύμανση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας, προερχόμενη από τις μέσες τιμές μισάωρου. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 4-22:** Διακύμανση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας, προερχόμενη από τις μέσες ημερήσιες τιμές. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



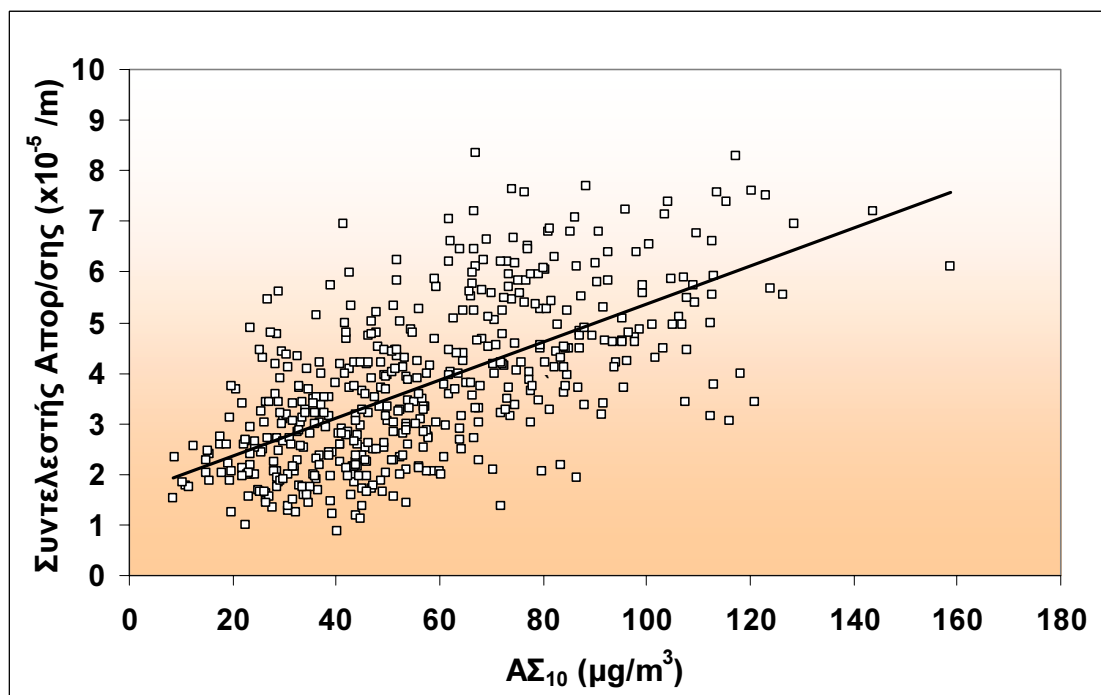
**Σχήμα 4-23:** Μηνιαία διακύμανση του συντελεστή απορρόφησης, του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



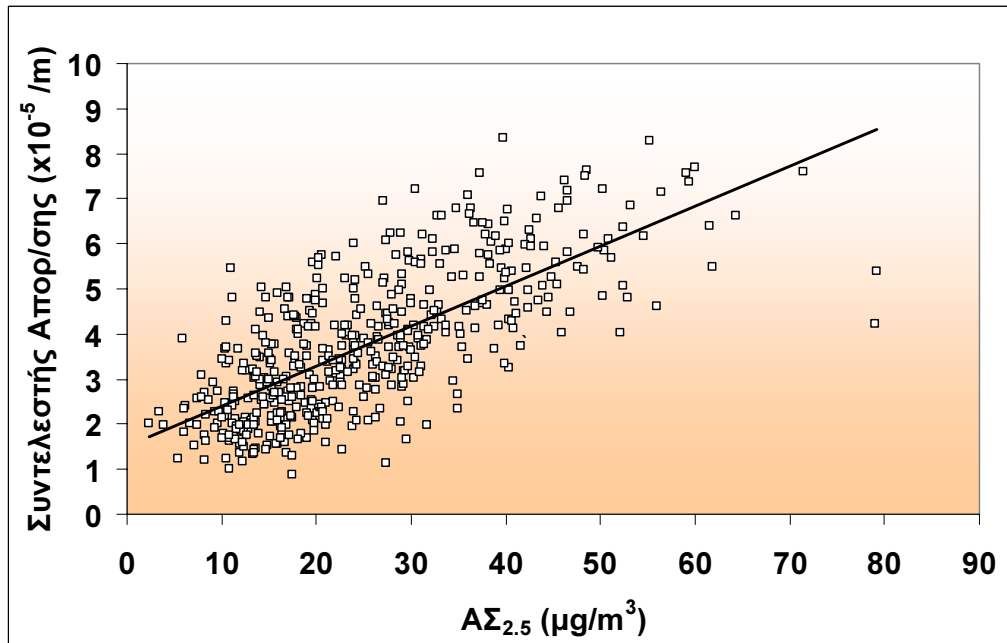
#### 4.4 Συσχετίσεις των ΑΣ

Από τα δεδομένα συγκέντρωσης μάζας των κλασμάτων  $ΑΣ_{10}$ ,  $ΑΣ_{2.5}$ ,  $ΑΣ_{10-2.5}$ , συντελεστή απορρόφησης και αριθμού ΑΣ, για την περίοδο δειγματοληψίας (23/10/2002 – 31/03/2004), υπολογίστηκαν οι συσχετίσεις του συντελεστή απορρόφησης με τα  $ΑΣ_{10}$ , λεπτά και τα αδρά ΑΣ (Σχήματα 4-24 μέχρι 4-26). Από τα παρακάτω σχήματα φαίνεται ότι η συσχέτιση του συντελεστή απορρόφησης με τα  $ΑΣ_{10}$  σε επίπεδο σημαντικότητας  $>99\%$  ( $R^2= 0.40$ , συντελεστής Pearson=0.63) είναι σχετικά υψηλή (Σχήμα 4-24) και παρουσιάζεται λίγο υψηλότερη με τα λεπτά ΑΣ ( $R^2= 0.52$ , συντελεστής Pearson=0.72; Σχήμα 4-25) ενώ με τα αδρά είναι μέτρια ( $R^2= 0.17$ , συντελεστής Pearson=0.41; Σχήμα 4-26). Ο συντελεστής απορρόφησης αποτελεί δείκτη των εκπομπών καύσης καθώς και ένδειξη της συνεισφοράς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα λεπτά ΑΣ, οπότε η σχετικά υψηλή συσχέτιση με τα  $ΑΣ_{2.5}$  ήταν αναμενόμενη. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με μελέτη των Coschi et al. (2002), όπου στα πλαίσια του προγράμματος EXPOLIS, βρέθηκε, για την Αθήνα, πολύ υψηλή συσχέτιση συντελεστή απορρόφησης και  $ΑΣ_{2.5}$ , με συντελεστή Spearman  $S=0.90$ .

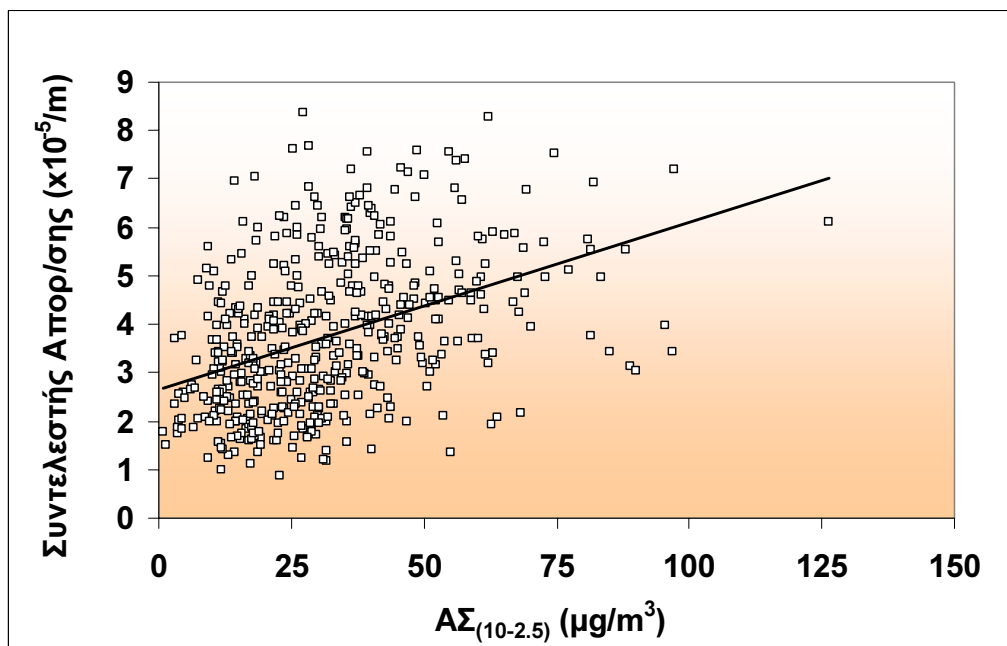
**Σχήμα 4-24:** Συσχέτιση του συντελεστή απορρόφησης και των  $ΑΣ_{10}$ , από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).



**Σχήμα 4-25:** Συσχέτιση του συντελεστή απορρόφησης και των  $ΑΣ_{2.5}$ , από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).

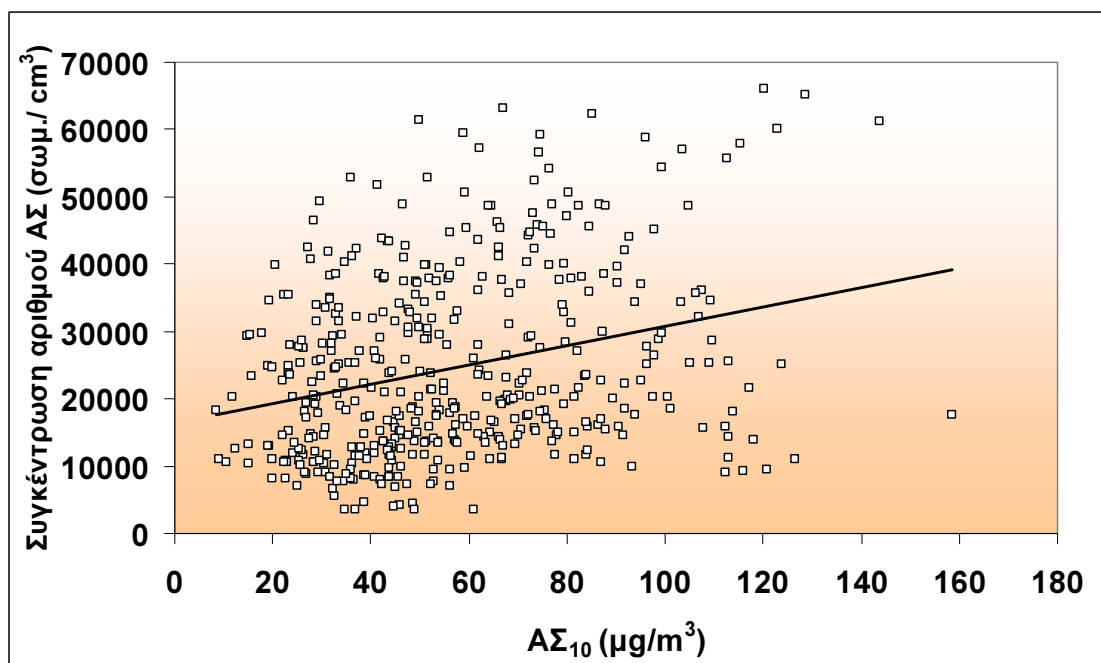


**Σχήμα 4-26:** Συσχέτιση του συντελεστή απορρόφησης και των αδρών  $ΑΣ$ , από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).

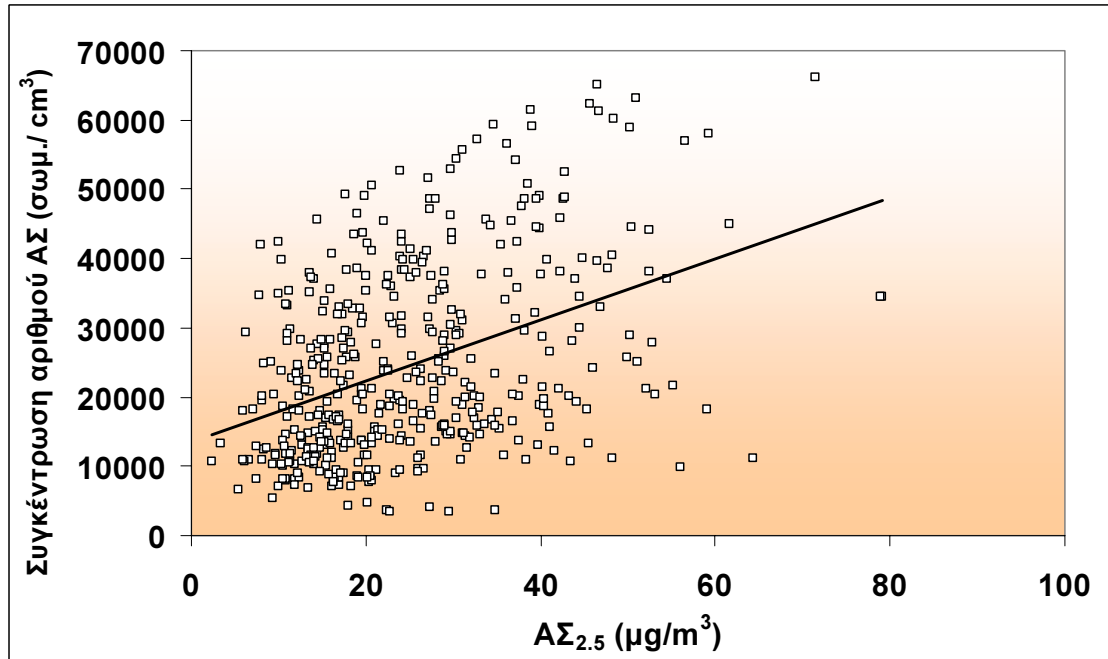


Αντίστοιχα η συσχέτιση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ με τα ΑΣ<sub>10</sub> (Σχήμα 4-27) ( $R^2 = 0.08$ , συντελεστής Pearson=0.28) και με τα αδρά ΑΣ (Σχήμα 4-29) παρουσιάζεται χαμηλή ( $R^2 = 0.01$ , συντελεστής Pearson=0.1) ενώ με τα ΑΣ<sub>2.5</sub> (Σχήμα 4-28) εμφανίζεται μέτρια ( $R^2 = 0.17$ , συντελεστής Pearson=0.41). Συγκριτικά υψηλότερη φαίνεται να είναι η συσχέτιση του ΑΑΣ με το συντελεστή απορρόφησης (Σχήμα 4-30) παρουσιάζοντας σχετικά υψηλό συντελεστή συσχέτισης ( $R^2 = 0.34$ , συντελεστής Pearson=0.58).

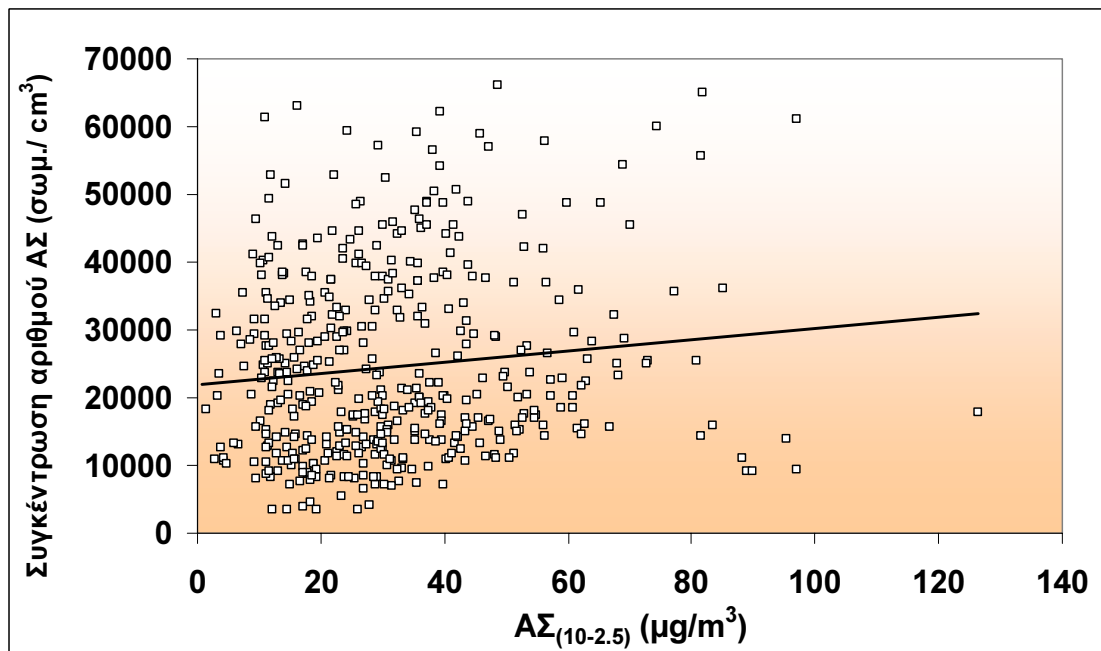
**Σχήμα 4-27:** Συσχέτιση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ με τα ΑΣ<sub>10</sub>, από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).



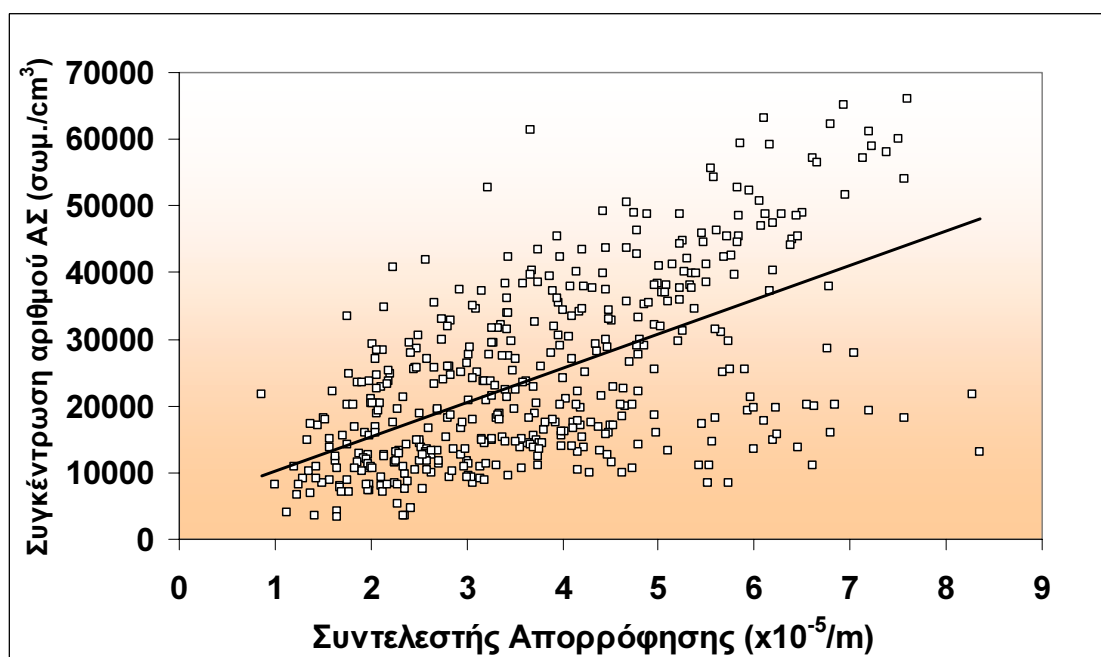
**Σχήμα 4-28:** Συσχέτιση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ με τα λεπτά ΑΣ, από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).



**Σχήμα 4-29:** Συσχέτιση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ με τα αδρά ΑΣ, από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).



**Σχήμα 4-30:** Συσχέτιση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ με την συντελεστής απορρόφησης, από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).



Προκειμένου να παρουσιαστεί μία ολοκληρωμένη εικόνα των συσχετίσεων μεταξύ κλασμάτων ΑΣ και αριθμού ΑΣ καθώς και του συντελεστή απορρόφησης, παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης Pearson, για όλες τις παραμέτρους (για τις κοινές ημέρες με δεδομένα,  $n=150$ ), σε επίπεδο σημαντικότητας 99% (Πίνακας 4-8).

**Πίνακας 4-8:** Συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ των παραμέτρων των ΑΣ, σε επίπεδο σημαντικότητας 99%.

|                            | ΑΣ <sub>10</sub> | ΑΣ <sub>2.5</sub> | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub> | Συντελεστής<br>Απορρόφησης | ΑΑΣ |
|----------------------------|------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|-----|
| ΑΣ <sub>10</sub>           | 1                |                   |                        |                            |     |
| ΑΣ <sub>2.5</sub>          | 0.69             | 1                 |                        |                            |     |
| ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub>     | 0.89             | 0.28              | 1                      |                            |     |
| Συντελεστής<br>Απορρόφησης | 0.59             | 0.65              | 0.37                   | 1                          |     |
| ΑΑΣ                        | 0.22             | 0.40              | 0.04                   | 0.65                       | 1   |

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται η πολύ υψηλή συσχέτιση των συγκεντρώσεων μάζας των αδρών ΑΣ με τα ΑΣ<sub>10</sub> με συντελεστή Pearson 0.89. Λιγότερο υψηλή είναι η συσχέτιση των ΑΣ<sub>10</sub> με τα ΑΣ<sub>2.5</sub> (0.69). Υψηλή παρουσιάζεται και η συσχέτιση των ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΑΣ με τον συντελεστή απορρόφησης (0.65) ενώ ο ΑΑΣ συσχετίζεται ασθενώς τόσο με τα ΑΣ<sub>10</sub> (0.22) και καθόλου με τα ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> (0.04).

#### 4.5 Λόγοι συγκεντρώσεων μάζας ΑΣ

Ένας σημαντικός δείκτης που δηλώνει τη συσχέτιση των σωματιδίων  $AS_{2.5}$ , ως προς τα  $AS_{10}$  (Σχήμα 4-31), είναι ο λόγος  $AS_{2.5}/AS_{10}$ . Σύμφωνα με μελέτη των Levy et al. (2008) ο λόγος, εμφανίζεται ως ο πιο ισχυρός δείκτης για την πρόβλεψη της συσχέτισης μεταξύ των  $AS_{10}$  και της θνησιμότητας του ανθρώπου από την έκθεση σ' αυτά. Επίσης δηλώνει το ποσοστό των δευτερογενών παραγόμενων ΑΣ (Λαζαρίδης, προσωπική επικοινωνία).

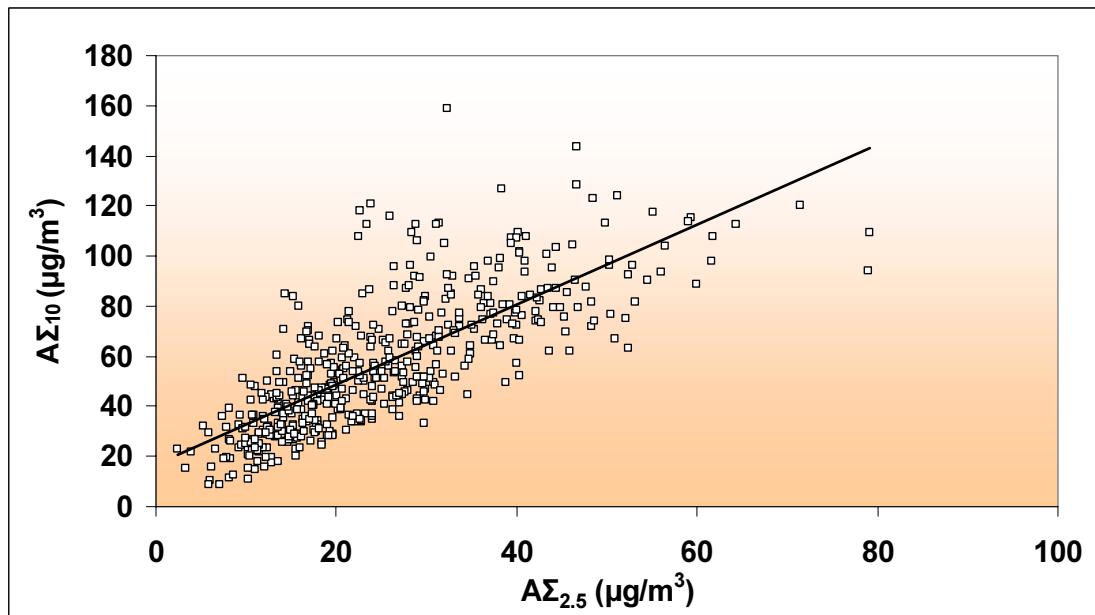
Στη συγκεκριμένη μελέτη, υπολογίστηκε τόσο ο λόγος  $AS_{2.5}/AS_{10}$  όσο και ο  $AS_{(10-2.5)}/AS_{10}$ . Η μέση τιμή των λόγων, το τυπικό σφάλμα, η διάμεσος καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή, για την περίοδο δειγματοληψίας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-9.

**Πίνακας 4-9:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των λόγων  $AS_{2.5}/AS_{10}$  και  $AS_{10-2.5}/AS_{10}$

|                                                 | $AS_{2.5}/AS_{10}$ | $AS_{(10-2.5)}/AS_{10}$ |
|-------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| <b>Μέση τιμή (<math>\pm</math> τυπ. σφάλμα)</b> | $0.46 \pm 0.01$    | $0.54 \pm 0.01$         |
| <b>Διάμεσος</b>                                 | 0.45               | 0.55                    |
| <b>Ελάχιστη τιμή</b>                            | 0.10               | 0.07                    |
| <b>Μέγιστη τιμή</b>                             | 0.94               | 0.90                    |

Παρόλο που το εύρος τιμών των λόγων είναι αρκετά μεγάλο (ειδικά για το λόγο  $AS_{(10-2.5)}/AS_{10}$ ), παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές δεν διαφέρουν σημαντικά, με το λόγο  $AS_{(10-2.5)}/AS_{10}$  να εμφανίζει λίγο μεγαλύτερη μέση τιμή (0.54), πιθανόν λόγω αυξημένης επαναιώρησης της σκόνης, ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του λόγου, εμφανίζονται μικρότερες από τις αντίστοιχες του  $AS_{2.5}/AS_{10}$  (Σχήμα 4-32). Συνεπώς, δηλώνεται και πάλι η μικρή 'υπεροχή' των αδρών ΑΣ συγκριτικά με τα λεπτά σωματίδια λόγω επαναιώρησης σκόνης από τα οχήματα, στους γειτονικούς δρόμους, και των έργων που λάμβαναν χώρα. Επίσης, οι διάμεσες τιμές δεν διαφέρουν σημαντικά από τις μέσες τιμές των λόγων ενώ το εύρος των τιμών παρουσιάζεται μεγάλο (0.83).

**Σχήμα 4-31:** Συσχέτιση των  $A\Sigma_{10}$  και των  $A\Sigma_{2.5}$ , από τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς για την περίοδο (23/10/2002 – 31/03/2004).



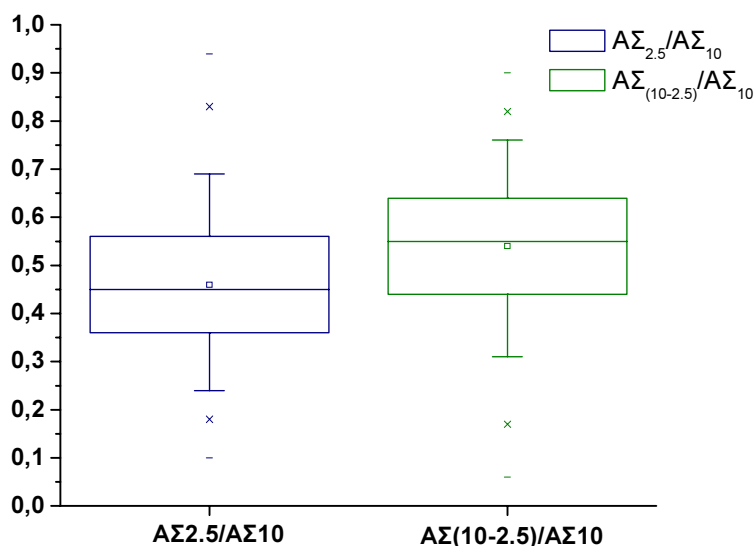
Οι τιμές των λόγων  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  και  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$  για το έτος 2003 υπολογίστηκαν  $0.45 \pm 0.01$  και  $0.55 \pm 0.01$ , αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, και οι δύο λόγοι είναι κοντά στο 0.5, με  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10} < A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$ , γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα αδρά σωματίδια είναι σημαντικό, και πολλές φορές μεγαλύτερο, μέρος των  $A\Sigma_{10}$ .

Βάσει βιβλιογραφίας (USEPA, 2001), η ετήσια μέση τιμή του λόγου  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$ , σε πολλές αστικές και ημιαστικές περιοχές των Η.Π.Α., κυμαίνεται από 0.3 μέχρι 0.7. Σύμφωνα με έκθεση του ΕΕΑ (2007) και σχετική μελέτη των Querol et al (2004), ο λόγος  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  για το 2004, παρουσιάστηκε αρκετά μεταβλητός μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών από 0.53 μέχρι 0.83. Επίσης, στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι σε επτά επιλεγμένες περιοχές της ΕΕ, για την περίοδο 1998 – 2002, ο λόγος  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  εξαρτάται από τον τύπο του σταθμού καταμέτρησης και οι τιμές του ποικίλουν μεταξύ των διαφόρων περιοχών (0.6 – 0.8) (Querol et al 2004). Συγκεκριμένα, σε σταθμούς αστικού υποβάθρου ο λόγος παίρνει τιμές από 0.4 στις Κανάριες Νήσους και 0.5 στην νότια Ισπανία σε 0.8 στην Ολλανδία, τη Γερμανία και την κεντρική και βόρεια Ισπανία. Επίσης, σε μελέτη των Putaud et al. (2003) υπολογίστηκε ότι η μέση τιμή λόγου ήταν 0.73 (εύρος 0.57 – 0.85 και τυπ. αποκλ. 0.15), αρκετά πάνω από τα επίπεδα στον σταθμό

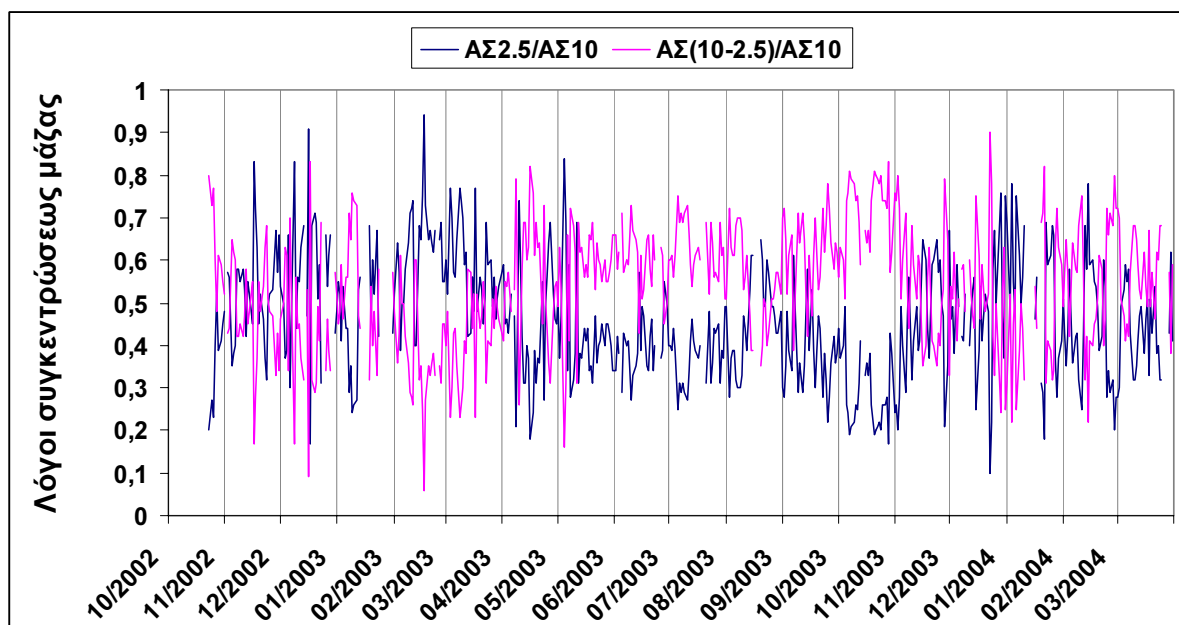
αναφοράς. Σε αντίστοιχη μελέτη των Ho et al. (2003) σε περιοχές του Hong Kong οι τιμές του λόγου υπολογίστηκαν στα 0.61 με 0.78.

Στο Σχήμα 4-33 παρουσιάζεται η ημερήσια μεταβολή των λόγων  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  και  $A\Sigma_{(10-2.5)} / A\Sigma_{10}$ , από τα δεδομένα συγκέντρωσης μάζας του σταθμού αναφοράς, για την περίοδο δειγματοληψίας. Παρατηρείται μία σχετική αύξηση του λόγου  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$  τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του 2003 και μια μικρότερη τον Απρίλιο του ίδιου έτους. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, καθώς κατά τους συγκεκριμένους μήνες είναι συνήθως πιο έντονο το φαινόμενο. Σύμφωνα με το Μηναίο Δελτίο Μετεωρολογικών Παραμέτρων (2003), του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, την περίοδο που παρουσιάστηκαν υψηλές τιμές του λόγου, επικρατούσαν καλές καιρικές συνθήκες με υψηλές θερμοκρασίες και υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας.

**Σχήμα 4-32:** Γραφική απεικόνιση των λόγων  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  και  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$  από τα δεδομένα συγκέντρωσης μάζας του σταθμού αναφοράς. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 4-33:** Ημερήσια μεταβολή των λόγων  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  και  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$ .

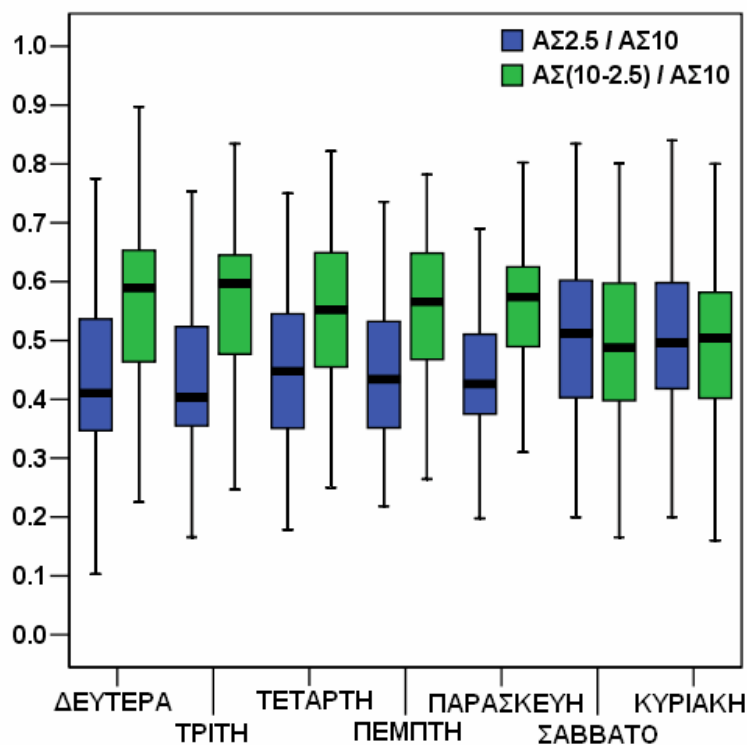


Προκειμένου να μελετηθεί η εβδομαδιαία μεταβολή των λόγων, υπολογίστηκε η μέση ημερήσια τιμή τους, η οποία απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 4-34. Από το Σχήμα 4-34 φαίνεται ότι οι λόγοι παρουσιάζουν μέσες ημερήσιες τιμές  $> 0.4$ . Τις μεγαλύτερες τιμές λαμβάνει ο λόγος  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$  ο οποίος παραμένει σχεδόν σταθερός τις εργάσιμες ημέρες ενώ μειώνεται το Σαββατοκύριακο. Κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, όπου υπήρχε παύση των κατασκευαστικών έργων και δεν υπήρχε κίνηση βαρέων οχημάτων οι τιμές των λόγων βρίσκονται σε ίδια επίπεδα ( $\sim 0.5$ ). Αντίστοιχα, λόγος  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  παραμένει σταθερός τις εργάσιμες μέρες και αυξάνεται κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου καθώς το Σαββατοκύριακο μειώνεται το ποσοστό των αδρών  $A\Sigma$  (Σχήμα 4-11) και κατά συνέπεια τα  $A\Sigma_{10}$  στο συνολό τους. Γενικά ο λόγος  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$  παρουσιάζεται μεγαλύτερος του  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  καθόλη τη διάρκεια των εργάσιμων ημερών.

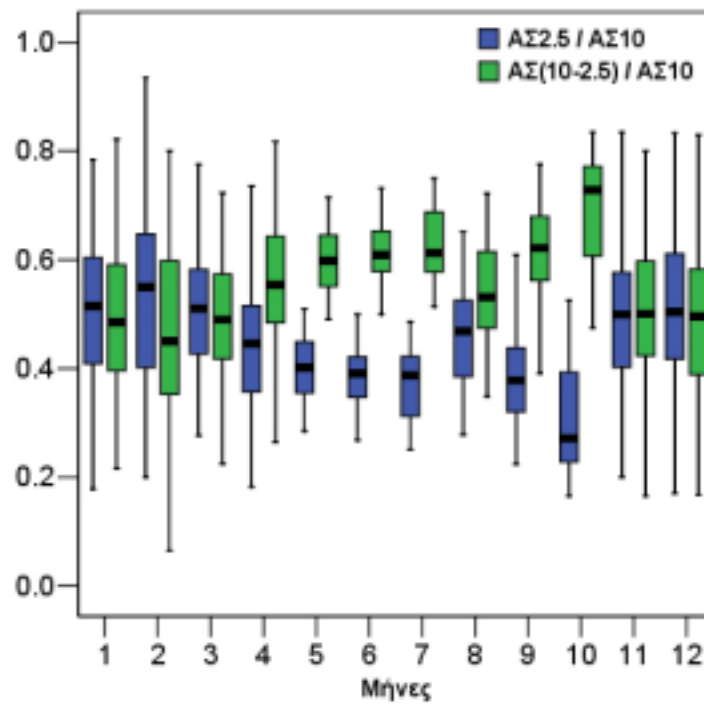
Επιπλέον, υπολογίστηκαν και οι μέσες τιμές των λόγων ανά μήνα (Σχήμα 4-35). Ο λόγος  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  παρουσιάζει ελάχιστη μέση τιμή τον μήνα Οκτώβριο (0.31) και μέγιστη τον Φεβρουάριο (0.53). Φαίνεται ότι, από τον Απρίλιο μέχρι και τον Ιούλιο, υπάρχει σταδιακή μείωση του λόγου  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  ενώ κατά την ψυχρή περίοδο (Νοέμβριος – Φεβρουάριος) οι τιμές του λόγου είναι μεγαλύτερες ( $\geq 0.49$ ) με μεγαλύτερο

εύρος τιμών, προφανώς λόγω αύξησης των πηγών καύσεως. Το υπόλοιπο χρονικό διάστημα η τιμή του λόγου είναι μικρότερη από 0.45. Αντίθετα, αν και ο λόγος  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$  παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές κατά την περίοδο Απρίλιος-Οκτώβριος, οι τιμές του κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρουσιάζουν μικρό εύρος, λόγω της γρήγορης εναπόθεσης των αδρών ΑΣ το καλοκαίρι. Η μέγιστη μέση τιμή του λόγου εμφανίζεται τον μήνα Οκτώβριο (0.69) και η ελάχιστη τον Φεβρουάριο (0.47). Κατά την ψυχρή περίοδο οι μέσες τιμές των δύο λόγων δεν φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά. Οι συγκεκριμένες διαφορές πιθανόν να οφείλονται στην εποχικότητα των εκπομπών των αδρών σωματιδίων και στις διαφορετικές διαδικασίες απομάκρυνσης τόσο των λεπτών όσο των αδρών σωματιδίων (Λιάνου et. al. 2004).

**Σχήμα 4-34:** Μέση ημερήσια μεταβολή των λόγων  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  και  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$ . (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 4-35:** Μηνιαία μεταβολή των λόγων  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  και  $A\Sigma_{10-2.5}/A\Sigma_{10}$ . (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



#### 4.6 Επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.

Είναι γνωστό ότι, οι μετεωρολογικές συνθήκες και ιδιαίτερα η βροχόπτωση και οι άνεμοι ισχυρής έντασης, επηρεάζουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις σωματιδίων στην Αθήνα καθώς αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες καθαρισμού της κατώτερης τροπόσφαιρας (Λιάνου et al., 2004). Η ανάλυση και μελέτη, της επίδρασης των μετεωρολογικών παραμέτρων στις συγκεντρώσεις των ΑΣ, βοηθούν στην κατανόηση των μηχανισμών καθαρισμού της ατμόσφαιρας καθώς και στον εντοπισμό και την πρόγνωση των πηγών της σωματιδιακής ρύπανσης.

Στην παρούσα εργασία αρχικά υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, μεταξύ των ημερήσιων συγκεντρώσεων ΑΣ με τις αντίστοιχες μέσες ημερήσιες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων: θερμοκρασία (T), σχετική υγρασία (RH), ταχύτητα ανέμου, βροχόπτωση (Πίνακας 4-10). Η υψηλότερη αρνητική συσχέτιση, σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01, εμφανίζεται μεταξύ ταχύτητας του ανέμου και συντελεστή απορρόφησης (-0.60) και ακολουθούν οι αντίστοιχες συσχετίσεις με τα ΑΣ<sub>2.5</sub> (-0.52) και τα ΑΣ<sub>10</sub> (-0.51). Η βροχόπτωση, φαίνεται να έχει δευτερεύοντα ρόλο στον καθαρισμό της κατώτερης τροπόσφαιρας από τα ΑΣ ενώ δεν παρουσιάζεται υψηλή συσχέτιση με την θερμοκρασία (Chaloulakou et al., 2005), η οποία σχετίζεται θετικά με τη συγκέντρωση μάζας ΑΣ και αρνητικά με τον συντελεστή απορρόφησης και τον ΑΑΣ.

**Πίνακας 4-10:** Συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ των συγκεντρώσεων ΑΣ και των μετεωρολογικών παραμέτρων, θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και βροχόπτωσης.

|                             | ΑΣ <sub>10</sub> | ΑΣ <sub>2.5</sub> | ΑΣ <sub>10-2.5</sub> | Συντελεστής Απορρόφησης | ΑΑΣ    |
|-----------------------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|--------|
| <b>Θερμοκρασία (T)</b>      | 0.29*            | 0.04              | 0.39*                | -0.20*                  | -0.45* |
| <b>Σχετική υγρασία (RH)</b> | -0.07            | 0.07              | -0.16*               | 0.32*                   | 0.35*  |
| <b>Ταχύτητα ανέμου</b>      | -0.51*           | -0.52*            | -0.36*               | -0.60*                  | -0.31* |
| <b>Βροχόπτωση</b>           | -0.24*           | -0.19*            | -0.20*               | -0.09                   | -0.04  |

(\*) σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01

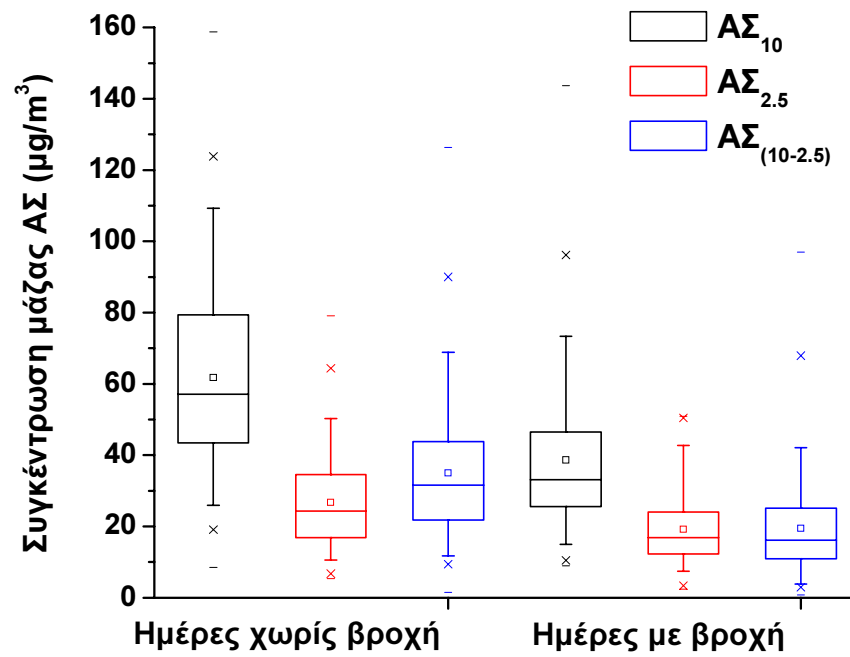
Η επίδραση της βροχόπτωσης στις συγκεντρώσεις των ΑΣ, γίνεται εμφανώς αισθητή. Κατά την περίοδο της δειγματοληψίας, σε 120 ημέρες από τις 526 συνολικά ημέρες, μετρήθηκε ημερήσιο ύψος βροχής >0.1mm. Τα στατιστικά αποτελέσματα (μέση τιμή, σταθερό σφάλμα μέσης τιμής, αριθμός ημερών) των παραμέτρων για τις ημέρες, με ή χωρίς βροχόπτωση, φαίνονται στον Πίνακα 4-11.

**Πίνακας 4-11:** Μέσες τιμές συγκεντρώσεων για τις ημέρες με και χωρίς βροχόπτωση

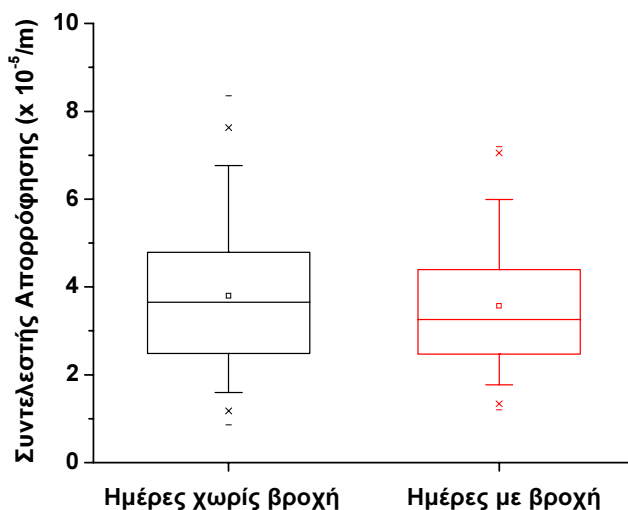
|                                            | ΑΣ <sub>10</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>2.5</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | Συντελεστής<br>Απορρόφησης<br>(×10 <sup>-5</sup> /m) | ΑΑΣ<br>(σωμ./cm <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Ημέρες χωρίς<br/>Βροχόπτωση<br/>(n)</b> | 61.7 ± 1.31<br>(386)                     | 26.69±<br>0.66<br>(385)                   | 34.99±<br>0.93<br>(384)                        | 3.79 ± 0.08<br>(385)                                 | 23820 ± 716<br>(367)           |
| <b>Ημέρες με<br/>Βροχόπτωση<br/>(n)</b>    | 38.65 ± 2.0<br>(107)                     | 19.21±<br>0.96<br>(108)                   | 19.46±<br>1.39<br>(107)                        | 3.57 ± 0.14<br>(108)                                 | 25450 ± 1253<br>(104)          |

Στον Πίνακα 4-11, φαίνεται ο καθοριστικός ρόλος της βροχόπτωσης στη μείωση των επιπέδων συγκέντρωσης μάζας, αφού η μέση τιμή των ΑΣ<sub>10</sub> μειώνεται κατά 37%, των ΑΣ<sub>2.5</sub> κατά 28% και των ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> κατά 44% τις ημέρες με βροχή, ποσοστά αρκετά αυξημένα σε σύγκριση με τα αποτελέσματα αντίστοιχης μελέτης των Chaloulakou et al. (2005). Επομένως, η μείωση των συγκεντρώσεων των ΑΣ<sub>10</sub>, από (61.7±1.31)μg/m<sup>3</sup> σε (38.65 ± 2.0)μg/m<sup>3</sup>, οφείλεται κυρίως σε αυτή των αδρών ΑΣ, με αντίστοιχες μέσες τιμές (34.99± 0.93)μg/m<sup>3</sup> και (19.46± 1.39)μg/m<sup>3</sup>, τις ημέρες χωρίς βροχή και τις βροχερές ημέρες, αντιστοίχως. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από το Σχήμα 4-36, όπου φαίνεται η διαφορά των συγκεντρώσεων μάζας των κλασμάτων των ΑΣ, τις ημέρες με βροχή και χωρίς βροχή. Επίσης, γίνεται αντιληπτό ότι, τις ημέρες με βροχόπτωση, η διάμεσος τιμή των λεπτών και αδρών ΑΣ παρουσιάζει μικρή μείωση. Αντίθετα, ο συντελεστής απορρόφησης παραμένει σχεδόν στα ίδια επίπεδα, τις ημέρες με και χωρίς βροχόπτωση (Σχήμα 4-37), ενώ ο ΑΑΣ παρουσιάζει μία μικρή αύξηση (~7%) (Σχήμα 4-38).

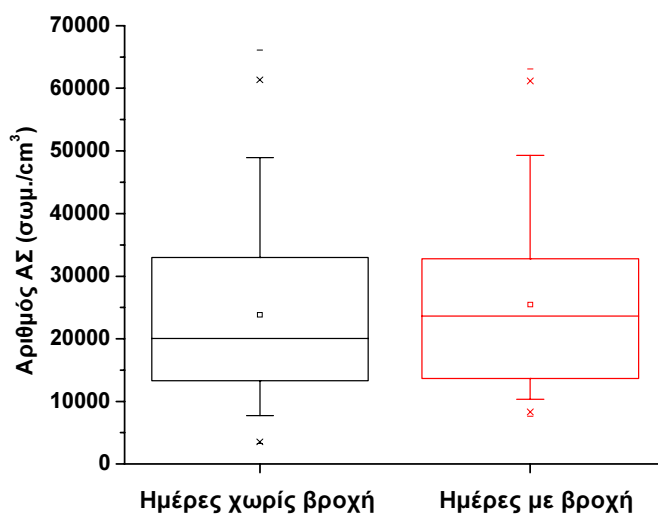
**Σχήμα 4-36:** Συγκεντρώσεις μάζας ΑΣ για τις ημέρες με και χωρίς βροχόπτωση. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 4-37:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του συντελεστή απορρόφησης για τις ημέρες με και χωρίς βροχόπτωση. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).

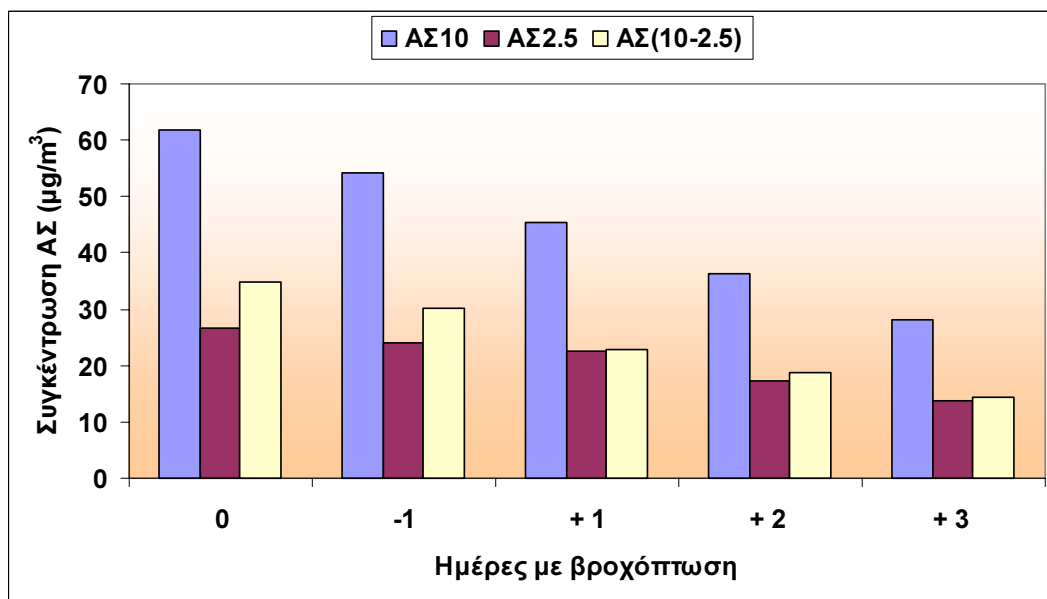


**Σχήμα 4-38:** Συγκεντρώσεις ΑΑΣ για τις ημέρες με και χωρίς βροχόπτωση (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων μάζας ΑΣ μετά από συνεχόμενη βροχόπτωση. Συγκεκριμένα, συγκρίθηκαν τα επίπεδα ΑΣ, των ημερών χωρίς βροχόπτωση (0), με αυτά των ημερών που προηγούνταν κατά μία ημέρα του επεισοδίου βροχόπτωσης (-1) και με αυτά των ημερών βροχόπτωσης: μίας (μόνο) ημέρας βροχόπτωσης (+1), της 2<sup>ης</sup> ημέρας, δύο συνεχόμενων ημερών με βροχή (+2) και της 3<sup>ης</sup> ημέρας τριών συνεχόμενων ημερών με βροχή (+3) (Σχήμα 4-39). Φαίνεται ότι η εμφάνιση βροχής (1η ημέρα επεισοδίου), επιδρά σημαντικά στα επίπεδα συγκέντρωσης μάζας ΑΣ, με τα ΑΣ<sub>10</sub> να μειώνονται (σε σύγκριση με το σύνολο των ημερών χωρίς βροχή) κατά 26%, τα ΑΣ<sub>2.5</sub> κατά 16% και τα ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> κατά 34%, ενώ σε σύγκριση με τις ημέρες (-1) που προηγούνται των επεισοδίων βροχής, μειώνονται κατά 16%, 6% και 24% αντίστοιχα.

**Σχήμα 4-39:** Σύγκριση επιπέδων μάζας ΑΣ καθόλη την διάρκεια επεισοδίων βροχόπτωσης.

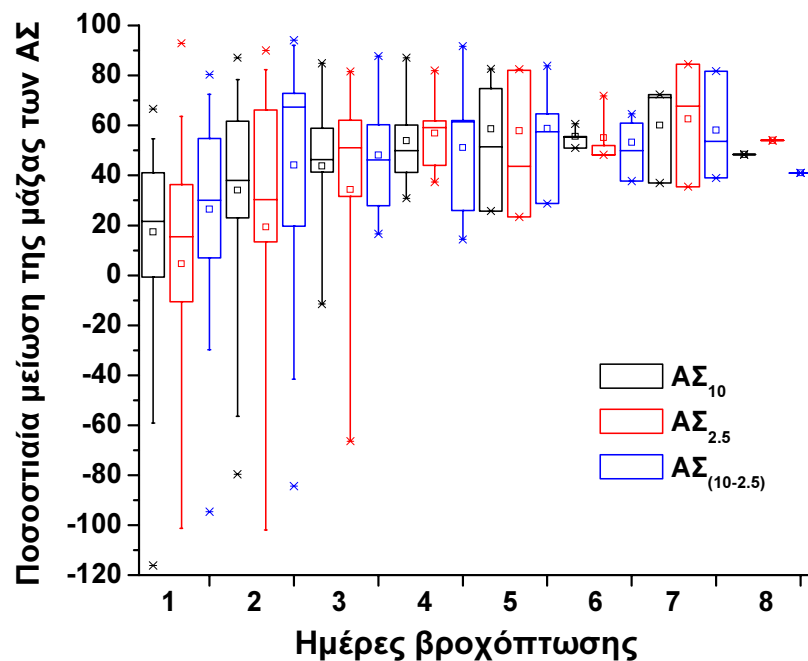


Την 2<sup>η</sup> ημέρα βροχόπτωσης (+2), τα επίπεδα ΑΣ μειώνονται κατά 20%, 23% και 18% αντιστοίχως (σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις της 1<sup>ης</sup> ημέρα) ενώ την 3<sup>η</sup> ημέρα κατά 23%, 21% και 24% αντιστοίχως (σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις της 2<sup>ης</sup> ημέρα). Η

δραστική μείωση των αδρών ΑΣ αποδίδεται στο μέγεθος τους (Thatcher, 2002) και στην αύξηση του ρυθμού εναπόθεσης λόγω βροχής.

Στο Σχήμα 4-40, παρουσιάζεται η ποσοστιαία μείωση των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ κατά τις ημέρες βροχόπτωσης, συγκριτικά με τις ημέρες πριν την εμφάνιση του επεισοδίου, το οποίο μπορεί να έχει διάρκεια περισσότερο της μίας ημέρας. Παρατηρούμε ότι αυξανόμενων των ημερών που παρουσιάζεται υετός αυξάνεται και το ποσοστό μείωσης, από 20%-40% σε 60%-70%. Τα ποσοστά φαίνεται να σταθεροποιούνται κατά την 3<sup>η</sup> με 4<sup>η</sup> ημέρα βροχόπτωσης ακολουθώντας μία σχετικά σταθερή πορεία μετά την 4<sup>η</sup> ημέρα συνεχούς εμφάνισης βροχής.

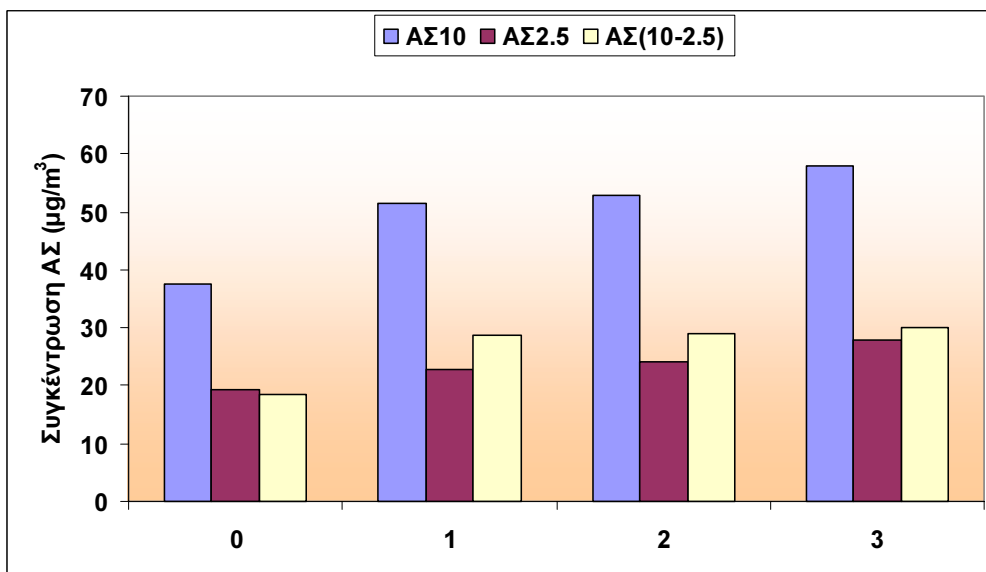
**Σχήμα 4-40:** Ποσοστιαία μείωση των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ κατά τη διάρκεια ημερών βροχόπτωσης. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Επίσης, έγινε σύγκριση της τελευταίας ημέρας επεισοδίου με βροχή (0), με τις επόμενες ημέρες, την 1<sup>η</sup> (1), την 2<sup>η</sup> (2) και την 3<sup>η</sup> ημέρα (3), μετά το τέλος του επεισοδίου (Σχήμα 4-41). Είναι φανερή η αύξηση των τιμών, ιδιαίτερα την επόμενη ημέρα μετά το τέλος του επεισοδίου βροχόπτωσης, με τα ΑΣ<sub>10</sub> να αυξάνονται κατά 37%, τα ΑΣ<sub>2.5</sub> κατά 18% και τα ΑΣ<sub>10-2.5</sub> κατά 56%, γεγονός που επιβεβαιώνει το μέγεθος του καθαρισμού της ατμόσφαιρας από τα ΑΣ, λόγω βροχής. Αντίστοιχα, παρουσιάζεται αύξηση του συντελεστή απορρόφησης κατά 13% και του ΑΑΣ κατά 20%.

Τα αποτελέσματα της έκπλυσης των ΑΣ<sub>10</sub> γίνονται αντιληπτά από την κατανομή των συγκεντρώσεων στην περίπτωση ημερών με βροχόπτωση >10mm, οπότε συγκεντρώσεις άνω των 45 μg/m<sup>3</sup> περιορίζονται στα ΝΔ του λεκανοπεδίου.

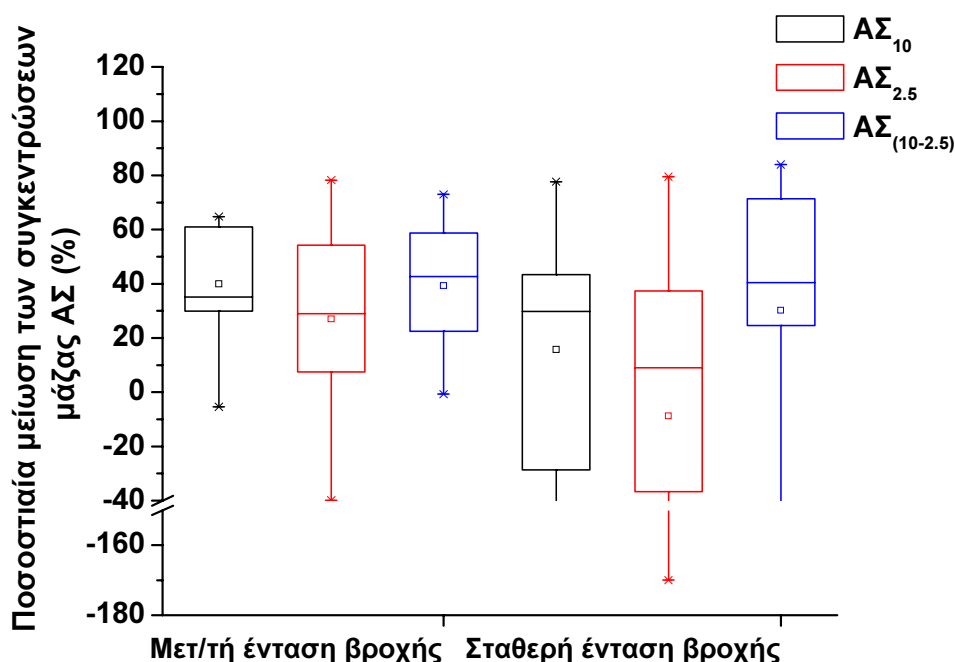
**Σχήμα 4-41:** Σύγκριση επιπέδων μάζας ΑΣ μετά το πέρας επεισοδίων βροχόπτωσης



Επίσης, έγινε προσπάθεια διαχωρισμού των επεισοδίων βροχής, ανάλογα με την ένταση της βροχόπτωσης, σε σταθερή και μεταβαλλόμενη. Η επιλογή έγινε, βάσει της έντασης της βροχόπτωσης (mm/hr), από τα ανά 10sec δεδομένα βροχής. Τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας μείωσης των συγκεντρώσεων από τις τιμές πριν το επεισόδιο και την ημέρα του επεισοδίου φαίνονται στο Σχήμα 4-42. Παρατηρείται ότι, στις περιπτώσεις των ημερών με μεταβαλλόμενη ένταση, η μείωση είναι προφανής και

μεγαλύτερη για τα αδρά ΑΣ. Αντίστοιχη μείωση των αδρών ΑΣ, παρουσιάζεται και τις ημέρες με σταθερή ένταση βροχής αλλά στην περίπτωση αυτή δεν φαίνεται να υπάρχει ικανοποιητική μείωση των λεπτών ΑΣ και κατά συνέπεια και των ΑΣ<sub>10</sub>.

**Σχήμα 4-42:** Ποσοστιαία μείωση των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ για σταθερή και μεταβαλλόμενη ένταση βροχόπτωσης. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Ένα τυπικό παράδειγμα επίδρασης της βροχής, τόσο στις συγκεντρώσεις μάζας όσο και στα επίπεδα του συντελεστή απορρόφησης παρατίθεται στο Σχήμα 4-43. Κατά το διάστημα 22/12/2003-26/12/2003, βαρομετρικό χαμηλό επηρέασε την χώρα προκαλώντας ισχυρές βροχοπτώσεις μεγάλης διάρκειας, συγκεκριμένα την 23/12, στο σταθμό του ΕΑΑ, στο Θησείο, το βροχόμετρο κατέγραψε 67mm βροχής σε 15 ώρες (Λαγουβάρδος, 2003). Λόγω βροχής, εκτός από έκπλυση υπήρχε και μείωση της

επαναιώρησης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, είναι εμφανής η επίδραση της βροχής στη μείωση των επιπέδων των ΑΣ, σε συνδυασμό με άνεμο βόρειου τομέα.

Είναι πλέον γνωστό ότι, στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας, λόγω της ιδιάζουσας τοπογραφίας, με την Πεντέλη και την Πάρνηθα στα βόρεια, τον Υμηττό στα ανατολικά και το όρος Αιγάλεω στα δυτικά, με μόνο το νότιο τμήμα ανοικτό, ο άνεμος, τόσο η ταχύτητα όσο και η διεύθυνση, παίζει σημαντικό ρόλο στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας από τους ρύπους (Λιάνου et al., 2004).

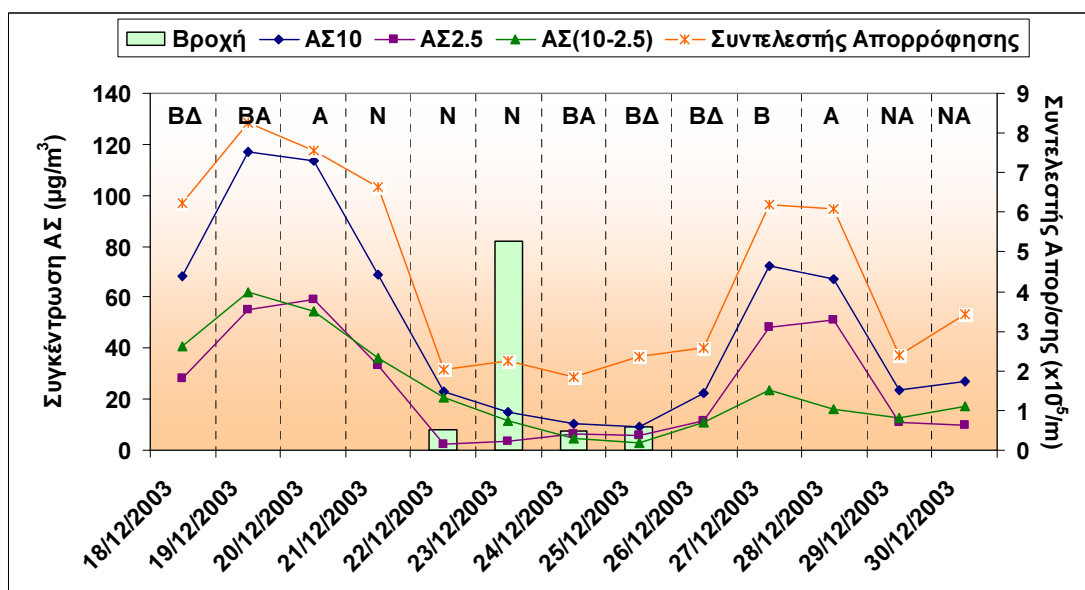
Συγκεκριμένα, μελετώντας την επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στις συγκεντρώσεις μάζας ΑΣ, βρέθηκε ότι, αυξανόμενης της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζεται σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων (Σχήμα 4-44), κάτι που είναι αντιληπτό και για τον συντελεστή απορρόφησης (Σχήμα 4-45), με αισθητή μείωση ακόμη και για μικρές ταχύτητες μέχρι και 5m/s.

Η καθοριστική επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας από τους ρύπους, γίνεται αντιληπτή και από τα Σχήματα 4-46 (α-ε) όπου είναι εμφανής η επίδραση της διεύθυνσης ανέμου βορείου τομέα και ιδιαίτερα (ΒΔ-Β), στη μείωση των συγκεντρώσεων μάζας, ιδιαίτερα στα αδρά ΑΣ (Σχήματα 4-46, γ). Γενικότερα, μελέτες έχουν δείξει ότι, άνεμοι νοτίου τομέα συνδέονται με υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2003), καθώς η εμφάνιση ασθενούς ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμποδίζει τη διασπορά των ΑΣ και επομένως επιβραδύνει την απομάκρυνσή τους (Chaloulakou et al., 2004). Επιπρόσθετα, οι άνεμοι νοτίου τομέα συχνά ευνοούν την εμφάνιση αναστροφών, εξαιτίας της μεταφοράς αερίων μαζών από το νότιο μέρος της Μεσογείου (Kassomenos, 1995). Σύμφωνα με μελέτη των Chaloulakou et al. (2001), η εμφάνιση ισχυρότερης κυκλοφορίας Ν-ΝΔ ανέμων, ευθύνεται για την μεταφορά σωματιδίων, από τη βιομηχανική περιοχή του Πειραιά, του Ελαιώνα και από τη θάλασσα.

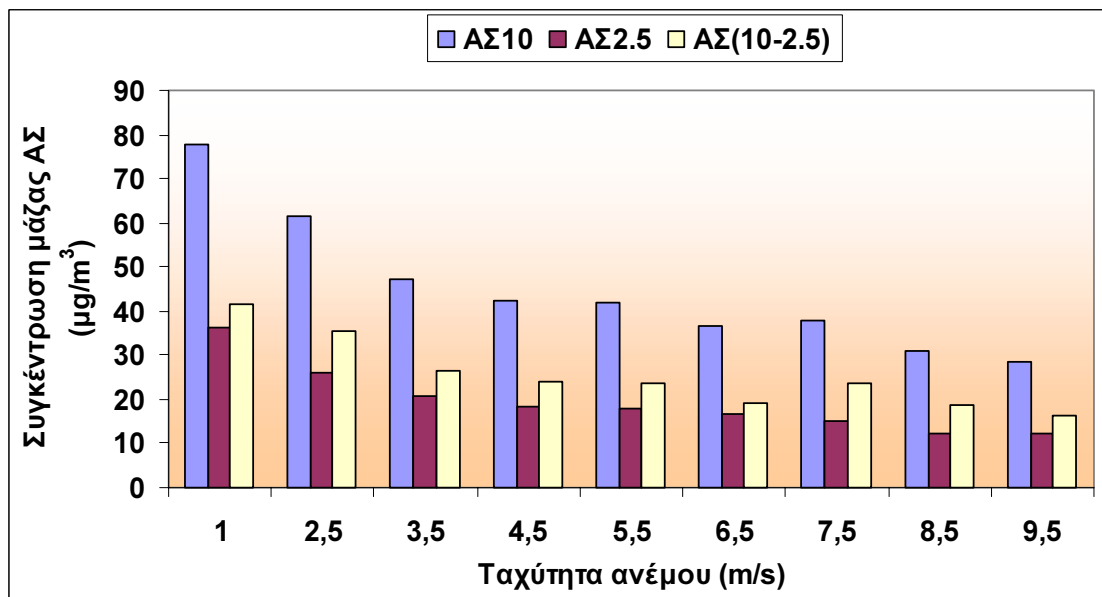
Από τα Σχήματα 4-46 (α, β, δ, ε) φαίνεται ότι, εμφανίζονται αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις για άνεμο ανατολικής διεύθυνσης, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην μεταφορά ρύπων από τη βιομηχανική περιοχή της Εύβοιας (στα ΝΔ του νησιού) στο λεκανοπέδιο της Αθήνας και ειδικά στις ανατολικές παρυφές του Υμηττού (Kassomenos et al. 1996).

Ένα εποπτικό παράδειγμα της συνδυασμένης επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου και της διεύθυνσης του ανέμου φαίνεται στο Σχήμα 4-47, όπου την περίοδο 29/4/2003-21/5/2003, δεν υπήρχε επεισόδιο βροχής. Φαίνεται καθαρά ότι, η σταδιακή αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου, από νότιου σε βόρειου τομέα (4/5/2003-11/5/2003), σε συνδυασμό με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου από 1.3m/s, στις 3/5/2003 σε 5.8 m/s στις 6/5/2003, επέδρασε σημαντικά στις συγκεντρώσεις των ΑΣ<sub>10</sub> (από 94.0 μg/m<sup>3</sup> στις 4/5, σε 45.0 μg/m<sup>3</sup> στις 6/5) με μείωση που οφείλεται κυρίως σε αυτή των ΑΣ<sub>2.5</sub> (από 79.0μg/m<sup>3</sup> στις 4/5, σε 15.0 μg/m<sup>3</sup> στις 6/5).

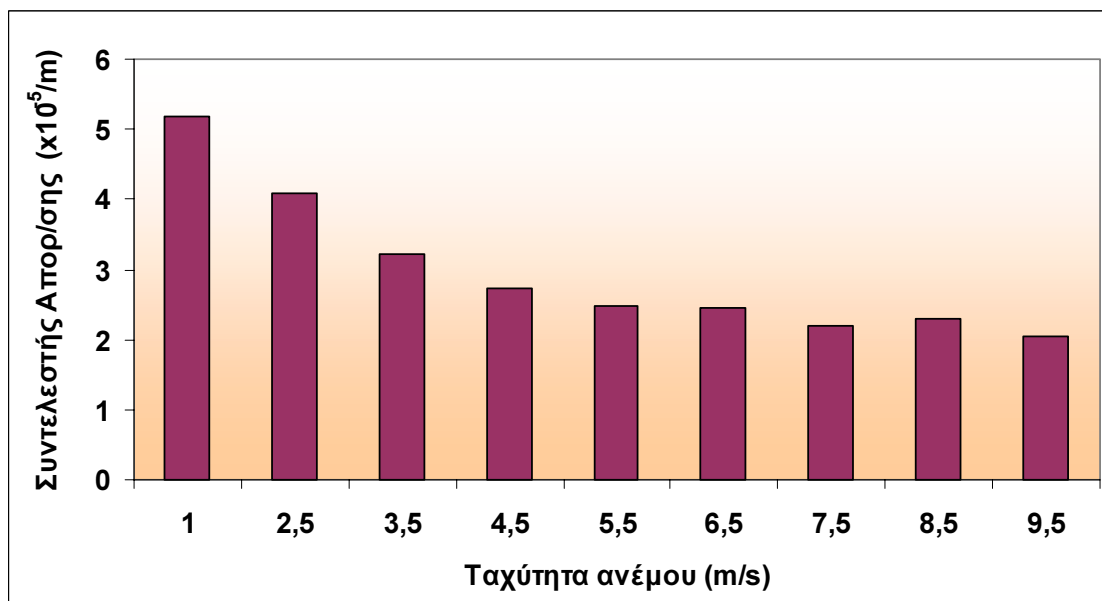
**Σχήμα 4-43:** Παράδειγμα επίδρασης της βροχόπτωσης στις συγκεντρώσεις μάζας και στον συντελεστή απορρόφησης.



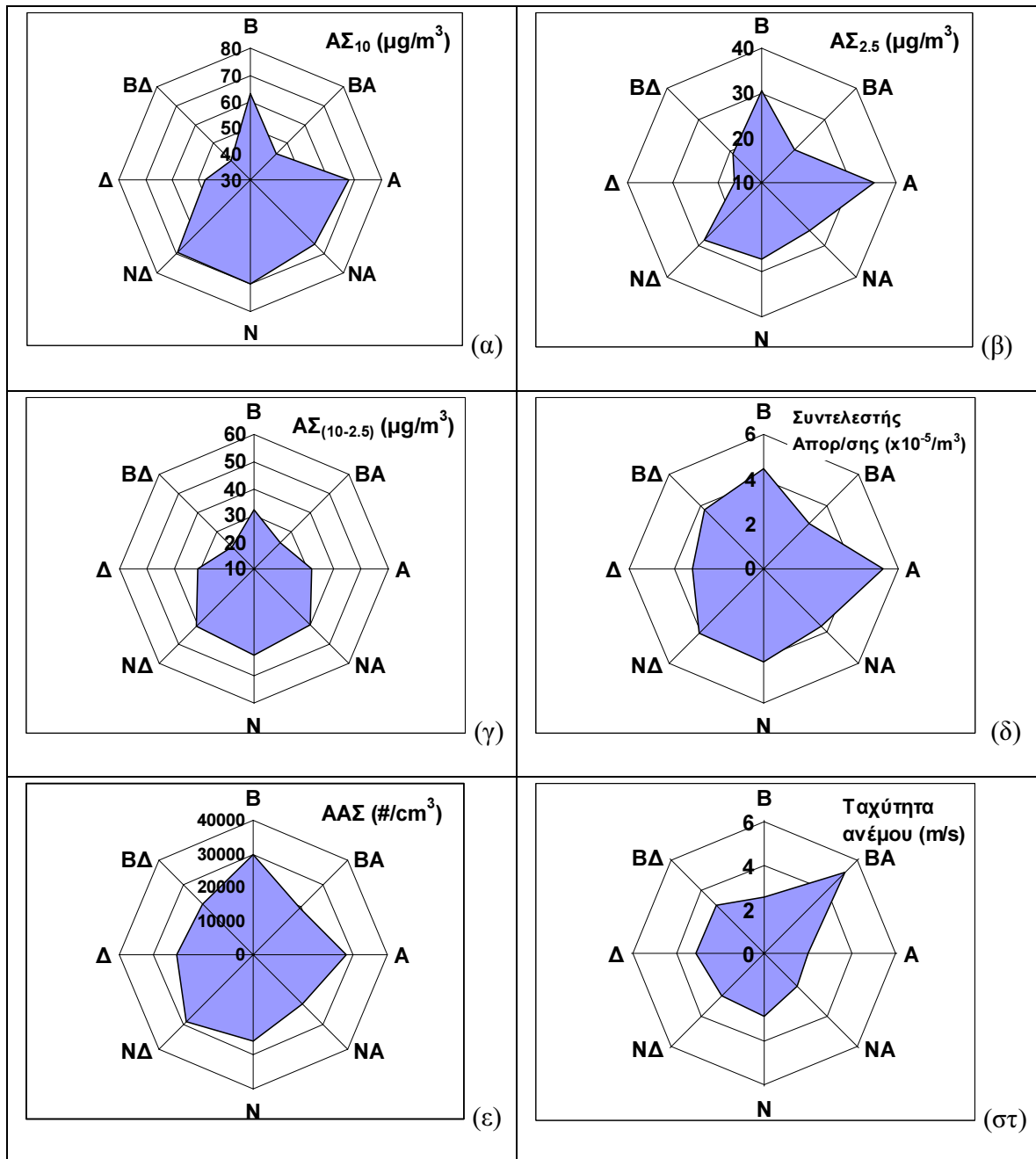
Σχήμα 4-44: Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στις συγκεντρώσεις μάζας ΑΣ.



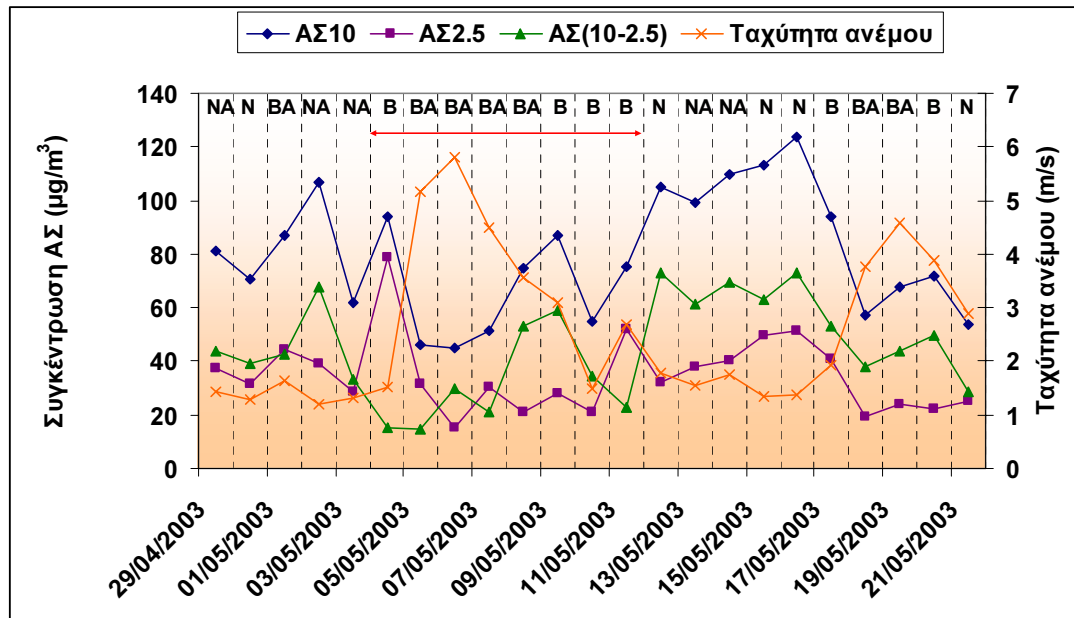
Σχήμα 4-45: Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στον συντελεστή απορρόφησης.



**Σχήματα 4-46:** Ροδογράμματα συγκέντρωσης μάζας  $ΑΣ_{10}$  (α),  $ΑΣ_{2.5}$  (β),  $ΑΣ_{(10-2.5)}$  (γ), συντελεστή απορρόφησης (δ),  $ΑΑΣ$  (ε) και ταχύτητας ανέμου (στ).



**Σχήμα 4-47:** Παράδειγμα επίδρασης του ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) στις συγκεντρώσεις μάζας.



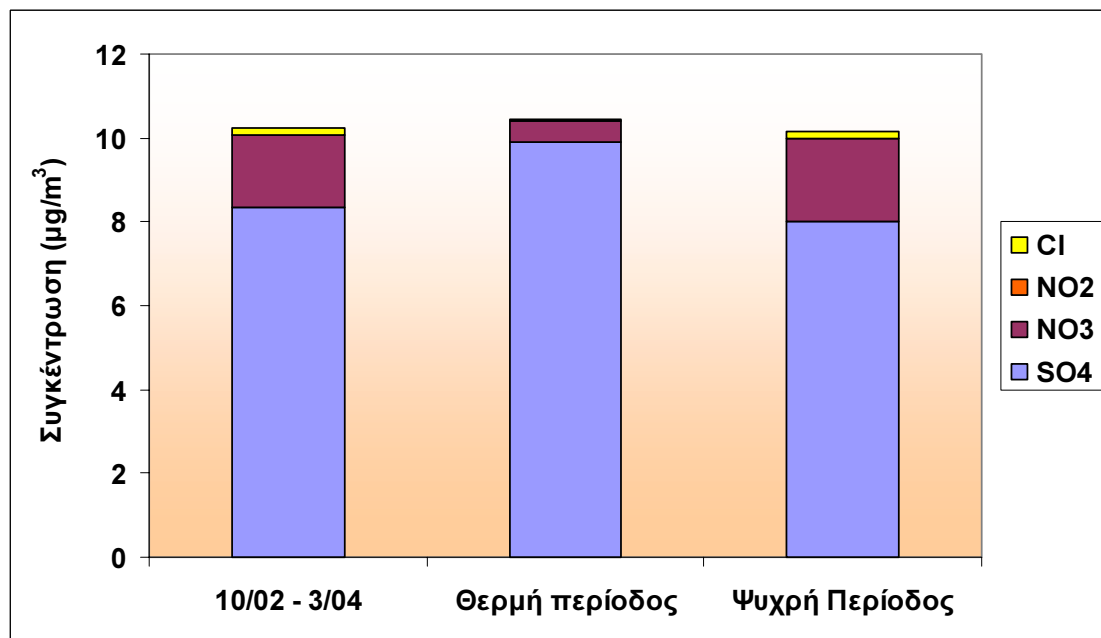
#### 4.7 Χημική ανάλυση φίλτρων ΑΣ<sub>2,5</sub>

Από το σύνολο των δειγματοληψιών ΑΣ<sub>2,5</sub> έγινε χημική ανάλυση σε 130 φίλτρα, με ιοντική χρωματογραφία. Κατά την προετοιμασία των φίλτρων, έγινε η εκχύλισή τους σε απιονισμένο νερό, σε μπάνιο υπερήχων για 30min. Η ανάλυση των ενώσεων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  και  $\text{Cl}^-$ ) πραγματοποιήθηκε με τον ιοντικό χρωματογράφο Dionex DX-100 (Dionex B.V.) κάνοντας χρήση στήλης AS14A-SC και ανιχνευτή αγωγιμότητας. Η υγρή φάση έκλουσης έγινε με 100μM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  και 75μM  $\text{NaHCO}_3$ . Η ροή που χρησιμοποιήθηκε ήταν μεταξύ 1.4 και 2.0ml/min. Ο όγκος του δείγματος 25μl. Από τα οποία προέκυψαν ημερήσιες τιμές συγκεντρώσεων ιόντων  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  και  $\text{Cl}^-$ . Τα ιόντα  $\text{Cl}^-$  είναι πιο λίγα κατά τη θερμή περίοδο καθώς η πιο συνήθης χημική μορφή τους είναι ως άλατα με αμμώνιο ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Το χλωριούχο αμμώνιο είναι σχετικά πτητική ένωση. Κατά τη θερμή περίοδο είναι κυρίως σε αέρια φάση ενώ όταν έχει κρύο είναι σε σωματιδιακή φάση. Καθώς τα  $\text{NO}_2^-$  και  $\text{Cl}^-$  συνεισφέρουν ελάχιστα στην μάζα των ΑΣ (Σχήμα 4-48), μελετήθηκαν μόνο τα  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$ .

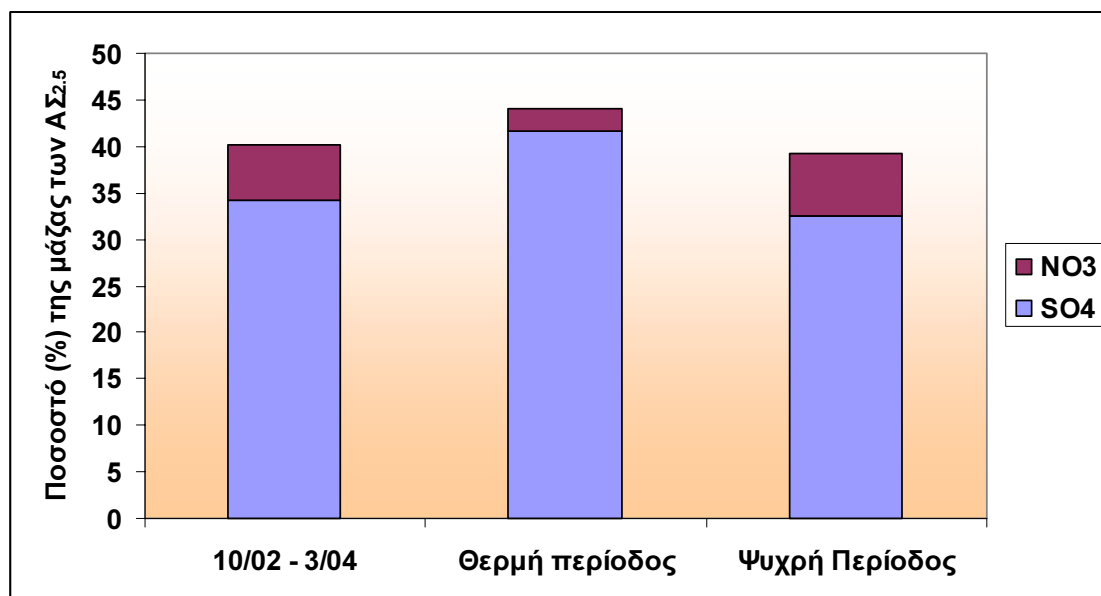
Στο Σχήμα 4-49 φαίνεται η ποσοστιαία συνεισφορά των  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$  στα λεπτά ΑΣ καθόλη την περίοδο δειγματοληψίας, τη θερμή και ψυχρή περίοδο. Φαίνεται ότι κατά τη θερμή περίοδο υπάρχει αύξηση της συνεισφοράς των συγκεκριμένων ιόντων στα επίπεδα των ΑΣ<sub>2,5</sub>, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης των  $\text{SO}_4^{2-}$  κατά τη συγκεκριμένη περίοδο.

Από τις αναλύσεις των φίλτρων βρέθηκε ότι, οι τιμές των  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$ , κυμάνθηκαν από 1.2μg/m<sup>3</sup> μέχρι 24.06μg/m<sup>3</sup> και από 0.8μg/m<sup>3</sup> μέχρι 12.8μg/m<sup>3</sup>, αντίστοιχα. Οι μέσες τιμές τους, υπολογίστηκαν στα (8.4±0.4)μg/m<sup>3</sup> για τα  $\text{SO}_4^{2-}$  και (1.7±0.2)μg/m<sup>3</sup> για τα  $\text{NO}_3^-$ , δηλαδή τα θειικά ιόντα είναι κατά μέσο όρο πενταπλάσια από τα νιτρικά. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των  $\text{SO}_4^{2-}$  κατά τη θερμή και των  $\text{NO}_3^-$  κατά την ψυχρή περίοδο, επιβεβαιώνονται από μελέτες των Malm et al. (2004) και Querol et al. (2001).

**Σχήμα 4-48:** Συγκέντρωση ιόντων  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , κατά την περίοδο δειγματοληψίας, την θερμή και ψυχρή περίοδο.

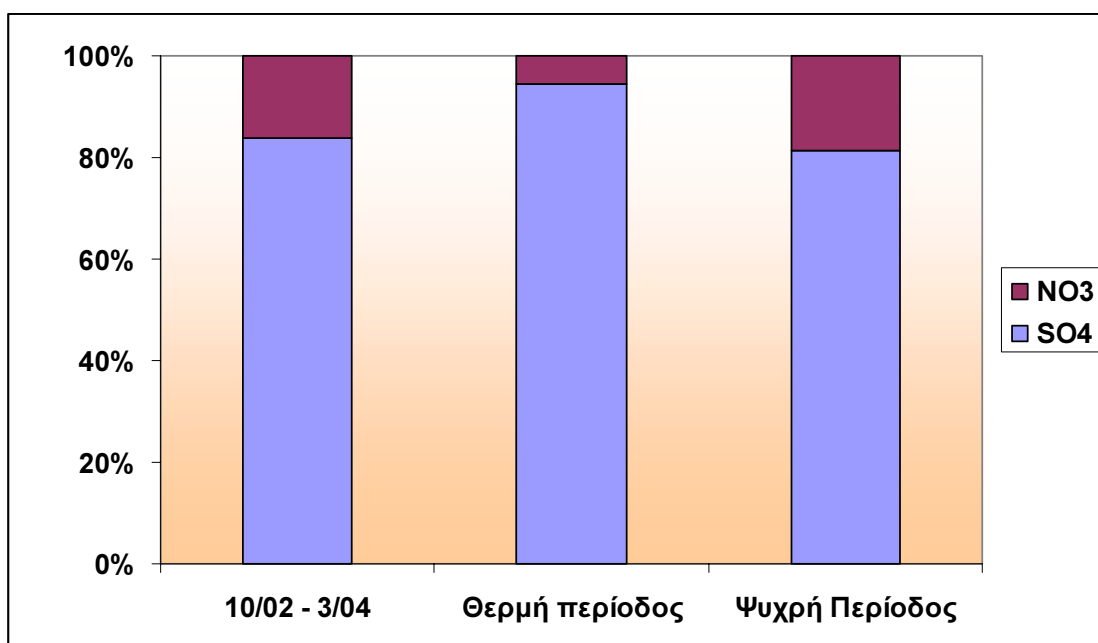


**Σχήμα 4-49:** Ποσοστιαία συνεισφορά των  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$  στα λεπτά ΑΣ καθόλη την περίοδο δειγματοληψίας, τη θερμή και ψυχρή περίοδο.



Από την ποσοστιαία συνεισφορά των  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$  (Σχήμα 4-50), φαίνεται η υπεροχή των  $\text{SO}_4^{2-}$ , με ποσοστό από 81% την ψυχρή περίοδο μέχρι και 95% κατά τη θερμή περίοδο, γεγονός που αποδίδεται στις αυξημένες εκπομπές ανθρωπογενούς προέλευσης και στον αυξημένο ρυθμό οξείδωσης του  $\text{SO}_2$  σε  $\text{SO}_4^{2-}$  κατά τη θερμή περίοδο (Querol et al., 2001).

**Σχήμα 4-50:** Ποσοστιαία συνεισφορά των  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$  καθόλη την περίοδο δειγματοληψίας, τη θερμή και ψυχρή περίοδο.



Τα λεπτά ΑΣ είναι το άθροισμα θειϊκών, νιτρικών, οργανικού άνθρακα, στοιχειακού άνθρακα και θαλασσινών αλάτων. Προκειμένου να προσδιοριστεί η συνεισφορά των θειϊκών, νιτρικών και του συντελεστή απορρόφησης στα λεπτά ΑΣ, εφαρμόστηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, όπου προσδιορίστηκε ο μη τυποποιημένος συντελεστής Β, θέτοντας ως εξαρτημένη μεταβλητή την μάζα των  $\text{AS}_{2.5}$  και ως ανεξάρτητες, τις συγκεντρώσεις των  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  και τον συντελεστή απορρόφησης (Πίνακας 4-12).

**Πίνακας 4-12:** Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης

| Εξαρτημένη μεταβλητή (ΑΣ <sub>2.5</sub> ) |                            | Μη τυποποιημένος<br>συντελεστής<br><b>B (± ΣΦ)</b> | Συνεισφορά στα ΑΣ <sub>2.5</sub> |
|-------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------|
| Ανεξάρτητες<br>μεταβλητές:                | SO <sub>4</sub>            | 1.23±0.09                                          | 10.3 µg/m <sup>3</sup>           |
|                                           | NO <sub>3</sub>            | 2.07±0.24                                          | 3.5 µg/m <sup>3</sup>            |
|                                           | Συντελεστής<br>απορρόφησης | (3.24±0.31)×10 <sup>5</sup>                        | 12.8 µg/m <sup>3</sup>           |

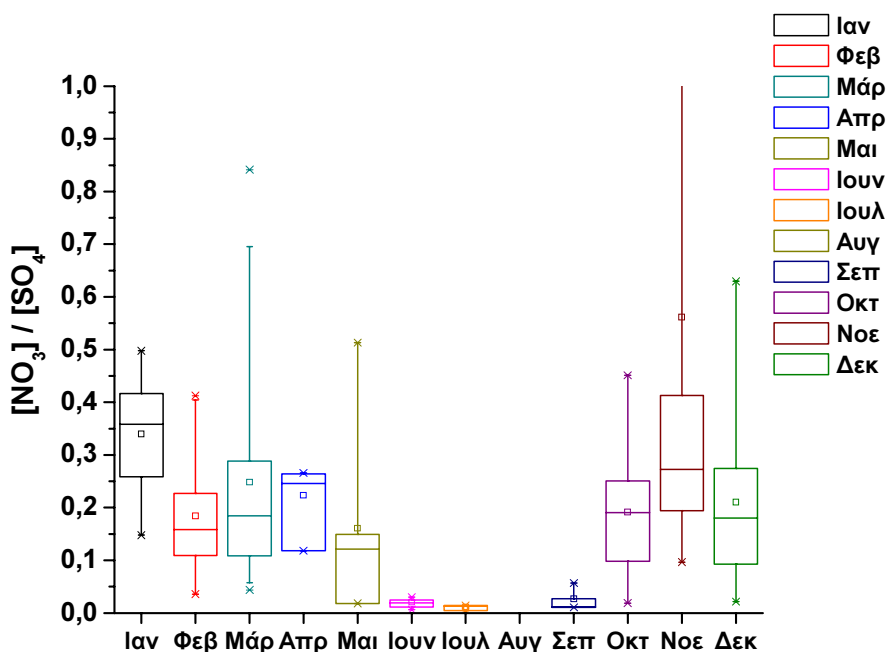
Τα θειικά ιόντα μπορεί να είναι είτε ως θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, με λόγο μάζας H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/SO<sub>4</sub>=1.01), ως όξινο θειϊκό αμμώνιο ((NH<sub>4</sub>)HSO<sub>4</sub>, με λόγο μάζας (NH<sub>4</sub>)HSO<sub>4</sub>/SO<sub>4</sub>=1.15), ή ως θειϊκό αμμώνιο ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, με λόγο μάζας (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/SO<sub>4</sub>=1.28). Στην γραμμική ανάλυση, ο συντελεστής υποδηλώνει τον λόγο μάζας των θειϊκών (Κάβουρας, προσωπική επικοινωνία).

Από τον Πίνακα 4-12 φαίνεται ότι ο συντελεστής παλινδρόμησης για τα θειϊκά ιόντα είναι συγκρίσιμος με το λόγο μάζας των θειϊκών προς το θειϊκό αμμώνιο [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], υποδηλώνοντας ότι τα θειϊκά είναι πλήρως εξουδετερωμένα από το αμμώνιο. Στα νιτρικά, ο συντελεστής παλινδρόμησης είναι υψηλότερος από το λόγο μάζας των νιτρικών προς το νιτρικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), υποδηλώνοντας ότι για την εξουδετέρωση των νιτρικών απαιτούνται επιπλέον κατιόντα όπως του ασβεστίου (Ca<sup>++</sup>) ή του νατρίου (Na<sup>+</sup>). Πρέπει να επισημανθεί ότι τα νιτρικά σχηματίζονται από την οξείδωση των οξειδίων του νατρίου (NO<sub>x</sub>) που εκπέμπονται από τα οχήματα. Επίσης, από τον Πίνακα 4-12, φαίνεται ότι τα πρωτογενή ΑΣ, λόγω τοπικής κυκλοφορίας των οχημάτων, (αντιπροσωπεύονται από τις μετρήσεις του συντελεστή απορρόφησης) αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό των λεπτών ΑΣ (Κάβουρας, προσωπική επικοινωνία).

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο λόγος της συγκέντρωσης μάζας των ιόντων, [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] / [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] καθώς θεωρείται ως δείκτης της υπερίσχυσης των σταθερών (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ως προς τις κινητές πηγές (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), στην κατώτερη τροπόσφαιρα (Yao et al, 2002; Arimoto et al.

1996). Η μέση τιμή του λόγου υπολογίστηκε  $(0.24 \pm 0.04) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , με ελάχιστη τιμή τα  $0.004 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και μέγιστη τιμή τα  $4.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Γενικά, η τιμή του λόγου παρουσιάζεται μικρή, με μόνο 9 από τις 130 ημέρες να εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες του 0.5 και μικρότερες του 1, ενώ μόνο μια μέρα είχε τιμή πάνω από 1 ( $4.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Το γεγονός αυτό, σύμφωνα τους Arimoto et al. (1996) οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι οι σταθερές πηγές υπερτερούν των κινητών στις συγκεντρώσεις των  $\text{A}\Sigma_{2.5}$  (Σχήμα 4-49). Η μηνιαία μεταβολή του λόγου φαίνεται στο Σχήμα 4-51, όπου παρουσιάζεται ελάχιστο τον Ιούλιο ( $0.01 \pm 0.002$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και μέγιστο τον Νοέμβριο ( $0.56 \pm 0.24$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αυτή η εποχική μεταβολή του λόγου, αποδίδεται και στην επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και σχετικής υγρασίας στις συγκεντρώσεις του  $\text{NO}_3^-$ , όπου κατά την καλοκαιρινή περίοδο οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλές καθώς και στο ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας, το νιτρικό οξύ βρίσκεται στην αέρια φάση.

**Σχήμα 4-51:** Μηνιαία διακύμανση του  $[\text{NO}_3^-] / [\text{SO}_4^{2-}]$ .



#### 4.8 Κατανομές ΑΣ

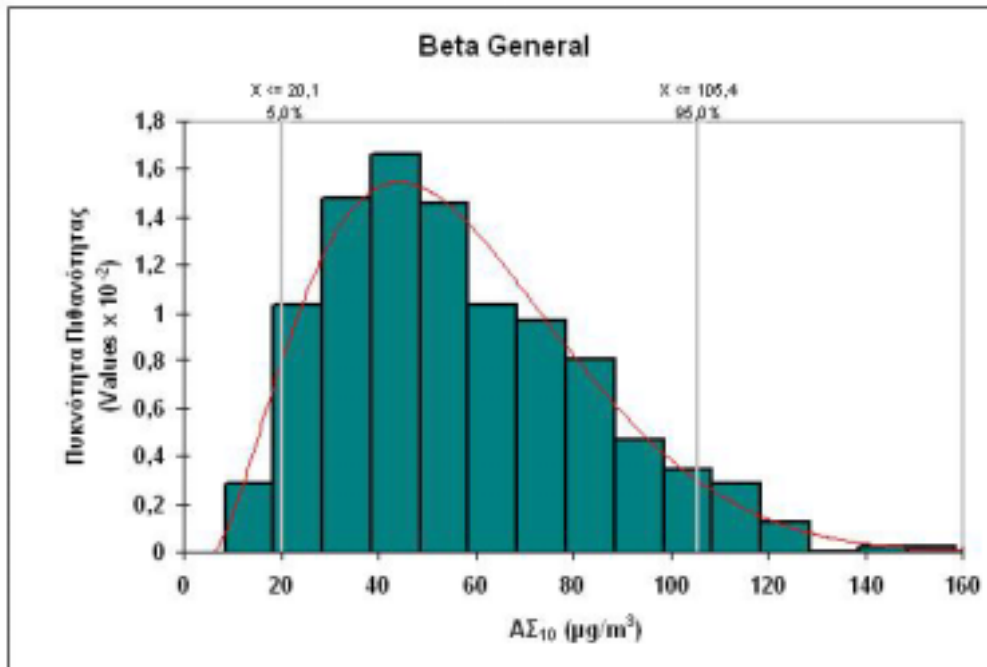
Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ (ενότητα 4.2) έδειξαν ότι η μέση τιμή των συγκεντρώσεων διαφέρει από τη διάμεσο, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα δεδομένα δεν προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Έγινε προσπάθεια εξομοίωσης της κατανομής που ακολουθούν οι پارλαμετροι των ΑΣ, κάνοντας χρήση του λογισμικού Best Fit (Palisade Best Fit vs. 4.5).

Εξετάστηκαν οι ακόλουθες κατανομές: κανονική, ημικανονική, lognormal, εκθετική, Gamma, Beta General, Weibull, Pearson 5, InvGauss και logistic. Θεωρήθηκε, ότι οι κατανομές ήταν συνεχείς. Έγινε ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov (K-S), καθώς η κατανομή του ελέγχου K-S δεν εξαρτάται από τη συνάρτηση της αθροιστικής κατανομής στην οποία γίνεται έλεγχος. Επίσης ο έλεγχος K-S, δεν εξαρτάται από το ακριβές μέγεθος του δείγματος. Επειδή ο συγκεκριμένος έλεγχος (K-S) είναι περισσότερο ευαίσθητος στο κέντρο της κατανομής θεωρήθηκε απαραίτητο να γίνει και έλεγχος Anderson- Darling (A-D), ο οποίος αποτελεί μία τροποποίηση του K-S αλλά δίνει περισσότερο βάρος στα άκρα της κατανομής.

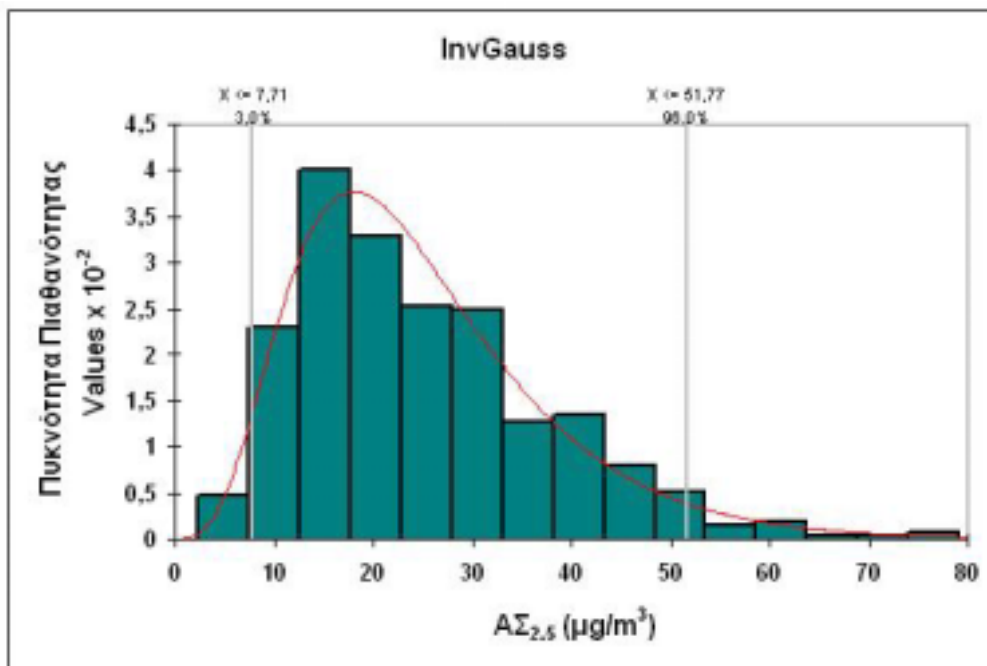
Εφαρμόζοντας και τους δύο ελέγχους, βρέθηκε ότι, οι συγκεντρώσεις των κλασμάτων ΑΣ<sub>10</sub>, του σταθμού αναφοράς, προσεγγίζουν καλύτερα την κατανομή Beta General (Σχήμα 4-52), όπως και τα δεδομένα του συντελεστή απορρόφησης (Σχήμα 4-55) ενώ τα ΑΣ<sub>2.5</sub> (Σχήμα 4-53) και ο ΑΑΣ (Σχήμα 4-56) ακολουθούν την αντίστροφη κατανομή Gauss, με shift=-5.8 και shift=-4238.7 αντίστοιχα. Τέλος, τα ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> προσεγγίζονται καλύτερα από την γάμμα κατανομή (Σχήμα 4-54).

Η μελέτη των κατανομών πραγματοποιήθηκε για να γίνει η εκτίμηση της τροποποίησης της κατανομής που προσομοιώνει τα ΑΣ<sub>10</sub> (Beta General), προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των 50μg/m<sup>3</sup> που έχει τεθεί από την ΕΕ.

Σχήμα 4-52: Κατανομή Beta General των συγκεντρώσεων ΑΣ<sub>10</sub>, του σταθμού αναφοράς



Σχήμα 4-53: Κατανομή InvGauss των συγκεντρώσεων ΑΣ<sub>2.5</sub>, του σταθμού αναφοράς.



Η γενική εξίσωση της πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Beta General είναι:

$$f(x) = \frac{(x-a)^{p-1} * (b-x)^{q-1}}{B(p,q) * (b-a)^{p+q-1}} \quad a \leq x \leq b; \quad p, q > 0 \quad (\text{Σχέση 1})$$

Όπου: p, q: οι παράμετροι σχήματος

a και b: το κατώτερο και ανώτερο όριο της κατανομής, και

B(p,q): η συνάρτηση βήτα, η οποία δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

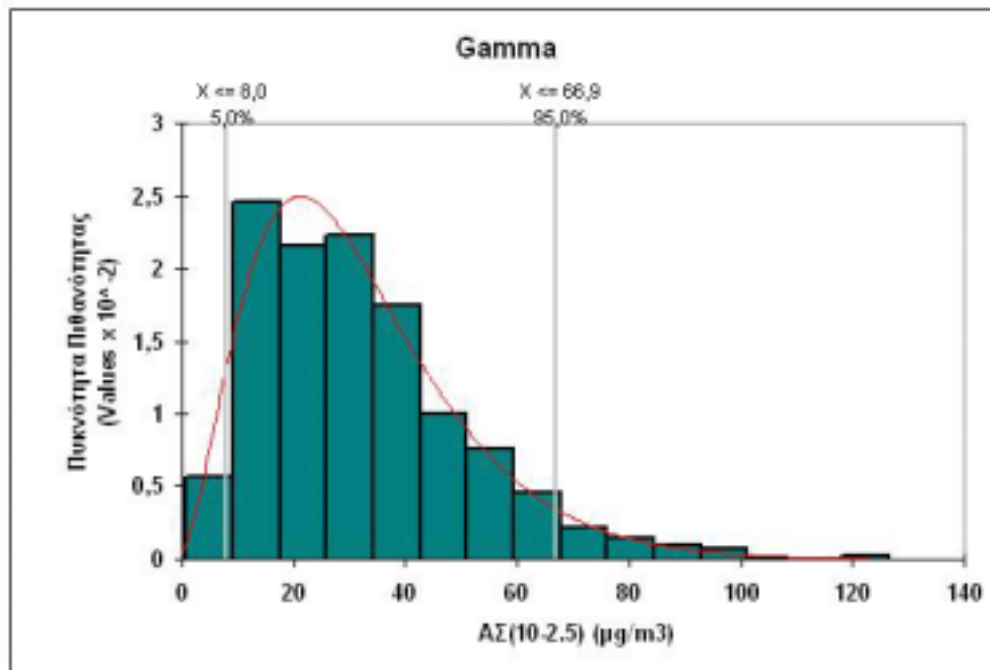
$$B(a, \beta) = \int_0^1 t^{a-1} (1-t)^{\beta-1} dt \quad (\text{Σχέση 2})$$

Η αντίστροφη κατανομή Gauss είναι γνωστή και ως κατανομή Wald. Η συνάρτηση πιθανότητας δίνεται από τον τύπο:

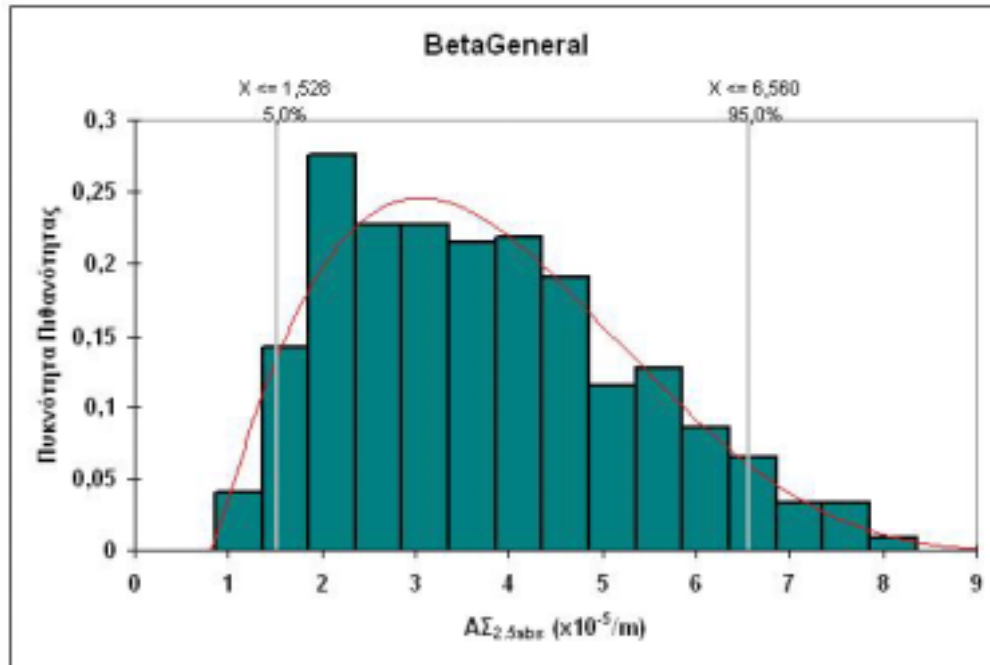
$$P(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi x^3}} e^{-\lambda(x-\mu)^2 / (2x\mu^2)} \quad (\text{Σχέση 3})$$

Όπου:  $\mu > 0$  είναι η μέση τιμή και  $\lambda > 0$  η παράμετρος κλίμακας.

**Σχήμα 4-54:** Κατανομή Gamma των συγκεντρώσεων  $AS_{(10-2.5)}$ , του σταθμού αναφοράς.



**Σχήμα 4-55:** Κατανομή Beta General του συντελεστή απορρόφησης, του σταθμού αναφοράς.



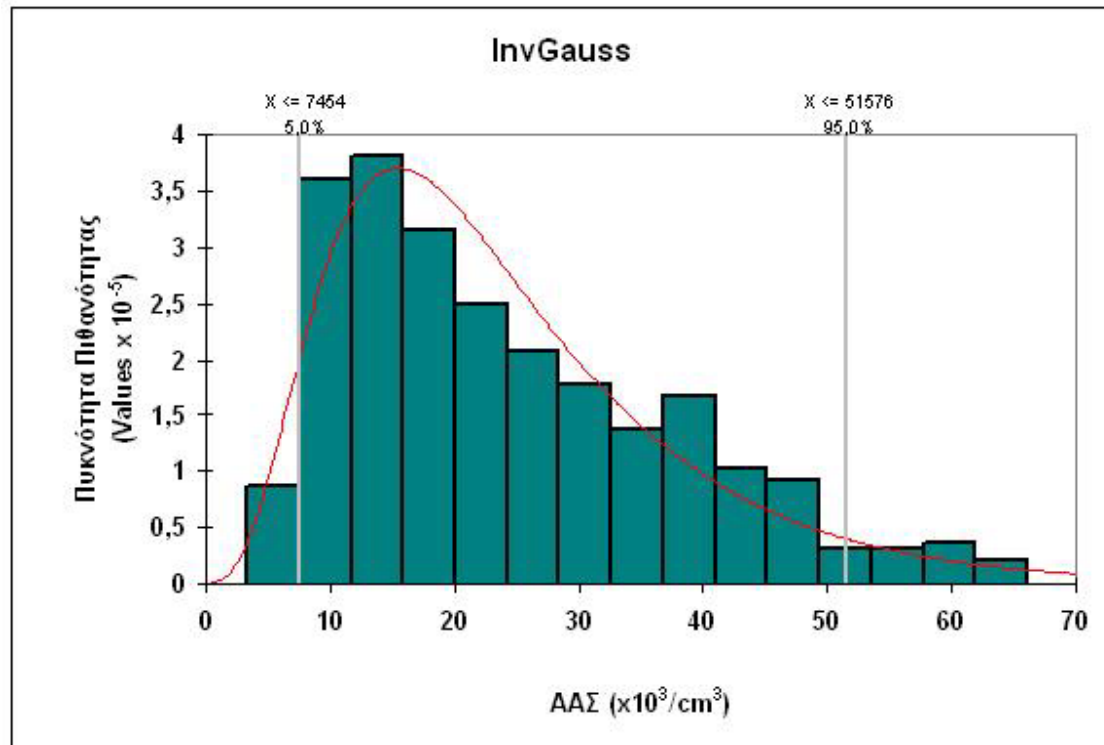
Η γενική εξίσωση της πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Γάμμα είναι :

$$f(x) = \frac{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right)}{\beta\Gamma(\gamma)} \quad x \geq \mu; \gamma, \beta > 0$$

όπου: το  $\gamma$  είναι η παράμετρος σχήματος,  $\mu$  η παράμετρος θέσης,  $\beta$  η παράμετρος κλίμακας και  $\Gamma$  η συνάρτηση γάμμα η οποία δίνεται από την σχέση:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

**Σχήμα 4-56:** Κατανομή InvGauss των συγκεντρώσεων του ΑΑΣ, του σταθμού αναφοράς.



#### 4.9 Υπερβάσεις ορίων στα ημερήσια επίπεδα των ΑΣ<sub>10</sub>

Σύμφωνα με την ΚΟ 1999/30/ΕΕ της ΕΚ, έχουν καθοριστεί οριακές τιμές για τα ΑΣ<sub>10</sub>, που ισχύουν από το 2005. Από το 2005, σύμφωνα με την 1999/30/ΕΕ, οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των ΑΣ<sub>10</sub> δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 50μg/m<sup>3</sup>, περισσότερες από 35 φορές το έτος. Καθόλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας (23/10/2002 – 31/03/2004), 258 ημέρες υπερβήκαν του ορίου, ενώ κατά το έτος 2003, 181 ημέρες ξεπέρασαν το όριο των 50μg/m<sup>3</sup>. Επίσης για το 2004 σε 133 ημέρες η μετρούμενη ημερήσια συγκέντρωση ήταν μεγαλύτερη της 24-ωρης οριακής συγκέντρωσης των 60μg/m<sup>3</sup>, δηλαδή 3.8 φορές περισσότερες από το όριο των 35 ημερών.

Στον Πίνακα 4-13, φαίνονται ενδεικτικά όρια που έχουν τεθεί στα ΑΣ<sub>10</sub> προκειμένου να παρουσιαστεί ο τρόπος μεταβολής των συγκεντρώσεων τους, οι τιμές του λόγου ΑΣ<sub>2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub> και τα επίπεδα του συντελεστή απορρόφησης.

**Πίνακας 4-13:** Ενδεικτικά όρια ΑΣ<sub>10</sub>, αριθμός ημερών που υπερβαίνουν το όριο, μέση τιμή ΑΣ<sub>2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub> και συγκεντρώσεων ΑΣ<sub>10</sub> και των αντίστοιχων τιμών του συντελεστή απορρόφησης.

| Όρια                                    | # Ημερών | Μ.Τ. ΑΣ <sub>10</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>2.5</sub> /ΑΣ <sub>10</sub> | Συντελεστής<br>απορρόφησης<br>(×10 <sup>-5</sup> /m) |
|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 50μg/m <sup>3</sup>  | 258      | 76.7                                          | 0.43                                | 4.56                                                 |
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 60μg/m <sup>3</sup>  | 195      | 83.9                                          | 0.43                                | 4.92                                                 |
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 70μg/m <sup>3</sup>  | 147      | 90.0                                          | 0.43                                | 5.04                                                 |
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 80μg/m <sup>3</sup>  | 95       | 98.28                                         | 0.41                                | 5.20                                                 |
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 90μg/m <sup>3</sup>  | 61       | 105.96                                        | 0.41                                | 5.40                                                 |
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 100μg/m <sup>3</sup> | 36       | 113.83                                        | 0.38                                | 5.64                                                 |
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 110μg/m <sup>3</sup> | 19       | 121.16                                        | 0.35                                | 5.80                                                 |
| ΑΣ <sub>10</sub> ≥ 120μg/m <sup>3</sup> | 8        | 130.65                                        | 0.35                                | 6.25                                                 |

Από τον Πίνακα 4-13, φαίνεται ότι ο αριθμός ημερών κατά τις οποίες οι τιμές των  $A\Sigma_{10}$  ξεπερνούν το όριο των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  είναι σημαντικά μεγάλος ενώ ο λόγος  $A\Sigma_{2.5}/A\Sigma_{10}$  παραμένει σχετικά σταθερός για όρια μέχρι και  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ μειώνεται σταδιακά για τις ημέρες με  $A\Sigma_{10} \geq 90\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αντίθετα, αυξανόμενου του ορίου των  $A\Sigma_{10}$ , οι αντίστοιχες ημέρες δίνουν επίπεδα συντελεστή απορρόφησης που αυξάνονται σημαντικά από  $4.56 \times 10^{-5}/\text{m}$  μέχρι και  $6.25 \times 10^{-5}/\text{m}$ , το οποίο αποτελεί ένα επίσης στοιχείο που δηλώνει την αύξηση καπνού και σωματιδίων μικρής αεροδυναμικής διαμέτρου.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εκτίμηση της τροποποίησης της κατανομής που προσομοιώνει τα  $A\Sigma_{10}$  (Beta General), προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Θεωρείται ότι, τα σωματίδια είναι χημικά αδρανή και ότι η αντίστοιχη μεταβολή της μέσης τιμής των  $A\Sigma$ , θα είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά της μείωσης των εκπομπών ενώ η χωρική κατανομή των πηγών εκπομπών καθώς και οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι αμετάβλητες (Lu, 2002). Είναι επομένως δυνατό να υπολογιστεί η ποσοστιαία μείωση των εκπομπών  $R$  (%), προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  από την εξίσωση rollback (Lu, 2002).

$$R = \frac{\langle C_p \rangle - \langle C_s \rangle}{\langle C_p \rangle - C_b} \cdot 100\%$$

Όπου:

$C_p$ : η μέση τρέχουσα τιμή του ρύπου, ο οποίος θεωρείται ότι ακολουθεί μια συγκεκριμένη κατανομή,

$C_b$ : η αντίστοιχη συγκέντρωση υποβάθρου και

$C_s$ : η μέση τιμή του ρύπου που έχουμε θέσει ως στόχο ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

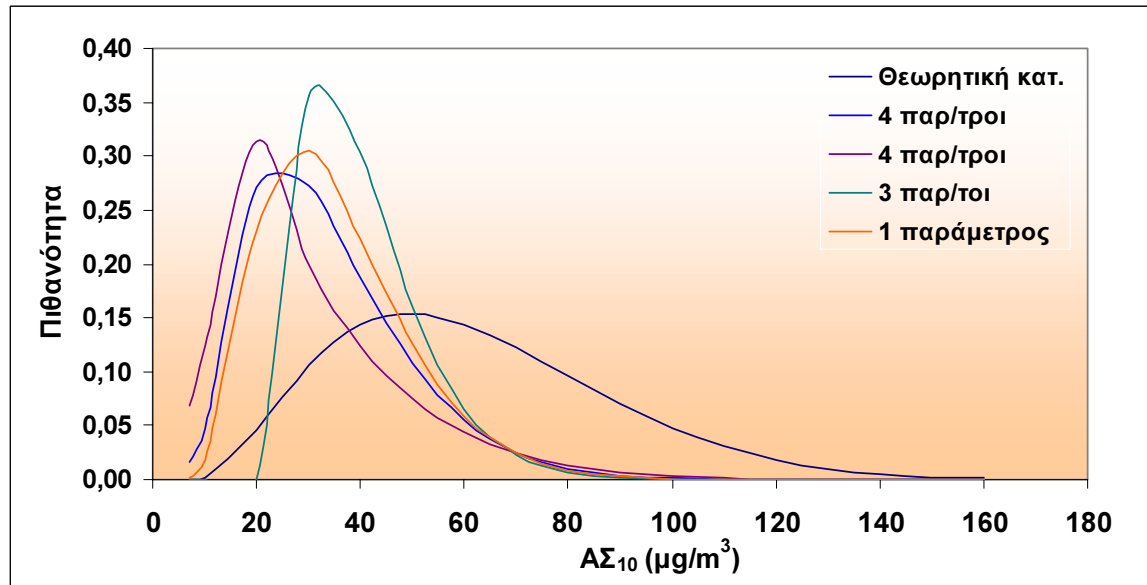
Χρησιμοποιήθηκε η θεωρητική κατανομή, η οποία προσαρμόστηκε στα δεδομένα. Οι παράμετροι της θεωρητικής κατανομής μεταβλήθηκαν κατά τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός στόχος των 35 υπερβάσεων των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  κατά έτος. Οι σχετικοί υπολογισμοί έγιναν με χρήση του MsExcel Solver.

Σύμφωνα με τον Lu (2002) η μεταβολή της κατανομής, ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος, πρέπει να γίνεται με τροποποίηση μόνο των παραμέτρων οι οποίες καθορίζουν την μέση τιμή. Εν προκειμένω, για την κατανομή Beta General, όλες οι παράμετροι εμπλέκονται στον καθορισμό της μέσης τιμής ( $M.T. = a_3 + \frac{a_1}{a_1 + a_2} \cdot (a_4 - a_3)$ , με  $a_3 < x < a_4$ ).

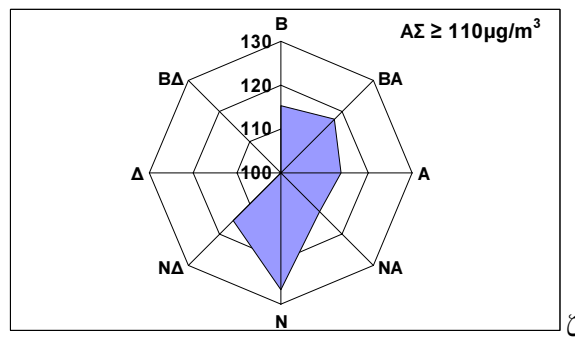
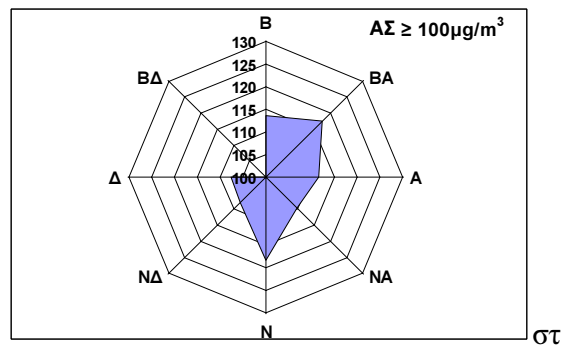
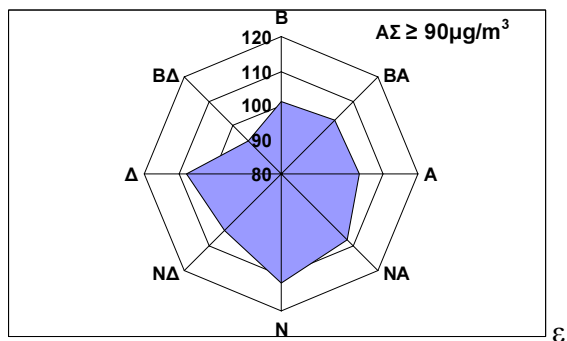
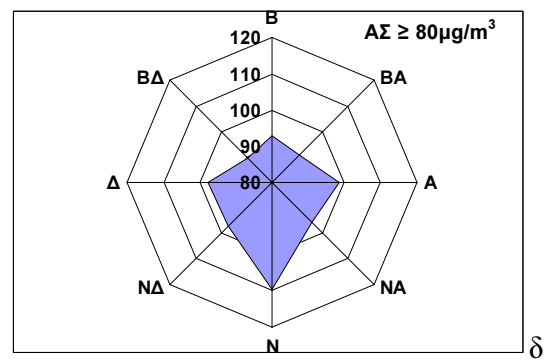
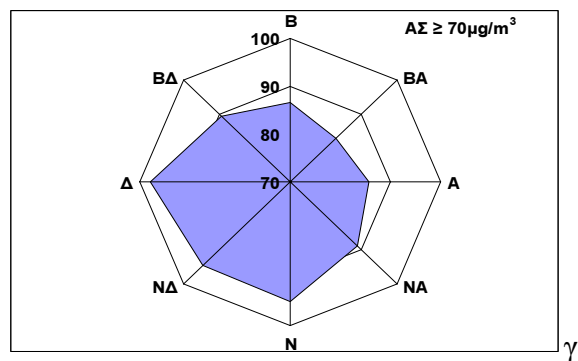
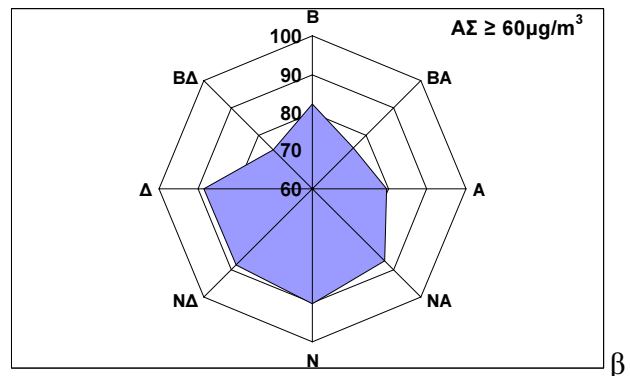
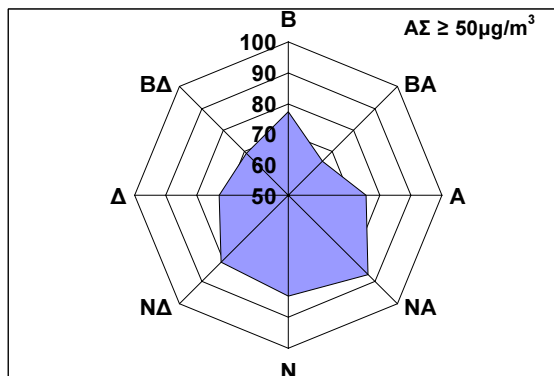
Καθώς το εν λόγω σύστημα είναι ill-posed ελέγχθηκε η ευαισθησία των αποτελεσμάτων μεταβάλλοντας εναλλακτικά όλες, δύο ή και μία μόνο από τις παραμέτρους. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ήταν συνεπή (coherent) και προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , η κατανομή μετατοπίζεται στα αριστερά της θεωρητικής κατανομής (Σχήμα 4-57) ενώ οι εκπομπές θα πρέπει να μειωθούν κατά 45% - 55%

Τέλος, θεωρήθηκε ενδιαφέρον να εξεταστεί η συσχέτιση των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων  $A\Sigma_{10}$ , τις ημέρες όπου υπήρχε υπέρβαση ορίων από  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  και άνω, με τη διεύθυνση του ανέμου (Σχήματα 4-57). Από τα Σχήματα 4-58 φαίνεται ότι, καθώς το όριο των  $A\Sigma_{10}$  μεταβάλλεται, ο σκιασμένος τομέας διαφοροποιείται. Γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι, η εμφάνιση επεισοδίου υψηλών συγκεντρώσεων  $A\Sigma_{10}$  συνδυάζεται με διευθύνσεις ανέμου κυρίως νοτίου τομέα, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα Σχήματα 4-46. Αυτό όμως γίνεται περισσότερο εμφανές τις ημέρες όπου υπάρχουν συγκεντρώσεις  $A\Sigma_{10}$  άνω των  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Σχήματα 4-57, δ-ζ). Επίσης, για τιμές μέχρι και  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$  και για άνεμο βόρειου τομέα καταγράφονται οι μικρότερες τιμές (Σχήματα 4-57, α-δ).

**Σχήμα 4-57:** Εξομοίωση κατανομών  $AS_{10}$ , προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος του ορίου.



**Σχήματα 4-58:** Ροδογράμματα  $AS_{10}$ , τις ημέρες που υπερβαίνουν συγκεκριμένα όρια.



#### 4.10 Συμπεράσματα

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετήθηκαν τα δεδομένα του Σταθμού Αναφοράς (Σ.Α.). Έγινε στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων μάζας, των  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ , του ΑΑΣ και του συντελεστή απορρόφησης. Μελετήθηκαν οι διακυμάνσεις των χρονοσειρών τους και η επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων (βροχόπτωση, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου) στις συγκεντρώσεις των ΑΣ.

Τα αποτελέσματα των μέσων συγκεντρώσεων, κατά τη περίοδο της δειγματοληψίας (23/10/2002- 31/03/2004), δείχνουν υψηλές συγκεντρώσεις  $AS_{10}$  ( $56.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), μεγαλύτερες από τα προβλεπόμενα όρια της ΕΕ. Οι συγκεντρώσεις αυτές, οφείλονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ, λόγω του μεγάλου αριθμού έργων που εκτελούνταν και συνέβαλαν τόσο σε αυξημένες εκπομπές αδρών σωματιδίων, όσο και στην επαναιώρηση σωματιδίων που είχαν καθιζάνει.

Τα αδρά ΑΣ παρουσιάζουν εποχική μεταβολή, με αύξηση του εύρους των τιμών τους κατά τις μεταβατικές περιόδους (άνοιξη και φθινόπωρο). Αντίστοιχα, εποχική μεταβολή εμφανίζουν ο συντελεστής απορρόφησης και ο ΑΑΣ, με τις συγκεντρώσεις να μειώνονται κατά τη θερμή περίοδο και να αυξάνονται κατά την ψυχρή.

Οι μέσες ωριαίες τιμές του ΑΑΣ, παρουσιάζουν έντονη διακύμανση, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ακολουθώντας τους ρυθμούς των κατοίκων. Εμφανίζουν δύο μέγιστα, ένα το πρωί λόγω αύξησης της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων κατά τη μετακίνησή τους στην εργασία τους και ένα τις βραδυνές ώρες.

Δεν παρουσιάζεται αξιόλογη εβδομαδιαία διακύμανση των ΑΣ. Πιο συγκεκριμένα, τα  $AS_{10}$  και τα  $AS_{(10-2.5)}$  παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος τιμών, με τις μέσες και τις διάμεσες τιμές να παρουσιάζονται αυξημένες κατά το μέσον της εβδομάδας (Πέμπτη), το οποίο αποδίδεται σε πιθανή αύξηση της κίνησης των οχημάτων καθώς και στις χωματουργικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα τις καθημερινές ημέρες. Διαφορές στην εβδομαδιαία διακύμανση, παρουσιάζεται κατά τους χειμερινούς και θερινούς μήνες, με τα λεπτά ΑΣ να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές από τα αδρά κατά τη χειμερινή περίοδο ενώ κατά τη θερινή οι τιμές των αδρών είναι μεγαλύτερες των λεπτών, παρουσιάζοντας αύξηση των τιμών κατά το μέσον της εβδομάδας.

Η συσχέτιση των κλασμάτων ΑΣ, σε επίπεδο σημαντικότητας >99%, έδειξε πολύ υψηλή συσχέτιση των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ<sub>10</sub> με τα αδρά και λιγότερο υψηλή συσχέτιση με τα λεπτά ΑΣ. Υψηλή παρουσιάζεται και η συσχέτιση των ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΑΣ με τον συντελεστή απορρόφησης. Ο συντελεστής απορρόφησης παρουσίασε σχετικά υψηλή συσχέτιση με τα ΑΣ<sub>10</sub>, λίγο υψηλότερη με τα λεπτά ΑΣ ενώ με τα αδρά παρουσιάζεται μέτρια.

Οι δύο λόγοι ΑΣ<sub>2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub> και ΑΣ<sub>10-2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub> για το 2003, υπολογίστηκαν ~ 0.5, με ΑΣ<sub>2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub> < ΑΣ<sub>10-2.5</sub>/ΑΣ<sub>10</sub>. Επομένως διαπιστώνεται ότι τα αδρά σωματίδια αποτελούν σημαντικό, και μεγάλο, ποσοστό των ΑΣ<sub>10</sub>. Αυτό οφείλεται στην επαναιώρηση αδρών σωματιδίων λόγω κίνησης των οχημάτων.

Η συσχέτιση των συγκεντρώσεων ΑΣ του Σ.Α., με μετεωρολογικές παραμέτρους (Τ, RH, ταχύτητα ανέμου και υετός) έδωσε υψηλή αρνητική συσχέτιση της ταχύτητας του ανέμου με το συντελεστή απορρόφησης και τα ΑΣ<sub>2.5</sub> και τα ΑΣ<sub>10</sub>. Η βροχόπτωση, φαίνεται να έχει δευτερεύοντα ρόλο στον καθαρισμό της κατώτερης τροπόσφαιρας από τα ΑΣ.

Σημαντικός παρουσιάζεται ο ρόλος της βροχόπτωσης στη μείωση των ΑΣ, σε επίπεδα που φτάνουν συνολικά και το 44%, για τα αδρά ΑΣ, τις ημέρες με βροχή. Κατά τις διαδοχικές ημέρες με υετό, φάνηκε η σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων των ΑΣ με μείωση στα κλάσματα ΑΣ μέχρι και 24%, σε σύγκριση με τα επίπεδα της προηγούμενης ημέρας. Η μείωση εμφανίστηκε πιο δραστική στα αδρά ΑΣ, γεγονός που αποδίδεται στο μεγεθός τους και στην αύξηση του ρυθμού εναπόθεσης λόγω βροχής. Σημαντικό ρόλο παίζει και η ένταση της βροχόπτωσης, καθώς στις περιπτώσεις με μεταβαλλόμενη ένταση βροχής, η μείωση ήταν σημαντική και μεγαλύτερη για τα αδρά ΑΣ, με ικανοποιητική μείωση των λεπτών ΑΣ και κατά συνέπεια και των ΑΣ<sub>10</sub>. Αντίστοιχη μείωση των αδρών ΑΣ, παρουσιάζεται και τις ημέρες με σταθερή ένταση βροχής.

Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος της ταχύτητας του ανέμου στις συγκεντρώσεις μάζας ΑΣ, καθώς αυξανόμενης της ταχύτητας του ανέμου, παρουσιάζεται σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων, κάτι που είναι αντιληπτό και για τον συντελεστή απορρόφησης, με αισθητή μείωση για ταχύτητες μέχρι και 5m/s.

Καθοριστική είναι η επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου. Ειδικά, ο άνεμος βορείου τομέα (ΒΔ-Β), επιφέρει τη μείωση των συγκεντρώσεων μάζας, των αδρών ΑΣ. Οι άνεμοι νοτίου τομέα, συνδέονται με υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς η εμφάνιση ασθενούς ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμποδίζει την διασπορά των ΑΣ και επομένως επιβραδύνει την απομάκρυνσή τους. Επιπρόσθετα, οι άνεμοι νοτίου τομέα, συχνά ευνοούν την εμφάνιση αναστροφών. Η εμφάνιση ισχυρότερης κυκλοφορίας Ν-ΝΔ ανέμων, ευθύνεται για τη μεταφορά σωματιδίων, από τη βιομηχανική περιοχή του Πειραιά, του Ελαιώνα και από τη θάλασσα.

Από την επεξεργασία, των αποτελεσμάτων, της χημικής ανάλυσης φίλτρων ΑΣ<sub>2.5</sub> προκύπτει ότι, τα πρωτογενή ΑΣ, λόγω τοπικής κυκλοφορίας των οχημάτων (αντιπροσωπεύονται από τις μετρήσεις του συντελεστή απορρόφησης), αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό των λεπτών ΑΣ.

Η εκτίμηση της τροποποίησης της κατανομής που προσομοιώνει τα ΑΣ<sub>10</sub> (Beta General), προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των 50μg/m<sup>3</sup> έδειξε ότι η κατανομή μετατοπίζεται στα αριστερά της θεωρητικής κατανομής ενώ οι εκπομπές θα πρέπει να μειωθούν κατά 45% - 55%.

Γενικά, φαίνεται ότι η υψηλή μέση συγκέντρωση των ΑΣ<sub>10</sub> οφείλεται, σε μεγάλο ποσοστό στα αδρά αλλά στα επεισόδια υψηλών τιμών ΑΣ<sub>10</sub>, οι αντίστοιχες μέσες τιμές του συντελεστή απορρόφησης εμφανίζονται αρκετά υψηλές γεγονός που σημαίνει ότι υπάρχουν υψηλά ποσοστά αιθάλης. Ο καθαρισμός της κατώτερης τροπόσφαιρας από τα ΑΣ γίνεται εφικτός με μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως τον άνεμο, που απομακρύνει κυρίως τα λεπτά ΑΣ και την κάπνα, ιδιαίτερα τον άνεμο βορείου τομέα, ενώ η απομάκρυνση των αδρών συντελείται κυρίως με τη βροχή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Air Pollution at street levels in European cities, EEA Technical Report, No 1/2005, ISSN, pp. 1725-2237.

Analitis A., Katsouyanni K., Dimakopoulou K., Samoli E., Nikoloulopoulos A. K., Petasakis Y., Touloumi G., Schwartz J., Anderson H. R., Cambra K., Forastiere F., Zmirou D., et al., 2006: Short term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality, *Epidemiology*, Vol.17 (2), pp. 230- 233.

Argyriou A., Kassomenos P., Lykoudis S., 2004: On the methods for the delimitation of seasons, *Water Air Soil Pollution, Focus 4*, pp. 65– 74.

Arimoto, R., Duce, R.A., Savoie, D.L., Prospero, J.M., Talbot, R., Cullen, J.D., Tomza, U., Lewis, N.F., Ray, B.J., 1996: Relationships among aerosol constituents from Asia and the North Pacific during Pem-West A. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, pp. 2011–2023.

Chaloulakou A., Kassomenos P., Grivas G., Manalis N., Spyrellis N., 2001: On the PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> episodes in Athens, Greece, during summer 2000, *Proceedings—7th International Conference of Environmental Science and Technology*, Syros, Greece, September 2001, Vol. A, pp. 114– 122.

Chaloulakou A., Kassomenos P., Grivas G., Spyrellis N., 2005: Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece, *Environment International*, Vol. 31 (5), pp. 651-659.

Chaloulakou A., Kassomenos P., Spyrellis N., Demokritou P., Koutrakis P., 2003: Measurements of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particle concentrations in Athens, Greece, *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 649–660.

Centre for Science and Environment, City Action for Clean Air report: [www.cseindia.org/campaign/apc/pdf/cityaction.pdf](http://www.cseindia.org/campaign/apc/pdf/cityaction.pdf)

Huizenga C., (2007): Clean Air Initiative for Asian cities (website: [www.cleanairnet.org/caiasia](http://www.cleanairnet.org/caiasia)).

Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management.

Air Pollution – City Comparisons, Air Pollution Problems Facing Cities

[www.portfolio.mvm.ed.ac.uk/studentwebs/session4/27/citydiff.htm](http://www.portfolio.mvm.ed.ac.uk/studentwebs/session4/27/citydiff.htm).

EEA, Airbase – The European air quality database.

EPA, 2001, Criteria Document on Particulate Matter, draft report.

Godoy M. L., Godoy J. M., Rolda L. A., Soluri D. S., Donagemma R. A., 2009: Coarse and fine aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil, *Atmospheric Environment*, Vol. 43, pp. 2366–2374.

Gomiscek B., Haucka H., Stopper S., Preining O., 2004: Spatial and temporal variations of PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and particle number concentration during the AUPHEP—project, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 3917–3934.

Grivas G., Chaloulakou A., Samara C. and Spyrellis N., 2004: Spatial and temporal variation of PM<sub>10</sub> mass concentrations within the greater area of Athens, Greece, *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 158, pp. 357–371.

Hanninen O.O., Lebrete, E., Ilacqua, V., Katsouyanni, K., Kunzli N., Srám R.J., Jantunen M., 2004: Infiltration of ambient PM<sub>2.5</sub> and levels of indoor generated non-ETS PM<sub>2.5</sub> in residences of four European cities, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 6411–6423.

Harrison R. M., Yin J., Mark D., Stedman J., Appleby R. S., Booker J., Moorcroft S., 2001: Studies of the coarse particle (2,5-10µm) component in UK urban atmospheres, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 3667-3679.

Ho K.F., Lee S.C., Chan C. K., Jimmy C. Yuc, Judith C. Chowd, X.H. Yaob, 2003: Characterization of chemical species in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosols in Hong Kong *Atmospheric Environment*, Vol. 37. pp. 31–39.

Hoek G., Forsberg B. Borowska M., Hlawiczka S., Vaskovi E., Welinder H., Branis M., Benes I., Kotesovec F., Hagen L. O., Cyrys J., Jantunen M., Roemer W. and Brunekreef B., 1997: Wintertime PM<sub>10</sub> and Black Smoke Concentrations across

Europe: Results from the Peace study, *Atmospheric Environment*, Vol. 31 (21), pp. 3609-3622.

Hoek G., Welinder H., Vaskovi E., Ciacchini G., Manalis N., Royset O., Reponen A., Cyrys J., and Brunekreef B., Interlaboratory Comparison of PM<sub>10</sub> and Black Smoke measurements in the Peace Study, 1997: *Atmospheric Environment*, Vol. 31 (20), pp. 3341-3349.

<http://mathworld.wolfram.com/InverseGaussianDistribution.html>, Inverse Gaussian Distribution.

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>, Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit Test.

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda366b.htm>, Gamma distribution.

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda366h.htm>, Beta distribution.

[http://www.ecologistasenaccion.org/article.php?id\\_article=2484](http://www.ecologistasenaccion.org/article.php?id_article=2484): Ecologistas en acción de la Comunidad de Madrid, Air quality and candidatures to host the Olympic Games.

[http://www.euro.who.int/eehc/implementation/20070605\\_17](http://www.euro.who.int/eehc/implementation/20070605_17): European Environment and Health Committee, Belgium, Implementation of RPG 3 on air quality, Outdoor air pollution.

Hussein T., Chameri K., Aalto P. P., Paatero P., Kulmala M., 2005: Modal structure and spatial-temporal variations of urban and suburban aerosols in Helsinki—Finland *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 1655–1668

Karaca F., Alagha O. and Eturk F., 2005: Statistical characterisation of atmospheric PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations at a non-impacted suburban site of Istanbul, Turkey, *Chemosphere*, Vol. 59, Issue 8, pp. 1183-1190.

Kassomenos P., Kotroni V., Kallos S., 1995: Analysis of climatological and air-quality observations from Greater Athens Area, *Atmospheric Environment*, Vol. 29, pp. 3671– 88.

Kassomenos P., Lykoudis S. and Petrakis M., 1996: Mesoscale transport of air pollutants over Athens: implications for air quality, *Int. J. Environmental and Pollution*, Vol 6, Nos. 2/3, pp. 214-224.

Katsouyanni K., Touloumi G., Spix C., et al., 1997: Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project, *BMJ*, 314:1658.

Kavouras I., Koutrakis P, et al., 2001: Source Apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in five Chilean cities using Factor Analysis, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol 51, pp.451-464.

Levy J. I., Hammitt J. K., and Spengler J. D., 2000: Estimating the Mortality Impacts of Particulate Matter: What Can Be Learned from Between-Study Variability? *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108, No 2, pp. 109 – 117.

Lu H.-Ch., 2002: The statistical characters of PM<sub>10</sub> concentration in Taiwan area, *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 491–502.

Malm W.C., Schichtel B.A., Pitchford M.L., Ashbaugh L.L. Eldred R.A., 2004: Spatial and monthly trends in speciated fine particle concentration in United States. *Journal of Geophysical Research*, 109, D03306, doi:10.1029/2006JD003739.

Marcazzan G. M., Vaccaro S., Valli G., Vecchi R., 2001: Characterisation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate matter in the ambient air of Milan (Italy), *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 4639–4650.

Marcazzan G.M., Ceriani M., Valli G., Vecchi R., 2003: Source apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Milan (Italy) using receptor modelling, *The Science of the Total Environment*, Vol. 317, pp. 137–147.

Mc Kinley G., Zuk M., Hojer M., Avalos M., et al., 2005: Quantification of Local and Global Benefits from Air Pollution Control in Mexico City, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 39, pp. 1954-1961.

National Public Health Institute of Finland (KTL) (website: <http://www.ktl.fi/expolis/expolis2000>).

Ping Shi J., Khan A. A., Harrison R. M., 1999: Measurements of ultrafine particle concentration and size distribution in the urban atmosphere, *The Science of the Total Environment*, Vol. 235, pp. 51-64.

Querol X., Alastuey A., Rodriguez S., Plana F., Ruiz C. R., Cots N., Massague G., Puig O., 2001: PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 6407–6419.

Putaud, J.-P., et al., 2003. A European aerosol phenomenology; physical and chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. European Commission, Report nr. EUR 20411 EN.

Querol X., Alastuey A., Ruiz C.R., Artiñano B., Hansson H.C., Harrison R.M., Buringh E., ten Brink H. M., Lutz M., Bruckmann P., Straehl P., Schneider J., 2004: Speciation and origin of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in selected European cities, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 6547–6555.

Thatcher T. L., Laia A., Moreno-Jackson R., Sextro R., Nazaroff W., 2002: Effects of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors, *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 1811–1819.

Thurston G. D., Ito K., Mar T., Christensen W. F., Eatough D. J., Henry R. C., et al., 2005, Workgroup Report: Workshop on Source Apportionment of Particulate Matter Health Effects—Intercomparison of Results and Implications, *Environmental Health Perspect.*, Vol. 113 (12), pp. 1768- 1774.

USEPA, United States Environmental Protection Agency (2001): Air quality criteria document on particulate matter. Draft Report.

Wrobel A., Rokita E., Maenhaut W., 2000: Transport of traffic- related aerosols in urban areas, *Sci, Total Environment*, 257 (2-3), pp. 199-211.

Yao X., Chan C. K., Fang M., Cadle S., Chan T., Mulawa P., He K., Ye B., 2002: The water-soluble ionic composition of PM<sub>2.5</sub> in Shanghai and Beijing, China, *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 4223–4234.

Zhang Y., Zhu X., Slanina S., Shao M., Zeng L., Hu M., Bergin M., and Salmon L., 2004: Aerosol Pollution in some Chinese cities, IUPAC Technical Report, Pure Appl. Chem., Vol. 76, No. 6, pp. 1227–1239.

Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 'Θεματική στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση'.

EEA, Air Pollution in Europe 1990 – 2004, report No 2/ 2007.

Κλιματολογικό δελτίο 2002, 2003, 2004, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Κοινοτική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999/30/EC

Λαγουβάρδος Κ., Κοτρώνη Β., 2003: Ετήσιο δελτίο 2003, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Λιάνου Μ., Κάβουρας Η., Κοτρωνάρου Α., 2004: Καταγραφή Επιπέδων Αιωρούμενων Σωματιδίων  $AS_{10}$  και  $AS_{2.5}$  στην Αθήνα και Συσχέτιση με Πηγές Εκπομπής και Μετεωρολογικές Συνθήκες, 7<sup>ο</sup> Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικής, Κύπρος, 28/9-30/9/2004.

Λιάνου Μ., Κάβουρας Η., Κοτρωνάρου Α., Λαζαρίδης Μ. και Λυκούδης Σ., 2006: Παράγοντες που διαμορφώνουν την χωρική κατανομή των  $AS_{10}$  στην Αθήνα, 8ο Συνέδριο Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 24-26 Μαΐου.

Μηναίο Δελτίο Μετεωρολογικών Παραμέτρων του Εθνικού Αστεροσκοπίου Αθηνών, για τους μήνες Απρίλιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του 2003, (website: [http://www.meteo.gr/Monthly\\_Bulletins.asp](http://www.meteo.gr/Monthly_Bulletins.asp)).

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### 5. Αιωρούμενα σωματίδια σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους κατοικιών

#### 5.1 Εισαγωγή

Η μελέτη της συγκέντρωσης μάζας καθώς και του αριθμού των ΑΣ, στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο των κατοικιών, αποτελεί πεδίο επιστημονικής έρευνας τα τελευταία 20 χρόνια. Η προσέγγιση του θέματος αποτελεί δύσκολο εγχείρημα καθώς η συσχέτιση των ΑΣ, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, εξαιτίας των διαφορετικών χαρακτηριστικών των αντίστοιχων πηγών (εσωτερικού - εξωτερικού χώρου), καθώς και του βαθμού διείσδυσης από τον εξωτερικό στον εσωτερικό χώρο της κατοικίας (Li, 1994).

Τα ΑΣ εσωτερικού χώρου αποτελούνται από ΑΣ εξωτερικού χώρου, που έχουν διεισδύσει και παραμένουν αιωρούμενα, πρωτογενή ΑΣ που έχουν παραχθεί στο εσωτερικό της κατοικίας καθώς και δευτερογενή, που προέρχονται από πρωτογενή σωματίδια αέριας φάσης τα οποία έχουν μετασχηματισθεί (Wallace, 1996). Ειδικά τα ΑΣ<sub>2.5</sub>, προέλευσης εξωτερικού χώρου, λόγω της μικρής διαμέτρου τους, αποτελούν την κύρια συνιστώσα στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου, υπό συνθήκες φυσικού ή μηχανικού εξαερισμού.

Τα ΑΣ εξωτερικού χώρου εισέρχονται στο εσωτερικό των κατοικιών με δύο κυρίως τρόπους: είτε διαμέσου ροής λόγω συναγωγής (από ανοικτές πόρτες και παράθυρα), είτε λόγω διάχυσης, από χαραμάδες και ρωγμές, στο κτιριακό κέλυφος (Meng et al., 2005).

Μεγάλος αριθμός μελετών έχει ως αντικείμενο τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>2.5</sub> στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον κατοικιών, στη προσπάθεια να εκτιμηθεί η συσχέτιση τους καθώς και το ποσοστό των ΑΣ εξωτερικού χώρου που εισέρχονται στο εσωτερικό των κτιρίων (Meng et al., 2005; Funasaka et al., 2000). Έχει βρεθεί ότι, οι συγκεντρώσεις ΑΣ στο εσωτερικό χώρο της κατοικίας, εξαρτώνται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά των ΑΣ εξωτερικού χώρου (Monn et al., 1997). Σημαντικό ρόλο στην συσχέτιση ΑΣ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, παίζουν εκτός από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών και δρουν ως

πηγές ΑΣ και οι εξωτερικές πηγές, καθώς στις βιομηχανικές περιοχές οι συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>10</sub> στο εσωτερικό των κατοικιών είναι υψηλότερες (Li, 1994).

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι πηγές που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των ΑΣ, θεωρείται ιδιαίτερης σημασίας, ο υπολογισμός του λόγου συγκεντρώσεων εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου (I/O) (Monn et al., 1997). Γενικά, έχει βρεθεί ότι στις περιπτώσεις που υπάρχουν έντονες πηγές εσωτερικού χώρου ο λόγος I/O λαμβάνει τιμές από 0,5 μέχρι 2 και άνω (Funasaka et al., 2000; Lioy et al., 1990) ενώ παίρνει τιμές μικρότερες του 1 σε κατοικίες χωρίς πηγές εσωτερικού χώρου (Funasaka et al., 2000).

Σε προηγούμενες μελέτες, έλαβαν χώρα μετρήσεις σε διάφορα κτίρια όπως σε γραφείο (Koronen et al, 2001; Luoma, 2001; Owen et al., 1990), σε ξενοδοχείο (Cyrus et al, 2004; Chen et. al., 2008), σε σχολείο (Patterson and Eatough, 2000), σε μικρό αριθμό κατοικιών (Abt et al, 2000; Long et al, 2000; Morawska et al., 2001; Lazaridis et. al., 2006; Hussein et al, 2004), μικτά σε κατοικίες και γραφεία (Matson, 2005) ακόμα και σε χώρους διασκέδασης (Cenko et al., 2004).

Οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες μελέτες, στις οποίες η δειγματοληψία έλαβε χώρα ταυτόχρονα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό χώρο κατοικιών, διεξήχθησαν στις Η.Π.Α ενώ ελάχιστες είναι αυτές που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ευρώπη. Επίσης, στις περισσότερες εργασίες οι υπό μελέτη κατοικίες είχαν ελεγχόμενες συνθήκες διαβίωσης.

Σύμφωνα με μελέτη που έγινε στα πλαίσια του προγράμματος (RIOPA), η οποία πραγματοποιήθηκε σε 3 πόλεις των Η.Π.Α., σε 212 κατοικίες, στο διάστημα 1999-2001, η μέση συνεισφορά του εξωτερικού περιβάλλοντος στα ΑΣ<sub>2.5</sub> εσωτερικού χώρου ήταν 60%. Αυτός ο υπολογισμός, έγινε χρησιμοποιώντας τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα (AER) κάθε κατοικίας και θέτοντας τους συντελεστές P (συντελεστής διείσδυσης) και k (ρυθμός εξασθένισης) σύμφωνα με τον μέσο όρο του πληθυσμού (Meng et al., 2005). Στην ίδια μελέτη, βρέθηκε ότι, η διάμεσος της συγκέντρωσης μάζας των ΑΣ<sub>2.5</sub> εσωτερικού χώρου ήταν 14.4μg/m<sup>3</sup> ενώ του εξωτερικού 15.5μg/m<sup>3</sup>.

Επίσης, σύμφωνα με μελέτες που υλοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος EXPOLIS, το οποίο περιλάμβανε 6 ευρωπαϊκές πόλεις, συμπεριλαμβανομένης και της

Αθήνας, η διάμεσος της συγκέντρωσης μάζας εσωτερικού και εξωτερικού χώρου των ΑΣ<sub>2.5</sub> βρέθηκε αντίστοιχα 11.7μg/m<sup>3</sup> και 7.3μg/m<sup>3</sup> (Koistinen et al., 2001).

Το πρόγραμμα Urban Aerosol, το οποίο επίσης συμπεριλάμβανε και την Αθήνα, επικεντρώθηκε στη χημική σύσταση των ΑΣ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου καθώς και στη χωρική κατανομή τους, προκειμένου να βγουν κάποια συμπεράσματα για την έκθεση του ανθρώπου σε αυτά (Lazaridis et al., 2006; Lazaridis et al., 2003). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης για την Αθήνα, έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου ήταν μικρότερες από τις αντίστοιχες του εξωτερικού χώρου ενώ έφταναν σε μέγιστα κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων όπως το μαγείρεμα. Επίσης, η συγκέντρωση μάζας της αιθάλης έδειξε ανάλογη συμπεριφορά με τη συγκέντρωση του αριθμού ΑΣ.

Η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων μάζας και αριθμού ΑΣ σε (35) κατοικίες της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών.

## 5.2 Περιγραφή κατοικιών

### 5.2.1 Εξωτερικά χαρακτηριστικά

Οι καταγεγραμμένες παράμετροι που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της περιοχής και του οικοδομικού συγκροτήματος στο οποίο βρίσκονταν οι υπο-μελέτη κατοικίες περιλαμβάνουν:

- Ροή ελαφρών και βαρέων οχημάτων (οχήματα/ ημέρα), στον πλησιέστερο στην κατοικία δρόμο.
- Απόσταση (σε μέτρα) της κατοικίας από τον πλησιέστερο δρόμο, τον πλησιέστερο δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας, την πλησιέστερη διασταύρωση δρόμων και τον πλησιέστερο φωτεινό σηματοδότη. Επίσης, το εύρος του πλησιέστερου στην κατοικία δρόμου.
- Ύψος (σε μέτρα) του κτιριακού συγκροτήματος και της θέσης δειγματοληψίας, καθώς και ο όροφος της κατοικίας.
- Κατηγοριοποίηση, ανάλογα με την θέση της δειγματοληψίας, εντός και εκτός κατοικίας, σε σχέση με την πρόσοψη του κύριου χώρου της κατοικίας (1: προς τον πλησιέστερο δρόμο, 2: στην πίσω αυλή, 3: στην ταράτσα).
- Κατηγοριοποίηση, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των οικοδομικών συγκροτημάτων που βρίσκονται ως και 25 μέτρα δεξιά και αριστερά της κατοικίας καθώς και εκατέρωθεν του δρόμου στο οποίο βρίσκεται η κατοικία (1: Συνεχόμενη πλευρική δόμηση και στις δύο πλευρές του οικήματος, 2: Συνεχόμενη πλευρική δόμηση στην πλευρά που βρίσκεται το υπό μελέτη οίκημα, 3: Συνεχόμενη πλευρική δόμηση στην απέναντι πλευρά από όπου βρίσκεται το υπό μελέτη οίκημα, 4: μη συνεχόμενη δόμηση και στις δύο πλευρές).
- Ύπαρξη ανοικτών/ υπόγειων χώρων στάθμευσης και πρατηρίων καυσίμων σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων (0: Όχι, 1: Ναι).

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και λαμβάνοντας υπόψη τη θέση της κατοικίας στο ευρύτερο αστικό συγκρότημα, οι κατοικίες διαχωρίστηκαν ως εξής:

α) Αστικού (εντός του Δακτυλίου της Αθήνας) και Προαστιακού χαρακτήρα.

β) Υποβάθρου.

γ) Κατοικίες που υπόκεινται στο φαινόμενο του καναλισμού (canyon effect), όταν ο λόγος του ύψους του κτιριακού συγκροτήματος προς το συνολικό εύρος του πλησιέστερου δρόμου ήταν μικρότερος του δύο (2) και υπήρχε συνεχόμενη δόμηση για τουλάχιστον 25 μέτρα και στις δύο πλευρές του δρόμου.

Στον Πίνακα 5-1, παρουσιάζονται τα εξωτερικά χαρακτηριστικά της κάθε κατοικίας καθώς και η κατηγοροποίησή τους σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια.. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι κωδικοί των κατοικιών (ID), όπως αυτές δόθηκαν κατά τη διάρκεια των καταγραφών.

**Πίνακας 5-1:** Εξωτερικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη κατοικιών: Ροή (σε οχήματα/ημέρα) ελαφρών ( $F_{light}$ ) και βαρέων ( $F_{heavy}$ ) οχημάτων στον πλησιέστερο στην κατοικία δρόμο, απόσταση (m) της κατοικίας από τον πλησιέστερο δρόμο ( $D_{nst}$ ), τον πλησιέστερο δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας ( $D_{mjr}$ ), την πλησιέστερη διασταύρωση δρόμων ( $D_{int}$ ) και τον πλησιέστερο φωτεινό σηματοδότη ( $D_{trf}$ ), το εύρος του πλησιέστερου στην κατοικία δρόμου ( $W_{nst}$ ), το ύψος (m) του κτιριακού συγκροτήματος ( $H_{nst}$ ) και της θέσης δειγματοληψίας ( $H_{nst}$ ), καθώς και ο όροφος της κατοικίας, θέση δειγματοληψίας εντός ( $P_{in}$ ) και εκτός ( $P_{out}$ ) κατοικίας σε σχέση με την πρόσοψη του κύριου χώρου της κατοικίας (1: προς τον πλησιέστερο δρόμο, 2: στην πίσω αυλή, 3: στην ταράτσα), χαρακτηρισμός δόμησης στα γειτονικά κτίρια, χώροι στάθμευσης και άλλες δραστηριότητες σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων (0: Όχι, 1: Ναι), χαρακτηρισμός ανάλογα με την τοποθεσία και είδος της κατοικίας και την ύπαρξη καναλισμού.

| ID  | Χαρακτηριστικά κατοικιών |                                                   |                              |                    |                              |               | Ομαδοποίηση κατοικιών |                 |            |
|-----|--------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------|------------|
|     | $F_{light} - F_{heavy}$  | $D_{nst} - D_{mjr} - D_{int} - D_{trf} - W_{nst}$ | $H_{bld} - H_{sam}$ (Οροφος) | $P_{in} - P_{out}$ | Χαρακτ/κα Γειτονικών κτιρίων | Πάρκινγκ κ.α. | Τοποθεσία κατοικίας   | Έιδος κατοικίας | Καναλισμός |
| 100 | 10000-500                | 4-250<br>650-800<br>5                             | 20-7 (1)                     | 2 - 2              | 1                            |               | Προάστιο              | Κυκλ/κού φόρτου | Ναι        |
| 104 | 1000-5                   | 2-100<br>200-200<br>5                             | 12-8 (2)                     | 2 - 2              | 1                            |               | Προάστιο              | Κυκλ/κού φόρτου | Ναι        |
| 105 | 1000-50                  | 30-700<br>750-750<br>9                            | 18-13 (4)                    | 1 - 1              | 1                            |               | Προάστιο              | Υπόβαθρο        |            |
| 106 | 1500-10                  | 2-130<br>300-300<br>5                             | 12-9 (3)                     | 2 - 2              | 1                            |               | Προάστιο              | Κυκλ/κού φόρτου | Ναι        |
| 107 | 12000-2000               | 0-0<br>300-100<br>12                              | 20-5 (1)                     | 2 - 2              | 4                            |               | Κέντρο                | Κυκλ/κού φόρτου |            |

|            |            |                        |            |       |   |                   |          |                    |     |
|------------|------------|------------------------|------------|-------|---|-------------------|----------|--------------------|-----|
| <b>108</b> | 1000-0     | 1-200<br>530-530<br>7  | 10-4.6 (1) | 2 - 2 | 1 |                   | Κέντρο   | Υπόβαθρο           | Ναι |
| <b>109</b> | 2000-10    | 1-50<br>250-250<br>10  | 22-8 (1)   | 2 - 2 | 4 |                   | Κέντρο   | Κυκλ/κού<br>φόρτου |     |
| <b>110</b> | 20000-4000 | 1-1<br>600-100<br>8    | 25-23 (6)  | 2 - 2 | 1 | Πάρκινγκ          | Κέντρο   | Υπόβαθρο           | Ναι |
| <b>111</b> | 4000-10    | 10-100<br>150-300<br>7 | 10-4 (1)   | 1 - 1 | 1 | Βιομηχ.<br>μονάδα | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>112</b> | 15000-500  | 1-50<br>300-300<br>7   | 17-9 (2)   | 2 - 2 | 1 | Πάρκινγκ          | Κέντρο   | Κυκλ/κού<br>φόρτου | Ναι |
| <b>113</b> | 5000-500   | 3-50<br>200-200<br>10  | 10-2 (1)   | 2 - 2 | 1 |                   | Προάστιο | Υπόβαθρο           | Ναι |
| <b>114</b> | 40000-4000 | 1-1<br>100-100<br>12   | 24-20 (5)  | 2 - 2 | 1 | Βιομηχ.<br>μονάδα | Κέντρο   | Κυκλ/κού<br>φόρτου | Ναι |
| <b>115</b> | 500-0      | 2-50<br>250-250<br>9   | 15-12 (3)  | 2 - 2 | 4 |                   | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>116</b> | 100-0      | 2-50<br>300-300<br>6   | 10-8 (2)   | 2 - 2 | 4 |                   | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>117</b> | 100-0      | 3-150<br>450-150<br>6  | 18-15 (5)  | 2 - 2 | 4 |                   | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>118</b> | 500-0      | 6-700<br>110-500<br>4  | 15-7 (2)   | 2 - 2 | 4 |                   | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |

|            |            |                        |           |       |   |  |          |                    |     |
|------------|------------|------------------------|-----------|-------|---|--|----------|--------------------|-----|
| <b>119</b> | 500-0      | 5-200<br>300-300<br>5  | 9-4 (1)   | 2 - 2 | 4 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>120</b> | 1000-0     | 4-120<br>300-300<br>7  | 7-3 (1)   | 2 - 2 | 4 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>121</b> | 500-0      | 150<br>200-200<br>5    | 21-5 (1)  | 2 - 2 | 1 |  | Κέντρο   | Κυκλ/κού<br>φόρτου | Ναι |
| <b>122</b> | 20000-1500 | 10-10<br>1100-20<br>12 | 11-6 (1)  | 2 - 2 | 4 |  | Προάστιο | Κυκλ/κού<br>φόρτου |     |
| <b>123</b> | 2000-100   | 1-150<br>300-200<br>6  | 16-14 (4) | 2 - 2 | 4 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>124</b> | 3000-100   | 4-100<br>1000-150<br>6 | 13-2 (1)  | 2 - 2 | 2 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>125</b> | 1000-0     | 5-50<br>100-100<br>5   | 9-5 (1)   | 2 - 2 | 1 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           | Ναι |
| <b>126</b> | 500-0      | 10-100<br>500-500<br>7 | 10-2 (1)  | 2 - 1 | 4 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>127</b> | 3000-100   | 5-200<br>500-300<br>8  | 18-16 (4) | 1 - 1 | 4 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>128</b> | 500-10     | 5-200<br>300-300<br>5  | 12-4 (1)  | 2 - 2 | 4 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>129</b> | 3000-200   | 4-300<br>550-300<br>6  | 6-2 (0)   | 2 - 2 | 4 |  | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |

|            |          |                           |           |       |   |          |          |                    |     |
|------------|----------|---------------------------|-----------|-------|---|----------|----------|--------------------|-----|
| <b>130</b> | 100-0    | 1-200<br>900-300<br>4     | 10-6 (1)  | 2 - 2 | 3 |          | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>131</b> | 4000-200 | 7-600<br>600-600<br>7     | 15-0 (0)  | 2 - 2 | 4 |          | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>132</b> | 100-0    | 2-100<br>150-150<br>6     | 24-11 (3) | 2 - 2 | 4 |          | Κέντρο   | Κυκλ/κού<br>φόρτου |     |
| <b>133</b> | 3000-50  | 2-100<br>900-150<br>8     | 8-7 (1)   | 2 - 2 | 4 |          | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>134</b> | 3000-50  | 7-150<br>400-400<br>6     | 15-5 (1)  | 1 - 1 | 1 |          | Προάστιο | Υπόβαθρο           | Ναι |
| <b>135</b> | 1500-10  | 10-2000<br>2000-2000<br>7 | 2-2 (0)   | 2 - 1 |   |          | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>136</b> | 2000-200 | 20-150<br>1000-150<br>7   | 12-2 (0)  | 1 - 1 | 4 |          | Προάστιο | Υπόβαθρο           |     |
| <b>137</b> | 100-0    | 1-150<br>250-200<br>6     | 12-8 (2)  | 2 - 2 | 4 | Πάρκινγκ | Κέντρο   | Κυκλ/κού<br>φόρτου |     |

Οι υπό μελέτη κατοικίες στη πλειονότητά τους ήταν διαμερίσματα πολυκατοικιών (29) και μόνο οι 6 από αυτές ήταν μονοκατοικίες (17%). Επίσης, 9 κατοικίες βρίσκονταν στο κέντρο της πόλης, εντός των ορίων του δήμου της Αθήνας, ενώ οι υπόλοιπες 26 βρίσκονταν σε προάστια. Στις 24 κατοικίες θεωρήθηκε ότι οι δειγματοληψίες των αντίστοιχων περιοχών ήταν αντιπροσωπευτικές για την εκτίμηση του αστικού υποβάθρου, ενώ οι υπόλοιπες 11 αντιπροσώπευαν περιοχές με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο. Στις περισσότερες κατοικίες (26) η απόσταση από τον πλησιέστερο δρόμο ήταν  $\leq 5\text{m}$ , ενώ σε 9 κατοικίες, που βρίσκονταν σε προάστια, η απόσταση ήταν  $> 5\text{m}$ . Επίσης, 26 κατοικίες βρίσκονταν σε όροφο  $< 3^{\text{ου}}$ , με ύψος των οργάνων δειγματοληψίας από το επίπεδο του δρόμου  $\leq 9\text{m}$ . Αντίθετα, μόνο 9 κατοικίες βρίσκονταν σε όροφο από  $3^{\text{o}}$  μέχρι  $6^{\text{o}}$ , με το ύψος των οργάνων δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου να είναι  $> 9\text{m}$ . Σε 29 κατοικίες, ο χώρος δειγματοληψίας, τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού χώρου, βρισκόταν προς την πλευρά του δρόμου, σε πέντε, αμφότεροι οι χώροι δειγματοληψίας βρίσκονταν παραπλεύρως ή στην πίσω πλευρά του κτιριακού κελύφους και μόνο σε μια κατοικία (ID: 126) οι δειγματολήπτες εξωτερικού χώρου τοποθετήθηκαν στην πλευρά του δρόμου ενώ του εσωτερικού παραπλεύρως. Μόνο τρεις κατοικίες (110, 112, 137) βρίσκονταν κοντά σε οργανωμένο χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων και μόνο δύο (111, 114) κοντά σε βιομηχανική μονάδα μικρού δυναμικού.

### 5.2.2 Εσωτερικά χαρακτηριστικά

Οι παράμετροι που καταγράφηκαν στους εσωτερικούς χώρους των κατοικιών, επικεντρώνονται στους χώρους της κουζίνας και του κεντρικού χώρου (σαλόνι) και στα χαρακτηριστικά εκείνα που συμβάλλουν είτε στην παραγωγή ή στην απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων. Ειδικότερα, η καταγραφή περιλάμβανε:

1. Το συνολικό όγκο της κατοικίας αλλά και των δωματίων ξεχωριστά.
2. Την τοποθεσία του κεντρικού χώρου (σαλόνι) και της κουζίνας, σε σχέση με το οικοδομικό συγκρότημα (όροφος) και τον αριθμό των επιπέδων της κατοικίας.

3. Τον τύπο της κουζίνας, καθώς και το είδος των οικοσυσκευών, συμπεριλαμβανομένου του τύπου της οικοσυσκευής μαγειρέματος καθώς και τον τύπο και τη συχνότητα λειτουργίας του απορροφητήρα. Στην περίπτωση κατά την οποία το σαλόνι και η κουζίνα δεν γειτνιάζαν, καταγράφηκε ο αριθμός των πορτών μεταξύ των δύο χώρων.
4. Τον τύπο θέρμανσης της κατοικίας, ειδικότερα αν αυτή περιλάμβανε μικρές συσκευές εσωτερικού χώρου, καθώς και το είδος της επιφάνειας του πατώματος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
5. Τον τρόπο εξαερισμού του κεντρικού χώρου και της κουζίνας, συμπεριλαμβανομένων των παθητικών συστημάτων εξαερισμού (πόρτα, παράθυρα) αλλά και των συστημάτων κλιματισμού.
6. Άλλα χαρακτηριστικά, όπως κατοικίδια ζώα.
7. Για κάθε κατοικία, σχεδιάστηκε η κάτοψη χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από την καταγραφή των παραμέτρων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Τα σχεδιαγράμματα όλων των κατοικιών παρατίθενται στο Παράρτημα Α.

Το σύνολο σχεδόν των κατοικιών (29 από τις 35) βρίσκονταν σε όροφο και μόνο έξι από αυτές ήταν στο ισόγειο. Στις περισσότερες κατοικίες (24 από τις 35), η κουζίνα ήταν κλειστού τύπου, διαχωρισμένη από τον κεντρικό χώρο και προσβάσιμη μέσω μιας (για 10 κατοικίες), δύο (για 11 κατοικίες) και τριών (για 3 κατοικίες) πορτών. Γενικά, η συγκεκριμένη διαρρύθμιση κουζίνας συμβάλλει στη μη-επιβάρυνση του κεντρικού χώρου από ΑΣ που παράγονται στην κουζίνα κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος, ειδικότερα εάν οι ενδιάμεσες πόρτες παραμένουν κλειστές.

**Πίνακας 5-2:** Εσωτερικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη κατοικιών: Συνολικός όγκος κατοικιών (V), F<sub>b</sub>: Όροφος, F<sub>r</sub>: αριθμός επιπέδων κατοικίας; Τύπος δαπέδου (λείο, λείο με χαλί, μοκέτα); Τύπος κουζίνας (ανοικτή, κλειστή); Οικοσυσσκευές που βρίσκονται στην κουζίνα (τύπος κουζίνας, φούρνος μικροκυμάτων, απορροφητήρας (συχνότητα λειτουργίας του); Τύπος εξαερισμού στο σαλόνι και στην κουζίνα; λοιπά χαρακτηριστικά (οδικά πτηνά, κατοικίδια κ.ά.).

|     | Κατοικία |                                 |                  |              |        | Κουζίνα |                      |               |                |                    |                  |               |                                   | Εξαερισμός                       |                 |                    |                        |                 |                    |               |                |
|-----|----------|---------------------------------|------------------|--------------|--------|---------|----------------------|---------------|----------------|--------------------|------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------|-----------------|--------------------|---------------|----------------|
|     | V        | F <sub>b</sub> , F <sub>r</sub> | Τύπος<br>Δαπέδου |              |        | Τύπος   | Οικοσυσσκευές        |               |                |                    |                  |               |                                   | Εξαερισμός<br>κεντρικού<br>χώρου |                 |                    | Εξαερισμός<br>κουζίνας |                 |                    | Λοιπά<br>χαρ. |                |
|     |          |                                 | Λείο             | Λείο με χαλί | Μοκέτα | Ανοικτή | Κλειστή / Αρ. Πόρτες | Ηλεκ. Κουζίνα | Κουζίνα αερίου | Φούρ. Μικροκυμάτων | Πλυντήριο Πιάτων | Απορροφητήρας | Συχν. Λειτουργίας<br>απορροφητήρα | Άλλες συσκευές                   | Εξωτερική Πόρτα | Εξωτερικό Παράθυρο | Κλιματισμός            | Εξωτερική Πόρτα | Εξωτερικό Παράθυρο | Κλιματισμός   |                |
| 100 | 243      | 1, 1                            | X                |              |        | X       |                      | X             |                |                    | X                | X             | 1                                 |                                  | X               |                    |                        |                 | X                  |               |                |
| 104 | 216      | 2, 1                            | X                |              |        |         | X / 2                | X             |                |                    |                  | X             | 1                                 |                                  | X               |                    |                        | X               | X                  |               |                |
| 105 | 265      | 4, 1                            | X                |              |        |         | X / 1                | X             |                | X                  |                  | X             | 2                                 |                                  |                 | X                  |                        |                 | X                  |               |                |
| 106 | 218      | 3, 1                            | X                |              |        |         | X / 2                | X             |                | X                  | X                | X             | 1                                 |                                  | X               |                    |                        | X               | X                  |               |                |
| 107 | 222      | 1, 1                            |                  | X            |        |         | X / 2                | X             |                |                    |                  |               |                                   |                                  | X               |                    |                        |                 | X                  |               |                |
| 108 | 172      | 1, 1                            |                  | X            |        |         | X / 3                | X             |                |                    |                  | X             | 1                                 |                                  | X               |                    |                        |                 | X                  |               |                |
| 109 | 241      | 1, 1                            |                  | X            |        | X       |                      | X             |                |                    |                  | X             | 1                                 |                                  |                 |                    |                        | X               |                    |               |                |
| 110 | 227      | 6, 1                            |                  | X            |        |         | X / 2                | X             |                | X                  | X                | X             | 1                                 |                                  | X               | X                  |                        |                 | X                  |               |                |
| 111 | 144      | 0, 1                            |                  | X            |        |         | X / 3                | X             |                |                    |                  | X             | 2                                 |                                  | X               |                    |                        | X               |                    |               |                |
| 112 | 464      | 2, 1                            |                  | X            |        | X       |                      | X             |                | X                  |                  | X             | 1                                 |                                  | X               | X                  | AC                     |                 |                    |               |                |
| 113 | 296      | 1, 1                            |                  | X            |        |         | X / 1                | X             |                |                    |                  | X             | 2                                 |                                  | X               |                    |                        |                 | X                  |               | Ωδικά<br>πτηνά |
| 114 | 300      | 5, 1                            | X                |              |        |         | X / 2                | X             |                |                    | X                | X             | 1                                 |                                  | X               |                    |                        | X               |                    |               |                |
| 115 | 284      | 3, 1                            | X                |              |        | X       |                      | X             |                | X                  | X                | X             | 1                                 |                                  | X               | X                  | AC                     | X               | X                  |               | Σκύλος         |

|     |     |      |   |   |  |   |       |   |   |   |   |   |   |          |   |   |    |   |   |  |        |
|-----|-----|------|---|---|--|---|-------|---|---|---|---|---|---|----------|---|---|----|---|---|--|--------|
| 116 | 284 | 2, 1 | X |   |  | X |       | X |   |   | X | X | 2 |          | X |   | AC | X |   |  |        |
| 117 | 312 | 5, 1 |   | X |  |   | X / 1 | X |   |   |   | X | 2 |          | X | X | AC | X | X |  |        |
| 118 | 232 | 2, 1 | X |   |  |   | X / 1 | X |   | X | X | X | 1 |          | X | X | AC | X |   |  |        |
| 119 | 267 | 1, 1 |   | X |  | X |       | X |   |   | X | X | 1 | Ενυδρείο | X | X |    |   | X |  |        |
| 120 | 246 | 1, 1 |   | X |  |   | X / 1 | X |   |   |   | X | 2 |          | X |   |    | X |   |  |        |
| 121 | 216 | 1, 1 | X |   |  |   | X / 1 | X |   |   |   | X | 2 |          | X |   |    |   | X |  |        |
| 122 | 405 | 1, 1 | X |   |  |   | X / 2 | X |   |   | X | X | 1 |          | X |   | AC | X | X |  |        |
| 123 | 152 | 4, 1 | X |   |  |   | X / 1 | X |   |   |   | X | 2 |          | X |   |    | X | X |  | Σκύλος |
| 124 | 285 | 1, 1 | X |   |  |   | X / 2 | X | X |   |   | X | 2 |          | X |   |    | X |   |  |        |
| 125 | 217 | 1, 1 | X |   |  |   | X / 2 | X |   |   |   | X | 1 |          | X | X | AC | X | X |  |        |
| 126 | 530 | 1, 2 | X |   |  | X |       | X |   | X | X | X | 1 |          | X | X |    |   | X |  |        |
| 127 | 205 | 4, 1 | X |   |  | X |       |   | X | X |   | X | 1 | Τζάκι    | X |   | AC | X | X |  |        |
| 128 | 226 | 0, 1 | X |   |  |   | X / 3 | X |   | X |   | X | 1 |          | X | X |    | X |   |  |        |
| 129 | 324 | 0, 1 | X |   |  | X |       | X |   |   | X | X | 1 |          | X |   |    |   | X |  |        |
| 130 | 337 | 1, 1 |   | X |  |   | X / 2 | X |   |   |   | X | 1 |          | X |   |    | X | X |  |        |
| 131 | 175 | 0, 1 |   | X |  |   | X / 1 |   | X |   |   | X | 1 |          | X |   | AC |   | X |  |        |
| 132 | 264 | 3, 1 | X |   |  | X |       | X |   |   |   | X | 1 |          | X |   | AC | X |   |  |        |
| 133 | 354 | 1, 1 |   | X |  |   | X / 1 |   |   | X |   | X | 1 |          | X |   | AC | X | X |  |        |
| 134 | 202 | 2, 1 | X |   |  |   | X / 2 | X |   |   |   | X | 1 |          | X |   |    | X | X |  |        |
| 135 | 16  | 0, 1 |   | X |  | X |       |   | X |   |   |   |   |          | X | X |    | X | X |  |        |
| 136 | 215 | 0, 1 |   | X |  | X |       | X |   |   |   | X | 2 |          | X |   | AC |   | X |  |        |
| 137 | 131 | 2, 1 | X |   |  |   | X / 2 | X |   |   |   |   |   |          | X |   | AC |   | X |  |        |

### 5.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κατοικιών

#### 5.3.1 Αποτελέσματα εξωτερικού χώρου των κατοικιών

Στον Πίνακα 5-3 παραθέτονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου, ανά κατοικία. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων μάζας των  $AS_{10}$ , για το σύνολο των υπό μελέτη κατοικιών είναι  $(55.8 \pm 5.0)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , των  $AS_{2.5}$   $(26.3 \pm 2.2)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , των αδρών  $AS$   $(29.5 \pm 3.3)\mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ του συντελεστή απορρόφησης είναι  $(3.5 \pm 0.2) \times 10^{-5}/\text{m}$  και του  $AA\Sigma$   $(185923 \pm 2334)\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ .

Στον Πίνακα 5-3 φαίνεται ότι, η μέγιστη μέση συγκέντρωση  $AS_{10}$  παρουσιάζεται στην κατοικία (116), στο Ζεφύρι, με  $(141.9 \pm 7.1)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , πιθανόν λόγω μεταφοράς των αέριων ρύπων από τη βιομηχανική ζώνη της Αττικής προς στα βόρεια, βρίσκοντας ως φυσικό εμπόδιο το όρος της Πάρνηθας (Lalas et al., 1987). Επίσης, η συγκεκριμένη κατοικία χαρακτηρίστηκε, ως κατοικία με έντονη κυκλοφοριακή κίνηση, λόγω αυξημένης ροής αυτοκινήτων σε δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας που βρίσκεται πλησίον της (Πίνακας 5-3). Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας της κατοικίας (116), που πραγματοποιήθηκε την άνοιξη (24/3-31/3 2003), παρουσιάστηκαν χιονοπτώσεις ακόμα και στο κέντρο της Αθήνας, στις 24/3, ενώ τις επόμενες ημέρες και μέχρι το τέλος του μήνα, ο καιρός βελτιώθηκε σε ολόκληρη τη χώρα, η θερμοκρασία ανέβηκε αρκετά, προσεγγίζοντας τους  $20^\circ\text{C}$  στο σταθμό του Θησείου, στις 31/3. Η ελάχιστη μέση συγκέντρωση  $AS_{10}$  παρουσιάζεται στην κατοικία (129), στην Γλυφάδα,  $(22.1 \pm 2.0)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , στην οποία η δειγματοληψία έγινε τον χειμώνα, όπου κατά τη διάρκεια των καταγραφών υπήρξε επεισόδιο βροχής (2 ημέρες) με άνεμο βόρειου τομέα.

Αντίστοιχα, η μέγιστη μέση συγκέντρωση  $AS_{2.5}$  παρουσιάζεται στην κατοικία (133), στην περιοχή της Ν. Ιωνίας, όπου υπήρχε έντονη κυκλοφοριακή κίνηση, με μέση συγκέντρωση τα  $(60.8 \pm 11.6)\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η ελάχιστη, παρουσιάζεται στην κατοικία (129), στην περιοχή της Γλυφάδας, με μέση συγκέντρωση τα  $(12.9 \pm 1.8)\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Τα περισσότερα αδρά  $AS$   $(86.2 \pm 5.7)\mu\text{g}/\text{m}^3$  εμφανίζονται στην κατοικία (116), στο Ζεφύρι, γεγονός που επηρέασε τα επίπεδα των  $AS_{10}$ . Τα χαμηλότερα επίπεδα αδρών, παρουσίασε η κατοικία (108), στην περιοχή του Πολυγώνου,  $(4.4 \pm 0.9)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , όπου κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, που πραγματοποιήθηκε το χειμώνα (10/12 – 17/12 2002), υπήρχαν ημέρες με βροχόπτωση.

Τα υψηλότερα επίπεδα του συντελεστή απορρόφησης  $(7.4 \pm 0.8) \times 10^{-5}/\text{m}$ , παρουσιάστηκαν στην κατοικία (133), στη Ν. Ιωνία λόγω των αντίστοιχων υψηλών τιμών των  $A_{\Sigma_{2.5}}$ , ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα,  $(1.5 \pm 0.1) \times 10^{-5}/\text{m}$ , εμφανίστηκαν στην κατοικία (119), στο Χολαργό, όπου η κίνηση των οχημάτων ήταν μικρή και υπήρχε αρκετό πράσινο στην περιοχή. Αντίστοιχα, οι υψηλότερες τιμές  $AA_{\Sigma}$  παρουσιάστηκαν στην κατοικία (109), στην περιοχή της Χαμοστέρνας, με  $(53213 \pm 5798) \text{σωμ.}/\text{cm}^3$ , ενώ οι χαμηλότερες τιμές  $(2248 \pm 131) \text{σωμ.}/\text{cm}^3$  εμφανίστηκαν στην κατοικία (131) στο Π. Φάληρο. Γενικότερα, η χωρική κατανομή των  $A_{\Sigma}$  παρουσιάζει, χαμηλότερες τιμές στα νότια προάστια σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ΒΔ προαστίων, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με μελέτη των Λιάνου et al. (2006).

Στο Σχήμα 5-1, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις μάζας των  $A_{\Sigma_{10}}$ ,  $A_{\Sigma_{2.5}}$  και  $A_{\Sigma_{(10-2.5)}}$ , για το σύνολο των κατοικιών. Το συγκεκριμένο γράφημα (θηκόγραμμα - boxplot) προκύπτει από τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων όλων των κατοικιών (Πίνακας 5-3), διαμορφώνοντας μια γενική εικόνα των συγκεντρώσεων των  $A_{\Sigma}$  εξωτερικού χώρου. Φαίνεται ότι, το μεγάλο εύρος στις τιμές συγκεντρώσεων μάζας των  $A_{\Sigma_{10}}$  ( $119.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) οφείλεται κυρίως στο εύρος των αδρών  $A_{\Sigma}$  ( $81.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ενώ το εύρος των  $A_{\Sigma_{2.5}}$  είναι αρκετά μικρότερο ( $47.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Επιπλέον, παρατηρείται ότι η μέση τιμή των παραμέτρων διαφέρει από τη διάμεσο.

Στο Σχήμα 5-2 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου των  $A_{\Sigma_{2.5}}$  και  $A_{\Sigma_{(10-2.5)}}$ , αθροιστικά, ανά κατοικία. Από το σύνολο των κατοικιών, 16 παρουσιάζουν συγκεντρώσεις λεπτών  $A_{\Sigma}$  μεγαλύτερες των αδρών (οι κατοικίες: 104, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 129, 130, 133, 134, 135). Από αυτές μόνο σε 3 (114, 115, 117), η δειγματοληψία έγινε την άνοιξη ενώ στις υπόλοιπες έγινε κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Επίσης, τα αδρά  $A_{\Sigma}$ , στο σύνολό τους, συνεισφέρουν περισσότερο (52.9%) από τα λεπτά  $A_{\Sigma}$  (47.1%), στο σύνολο των συγκεντρώσεων  $A_{\Sigma_{10}}$ . Από το Σχήμα 5-3 φαίνεται ότι σε 18 κατοικίες, η μέση τιμή του ποσοστού των αδρών  $A_{\Sigma}$ , ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των λεπτών  $A_{\Sigma}$ , ενώ στις υπόλοιπες 16 κατοικίες παρουσιάστηκαν υψηλότερα ποσοστά  $A_{\Sigma_{2.5}}$ .

Ο έλεγχος της συσχέτισης των παραμέτρων εξωτερικού χώρου των κατοικιών (Πίνακας 5-4), έδειξε ότι υπάρχει υψηλή συσχέτιση των ΑΣ<sub>10</sub> με τα λεπτά (R=0.82) και τα αδρά ΑΣ (R=0.89) και χαμηλότερη με το συντελεστή απορρόφησης (R=0.70) ενώ τα ΑΣ<sub>10</sub> δεν συσχετίζονται σχεδόν καθόλου με τον ΑΑΣ (R=0.14). Υψηλή είναι και η συσχέτιση των ΑΣ<sub>2.5</sub> με το συντελεστή απορρόφησης (R=0.77), μέτρια με τα αδρά ΑΣ (R=0.48) ενώ η συσχέτιση των λεπτών ΑΣ με τον ΑΑΣ είναι πολύ χαμηλή (R=0.32). Τέλος, τα αδρά ΑΣ συσχετίζονται μέτρια με το συντελεστή απορρόφησης ενώ ο ΑΑΣ εμφανίζει μέτρια συσχέτιση μόνο με το συντελεστή απορρόφησης.

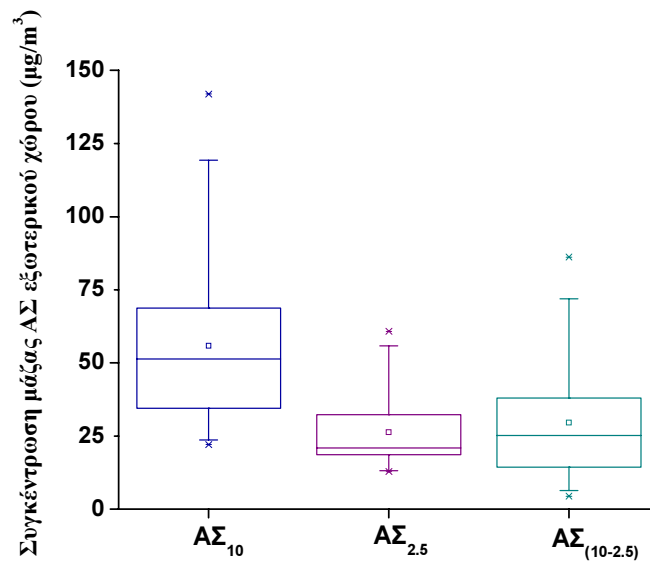
**Πίνακας 5-3:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εξωτερικού χώρου των κατοικιών: ο αριθμός των έγκυρων τιμών (n), (μέση τιμή ± σταθ. σφάλμα), ελάχιστη – μέγιστη τιμή της κάθε παραμέτρου.

| ID  | ΑΣ <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub><br>(μg/m <sup>3</sup> ) | Συντελεστής<br>Απορ/σης<br>(×10 <sup>-5</sup> /m) | ΑΑΣ<br>(σωμ. / cm <sup>3</sup> )  |
|-----|---------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 100 | (7) 64.4 ± 2.7<br>52.8 – 71.6         | (7) 21.1 ± 1.6<br>13.5 – 26.6          | (7) 43.3 ± 1.5<br>38.1 – 49.2                  | (7) 4.7 ± 0.3<br>3.6 – 5.7                        | (6) 30252 ± 3847<br>21281 - 44561 |
| 104 | (7) 28.3 ± 1.5<br>24.7 – 34.2         | (7) 15.7 ± 1.4<br>9.6 – 21.4           | (7) 12.6 ± 1.1<br>8.6 – 16.5                   | (7) 2.7 ± 0.2<br>1.8 – 3.4                        | (9) 19445 ± 1503<br>13553 - 27892 |
| 105 | (7) 56.7 ± 7.6<br>36.9 – 93.1         | (7) 20.7 ± 4.9<br>8.7 – 45.8           | (7) 36.0 ± 4.0<br>23.9 – 51.5                  | (7) 2.4 ± 0.2<br>1.7 – 2.9                        | (9) 20543 ± 1743<br>14198 - 29130 |
| 106 | (7) 67.8 ± 11.7<br>38.0 – 105.0       | (5) 39.5 ± 7.0<br>20.7 – 60.3          | (5) 25.2 ± 8.0<br>8.3 – 49.4                   | (5) 4.7 ± 0.8<br>3.0 – 6.6                        | (7) 31721 ± 5563<br>16046 - 51872 |
| 107 | (7) 38.7 ± 6.4<br>18.5 – 62.2         | (7) 25.1 ± 5.4<br>9.2 – 51.6           | (7) 13.6 ± 2.2<br>6.1 – 21.3                   | (7) 6.1 ± 0.8<br>3.3 – 9.2                        | (7) 36209 ± 4492<br>18009 – 56013 |
| 108 | (7) 24.0 ± 3.4<br>13.1 – 38.5         | (7) 19.6 ± 3.3<br>10.0 – 30.8          | (7) 4.4 ± 0.9<br>1.0 – 7.6                     | (7) 2.8 ± 0.4<br>1.3 – 4.5                        | (8) 32048 ± 3740<br>18228 – 50101 |
| 109 | (5) 38.8 ± 15.4<br>17.2 – 99.5        | (5) 26.9 ± 10.8<br>12.0 – 69.6         | (5) 11.9 ± 5.3<br>2.1 – 29.9                   | (5) 4.5 ± 1.2<br>2.0 – 8.7                        | (5) 53213 ± 5798<br>32587 – 64215 |
| 110 | (7) 34.8 ± 4.6                        | (6) 14.2 ± 2.2                         | (6) 21.5 ± 4.1                                 | (6) 3.3 ± 0.4                                     | (8) 37452 ± 2636                  |

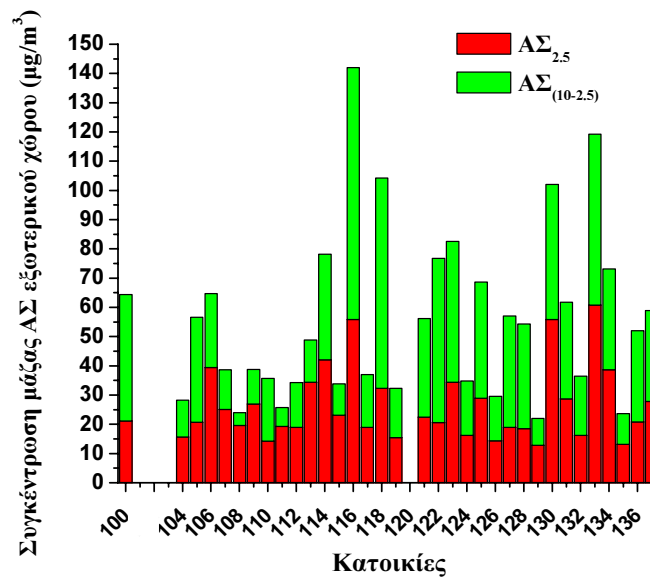
|     |                                      |                                   |                                    |                                |                                        |
|-----|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
|     | 20.1 – 50.2                          | 8.4 – 22.6                        | 8.6 – 33.2                         | 2.0 – 4.6                      | 27674 – 49561                          |
| 111 | (4) $25.7 \pm 9.0$<br>9.9 – 48.7     | (4) $19.3 \pm 7.1$<br>6.6 – 38.7  | (4) $6.4 \pm 2.1$<br>2.2 – 10.0    | (4) $2.6 \pm 0.7$<br>1.5 – 4.5 | (8) $28518 \pm 2379$<br>22642 – 42472  |
| 112 | (7) $34.4 \pm 5.5$<br>10.6 – 48.5    | (7) $18.9 \pm 2.4$<br>7.7 – 24.8  | (7) $15.4 \pm 3.1$<br>2.9 – 23.8   | (7) $3.4 \pm 0.4$<br>1.7 – 4.7 | (10) $37064 \pm 2715$<br>23336 – 47287 |
| 113 | (7) $48.8 \pm 5.4$<br>30.2 – 75.3    | (7) $34.4 \pm 3.2$<br>25.5 – 49.0 | (7) $14.4 \pm 3.0$<br>4.7 – 26.3   | (7) $3.9 \pm 0.4$<br>2.6 – 5.4 | (8) $20312 \pm 2110$<br>10659 – 27430  |
| 114 | (7) $78.3 \pm 7.3$<br>46.0 – 109.8   | (7) $42.0 \pm 4.7$<br>15.8 – 53.4 | (7) $36.2 \pm 4.6$<br>23.2 – 56.4  | (7) $5.4 \pm 0.4$<br>3.6 – 7.1 | (8) $39656 \pm 3038$<br>29489 – 51026  |
| 115 | (7) $33.8 \pm 6.6$<br>17.2 – 69.0    | (7) $23.1 \pm 3.9$<br>12.0 37.7   | (7) $10.7 \pm 4.1$<br>2.1 – 31.3   | (7) $3.3 \pm 0.5$<br>1.8 – 5.2 | (7) $20023 \pm 2433$<br>17418 - 35990  |
| 116 | (7) $141.9 \pm 7.1$<br>116.5 – 165.1 | (7) $55.8 \pm 4.2$<br>41.1 – 70.7 | (7) $86.2 \pm 5.7$<br>65.8 – 105.1 | (7) $5.7 \pm 0.2$<br>4.8 – 6.6 | (6) $27703 \pm 2425$<br>11179 – 27666  |
| 117 | (7) $37.0 \pm 9.6$<br>19.5 – 94.0    | (7) $19.0 \pm 3.8$<br>10.2 – 40.8 | (7) $18.0 \pm 5.9$<br>9.3 – 53.2   | (7) $1.9 \pm 0.1$<br>1.3 – 2.3 | (8) $16415 \pm 1522$<br>10922 - 21998  |
| 118 | (3) $104.2 \pm 7.0$<br>93.6 – 117.3  | (3) $32.3 \pm 3.9$<br>25.6 – 39.2 | (3) $71.9 \pm 3.1$<br>67.9 – 78.1  | (3) $4.6 \pm 0.5$<br>4.0 – 5.6 | (1)                                    |
| 119 | (7) $31.4 \pm 3.9$<br>20.2 – 47.9    | (8) $15.4 \pm 1.8$<br>9.1 – 21.3  | (7) $16.9 \pm 2.1$<br>11.2 – 26.7  | (8) $1.5 \pm 0.1$<br>1.1 – 1.9 | (11) $6134 \pm 789$<br>3517 - 11775    |
| 120 |                                      |                                   |                                    |                                | (2)                                    |
| 121 | (8) $56.2 \pm 3.6$<br>44.2 – 73.0    | (8) $22.5 \pm 2.4$<br>14.2 – 34.1 | (8) $33.7 \pm 3.8$<br>17.2 – 54.4  | (8) $3.8 \pm 0.3$<br>2.6 – 5.9 | (6) $9200 \pm 452$<br>7841 - 10537     |
| 122 | (8) $76.8 \pm 9.2$<br>39.5 – 127.5   | (8) $20.6 \pm 1.7$<br>15.1 – 30.7 | (8) $56.2 \pm 7.8$<br>23.1 – 96.2  | (8) $2.6 \pm 0.3$<br>1.3 – 4.2 | (9) $6954 \pm 649$<br>2796 - 9456      |
| 123 | (4) $82.6 \pm 11.0$<br>56.5 – 109.8  | (4) $34.4 \pm 2.8$<br>28.2 - 41.2 | (4) $48.2 \pm 9.0$<br>24.7 – 68.6  | (4) $3.0 \pm 0.5$<br>2.0 – 4.3 | (6) $9928 \pm 1132$<br>7453 - 14851    |
| 124 | (7) $37.7 \pm 3.7$<br>21.7 – 54.6    | (6) $16.2 \pm 1.8$<br>8.3 – 20.3  | (6) $18.7 \pm 1.7$<br>13.4 – 24.0  | (6) $1.6 \pm 0.2$<br>1.1 – 2.2 | (7) $4999 \pm 481$<br>3347 - 7135      |
| 125 | (7) $68.7 \pm 5.7$<br>44.6 – 85.4    | (7) $28.9 \pm 8.8$<br>10.9 – 77.6 | (7) $39.8 \pm 6.8$<br>3.5 – 57.1   | (7) $2.8 \pm 0.4$<br>0.9 – 3.8 | (9) $13569 \pm 1321$<br>7288 - 19098   |

|       |                                      |                                     |                                    |                                 |                                       |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 126   | (7) $29.6 \pm 3.1$<br>17.0 – 44.2    | (7) $14.3 \pm 2.2$<br>6.4 – 24.0    | (7) $15.3 \pm 1.6$<br>9.1 – 20.2   | (7) $1.8 \pm 0.2$<br>0.8 – 2.5  | (7) $5284 \pm 419$<br>3732 - 7020     |
| 127   | (8) $57.1 \pm 10.8$<br>22.2 – 100.3  | (8) $19.0 \pm 4.9$<br>7.3 – 49.2    | (8) $38.0 \pm 7.5$<br>14.7 – 78.4  | (8) $2.3 \pm 0.4$<br>0.9 – 4.4  | (8) $7201 \pm 2174$<br>3218 - 22208   |
| 128   | (7) $51.3 \pm 6.1$<br>32.6 – 78.3    | (6) $18.6 \pm 1.7$<br>12.9 – 23.6   | (6) $35.8 \pm 5.2$<br>19.9 – 54.7  | (6) $2.7 \pm 0.4$<br>1.3 – 4.2  | (8) $4273 \pm 643$<br>1731 - 6656     |
| 129   | (6) $22.1 \pm 2.0$<br>16.1 – 27.9    | (6) $12.9 \pm 1.8$<br>8.8 – 18.8    | (6) $9.2 \pm 0.8$<br>7.3 – 12.1    | (6) $1.8 \pm 0.2$<br>1.1 – 2.4  | (8) $3690 \pm 604$<br>1423 - 6482     |
| 130   | (8) $102.0 \pm 9.2$<br>66.5 – 150.4  | (8) $55.8 \pm 3.9$<br>39.6 – 78.0   | (8) $46.2 \pm 5.8$<br>27.0 – 72.4  | (8) $5.1 \pm 0.4$<br>4.0 – 6.5  | (1)                                   |
| 131   | (7) $61.8 \pm 17.4$<br>24.4 – 153.3  | (7) $28.7 \pm 7.6$<br>10.4 – 66.4   | (7) $33.1 \pm 10.7$<br>3.0 – 87.0  | (7) $3.7 \pm 1.0$<br>1.4 – 8.6  | (5) $2248 \pm 651$<br>1029 - 4714     |
| 132   | (7) $36.6 \pm 4.4$<br>21.3 – 50.0    | (7) $16.2 \pm 2.7$<br>8.6 – 27.2    | (7) $20.3 \pm 2.3$<br>12.7 – 29.7  | (7) $3.0 \pm 0.4$<br>1.7 – 4.5  |                                       |
| 133   | (5) $119.2 \pm 5.5$<br>107.7 – 135.3 | (5) $60.8 \pm 11.6$<br>36.1 – 103.2 | (5) $58.4 \pm 8.3$<br>32.1 – 76.2  | (5) $7.4 \pm 0.8$<br>4.5 – 9.2  |                                       |
| 134   | (7) $73.0 \pm 13.1$<br>21.0 – 104.8  | (7) $38.7 \pm 7.8$<br>9.6 – 67.8    | (7) $34.4 \pm 6.6$<br>11.4 – 55.4  | (7) $5.6 \pm 0.9$<br>1.7 – 7.7  | (8) $10619 \pm 1159$<br>5825 - 14518  |
| 135   | (6) $23.7 \pm 2.4$<br>18.4 – 34.3    | (6) $13.1 \pm 2.5$<br>5.5 – 21.1    | (6) $10.6 \pm 2.0$<br>5.0 – 17.8   | (6) $1.8 \pm 0.2$<br>1.2 – 2.8  | (8) $12612 \pm 2221$<br>6377 - 20723  |
| 136   | (7) $52.1 \pm 13.6$<br>22.9 – 108.0  | (7) $20.9 \pm 3.2$<br>12.6 – 37.3   | (7) $31.2 \pm 11.8$<br>7.9 – 83.3  | (7) $2.9 \pm 0.5$<br>1.6 – 4.6  | (7) $8107 \pm 458$<br>6467 - 9753     |
| 137   | (8) $58.9 \pm 5.7$<br>39.2 – 79.6    | (8) $27.8 \pm 3.5$<br>16.5 – 42.6   | (8) $31.1 \pm 2.8$<br>19.7 – 40.8  | (8) $3.2 \pm 0.3$<br>2.1 – 4.9  | (8) $14622 \pm 1063$<br>10917 - 20516 |
| Ολικά | (34) $55.8 \pm 5.0$<br>9.9 – 165.5   | (34) $26.3 \pm 2.2$<br>5.5 – 103.2  | (34) $29.5 \pm 3.3$<br>1.0 – 105.1 | (34) $3.5 \pm 0.2$<br>0.8 – 9.2 | (32) $19000 \pm 2449$<br>1029 – 64215 |

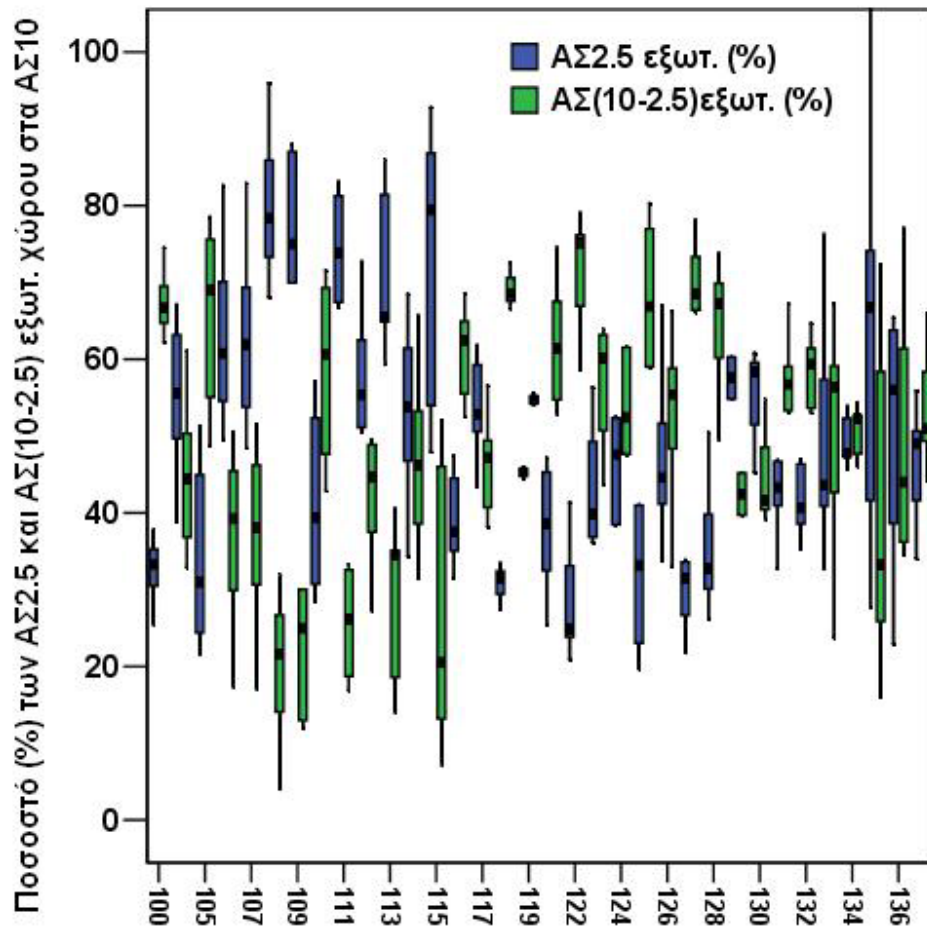
**Σχήμα 5-1:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συγκεντρώσεων μάζας εξωτερικού χώρου των  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$  και  $AS_{(10-2.5)}$ , από τις μέσες συγκεντρώσεις όλων των κατοικιών. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 5-2:** Συγκεντρώσεις  $AS_{2.5}$  και  $AS_{(10-2.5)}$ , στον εξωτερικό χώρο των κατοικιών.



**Σχήμα 5-3:** Επί τοις εκατό ποσοστό των  $ΑΣ_{2.5}$  και  $ΑΣ_{(10-2.5)}$  εξωτερικού χώρου στο σύνολο των  $ΑΣ_{10}$ .



**Πίνακας 5-4:** Συντελεστές συσχέτισης (Pearson) των συγκεντρώσεων  $ΑΣ$  εξωτερικού χώρου

|                         | $ΑΣ_{10}$ | $ΑΣ_{2.5}$ | $ΑΣ_{(10-2.5)}$ | Συντελεστής απορρόφησης | ΑΑΣ |
|-------------------------|-----------|------------|-----------------|-------------------------|-----|
| $ΑΣ_{10}$               | 1         |            |                 |                         |     |
| $ΑΣ_{2.5}$              | 0.82      | 1          |                 |                         |     |
| $ΑΣ_{(10-2.5)}$         | 0.89      | 0.48       | 1               |                         |     |
| Συντελεστής απορρόφησης | 0.70      | 0.77       | 0.47            | 1                       |     |
| ΑΑΣ                     | 0.14      | 0.32       | -0.06           | 0.55                    | 1   |

### 5.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών

Στον Πίνακα 5-5 παραθέτονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων, εσωτερικού χώρου, ανά κατοικία. Όπως και στην περίπτωση των αποτελεσμάτων εξωτερικού χώρου, οι μέσες τιμές, προέκυψαν από τις ημερήσιες συγκεντρώσεις μάζας, του συντελεστή απορρόφησης και από τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις του ΑΑΣ, για αριθμό ημερών  $\geq 3$ . Βρέθηκε ότι, η μέση τιμή των συγκεντρώσεων μάζας των  $AS_{10}$ , για το σύνολο των υπό μελέτη κατοικιών είναι  $(35.0 \pm 1.5)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , των  $AS_{2.5}$   $(21.5 \pm 0.9)\mu\text{g}/\text{m}^3$  και των  $AS_{(10-2.5)}$   $(13.5 \pm 1.1)\mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ του συντελεστή απορρόφησης είναι  $(3.0 \pm 0.2) \times 10^{-5}/\text{m}$  και του ΑΑΣ  $(16332.7 \pm 2431.6)\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ .

Από τον Πίνακα 5-5 φαίνεται ότι, η μέγιστη μέση συγκέντρωση  $AS_{10}$  παρουσιάζεται στην κατοικία (118), στην περιοχή της Ν. Ιωνίας, με  $(58.8 \pm 9.2)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , όπου έλαβαν χώρα δραστηριότητες που έδρασαν ως πηγές, όπως μαγείρεμα και τηγάνισμα χωρίς τη χρήση απορροφητήρα (Κεφ. 6). Η ελάχιστη μέση συγκέντρωση, παρουσιάζεται στην κατοικία (111), στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου  $(17.2 \pm 2.8)\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Αντίστοιχα, η μέγιστη μέση συγκέντρωση  $AS_{2.5}$ , παρουσιάζεται στην κατοικία (118), στην περιοχή της Ν. Ιωνίας  $(32.7 \pm 5.9)\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ η ελάχιστη στην κατοικία (111), με μέση συγκέντρωση τα  $(9.1 \pm 2.2)\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στην περίπτωση των αδρών ΑΣ, η μέγιστη μέση συγκέντρωση παρουσιάστηκε στην κατοικία (127), στο Κοντόπευκο, με  $(26.7 \pm 6.3)\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Τα υψηλότερα επίπεδα του συντελεστή απορρόφησης  $(5.9 \pm 0.8) \times 10^{-5}/\text{m}$  παρουσιάστηκαν στην κατοικία (133), στη Ν. Ιωνία, λόγω αντιστοίχως, της υψηλής συγκέντρωσης  $AS_{2.5}$ , ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα  $(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-5}/\text{m}$  εμφανίστηκαν στην κατοικία (119), στον Χολαργό. Όπως φαίνεται, από τα αποτελέσματα τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού χώρου, υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων συντελεστή απορρόφησης καθώς οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες μέσες τιμές του παρουσιάζονται, αντίστοιχα, στις ίδιες κατοικίες (συντελεστής Pearson  $R=0.82$ ).

Από τις τιμές των μέσων συγκεντρώσεων του αριθμού ΑΣ, η υψηλότερη μέση τιμή παρουσιάστηκε στην κατοικία (135), στη Βουλιαγμένη με  $(73966 \pm 22100)\text{σωμ.}/\text{cm}^3$  όπου οι παροχές ήταν περιορισμένες και γινόταν χρήση κουζίνας υγραερίου και λέβητα

αερίου, ενώ η χαμηλότερη μέση συγκέντρωση ( $1272 \pm 98$ )σωμ./cm<sup>3</sup> παρουσιάστηκε στην κατοικία (129) στην Γλυφάδα, η οποία είχε παρουσιάσει χαμηλά επίπεδα και στα ΑΣ<sub>10</sub> εξωτερικού χώρου.

Στο Σχήμα 5-4 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις μάζας, εσωτερικού χώρου, των ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub>, για το σύνολο των κατοικιών. Όπως φαίνεται, η συνεισφορά των ΑΣ<sub>2.5</sub> είναι μεγαλύτερη (61.4%) από εκείνη των αδρών ΑΣ (38.6%), στο σύνολο των ΑΣ<sub>10</sub>, προφανώς λόγω των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών και δρουν ως πηγές λεπτών ΑΣ.

Στο Σχήμα 5-5 παρουσιάζονται, οι συγκεντρώσεις των ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub>, ανά κατοικία. Φαίνεται ότι οι περισσότερες κατοικίες παρουσιάζουν συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>2.5</sub> μεγαλύτερες των ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> και μόνο σε τέσσερις από αυτές (117, 119, 121, 127) υπάρχει αντίθετη εικόνα, με τα αδρά ΑΣ να υπερτερούν των λεπτών λόγω του μεγάλου αριθμού δραστηριοτήτων που βοήθησαν στον εξαερισμό τους (άνοιγμα μπαλκονόπορτας ή παραθύρου), σε σύγκριση με τον αριθμό των πηγών που ήταν μικρότερος. Γενικά, από το Σχήμα 5-5 φαίνεται ότι, στις κατοικίες με υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>10</sub>, τα λεπτά ΑΣ είναι περισσότερα από τα αδρά κάτι που δεν ισχύει στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου (Σχήμα 5-2). Αντίστοιχα, στο Σχήμα 5-6, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των επί τοις εκατό ποσοστών των ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> ως προς τα ΑΣ<sub>10</sub>, ανά κατοικία, όπου στην πλειονότητά τους οι κατοικίες έχουν μεγαλύτερη μέση τιμή ποσοστού των λεπτών ΑΣ.

Στο Σχήμα 5-8, παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή απορρόφησης εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, για το σύνολο των υπό μελέτη κατοικιών. Παρατηρείται ότι, δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών καθώς η μέση τιμή εξωτερικού χώρου είναι  $(3.5 \pm 0.2) \times 10^{-5}/m$  και εσωτερικού χώρου  $(3.0 \pm 0.2) \times 10^{-5}/m$ , οπότε φαίνεται να υπάρχουν μηχανισμοί άμεσης επίδρασης μεταξύ τους.

Γενικά, από τα δεδομένα των συγκεντρώσεων εσωτερικού χώρου, βρέθηκε ότι υπάρχει υψηλή συσχέτιση των ΑΣ<sub>10</sub> με τα λεπτά ( $R=0.76$ ) και τα αδρά ( $R=0.73$ ), ενώ τα ΑΣ<sub>2.5</sub> συσχετίζονται μετρίως με το συντελεστή απορρόφησης ( $R=0.55$ ) (Πίνακας 5-6).

Συγκρίνοντας τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μέσων τιμών των κατοικιών (Σχήμα 5-7), φαίνεται ότι τα ΑΣ<sub>10</sub> εξωτερικού χώρου διαφέρουν σημαντικά από εκείνα

του εσωτερικού χώρου γεγονός που αποδίδεται περισσότερο στη σημαντική διαφοροποίηση των αδρών ΑΣ. Γενικά, οι συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου, παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος τιμών καθώς προέρχονται από διαφορετικές περιοχές της Αθήνας, με μεγαλύτερες μέσες και διάμεσες τιμές ενώ οι συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου, παρουσιάζουν συγκριτικά μικρότερο εύρος τιμών καθώς αντιπροσωπεύουν κατοικίες, στην πλειονότητα τους μη καπνιστών, χωρίς υπερβολική δραστηριοποίηση των κατοίκων στο εσωτερικό τους. Αντίστοιχα, ο συντελεστής απορρόφησης εσωτερικού χώρου δεν διαφοροποιείται κατά πολύ από την εξωτερικού χώρου, με μόνη διαφορά το μικρότερο εύρος τιμών (Σχήμα 5-8).

Αντίστοιχα, στο Σχήμα 5-9 παρουσιάζονται οι τιμές του ΑΑΣ, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, για το σύνολο των υπό μελέτη κατοικιών. Γίνεται αντιληπτό, ότι το εύρος των τιμών ΑΑΣ εξωτερικού χώρου είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του εσωτερικού χώρου καθώς απεικονίζει, γενικά την κατάσταση των διαφορετικών περιοχών όπου βρίσκονταν οι κατοικίες.

Στα Σχήματα 5-10 μέχρι 5-12, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα των συγκεντρώσεων μάζας, συντελεστή απορρόφησης και ΑΑΣ, προερχόμενα από τις ημερήσιες τιμές των παραμέτρων, του ΣΑ και του εξωτερικού - εσωτερικού χώρου των κατοικιών. Οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις, αφορούν τα ΑΣ<sub>10</sub> και τα αδρά ΑΣ, ενώ τα λεπτά παρουσιάζουν σχεδόν την ίδια εικόνα. Γενικά, τα επίπεδα του σταθμού αναφοράς είναι πιο αυξημένα από εκείνα του εξωτερικού και του εσωτερικού χώρου ενώ οι συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του εξωτερικού χώρου.

**Πίνακας 5-5: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εσωτερικού χώρου των κατοικιών**

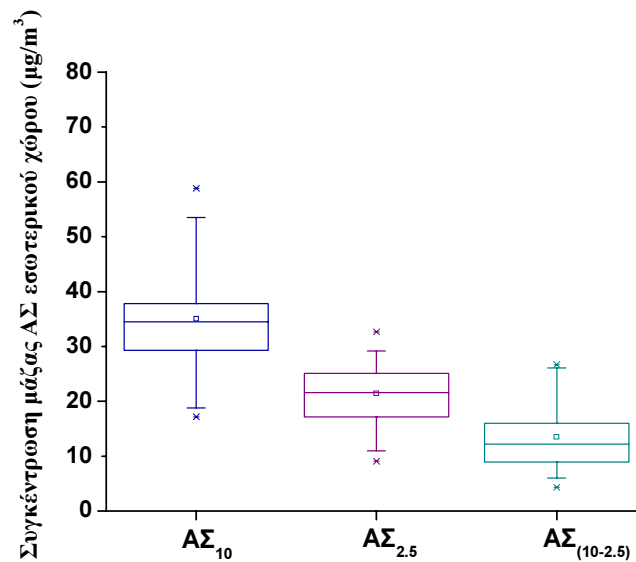
| ID  | ΑΣ <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | ΑΣ <sub>10-2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) | Συντελεστής Απορ/σης (×10 <sup>-5</sup> /m) | ΑΑΣ (σωμ. / cm <sup>3</sup> )     |
|-----|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| 100 | (7) 35.6 ± 5.4<br>20.0 – 60.3         | (7) 22.6 ± 2.9<br>12.8 – 34.4          | (7) 12.9 ± 2.9<br>4.1 – 25.8              | (7) 3.9 ± 0.2<br>3.2 – 4.6                  | (6) 39695 ± 8855<br>16042 - 70698 |
| 104 | (7) 18.8 ± 0.7<br>16.8 – 22.3         | (6) 11.0 ± 1.1<br>8.6 – 15.9           | (6) 8.1 ± 1.4<br>2.8 – 13.0               | (6) 1.9 ± 0.2<br>1.5 – 2.3                  | (9) 8481 ± 809<br>5881 - 11981    |
| 105 | (9) 37.6 ± 3.1<br>21.1 – 52.0         | (9) 27.2 ± 3.2<br>15.2 – 43.9          | (9) 10.4 ± 1.5<br>2.1 – 17.3              | (9) 3.8 ± 0.2<br>2.7 – 5.0                  | (9) 16115 ± 1591<br>11460 - 27567 |
| 106 | (7) 32.3 ± 3.8<br>18.0 – 48.7         | (7) 20.3 ± 1.7<br>14.0 – 26.2          | (7) 12.0 ± 2.5<br>4.0 – 25.2              | (7) 4.5 ± 0.4<br>3.2 – 6.1                  | (7) 11968 ± 1570<br>8085 - 19976  |
| 107 | (7) 38.7 ± 6.0<br>20.7 – 59.4         | (7) 23.5 ± 3.7<br>11.4 – 35.7          | (7) 14.3 ± 2.2<br>5.7 – 24.7              | (7) 5.7 ± 0.6<br>3.7 – 8.6                  | (7) 22365 ± 1984<br>12713 – 29724 |
| 108 | (7) 31.4 ± 3.6<br>17.7 – 44.6         | (7) 22.2 ± 1.9<br>15.8 – 27.8          | (7) 9.2 ± 2.6<br>0.6 – 22.1               | (7) 3.4 ± 0.4<br>2.0 – 5.3                  | (8) 19709 ± 950<br>15623 – 24878  |
| 109 | (7) 35.7 ± 2.5<br>28.9 – 48.5         | (7) 23.5 ± 2.7<br>13.4 – 32.3          | (7) 12.2 ± 1.4<br>6.2 – 16.9              | (7) 3.9 ± 0.7<br>1.7 – 6.2                  | (5) 33595 ± 3585<br>28200 – 47000 |
| 110 | (7) 29.8 ± 3.5<br>16.1 – 40.1         | (7) 20.0 ± 2.0<br>13.0 – 28.4          | (7) 9.8 ± 2.1<br>1.7 – 18.5               | (7) 3.6 ± 0.4<br>2.1 – 5.5                  | (8) 19718 ± 1636<br>14046 – 29339 |
| 111 | (7) 17.2 ± 2.8<br>8.7 – 27.2          | (7) 9.1 ± 2.2<br>3.3 – 18.7            | (7) 8.1 ± 1.3<br>4.8 – 12.8               | (7) 2.2 ± 0.4<br>1.4 – 4.4                  | (8) 17268 ± 696<br>14419 – 20292  |
| 112 | (7) 28.8 ± 4.1<br>11.6 – 46.0         | (7) 17.2 ± 2.1<br>6.8 – 23.4           | (7) 11.5 ± 2.8<br>4.9 – 26.8              | (7) 3.1 ± 0.4<br>1.8 – 4.2                  | (10) 25743 ± 946<br>21928 – 30555 |
| 113 | (7) 53.5 ± 2.9<br>43.2 – 62.7         | (7) 27.4 ± 2.9<br>18.6 – 39.8          | (7) 26.1 ± 1.3<br>22.2 – 31.8             | (7) 2.3 ± 0.2<br>1.7 – 3.5                  | (8) 17598 ± 2541<br>7153 – 28417  |
| 114 | (7) 34.5 ± 2.1<br>27.1 – 41.6         | (7) 26.3 ± 1.8<br>19.9 – 34.7          | (7) 8.1 ± 1.3<br>1.7 – 12.5               | (7) 3.5 ± 0.3<br>2.4 – 5.1                  | (8) 11793 ± 714<br>10224 – 16158  |
| 115 | (6) 34.9 ± 5.6<br>20.9 – 51.8         | (6) 24.7 ± 4.0<br>12.4 - 39.7          | (6) 10.2 ± 3.0<br>1.2 – 23.5              | (6) 4.1 ± 0.7<br>2.0 – 7.3                  | (7) 24611 ± 715<br>22328 - 27684  |
| 116 | (4) 42.6 ± 4.7                        | (4) 29.2 ± 3.4                         | (4) 13.4 ± 1.4                            | (4) 3.8 ± 0.2                               | (6) 14715 ± 1173                  |

|     |                               |                                |                               |                            |                                  |
|-----|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
|     | 31.9 – 54.8                   | 21.3 – 37.8                    | 10.7 – 17.0                   | 3.4 – 4.2                  | 11316 – 18000                    |
| 117 | (7) 29.0 ± 9.1<br>8.3 – 77.2  | (7) 13.0 ± 1.9<br>7.0 – 20.4   | (7) 16.0 ± 8.3<br>1.3 – 56.8  | (7) 1.9 ± 0.5<br>1.3 – 5.0 | (8) 15737 ± 727<br>12694 - 19580 |
| 118 | (3) 58.8 ± 9.2<br>41.3 – 72.5 | (3) 32.7 ± 5.9<br>22.7 – 43.2  | (3) 26.0 ± 7.1<br>18.6 – 40.2 | (3) 3.9 ± 0.7<br>2.9 – 5.2 | (1)                              |
| 119 | (8) 40.5 ± 4.0<br>25.8 – 59.9 | (7) 19.6 ± 3.4<br>12.5 – 38.5  | (7) 23.0 ± 1.9<br>17.0 – 30.7 | (7) 1.2 ± 0.1<br>0.9 – 1.8 | (11) 7078 ± 465<br>4975 - 10297  |
| 120 | (1)                           | (1)                            | (1)                           | (1)                        | (2)                              |
| 121 | (8) 37.7 ± 3.5<br>27.7 – 55.4 | (8) 15.0 ± 2.5<br>8.4 – 25.7   | (8) 22.7 ± 2.1<br>14.1 – 29.7 | (8) 2.5 ± 0.4<br>1.3 – 4.6 | (6) 13605 ± 927<br>10827 - 16335 |
| 122 | (8) 29.1 ± 3.6<br>13.7 – 47.6 | (8) 16.3 ± 1.9<br>10.8 – 25.9  | (8) 12.8 ± 2.2<br>1.5 – 21.7  | (8) 2.0 ± 0.3<br>1.0 – 3.4 | (9) 9145 ± 676<br>5194 - 11940   |
| 123 | (5) 49.6 ± 8.5<br>27.2 – 75.5 | (5) 27.3 ± 4.2<br>14.4 - 39.1  | (5) 22.3 ± 5.6<br>11.2 – 42.7 | (5) 2.1 ± 0.4<br>1.0 – 3.5 | (6) 11452 ± 1564<br>8596 - 18715 |
| 124 | (6) 31.1 ± 4.0<br>21.7 – 47.0 | (6) 21.6 ± 3.0<br>14.4 – 34.6  | (5) 7.0 ± 1.0<br>4.4 – 9.2    | (6) 2.0 ± 0.3<br>1.3 – 3.2 | (7) 5304 ± 411<br>3919 - 7131    |
| 125 | (7) 34.5 ± 3.6<br>19.1 – 47.2 | (7) 19.1 ± 3.3<br>6.1 – 27.9   | (7) 15.4 ± 1.4<br>10.1 – 20.8 | (7) 2.4 ± 0.4<br>0.7 – 3.6 | (9) 12484 ± 1224<br>6937 - 17789 |
| 126 | (6) 31.6 ± 3.1<br>25.7 – 43.4 | (7) 26.4 ± 2.5<br>17.8 – 34.8  | (6) 6.0 ± 1.3<br>2.8 – 10.6   | (7) 2.1 ± 0.3<br>1.3 – 2.8 | (7) 9034 ± 728<br>6239 - 12232   |
| 127 | (5) 47.5 ± 7.8<br>27.9 – 64.5 | (7) 20.1 ± 2.8<br>11.55 – 32.8 | (5) 26.7 ± 6.3<br>13.2 – 42.1 | (7) 2.3 ± 0.4<br>0.8 – 4.2 | (8) 9399 ± 2129<br>4565 - 23692  |
| 128 | (7) 21.1 ± 1.3<br>14.7 – 26.2 | (7) 13.5 ± 1.7<br>8.4 – 20.9   | (7) 7.6 ± 1.3<br>1.8 – 11.4   | (7) 2.2 ± 0.3<br>1.0 – 4.0 | (8) 5643 ± 858<br>2641 - 9036    |
| 129 | (8) 30.5 ± 3.5<br>18.8 – 42.7 | (8) 24.4 ± 3.7<br>9.5 – 37.3   | (8) 6.0 ± 1.4<br>1.1 – 12.3   | (8) 2.2 ± 0.4<br>1.3 – 4.3 | (8) 1272 ± 98<br>841 - 1639      |
| 130 | (8) 37.3 ± 2.2<br>27.7 – 46.6 | (8) 28.4 ± 1.1<br>24.5 – 33.4  | (8) 8.9 ± 1.6<br>2.0 – 14.1   | (8) 3.9 ± 0.3<br>2.9 – 5.0 | (1)                              |
| 131 | (7) 37.2 ± 6.0<br>24.2 – 70.5 | (7) 16.5 ± 4.9<br>11.1 – 48.6  | (7) 12.8 ± 1.4<br>12.5 – 21.9 | (7) 3.2 ± 0.4<br>1.2 – 6.7 | (5) 3901 ± 1029<br>2063 - 7869   |

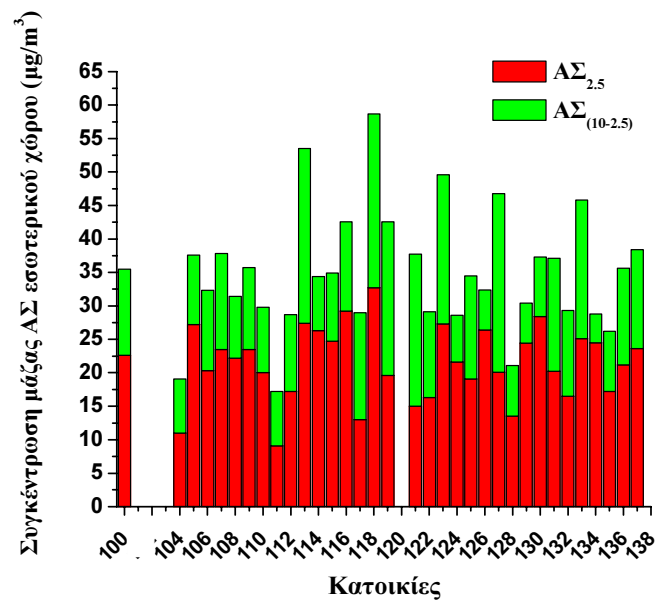
|       |                                   |                                   |                                   |                                 |                                        |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| 132   | (6) $29.3 \pm 6.0$<br>17.9 – 58.8 | (6) $16.5 \pm 4.9$<br>9.5 – 40.8  | (6) $12.8 \pm 1.4$<br>7.5 – 18.0  | (6) $3.2 \pm 0.4$<br>1.9 – 5.1  | (0)                                    |
| 133   | (5) $45.7 \pm 5.2$<br>37.2 – 66.1 | (5) $25.1 \pm 4.4$<br>18.1 – 41.7 | (5) $20.7 \pm 2.8$<br>11.0 – 26.9 | (5) $5.9 \pm 0.8$<br>4.2 – 8.5  | (0)                                    |
| 134   | (7) $28.8 \pm 4.7$<br>14.7 – 49.3 | (7) $24.5 \pm 3.9$<br>12.9 – 42.3 | (7) $4.3 \pm 1.0$<br>1.4 – 8.7    | (7) $4.6 \pm 0.8$<br>1.5 – 6.7  | (8) $9113 \pm 1124$<br>6112 - 15089    |
| 135   | (7) $26.1 \pm 4.8$<br>14.7 – 52.8 | (7) $17.2 \pm 4.0$<br>8.1 – 39.9  | (7) $9.0 \pm 1.9$<br>0.7 – 15.4   | (7) $1.6 \pm 0.2$<br>1.0 – 2.2  | (8) $73966 \pm 22100$<br>6518 - 156268 |
| 136   | (7) $35.6 \pm 2.7$<br>27.9 – 44.2 | (7) $21.2 \pm 3.2$<br>13.2 – 37.7 | (7) $14.4 \pm 1.9$<br>4.9 – 20.6  | (7) $1.9 \pm 2.4$<br>1.4 – 4.0  | (7) $9301 \pm 230$<br>8603 - 9980      |
| 137   | (6) $38.5 \pm 3.0$<br>26.8 – 48.5 | (6) $23.6 \pm 3.1$<br>14.6 – 34.6 | (6) $14.8 \pm 1.6$<br>9.8 – 20.6  | (6) $2.7 \pm 0.3$<br>1.7 – 3.9  | (7) $11443 \pm 822$<br>8488 - 14341    |
| Ολικά | (34) $35.0 \pm 1.5$<br>8.3 – 77.2 | (34) $21.5 \pm 0.9$<br>3.3 – 48.6 | (34) $13.5 \pm 1.1$<br>0.6 – 56.8 | (34) $3.0 \pm 0.2$<br>0.7 – 8.6 | (32) $16375 \pm 2518$<br>841 - 156268  |

\* Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται μέσα σε παρένθεση ο αριθμός των έγκυρων τιμών (n), η μέση τιμή και η ελάχιστη – μέγιστη τιμή της κάθε παραμέτρου.

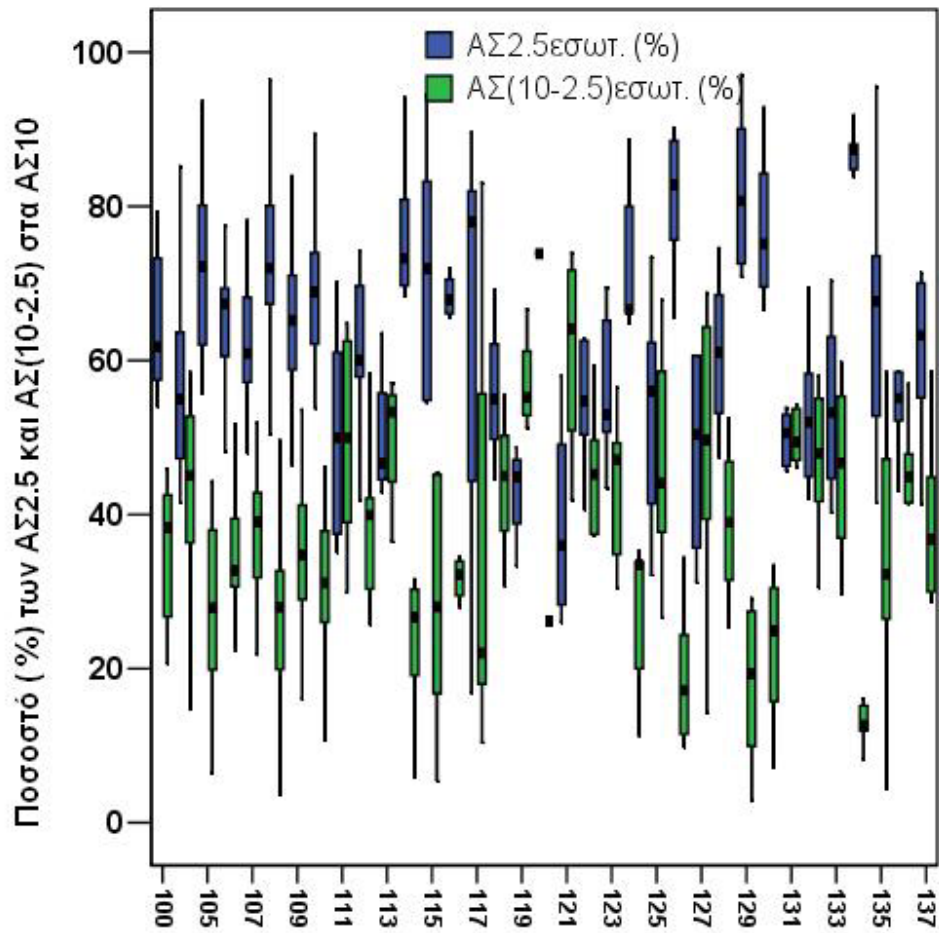
**Σχήμα 5-4:** Συγκεντρώσεις μάζας εσωτερικού χώρου των  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$  και  $AS_{(10-2.5)}$ , προερχόμενες από τις μέσες συγκεντρώσεις του συνόλου των κατοικιών. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 5-5:** Συγκεντρώσεις  $AS_{2.5}$  και  $AS_{(10-2.5)}$ , ανά κατοικία, στον εσωτερικό χώρο των κατοικιών.



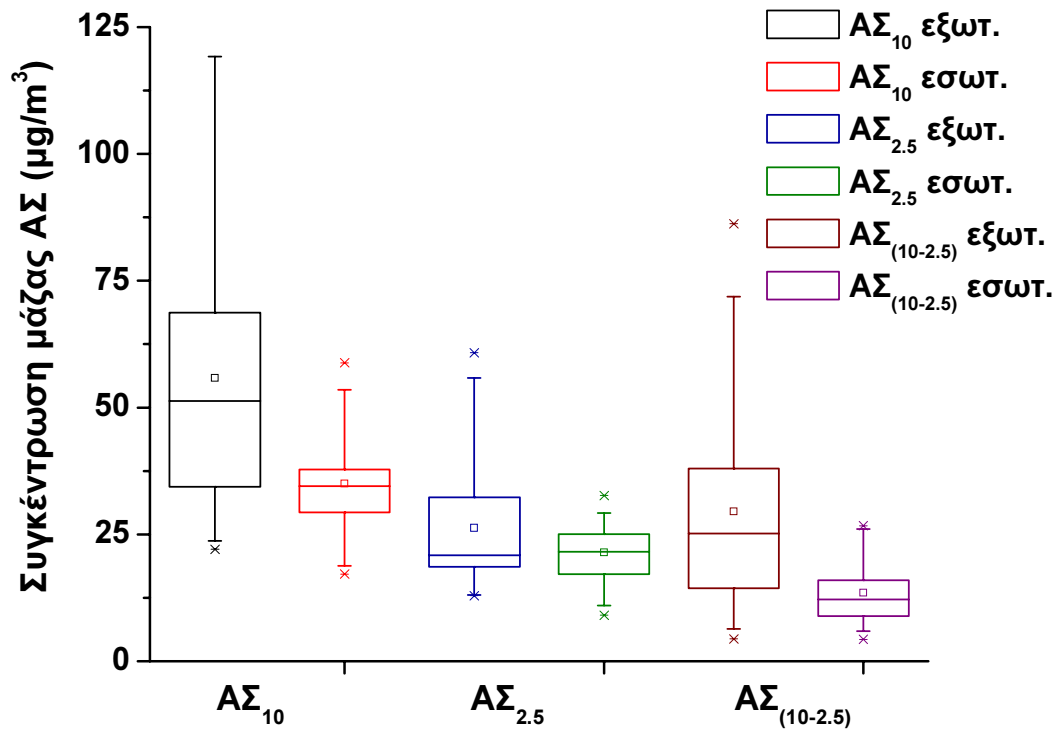
**Σχήμα 5-6:** Ποσοστό, επί τοις εκατό, των  $ΑΣ_{2.5}$  και  $ΑΣ_{(10-2.5)}$ , εσωτερικού χώρου, στο σύνολο των  $ΑΣ_{10}$ .



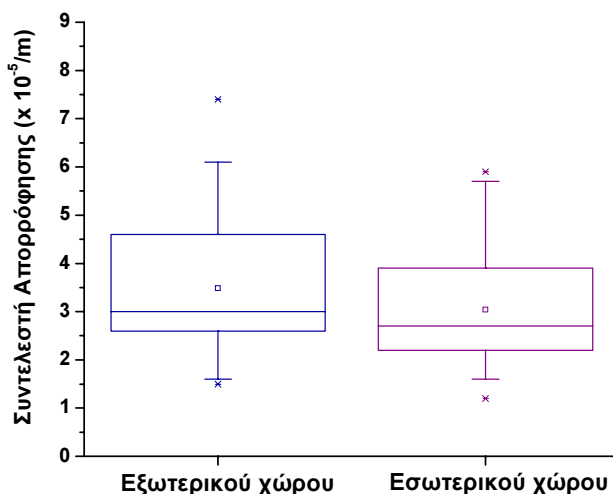
**Πίνακας 5-6:** Συντελεστές συσχέτισης (Pearson) των συγκεντρώσεων  $ΑΣ$  εσωτερικού χώρου

|                         | $ΑΣ_{10}$ | $ΑΣ_{2.5}$ | $ΑΣ_{(10-2.5)}$ | Συντελεστής<br>Απορ/σης | ΑΑΣ |
|-------------------------|-----------|------------|-----------------|-------------------------|-----|
| $ΑΣ_{10}$               | 1         |            |                 |                         |     |
| $ΑΣ_{2.5}$              | 0.76      | 1          |                 |                         |     |
| $ΑΣ_{(10-2.5)}$         | 0.73      | 0.11       | 1               |                         |     |
| Συντελεστής<br>Απορ/σης | 0.39      | 0.55       | 0.01            | 1                       |     |
| ΑΑΣ                     | -0.01     | 0          | -0.03           | 0.14                    | 1   |

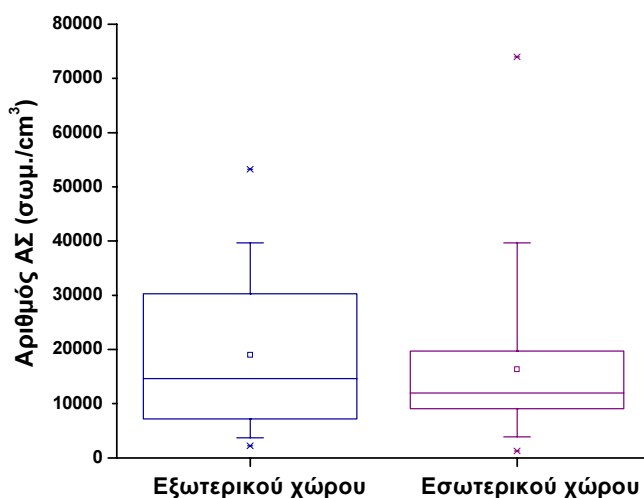
**Σχήμα 5-7:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$  και  $AS_{(10-2.5)}$  εξωτερικού και εσωτερικού χώρου. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



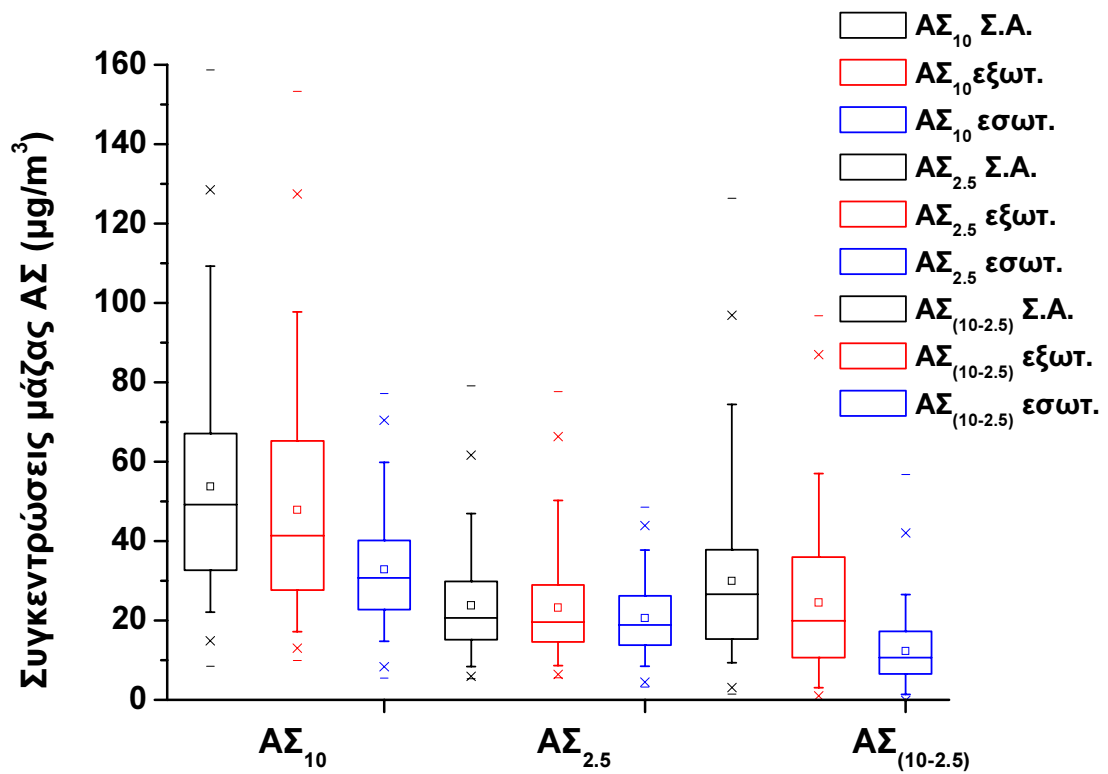
**Σχήμα 5-8:** Συντελεστής απορρόφησης εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, για όλες τις υπό μελέτη κατοικίες. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



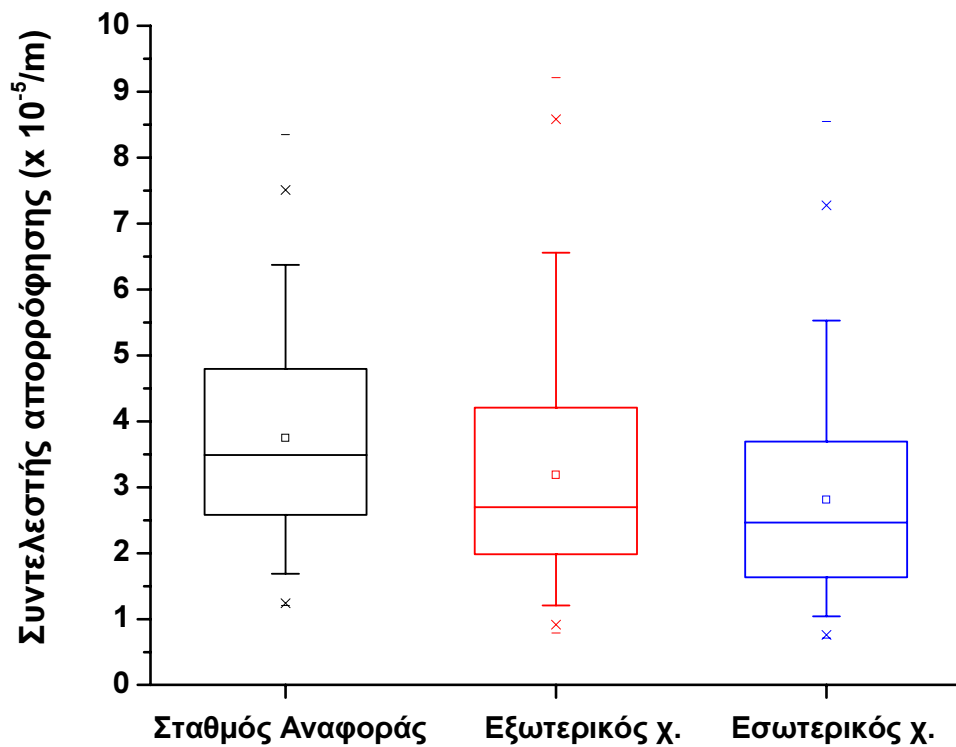
**Σχήμα 5-9:** Συγκέντρωση αριθμού ΑΣ, εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, για όλες τις υπό μελέτη κατοικίες. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



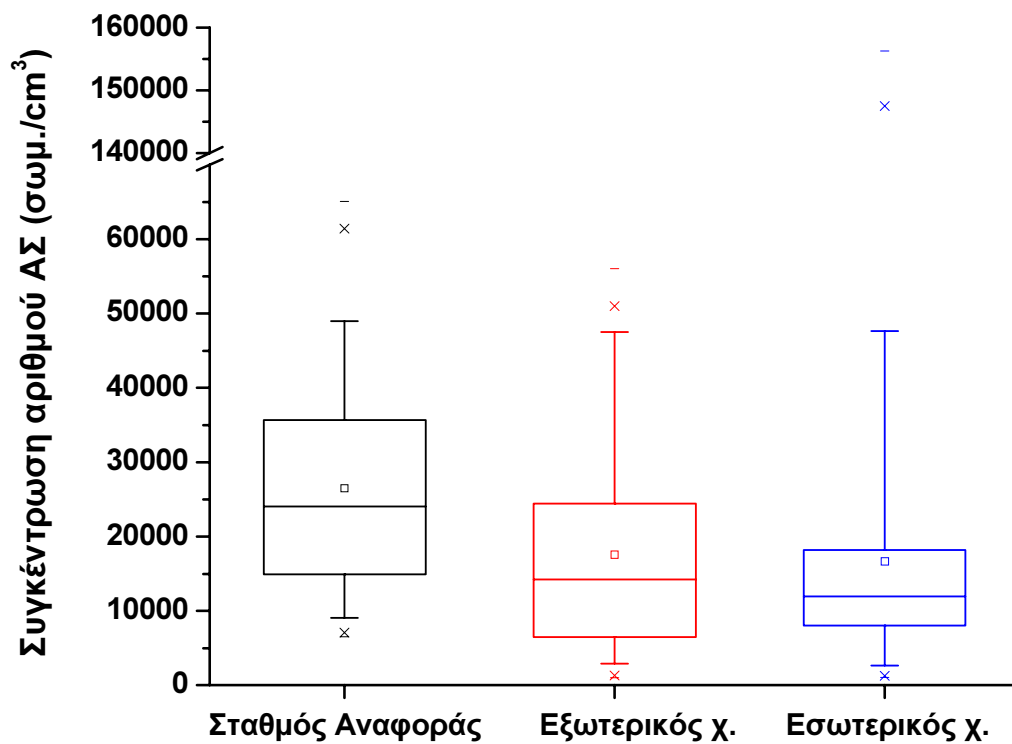
**Σχήμα 5-10:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συγκεντρώσεων μάζας ΑΣ ( $ΑΣ_{10}$ ,  $ΑΣ_{2.5}$ ,  $ΑΣ_{(10-2.5)}$ ), σταθμού αναφοράς, εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, των υπό μελέτη κατοικιών. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (•), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 5-11:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του συντελεστή απορρόφησης σε σταθμό αναφοράς, εξωτερικό και εσωτερικό χώρο, των υπό μελέτη κατοικιών. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 5-12:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του ΑΑΣ, σε σταθμό αναφοράς, εξωτερικό και εσωτερικό χώρο, των υπό μελέτη κατοικιών. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



#### 5.4 Συσχέτιση συγκεντρώσεων ΑΣ εσωτερικού χώρου κατοικιών – εξωτερικού χώρου

Από το σύνολο των δεδομένων των κατοικιών εσωτερικού – εξωτερικού χώρου υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης Pearson (

Πίνακας 5-7). Ο υψηλότερος συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε για το συντελεστή απορρόφησης ( $R=0.82$ ). Ακολουθούν τα λεπτά ΑΣ ( $R=0.54$ ) και τα ΑΣ<sub>10</sub> ( $R=0.50$ ), με τα αδρά ΑΣ και τον ΑΑΣ να παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή συσχέτισης.

**Πίνακας 5-7:** Συντελεστές Pearson ( $R$ ) για το σύνολο των δεδομένων εξωτερικού και εσωτερικού χώρου των κατοικιών.

|          | ΑΣ <sub>10</sub> | ΑΣ <sub>2.5</sub> | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub> | Συντελεστής Απορ/σης | ΑΑΣ  |
|----------|------------------|-------------------|------------------------|----------------------|------|
| <b>R</b> | 0.50             | 0.54              | 0.28                   | 0.82                 | 0.35 |

Η αέρια ρύπανση εσωτερικού χώρου, επηρεάζεται από τη διείσδυση των ρύπων εξωτερικού χώρου εντός της κατοικίας και από τις πηγές εσωτερικού χώρου (Hoek et al., 2008). Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση του εξωτερικού αέρα και των πηγών που υπάρχουν στον εσωτερικό χώρο, βασιζόμενες στο μοντέλο διατήρησης της μάζας (Meng et al., 2005; Polidori et al, 2007). Σύμφωνα με μελέτη των Meng et al. (2005), υποθέτοντας ότι υπάρχει στιγμιαία, πλήρη, ανάμειξη του αέρα και ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα ΑΣ, στον εσωτερικό χώρο, είναι σταθεροί ή μεταβάλλονται με μικρό ρυθμό, κατά τη διάρκεια της καταγραφής, η συγκέντρωση των ΑΣ μπορεί να περιγραφεί από το μοντέλο ισοζυγίου μάζας (εξίσωση συνέχειας):

$$V \left( \frac{dC_i}{dt} \right) = PVaC_o - VaC_i + Q_i - kC_iV \quad (1)$$

Σε σταθερές συνθήκες  $\left( \frac{dC_i}{dt} \right) = 0$ , η εξίσωση (1) γίνεται:

$$C_i = \frac{PaC_o}{a+k} + \frac{Q_i/V}{a+k} = F_{INF} C_o + C_{pig} = C_{oi} + C_{pig} \quad (2)$$

Όπου:  $C_i$  η συγκέντρωση ΑΣ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε εσωτερικό χώρο,

$C_o$  : η συγκέντρωση ΑΣ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε εξωτερικό χώρο,

$P$  : ο συντελεστής διείσδυσης,

$a$  : ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα ( $\text{h}^{-1}$ ),

$k$  : ο ρυθμός εξασθένισης ( $\text{h}^{-1}$ ),

$Q_{oi}$  : ένταση των πηγών ΑΣ εσωτερικού χώρου και

$V$ : ο όγκος της κατοικίας ( $\text{m}^3$ )

$F_{INF}$ : ο παράγοντας φιλτραρίσματος  $Pa/(a+k)$  περιγράφει το ποσό των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου που εισέρχονται στον εσωτερικό χώρο της κατοικίας.

Ο 1<sup>ος</sup> όρος της σχέσης (2), περιγράφει τη συνεισφορά των ΑΣ εξωτερικού χώρου ( $C_{oi}$ :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ενώ ο 2<sup>ος</sup> όρος περιγράφει τα ΑΣ που παράγονται, εντός της κατοικίας, στο εσωτερικό περιβάλλον ( $C_{pig}$ :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Meng et al., 2005; Hanninen et al., 2004; Ho et al., 2004).

Για τις ημέρες, κατά τις οποίες υπήρχαν δεδομένα, για κάθε παράμετρο, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, έγινε γραμμική συσχέτιση των συγκεντρώσεων. Από τα εξαγόμενα αποτελέσματα, οι κλίσεις των ευθειών ( $K$ ) περιγράφουν τον παράγοντα  $F_{INF}$  ενώ οι τεταγμένες επί την αρχή (TEA), τη συνεισφορά των πηγών εσωτερικού χώρου (Πίνακας 5-8).

Στον Πίνακα 5-8, παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των συγκεντρώσεων εξωτερικού – εσωτερικού χώρου, οι κλίσεις των ευθειών ( $K$ ) καθώς και η τεταγμένη επί την αρχή (TEA). Επιπλέον, από τα εξερχόμενα, ανά κατοικία, αποτελέσματα υπολογίστηκαν η μέση τιμή, η διάμεσος, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, όλων των συντελεστών, καθώς και τα εκατοστημόρια 25% και 75%.

Από τον Πίνακα 5-8 φαίνεται ότι, οι συντελεστές συσχέτισης  $R$ , μεταξύ των  $AS_{10}$  εσωτερικού – εξωτερικού χώρου, είναι θετικοί και κυμαίνονται από 0.02, στην κατοικία (119) στην περιοχή του Χολαργού, όπου υπήρχε έντονη δραστηριότητα εντός της, μέχρι 0.97 σε ισόγειο διαμέρισμα, στο ύψος του εδάφους, στην περιοχή Π. Φαλήρου (131), με

κήπο στην πρόσοψη. Συνολικά 17 κατοικίες παρουσιάζουν υψηλή, θετική συσχέτιση των  $AS_{10}$  ( $R \geq 0.7$ ), γεγονός που οφείλεται, κυρίως, στην υψηλή συσχέτιση των  $AS_{2.5}$  ( $R \geq 0.6$ ). Αντίστοιχα, οι συντελεστές  $R$  των  $AS_{2.5}$  κυμαίνονται από 0.05 στην κατοικία (129, Γλυφάδα) μέχρι και 0.97 στην κατοικία (133, Ν. Ιωνία). Οι συντελεστές  $R$  των αδρών  $AS$  κυμάνθηκαν από 0.01 στην κατοικία (112, κέντρο Αθήνας), μέχρι και 0.99 στην κατοικία (118, Ν. Ιωνία). Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι κατοικίες (133) και (118) που βρίσκονταν στην περιοχή της Ν. Ιωνίας, βρέθηκαν να έχουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εσωτερικού και εξωτερικού χώρου στα  $AS_{10}$  και στα  $AS_{2.5}$  η (118) και στο συντελεστή απορρόφησης η (133).

Σε αρκετές κατοικίες (15) η συσχέτιση αδρών  $AS$  εξωτερικού – εσωτερικού χώρου ήταν χαμηλότερη από αυτήν των  $AS_{10}$  και των λεπτών  $AS$ , ενώ σε 7 κατοικίες ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ( $R$ ) του  $AAΣ$  ήταν μικρότερος των υπόλοιπων, πιθανώς λόγω μεγαλύτερης απώλειας διαμέσου της διείσδυσης (infiltration) των αδρών και των υπέρλεπτων (ultrafine)  $AS$ . Οι χαμηλές συσχετίσεις των αδρών  $AS$  και του  $AAΣ$ , μπορεί να ερμηνευτούν και από τις πηγές εσωτερικού χώρου καθώς σε πολλές μελέτες έχει καταγραφεί ότι σε κατοικίες μη καπνιστών, υπάρχουν σημαντικότερες πηγές υπέρλεπτων (ultrafine) και αδρών (coarse)  $AS$  παρά λεπτών (fine)  $AS$  (Hoek et al., 2008; Abt et al., 2000; Long et al., 2001; Pekkanen and Kulmala 2004).

Επίσης, οι χαμηλοί συντελεστές συσχέτισης οφείλονται στις μεταβολές, από κατοικία - σε κατοικία, λόγω επίδρασης των διαφορετικών «εξωτερικών» και «εσωτερικών» χαρακτηριστικών των κατοικιών, των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών και του ρυθμού ανανέωσης του αέρα. Οπότε θεωρείται αναγκαία η μελέτη του πώς επηρεάζονται οι συντελεστές συσχέτισης από τα χαρακτηριστικά των κατοικιών.

Ο υψηλότερος βαθμός διείσδυσης των λεπτών  $AS$ , σε σύγκριση με τα αδρά  $AS$  εξωτερικού χώρου, είναι μια άλλη πιθανή εξήγηση των υψηλών συντελεστών συσχέτισης των  $AS_{2.5}$  και του συντελεστή απορρόφησης (Hoek et al., 2008; Abt et al., 2000b; Long et al., 2001) Οι υψηλότερες συσχετίσεις που εμφανίστηκαν στο συντελεστή απορρόφησης σε σύγκριση με τα λεπτά  $AS$ , πιθανόν να σχετίζονται με μικρότερες απώλειες κατά τη διείσδυση, λόγω του μικρότερου μεγέθους των  $AS$  (Hoek et al., 2008).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, σε περιπτώσεις που δεν υπήρχε έντονη δραστηριότητα, η συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου ήταν περίπου γραμμική (Monn et al, 1997). Σε μελέτη των Meng et al. (2005), οι συντελεστές συσχέτισης βρέθηκαν να είναι υψηλότεροι στις περιπτώσεις κατοικιών όπου ο λόγος I/O ήταν  $<1$  ( $R^2 = 43\text{-}80\%$ ;  $I/O < 1$ , στο  $54\%\text{-}71\%$  των κατοικιών ανά πολιτεία). Αυτό, φαίνεται να ισχύει και στις περισσότερες κατοικίες (19 από 25 με λόγο  $I/O < 1$ ) και πιθανόν να οφείλεται στην χαμηλή επίδραση των πηγών εσωτερικού χώρου ή και στον μικρό ρυθμό ανανέωσης του αέρα.

Κατά την καλοκαιρινή περίοδο, τα ΑΣ εξωτερικού χώρου μπορούν να διεισδύσουν από τα ανοικτά παράθυρα και τις πόρτες. Σε μελέτη των Funasaka et al. (2000), βρέθηκε ότι, δεν υπήρχαν μεγάλες διαφορές στις συγκεντρώσεις  $AS_{10}$  και  $AS_{(10-2.5)}$  εσωτερικού χώρου, μεταξύ των κατοικιών στις οποίες η δειγματοληψία έγινε στην πλευρά που βρισκόταν ο δρόμος και εκείνων στις οποίες η δειγματοληψία έγινε στην πίσω πλευρά του δρόμου, κάτι που ισχύει σε αρκετές από τις υπό μελέτη κατοικίες.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ των συγκεντρώσεων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, για τα  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{10-2.5}$ , του συντελεστή απορρόφησης και του ΑΑΣ. Στο Σχήμα 5-13 παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης Pearson για το σύνολο των κατοικιών. Φαίνεται, ότι ο συντελεστής απορρόφησης παρουσιάζει τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης και ακολουθεί ο ΑΑΣ με τα αδρά ΑΣ να παρουσιάζουν τις χαμηλότερες συσχετίσεις, με μεγάλο εύρος τιμών, γεγονός που συμφωνεί με τα προαναφερθέντα. Στα Σχήμα 5-14, Σχήμα 5-15 και Σχήμα 5-16, παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντελεστές R των  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$   $AS_{(10-2.5)}$  και ανά κατοικία.

Στο Σχήμα 5-17 φαίνονται οι κλίσεις από τη γραμμική συσχέτιση των συγκεντρώσεων εξωτερικού – εσωτερικού χώρου, για το σύνολο των κατοικιών. Όπως αναμενόταν, οι μεγαλύτερες κλίσεις παρουσιάζονται στο συντελεστή απορρόφησης και στα λεπτά ΑΣ, όπου λόγω μεγέθους ο βαθμός διείσδυσής τους είναι μεγαλύτερος, σε σύγκριση με τα αδρά ΑΣ που παρουσιάζουν και το μικρότερο βαθμό διείσδυσης. Αντίστοιχα, το σύνολο των τιμών των κλίσεων για τον ΑΑΣ παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών.

Στα Σχήματα 5-18 μέχρι 5-20, παρουσιάζονται οι τεταγμένες επί την αρχή (TEA-intercept) των συγκεντρώσεων μάζας, του συντελεστή απορρόφησης και του ΑΑΣ, αντίστοιχα, για το σύνολο των κατοικιών. Οι TEA αντιπροσωπεύουν τα ΑΣ που παράγονται στην κατοικία κυρίως λόγω των πηγών εσωτερικού χώρου, ιδιαίτερα για τα ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> παρουσιάζονται υψηλές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου (Πίνακας 5-3). Οι διάμεσες τιμές των TEA είναι για τα ΑΣ<sub>10</sub> (16.4 μg/m<sup>3</sup>), για τα ΑΣ<sub>2.5</sub> (11.1 μg/m<sup>3</sup>) και για τα ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub> (6.7 μg/m<sup>3</sup>).

Στο Σχήμα 5-21 παρουσιάζονται οι TEA αναλυτικά, ανά κατοικία. Όπως αναμενόταν, στις περισσότερες κατοικίες, η επίδραση των δραστηριοτήτων είναι θετική, με συνέπεια την αύξηση των επιπέδων των ΑΣ. Οι κατοικίες με την υψηλότερη τιμή TEA, φαίνεται ότι είναι οι 113 (Γλυφάδα), 114 (Λιοσίων – Αθήνα), 119 (Χολαργός), 124 (Χολαργός) και 129 (Γλυφάδα). Μόνο 6 κατοικίες παρουσιάζουν αρνητική TEA για τα ΑΣ<sub>10</sub> (στις κατοικίες: 118, 121, 125, 132, 133, 135). Στα ΑΣ<sub>2.5</sub> η επίδραση από τις δραστηριότητες παρουσιάζεται αρνητική μόνο σε 2 κατοικίες (122, 132) όπου παρότι υπήρχαν δραστηριότητες που έδρασαν ως πηγές, ο συνδυασμός δραστηριοτήτων όπως το άνοιγμα πόρτας ή παραθύρου και η χρήση απορροφητήρα, βοηθώντας την ανανέωση του εσωτερικού αέρα, έδρασαν ως «καταβόθρες» ΑΣ. Στα αδρά ΑΣ, η TEA εμφανίζεται αρνητική σε 6 κατοικίες (100, 110, 117, 122, 126, 129).

Στο Σχήμα 5-22 παρουσιάζεται η TEA για το συντελεστή απορρόφησης, όπου σε αρκετές κατοικίες (13) είναι αρνητική, δηλαδή τα επίπεδα στον εξωτερικό χώρο ήταν μεγαλύτερα από εκείνα του εσωτερικού χώρου παρουσιάζοντας αντίστοιχα υψηλή κλίση (Πίνακας 5-8). Αντίστοιχα σε 19 κατοικίες η TEA ήταν θετική ενώ σε 4 από αυτές (100, 106, 115, 124, 129) η τιμή της ήταν μεγαλύτερη του 2.

Αντίστοιχα, στο Σχήμα 5-23 παρουσιάζεται η TEA του ΑΑΣ. Στην πλειονότητα των κατοικιών η TEA υπολογίστηκε θετική και μόνο σε 4 κατοικίες έχουμε αρνητική TEA, με μεγαλύτερη εκείνη των κατοικιών (100) και (135). Ειδικά στη κατοικία (135), οι απώλειες από τα κουφώματα του σπιτιού ήταν μεγάλες και ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα ιδιαίτερα μεγάλος, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες κατοικίες. Έτσι, παρότι υπήρχαν πολλές πηγές στον εσωτερικό χώρο προφανώς υπήρχε γρήγορη διασπορά τους λόγω του εισερχόμενου αέρα από τον εξωτερικό, περιβάλλοντα χώρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, από τις ωριαίες τιμές του ΑΑΣ εξωτερικού – εσωτερικού χώρου, προέκυψε ότι κατά τους

καλοκαιρινούς μήνες που τα παράθυρα και οι μπαλκονόπορτες των κατοικιών ήταν ανοιχτά, ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ήταν αρκετά υψηλός ( $R=0.83$ ) με τον παράγοντα της διείσδυσης (κλίση) επίσης υψηλό 1.33 και την TEA -378 σωμ./cm<sup>3</sup>.

Οι υψηλές τιμές που παρουσιάζονται σε ορισμένες κατοικίες στα ΑΣ<sub>10</sub> ( $\geq 20$  μg/m<sup>3</sup>), οφείλονται κυρίως στο συνδυασμό περισσότερων της μιας δραστηριοτήτων, που λαμβάνουν χώρα, κατά τη διάρκεια μίας ημέρας, όπως μαγείρεμα σε συνδυασμό με τηγάνισμα ή κάπνισμα τσιγάρου (Κεφ. 6<sup>ο</sup>). Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση των κατοικιών που παρουσιάζουν αυξημένη επίδραση από τις πηγές εσωτερικού χώρου στα ΑΣ<sub>2.5</sub>. Στα αδρά ΑΣ, η επίδραση από τις δραστηριότητες εσωτερικού χώρου παρουσίασε επίπεδα  $\geq 20$  μg/m<sup>3</sup> μόνο σε 2 κατοικίες, όπου η έντονη δραστηριότητα των παιδιών παιχνίδι - τρέξιμο (κατοικία 119), σε συνδυασμό με δραστηριότητες όπως ξεσκόνισμα (που βοηθούν στην επαναιώρηση της σκόνης) και καθάρισμα με χρήση σπρέυ (που συμβάλλουν στην παραγωγή υδροσταγονιδίων).

Τα παραπάνω αποτελέσματα, αποτελούν απόδειξη ότι το μέγεθος των ΑΣ και η σύστασή τους επηρεάζουν τον βαθμό διείσδυσης των ΑΣ εξωτερικού χώρου, του περιβάλλοντος αέρα, μέσα στην κατοικία (Hoek et al, 2008). Παλιότερες μελέτες, έχουν δείξει, ότι η διείσδυση των αδρών ΑΣ και των πολύ λεπτών ΑΣ (UFP) είναι μικρότερη από εκείνη των λεπτών ΑΣ (Abt et al, 2000a; Long et al, 2001; Sarnat-Ebelt et al, 2006). Σε 9 κατοικίες, μη καπνιστών, στην Βοστώνη βρέθηκε ότι η μέση τιμή του παράγοντα της διείσδυσης ήταν 0.74 για τα ΑΣ<sub>2.5</sub> και 0.28 για τα αδρά ΑΣ. Για ΑΣ με αεροδυναμική διάμετρο 0.02 μέχρι 0.1 μm, ο βαθμός διείσδυσης υπολογίστηκε μεταξύ 0.5 και 0.7 (Long et al, 2000). Σε δύο σπίτια μη κατοικήσιμα στο Los Angeles, ο παράγοντας διείσδυσης για τα ΑΣ<sub>2.5</sub> βρέθηκε μεταξύ 0.38 και 0.52 και του ΑΑΣ μεταξύ 0.46 και 0.78 (Polidori et al., 2007).

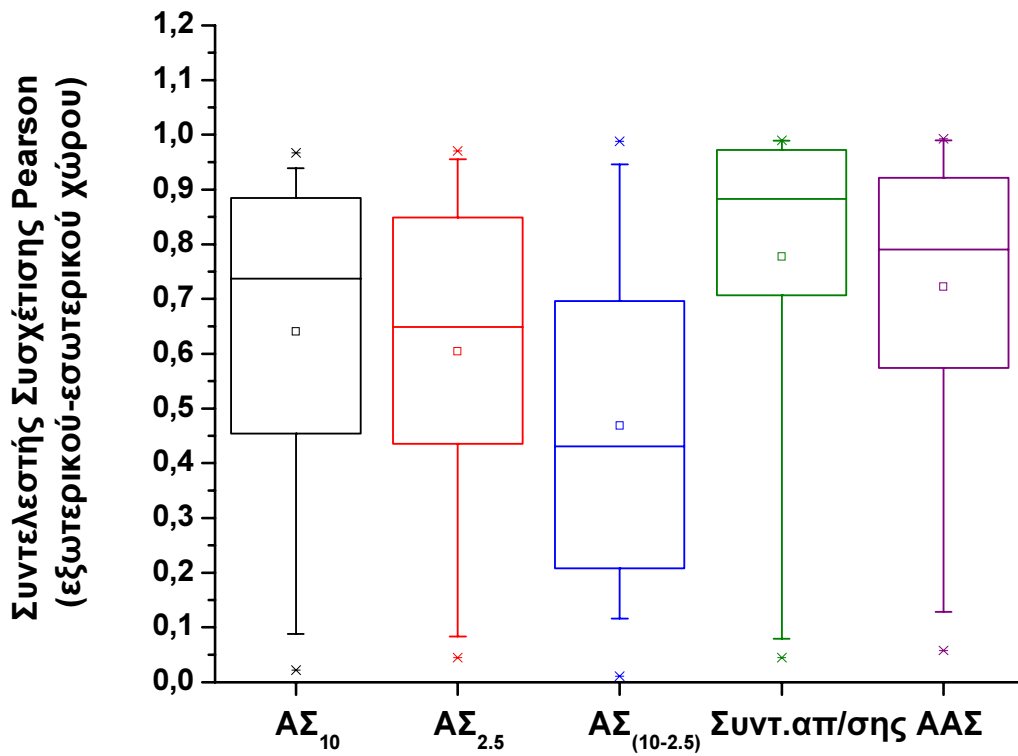
**Πίνακας 5-8:** Συντελεστές συσχέτισης Pearson (και αριθμός έγκυρων τιμών), κλίσεις και τεταγμένες επί την αρχή για  $A\Sigma_{10}$ ,  $A\Sigma_{2.5}$ ,  $A\Sigma_{10-2.5}$ , συντελεστή απορρόφησης και ΑΑΣ, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

| ID  | R<br>( $A\Sigma_{10}$ ) | K<br>( $A\Sigma_{10}$ ) | TEA<br>( $A\Sigma_{10}$ ) | R<br>( $A\Sigma_{2.5}$ ) | K<br>( $A\Sigma_{2.5}$ ) | TEA<br>( $A\Sigma_{2.5}$ ) | R<br>( $A\Sigma_{10-2.5}$ ) | K<br>( $A\Sigma_{10-2.5}$ ) | TEA<br>( $A\Sigma_{10-2.5}$ ) | R<br>(συντ.<br>απ/σης) | K<br>(συντ.<br>απ/σης) | TEA<br>(συντ.<br>απ/σης) | R<br>(ΑΑΣ)   | K<br>(ΑΑΣ) | TEA<br>(ΑΑΣ) |
|-----|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|------------|--------------|
| 100 | 0.09<br>(7)             | 0.18                    | 24.18                     | 0.10<br>(7)              | 0.18                     | 18.89                      | 0.17<br>(7)                 | 0.32                        | -1.01                         | 0.40<br>(7)            | 0.32                   | 2.35                     | 0.82<br>(6)  | 1.88       | -<br>17226   |
| 104 | 0.15<br>(7)             | 0.07                    | 16.79                     | 0.67<br>(6)              | 0.65                     | 0.10                       | 0.30<br>(6)                 | -0.36                       | 12.43                         | 0.38<br>(6)            | 0.48                   | 0.53                     | 0.67<br>(9)  | 0.36       | 1453         |
| 105 | 0.93<br>(7)             | 0.49                    | 9.55                      | 0.89<br>(7)              | 0.74                     | 11.99                      | 0.19<br>(7)                 | 0.10                        | 6.53                          | 0.69<br>(7)            | 0.92                   | 1.41                     | 0.59<br>(9)  | 0.54       | 5129         |
| 106 | 0.65<br>(7)             | 0.21                    | 18.17                     | 0.59<br>(5)              | 0.16                     | 14.41                      | 0.43<br>(5)                 | 0.05                        | 9.67                          | 0.05<br>(5)            | -0.03                  | 4.53                     | 0.57<br>(7)  | 0.16       | 6865         |
| 107 | 0.93<br>(7)             | 0.87                    | 4.10                      | 0.85<br>(7)              | 0.57                     | 9.07                       | 0.51<br>(7)                 | 0.62                        | 5.93                          | 0.88<br>(7)            | 0.68                   | 1.55                     | 0.89<br>(7)  | 0.39       | 8115         |
| 108 | 0.49<br>(7)             | 0.52                    | 18.86                     | 0.92<br>(7)              | 0.53                     | 11.72                      | 0.19<br>(7)                 | 0.58                        | 6.70                          | 0.98<br>(7)            | 0.96                   | 0.72                     | 0.86<br>(8)  | 0.22       | 12756        |
| 109 | 0.88<br>(5)             | 0.19                    | 28.63                     | 0.77<br>(5)              | 0.23                     | 16.48                      | 0.73<br>(5)                 | 0.19                        | 11.20                         | 0.99<br>(5)            | 0.64                   | 0.42                     | 0.57<br>(5)  | 0.36       | 14709        |
| 110 | 0.74<br>(7)             | 0.56                    | 10.40                     | 0.08<br>(6)              | 0.09                     | 19.01                      | 0.83<br>(6)                 | 0.47                        | -1.09                         | 0.93<br>(6)            | 1.07                   | 0.02                     | 0.73<br>(8)  | 0.45       | 2712         |
| 111 | 0.90<br>(4)             | 0.48                    | 6.59                      | 0.96<br>(4)              | 0.50                     | 0.48                       | 0.61<br>(4)                 | 0.45                        | 5.78                          | 0.99<br>(4)            | 1.03                   | -0.19                    | 0.79<br>(8)  | 0.23       | 10680        |
| 112 | 0.46<br>(7)             | 0.34                    | 16.96                     | 0.85<br>(7)              | 0.73                     | 3.40                       | 0.01<br>(7)                 | 0.01                        | 11.38                         | 0.98<br>(7)            | 0.86                   | 0.21                     | 0.56<br>(10) | 0.20       | 18488        |
| 113 | 0.35<br>(7)             | -0.19                   | 62.63                     | 0.25<br>(7)              | -0.23                    | 35.28                      | 0.26<br>(7)                 | 0.11                        | 24.50                         | 0.71<br>(7)            | 0.43                   | 0.63                     | 0.29<br>(8)  | 0.35       | 10581        |
| 114 | 0.11<br>(7)             | 0.03                    | 32.06                     | 0.58<br>(7)              | 0.22                     | 16.99                      | 0.12<br>(7)                 | 0.03                        | 6.91                          | 0.91<br>(7)            | 0.627                  | 0.14                     | 0.13<br>(8)  | -0.03      | 12983        |
| 115 | 0.45<br>(6)             | 0.34                    | 22.98                     | 0.77<br>(6)              | 0.78                     | 5.37                       | 0.20<br>(6)                 | 0.13                        | 8.90                          | 0.08<br>(6)            | -0.10                  | 4.49                     | 0.06<br>(7)  | 0.02       | 24269        |

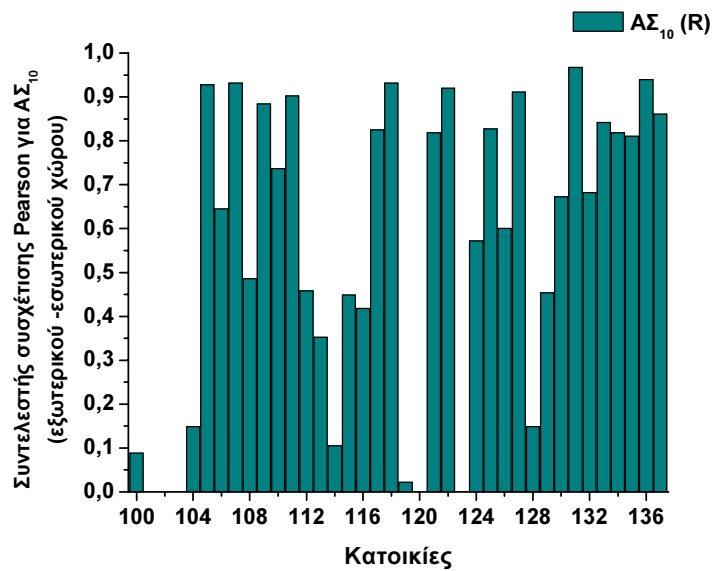
|     |             |       |        |             |       |       |             |       |             |             |       |       |              |      |       |
|-----|-------------|-------|--------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|-------|-------|--------------|------|-------|
| 116 | 0.42<br>(4) | 0.21  | 13.11  | 0.70<br>(4) | 0.46  | 0.69  | 0.38<br>(4) | 0.09  | 6.08        | 0.89<br>(4) | 1.09  | -2.42 | 0.74<br>(6)  | 0.36 | 4754  |
| 117 | 0.83<br>(7) | 0.78  | 0.25   | 0.68<br>(7) | 0.34  | 6.57  | 0.77<br>(7) | 1.08  | -3.51       | 0.54<br>(7) | 1.88  | -1.58 | 0.31<br>(8)  | 0.15 | 13309 |
| 118 | 0.93<br>(3) | 1.23  | -69.64 | 0.44<br>(3) | 0.66  | 11.48 | 0.99<br>(3) | 2.25  | -<br>136.06 | 0.97<br>(3) | 1.33  | -2.24 | (1)          |      |       |
| 119 | 0.02<br>(7) | -0.02 | 39.54  | 0.26<br>(7) | -0.47 | 27.21 | 0.15<br>(6) | -0.11 | 23.72       | 0.82<br>(7) | 0.87  | -0.13 | 0.31<br>(11) | 0.19 | 5945  |
| 120 | (0)         |       |        | (0)         |       |       | (0)         |       |             | (0)         |       |       | (2)          |      |       |
| 121 | 0.82<br>(8) | 0.81  | -7.78  | 0.26<br>(8) | 0.27  | 9.03  | 0.21<br>(8) | 0.11  | 18.91       | 0.76<br>(8) | 0.82  | -0.63 | 0.92<br>(6)  | 1.89 | -3763 |
| 122 | 0.92<br>(8) | 0.36  | 1.13   | 0.96<br>(8) | 1.06  | -5.46 | 0.86<br>(8) | 0.24  | -0.75       | 0.97<br>(8) | 0.81  | -0.10 | 0.90<br>(9)  | 0.93 | 2655  |
| 123 | (2)         |       |        | (2)         |       |       | (2)         |       |             | (2)         |       |       | 0.98<br>(6)  | 1.36 | -2024 |
| 124 | 0.57<br>(6) | -0.51 | 50.46  | 0.56<br>(5) | -2.15 | 60.71 | 0.95<br>(4) | -0.49 | 16.32       | 0.68<br>(5) | -1.67 | 4.83  | 0.97<br>(7)  | 0.83 | 1144  |
| 125 | 0.83<br>(7) | 0.53  | -1.70  | 0.65<br>(7) | 0.25  | 12.01 | 0.16<br>(7) | 0.03  | 14.11       | 0.97<br>(7) | 0.92  | -0.19 | 0.99<br>(9)  | 0.92 | 45    |
| 126 | 0.60<br>(6) | 0.53  | 16.27  | 0.52<br>(7) | 0.58  | 18.08 | 0.57<br>(6) | 0.41  | -0.09       | 0.88<br>(7) | 1.00  | 0.32  | 0.95<br>(7)  | 1.64 | 365   |
| 127 | 0.91<br>(5) | 0.55  | 15.87  | 0.53<br>(7) | 0.28  | 14.23 | 0.50<br>(5) | 0.44  | 10.96       | 0.99<br>(7) | 1.00  | -0.15 | 0.99<br>(8)  | 0.97 | 2450  |
| 128 | 0.15<br>(7) | -0.03 | 22.79  | 0.09<br>(6) | 0.11  | 11.08 | 0.70<br>(6) | 0.20  | 0.90        | 0.83<br>(6) | 0.40  | 0.78  | 0.98<br>(8)  | 1.31 | 45    |
| 129 | 0.45<br>(6) | -0.96 | 52.90  | 0.05<br>(6) | 0.12  | 24.55 | 0.39<br>(6) | 0.84  | -2.08       | 0.15<br>(6) | -0.32 | 2.73  | 0.88<br>(7)  | 0.14 | 745   |
| 130 | 0.67<br>(8) | 0.16  | 20.79  | 0.51<br>(8) | 0.15  | 20.31 | 0.70<br>(8) | 0.19  | 0.17        | 0.83<br>(8) | 0.66  | 0.55  | (1)          |      |       |
| 131 | 0.97<br>(7) | 0.33  | 16.57  | 0.85<br>(7) | 0.54  | 4.73  | 0.87<br>(7) | 0.12  | 12.97       | 0.99<br>(7) | 0.76  | -0.18 | 0.91<br>(5)  | 1.44 | 662   |
| 132 | 0.68        | 0.92  | -2.53  | 0.84        | 1.36  | -4.66 | 0.38        | 0.26  | 8.00        | 0.86        | 1.08  | 0.21  | (0)          |      |       |

|                  |                        |                |              |                        |                |              |                           |               |                |                        |                |                |                        |                |               |
|------------------|------------------------|----------------|--------------|------------------------|----------------|--------------|---------------------------|---------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|---------------|
|                  | (6)                    |                |              | (6)                    |                |              | (6)                       |               |                | (6)                    |                |                |                        |                |               |
| 133              | 0.84<br>(5)            | 0.81           | -50.53       | 0.97<br>(5)            | 0.37           | 2.65         | 0.29<br>(5)               | 0.10          | 15.11          | 0.86<br>(5)            | 0.85           | -0.37          | (0)                    |                |               |
| 134              | 0.82<br>(7)            | 0.29           | 7.32         | 0.95<br>(7)            | 0.47           | 6.43         | 0.54<br>(7)               | 0.09          | 1.37           | 0.97<br>(7)            | 0.84           | -0.06          | 0.78<br>(8)            | 0.76           | 1095          |
| 135              | 0.81<br>(6)            | 1.94           | -19.87       | 0.41<br>(6)            | 0.75           | 8.33         | 0.65<br>(6)               | 0.62          | 1.36           | 0.80<br>(6)            | 0.74           | 0.32           | 0.99<br>(8)            | 9.88           | -<br>50627    |
| 136              | 0.94<br>(7)            | 0.18           | 26.03        | 0.59<br>(7)            | 0.59           | 8.89         | 0.31<br>(7)               | -0.05         | 15.98          | 0.99<br>(7)            | 0.87           | -0.10          | 0.67<br>(7)            | 0.34           | 6585          |
| 137              | 0.86<br>(6)            | 0.39           | 16.44        | 0.90<br>(6)            | 0.63           | 6.91         | 0.57<br>(6)               | 0.29          | 5.95           | 0.99<br>(6)            | 1.06           | -0.35          | 0.89<br>(8)            | 0.68           | 1440          |
| Μέση<br>τιμή     | 0.64 ±<br>0.05<br>(33) | 0.38 ±<br>0.87 | 12.71±4.43   | 0.60 ±<br>0.05<br>(33) | 0.35 ±<br>0.10 | 12.33±2.16   | 0.47<br>±<br>0.05<br>(33) | 0.29±<br>0.08 | 3.55 ±<br>4.54 | 0.78 ±<br>0.05<br>(33) | 0.69 ±<br>0.10 | 0.55 ±<br>0.29 | 0.72 ±<br>0.49<br>(30) | 0.96 ±<br>0.32 | 3211±<br>2329 |
| Διάμεσος<br>(n)  | <b>0.74<br/>(33)</b>   | <b>0.34</b>    | <b>16.44</b> | <b>0.65<br/>(33)</b>   | <b>0.46</b>    | <b>11.08</b> | <b>0.43<br/>(33)</b>      | <b>0.19</b>   | <b>6.70</b>    | <b>0.88<br/>(33)</b>   | <b>0.84</b>    | <b>0.21</b>    | <b>0.80<br/>(30)</b>   | <b>0.42</b>    | <b>2683</b>   |
| Ελάχιστη<br>Τιμή | 0.02                   | -0.96          | -69.64       | 0.05                   | -2.15          | -5.46        | 0.01                      | -0.49         | -<br>136.06    | 0.05                   | -1.67          | -2.42          | 0.06                   | -0.03          | -<br>50627    |
| Μέγιστη<br>Τιμή  | 0.97                   | 1.94           | 62.63        | 0.97                   | 1.36           | 60.71        | 0.99                      | 2.25          | 24.5           | 0.99                   | 1.88           | 4.83           | 0.99                   | 9.88           | 24268         |

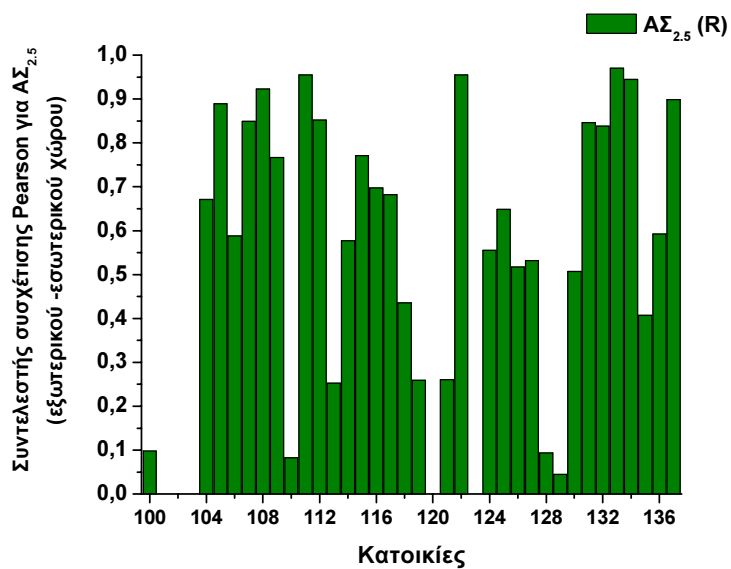
**Σχήμα 5-13:** Συντελεστές συσχέτισης Pearson (R), εσωτερικού – εξωτερικού χώρου για τα  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ , το συντελεστή απορρόφησης και τον ΑΑΣ. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



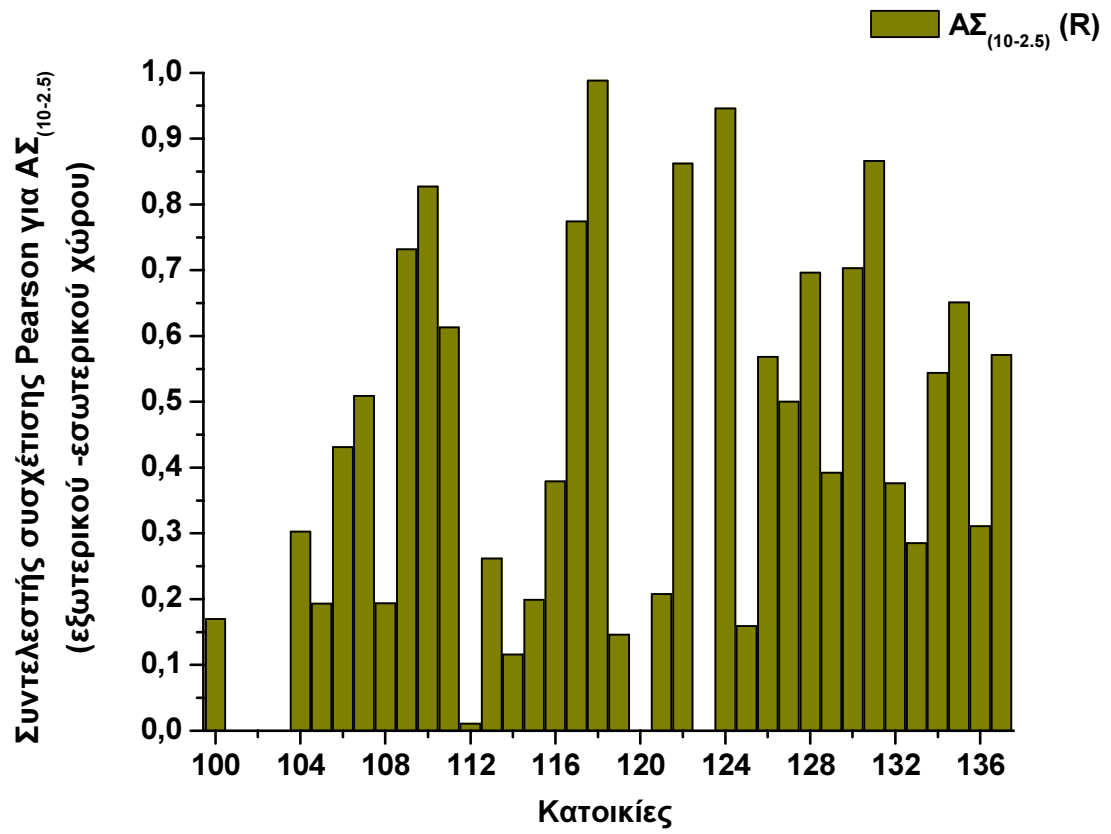
**Σχήμα 5-14:** Συντελεστές συσχέτισης Pearson (R) των ΑΣ<sub>10</sub> εσωτερικού – εξωτερικού χώρου



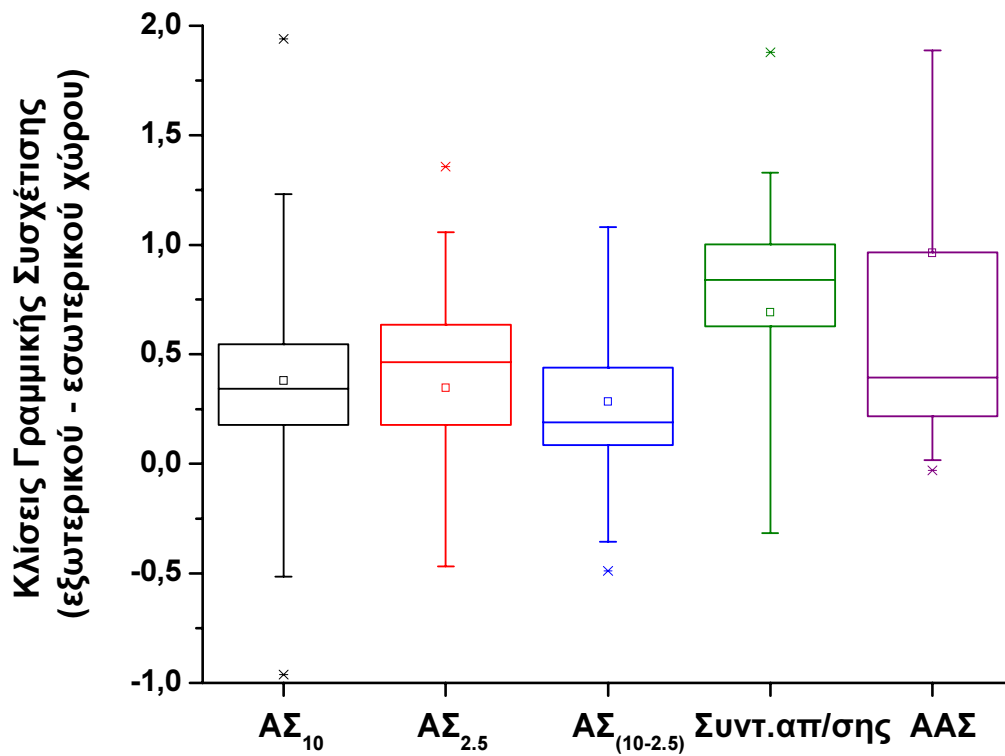
**Σχήμα 5-15:** Συντελεστές συσχέτισης Pearson (R) των ΑΣ<sub>2.5</sub> εσωτερικού – εξωτερικού χώρου



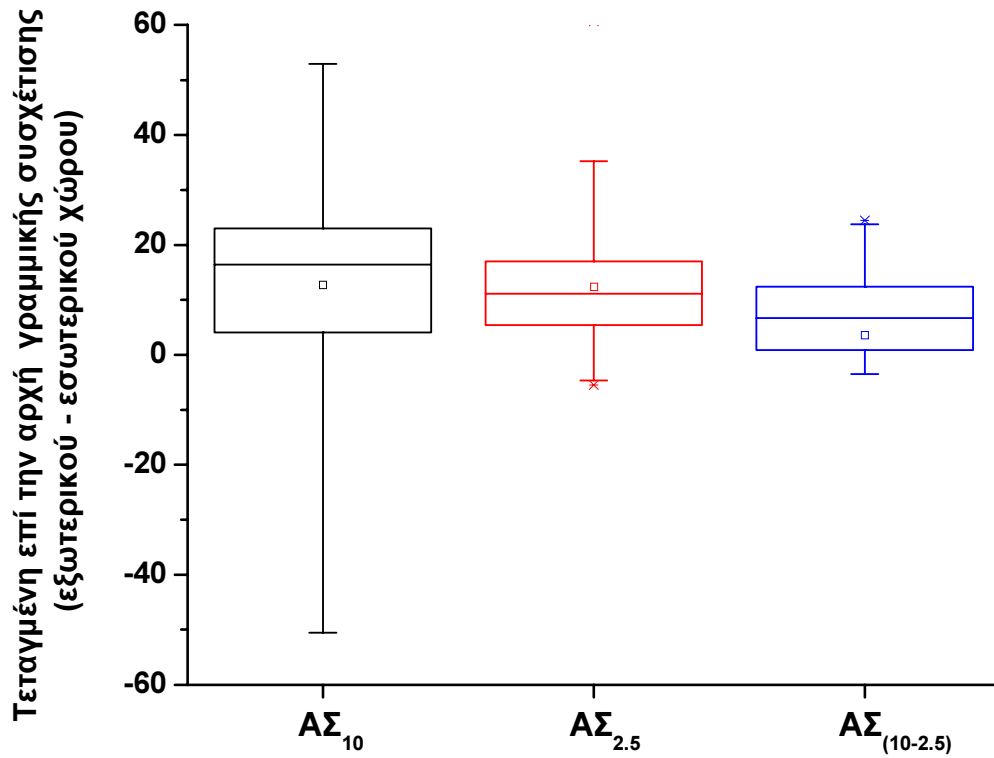
**Σχήμα 5-16:** Συντελεστές συσχέτισης Pearson (R) των  $AS_{(10-2.5)}$  εσωτερικού – εξωτερικού χώρου



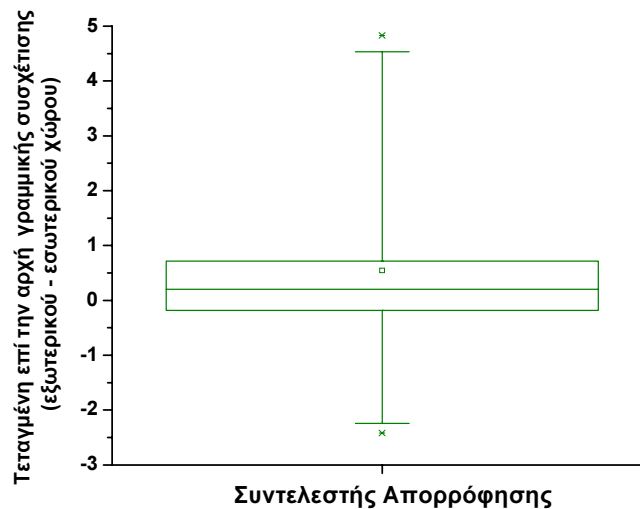
**Σχήμα 5-17:** Θηκόγραμμα των κλίσεων της γραμμικής συσχέτισης των παραμέτρων, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



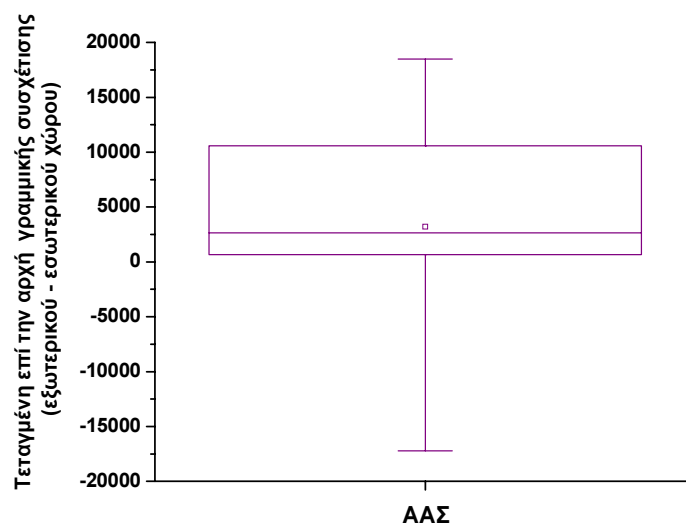
**Σχήμα 5-18:** Τεταγμένη επί την αρχή της γραμμικής συσχέτισης των συσγκεντώσεων μάζας εξωτερικού – εσωτερικού χώρου(Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



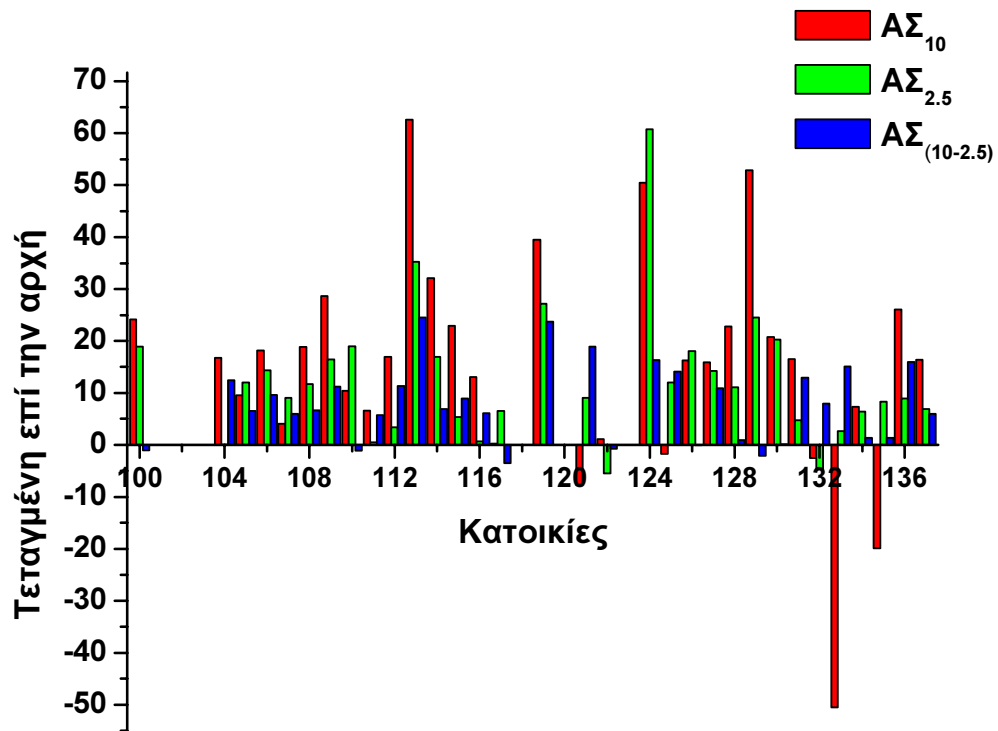
**Σχήμα 5-19:** Τεταγμένη επί την αρχή της γραμμικής συσχέτισης της συντελεστής απορρόφησης εξωτερικού – εσωτερικού χώρου(Στο θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



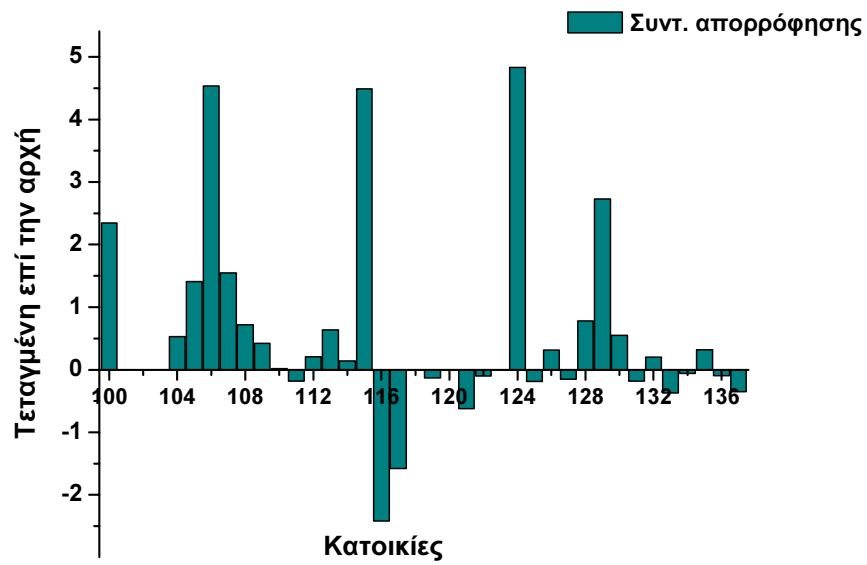
**Σχήμα 5-20:** Τεταγμένη επί την αρχή της γραμμικής συσχέτισης του ΑΑΣ εξωτερικού – εσωτερικού χώρου. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



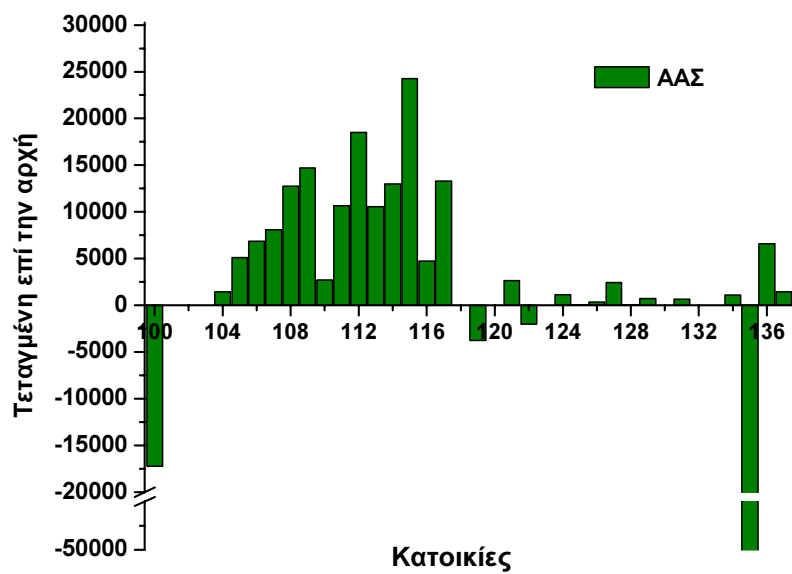
**Σχήμα 5-21:** Τεταγμένη επί την αρχή για τις συγκεντρώσεις ΑΣ εξωτερικού – εσωτερικού χώρου.



**Σχήμα 5-22:** Τεταγμένη επί την αρχή για το συντελεστή απορρόφησης εξωτερικού – εσωτερικού χώρου.



**Σχήμα 5-23:** Τεταγμένη επί την αρχή για τον ΑΑΣ εξωτερικού – εσωτερικού χώρου.



Στα Σχήματα 5-24 μέχρι 5-26 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό, βάσει μοντέλου (Σχέση 2), της συνεισφοράς, στις συγκεντώσεις εσωτερικού χώρου ( $C_{oi}$ ), από τα ΑΣ που παράχθηκαν εντός των κατοικιών ( $C_{ping}$ ) και αυτών που διείσδυσαν από το εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο.

Για τα ΑΣ<sub>10</sub> (Σχήμα 5-24) φαίνεται ότι σε 16 από τις 33 κατοικίες, τα ΑΣ που παράχθηκαν εντός των κατοικιών είναι περισσότερα από αυτά που διείσδυσαν από τον εξωτερικό χώρο. Σε 28 η συνεισφορά του εξωτερικού περιβάλλοντος ήταν θετική, με μέση συνεισφορά 51%. Στις περισσότερες κατοικίες (27), η συνεισφορά από τις πηγές ήταν θετική με μέσο ποσοστό συνεισφοράς στα ολικά ΑΣ<sub>10</sub> εσωτερικού χώρου 63%, ενώ υπάρχουν λίγες περιπτώσεις στις οποίες ήταν αρνητική λόγω μεγάλης συνεισφοράς από τον εξωτερικό χώρο.

Στο Σχήμα 5-25, φαίνεται η συνεισφορά από τις πηγές και τον εξωτερικό χώρο για τα λεπτά ΑΣ. Στην περίπτωση των ΑΣ<sub>2,5</sub>, η συνεισφορά από τα εντός παραγόμενα λεπτά σωματίδια είναι θετική στην πλειονότητα των κατοικιών με μέσο ποσοστό 61% ενώ εμφανίζεται αρνητική μόνο σε 2 κατοικίες (122, 132) όπου η διείσδυση από τον εξωτερικό χώρο ήταν πολύ μεγάλη. Σε 30 κατοικίες η συνεισφορά από τον εξωτερικό χώρο υπολογίστηκε θετική με μέσο ποσοστό το 48%.

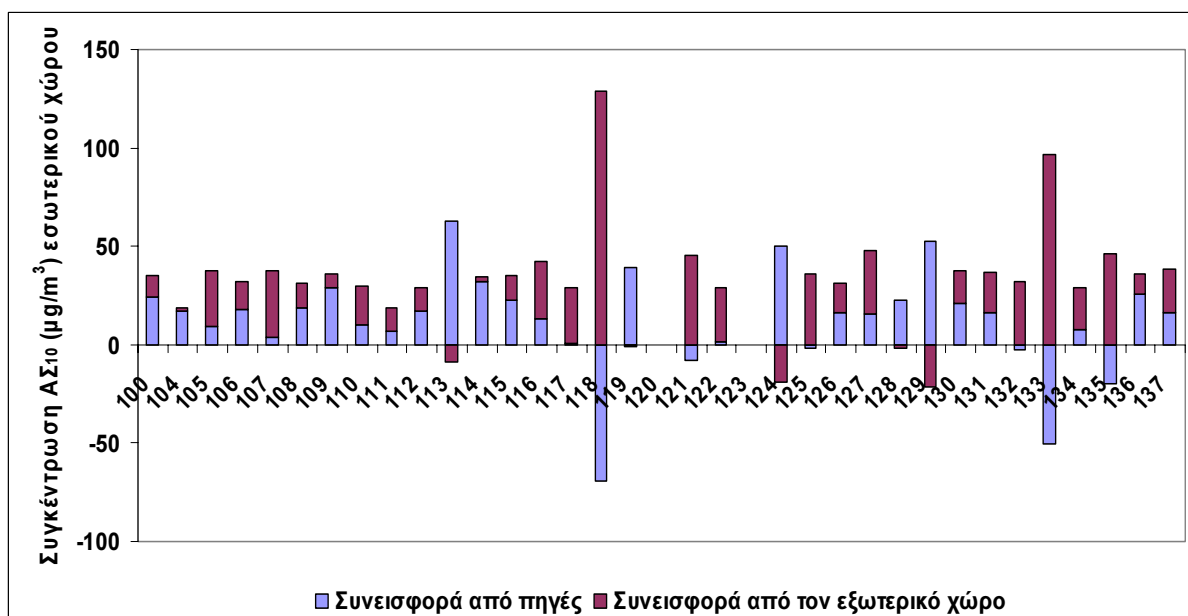
Ομοίως στο Σχήμα 5-26, φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα για τα αδρά ΑΣ, όπου η συνεισφορά από τα εντός παραγόμενα αδρά σωματίδια είναι θετική σε 26 κατοικίες με μέσο ποσοστό 76%, λόγω υψηλού ποσοστού της κατοικίας 118. Η εξαίρεση της κατοικίας 118, λόγω ακραίου ποσοστού, ρίχνει το μέσο ποσοστό 22%. Αντίστοιχα, η συνεισφορά από τον εξωτερικό χώρο υπολογίστηκε θετική σε 29 κατοικίες με μέσο ποσοστό το 36%, το οποίο είναι και το πιο μικρό ποσοστό, σε σύγκριση με των υπολοίπων κλασμάτων μάζας.

Αντίστοιχα, ο συντελεστής απορρόφησης (Σχήμα 5-27) εμφανίζει θετική συνεισφορά από τις δραστηριότητες μέσα στην κατοικία σε 19 σπίτια με μέσο ποσοστό 47% ενώ σε 29 κατοικίες, η συνεισφορά από τον εξωτερικό χώρο υπολογίστηκε θετική, με μέσο ποσοστό 86%.

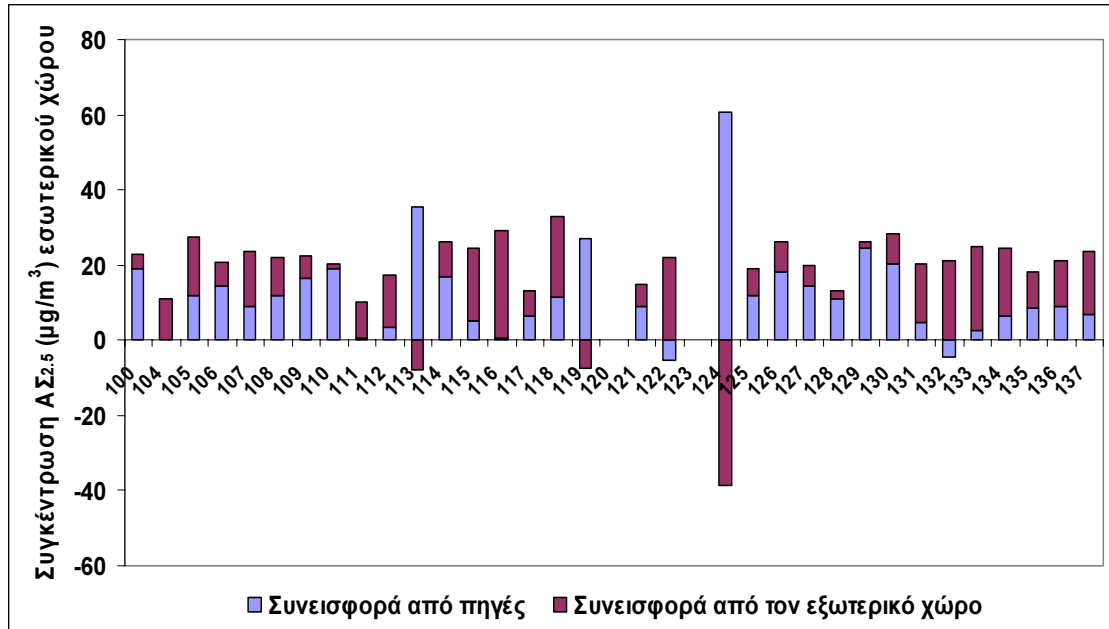
Στον ΑΑΣ η συνεισφορά από τις πηγές εντός των κατοικιών είναι θετική σε 29 σπίτια, με μέσο ποσοστό 43%. Η συνεισφορά από τον εξωτερικό χώρο υπολογίστηκε

θετική σε 29 κατοικίες. Σε 7 κατοικίες το αντίστοιχο ποσοστό είναι μεγάλο ενώ η κατοικία 135 εμφανίζει μέγιστο, διείσδυσης από τον εξωτερικό χώρο, δυσανάλογα με τις υπόλοιπες κατοικίες. Σε κάποιες κατοικίες η συνεισφορά των πηγών εσωτερικού χώρου παρουσιάζεται αρνητική προφανώς λόγω της παρουσίας δραστηριοτήτων που δρουν ως καταβόθρες.

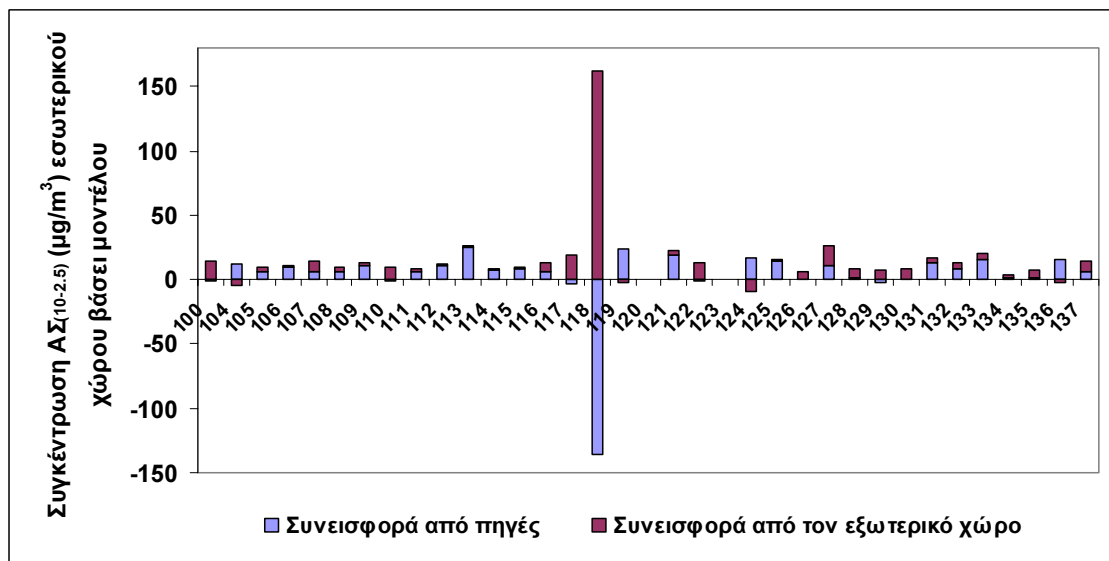
**Σχήμα 5-24:** Υπολογισμός των συγκεντρώσεων  $AS_{10}$  βάσει μοντέλου, όπου φαίνεται η συνεισφορά από τις πηγές εσωτερικού χώρου καθώς και εκείνης από το εξωτερικό περιβάλλον.



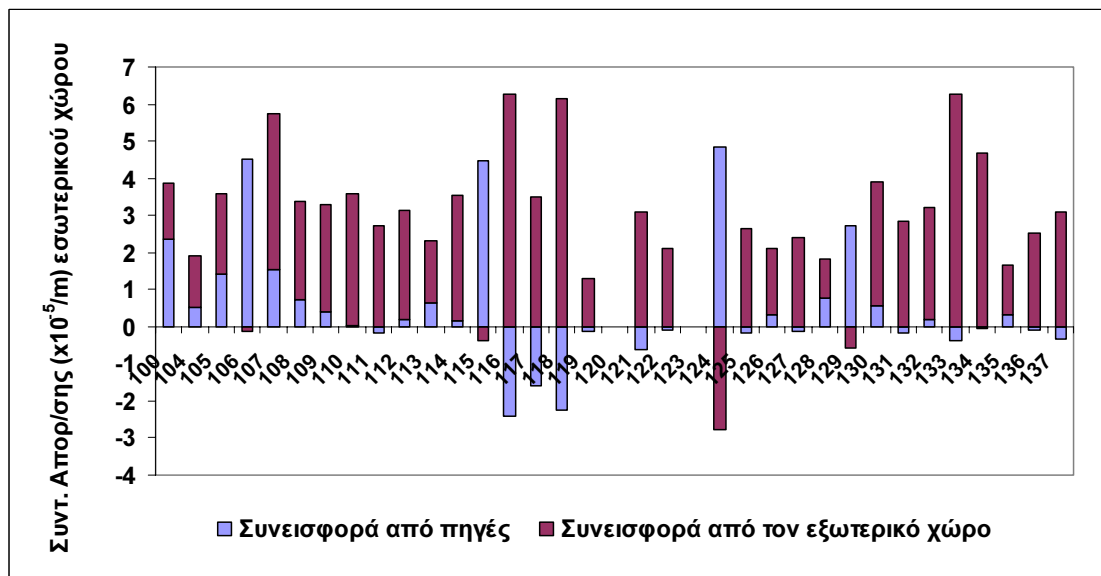
**Σχήμα 5-25:** Υπολογισμός των συγκεντρώσεων  $AS_{2.5}$  βάσει μοντέλου, όπου φαίνεται η συνεισφορά από τις πηγές εσωτερικού χώρου καθώς και εκείνη από το εξωτερικό περιβάλλον.



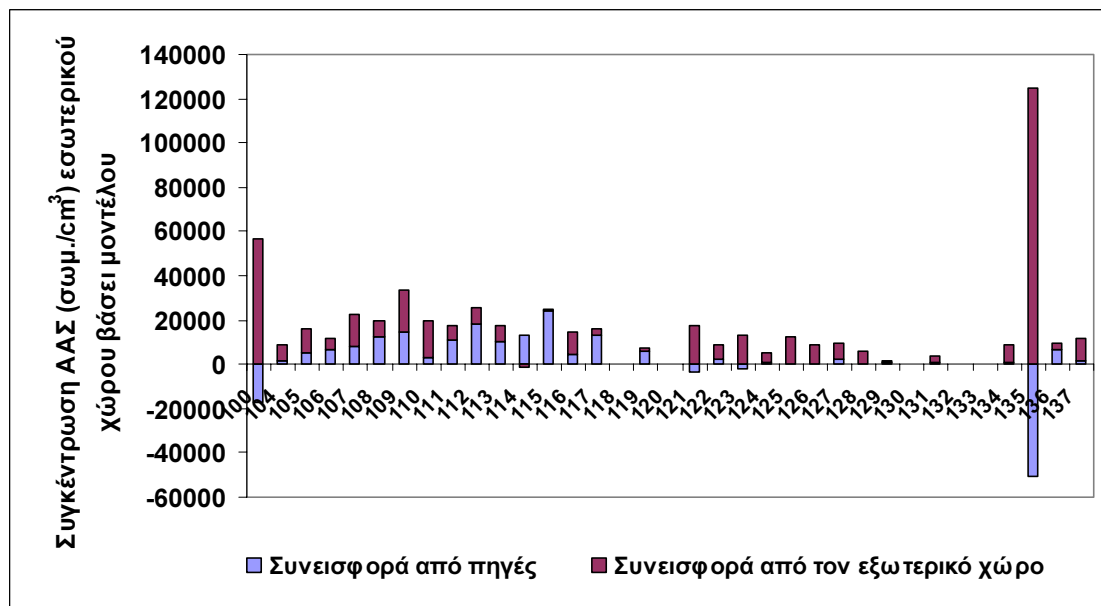
**Σχήμα 5-26:** Υπολογισμός των συγκεντρώσεων  $AS_{(10-2.5)}$  βάσει μοντέλου, όπου φαίνεται η συνεισφορά από τις πηγές εσωτερικού χώρου καθώς και εκείνη από το εξωτερικό περιβάλλον.



**Σχήμα 5-27:** Υπολογισμός του Συντελεστή Απορρόφησης βάσει μοντέλου, όπου φαίνεται η συνεισφορά από τις πηγές εσωτερικού χώρου καθώς και εκείνη από το εξωτερικό περιβάλλον.



**Σχήμα 5-28:** Υπολογισμός του ΑΑΣ βάσει μοντέλου, όπου φαίνεται η συνεισφορά από τις πηγές εσωτερικού χώρου καθώς και εκείνη από το εξωτερικό περιβάλλον.



## 5.5 Συσχέτιση των συντελεστών R με χαρακτηριστικά των κατοικιών

Προκειμένου να βρεθεί η επίδραση διάφορων χαρακτηριστικών των κατοικιών στη συσχέτιση των συγκεντρώσεων (εξωτερικού – εσωτερικού χώρου), μέσω των συντελεστών Pearson R (Πίνακας 5-8), έγινε ο μη παραμετρικός έλεγχος ομοιογένειας Mann-Whitney. Σύμφωνα με τους M-W ελέγχθηκε κατά πόσο οι διάμεσες τιμές δύο κατηγοριών διαφέρουν μεταξύ τους. Τέθηκε η υπόθεση:

$$H_0: \Delta_1 = \Delta_2 \quad (1)$$

$$H_1: \Delta_1 \neq \Delta_2$$

Όπου  $\Delta_1$  και  $\Delta_2$  οι διάμεσες τιμές των 2 κατηγοριών.

Στην προκειμένη περίπτωση τα χαρακτηριστικά των κατοικιών που έπαιξαν το ρόλο της ανεξάρτητης μεταβλητής, είχαν μόνο 2 επίπεδα.

Τα πιο αντιπροσωπευτικά εξωτερικά χαρακτηριστικά τα οποία επιλέχθηκαν ήταν:

- Τοποθεσία της κατοικίας (κέντρο – προάστιο).
- Τύπος περιοχής της κατοικίας (αστικού υποβάθρου – με μεγάλη κίνηση οχημάτων).
- Θέση δειγματοληψίας εκτός κατοικίας σε σχέση με την πρόσοψη του κύριου χώρου της κατοικίας (προς τον πλησιέστερο δρόμο, στην πίσω αυλή - ακάλυπτο χώρο).
- Θέση δειγματοληψίας εντός κατοικίας σε σχέση με την πρόσοψη του κύριου χώρου της κατοικίας (προς τον πλησιέστερο δρόμο, στην πίσω αυλή - ακάλυπτο χώρο).
- Φαινόμενο του καναλισμού (canyon effect).
- Κίνηση των οχημάτων (traffic).

Τα αποτελέσματα του ελέγχου Mann-Whitney, οι τιμές U και p (σε παρένθεση), φαίνονται στον Πίνακα 5-9, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Σύμφωνα με τα κριτήρια για τον έλεγχο Mann-Whitney, όταν η τιμή p είναι μικρότερη του 0.05 ( $p < 0.05$ ), η υπόθεση (1) δεν ισχύει και οι διάμεσες τιμές των 2 κατηγοριών (ανά χαρακτηριστικό) διαφέρουν σημαντικά.

Από τον Πίνακα 5-9 φαίνεται ότι το κριτήριο για την τιμή p εκπληρώνεται στην περίπτωση της «θέσης δειγματοληψίας εκτός κατοικίας», για τους συντελεστές

συσχέτισης R των  $A\Sigma_{10}$  (0.01) και του συντελεστή απορρόφησης (0.04). Επίσης,  $p < 0.05$  στην περίπτωση της «θέσης δειγματοληψίας εντός κατοικίας» μόνο για τα  $A\Sigma_{10}$  (0.04) ενώ για το συντελεστή απορρόφησης έχει τιμή 0.06 η οποία προσεγγίζει το 0.05. Για το φαινόμενο του καναλισμού, το κριτήριο της τιμής p εκπληρώνεται για τα  $A\Sigma_{10}$  (0.02) και τα αδρά  $A\Sigma$  (0.01). Επίσης, η τοποθεσία της κατοικίας (κέντρο ή προάστιο) φαίνεται να επιδρά σε σημαντικό βαθμό στο συντελεστή R του συντελεστή απορρόφησης.

**Πίνακας 5-9:** Αποτελέσματα ελέγχου Mann-Whitney. Για κάθε χαρακτηριστικό της κατοικίας, φαίνονται οι τιμές U (U value) και σε παρένθεση η τιμή p (Exact Sig. [2\*(1-tailed Sig.)]).

|                              | R ( $A\Sigma_{10}$ )    | R ( $A\Sigma_{2.5}$ ) | R ( $A\Sigma_{(10-2.5)}$ ) | R (Συντ. απορ/σης)      | R (ΑΑΣ)        |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|
| Κέντρο-Προάστιο              | 104.0<br>(0.89)         | 86.0<br>(0.39)        | 85.0<br>(0.37)             | 63.5<br>(0.07)          | 69.0<br>(0.39) |
| Αστ. υποβ.-μεγάλη κιν. οχημ. | 111.5<br>(0.72)         | 95.5<br>(0.34)        | 92.0<br>(0.28)             | 117.5<br>(0.89)         | 82.0<br>(0.45) |
| Θέση δειγμ. εκτός κατοικ.    | 22.0<br>( <b>0.01</b> ) | 38.5<br>(0.12)        | 65.0<br>(0.83)             | 30.5<br>( <b>0.04</b> ) | 61.0<br>(0.96) |
| Θέση δειγμ. εντός κατοικ.    | 37.0<br>( <b>0.04</b> ) | 55.5<br>(0.24)        | 80.0<br>(0.98)             | 40.5<br>(0.06)          | 65.0<br>(0.74) |
| Φαιν. καναλισμού             | 62.5<br>( <b>0.02</b> ) | 101.0<br>(0.46)       | 50.0<br>( <b>0.01</b> )    | 103.5<br>(0.51)         | 72.0<br>(0.17) |
| Μεγάλη ή όχι κιν. οχημ.      | 124.0<br>(0.84)         | 91.0<br>(0.16)        | 102.0<br>(0.32)            | 129.5<br>(0.99)         | 88.0<br>(0.50) |

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, οι τιμές του R των  $A\Sigma_{10}$  φαίνεται να επηρεάζονται τόσο από τη θέση της δειγματοληψίας εκτός αλλά και εντός της κατοικίας καθώς και από το φαινόμενο του καναλισμού ενώ των αδρών  $A\Sigma$  μόνο από το φαινόμενο

του καναλισμού και του συντελεστή απορρόφησης μόνο από τη θέση των οργάνων εντός της κατοικίας.

## 5.6 Προσδιορισμός του λόγου των συγκεντρώσεων εσωτερικού/εξωτερικού χώρου

Ο λόγος των συγκεντρώσεων ΑΣ, εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου (I/O), αποτελεί δείκτη προσδιορισμού της προέλευσης των ΑΣ, που βρίσκονται στον εσωτερικό χώρο της κατοικίας. Σύμφωνα με μελέτη των Monn et al. (1997), που πραγματοποιήθηκε σε 17 κατοικίες της Ελβετίας, στις οποίες δεν υπήρχαν πηγές εσωτερικού χώρου και η ανθρώπινη δραστηριότητα ήταν περιορισμένη, ο λόγος I/O των ΑΣ<sub>10</sub> ήταν περίπου 0.7, ενώ στις κατοικίες στις οποίες υπήρχε κάποια ρυπογόνα δραστηριότητα, όπως το συστηματικό κάπνισμα, η τιμή του λόγου αυξανόταν σημαντικά (I/O > 1). Οι τιμές του λόγου, δεν φαίνεται να διαφέρουν και πολύ από την παραπάνω μελέτη, στην περίπτωση γραφείων, όπου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους ο λόγος υπολογίστηκε μεταξύ 0.5 και 0.8 (Matson, 2005). Επίσης, το εύρος τιμών, που παίρνει ο λόγος, δεν φαίνεται να είναι το ίδιο για όλα τα ΑΣ. Σύμφωνα με μελέτη του Li (1994), στα ΑΣ<sub>10</sub> είναι 0.58 - 0.71 ενώ στα ΑΣ<sub>2.5</sub> υπολογίστηκε μεγαλύτερο (0.54 - 0.91).

Στην παρούσα μελέτη, από τις ημερήσιες συγκεντρώσεις, υπολογίστηκε ο λόγος I/O για κάθε παράμετρο. Καθώς η καταγραφή των ΑΣ έγινε υπό κανονικές συνθήκες διαβίωσης και όχι σε ελεγχόμενες, όπως σε άλλες μελέτες, έχουν καταγραφεί τα πραγματικά επίπεδα ΑΣ, σε διάφορα νοικοκυριά και περιοχές των Αθηνών, χωρίς κανένα περιορισμό στις δραστηριότητες των ενοίκων τους.

Στον Πίνακα 5-10 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του λόγου, ανά κατοικία, καθώς και ο αριθμός των έγκυρων τιμών, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή. Η μέση τιμή του λόγου των ΑΣ<sub>10</sub> υπολογίστηκε ( $0.80 \pm 0.03$ ), πάνω από την τιμή των 0.7 η οποία είχε υπολογιστεί από τους Monn et al. (1997), υποδηλώνοντας ότι γενικά υπήρχαν δραστηριότητες, στις υπό μελέτη κατοικίες, που ανέβασαν τα επίπεδα ΑΣ<sub>10</sub> εσωτερικού χώρου. Η ελάχιστη μέση τιμή του λόγου των ΑΣ<sub>10</sub>, παρουσιάζεται στην κατοικία 116 ( $0.30 \pm 0.03$ ), στο Ζεφύρι, λόγω υψηλών συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και η μέγιστη στην 129 ( $1.54 \pm 0.30$ ), στην Γλυφάδα. Η μέση τιμή του λόγου των ΑΣ<sub>2.5</sub> ( $1.01 \pm 0.42$ ), παρουσιάζεται περίπου ίση με τη μονάδα λόγω της ύπαρξης δραστηριοτήτων που οδηγούν στην αύξηση της συγκέντρωσης των λεπτών ΑΣ. Η ελάχιστη μέση τιμή

παρουσιάζεται στην κατοικία (133) στην Ν. Ιωνία ( $0.42 \pm 0.03$ ), λόγω των ιδιαίτερα αυξημένων επιπέδων λεπτών ΑΣ στον εξωτερικό χώρο της κατοικίας. Η μέγιστη τιμή του λόγου για τα ΑΣ<sub>2.5</sub> υπολογίστηκε στην κατοικία (129) στη Γλυφάδα ( $2.22 \pm 0.55$ ), λόγω σχετικά μειωμένων συγκεντρώσεων στον εξωτερικό χώρο της κατοικίας, γεγονός που έχει επηρεάσει τον αντίστοιχο λόγο των ΑΣ<sub>10</sub>.

Η μέση τιμή του λόγου των αδρών ΑΣ υπολογίστηκε ( $0.89 \pm 0.94$ ), μικρότερος από τον αντίστοιχο των λεπτών ΑΣ, με ελάχιστη μέση τιμή στην κατοικία (134) στην περιοχή του Χαλανδρίου ( $0.13 \pm 0.03$ ), λόγω των πολύ μικρών συγκεντρώσεων στο εσωτερικό της κατοικίας και μέγιστη τιμή στην κατοικία (108) στο Πολύγωνο ( $3.38 \pm 1.70$ ) λόγω αυξημένων επιπέδων στον εσωτερικό χώρο της κατοικίας, σε σύγκριση με τα επίπεδα εξωτερικού χώρου που παρουσιάζονται αρκετά μειωμένα.

Ομοίως, ο συντελεστής απορρόφησης έχει μέση τιμή λόγου για το σύνολο των κατοικιών ( $0.93 \pm 0.26$ ), με την ελάχιστη μέση τιμή να παρουσιάζεται στην κατοικία (113) στη Γλυφάδα ( $0.60 \pm 0.04$ ) λόγω σχετικά αυξημένων ημερήσιων τιμών του στον εξωτερικό χώρο σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές εσωτερικού χώρου και μέγιστη στην κατοικία (105) στην Αγ. Παρασκευή ( $1.53 \pm 0.08$ ) λόγω σχετικά αυξημένων ημερήσιων τιμών του στον εσωτερικό χώρο της κατοικίας.

Η μέση τιμή του λόγου για τον ΑΑΣ είναι περίπου 1 ( $1.09 \pm 0.03$ ), με την ελάχιστη μέση τιμή να παρουσιάζεται στην κατοικία (114) στην Λιοσίων (Αθήνα) ( $0.31 \pm 0.03$ ), λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων στον εξωτερικό χώρο της κατοικίας και τη μέγιστη στην κατοικία (135) στη Βουλιαγμένη ( $4.86 \pm 0.94$ ) καθώς οι δραστηριότητες εντός της κατοικίας είχαν αυξήσει υπερβολικά τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου.

Συνολικά, οι τιμές του λόγου για όλες τις παραμέτρους φαίνονται στο Σχήμα 5-29. Στα Σχήματα 5-30 και 5-31, παρουσιάζονται τα θηκογράμματα (boxplots) του λόγου, προερχόμενα από τις ημερήσιες τιμές των συγκεντρώσεων και από τις μέσες τιμές ανά κατοικία, αντίστοιχα. Από τα δύο σχήματα φαίνεται ότι, συνολικά ο λόγος των λεπτών ΑΣ είναι μεγαλύτερος από αυτών των ΑΣ<sub>10</sub> και των αδρών ΑΣ, λόγω των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών. Επίσης, υψηλή τιμή του λόγου εμφανίζει και ο ΑΑΣ ενώ τα αδρά ΑΣ εμφανίζουν το μεγαλύτερο εύρος τιμών του λόγου.

Προκειμένου να διαπιστωθεί, κατά πόσο επηρεάζεται ο λόγος από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κατοικιών (Funasaka et al., 2000) έγιναν ενδεικτικά τα Σχήματα 5-32 μέχρι 5-35. Καθώς ο λόγος I/O των ΑΣ επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις στην περίπτωση των κατοικιών που βρίσκονταν σε προάστια και αυτών που βρίσκονταν στο κέντρο της πόλης (Σχήμα 5-32). Γενικά, στις κατοικίες των προαστίων παρουσιάζεται μεγάλο εύρος των τιμών του λόγου και ο λόγος του ΑΑΣ είναι ιδιαίτερα αυξημένος, σε σύγκριση με τις κατοικίες στο κέντρο της Αθήνας.

Διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται και μεταξύ των κατοικιών που βρίσκονταν σε περιοχές αστικού υποβάθρου και έντονης κυκλοφοριακής κίνησης (Σχήμα 5-33). Ο λόγος των λεπτών ΑΣ εμφανίζεται αυξημένος στις κατοικίες αστικού υποβάθρου λόγω μειωμένων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου σε σύγκριση με τις αυξημένες συγκεντρώσεις λόγω δραστηριοτήτων εντός των κατοικιών.

Στο Σχήμα 5-34, παρουσιάζεται ο λόγος στην περίπτωση των κατοικιών που χαρακτηρίζονται από έντονη κυκλοφοριακή κίνηση (traffic) σε σχέση με αυτές χωρίς κυκλοφοριακή κίνηση, όπου ο λόγος των αδρών ΑΣ παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών στις κατοικίες με έντονη κυκλοφοριακή κίνηση. Επίσης, δεν φαίνεται να υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο υποκατηγοριών, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι λόγω αερισμού υπάρχει μεγάλη διείσδυση των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου στον εσωτερικό.

Στην περίπτωση της κατηγοριοποίησης των κατοικιών που υπόκεινται και αυτών που δεν υπόκεινται στο φαινόμενο του καναλισμού/φαραγγιού (Σχήμα 5-35) η διαφοροποίηση παρουσιάζεται στο λόγο του ΑΑΣ. Οι κατοικίες με καναλισμό έχουν μικρότερη μέση, διάμεσο τιμή και εύρος τιμών καθώς λόγω έλλειψης αερισμού οι συγκεντρώσεις στον εξωτερικό χώρο των κατοικιών είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

Στο Σχήμα 5-36 οι κατοικίες κατηγοριοποιούνται ως προς τη θέση τοποθέτησης των οργάνων καταμέτρησης στον εξωτερικό χώρο (προς την πλευρά του δρόμου ή όπισθεν αυτού). Οι τιμές του λόγου, διαφοροποιούνται, κυρίως ως προς το εύρος τους, με μεγαλύτερο εύρος τιμών για τα ΑΣ<sub>10</sub>, τα αδρά ΑΣ και τον ΑΑΣ στην περίπτωση που τα όργανα βρίσκονταν προς την πλευρά του δρόμου. Αντίστοιχα, ως προς τη θέση των

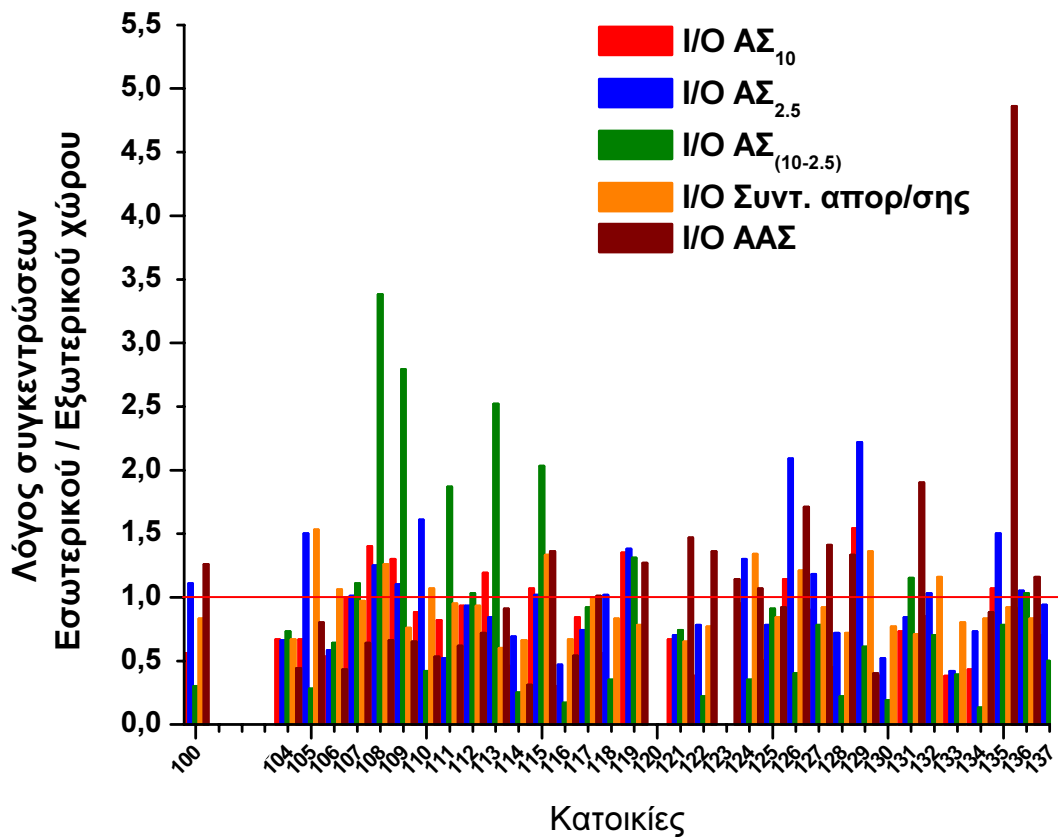
οργάνων στον εσωτερικό χώρο (Σχήμα 5-37) οι τιμές του λόγου δεν διαφοροποιούνται ιδιαίτερα παρά μόνο στα λεπτά ΑΣ, όπου στην περίπτωση που τα όργανα ήταν τοποθετημένα στο σαλόνι, με όψη στην πλευρά του δρόμου, η μέση τιμή και το εύρος τιμών του λόγου παρουσιάζονται μειωμένα λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου.

**Πίνακας 5-10:** Μέση τιμή, ελάχιστη και μέγιστη τιμή του λόγου I/O για κάθε παράμετρο.

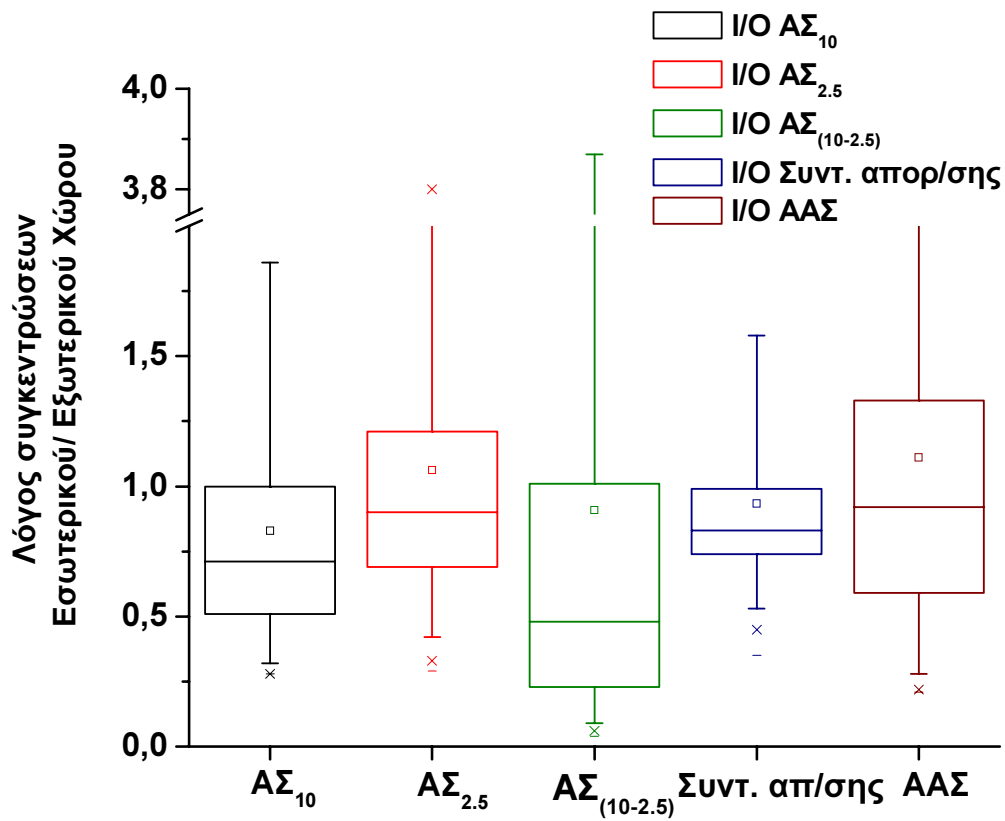
| ID  | (I/O) ΑΣ <sub>10</sub>                  | (I/O) ΑΣ <sub>2.5</sub>                 | (I/O) ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub>            | (I/O) Συντ. Απορρόφησης                 | (I/O) ΑΑΣ                               |
|-----|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|     | <i>(n) M.T. ± ΣΦ<br/>Ελάχ. – Μέγ/τη</i> | <i>(n) M.T. ± ΣΦ<br/>Ελάχ. – Μέγ/τη</i> | <i>(n) M.T. ± ΣΦ<br/>Ελάχ. – Μέγ/τη</i> | <i>(n) M.T. ± ΣΦ<br/>Ελάχ. – Μέγ/τη</i> | <i>(n) M.T. ± ΣΦ<br/>Ελάχ. – Μέγ/τη</i> |
| 100 | (7) 0.56 ± 0.09<br>0.28 – 0.87          | (7) 1.11 ± 0.17<br>0.60 – 1.84          | (7) 0.30 ± 0.06<br>0.09 – 0.54          | (7) 0.83 ± 0.05<br>0.62 – 1.07          | (6) 1.26 ± 0.19<br>0.68 – 2.04          |
| 104 | (7) 0.67 ± 0.04<br>0.55 – 0.86          | (6) 0.66 ± 0.05<br>0.53 – 0.88          | (6) 0.73 ± 0.18<br>0.22 – 1.52          | (6) 0.67 ± 0.05<br>0.51 – 0.85          | (9) 0.44 ± 0.04<br>0.33 – 0.69          |
| 105 | (7) 0.67 ± 0.03<br>0.56 – 0.79          | (7) 1.50 ± 0.16<br>0.96 – 2.10          | (7) 0.28 ± 0.06<br>0.09 – 0.59          | (7) 1.53 ± 0.08<br>1.20 – 1.77          | (9) 0.80 ± 0.07<br>0.57 – 1.23          |
| 106 | (7) 0.53 ± 0.08<br>0.32 – 0.84          | (5) 0.58 ± 0.09<br>0.40 – 0.90          | (5) 0.64 ± 0.19<br>0.24 – 1.29          | (5) 1.06 ± 0.24<br>0.66 – 1.99          | (7) 0.43 ± 0.08<br>0.21 – 0.85          |
| 107 | (7) 1.00 ± 0.06<br>0.82 – 1.28          | (7) 1.01 ± 0.08<br>0.67 – 1.30          | (7) 1.11 ± 0.22<br>0.60 – 2.32          | (7) 0.97 ± 0.09<br>0.82 – 1.52          | (7) 0.64 ± 0.04<br>0.51 – 0.72          |
| 108 | (7) 1.40 ± 0.18<br>0.92 – 2.02          | (7) 1.25 ± 0.13<br>0.88 – 1.86          | (7) 3.38 ± 1.70<br>0.15 – 13.33         | (7) 1.26 ± 0.06<br>1.07 – 1.51          | (8) 0.66 ± 0.06<br>0.50 – 0.97          |
| 109 | (5) 1.30 ± 0.29<br>0.49 – 2.10          | (5) 1.10 ± 0.20<br>0.45 – 1.73          | (5) 2.79 ± 1.16<br>0.56 – 6.27          | (5) 0.76 ± 0.05<br>0.65 – 0.91          | (5) 0.65 ± 0.07<br>0.46 – 0.87          |
| 110 | (7) 0.88 ± 0.08<br>0.70 – 1.27          | (6) 1.61 ± 0.37<br>0.94 – 3.39          | (6) 0.42 ± 0.07<br>0.13 – 0.59          | (6) 1.07 ± 0.04<br>0.91 – 1.22          | (8) 0.53 ± 0.03<br>0.40 – 0.65          |
| 111 | (4) 0.82 ± 0.09<br>0.55 – 0.98          | (4) 0.52 ± 0.06<br>0.41 – 0.68          | (4) 1.87 ± 0.65<br>0.79 – 3.76          | (4) 0.95 ± 0.06<br>0.78 – 1.03          | (8) 0.62 ± 0.03<br>0.47 – 0.74          |
| 112 | (7) 0.93 ± 0.17<br>0.63 – 1.86          | (7) 0.93 ± 0.07<br>0.74 – 1.24          | (7) 1.03 ± 0.35<br>0.36 – 2.89          | (7) 0.93 ± 0.03<br>0.86 – 1.05          | (10) 0.72 ± 0.05<br>0.53 – 1.01         |
| 113 | (7) 1.19 ± 0.17<br>0.63 – 2.01          | (7) 0.84 ± 0.12<br>0.42 – 1.37          | (7) 2.52 ± 0.63<br>1.01 – 5.52          | (7) 0.60 ± 0.04<br>0.45 – 0.76          | (8) 0.91 ± 0.13<br>0.29 – 1.53          |
| 114 | (7) 0.46 ± 0.04<br>0.30 – 0.59          | (7) 0.69 ± 0.10<br>0.42 – 1.26          | (7) 0.25 ± 0.05<br>0.04 – 0.48          | (7) 0.66 ± 0.02<br>0.57 – 0.74          | (8) 0.31 ± 0.03<br>0.22 – 0.52          |
| 115 | (6) 1.07 ± 0.14<br>0.52 – 1.43          | (6) 1.02 ± 0.13<br>0.78 – 1.62          | (6) 2.03 ± 0.79<br>0.19 – 4.95          | (6) 1.33 ± 0.39<br>0.75 – 3.20          | (7) 1.36 ± 0.19<br>0.91 – 2.22          |
| 116 | (4) 0.30 ± 0.03<br>0.25 – 0.37          | (4) 0.47 ± 0.04<br>0.39 – 0.56          | (4) 0.17 ± 0.02<br>0.13 – 0.21          | (4) 0.67 ± 0.02<br>0.63 – 0.71          | (8) 0.54 ± 0.04<br>0.40 – 0.65          |
| 117 | (7) 0.84 ± 0.24                         | (7) 0.74 ± 0.10                         | (7) 0.92 ± 0.52                         | (7) 1.00 ± 0.20                         | (8) 1.01 ± 0.09                         |

|       |                                 |                                 |                                  |                                 |                                 |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|       | 0.33 – 2.25                     | 0.47 – 1.13                     | 0.12 – 3.92                      | 0.61 – 2.14                     | 0.60 – 1.42                     |
| 118   | (3) 0.56 ± 0.06<br>0.44 – 0.62  | (3) 1.02 ± 0.17<br>0.82 – 1.35  | (3) 0.35 ± 0.08<br>0.27 – 0.52   | (3) 0.83 ± 0.07<br>0.71 – 0.93  | (1)                             |
| 119   | (7) 1.35 ± 0.24<br>0.81 – 2.64  | (7) 1.38 ± 0.41<br>0.84 – 3.80  | (6) 1.31 ± 0.18<br>0.75 – 1.78   | (7) 0.78 ± 0.04<br>0.68 – 0.96  | (11) 1.27 ± 0.11<br>0.58 – 1.83 |
| 120   | (0)                             | (0)                             | (0)                              | (0)                             | (2)                             |
| 121   | (8) 0.67 ± 0.03<br>0.58 – 0.88  | (8) 0.70 ± 0.11<br>0.29 – 1.11  | (8) 0.74 ± 0.13<br>0.41 – 1.54   | (8) 0.65 ± 0.07<br>0.35 – 0.88  | (6) 1.47 ± 0.05<br>1.29 – 1.63  |
| 122   | (8) 0.38 ± 0.02<br>0.33 – 0.51  | (8) 0.78 ± 0.04<br>0.62 – 0.92  | (8) 0.22 ± 0.03<br>0.06 – 0.30   | (8) 0.77 ± 0.02<br>0.64 – 0.84  | (9) 1.36 ± 0.08<br>1.07 – 1.86  |
| 123   | (2)                             | (2)                             | (2)                              | (2)                             | (6) 1.14 ± 0.03<br>1.05 – 1.26  |
| 124   | (6) 0.95 ± 0.25<br>0.50 – 2.17  | (5) 1.30 ± 0.28<br>0.77 – 2.35  | (4) 0.35 ± 0.09<br>0.19 – 0.58   | (5) 1.34 ± 0.38<br>0.72 – 2.74  | (7) 1.07 ± 0.03<br>1.00 – 1.19  |
| 125   | (7) 0.50 ± 0.03<br>0.43 – 0.67  | (7) 0.78 ± 0.09<br>0.33 – 0.97  | (7) 0.91 ± 0.57<br>0.22 – 4.34   | (7) 0.84 ± 0.03<br>0.76 – 0.98  | (9) 0.92 ± 0.01<br>0.84 – 0.98  |
| 126   | (6) 1.14 ± 0.12<br>0.89 – 1.52  | (7) 2.09 ± 0.35<br>1.38 – 3.48  | (6) 0.40 ± 0.06<br>0.22 – 0.63   | (7) 1.21 ± 0.09<br>0.90 – 1.58  | (7) 1.71 ± 0.04<br>1.48 – 1.80  |
| 127   | (7) 0.90 ± 0.11<br>0.67 – 1.26  | (7) 1.18 ± 0.18<br>0.47 – 1.95  | (5) 0.78 ± 0.13<br>0.38 – 1.04   | (7) 0.92 ± 0.03<br>0.83 – 1.08  | (7) 1.41 ± 0.09<br>1.05 – 1.76  |
| 128   | (7) 0.45 ± 0.07<br>0.29 – 0.67  | (6) 0.72 ± 0.11<br>0.44 – 1.05  | (6) 0.22 ± 0.04<br>0.09 – 0.42   | (6) 0.72 ± 0.04<br>0.51 – 0.80  | (8) 1.33 ± 0.05<br>1.15 – 1.53  |
| 129   | (6) 1.54 ± 0.30<br>0.85 – 2.49  | (6) 2.22 ± 0.55<br>1.04 – 4.22  | (6) 0.61 ± 0.18<br>0.11 – 1.16   | (6) 1.36 ± 0.40<br>0.76 – 3.31  | (8) 0.40 ± 0.06<br>0.25 – 0.75  |
| 130   | (8) 0.38 ± 0.03<br>0.26 – 0.47  | (8) 0.52 ± 0.03<br>0.42 – 0.63  | (8) 0.19 ± 0.03<br>0.05 – 0.30   | (8) 0.77 ± 0.04<br>0.63 – 1.01  | (1)                             |
| 131   | (7) 0.73 ± 0.10<br>0.45 – 1.11  | (7) 0.84 ± 0.14<br>0.33 – 1.40  | (7) 1.15 ± 0.55<br>0.25 – 4.39   | (7) 0.71 ± 0.04<br>0.51 – 0.89  | (5) 1.90 ± 0.30<br>0.98 – 2.82  |
| 132   | (6) 0.85 ± 0.10<br>0.57 – 1.27  | (6) 1.03 ± 0.12<br>0.65 – 1.50  | (6) 0.70 ± 0.08<br>0.49 – 0.98   | (6) 1.16 ± 0.09<br>0.92 – 1.53  | (0)                             |
| 133   | (5) 0.38 ± 0.03<br>0.33 – 0.49  | (5) 0.42 ± 0.03<br>0.34 – 0.50  | (5) 0.39 ± 0.09<br>0.23 – 0.76   | (5) 0.80 ± 0.06<br>0.66 – 0.93  | (0)                             |
| 134   | (7) 0.43 ± 0.05<br>0.28 – 0.70  | (7) 0.73 ± 0.11<br>0.47 – 1.34  | (7) 0.13 ± 0.03<br>0.06 – 0.25   | (7) 0.83 ± 0.03<br>0.70 – 0.92  | (8) 0.88 ± 0.07<br>0.62 – 1.18  |
| 135   | (6) 1.07 ± 0.15<br>0.73 – 1.54  | (6) 1.50 ± 0.27<br>0.62 – 2.42  | (6) 0.78 ± 0.18<br>0.11 – 1.24   | (6) 0.92 ± 0.08<br>0.79 – 1.29  | (8) 4.86 ± 0.94<br>0.94 – 7.54  |
| 136   | (7) 0.91 ± 0.15<br>0.39 – 1.34  | (7) 1.05 ± 0.11<br>0.66 – 1.52  | (7) 1.03 ± 0.29<br>0.06 – 2.20   | (7) 0.83 ± 0.02<br>0.77 – 0.90  | (7) 1.16 ± 0.05<br>1.00 – 1.35  |
| 137   | (6) 0.70 ± 0.05<br>0.59 – 0.95  | (6) 0.94 ± 0.09<br>0.81 – 1.40  | (6) 0.50 ± 0.05<br>0.35 – 0.65   | (6) 0.94 ± 0.02<br>0.84 – 1.01  | (8) 0.78 ± 0.03<br>0.66 – 0.88  |
| Ολικά | (33) 0.80 ± 0.03<br>0.25 – 2.64 | (33) 1.01 ± 0.42<br>0.29 – 4.22 | (33) 0.89 ± 0.94<br>0.04 – 13.33 | (33) 0.93 ± 0.26<br>0.35 – 3.31 | (30) 1.09 ± 0.63<br>0.21 – 7.54 |

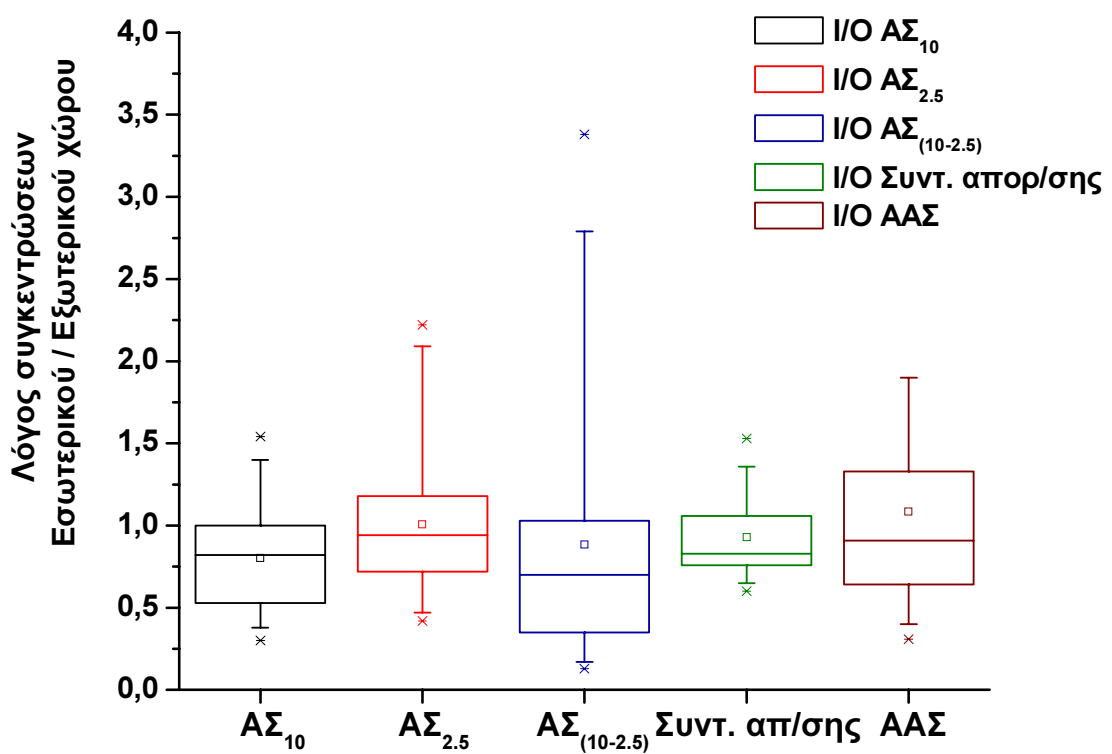
**Σχήμα 5-29:** Ο λόγος συγκεντρώσεων εσωτερικού/εξωτερικού χώρου (I/O), ανά κατοικία, για όλες τις παραμέτρους.



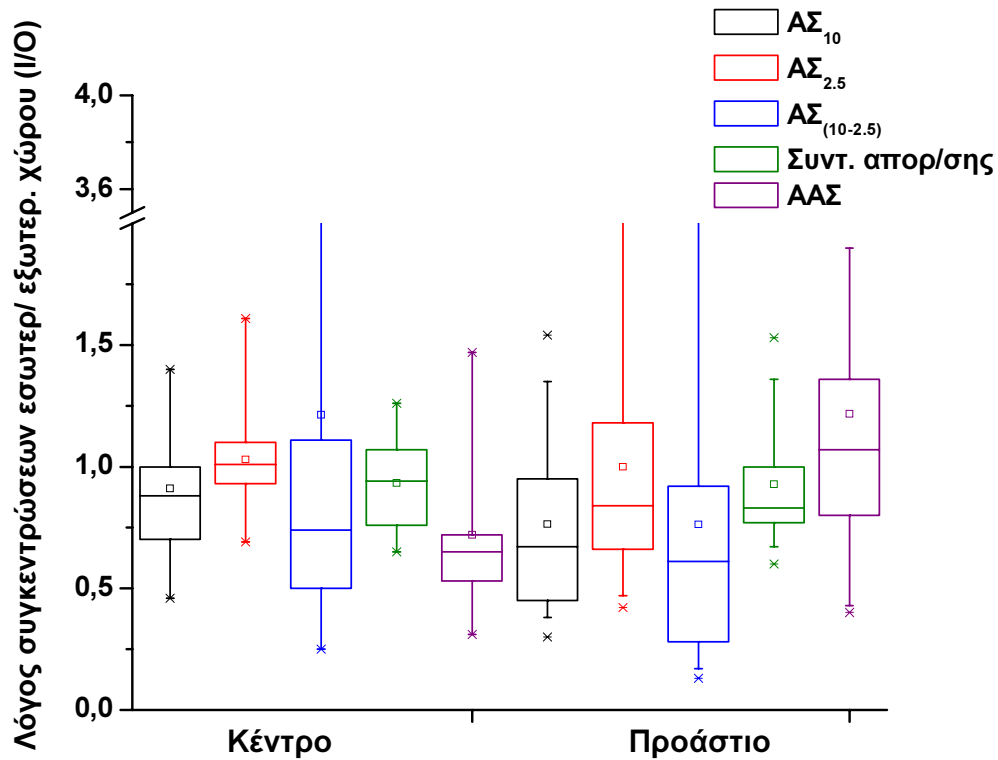
**Σχήμα 5-30:** Ο λόγος συγκεντρώσεων εσωτερικού / εξωτερικού χώρου (I/O) για όλες τις παραμέτρους προερχόμενος από ημερήσιες τιμές. ). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



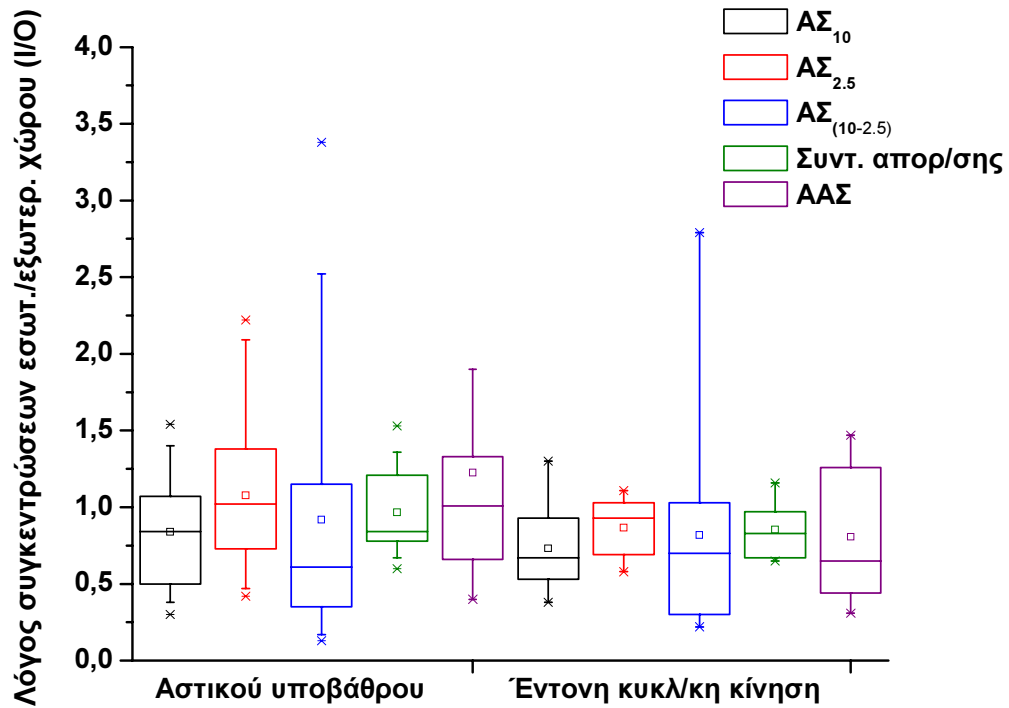
**Σχήμα 5-31:** Ο λόγος συγκεντρώσεων εσωτερικού / εξωτερικού χώρου (I/O) για όλες τις παραμέτρους προερχόμενος από τις μέσες τιμές ανά κατοικία. ). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



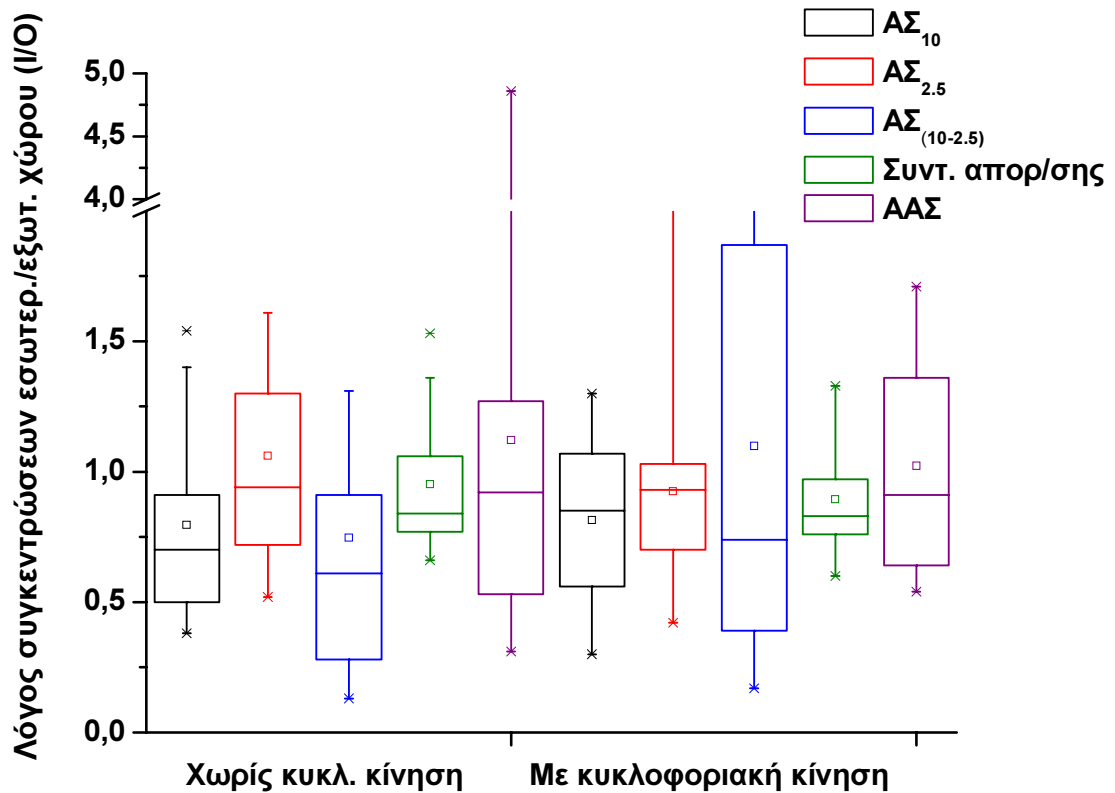
**Σχήμα 5-32:** Ο λόγος I/O για όλες τις παραμέτρους για τις κατοικίες που βρίσκονταν στο κέντρο και σε προάστια της Αθήνας. ). (Σε κάθε θηκόγραμμα η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



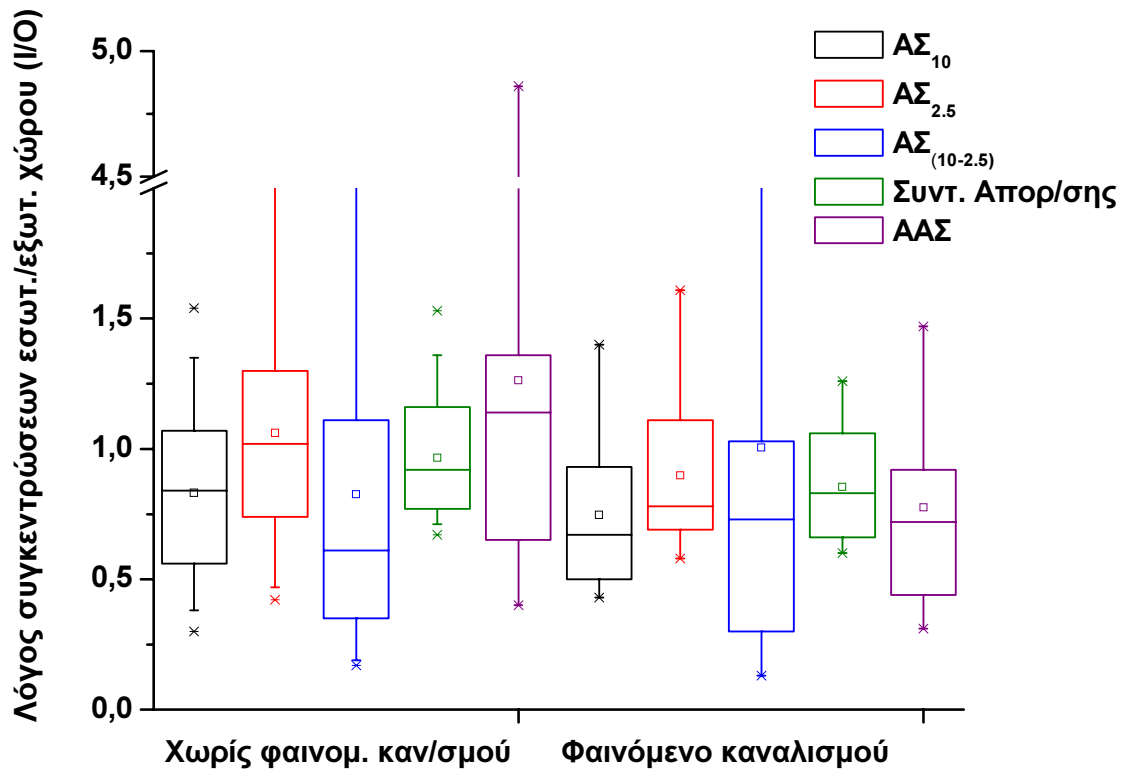
**Σχήμα 5-33:** Ο λόγος I/O για όλες τις παραμέτρους για τις κατοικίες αστικού υποβάθρου και έντονης κυκλοφορικής κίνησης. ). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



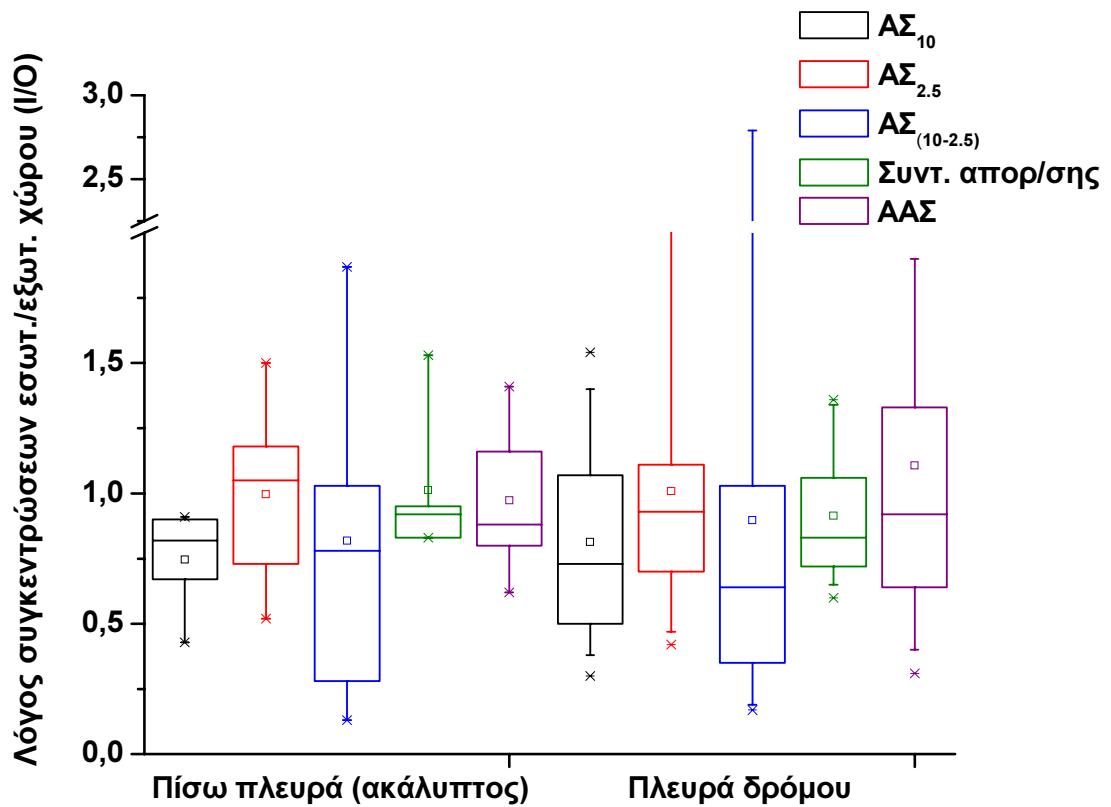
**Σχήμα 5-34:** Ο λόγος I/O για όλες τις παραμέτρους, για τις κατοικίες με έντονη κυκλοφοριακή κίνηση (traffic) και χωρίς κυκλοφοριακή κίνηση (no traffic). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



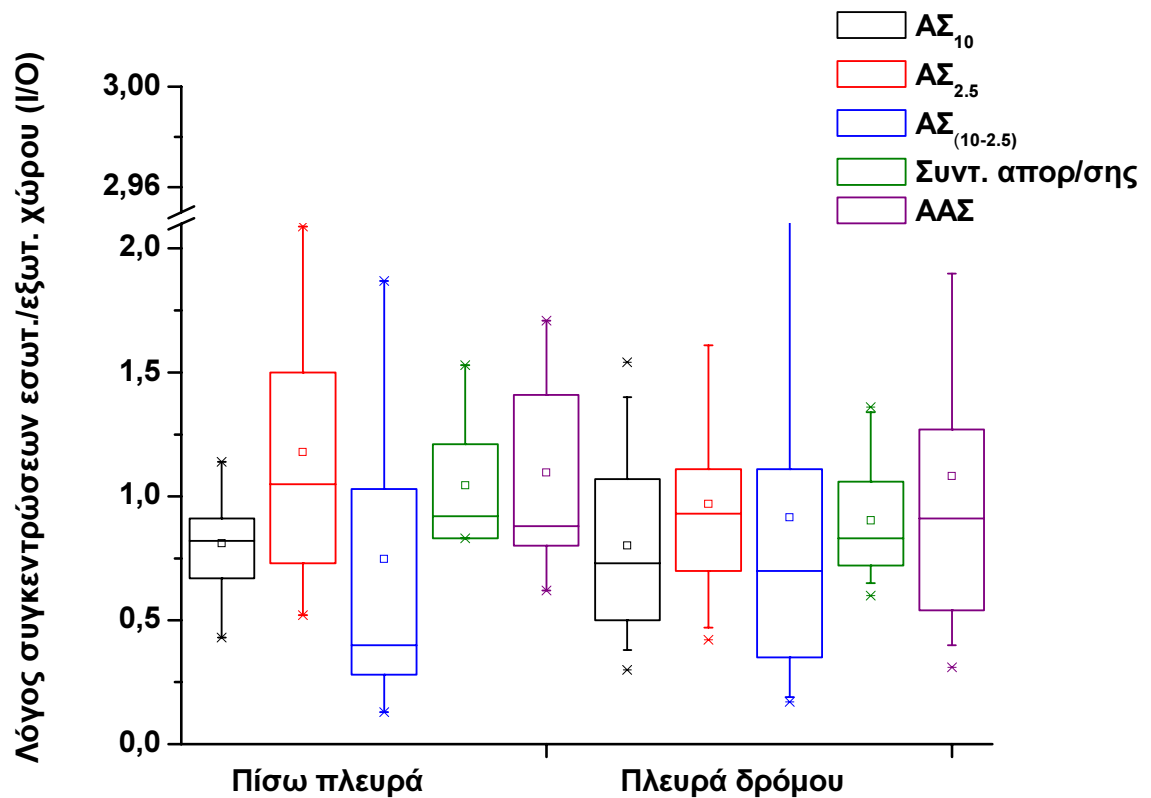
**Σχήμα 5-35:** Ο λόγος I/O για όλες τις παραμέτρους, για τις κατοικίες υπόκεινται και δεν υπόκεινται στο φαινόμενο καναλισμού (canyon effect). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 5-36:** Ο λόγος I/O για όλες τις παραμέτρους, στην περίπτωση που η δειγματοληψία εξωτερικού χώρου γινόταν στην πλευρά του δρόμου ή πίσω από αυτήν. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 5-37:** Ο λόγος I/O για όλες τις παραμέτρους, στην περίπτωση που η δειγματοληψία εσωτερικού χώρου γινόταν στην πλευρά του δρόμου ή πίσω από αυτήν. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



## 5.7 Ρυθμός ανανέωσης αέρα

Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα μετρήθηκε με την παθητική μέθοδο Perfluorocarbon Tracer (PFT). Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην ανίχνευση της ουσίας PFT, η οποία προέρχεται από μικρό σωληνάριο/ πηγή, το οποίο περιέχει το υγρό PFT (Cheong et. al., 1995). Τα PFTs είναι μη-τοξικά, αδρανή υγρά, χωρίς οσμή και χρώμα, μη εύφλεκτα και μη ραδιενεργά.. Δεν βρίσκονται στη φύση, οπότε μπορούν εύκολα να ανιχνευτούν ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Σε κάθε κατοικία, χρησιμοποιήθηκαν μία ή περισσότερες πηγές, ανάλογα με το εμβαδόν του δωματίου στο οποίο γινόνταν η δειγματοληψία εσωτερικού χώρου και ένας ανιχνευτής (CAT). Η πηγή (ή οι πηγές) καθώς και ο ανιχνευτής τοποθετούνταν πριν την έναρξη των μετρήσεων και παρέμεναν καθόλη τη διάρκειά τους. Οι ανιχνευτές εστάλησαν για ανάλυση σε κεντρικό εργαστήριο του Πανεπιστημίου Harvard. Αποτελέσματα των αναλύσεων των ανιχνευτών, βρέθηκαν, για 28 από τις υπό μελέτη κατοικίες.

Στον Πίνακα 5-11 φαίνονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα (PAA) μαζί με τον αριθμό των πηγών και τον όγκο των κατοικιών. Στις περισσότερες κατοικίες, ο PAA υπολογίστηκε <1 (Σχήμα 5-38). Στις κατοικίες στις οποίες η δειγματοληψία έλαβε χώρα το καλοκαίρι (121, 122, 123), ο PAA παρουσιάζεται, όπως αναμενόταν, αυξημένος. Η μεγαλύτερη τιμή του υπολογίστηκε στην κατοικία 135, όπου παρότι η δειγματοληψία έγινε το χειμώνα, οι μεγάλες απώλειες, λόγω κακής κατασκευής του οικοδομήματος, είχαν ως αποτέλεσμα τον ιδιαίτερα αυξημένο PAA (7.47).

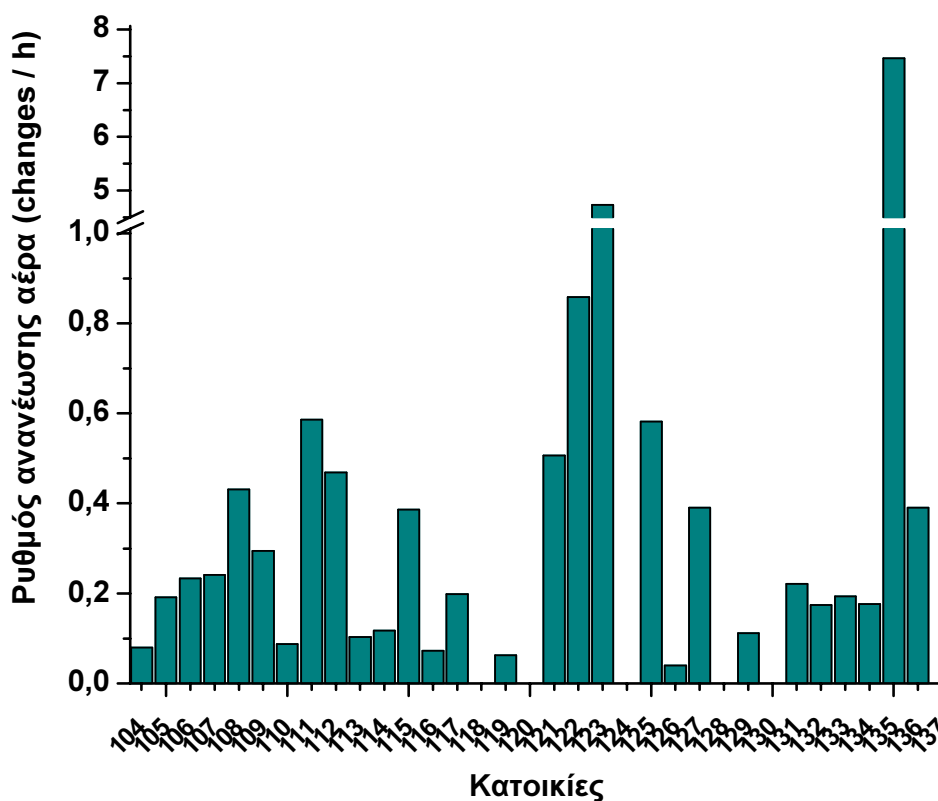
**Πίνακας 5-11:** Αποτελέσματα υπολογισμού του ρυθμού ανανέωσης του αέρα (PAA)

| Κατοικίες (ID) | PAA (changes/h) | Αριθμός πηγών | Όγκος (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| 100            |                 | 1             | 243.0                   |
| 104            | 0.08            | 1             | 216.0                   |
| 105            | 0.19            | 1             | 264.6                   |
| 106            | 0.23            | 1             | 217.5                   |
| 107            | 0.24            | 1             | 221.3                   |

|     |      |   |       |
|-----|------|---|-------|
| 108 | 0.43 | 1 | 171.6 |
| 109 | 0.29 | 1 | 240.8 |
| 110 | 0.09 | 1 | 227.1 |
| 111 | 0.59 | 1 | 145.0 |
| 112 | 0.47 | 1 | 464.0 |
| 113 | 0.10 | 1 | 297.0 |
| 114 | 0.12 | 1 | 300.0 |
| 115 | 0.39 | 2 | 284.2 |
| 116 | 0.07 | 1 | 284.0 |
| 117 | 0.20 | 2 | 312.0 |
| 118 |      | 1 | 232.0 |
| 119 | 0.06 | 1 | 267.3 |
| 120 |      | 1 | 246.5 |
| 121 | 0.51 | 1 | 216.0 |
| 122 | 0.86 | 2 | 405.0 |
| 123 | 4.73 | 1 | 151.8 |
| 124 |      | 1 | 284.2 |
| 125 | 0.58 | 1 | 217.5 |
| 126 | 0.04 | 4 | 499.9 |
| 127 | 0.39 | 1 | 205.2 |
| 128 |      | 1 | 226.2 |
| 129 | 0.11 | 1 | 324.0 |
| 130 |      | 1 | 336.8 |
| 131 | 0.22 | 2 | 175.5 |
| 132 | 0.17 | 2 | 263.2 |
| 133 | 0.19 | 2 | 353.4 |
| 134 | 0.18 | 2 | 202.5 |
| 135 | 7.47 | 1 | 16.0  |
| 136 | 0.39 | 2 | 214.6 |
| 137 |      | 1 | 131.4 |

|                                 |                 |                |               |
|---------------------------------|-----------------|----------------|---------------|
| Μέση τιμή ( $\pm$ σταθ. σφάλμα) | $0.69 \pm 0.30$ | Ελάχιστο: 0.04 | Μέγιστο: 7.47 |
|---------------------------------|-----------------|----------------|---------------|

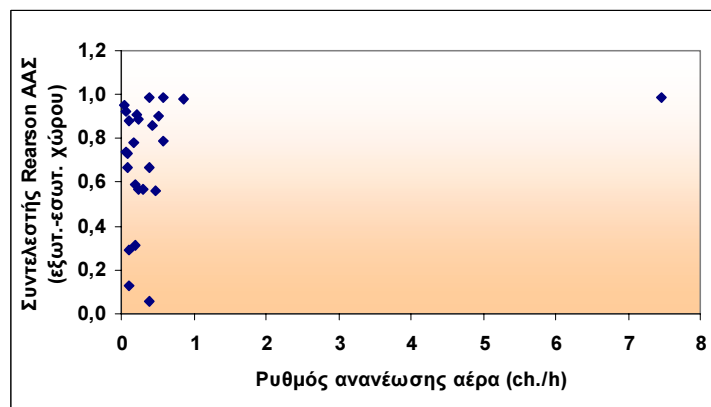
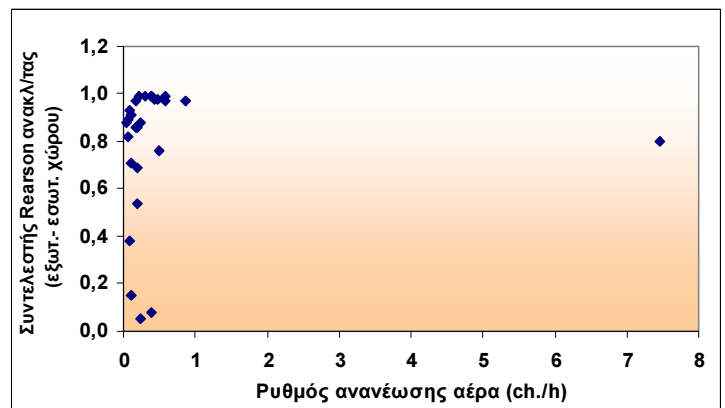
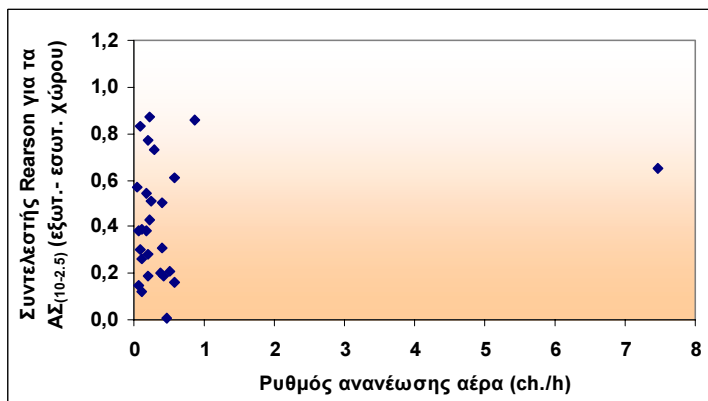
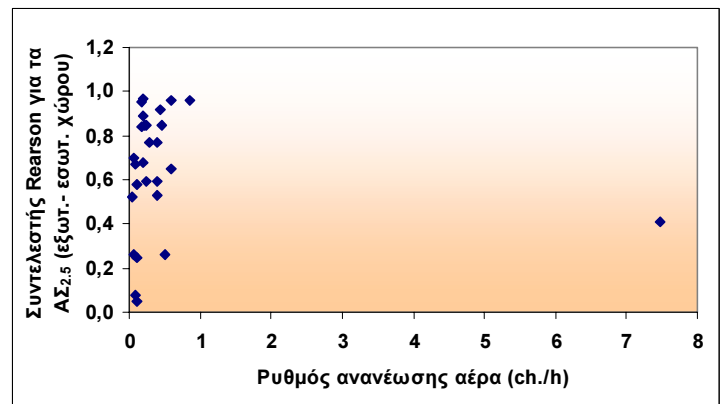
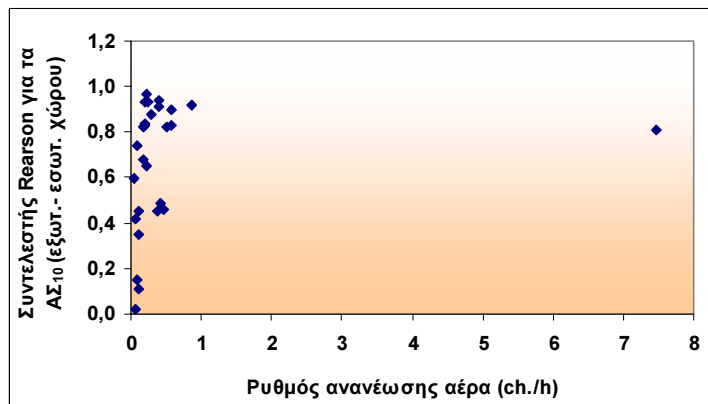
**Σχήμα 5-38:** Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα (ΡΑΑ) των υπό μελέτη κατοικιών.



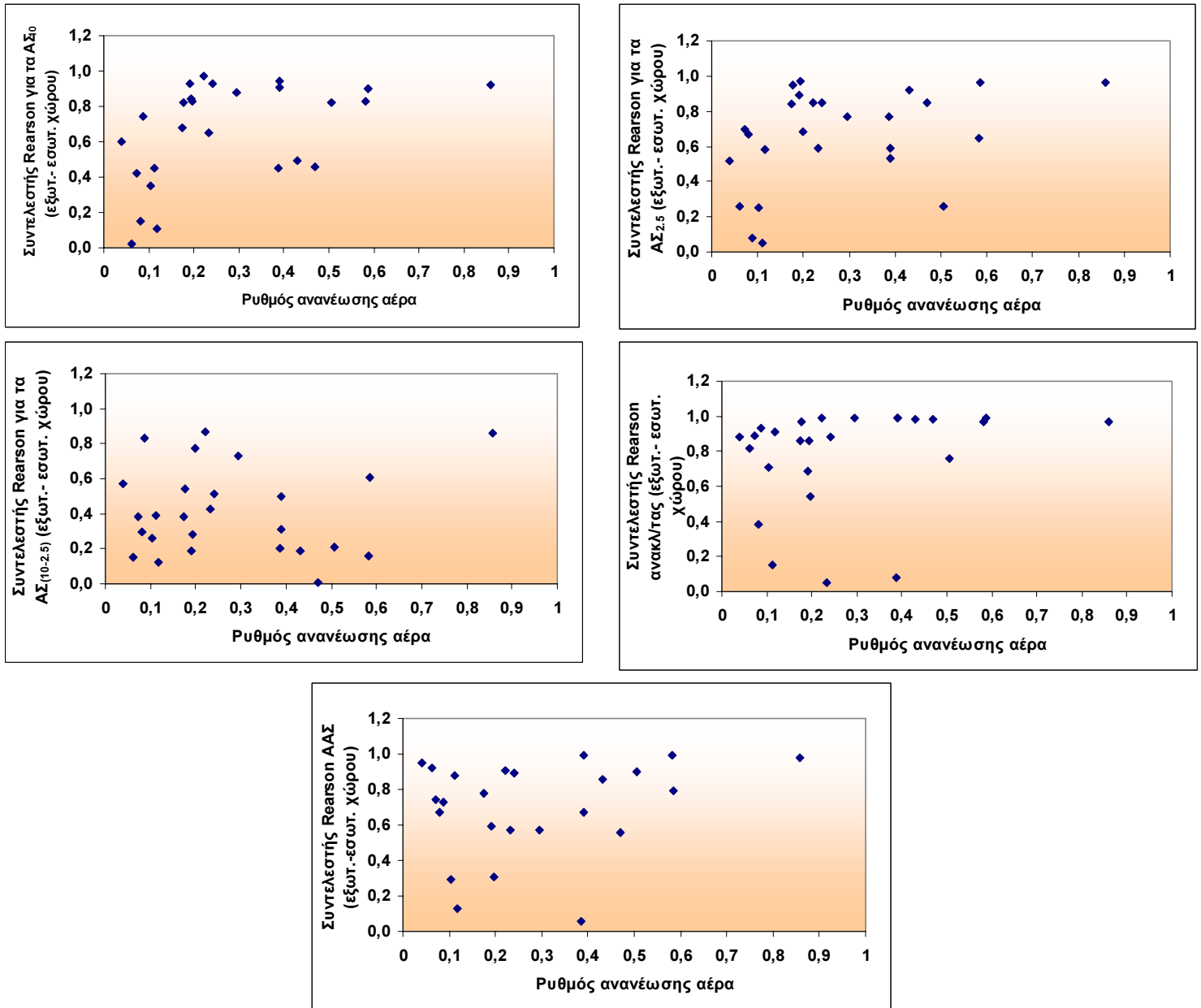
Στα Σχήματα 5-39, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των συντελεστών συσχέτισης Pearson (R), μεταξύ των συγκεντρώσεων εσωτερικού και εσωτερικού χώρου (Πίνακας 5-8) με τον ΡΑΑ (Πίνακας 5-11). Γενικά παρατηρείται μικρή αλλά θετική συσχέτιση μεταξύ των συντελεστών και του ΡΑΑ με την υψηλότερη να εμφανίζεται με τον ΑΑΣ.

Επειδή το ΡΑΑ της κατοικίας (135) είναι αρκετά αυξημένο σε σχέση με των υπόλοιπων κατοικιών, έγιναν τα διαγράμματα του ΡΑΑ με το συντελεστή R χωρίς να συμπεριληφθεί η συγκεκριμένη κατοικία (Σχήμα 5-40). Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι, στην περίπτωση αυτή, υπάρχει υψηλότερη συσχέτιση του R με τον ΡΑΑ, για τα ΑΣ<sub>10</sub> και τα λεπτά ΑΣ.

Σχήματα 5-39: Διαγράμματα του συντελεστή Pearson με τον ΡΑΑ.



**Σχήμα 5-40:** Διαγράμματα του συντελεστή Pearson με τον ΡΑΑ, εκτός της κατοικίας  
135 .



## 5.8 Συμπεράσματα

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετήθηκαν συγκεντρώσεις ΑΣ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου σε 35 κατοικίες της Αθήνας. Έγινε στατιστική επεξεργασία των παραμέτρων, συνολικά και ανά κατοικία. Έγιναν συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων των ΑΣ και βάσει του μοντέλου ισοζυγίου μάζας, προσδιορίστηκε το ποσοστό των ΑΣ εσωτερικού χώρου που προέρχονται από τη διείσδυση ΑΣ εξωτερικού χώρου και εκείνο που παράγεται από πηγές εντός των κατοικιών.

Ειδικότερα, από τις μέσες συγκεντρώσεις των παραμέτρων των κατοικιών, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, βρέθηκε ότι οι ολικές μέσες τιμές των συγκεντρώσεων μάζας, του ΑΑΣ και του συντελεστή απορρόφησης, στον εξωτερικό χώρο, ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του εσωτερικού χώρου των κατοικιών. Το μεγάλο εύρος στις συγκεντρώσεις μάζας εξωτερικού χώρου των ΑΣ<sub>10</sub>, οφείλεται κυρίως στο εύρος των αδρών ΑΣ δεδομένου ότι αυτά συνεισφέρουν περισσότερο από τα λεπτά ΑΣ, στο σύνολο των συγκεντρώσεων ΑΣ<sub>10</sub>. Αντίστοιχα, στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου, η συνεισφορά των λεπτών ΑΣ είναι 1.6 φορές μεγαλύτερη, από εκείνη των αδρών ΑΣ, επί του συνόλου των ΑΣ<sub>10</sub>, προφανώς λόγω των δραστηριοτήτων-πηγών που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών.

Φαίνεται να υπάρχουν μηχανισμοί άμεσης επίδρασης μεταξύ του συντελεστή απορρόφησης εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, καθώς οι αντίστοιχες μέσες τιμές δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά.

Ο ΑΑΣ εξωτερικού χώρου, παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος των τιμών, καθώς απεικονίζει, γενικά, την κατάσταση των διαφορετικών περιοχών όπου βρίσκονταν οι κατοικίες. Γενικά, η χωρική κατανομή των ΑΣ εξωτερικού χώρου παρουσιάζει αυξημένες συγκεντρώσεις στα δυτικά προάστια (π.χ. Ζεφύρι) και μειωμένες στα νότια.

Ο έλεγχος της συσχέτισης των παραμέτρων, έδειξε υψηλή συσχέτιση των ΑΣ<sub>10</sub> με τα λεπτά και τα αδρά ΑΣ, τόσο στις συγκεντρώσεις εξωτερικού όσο και στο εσωτερικό χώρο των κατοικιών. Αντίθετα, η συσχέτιση των ΑΣ<sub>2.5</sub> με το συντελεστή απορρόφησης, παρουσιάζεται υψηλή στον εξωτερικό χώρο και μέτρια στον εσωτερικό χώρο των κατοικιών.

Συγκρίνοντας τα επίπεδα εξωτερικού-εσωτερικού χώρου των κατοικιών με τα επίπεδα του σταθμού αναφοράς, βρέθηκε ότι τα τελευταία είναι πιο αυξημένα ενώ οι συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του εξωτερικού χώρου.

Οι συντελεστές συσχέτισης των συγκεντρώσεων εξωτερικού – εσωτερικού χώρου, έδειξαν ότι, οι υψηλότεροι συντελεστές συσχέτισης εμφανίστηκαν στα λεπτά ΑΣ και στο συντελεστή απορρόφησης πιθανώς λόγω υψηλού βαθμού διείσδυσης των λεπτών ΑΣ.

Η γραμμική ανάλυση των συγκεντρώσεων εσωτερικού-εξωτερικού χώρου, έδειξε ότι οι μεγαλύτερες κλίσεις παρουσιάστηκαν στο συντελεστή απορρόφησης και στα λεπτά ΑΣ λόγω υψηλού βαθμού διείσδυσης. Το σύνολο των τιμών των κλίσεων του ΑΑΣ παρουσίασε μεγάλο εύρος τιμών. Οι τιμές της τεταγμένης επί την αρχή (TEA), αντιπροσωπεύουν τα ΑΣ που παράγονται στις κατοικίες, κυρίως λόγω των πηγών εσωτερικού χώρου. Από τις διάμεσες τιμές του TEA των κατοικιών φαίνεται ότι η υψηλές τιμές για τα ΑΣ<sub>10</sub>, οφείλονται σε μεγάλο ποσοστό στις υψηλές τιμές των λεπτών ΑΣ.

Αντίστοιχα, από τις ωριαίες τιμές του ΑΑΣ εξωτερικού – εσωτερικού χώρου, προέκυψε ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα είναι υψηλός, ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ήταν αρκετά υψηλός και ο παράγοντας της διείσδυσης (κλίση) επίσης υψηλός.

Από το μοντέλο ισοζυγίου μάζας της, βρέθηκε ότι στις κατοικίες στις οποίες η συνεισφορά από τις «πηγές» ήταν θετική, το μεγάλο ποσοστό των ΑΣ<sub>10</sub> που προέρχονταν από αυτή την κατηγορία δραστηριοτήτων οφείλονταν στο αντίστοιχο υψηλό ποσοστό των ΑΣ<sub>2.5</sub>. Αντίστοιχα, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η συνεισφορά από το εξωτερικό περιβάλλον ήταν θετική, ο συντελεστής απορρόφησης παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό.

Σύμφωνα με τον μη παραμετρικό έλεγχο ομοιογένειας Mann-Whitney των συντελεστών συσχέτισης R (εσωτερικού – εξωτερικού χώρου) με χαρακτηριστικά των κατοικιών, οι τιμές R των ΑΣ<sub>10</sub> φαίνεται να επηρεάζονται τόσο από τη θέση της δειγματοληψίας (εκτός αλλά και εντός της κατοικίας) όσο και από το φαινόμενο του καναλισμού. Αντίστοιχα, οι συντελεστές συσχέτισης των αδρών ΑΣ επηρεάζονται μόνο

από το φαινόμενο του καναλισμού και του συντελεστή απορρόφησης μόνο από τη θέση δειγματοληψίας εντός της κατοικίας.

Ο λόγος των συγκεντρώσεων εσωτερικού/εξωτερικού χώρου (I/O) των λεπτών ΑΣ, υπολογίστηκε μεγαλύτερος σε σχέση με αυτούς των ΑΣ<sub>10</sub> και των αδρών ΑΣ, λόγω των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών. Επίσης, υψηλή τιμή του λόγου εμφανίζει και ο ΑΑΣ ενώ τα αδρά ΑΣ εμφανίζουν το μεγαλύτερο εύρος τιμών του λόγου. Γενικά, στις κατοικίες των προαστίων, παρουσιάζεται μεγάλο εύρος των τιμών του λόγου (I/O) και ο λόγος του ΑΑΣ είναι ιδιαίτερα αυξημένος, σε σύγκριση με τις κατοικίες στο κέντρο.

Τα παραπάνω αποτελέσματα, αποτελούν απόδειξη ότι το μέγεθος των ΑΣ και η σύστασή τους επηρεάζουν το βαθμό διείσδυσης των ΑΣ εξωτερικού χώρου, του περιβάλλοντος αέρα, μέσα στην κατοικία. Κατά συνέπεια, τα λεπτά ΑΣ, εντός των κατοικιών, προέρχονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από τις πηγές εσωτερικού χώρου αλλά και λόγω διείσδυσης από τον εξωτερικό χώρο. Αντίστοιχα, τα επίπεδα του συντελεστή απορρόφησης εξωτερικού χώρου (που αντιπροσωπεύουν την αιθάλη), εμφανίζουν μεγάλο ποσοστό διείσδυσης στον εσωτερικό χώρο των κατοικιών.

## Βιβλιογραφία

Abt E.S.H., Allen G. and Koutrakis P., 2000: Characterization of indoor particle sources: a study conducted in the metropolitan Boston area, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108, pp. 35–44.

Cheong K., W., Riffat S., B., 1995: New approach for measuring airflows in buildings using a Perfluorocarbon tracer, *Applied Energy*, Vol. 51, pp. 223 – 232.

Cyrys J. and Pitz M. et al., 2004: Relationship between indoor and outdoor levels of fine particle mass, particle number concentrations and black smoke under different ventilation conditions, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 144, pp. 275–283.

Funasaka K., Miyazaki T., Tsuruho K., Tamura K., Mizuno T., K. Kuroda, 2000: Relationship between indoor and outdoor carbonaceous particulates in roadside households, *Environmental Pollution*, Vol. 110, pp. 127-134.

Hänninen O.O., Lebret E., Ilaqua V., Katsouyanni K., Künzli N., Sram R.J. and Jantunen M., 2004: Infiltration of ambient PM<sub>2.5</sub> and levels of indoor generated non-ETS PM<sub>2.5</sub> in residences of four European cities, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 6411–6423.

Ho K. F., Cao J.J., Harrison R.M., Lee S. C. and. Bau K.K, 2004: Indoor/ outdoor relationships of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in PM<sub>2.5</sub> in roadside environment of Hong Kong, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 6327–6335.

Hussein T., Hameri K., Heikkinen M. S.A, Kulmala M., 2005: Indoor and outdoor particle size characterization at a familyhouse in Espoo–Finland, *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp 3697–3709.

Jones N.C., Thornton C.A., Mark D., Harrison R.M., 2000: Indoor/outdoor relationships of particulate matter in domestic homes with roadside, urban and rural locations, *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 2603- 2612.

Koistinen K. J., Hanninen O., Rotko T., Edwards R. D., Moschandreas D., Jantunen M. J., 2001: Behavioral and environmental determinants of personal exposures to PM<sub>2.5</sub> in EXPOLIS Helsinki, Finland, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 2473-2481.

Koponen K. A. A., Keronen P., Puhto K. and Kulmala M., 2001: Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999—the effect of outdoor air pollution on indoor air, *Atmospheric Environment*, Vol. 35.

Lalas D. P., Tomprou-Tsella M., Petrakis M., Asimakopoulos D. N. and Helmis C., 1987, An Experimental Study of the Horizontal and Vertical Distribution of Ozone over Athens, *Atmospheric Environment*, Vol. 21, No. 12, pp. 2681-2693.

Lazaridis M., Aleksandropoulou V., Smolík J., Hansen J.E., Glytsos T., Kalogerakis N., Dahlin E., 2006: Physico-chemical characterization of indoor/outdoor particulate matter in two residential houses in Oslo, Norway: measurements overview and physical properties – URBAN-AEROSOL Project, *Indoor Air*, Volume 16 Issue 4, Pages 282 – 295.

Lazaridis, M., Dahlin, E., Hansen, J.E., Smolik, J., Schmidbauer, N., Moravec, P., Zdimal, V., Hermansen, O., Glytsos, T., Svendby, T. and Dye, C., 2003: Indoor/Outdoor particulate matter measurements in two residential houses in Oslo, Norway, *Proceedings of the European Aerosol Conference, Madrid, Spain, J. Aerosol Sci.*, pp. S1367–S1368.

Li C.-S., 1994: Relationships of indoor / outdoor inhalable and respirable particles in domestic environments, *The Science of the Total Environment*, Vol. 151, pp. 205-211.

Lioy, P. J., Waldman, J. M., Buckley T., Butler J., Pietarinen C., 1990: The personal, indoor and outdoor concentrations of PM-10 measured in an industrial community during the winter., *Atmos. Environ., Part B.*, Vol. 24B, no. 1, pp. 57-66.

Long C. M., Suh H. H. and Koutrakis P., 2000: Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors, *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 507, pp. 1236–1250.

Luoma M., Batterman S. A., 2001: Characterization of particulate emissions from occupant activities in offices, *Indoor air*, Vol. 11, pp. 35-48 (14).

Matson U., 2005: Indoor and outdoor concentrations of ultrafine particles in some Scandinavian rural and urban areas. *Science of the Total Environment*, Vol. 343, pp. 169– 176.

Meng Q. Y., Turpin B. J., Korn L., Weisel C. P., Morandi M., Colome S., Zhang J., Stock T., Spektor D., Winer A., Zhang L., Lee J. H., Giovanetti R., Cui W., Kwon J., Alimokhtari S., Shendell D., Jones J., Farrar C. and Mabert S., 2005: Influence of ambient (outdoor) sources on residential indoor and personal PM<sub>2.5</sub> concentrations: Analyses of RIOPA data, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 15, pp. 17–28.

Monn Ch., Fuchs A., Hogger D., Junker M., Kogelschatz D., Roth N., Wanner H.-U., 1997: Particulate matter less than 10µm (PM<sub>10</sub>) and fine particles less than 2.5µm (PM<sub>2.5</sub>): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations, *The Science of the Total Environment*, Vol. 208, pp. 15-21.

Morawska L., He C., Hitchins J., Gilbert D. and Parappukkaran S., 2001: The relationship between indoor and outdoor airborne particles in the residential environment, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 3463–3473.

Owen, M.K., Ensor D.S.; Hovis L.S.; Tucker W.G., Sparks L.E., 1990: Particle-size distributions for an office aerosol, Technical Report EPA (PB-91-177196/XAB), *Aerosol Science and Technology*, Vol. 13, no 4, pp. 486-492. 1990.

Patterson E. and Eatough D.J., 2000: Indoor/outdoor relationships for ambient PM<sub>2.5</sub> and associated pollutants: epidemiological implications in Lindon, Utah, *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 501, pp. 103–110.

Patterson E. and Eatough D.J., 2000: Indoor/outdoor relationships for ambient PM<sub>2.5</sub> and associated pollutants: epidemiological implications in Lindon, Utah, *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 501, pp. 103–110.

Sarnat, Stefanie Ebel, Coull B. A, Ruiz P. A, Koutrakis P., Suh H. H, 2006: The Influences of Ambient Particle Composition and Size on Particle Infiltration in Los Angeles, CA, Residences, *Journal of the Air & Waste Management Association*. Vol. 56, no. 2, pp. 186-196.

Wallace L., 1996: Indoor particles: a review. *Journal of Air Management Association*, Vol. 46, pp. 98-126.

Λιάνου Μ., Κάβουρας Η., Κοτρωνάρου Α., Λαζαρίδης Μ. και Λυκούδης Σ., Παράγοντες που διαμορφώνουν την χωρική κατανομή των ΑΣ<sub>10</sub> στην Αθήνα, 8<sup>ο</sup> Συνέδριο Μετεωρολογίας- Κλιματολογίας και Φυσική της Ατμόσφαιρας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μάιος 2006.

Chen, S.-Y., Qin, Y.-Q., He, L.-F., et al., 2008: Air Quality of Ventilation Systems of Centralized Air-Conditioners in Star Grade Hotels in Nanning, Journal of Environment and Health., Vol. 25, no. 1, pp. 39-41.

Baek S.-O., Kim Y., -S., Perry R., 1997: Indoor Air Quality In Homes, Offices And Restaurants In Korean Urban Areas--Indoor/Outdoor Relationships, Atmospheric Environment Vol. 31, No. 4, pp. 529-544.

Cenko C., Pisaniello D., Esterman A., 2004: A study of environmental tobacco smoke in South Australian pubs, clubs and cafes, International Journal of Environmental Health Research, Vol. 14, Number 1, pp. 3-11(9).

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### 6. Πηγές ΑΣ εσωτερικού χώρου

#### 6.1 Εισαγωγή

Τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, στους εσωτερικούς χώρους των κατοικιών, επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως από τις συγκεντρώσεις ΑΣ εξωτερικού χώρου, τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα και κυρίως από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών (He et al., 2004).

Γενικά, αν δεν υπάρχουν πηγές σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους, τα επίπεδα ΑΣ τείνουν να απεικονίζουν αυτά των εξωτερικών χώρων. Για παράδειγμα, η εφαρμογή του μοντέλου ισοζυγίου της μάζας (mass balance) σε μετρήσεις συγκεντρώσεων των σωματιδίων σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο, που έγιναν στο Riverside της California, έδειξαν ότι το 75% των ΑΣ<sub>2.5</sub> και 65% των ΑΣ<sub>10</sub>, σε μία τυπική κατοικία, σχηματίστηκαν στον εξωτερικό χώρο. Σε παρόμοια συμπεράσματα οδηγήθηκαν και οι Koutrakis et al. (1991, 1992) σε κατοικίες που βρίσκονταν σε δύο επαρχίες της Νέας Υόρκης. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι, το 60% της μάζας των σωματιδίων στον εσωτερικό χώρο των κατοικιών προέρχονται από εξωτερικές πηγές.

Στην περίπτωση όμως που υπάρχουν πηγές εσωτερικού χώρου, η συμβολή τους στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις είναι σημαντικές. Μερικές από τις δραστηριότητες, που πραγματοποιούνται εντός της κατοικίας, συνεργούν κατά πολύ στην αύξηση των επιπέδων των ΑΣ, καθώς δρουν ως «πηγές», όπως: το κάπνισμα, το μαγείρεμα, η θέρμανση με σόμπες κηροζίνης κ.ά (Tuckett et al, 1998; Long et al., 2000). Άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, που συνεισφέρουν στην αύξηση των ΑΣ εσωτερικού χώρου περιλαμβάνουν, την επαναιώρηση ΑΣ από την κίνηση ανθρώπων και κατοικίδιων, το ξεσκόνισμα, τη χρήση ηλεκτρικής σκούπας, τη χρήση υγραντήρων κ.α. (e.g. Monn et al., 1995; Tucker, 2000). Η σχετική επίδραση αυτών των πηγών εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον της κατοικίας και τον τρόπο ζωής των ενοίκων της. Γενικά οι διαδικασίες καύσεως που λαμβάνουν χώρα εντός της κατοικίας, όπως φωτιές ανοικτού τύπου και καπνιστές, αυξάνουν κατά πολύ τη συγκέντρωση ΑΣ, σε τάξη μεγέθους, σε σύγκριση με τη συγκέντρωση ΑΣ εξωτερικού περιβάλλοντος (Morawska et

al., 2002). Ωστόσο, υπάρχουν δραστηριότητες οι οποίες βοηθούν στον εξαερισμό και την ανανέωση του αέρα εσωτερικού χώρου (καταβόθρες) και επομένως συνεργούν στην μείωση των επιπέδων των ΑΣ, όπως είναι το άνοιγμα πόρτας ή παράθυρου και η χρήση απορροφητήρα ή εξαεριστήρα (He et al., 2004).

Είναι γνωστό ότι, από τις δραστηριότητες που δρουν ως πηγές, οι διαδικασίες καύσεως είναι οι κύριες πηγές «λεπτών» σωματιδίων ενώ μηχανικές διαδικασίες συμπεριλαμβανομένης της επαναιώρησης σωματιδίων, από την κίνηση των ανθρώπων, συμβάλλουν στην αύξηση των ΑΣ με μέγεθος μεγαλύτερο του 1mm (He et al., 2004; Morawska et al. 2002). Γενικά οι «δραστηριότητες εσωτερικού χώρου», επιδρούν σημαντικά στη συγκέντρωση των λεπτών ΑΣ εσωτερικού χώρου (Morawska et al. 2003).

Σε πολλές μελέτες, έχει διερευνηθεί το περιβάλλον εντός και εκτός των κατοικιών. Σε μελέτη των Abt et al. (2000), χρησιμοποιώντας συγκεντρώσεις εσωτερικού και εξωτερικού χώρου καθώς και πληροφορίες για τις δραστηριότητες που λάμβαναν χώρα στις κατοικίες, αναγνωρίστηκαν ως οι πιο σημαντικές δραστηριότητες, των υπό μελέτη κατοικιών, το μαγείρεμα, το καθάρισμα και η κίνηση των ανθρώπων.

Στις περισσότερες εργασίες, η μελέτη έχει διεξαχθεί σε μικρό αριθμό κατοικιών, όπως στους Abt et al. (2000), όπου μελετήθηκε η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος και των δραστηριοτήτων εντός 4 κατοικιών κάνοντας χρήση μετρήσεων μεγέθους και συγκεντρώσεως αριθμού ΑΣ. Οι He et al. (2004), μελέτησαν τις δραστηριότητες εντός 15 κατοικιών στο Brisbane της Αυστραλίας, χρησιμοποιώντας μετρήσεις συγκέντρωσης μάζας  $AS_{2.5}$  και αριθμού ΑΣ, από καταγραφή που έλαβε χώρα στην κουζίνα των κατοικιών. Σε μελέτη των Morawska et al. (2003), η οποία διεξήχθη σε 15 κατοικίες στο Brisbane της Αυστραλίας, έγινε προσπάθεια ποσοτικοποίησης της επίδρασης των δραστηριοτήτων εσωτερικού χώρου στα αντίστοιχα επίπεδα συγκεντρώσεων ΑΣ. Βρέθηκε ότι η μέση συγκέντρωση μάζας και αριθμού ΑΣ, κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων ήταν  $(15.5 \pm 7.9) \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $(18.2 \pm 3.9) \times 10^3 \text{σωμ.}/\text{cm}^3$  αντίστοιχα ενώ σε συνθήκες χωρίς καμία δραστηριότητα βρέθηκαν  $(11.1 \pm 2.6) \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $(12.4 \pm 2.7) \times 10^3 \text{σωμ.}/\text{cm}^3$  αντίστοιχα. Επίσης βρέθηκε ότι, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε συνθήκες όπου δεν υπήρχαν δραστηριότητες.

Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν λίγες μελέτες όπου έχουν καταγραφεί, συγχρόνως και συνεχόμενα, συγκεντρώσεις λεπτών ΑΣ και ΑΑΣ, για διάστημα μέχρι και 48 ωρών (Long et al., 2000; Wigzell et al., 2000). Στη μελέτη των Long et al. (2000), η δειγματοληψία διεξήχθη στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο, σε 9 κατοικίες της Βοστώνης, προκειμένου να προσδιοριστούν πηγές εσωτερικού περιβάλλοντος. Για το σκοπό αυτό συμπληρωνόταν ερωτηματολόγιο, ανά 20 λεπτά, με τις δραστηριότητες των κατοίκων. Αντίθετα, πολλές μελέτες επικεντρώθηκαν στην προσωπική έκθεση του ανθρώπου σε ΑΣ (Lachenmyer et al., 2000). Επειδή διαφορετικές πηγές ΑΣ έχουν, ενδεχομένως, διαφορετικές επιπτώσεις/ επιδράσεις στον άνθρωπο (Wilson et al., 2000; Wallace, 1996), είναι σημαντικό αυτές να εξετάζονται χωριστά. Επιπρόσθετα, οι συγκεντρώσεις μάζας και αριθμού ΑΣ, εξαρτώνται όχι μόνο από τις δραστηριότητες αλλά και από τον τρόπο ζωής των ενοίκων των κατοικιών.

Τα παραπάνω, οδηγούν στην ανάγκη ποσοτικοποίησης της επίδρασης των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός της κατοικίας ως προς τη συγκέντρωση μάζας και του αριθμού ΑΣ, εσωτερικού χώρου. Η μελέτη της συνεισφοράς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα επίπεδα ΑΣ εσωτερικού χώρου, γίνεται μεμονωμένα για κάθε μία δραστηριότητα καθώς και ως συνδυασμός δύο ή περισσότερων δραστηριοτήτων. Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης μελέτης είναι η κανονική, χωρίς περιορισμούς, διαβίωση των ενοίκων στις κατοικίες, γεγονός που επιβαρύνει ακόμα περισσότερο τις συνθήκες του εσωτερικού χώρου.

## 6.2 Καταγραφή δραστηριοτήτων εντός των κατοικιών

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας των ΑΣ, ειδικά διαμορφωμένες φόρμες συμπληρώθηκαν από τους ενοίκους των κατοικιών (Κεφ. 3, Ημερολόγιο δραστηριοτήτων), έτσι ώστε να καταγραφούν οι δραστηριότητες που έλαβαν χώρα εντός των κατοικιών (ανά 30min). Συγκεκριμένα καταγράφηκαν, το είδος και η διάρκεια των δραστηριοτήτων.

Οι δραστηριότητες που καταγράφηκαν, με τη σειρά που εμφανίζονται στην αντίστοιχη φόρμα, είναι οι ακόλουθες:

1. Κάπνισμα.
2. Μαγείρεμα / Βράσιμο.
3. Τηγάνισμα.
4. Λειτουργία απορροφητήρα.
5. Ξεσκόνισμα / Χρήση ηλεκτρικής σκούπας.
6. Καθάρισμα / Χρήση σπρέι.
7. Χρήση κεριών.
8. Χρήση τζακιού / Θερμαντήρα.
9. Άνοιγμα παράθυρου.
10. Άνοιγμα μπαλκονόπορτας.
11. Λειτουργία μηχανικού εξαερισμού.
12. Παρουσία επισκεπτών.

Οι παραπάνω δραστηριότητες, διαχωρίζονται ως προς τη συμβολή τους στην αύξηση ή μείωση ΑΣ, σε 2 κατηγορίες, στις «πηγές» και στις «καταβόθρες». Σε αυτές που δρουν ως «πηγές» και συνεργούν στην αύξηση των επιπέδων των ΑΣ, συγκαταλέγονται: το κάπνισμα, το μαγείρεμα (βράσιμο), το τηγάνισμα, το ξεσκόνισμα / η χρήση ηλεκτρικής σκούπας, το καθάρισμα / η χρήση σπρέι, η χρήση κεριών, η χρήση τζακιού / θερμαντήρα καθώς και η παρουσία επισκεπτών στην κατοικία. Στον αντίποδα, στις πηγές που

βοηθούν στον εξαερισμό του εσωτερικού αέρα και πιθανόν στη μείωση των συγκεντρώσεων, «καταβόθρες», περιλαμβάνονται: το άνοιγμα παραθύρου ή μπαλκονόπορτας, η λειτουργία μηχανικού εξαερισμού καθώς και η λειτουργία απορροφητήρα (κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος).

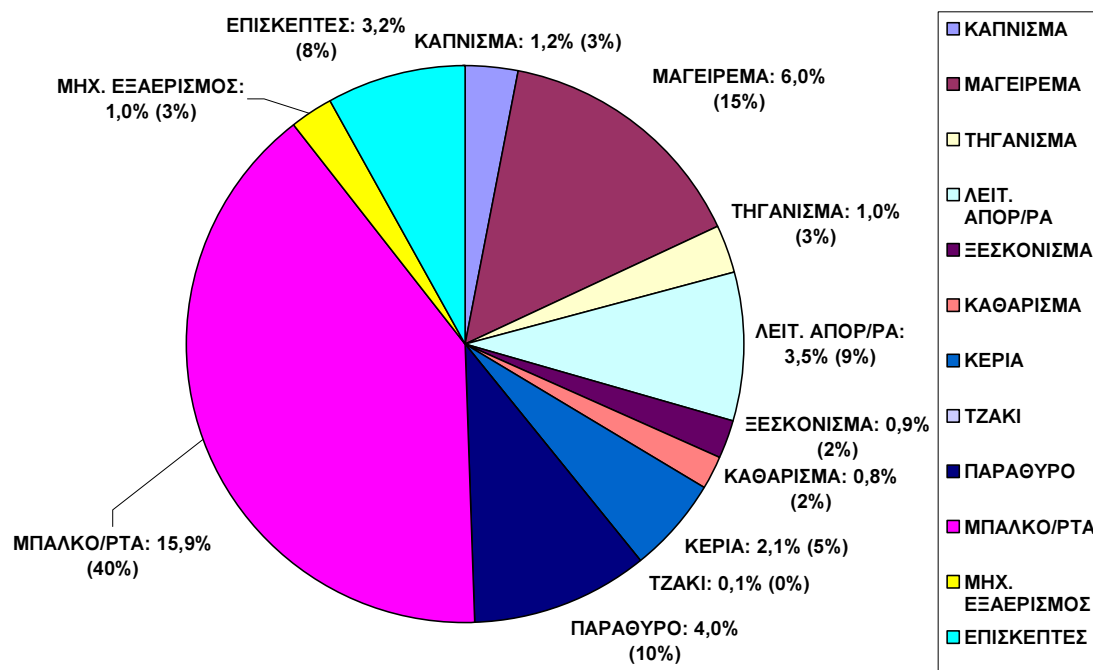
Το μαγείρεμα (βράσιμο), ως δραστηριότητα, διαχωρίστηκε από το τηγάνισμα καθώς το δεύτερο επιδρά κατά πολύ στην αύξηση του αριθμού των ΑΣ.

Στο Σχήμα 6-1 παρουσιάζονται τα ποσοστά όλων των δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, στις 35 κατοικίες. Σε κάθε δραστηριότητα, παρουσιάζεται τόσο το ποσοστό εμφάνισης της συγκεκριμένης δραστηριότητας επί τοις εκατό (%), για το σύνολο των κατοικιών, όσο και το αντίστοιχο ποσοστό (εντός παρένθεσης) ως προς το σύνολο των δραστηριοτήτων. Ορισμένες δραστηριότητες όπως, το μαγείρεμα και ο αερισμός του χώρου με το άνοιγμα ενός παράθυρου ή μπαλκονόπορτας, αποτελούσαν καθημερινές ενασχολήσεις, ενώ άλλες όπως το καθάρισμα του σπιτιού, κάνοντας χρήση ηλεκτρικής σκούπας ή καθαριστικών, συνήθως δεν γίνονταν σε καθημερινή βάση και επομένως τόσο η συχνότητα όσο και η εμφάνισή τους, στο σύνολο των δραστηριοτήτων, είναι μικρότερη.

Επίσης, φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιες δραστηριότητες όπως, η λειτουργία του τζακιού και η χρήση κεριών που λαμβάνουν χώρα σε ειδικές περιπτώσεις και επομένως είναι λιγότερο συχνές. Από το Σχήμα 6-1 φαίνεται ότι, η δραστηριότητα που έλαβε χώρα περισσότερο ήταν το άνοιγμα της μπαλκονόπορτας, ιδιαίτερα τους θερμούς μήνες, ενώ δεύτερη, σε συχνότητα, δραστηριότητα εμφανίζεται το μαγείρεμα η οποία, δυστυχώς, δεν συνοδευόταν πάντα με τη λειτουργία του απορροφητήρα.

Αντίστοιχα με το Σχήμα 6-1, τα Σχήματα 6-2 (α, β) παρουσιάζουν τα ποσοστά των δραστηριοτήτων που δρουν ως «πηγές» ΑΣ (Σχήματα 6-2, α) καθώς και εκείνων που βοηθούν στην ανανέωση του αέρα εσωτερικού χώρου λειτουργώντας ως «καταβόθρες» (Σχήματα 6-2, β).

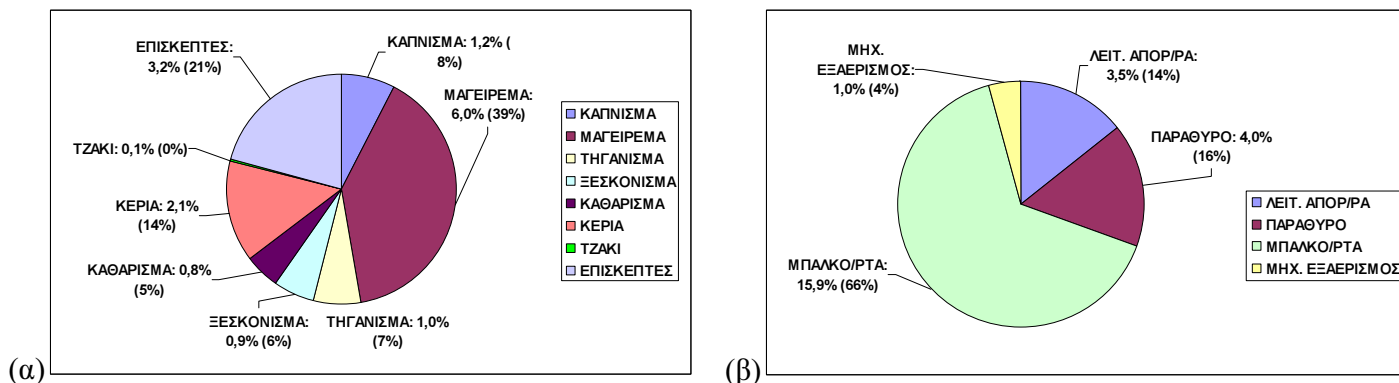
**Σχήμα 6-1:** Ποσοστά όλων των δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας στις 35 κατοικίες.



Από το Σχήμα 6-2 (α) φαίνεται ότι, το μαγείρεμα ήταν η πιο συχνή από τις δραστηριότητες (σε ποσοστό 39%), που επιδρούν θετικά στην αύξηση της συγκέντρωσης των ΑΣ, με δεύτερη την παρουσία επισκεπτών στις κατοικίες (21%). Αντίστοιχα, από τις δραστηριότητες που βοηθούν στην ανανέωση του αέρα, το άνοιγμα της μπαλκονόπορτας (Σχήμα 6-2, β) εμφανίζεται ως η πιο συχνή δραστηριότητα. Ακολουθούν το άνοιγμα του παραθύρου και η χρήση απορροφητήρα.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει, η μελέτη της ημερήσιας κατανομής του συνόλου των δραστηριοτήτων, ανεξαρτήτως κατηγορίας, προκειμένου να διαμορφωθεί μια εικόνα των συνηθειών των ενοίκων των κατοικιών καθώς αυτές σχετίζονται άμεσα με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων ΑΣ.

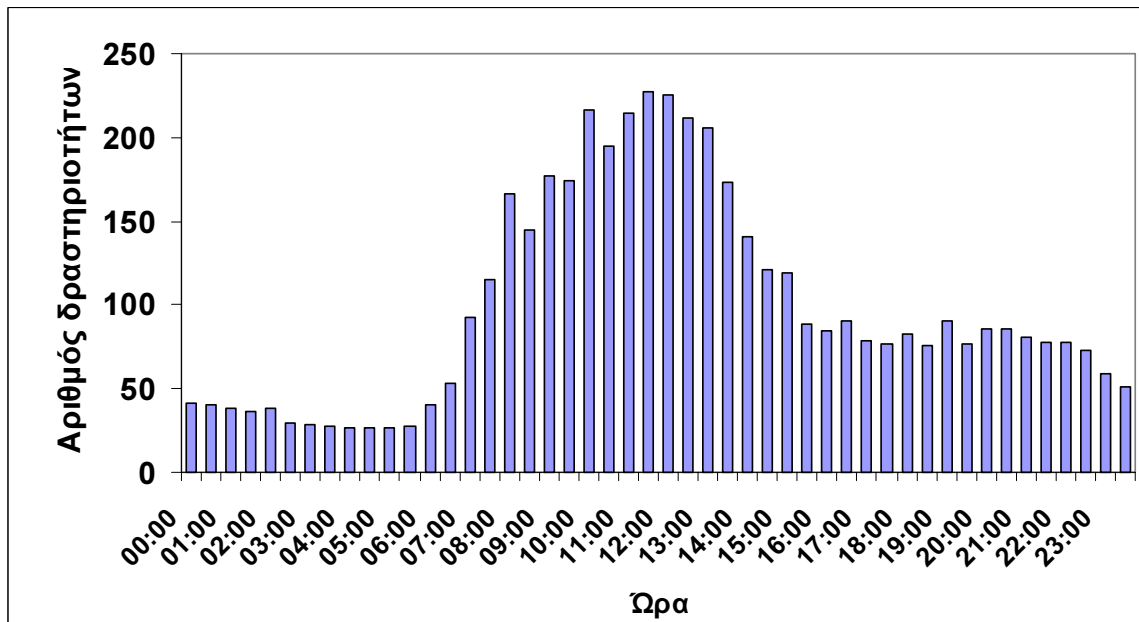
**Σχήματα 6-2:** Ποσοστά των δραστηριοτήτων που δρουν ως «πηγές» ΑΣ (α) και που βοηθούν στην ανανέωση του αέρα εσωτερικού χώρου (β), κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας στις 35 κατοικίες.



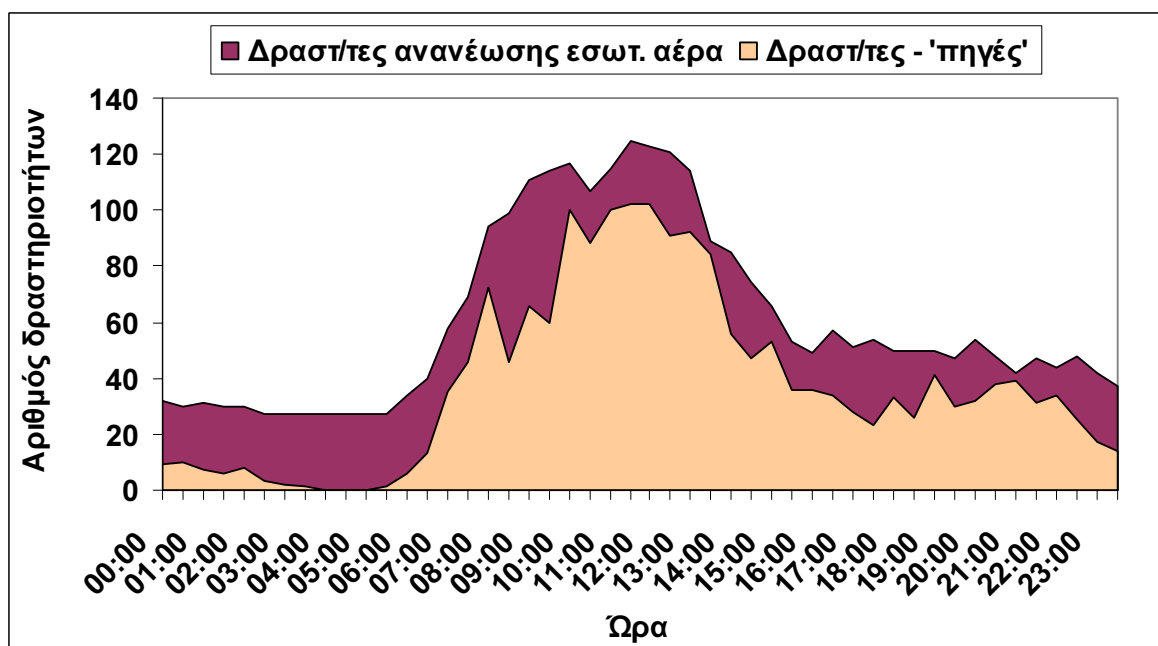
Στο Σχήμα 6-3, παρουσιάζεται η ημερήσια κατανομή του συνόλου των δραστηριοτήτων, για τις 35 κατοικίες. Οι ένοικοι των κατοικιών, ενεργοποιούνται μετά το πρωινό ξύπνημα (κατά τις 7:00 π.μ.), με τις δραστηριότητες να αυξάνονται απότομα μετά τις 8:00π.μ. και να φτάνουν σε μέγιστο κατά το διάστημα 10:00 π.μ. – 13:00 μ.μ., λόγω αντίστοιχης αύξησης των δραστηριοτήτων που δρουν ως πηγές (Σχήμα 6-4). Στο διάστημα αυτό, πραγματοποιούνται οι περισσότερες δραστηριότητες που αφορούν, στην καθαριότητα και στο μαγείρεμα. Ένα δεύτερο μέγιστο, φαίνεται να παρουσιάζεται τις απογευματινές και τις πρώτες βραδινές ώρες, μετά την επιστροφή των ενοίκων στην κατοικία.

Οι δραστηριότητες που βοηθούν στην ανανέωση του αέρα εσωτερικού χώρου (π.χ. άνοιγμα μπαλκονόπορτας), φαίνεται και εδώ να είναι περισσότερες, από εκείνες που δρουν ως πηγές (Σχήμα 6-1, Σχήμα 6-4), λόγω της μεγάλης αύξησής τους κατά την καλοκαιρινή περίοδο, σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, ακόμα και κατά τις βραδινές και πρώτες πρωινές ώρες (Σχήμα 6-4). Αντίθετα, οι δραστηριότητες που δρουν ως πηγές, παρουσιάζουν αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρουσιάζοντας το πρώτο μέγιστο τις πρωινές ώρες (8:00 π.μ.) και το κυρίως μέγιστο κατά τις πρώτες μεσημβρινές ώρες (12:00 – 14:00μ.μ.).

**Σχήμα 6-3:** Ημερήσια κατανομή του αριθμού των δραστηριοτήτων για το σύνολο των υπό μελέτη κατοικιών.

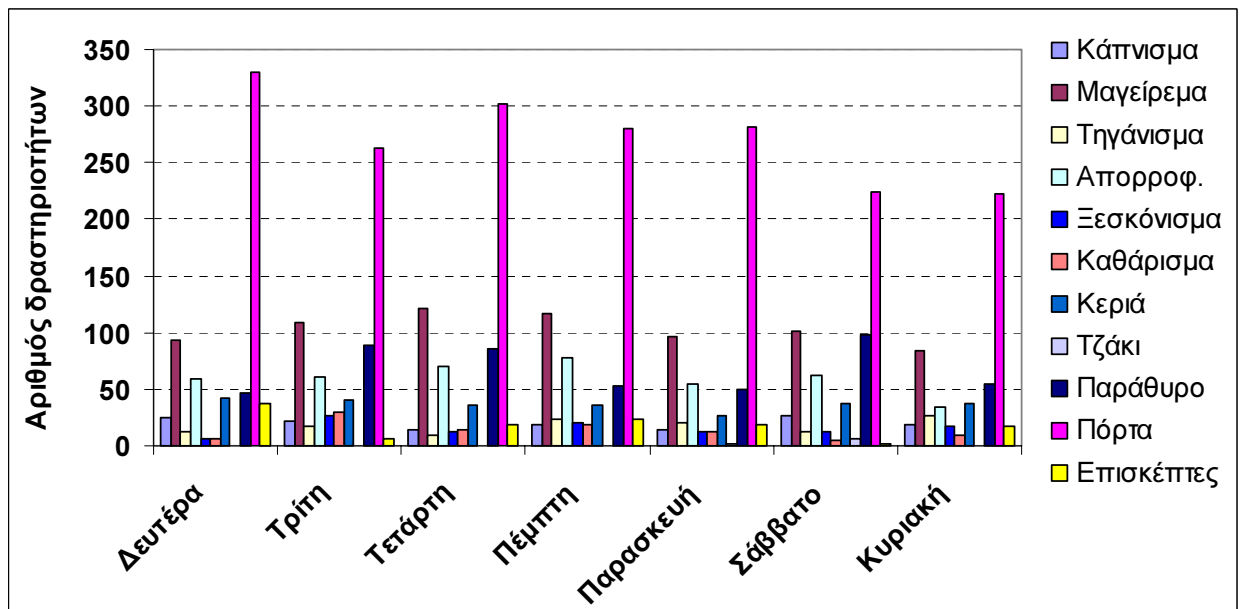


**Σχήμα 6-4:** Συγκριτική, ημερήσια κατανομή του αριθμού των δραστηριοτήτων που συνεισφέρουν ως πηγές ΑΣ και αυτών που βοηθούν στην ανανέωση του εσωτερικού αέρα..



Στο Σχήμα 6-5, φαίνεται η εβδομαδιαία κατανομή των δραστηριοτήτων, όπου παρουσιάζεται μικρή αύξηση των δραστηριοτήτων που αφορούν στην καθαριότητα του σπιτιού, στην αρχή της εβδομάδας (Τρίτη) ενώ οι δραστηριότητες που αφορούν στην προετοιμασία φαγητού (μαγείρεμα, απορροφητήρας) παρουσιάζουν μέγιστο κατά το μέσο της εβδομάδας (Τετάρτη – Πέμπτη).

**Σχήμα 6-5:** Εβδομαδιαία κατανομή του αριθμού των δραστηριοτήτων κατά τη διάρκεια της εβδομάδας.



### 6.3 Επίδραση των δραστηριοτήτων στις συγκεντρώσεις ΑΣ

Η ανά λεπτό καταγραφή του αριθμού των ΑΣ (ΑΑΣ), έκανε δυνατή τη μελέτη της επίδρασης των δραστηριοτήτων στις συγκεντρώσεις του. Η καταγραφή των δραστηριοτήτων, που έλαβαν χώρα εντός των κατοικιών, έγινε από τους ενοίκους σε ειδικά «ημερολόγια», ανά 30min (Παράρτημα Α, Έντυπο 4). Προκειμένου να γίνει συσχετισμός συγκέντρωσης του ΑΑΣ με τις δραστηριότητες που έλαβαν μέρος σε κάθε κατοικία, υπολογίστηκε η ανά 30min μέση συγκέντρωση του ΑΑΣ.

Αρχικά, από τα ολικά αποτελέσματα (Κεφ. 5) των συγκεντρώσεων των ΑΣ εσωτερικού χώρου (Πίνακας 6-1) φαίνεται ότι, ειδικά για τον ΑΑΣ, το μεγάλο εύρος των τιμών ( $841 \text{ σωμ./cm}^3$  (ελάχιστη τιμή) –  $156268 \text{ σωμ./cm}^3$  (μέγιστη τιμή)), οφείλεται στις μεγάλες ημερήσιες διακυμάνσεις κυρίως λόγω των δραστηριοτήτων που λάμβαναν χώρα. Η μέγιστη τιμή του ΑΑΣ είναι ενδεικτική των ακραίων τιμών που μπορούν να φτάσουν τα ΑΣ λόγω της επίδρασης των δραστηριοτήτων.

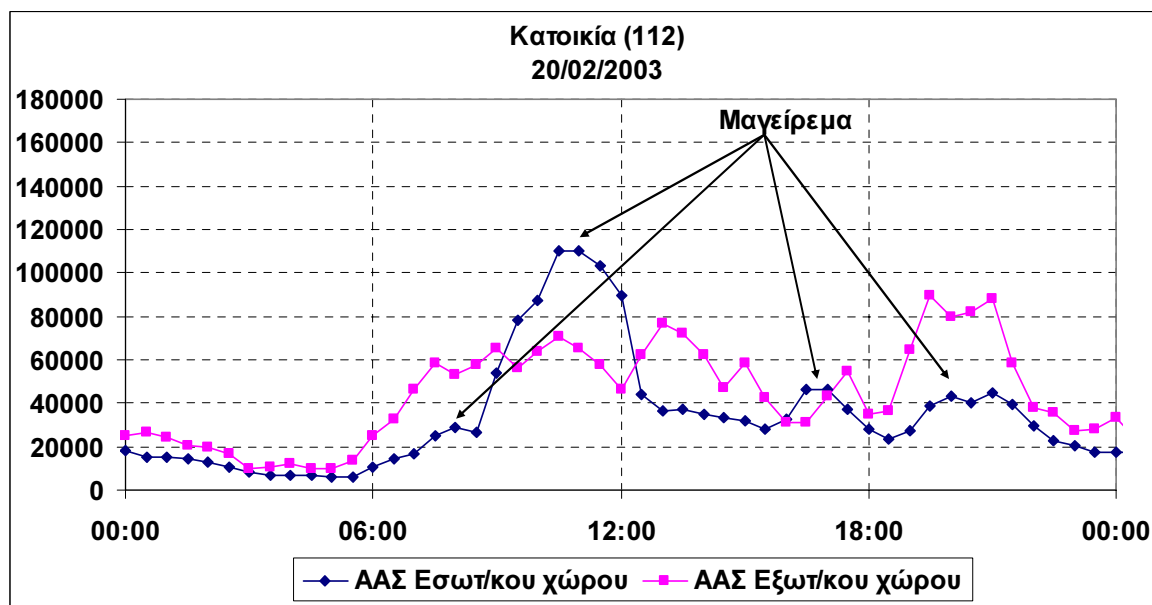
**Πίνακας 6-1:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εσωτερικού χώρου των κατοικιών.

|             | ΑΣ <sub>10</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | ΑΣ <sub>2.5</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Συντ.<br>Απορ/σης<br>( $\times 10^{-5}/\text{m}$ ) | ΑΑΣ (σωμ. /<br>$\text{cm}^3$ ) |
|-------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
| (n)         | (34)                                             | (34)                                              | (34)                                                   | (34)                                               | (32)                           |
| M.T. $\pm$  | $35.0 \pm 1.5$                                   | $21.5 \pm 0.9$                                    | $13.5 \pm 1.1$                                         | $3.0 \pm 0.2$                                      | $16375 \pm 2518$               |
| σ.σφ        | 8.3 – 77.2                                       | 3.3 – 48.6                                        | 0.6 – 56.8                                             | 0.7 – 8.6                                          | 841 - 156268                   |
| ελαχ.- μεγ. |                                                  |                                                   |                                                        |                                                    |                                |

Ως παράδειγμα επίδρασης μεμονωμένων ή συνδυασμού δραστηριοτήτων, παραθέτονται τα ημερήσια διαγράμματα της συγκέντρωσης του ΑΑΣ δύο κατοικιών. Στο ημερήσιο διάγραμμα της συγκέντρωσης του ΑΑΣ, στην κατοικία (112) (Σχήμα 6-6), της 20/03/2003, φαίνεται η επίδραση μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας (του μαγειρέματος) στα επίπεδα του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου. Αν και γενικά, στη συγκεκριμένη κατοικία, οι συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες εσωτερικού, παρατηρείται απότομη αύξηση των μέσων τιμών κατά τη

διάρκεια του μαγειρέματος. Η προετοιμασία πρωϊνού στις 7:30π.μ. προκαλεί μικρή αύξηση στις τιμές του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου. Η μεγαλύτερη όμως αύξηση, επήλθε κατά την προετοιμασία του φαγητού, χωρίς τη χρήση απορροφητήρα, όπου οι μέσες ωριαίες τιμές, εσωτερικού χώρου, ξεπέρασαν κατά πολύ τις αντίστοιχες εξωτερικού χώρου, με το μέγιστο του «επεισοδίου» να φτάνει το 218% της μέσης ημερήσιας τιμής.

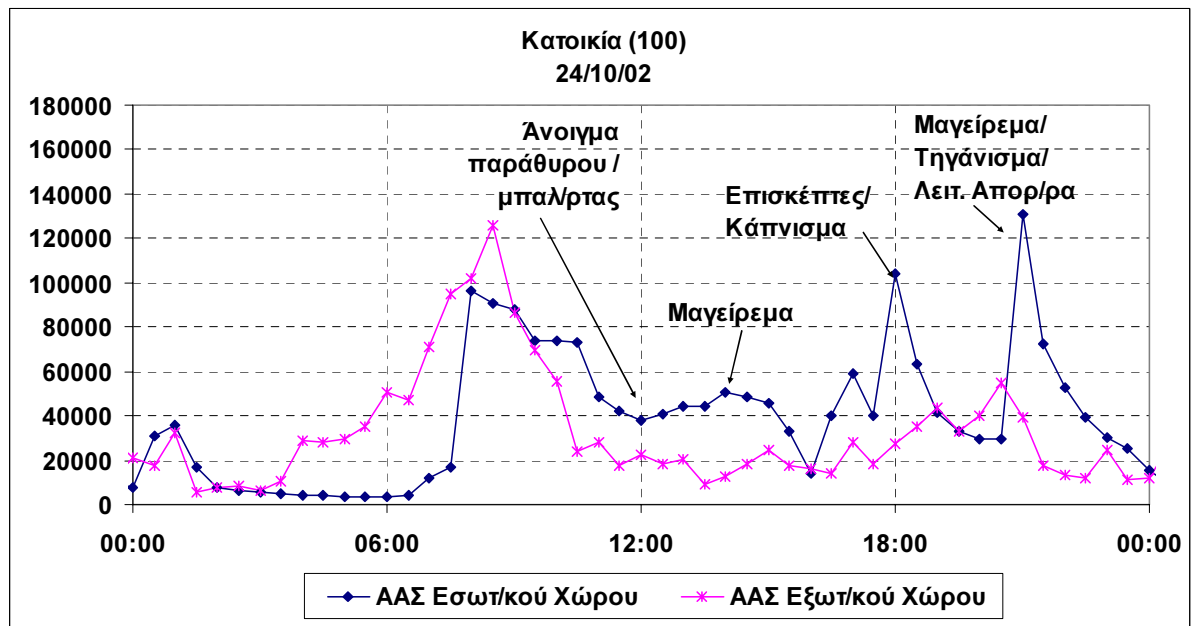
**Σχήμα 6-6:** Ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης του ΑΑΣ, κατοικία (112)



Ομοίως, στο Σχήμα 6-7, φαίνεται το ημερήσιο διάγραμμα της συγκέντρωσης του ΑΑΣ για την κατοικία (100). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι δραστηριότητες δεν παρουσιάζονται μεμονωμένα αλλά σε συνδυασμό. Γενικά, στην κατοικία (100), τα επίπεδα του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου παρουσιάζονται υψηλότερα από εκείνα του εξωτερικού χώρου. Φαίνεται καθαρά η επίδραση του συνδυασμού δύο (κάπνισμα και παρουσία επισκεπτών) ή και τριών (μαγείρεμα, τηγάνισμα και χρήση απορροφητήρα) δραστηριοτήτων, αυξάνοντας την συγκέντρωση του ΑΑΣ κατά μία τάξη.

Σε αμφότερα τα παραδείγματα των κατοικιών, γίνεται αντιληπτή η απότομη αύξηση του ΑΑΣ κατά την έναρξη και εξέλιξη των δραστηριοτήτων με τη σταδιακή, εκθετική μείωση μετά το πέρας τους, γεγονός που συμφωνεί με τα ευρήματα των μελετών των Morawska et al. (2003) και He et al. (2004).

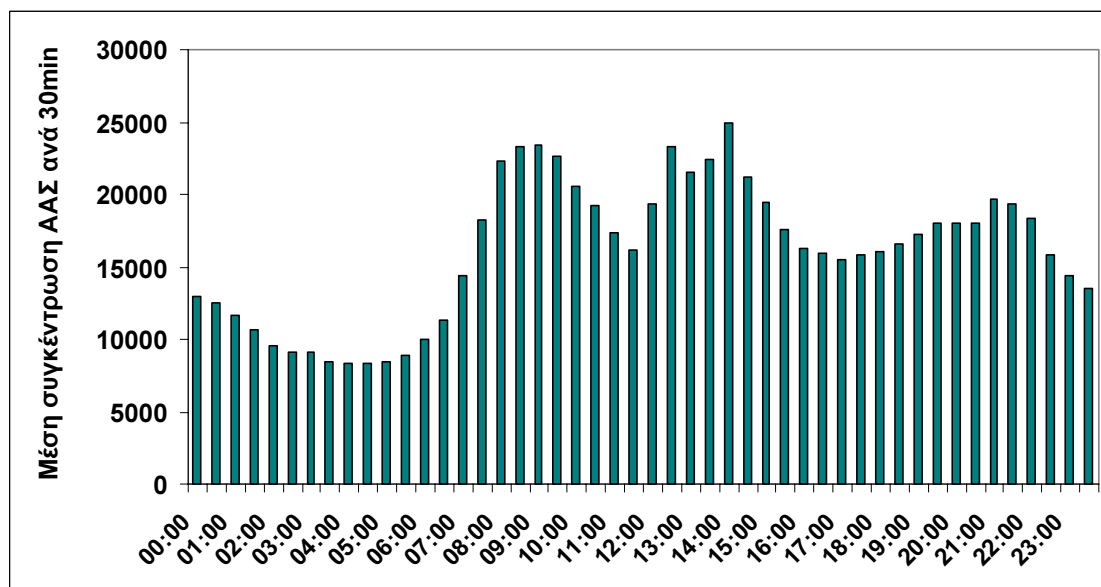
Σχήμα 6-7: Ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης του ΑΑΣ, κατοικία (100).



### 6.3.1 Επίδραση των δραστηριοτήτων ανά κατηγορία, στα επίπεδα του ΑΑΣ

Στο (Σχήμα 6-8) παρουσιάζεται η ημερήσια κατανομή της μέσης συγκέντρωσης, εσωτερικού χώρου, του αριθμού ΑΣ (ανά 30min) για όλες τις κατοικίες. Η μορφολογία της κατανομής έχει άμεση σχέση με τις δραστηριότητες ρουτίνας που πραγματοποιούνται καθημερινά, κατά τη διάρκεια της ημέρας (αριθμός, συχνότητα και είδος). Η μέση ωριαία τιμή του ΑΑΣ παρουσιάζει απότομη αύξηση μετά τις 7:00π.μ., με το ξύπνημα των ενοίκων, φτάνοντας στο πρώτο μέγιστο στις 8:00-9:00π.μ., κατά την προετοιμασία του πρωϊνού και την ετοιμασία για τη μεταφορά στην εργασία, το σχολείο κ.λ.π. Το δεύτερο μέγιστο παρουσιάζεται το μεσημέρι (13:00μ.μ.-14:00μ.μ.) κατά την προετοιμασία του μεσημβρινού γεύματος και το τρίτο κατά την επιστροφή των ενοίκων των κατοικιών κατά το διάστημα 19:00-22:00μ.μ. Οι μικρότερες μέσες τιμές εμφανίζονται στα διαστήματα μεταξύ (23:00 – 6:00) και (16:00 – 18:00), οπότε και παρουσιάζονται οι λιγότερες δραστηριότητες.

**Σχήμα 6-8:** Ημερήσια κατανομή της μέσης συγκέντρωσης του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου, ανά 30min.



Σύμφωνα με μελέτη των Morawska et al. (2003), η μέγιστη συγκέντρωση ΑΣ παρατηρείται μεταξύ 6:30π.μ. και 9:00π.μ. καθώς και μεταξύ 16:30μ.μ. και 20:00μ.μ.

οπότε, συνήθως, πραγματοποιούνται οι διεργασίες για την προετοιμασία του φαγητού. Στη συγκεκριμένη μελέτη, η ημερήσια κατανομή του ΑΑΣ διαφοροποιείται λόγω διαφορετικών συνηθειών, όπως π.χ. διαφορές ως προς τις ώρες των γευμάτων και την προετοιμασία τους.

Η συσχέτιση του ολικού αριθμού των δραστηριοτήτων, κατά τη διάρκεια της ημέρας και των αντίστοιχων μέσων συγκεντρώσεων του ΑΑΣ, έδωσε υψηλή συσχέτιση, με συντελεστή Pearson  $R=0.79$ . Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των δραστηριοτήτων, ανά κατηγορία, στα επίπεδα συγκέντρωσης του ΑΑΣ, έγινε φιλτράρισμα των τιμών για την περίπτωση που υπήρχε μόνο μια δραστηριότητα και κατόπιν μελετήθηκε η επίδραση δύο ή περισσότερων δραστηριοτήτων, που έλαβαν χώρα ταυτόχρονα. Ο Πίνακας 6-2 παρουσιάζει τις μέσες τιμές συγκεντρώσεων του ΑΑΣ, εσωτερικού χώρου, ανά δραστηριότητα, καθώς και την αντίστοιχη τιμή του λόγου της συγκέντρωσης του ΑΑΣ εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου (I/O).

**Πίνακας 6-2:** Μέσες τιμές της συγκέντρωσης ΑΑΣ εσωτερικού χώρου και του αντίστοιχου λόγου (I/O), ανά δραστηριότητα (N: αριθμός δραστηριοτήτων).

| Δραστηριότητες    | N    | ΑΑΣ εσωτ. χώρου   | I/O             |
|-------------------|------|-------------------|-----------------|
| Κάπνισμα          | 12   | $19375 \pm 7465$  | $0.73 \pm 0.37$ |
| Μαγείρεμα         | 177  | $25683 \pm 21987$ | $1.00 \pm 0.65$ |
| Τηγάνισμα         | 16   | $26903 \pm 36151$ | $1.99 \pm 1.78$ |
| Λειτ. απορ/ρα     | 11   | $13555 \pm 7165$  | $0.82 \pm 0.66$ |
| Ξεσκόνισμα        | 18   | $16711 \pm 10476$ | $0.93 \pm 0.42$ |
| Καθάρισμα         | 5    | $11107 \pm 7312$  | $0.76 \pm 0.71$ |
| Κερίά             | 37   | $31924 \pm 34172$ | $1.67 \pm 1.50$ |
| Τζάκι             | 7    | $10287 \pm 2976$  | $0.34 \pm 0.15$ |
| Άνοιγμα παράθυρου | 110  | $19910 \pm 26916$ | $0.99 \pm 0.99$ |
| Άνοιγμα μπαλκ/τας | 1000 | $12537 \pm 8784$  | $1.30 \pm 0.47$ |
| Μηχ. Εξαερισμός   | 13   | $18955 \pm 13722$ | $0.76 \pm 0.25$ |
| Επισκέπτες        | 131  | $17642 \pm 16555$ | $1.11 \pm 1.33$ |
| Καμία δρατ/τα     | 7210 | $15232 \pm 27487$ | $1.05 \pm 1.21$ |

Από τον Πίνακα 6-2, φαίνεται ότι ορισμένες από τις δραστηριότητες – πηγές, όπως το άναμμα κεριών, το τηγάνισμα και το μαγείρεμα, αυξάνουν αρκετά τα επίπεδα του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου, γεγονός που γίνεται αντιληπτό τόσο από τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου όσο και από το λόγο I/O. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των κεριών υπάρχει αύξηση των συγκεντρώσεων κατά 109%, στο τηγάνισμα 77%, στο μαγείρεμα 69% και στο κάπνισμα 27%, κατά μέσο όρο ως προς τις περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε καμιά δραστηριότητα. Οι μηχανισμοί εξαερισμού, στις περισσότερες κατηγορίες, φαίνεται να βοηθούν στην ανανέωση του αέρα εσωτερικού χώρου, δίνοντας, γενικά, τιμές λόγου (I/O) μικρότερες της μονάδας.

Στην συνέχεια, μελετήθηκε η συνδυασμένη επίδραση δύο ή περισσότερων δραστηριοτήτων, με τον αριθμό των πηγών να κυμαίνεται από 1 έως 4 και των καταβοθρών από 1 έως 3 (Πίνακας 6-3).

**Πίνακας 6-3:** Μέση τιμή του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου, απόκλιση και διάμεσος, για τις περιπτώσεις ανά περίπτωση αριθμού «πηγών» και «καταβοθρών».

| Αριθμός<br>‘πηγών’<br>(n <sub>1</sub> ) | Αριθμός<br>‘καταβοθρών’<br>(n <sub>2</sub> ) | Αριθμός<br>περιπτώσεων<br>(N) | Μέση<br>Τιμή<br>ΑΑΣ | Τυπική<br>απόκλιση<br>του ΑΑΣ | Διάμεσος<br>ΑΑΣ |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 (Ολικά)                               |                                              | 885                           | 181812              | 20097                         | 12934           |
| 1                                       | 0                                            | 335                           | 19677               | 21340                         | 14269           |
| 1                                       | 1                                            | 418                           | 17748               | 19987                         | 13436           |
| 1                                       | 2                                            | 110                           | 14907               | 16479                         | 9871            |
| 1                                       | 3                                            | 22                            | 20613               | 17738                         | 14941           |
| 2 (Ολικά)                               |                                              | 173                           | 31226               | 37387                         | 21053           |
| 2                                       | 0                                            | 51                            | 25666               | 17901                         | 23042           |
| 2                                       | 1                                            | 86                            | 34876               | 45304                         | 20546           |
| 2                                       | 2                                            | 25                            | 26728               | 22415                         | 20032           |
| 2                                       | 3                                            | 11                            | 38694               | 58353                         | 18213           |
| 3 (Ολικά)                               |                                              | 43                            | 36014               | 23132                         | 31710           |
| 3                                       | 0                                            | 7                             | 43972               | 29209                         | 30810           |
| 3                                       | 1                                            | 27                            | 34744               | 20669                         | 32881           |
| 3                                       | 2                                            | 8                             | 25464               | 11371                         | 22765           |
| 3                                       | 3                                            | 1                             | 98979               |                               |                 |
| 4 (Ολικά)                               |                                              | 10                            | 35791               | 17840                         | 31266           |
| 4                                       | 0                                            | 3                             | 57213               | 17615                         | 50145           |
| 4                                       | 2                                            | 6                             | 26757               | 7435                          | 28556           |
| 4                                       | 3                                            | 1                             | 25735               |                               |                 |

Στον Πίνακα 6-3 φαίνεται καθαρά ότι, η αύξηση του αριθμού των «πηγών» ( $n_1=1 - n_1=4$ ), χωρίς την παρουσία «καταβόθρων», αυξάνει κατά πολύ τη συγκέντρωση του ΑΑΣ, από  $(19677 \pm 21340)\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ , στην περίπτωση μίας πηγής, σε  $(25666 \pm 17901)\text{σωμ.}/\text{cm}^3$  στην περίπτωση δύο πηγών ( $n_1=2$ ), με ποσοστό 30%, σε  $(43972 \pm 29209)\text{σωμ.}/\text{cm}^3$  στην περίπτωση τριών πηγών ( $n_1=3$ ), με ποσοστό 123% και σε  $(57213 \pm 17615)\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ , στην περίπτωση τεσσάρων πηγών ( $n_1=4$ ) με ποσοστό 109%. Οι δραστηριότητες που δρουν ως καταβόθρες φαίνεται να δρουν θετικά, ως ένα βαθμό, στη μείωση των συγκεντρώσεων του ΑΑΣ. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του ΑΑΣ μειώνεται σημαντικά μεταξύ των περιπτώσεων όπου δεν υπάρχουν καταβόθρες ( $n_2=0$ ) και των περιπτώσεων όπου ο αριθμός τους φτάνει τις δύο ( $n_2=2$ ; π.χ. άνοιγμα παράθυρου ή μπαλκονόπορτας). Στην περίπτωση όμως που υπάρχουν τρεις καταβόθρες, δεν παρουσιάζεται η αναμενόμενη μείωση πιθανώς λόγω του μικρού αριθμού των περιπτώσεων.

Κατόπιν, για τις περιπτώσεις όπου εμφανιζόταν μόνο μια δραστηριότητα, έγιναν τα αντίστοιχα θηκογράμματα (boxplot). Τα αποτελέσματα ανά κατηγορία: μέση, διάμεσος, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 6-9. Από το συγκεκριμένο σχήμα, γίνεται αντιληπτό, ότι η διάμεσος τιμή είναι ιδιαίτερα υψηλή τόσο στην περίπτωση του «μαγειρέματος» και των «κεριών» όσο και στην περίπτωση του «καπνίσματος». Σε ορισμένες δραστηριότητες, όπως το άναμμα των κεριών και το τηγάνισμα, λόγω υπερβολικής αύξησης των συγκεντρώσεων του ΑΑΣ, η μέση τιμή εμφανίζεται μεγαλύτερη από τις τιμές του 3<sup>ου</sup> τεταρτημορίου, δηλαδή του 75%. Πρέπει να σημειωθεί ότι η χημική σύσταση των σωματιδίων που παράγονται ανά δραστηριότητα μπορεί να είναι διαφορετική.

Αντίθετα, στην περίπτωση του «καπνίσματος» και του «τζακιού» η μέση τιμή και η διάμεσος διαφέρουν ελάχιστα. Δραστηριότητες όπως, το μαγείρεμα, το τηγάνισμα, το ξεσκόνισμα, οι «επισκέπτες» και το άνοιγμα παράθυρου, παρουσιάζουν ενδοτεταρτημοριακό εύρος αρκετά αυξημένο, κυρίως λόγω των ακραίων τιμών που εμφανίζουν ορισμένες από αυτές (π.χ. μαγείρεμα, τηγάνισμα). Η δραστηριότητα του μηχανικού «εξαερισμού» (κατοικία 115), εμφανίζει σχετικά υψηλές τιμές, προφανώς λόγω κακής συντήρησής του.

Ομοίως, στο Σχήμα 6-10, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα του λόγου (I/O) των συγκεντρώσεων του ΑΑΣ. Τα θηκογράμματα του Σχήμα 6-10 φαίνεται να διαφοροποιούνται από τα αντίστοιχα του Σχήματος 6-9. Είναι εμφανής, η μεγάλη αύξηση της μέσης και της διαμέσου τιμής του λόγου, στην περίπτωση του «τηγανίσματος» και κατά το άναμμα κεριών. Επίσης, αυξημένη τιμή του λόγου παρουσιάζεται κατά την παρουσία επισκεπτών στις κατοικίες καθώς και κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος. Στη συγκεκριμένη μελέτη, το κάπνισμα εμφανίζει σχετικά μικρή μέση τιμή λόγου, γεγονός που οφείλεται τόσο στο μικρό αριθμό των μεμονωμένων περιστατικών καπνίσματος (χωρίς άλλες δραστηριότητες να λαμβάνουν χώρα, π.χ. άνοιγμα παράθυρου ή μπαλκονόπορτας), καθώς στις περισσότερες κατοικίες οι ένοικοι δεν ήταν καπνιστές, όσο και στις υψηλές συγκεντρώσεις ΑΑΣ στον εξωτερικό χώρο των συγκεκριμένων κατοικιών (Κουκάκι, Ζεφύρι, κέντρο Αθήνας).

Όσον αφορά στις δραστηριότητες που βοηθούν στην ανανέωση του αέρα, το άνοιγμα της μπαλκονόπορτας εμφανίζει υψηλές τιμές του λόγου, πιθανώς λόγω της επιβαρυνμένης κατάστασης που επικρατεί εντός της κατοικίας, από κάποια δραστηριότητα που δρα ως πηγή, και οδηγεί τους ενοίκους στο άνοιγμα της μπαλκονόπορτας ή λόγω επιβαρυνμένης κατάστασης του εξωτερικού χώρου (από κυκλοφοριακή κίνηση) με αποτέλεσμα αντί της ανανέωσης του αέρα να επέρχεται η επιβαρυνσή του.

Στη συνέχεια της μελέτης, επιλέχθηκαν οι περιπτώσεις κατά τις οποίες μία δραστηριότητα λάμβανε χώρα, χωρίς να αποκλείεται η ύπαρξη και κάποιων άλλων δραστηριοτήτων, την ίδια χρονική στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο, δεν περιορίστηκε ο αριθμός εμφάνισης μίας συγκεκριμένης δραστηριότητας. Επίσης, έγινε επιλογή των περιπτώσεων όπου δεν λάμβανε χώρα η επιλεγμένη δραστηριότητα, χωρίς να αποκλείεται η ταυτόχρονη επίδραση κάποιας άλλης δραστηριότητας («όχι δραστηριότητα»; Σχήμα 6-11). Με αυτόν τον τρόπο, έγινε προσπάθεια αποτύπωσης της κατάστασης, όπως πραγματικά παρουσιάζεται στις κατοικίες, όπου ζουν και κινούνται οι ένοικοι, χωρίς περιορισμούς, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι περισσότερες δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα και όχι μεμονωμένα (π.χ. μαγείρεμα και λειτουργία απορροφητήρα; Σχήμα 6-11). Είναι εμφανές ότι, οι δραστηριότητες που δρουν ως πηγές, εμφανίζουν τις υψηλότερες μέσες τιμές, παρουσιάζοντας μία διαφορετική εικόνα, σε σύγκριση με τα προηγούμενα σχήματα, με το «ξεσκόνισμα», το «καθάρισμα» και το

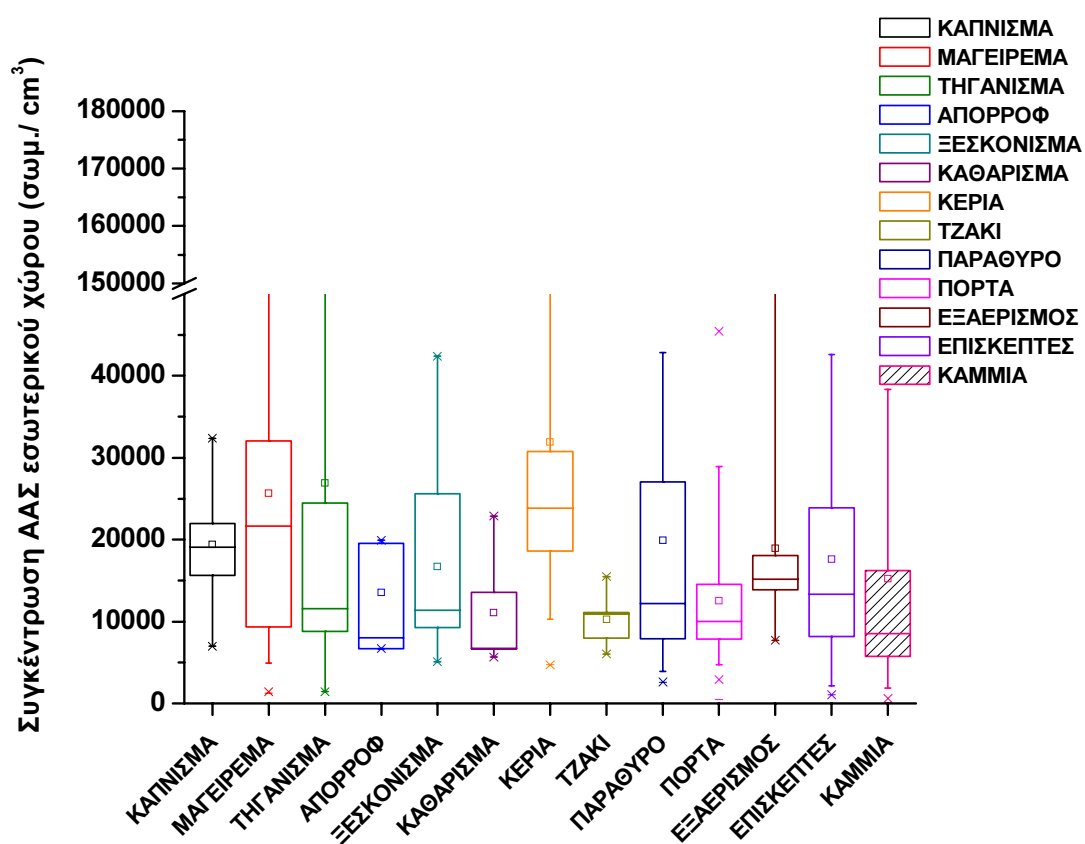
«άναμμα κεριών» να εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ΑΑΣ. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν, οι μέσες τιμές των περιπτώσεων που δεν εμφανίζουν τη συγκεκριμένη δραστηριότητα (όχι δραστηριότητα), όπου σε όλες τις κατηγορίες, παρουσιάζεται μια κοινή εικόνα, με τη μέση τιμή και τη διάμεσο να είναι περίπου στο ίδιο επίπεδο. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, υπάρχει ένα κοινό υπόβαθρο στο οποίο αποτυπώνεται η πραγματική κατάσταση ( $\sim 10000$ σωμ./cm<sup>3</sup>) που επικρατεί σε κατοικίες που διαβιών άνθρωποι, χωρίς περιορισμούς στις δραστηριότητές τους.

Δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις δραστηριότητες που δρουν ως πηγές, μελετήθηκαν οι περιπτώσεις όπου λάμβανε χώρα μια συγκεκριμένη δραστηριότητα ενώ μια ώρα πριν δεν υπήρχε καμιά δραστηριότητα που να επιβαρύνει το εσωτερικό περιβάλλον ή να βοηθά στην ανανέωση του αέρα. Προσδιορίζοντας τη συγκέντρωση του ΑΑΣ τη χρονική στιγμή της δραστηριότητας (μισή ώρα) και βρίσκοντας τη μέγιστη τιμή, στις περιπτώσεις όπου η διάρκεια της δραστηριότητας ήταν μεγαλύτερη από μισή ώρα, υπολογίστηκε η ποσοστιαία επιβάρυνση στις συγκεντρώσεις ΑΑΣ εσωτερικού χώρου κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας, ως προς την κατάσταση που επικρατούσε στην κατοικία, μία ώρα πριν, όπου δεν υπήρχε καμιά δραστηριότητα (Σχήμα 6-12). Σε ορισμένες δραστηριότητες, οι μεμονωμένες περιπτώσεις δεν μπορούν να δώσουν μία ολοκληρωμένη εικόνα. Συγκεκριμένα, σε δραστηριότητες όπως το «καθάρισμα» υπάρχουν μόνο δύο περιπτώσεις (n=2) με αύξηση συγκεντρώσεων κατά 19.6% και 62%. Ομοίως, στο «κάπνισμα» (n=2) υπάρχει αύξηση 66.4% και 127.3%. Στην περίπτωση των κεριών (n=3) η ποσοστιαία αύξηση φτάνει σε ακραίες τιμές και κυμαίνεται μεταξύ 50.6%-1089.8%, ενώ στο «ξεσκόνισμα» (n=3) παρουσιάζεται αύξηση 21.0%-106.8%. Για τις δραστηριότητες του τηγανίσματος (n=2) η αύξηση φτάνει και σε αυτή την περίπτωση σε ακραίες τιμές (92.0%-799.1%). Μόνο στις δραστηριότητες του «μαγειρέματος» (n=76) και των «επισκεπτών» (n=23), ο αριθμός των περιπτώσεων ήταν ικανός να δώσει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα.

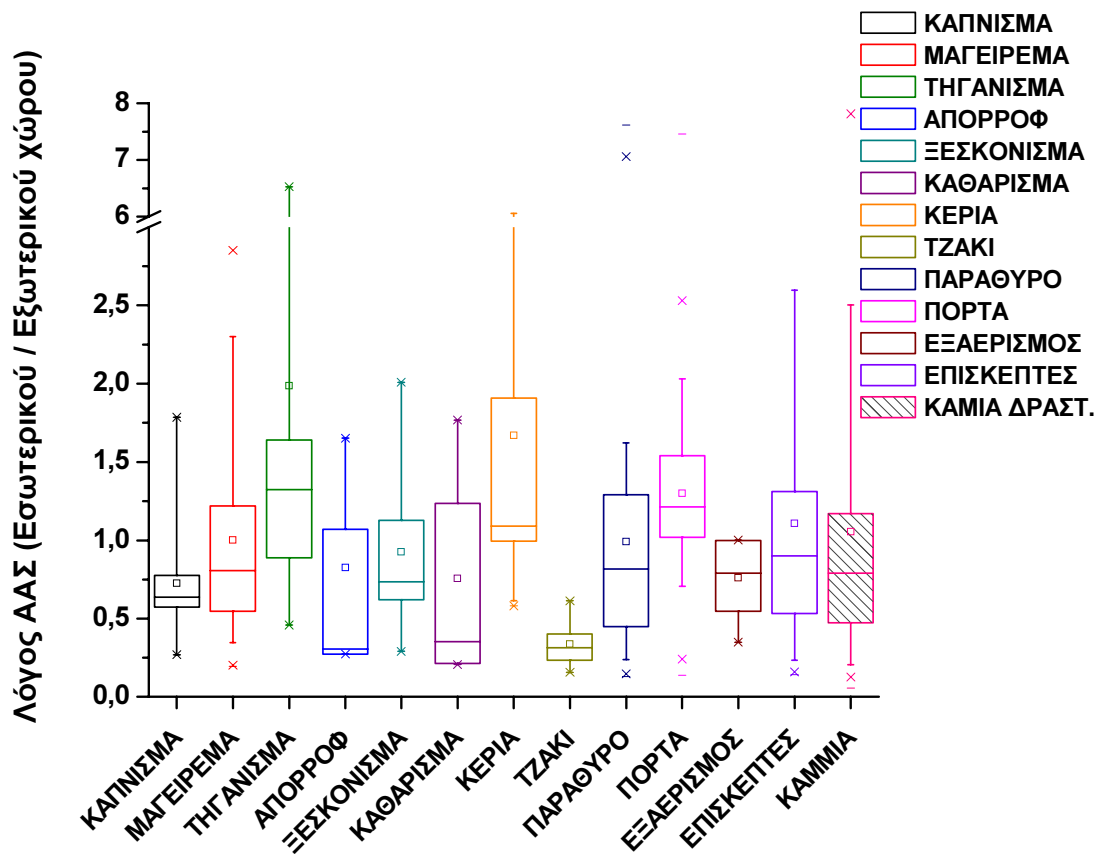
Στη συνέχεια έγινε η κατανομή συχνοτήτων των ποσοστιαίων μεταβολών του ΑΑΣ (Πίνακας 6-4) για τις δύο δραστηριότητες (μαγείρεμα, επισκέπτες) ενώ τα αντίστοιχα ιστογράμματα φαίνονται στα Σχήμα 6-13 και Σχήμα 6-14. Από το Σχήμα 6-13 φαίνεται ότι, οι περισσότερες περιπτώσεις «μαγειρέματος» εμφανίζονται για ποσοστά αύξησης μέχρι και 45%, γεγονός που αποδεικνύει γιατί η συγκεκριμένη δραστηριότητα θεωρείται

μία από τις πιο σημαντικές στην επιβάρυνση του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου (He et al., 2004). Αντίστοιχα, στην περίπτωση «επισκεπτών» οι μεγαλύτερες συχνότητες εμφανίζονται για ποσοστά μέχρι και 40% (Σχήμα 6-14).

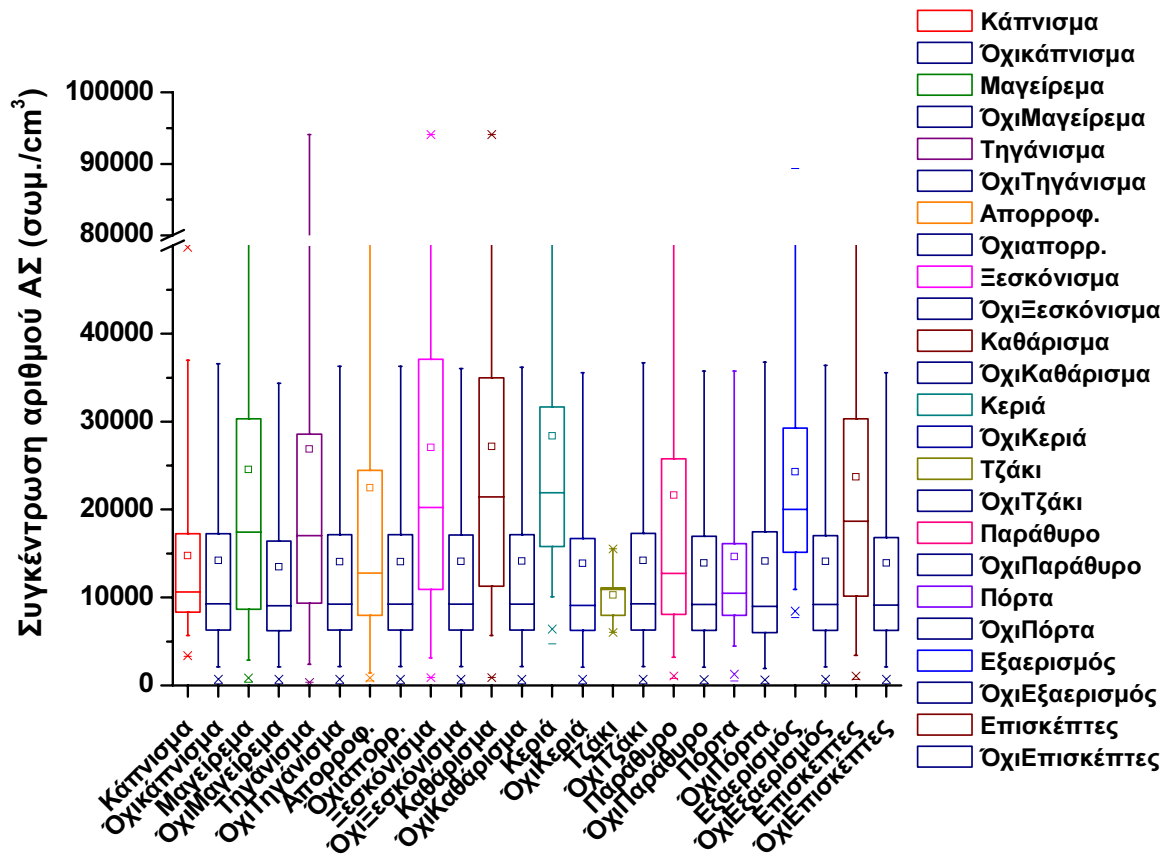
**Σχήμα 6-9:** Συγκέντρωση του ΑΑΣ (εσωτερικού χώρου) ανά δραστηριότητα. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



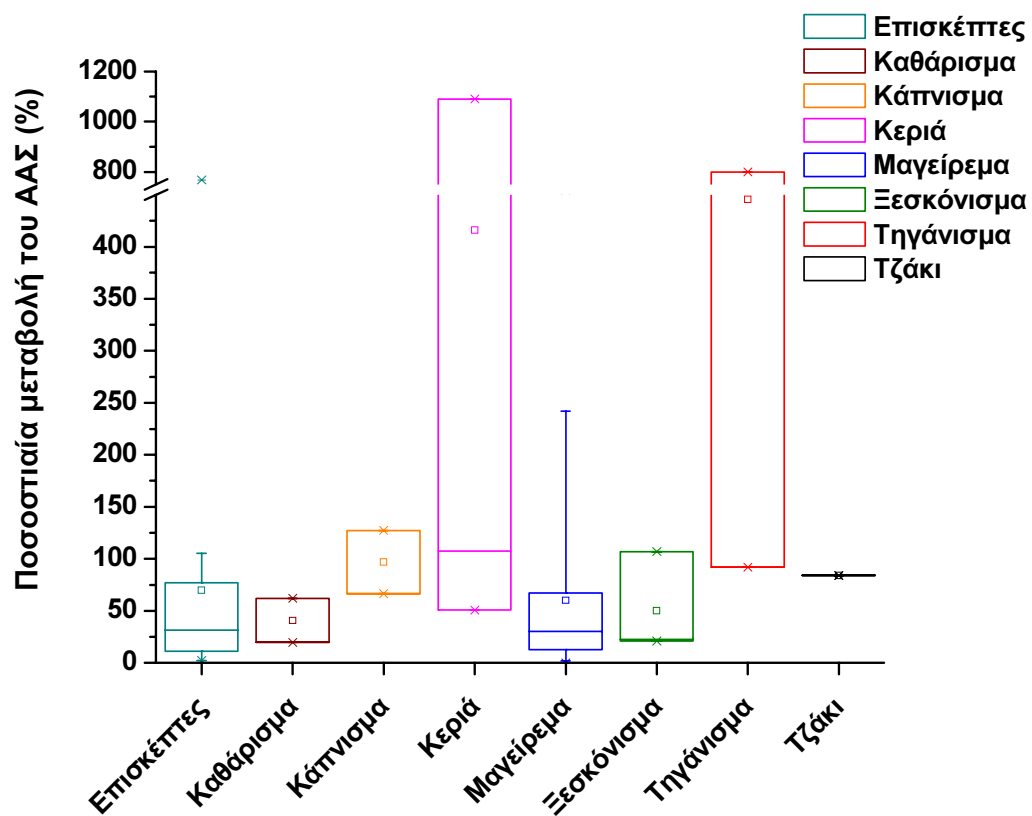
**Σχήμα 6-10:** Λόγος του ΑΑΣ (εσωτερικού/ εξωτερικού χώρου) ανά δραστηριότητα. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (α), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊤), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 6-11:** Συγκέντρωση του ΑΑΣ (εσωτερικού χώρου) κατά την εμφάνιση ή όχι μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή (-), η μέση τιμή (□), το 1% και 99% (\*), το 5% (⊥) και 95% (⊢), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



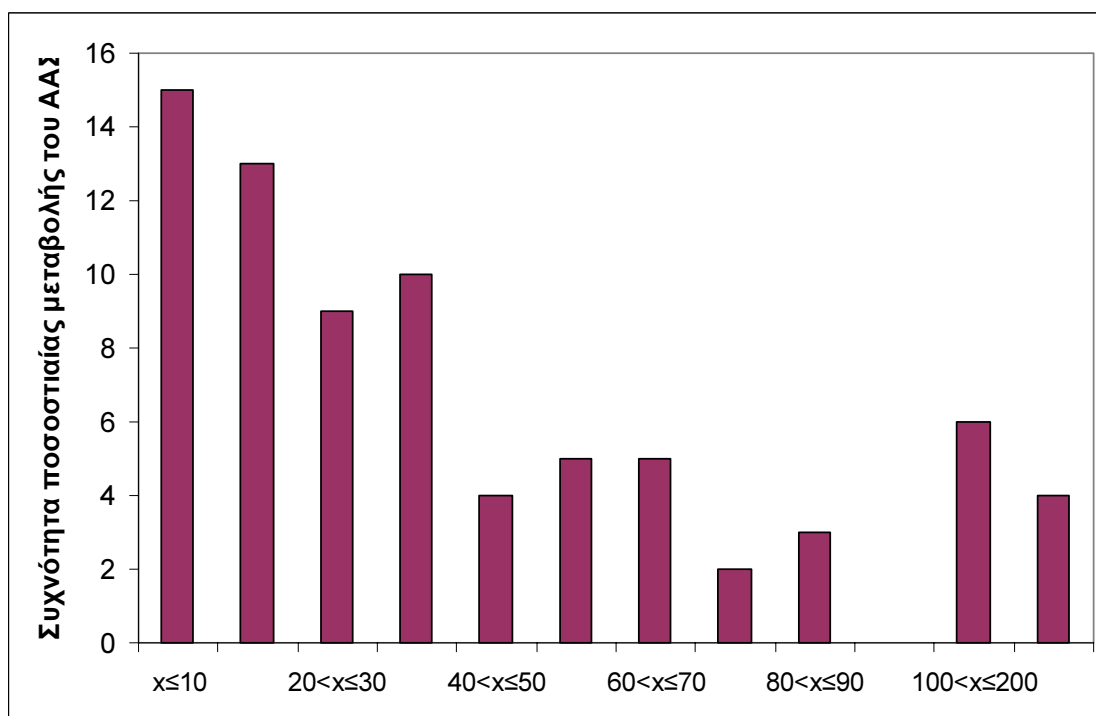
**Σχήμα 6-12:** Ποσοστιαία μεταβολή του ΑΑΣ για τις δραστηριότητες που δρουν ως «πηγές». (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



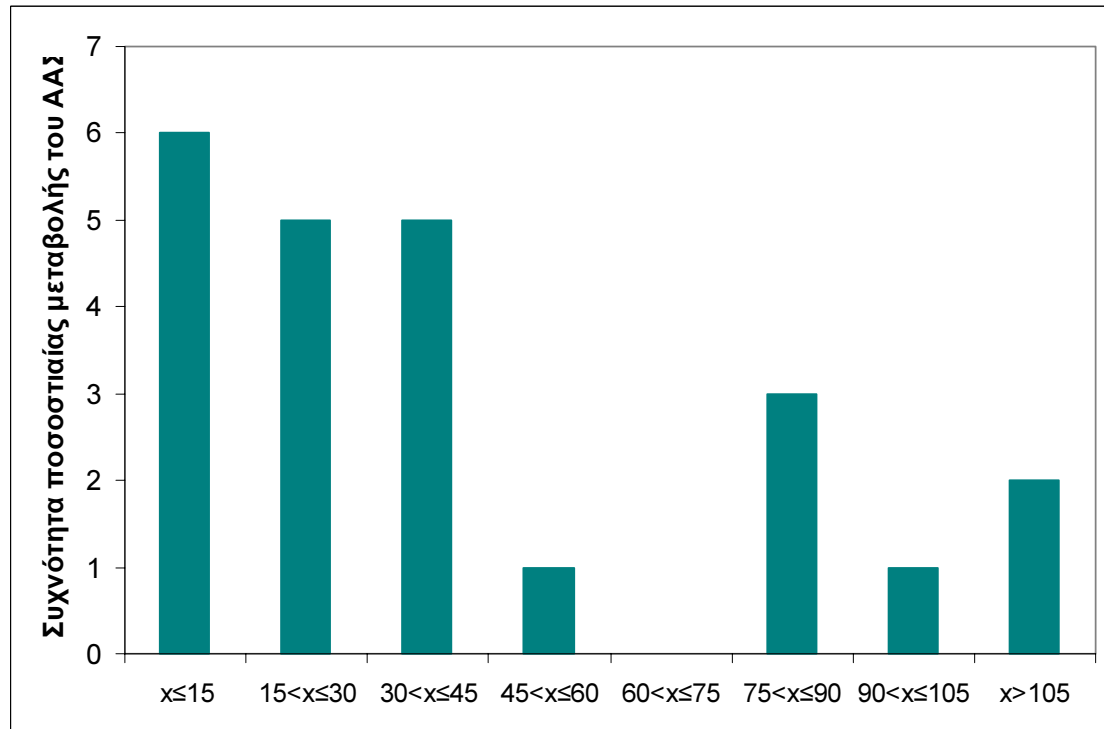
**Πίνακας 6-4:** Πίνακας συχνοτήτων των ποσοστιαίων μεταβολών των ΑΑΣ για τις δραστηριότητες μαγείρεμα, επισκέπτες.

| Μαγείρεμα          |    | Επισκέπτες        |   |
|--------------------|----|-------------------|---|
| $x \leq 10$        | 15 | $x \leq 15$       | 6 |
| $10 < x \leq 20$   | 13 | $15 < x \leq 30$  | 5 |
| $20 < x \leq 30$   | 9  | $30 < x \leq 45$  | 5 |
| $30 < x \leq 40$   | 10 | $45 < x \leq 60$  | 1 |
| $40 < x \leq 50$   | 4  | $60 < x \leq 75$  | 0 |
| $50 < x \leq 60$   | 5  | $75 < x \leq 90$  | 3 |
| $60 < x \leq 70$   | 5  | $90 < x \leq 105$ | 1 |
| $70 < x \leq 80$   | 2  | $x > 105$         | 2 |
| $80 < x \leq 90$   | 3  |                   |   |
| $90 < x \leq 100$  | 0  |                   |   |
| $100 < x \leq 200$ | 6  |                   |   |
| $x > 200$          | 4  |                   |   |

**Σχήμα 6-13:** Κατανομή συχνοτήτων των ποσοστιαίων μεταβολών του ΑΑΣ, στην περίπτωση του «μαγειρέματος».



**Σχήμα 6-14:** Κατανομή συχνοτήτων των ποσοστιαίων μεταβολών του ΑΑΣ, στην περίπτωση των «επισκεπτών».



### 6.3.2 Ισοδύναμη επίδραση των δραστηριοτήτων στα επίπεδα του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου

Στο πλαίσιο της μελέτης της επίδρασης των δραστηριοτήτων, στις συγκεντρώσεις του ΑΑΣ, υπολογίστηκε η «ισοδύναμη επίδραση» κάθε δραστηριότητας. Με τον τρόπο αυτόν έγινε προσπάθεια ποσοτικοποίησης της «σχετικής» βαρύτητας μιας δραστηριότητας (π.χ. κάπνισμα) ως προς τη βαρύτητα άλλων δραστηριοτήτων (π.χ. κάπνισμα = 3·καθαρίσματα), προκειμένου να βρεθεί μια ισοδυναμία μεταξύ των δραστηριοτήτων και να ιεραρχηθεί η συνεισφορά τους στις συγκεντρώσεις του ΑΑΣ.

Για το λόγο αυτόν, απομονώθηκαν οι περιπτώσεις όπου λάμβανε χώρα μια συγκεκριμένη δραστηριότητα ( $x_i$ ). Στην περίπτωση των «πηγών», επιλέχθηκαν οι μέγιστες τιμές ημιώρου ( $\pm 30$  min) και έγινε φιλτράρισμα των περιπτώσεων των οποίων οι τιμές θεωρήθηκαν ακραίες ( $> 3 \cdot \text{Τυπ. Απόκλιση}$ ). Στην περίπτωση των «καταβοθρών», επιλέχθηκαν οι ελάχιστες τιμές ημιώρου ( $\pm 30$  min) έτσι ώστε να επιτευχθεί ο ακριβής προσδιορισμός των περιστατικών όπου επέδρασε η δραστηριότητα. Για το σύνολο των περιστατικών, κάθε κατηγορίας δραστηριοτήτων, υπολογίστηκε η μέση τιμή ( $\mu.t$ )<sub>i</sub> (π.χ. κάπνισμα) καθώς και η  $\mu.t$  για το σύνολο των περιπτώσεων (όλων των κατοικιών) κατά τις οποίες δεν υπήρχε καμία δραστηριότητα ( $y$ ), η οποία προσδιορίζει το υπόβαθρο του συνόλου των κατοικιών. Η τιμή  $a$  αφαιρέθηκε από τις αντίστοιχες μέσες τιμές των δραστηριοτήτων ( $(\Delta \text{ΑΑΣ})_i = x_i - y$ ), έτσι ώστε να προσδιοριστεί η «καθαρή» επίδραση των δραστηριοτήτων. Στη συνέχεια, βρέθηκε η απόλυτη ελάχιστη τιμή των  $\min(\text{abs} \Delta \text{ΑΑΣ})$

για κάθε κατηγορία δραστηριότητας καθώς και ο λόγος  $a_i = \frac{\Delta \text{ΑΑΣ}_i}{\min(\text{abs} \Delta \text{ΑΑΣ})}$  (Πίνακας

6-5). Με μονάδα αναφοράς την απόλυτη τιμή της μεταβολής του ΑΑΣ, η οποία προκαλείται από το «άνοιγμα της μπαλκονόπορτας» (255), οι υπόλοιπες δραστηριότητες εκφράζονται ως προς αυτή. Έτσι επιτυγχάνεται η άμεση σύγκριση, τόσο η καθεμιά ξεχωριστά όσο και οι διάφοροι πιθανοί συνδυασμοί τους. Τα αποτελέσματα της μεθόδου φαίνονται στον Πίνακα 6-5, όπου φαίνεται το άναμμα των κεριών, το μαγείρεμα και το τηγάνισμα να έχουν τις μεγαλύτερες τιμές  $a_i$ .

Ο λόγος  $a_i$  που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία δραστηριότητας πολλαπλασιάστηκε με τις περιπτώσεις των μεμονωμένων δραστηριοτήτων  $n_i$  του ημιώρου ( $n_i \cdot a_i$ ) και υπολογίστηκε ο συνολικός συντελεστής ισοδύναμης επίδρασης  $A_i$ .

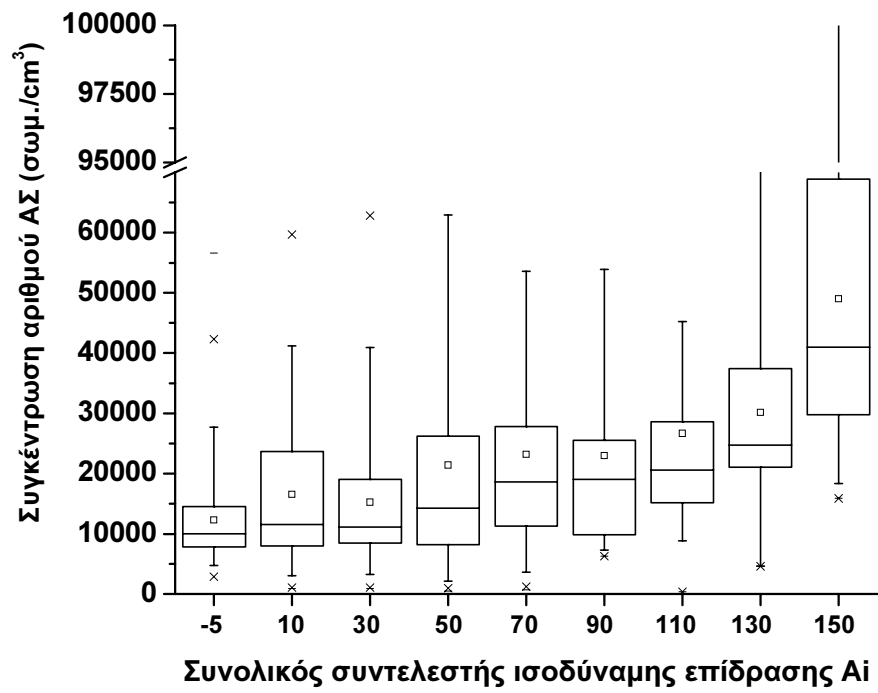
$$A_i = \sum n_i \cdot a_i$$

**Πίνακας 6-5:** Ο συντελεστής Ισοδύναμης Επίδρασης ανά δραστηριότητα ( $a_i$ )

| Δραστηριότητα | Μέση τιμή | N    | ΔΑΑΣ  | Ισοδύναμη επίδραση $a_i$ |
|---------------|-----------|------|-------|--------------------------|
| Κάπνισμα      | 19375     | 12   | 6818  | 26,8                     |
| Μαγείρεμα     | 25453     | 174  | 12896 | 50,7                     |
| Τηγάνισμα     | 25140     | 14   | 12583 | 49,4                     |
| Απορροφητήρας | 13555     | 4    | 998   | 3,9                      |
| Ξεσκόνισμα    | 16711     | 18   | 4154  | 16,3                     |
| Καθάρισμα     | 11107     | 5    | -1450 | -5,7                     |
| Κερίά         | 31924     | 37   | 19367 | 76,1                     |
| Τζάκι         | 10287     | 7    | -2270 | -8,9                     |
| Παράθυρο      | 17269     | 107  | 4712  | 18,5                     |
| Πόρτα         | 12303     | 997  | -255  | -1,0                     |
| Εξαερισμός    | 18955     | 13   | 6398  | 25,1                     |
| Επισκέπτες    | 15942     | 128  | 3385  | 13,3                     |
| Καμιά δρασ.   | 12557     | 6882 |       |                          |

Το σύνολο των υπολογιζόμενων συντελεστών  $A_i$  ανά ημίωρο, με τις αντίστοιχες τιμές του ΑΑΣ παρουσιάζονται στο Σχήμα 6-15, στο οποίο έχει γίνει ομαδοποίηση των τιμών του  $A_i$ , σε εύρος διαστήματος 20 units, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη απεικόνιση της τάσης που εμφανίζουν οι τιμές του. Από το Σχήμα 6-15 φαίνεται η συμμεταβολή της Ισοδύναμης Επίδρασης  $A_i$  και της συγκέντρωσης του ΑΑΣ. Αυξανόμενου του  $A_i$ , το οποίο αντιπροσωπεύει το «αίτιο», αυξάνεται η συγκέντρωση του ΑΑΣ.

**Σχήμα 6-15:** Διάγραμμα του ΑΑΣ ως προς την Ισοδύναμη Επίδραση Δραστηριοτήτων Αι. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



## 6.4 Συμπεράσματα

Η μελέτη της επίδρασης των δραστηριοτήτων εσωτερικού χώρου έγινε σε συνθήκες κανονικής διαβίωσης. Έγινε προσπάθεια προσδιορισμού της επίδρασης των δραστηριοτήτων, με έμφαση στις «πηγές» ΑΣ, στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου του αριθμού ΑΣ των κατοικιών.

Από τα ημερολόγια των δραστηριοτήτων, προσδιορίστηκαν οι δραστηριότητες με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (μαγείρεμα, αερισμός του χώρου, κ.α.). Η ημερήσια κατανομή του συνόλου των δραστηριοτήτων, για τις 35 κατοικίες, έδειξε υψηλή συσχέτιση της συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ εσωτερικού χώρου με τον αριθμό των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η εβδομαδιαία κατανομή των δραστηριοτήτων δεν έδειξε ιδιαίτερη διακύμανση, με μικρή αύξηση τους κατά το μέσο της εβδομάδας.

Παραδείγματα επίδρασης των δραστηριοτήτων, στις συγκεντρώσεις του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου, σε συγκεκριμένες κατοικίες, δείχνουν την απότομη αύξηση των συγκεντρώσεων κατά την έναρξη του επεισοδίου και την εκθετική μείωση τους μετά το πέρας τους. Δραστηριότητες – πηγές, όπως το άναμμα κεριών, το τηγάνισμα και το μαγείρεμα, αυξάνουν αρκετά τα επίπεδα του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου, γεγονός που γίνεται αντιληπτό τόσο από τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου όσο και από το λόγο I/O.

Ο αριθμός των δραστηριοτήτων – πηγών παίζει σημαντικό ρόλο στην αύξηση των συγκεντρώσεων ΑΑΣ εσωτερικού χώρου. Η ταυτόχρονη επίδραση περισσότερων της μίας πηγής, επιφέρει σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων, ειδικά εάν δεν υπάρχουν δραστηριότητες που βοηθούν στον αερισμό του χώρου.

Στην προσπάθεια αποτύπωσης της κατάστασης, χωρίς περιορισμούς, όπως πραγματικά παρουσιάζεται στις κατοικίες όπου ζουν και κινούνται οι ένοικοι, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι περισσότερες δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα και όχι σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (π.χ. μαγείρεμα και λειτουργία απορροφητήρα), έγινε επιλογή των περιπτώσεων όπου λάμβανε χώρα η επιλεγμένη δραστηριότητα, χωρίς να αποκλείεται η ταυτόχρονη επίδραση κάποιας άλλης

δραστηριότητας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι, για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν εμφανιζόταν η συγκεκριμένη δραστηριότητα, υπάρχει ένα κοινό υπόβαθρο στο οποίο αποτυπώνεται η πραγματική κατάσταση ( $\sim 10000$ σωμ./cm<sup>3</sup>) που επικρατεί σε κατοικίες στις οποίες διαβιούν άνθρωποι, χωρίς περιορισμούς στις δραστηριότητές τους.

Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας επιβάρυνσης στις συγκεντρώσεις ΑΑΣ εσωτερικού χώρου από πηγές έδειξε ότι οι δραστηριότητες που επιβαρύνουν περισσότερο τον εσωτερικό χώρο των κατοικιών είναι, κατά κύριο λόγο, το άναμμα των κεριών και το τηγάνισμα και δευτερευόντως το κάπνισμα και το ξεσκόνισμα.

Η ισοδύναμη επίδραση των δραστηριοτήτων ( $\alpha_i$ ) προσδιόρισε τη «σχετική» βαρύτητα μιας δραστηριότητας (π.χ. κάπνισμα) ως προς τη βαρύτητα άλλων δραστηριοτήτων. Τη μεγαλύτερη τιμή  $\alpha_i$  παρουσιάζει το άναμμα των κεριών και ακολουθούν οι διαδικασίες μαγειρέματος (τηγάνισμα, βράσιμο). Από τη συμμεταβολή της Συνολικής Ισοδύναμης Επίδρασης  $A_i$  και της συγκέντρωσης του ΑΑΣ, φαίνεται ότι αυξανόμενου του  $A_i$ , το οποίο αντιπροσωπεύει το «αίτιο», αυξάνεται η συγκέντρωση του ΑΑΣ.

Γενικά, φαίνεται ότι τόσο το είδος όσο και το πλήθος των δραστηριοτήτων αποτελούν σημαντικούς παράγοντες επίδρασης στις συγκεντρώσεις του αριθμού ΑΣ εσωτερικού χώρου, με τις κυριότερες δραστηριότητες-πηγές να είναι το άναμμα των κεριών και το τηγάνισμα και δευτερευόντως το κάπνισμα.

## Βιβλιογραφία

Hanninen O., Lebrete E., Ilacqua V., Katsouyanni K., Kunzli N., Sram R.J., Jantunen M., 2004: Infiltration of ambient PM<sub>2.5</sub> and levels of indoor generated non-ETS PM<sub>2.5</sub> in residences of four European cities. *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 6411–6423.

He C., Morawska L., Hitchins J., Gilbert D., 2004: Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, pp. 3405–3415.

Lachenmyer C., Hidy G. M., 2000: Personal exposure in the deep south. Part I. Pilot study of mass concentrations for non-smoking subjects, *Aerosol Science and Technology*, Vol. 32, no 1, pp. 34-51.

Long C. M., Suh H. and Koutrakis P., 2000: Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors, *Air and Waste Management Association*, Vol. 50, pp. 1236-1250.

Monn C. H., Braendli O., Schaeppi G., Schindler T Ch, Ackermann-Liebrich U., Leuenberger Ph. and Sapaldia Team, 1995: Particulate Matter < 10μm (PM<sub>10</sub>) and Total Suspended Particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland, *Atmospheric Environment*, Vol. 29, No. 19, pp. 2565-2573.

Morawska L., He C., Hitchins J., Mengersen K., Gilbert D., 2003: Characteristics of particle number and mass concentrations in residential houses in Brisbane, Australia, *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 4195–4203.

Morawska L., Zhang J., 2002: Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures, *Chemosphere*, Vol. 49, pp. 1045–1058.

Tucker. W. G., 2000: An overview of PM sources and control strategies 2.5, *Fuel Processing Technology*, Vol. 65–66, pp. 379–392.

Tuckett C.J., Holmes P., Harrison P.T.C., 1998: Airborne Particles in the home, *J. Aerosol Sci.*, Vol. 29, Suppl. 1, pp. 293-S294.

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### 7. Επίδραση των χαρακτηριστικών των κατοικιών στις συγκεντρώσεις των ΑΣ

#### 7.1 Εισαγωγή

Η αβεβαιότητα που υπάρχει για την επικινδυνότητα των ΑΣ στη δημόσια υγεία, σχετίζεται με την έκθεση του ανθρώπου σ'αυτά. Πιο συγκεκριμένα, οφείλεται στη χαμηλή συσχέτιση μεταξύ της προσωπικής έκθεσης σε ΑΣ και των συγκεντρώσεων ΑΣ στον εξωτερικό - περιβάλλοντα χώρο, η οποία μεταβάλλεται στα διάφορα κλάσματα των ΑΣ.

Επίσης, οι διαφοροποιήσεις στην έκθεση αποδίδονται μερικώς στην επίδραση των δραστηριοτήτων εσωτερικού χώρου (π.χ. μαγείρεμα), στους μηχανισμούς ανανέωσης του αέρα και στις ατομικές δραστηριότητες του ανθρώπου (Williams et. al., 2000; Koistinen et. al., 2001). Η χωρική μεταβολή των ΑΣ επιδρά επίσης στις διαφορές μεταξύ προσωπικής έκθεσης και των συγκεντρώσεων του περιβάλλοντα ατμοσφαιρικού αέρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η μεταβολή των συγκεντρώσεων ΑΣ μέσα στην πόλη, κυρίως στα λεπτά ΑΣ και σε μικρότερη κλίμακα στα ΑΣ<sub>10</sub> είναι μικρή, υποδεικνύοντας μια μάλλον ομοιόμορφη κατατομή των ΑΣ (Lianou et al., 2007; Burton et al. 1996; Kingham, et al., 2000). Αντίθετα, πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει σημαντικές χωρικές μεταβολές, εντός της πόλης για τα ΑΣ<sub>10</sub> και τα ΑΣ<sub>2.5</sub>, σε αστικές περιοχές της Καλιφόρνια και του Καναδά (Brook, et. al. 1999; Pinto et. al. 2004) κυρίως λόγω τοπογραφίας, εκπομπών από οχήματα και μετεωρολογικών συνθηκών (Ito et al., 2001; Goswami et al., 2002; Nerriere et al. 2005).

Σε ένα αστικό περιβάλλον, οι εκπομπές από μηχανοκίνητα οχήματα, συνήθως αποτελούν την κύρια πηγή λεπτών και πολύ λεπτών σωματιδίων (Hitchins et. al, 2000). Τα αποτελέσματα μελέτης των Morawska et. al, (1999), η οποία διεξήχθη σε δύο σταθμούς, σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας, στο Brisbane της Αυστραλίας, έδειξαν ότι η τοπογραφία μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση των συγκεντρώσεων, αυξανόμενης της απόστασης, από το σταθμό. Ομοίως, στη μελέτη των Kingham et al, (2000), αποδείχθηκε η μείωση των συγκεντρώσεων του ΑΑΣ στα λεπτά και πολύ λεπτά

σωματίδια, με την αύξηση της απόστασης από το δρόμο. Επομένως, η επίδραση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών σε κατοικίες που βρίσκονται κοντά σε δρόμους έντονης κυκλοφορίας, αποτελεί πεδίο μελέτης μεγάλου ενδιαφέροντος. Επίσης, η κατηγοριοποίηση ορισμένων, από τις υπό μελέτη κατοικίες, ως υψηλής κυκλοφοριακής κίνησης, θα δώσει χρήσιμες πληροφορίες για τη μακρόχρονη έκθεση σε ΑΣ. Στην παρούσα μελέτη, ως κατοικίες με υψηλή κυκλοφοριακή κίνηση (traffic homes) επιλέχθηκαν όσες βρίσκονταν κοντά σε δρόμους με ένταση κυκλοφορίας >10000 αυτοκ./ημέρα καθώς και οι κατοικίες, με μέτρια κυκλοφοριακή κίνηση, που υπόκεινται στο φαινόμενο του καναλισμού.

Ένα θέμα που τίθεται προς διερεύνηση, είναι κατά πόσο η χωρική μεταβολή του αριθμού ΑΣ σχετίζεται με την εγγύτητα σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας (Kingham et al, 2000) και άλλους συναφείς παράγοντες.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις ΑΣ, είναι τα χαρακτηριστικά εντός και εκτός των κατοικιών. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια μελέτης των διαφορών στις συγκεντρώσεις του εξωτερικού χώρου των κατοικιών από τις αντίστοιχες του σταθμού αναφοράς και το πώς αυτές επηρεάζονται από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κατοικιών. Αντίστοιχα, θα μελετηθούν οι διαφορές στις συγκεντρώσεις εσωτερικού – εξωτερικού χώρου, σε σχέση με χαρακτηριστικά των κατοικιών που αφορούν στον εσωτερικό του χώρο.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, θα βοηθήσουν στον προσδιορισμό και την εκτίμηση των κυκλοφοριακών παραγόντων και εκείνων των χαρακτηριστικών των κατοικιών τα οποία συμβάλλουν στην ανομοιογένεια των συγκεντρώσεων μάζας και του αριθμού ΑΣ. Επίσης, από τα αποτελέσματα θα γίνει διακριτό σε ποιο βαθμό μετρήσεις συγκεκριμένου κλάσματος ΑΣ, προερχόμενες από το σταθμό αναφοράς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περιγραφή της παρούσας κατάστασης σε μια αστική περιοχή.

## 7.2 Εξωτερικά χαρακτηριστικά κατοικιών

Τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κατοικιών, καταγράφονταν σε ειδική φόρμα , κατά την πρώτη επίσκεψη, κατά την οποία λάμβανε χώρα η εγκατάσταση των οργάνων μέτρησης. Οι παράμετροι που καταγράφηκαν, αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5. Στον Πίνακα 7-1 φαίνονται συνοπτικά, ορισμένα στοιχεία τόσο για την τοποθεσία και τον τύπο των κατοικιών όσο και για τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορικής κίνησης στους δρόμους γύρω από αυτές.

**Πίνακας 7-1:** Συγκεντρωτικά εξωτερικά χαρακτηριστικά των υπο-μελέτη κατοικιών.

|                                                                                                      |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Συνολικός Αριθμός κατοικιών                                                                          | N = 35                    |
| <b>Τοποθεσία Κατοικίας</b>                                                                           |                           |
| Κέντρο πόλης (n)                                                                                     | 9                         |
| Απόσταση από τον σταθμό αναφοράς ( $\leq 10\text{km}$ ) (n; Διάμεσος)                                | 31 ; 5.3                  |
| <b>Τύπος κατοικίας</b>                                                                               |                           |
| Χρονολογία ανέγερσης της κατοικίας, μετά το 1980 (n)                                                 | 15                        |
| Διαμερίσματα (n; εύρος ορόφων)                                                                       | 33; 0-6                   |
| Μέση Τιμή (SD): Ύψος κτιρίου και<br>Ύψος δειγματοληψίας (m)                                          | 13.9 (5.5) ;<br>7.4 (5.3) |
| <b>Χαρακτηριστικά κυκλοφοριακής κίνησης</b>                                                          |                           |
| Κατοικίες με έντονη κυκλοφοριακή κίνηση (n; ροή οχημάτων:<br>ελάχιστη – μέγιστη)                     | 13; 100 – 44000           |
| Εγγύτητα στον κοντινότερο δρόμο ( $\leq 10\text{m}$ ) (n, μέση ροή<br>οχημάτων)                      | 33; 5311                  |
| Εγγύτητα στον κοντινότερο δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας<br>( $\leq 100\text{m}$ ) (n, μέση ροή οχημάτων) | 17; 43703                 |
| Εγγύτητα σε φωτεινούς σηματοδότες ( $\leq 100\text{m}$ ) (n)                                         | 5                         |
| Φαινόμενο καναλισμού (n)                                                                             | 11                        |

Από τον Πίνακα 7-1 φαίνεται ότι μόνο 9 κατοικίες βρίσκονταν εντός των ορίων του δήμου Αθηναίων ενώ οι περισσότερες (31), βρίσκονταν σε απόσταση  $\leq 10\text{km}$  από τον

κεντρικό σταθμό. Τα κτίσματα των περισσότερων κατοικιών χρονολογούνται πριν το 1980 και μόνο 15 από αυτά έχουν κτιστεί σύμφωνα με τον κανονισμό του 1980, για τη θερμομόνωση των κτιρίων. Η πλειονότητα των κατοικιών ήταν διαμερίσματα σε πολυκατοικίες (33). Επομένως το μέσο ύψος για το συνολό τους υπολογίστηκε στα  $(7.4 \pm 5.3)\text{m}$ .

Σύμφωνα με μελέτες (Kingham et al., 2000), τα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής κίνησης των δρόμων πλησίον των κατοικιών πιθανώς να βοηθήσουν στην ερμηνεία των διαφορών μεταξύ συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου – σταθμού αναφοράς. Από τις 35 κατοικίες, 13 χαρακτηρίζονται με έντονη κυκλοφοριακή κίνηση, 33 βρίσκονταν πολύ κοντά σε κάποιον δρόμο ενώ 17 βρίσκονταν κοντά σε δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας. Επίσης 11 κατοικίες, υπόκεινται στο φαινόμενο του καναλισμού (canyon effect).

### 7.3 Εσωτερικά χαρακτηριστικά κατοικιών

Στον Πίνακα 7-2 παρουσιάζονται συνοπτικά, μερικά από τα χαρακτηριστικά των κατοικιών εσωτερικού χώρου, συγκεκριμένα εκείνα τα οποία αφορούν στη διαρρύθμιση του χώρου, την ύπαρξη και χρήση ηλεκτρικών συσκευών, τους τρόπους εξαερισμού και των συμπληρωματικών συστημάτων θέρμανσης.

**Πίνακας 7-2:** Συγκεντρωτικά εσωτερικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη κατοικιών

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Συνολικός Αριθμός κατοικιών                                                 | 35 |
| Διαρρύθμιση χώρου                                                           |    |
| Κουζίνα ανοικτού τύπου                                                      | 11 |
| Εξαερισμός στην κουζίνα                                                     |    |
| Μικρό παράθυρο (<1500 cm <sup>2</sup> )                                     | 16 |
| Μεγάλο παράθυρο (>1500 cm <sup>2</sup> )                                    | 9  |
| Μπαλκονόπορτα                                                               | 21 |
| Χρήση Απορροφητήρα                                                          | 32 |
| Όροφος σαλονιού (>1)                                                        | 15 |
| Αριθμός ηλεκτρικών συσκευών (> 2)                                           | 28 |
| Συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης στο σαλόνι<br>(τζάκι, κλιματιστικό, σόμπα) | 8  |
| Κατοικίες με χαλιά                                                          | 15 |

Στις περισσότερες κατοικίες, η κουζίνα ήταν κλειστού τύπου (20) και μόνο 11 είχαν κουζίνα ανοικτού τύπου (με διαχωριστικό). Από τις 35 κατοικίες, 22 είχαν μόνο παράθυρο ή μπαλκονόπορτα, για το φυσικό αερισμό της κουζίνας, ενώ 12 είχαν και τις δύο δυνατότητες. Η πλειοψηφία των κατοικιών (32), διέθετε απορροφητήρα στην κουζίνα αλλά η χρήση του γινόταν κατά βούληση. Μόνο 8 κατοικίες είχαν κάποιο συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης, του οποίου η χρήση γινόταν περιστασιακά. Τέλος σε 15 κατοικίες υπήρχε χαλί στο σαλόνι ενώ σε καμιά δεν υπήρχε μοκέτα.

## 7.4 Υπολογισμός του Συντελεστή Χωρικής Απόκλισης

Η εκτίμηση της χωρικής μεταβολής μεταξύ των αστικών περιοχών (των σημείων δειγματοληψίας), απαιτεί ανάλυση κάνοντας χρήση των συντελεστών συσχέτισης σε συνδυασμό με τους συντελεστές απόκλισης και τις απόλυτες διαφορές συγκέντρωσης μεταξύ των υπό μελέτη σημείων δειγματοληψίας (Wilson et al. 2005).

Ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης [X], δίνει πληροφορία για το βαθμό της ομοιογένειας μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας. Ο υπολογισμός του (ΣΑ) γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$X = \sqrt{\frac{1}{p} \cdot \sum_{i=1}^p \left( \frac{C_{ij} - C_{ik}}{C_{ij} + C_{ik}} \right)^2} \quad (1)$$

Όπου: p είναι ο ολικός αριθμός του ζεύγους των μετρήσεων,

$C_{ij}$  και  $C_{ik}$  είναι οι συγκεντρώσεις στο σταθμό αναφοράς και τον εξωτερικό χώρο της κατοικίας, την i – ημέρα.

Ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης υπολογίστηκε για τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου των κατοικιών και τις αντίστοιχες του σταθμού αναφοράς (Σ.Α.). Αρχικά έγινε υπολογισμός της απόλυτης διαφοράς  $|ΔC|$  των 24-ωρων δεδομένων των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου των κατοικιών, με τα αντίστοιχα του (Σ.Α.). Οι αρνητικές τιμές, δηλώνουν ότι οι συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες στον σταθμό αναφοράς σε σχέση με τις αντίστοιχες των κατοικιών.

Σύμφωνα με τη σχέση (1), ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Μικρές τιμές του [X] δηλώνουν ομοιότητες μεταξύ των συγκεντρώσεων των σημείων δειγματοληψίας, ενώ οι τιμές που πλησιάζουν τη μονάδα δηλώνουν μεγάλες διαφορές.

Στον Πίνακα 7-3 δίνεται ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης, όπως υπολογίστηκε ανά κατοικία, από τα ζεύγη των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου των κατοικιών και

των αντίστοιχων του σταθμού αναφοράς. Γενικά, ο συντελεστής απόκλισης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ και του ΑΑΣ (Σχήμα 7-2), γεγονός που αποδίδεται σε τοπικές πηγές των πρωτογενών ΑΣ και στη μεταφορά των δευτερογενών ΑΣ (Lianou et al., 2007).

Οι μικρότερες τιμές για τις συγκεντρώσεις μάζας παρουσιάζονται σε κατοικία 2<sup>ου</sup> ορόφου (118), στην περιοχή της Ν. Ιωνίας, πιθανώς λόγω του μικρού αριθμού των μετρήσεων (p= 3) (Σχήμα 7-1).

**Πίνακας 7-3:** Ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης για τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου των κατοικιών – σταθμού αναφοράς.

| ID  | ΑΣ <sub>10</sub> | ΑΣ <sub>2.5</sub> | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub> | Συντελεστής<br>Απορρόφησης | ΑΑΣ  |
|-----|------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|------|
| 100 | 0.19             | 0.18              | 0.24                   | 0.09                       | 0.11 |
| 104 | 0.23             | 0.23              | 0.28                   | 0.27                       | 0.28 |
| 105 | 0.20             | 0.44              | 0.20                   | 0.43                       | 0.38 |
| 106 | 0.09             | 0.11              | 0.21                   | 0.09                       | 0.10 |
| 107 | 0.18             | 0.28              | 0.33                   | 0.28                       | 0.23 |
| 108 | 0.32             | 0.24              | 0.65                   | 0.27                       | 0.15 |
| 109 |                  |                   |                        |                            | 0.09 |
| 110 | 0.12             | 0.13              | 0.18                   | 0.12                       | 0.07 |
| 111 | 0.20             | 0.11              | 0.34                   | 0.23                       | 0.12 |
| 112 | 0.14             | 0.09              | 0.36                   | 0.24                       | 0.18 |
| 113 | 0.16             | 0.13              | 0.35                   | 0.11                       | 0.28 |
| 114 | 0.20             | 0.08              | 0.35                   | 0.23                       | 0.29 |
| 115 | 0.14             | 0.08              | 0.43                   | 0.05                       | 0.17 |
| 116 | 0.29             | 0.14              | 0.40                   | 0.11                       | 0.17 |
| 117 | 0.24             | 0.22              | 0.33                   | 0.34                       | 0.37 |
| 118 | 0.00             | 0.08              | 0.06                   | 0.12                       |      |
| 119 | 0.17             | 0.09              | 0.23                   | 0.22                       | 0.48 |
| 120 |                  |                   |                        |                            |      |
| 121 | 0.15             | 0.14              | 0.25                   | 0.26                       | 0.22 |
| 122 | 0.14             | 0.08              | 0.21                   | 0.17                       | 0.46 |
| 123 | 0.14             | 0.21              | 0.11                   | 0.14                       | 0.33 |
| 124 | 0.25             | 0.20              | 0.31                   | 0.26                       | 0.36 |
| 125 | 0.09             | 0.19              | 0.35                   | 0.11                       | 0.14 |
| 126 | 0.34             | 0.19              | 0.45                   | 0.38                       | 0.50 |
| 127 | 0.21             | 0.17              | 0.29                   | 0.16                       | 0.29 |
| 128 | 0.32             | 0.30              | 0.31                   | 0.18                       | 0.53 |
| 129 | 0.31             | 0.23              | 0.44                   | 0.34                       | 0.64 |

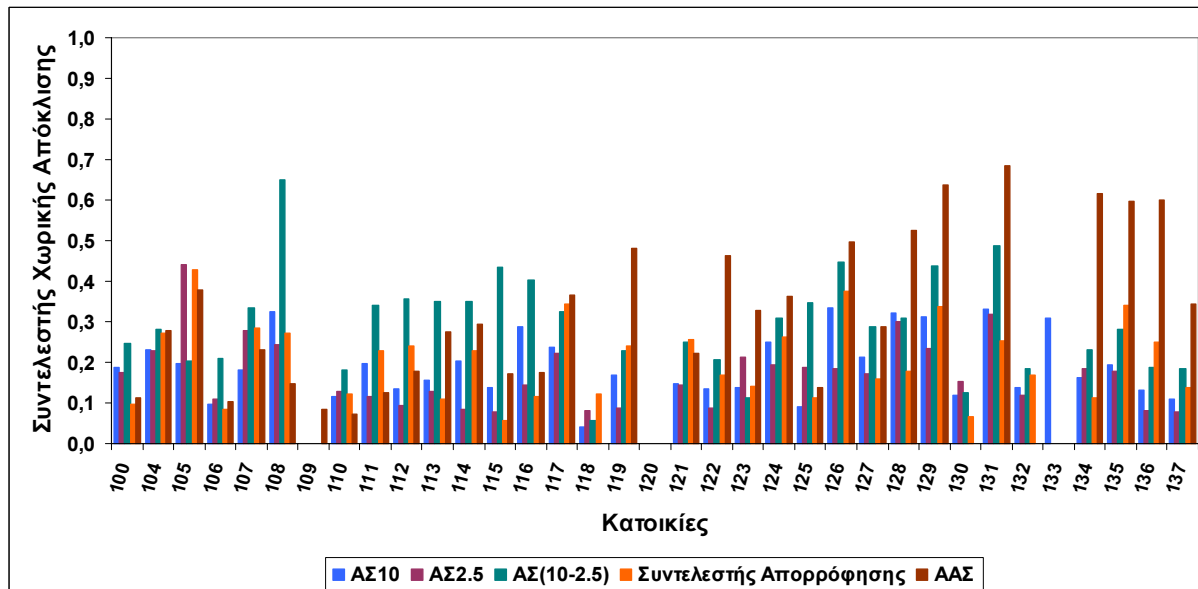
|          |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|
| 130      | 0.12 | 0.15 | 0.12 | 0.06 |      |
| 131      | 0.33 | 0.32 | 0.49 | 0.25 | 0.69 |
| 132      | 0.14 | 0.12 | 0.19 | 0.17 |      |
| 133      | 0.31 |      |      |      |      |
| 134      | 0.16 | 0.19 | 0.23 | 0.11 | 0.62 |
| 135      | 0.20 | 0.18 | 0.28 | 0.34 | 0.60 |
| 136      | 0.13 | 0.08 | 0.19 | 0.25 | 0.60 |
| 137      | 0.11 | 0.08 | 0.18 | 0.14 | 0.34 |
| Διάμεσος | 0.18 | 0.16 | 0.29 | 0.20 | 0.29 |
| Ελάχιστη | 0.00 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.07 |
| Μέγιστη  | 0.34 | 0.44 | 0.65 | 0.43 | 0.69 |

Η μικρότερη τιμή για το συντελεστή απορρόφησης, υπολογίστηκε στην κατοικία (115), σε διαμέρισμα 3<sup>ου</sup> ορόφου, στο Φάληρο και στην κατοικία (130), 1<sup>ου</sup> ορόφου, στην περιοχή των Ν. Λιοσίων ενώ όσον αφορά στον ΑΑΣ η μικρότερη τιμή υπολογίστηκε σε κατοικία 6<sup>ου</sup> ορόφου (110), στο κέντρο των Αθηνών (Σχήμα 7-1).

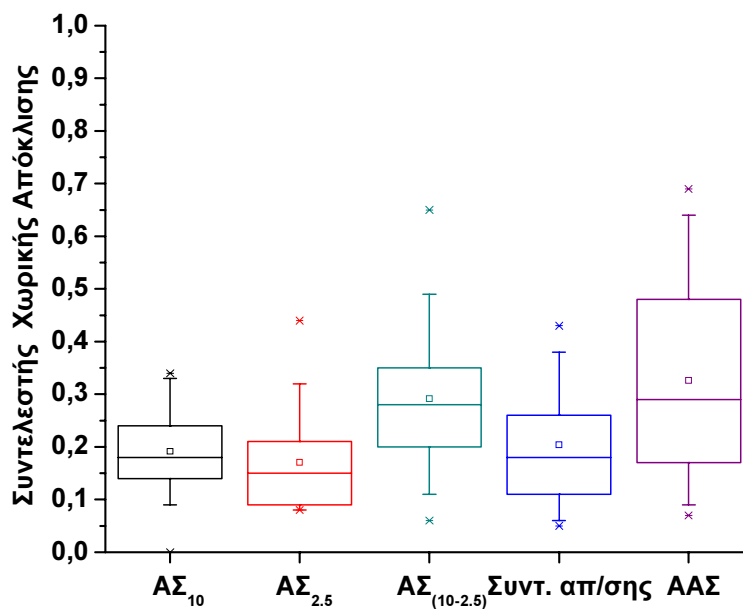
Αντίθετα, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου από τις αντίστοιχες του σταθμού αναφοράς, εμφανίζονται για τα ΑΣ<sub>10</sub> στην κατοικία (126) στην περιοχή της Ν. Ερυθραίας, καθώς ήταν από τις πιο απομακρυσμένες, από το σταθμό αναφοράς, κατοικίες, με απόσταση 12.1km. Στα λεπτά ΑΣ και στο συντελεστή απορρόφησης, η μεγαλύτερη τιμή του ΣΑ υπολογίστηκε για την κατοικία (105), στην περιοχή της Αγ. Παρασκευής, ενώ στα αδρά ΑΣ εμφανίστηκε στην κατοικία (108) στο Κοντόπευκο- Αγ. Παρασκευής.

Για τον ΑΑΣ, το ΣΑ παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή του (0.69), σε ισόγειο διαμέρισμα (131), στο Π. Φάληρο ενώ τη μικρότερη τιμή (0.07) παρουσιάζει στην κατοικία (110), στο κέντρο των Αθηνών και συγκεκριμένα στην περιοχή Εξαρχείων.

**Σχήμα 7-1:** Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης για τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου των κατοικιών σε σχέση με τις αντίστοιχες του σταθμού αναφοράς.



**Σχήμα 7-2:** Γραφική απεικόνιση του Συντελεστή Χωρικής Απόκλισης, για τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου των κατοικιών – σταθμού αναφοράς.

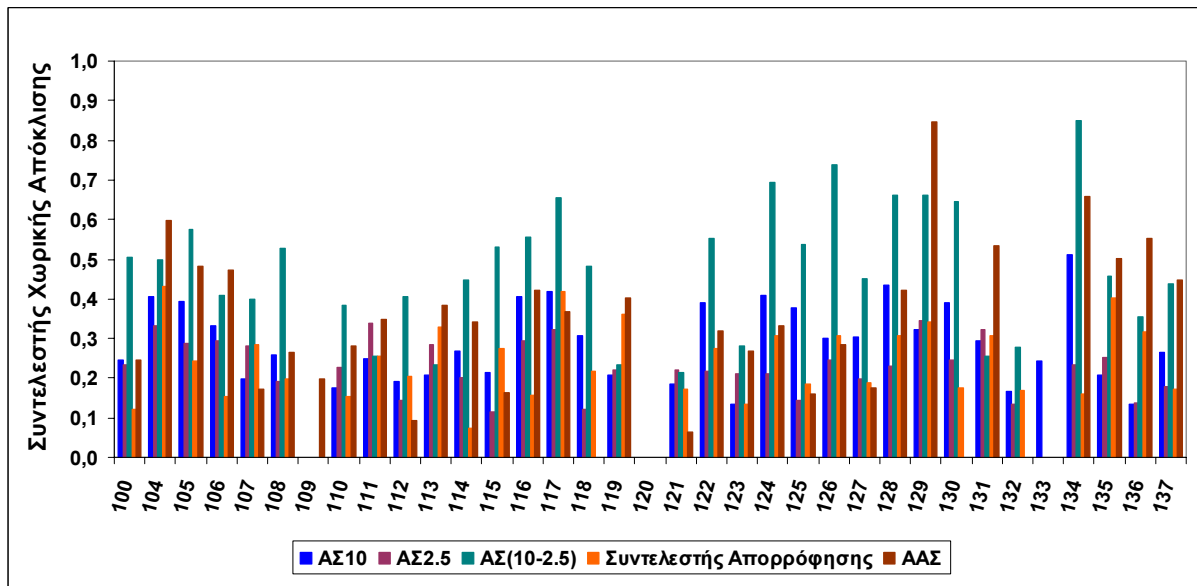


Γενικά ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης, για το σύνολο των κατοικιών, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του για τα αδρά ΑΣ και τον ΑΑΣ τόσο ως προς το εύρος των τιμών (ελάχιστη – μέγιστη), όσο και ως προς τη μέση και διάμεσο τιμή (0.3), γεγονός που αποδίδεται, όπως προαναφέρθηκε, σε τοπικές πηγές των πρωτογενών ΑΣ και στη μεταφορά των δευτερογενών ΑΣ (Lianou et al., 2007), δηλώνοντας έτσι μεγάλη μεταβλητότητα από περιοχή σε περιοχή. Επίσης, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ παρατηρούνται κατά τις μεταβατικές περιόδους, άνοιξη-φθινόπωρο. Αρκετά υψηλός βρέθηκε και ο αντίστοιχος συντελεστής για το συντελεστή απορρόφησης, με διάμεσο τιμή (0.2). Οι μεγαλύτεροι συντελεστές χωρικής απόκλισης υπολογίστηκαν σε κατοικίες που βρίσκονταν εκτός του κέντρου των Αθηνών, σε προάστια.

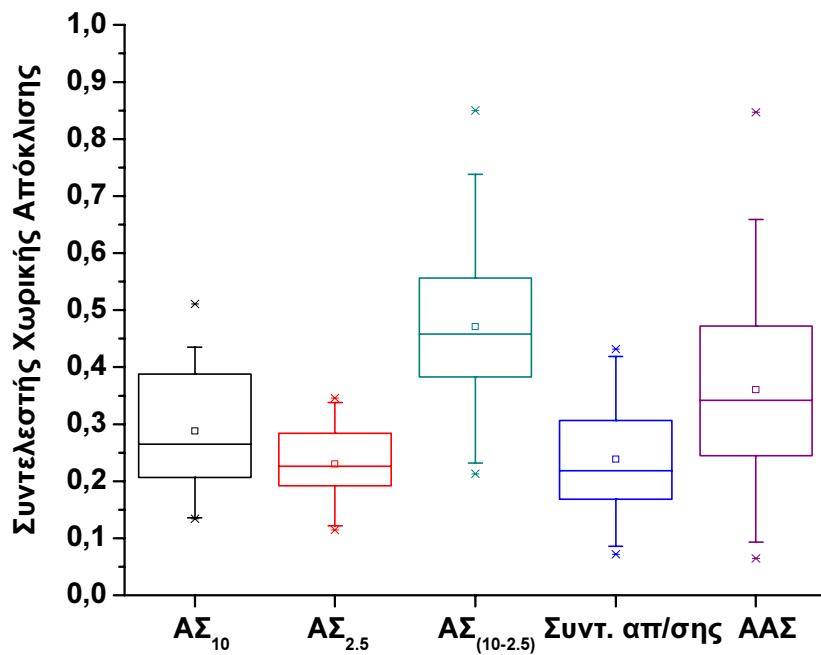
Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης για τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς (Σχήμα 7-3), προκειμένου να προσδιοριστεί το κατά πόσο αποκλίνουν οι πρώτες από τις δεύτερες. Ο Συντελεστής σε αυτήν την περίπτωση, παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τις αντίστοιχες εξωτερικού χώρου - σταθμού αναφοράς καθώς υπάρχει η επίδραση των δραστηριοτήτων εσωτερικού χώρου (Σχήμα 7-4). Ο Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης των αδρών ΑΣ, και σε αυτήν την περίπτωση, είναι αρκετά μεγαλύτερος από των λεπτών και μεγαλύτερος των άλλων παραμέτρων, ενώ του ΑΑΣ παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών ΑΣ. Τις μικρότερες τιμές του Συντελεστή, εμφανίζουν τα λεπτά ΑΣ και ο συντελεστής απορρόφησης, οι οποίες παρόλο που η μέση και η διάμεσος τιμές του Συντελεστή Χωρικής Απόκλισης είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου – σταθμού αναφοράς, παρουσιάζουν τις μικρότερες διαφορές.

Λόγω της επίδρασης των δραστηριοτήτων εσωτερικού χώρου οι τιμές ανά κατοικία, αλλά και συνολικά, του Συντελεστή Χωρικής Απόκλισης, εσωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς, υπολογίστηκαν μεγαλύτερες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές εξωτερικού χώρου - σταθμού αναφοράς. Μόνο η κατοικία (108) φαίνεται να έχει μεγαλύτερες αποκλίσεις στις συγκεντρώσεις μάζας εξωτερικού χώρου – σταθμού αναφοράς λόγω μεγάλης απόκλισης μεταξύ των αντίστοιχων συγκεντρώσεων των αδρών ΑΣ.

**Σχήμα 7-3:** Συντελεστής Χωρικής Απόκλισης για τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου των κατοικιών με τις αντίστοιχες του σταθμού αναφοράς.



**Σχήμα 7-4:** Γραφική απεικόνιση του Συντελεστή Χωρικής Απόκλισης, για τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου των κατοικιών – σταθμού αναφοράς.



## 7.5 Συσχέτιση των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου με τα «εξωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών

Υπολογίστηκε η επί τοις εκατό σχετική διαφορά των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου των κατοικιών ως προς τις συγκεντρώσεις του σταθμού αναφοράς (Σ.Α.) ( $\% \Delta C(\text{εξωτ.} - \text{σταθ. αναφ.}) / C_{\text{σταθ. αναφ.}}$ ) (Πίνακας 7-4). Οι αρνητικές τιμές τις σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων δηλώνουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο σταθμό αναφοράς, κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας στις συγκεκριμένες κατοικίες.

**Πίνακας 7-4:** Διάμεση τιμή της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς ( $\% \Delta C / C_{\text{σταθ. αναφ.}}$ ), μέση τιμή, ελάχιστη και μέγιστη τιμή.

| ID  | AΣ <sub>10</sub> | AΣ <sub>2.5</sub> | AΣ <sub>(10-2.5)</sub> | Συντελεστής απορρόφησης | ΑΑΣ   |
|-----|------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------|
| 100 | 33.3             | 41.8              | 47.6                   | 9.5                     | 0.1   |
| 104 | -34.2            | -27.2             | -41.1                  | -47.4                   | -36.6 |
| 105 | -33.9            | -62.4             | 1.3                    | -58.5                   | -53.5 |
| 106 | 5.5              | 19.5              | 22.7                   | 11.3                    | -1.1  |
| 107 | 25.0             | 68.9              | -25.1                  | 91.6                    | 60.3  |
| 108 | -42.9            | -25.0             | -78.3                  | -36.7                   | -2.0  |
| 109 |                  |                   |                        |                         | 25.3  |
| 110 | 8.7              | -18.6             | 29.3                   | 2.9                     | 6.4   |
| 111 | -23.3            | -9.1              | -42.3                  | -24.5                   | -22.3 |
| 112 | 32.6             | 9.1               | 95.4                   | 46.7                    | 25.2  |
| 113 | -28.2            | -12.2             | -53.7                  | -17.4                   | -42.2 |
| 114 | 38.3             | 17.7              | 63.3                   | 47.9                    | 59.8  |
| 115 | -19.4            | 0.4               | -41.5                  | 10.3                    | -30.5 |
| 116 | 53.0             | 18.2              | 98.9                   | 5.5                     | -25.9 |
| 117 | -35.3            | -20.3             | -47.4                  | -51.9                   | -54.5 |
| 118 | 2.7              | -16.2             | 12.7                   | -18.5                   |       |
| 119 | -23.5            | -15.7             | -29.0                  | -33.4                   | -67.1 |
| 120 |                  |                   |                        |                         | -56.1 |
| 121 | 20.0             | 19.1              | 22.9                   | 62.8                    | -38.4 |
| 122 | 24.7             | -16.5             | 51.7                   | -13.7                   | -61.6 |
| 123 | 31.1             | 44.8              | 22.0                   | -7.0                    | -43.6 |
| 124 | -37.2            | -25.5             | -35.0                  | -41.4                   | -53.5 |
| 125 | -6.9             | -1.8              | -0.6                   | -17.6                   | -11.9 |
| 126 | -46.5            | -20.6             | -61.2                  | -49.0                   | -66.4 |
| 127 | -27.9            | -18.2             | -46.4                  | -26.9                   | -41.0 |
| 128 | -21.6            | 12.8              | -0.7                   | -26.5                   | -69.4 |

|                          |                |               |               |                 |                 |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 129                      | -35.7          | -15.3         | -57.8         | -42.9           | -77.7           |
| 130                      | 21.2           | 25.1          | 19.6          | -3.0            |                 |
| 131                      | 4.2            | 4.9           | 11.6          | -7.1            | -85.5           |
| 132                      | 3.7            | 2.4           | 4.9           | -28.0           |                 |
| 133                      | 65.2           | 50.2          | 168.3         | 9.7             |                 |
| 134                      | -16.2          | 0.9           | -30.9         | 6.9             | -80.5           |
| 135                      | -29.9          | -15.2         | -37.4         | -51.9           | -71.2           |
| 136                      | -3.3           | 9.3           | -18.8         | -31.7           | -76.9           |
| 137                      | -8.4           | -2.5          | -11.5         | -15.6           | -53.6           |
| Μέση τιμή<br>( $\pm$ SE) | -3.2 $\pm$ 5.2 | 0.7 $\pm$ 4.6 | 0.4 $\pm$ 9.3 | -10.5 $\pm$ 6.0 | -33.7 $\pm$ 7.1 |
| Διάμεσος                 | -6.9           | -1.8          | -0.7          | -17.4           | -42.2           |
| Ελάχιστη                 | -46.5          | -62.4         | -78.3         | -58.5           | -85.5           |
| Μέγιστη                  | 65.2           | 68.9          | 168.3         | 91.6            | 60.3            |

Από τις τιμές του Πίνακα 7-4 φαίνεται ότι η υπολογιζόμενη παράμετρος  $\% \Delta C / C_{\text{σταθ. αναφ}}$  παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές της στα αδρά ΑΣ. Επίσης, τόσο τα αδρά ΑΣ όσο και ο ΑΑΣ εμφανίζουν μεγάλο εύρος τιμών γεγονός που αποδίδεται στις εκπομπές από την κυκλοφοριακή κίνηση καθώς και στην επαναιώρηση της σκόνης και στα κατασκευαστικά έργα κατά την περίοδο προετοιμασίας των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004 (Σχήμα 7-5). Επιπρόσθετα, στην Αθήνα παρατηρείται έντονη χωρική μεταβολή της μάζας των ΑΣ η οποία αποδίδεται και σε ετερογενείς παράγοντες όπως η πυκνή αστική δόμηση ορισμένων περιοχών σε συνδυασμό με την τοπογραφία..

Κατόπιν εφαρμόστηκε η μέθοδος γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της διαμέσου τιμής του παράγοντα ( $\% \Delta C / C_{\text{σταθ. αναφ.}}$ ), ως εξαρτημένης μεταβλητής, και των εξωτερικών χαρακτηριστικών των κατοικιών. Τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κατοικιών κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

- Τοποθεσία κατοικίας (1: κέντρο, 2: προάστιο).
- Περιοχές με (1) ή χωρίς (2) έντονη κυκλοφοριακή κίνηση.
- Τύπος κατοικίας (ανεξάρτητη μονοκατοικία / διαμέρισμα).
- Χρονολογία ανέγερσης οικήματος (πριν (1) ή μετά (2) το 1980).
- Ολική ροή οχημάτων ανά ημέρα, κατηγοριοποίηση (1: <5000, 2: <10000, 3: <20000, 4:  $\geq 20000$  οχήματα).

- Απόσταση από τον κοντινότερο δρόμο.
- Απόσταση από δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας.
- Απόσταση από διασταύρωση.
- Απόσταση από το φωτεινό σηματοδότη.
- Απόσταση από το σταθμό αναφοράς (0-10km, >10 km).
- Ύψος δειγματοληψίας των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου στις κατοικίες (0-5m, >5 m)
- Θέση δειγματοληψίας των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου στις κατοικίες (1: πλευρά του δρόμου, 2: ακάλυπτος, 3: ταράτσα).
- Ύπαρξη ή όχι οργανωμένου χώρου σταθμεύσεως οχημάτων σε απόσταση 100m.
- Ύπαρξη ή όχι βιοτεχνίας σε απόσταση 100m.
- Κατοικίες μεγάλης (2) και όχι μεγάλης (1) κυκλοφοριακής κίνησης (traffic homes).
- Κατοικίες που υπόκεινται στο φαινόμενο καναλισμού (0: όχι, 1: ναι)
- Εποχές του έτους.

Από τη μέθοδο γραμμικής συσχέτισης, η παράμετρος  $\beta$ , δίνει την ένταση της επίδρασης του κάθε χαρακτηριστικού στις διαφορές των συγκεντρώσεων ΑΣ. Η τυποποιημένη παράμετρος  $\beta$ , δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ των παραμέτρων διαφορετικών χαρακτηριστικών.

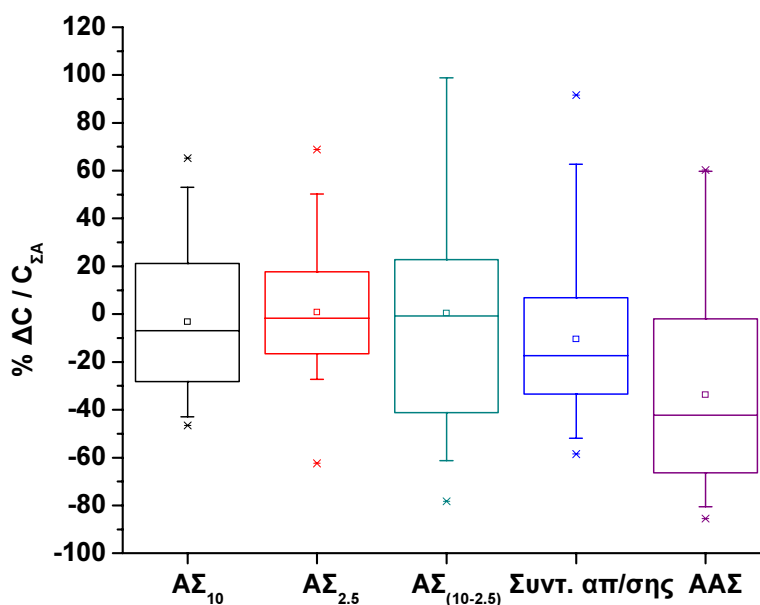
Στον Πίνακα 7-5 παρουσιάζεται η τυποποιημένη παράμετρος  $\beta$ , από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς, με τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κατοικιών. Φαίνεται ότι, οι πιο σημαντικές παράμετροι που επιδρούν στη σχετική διαφορά των συγκεντρώσεων είναι αυτοί που σχετίζονται με τις εκπομπές και τη ροή των οχημάτων (αυτοκ/ ημέρα).

Συγκεκριμένα, η ολική ροή των οχημάτων, επιδρά σημαντικά στην ποσοστιαία διαφορά των συγκεντρώσεων κυρίως του συντελεστή απορρόφησης και του ΑΑΣ αλλά και στα ΑΣ<sub>10</sub> και τα αδρά ΑΣ. Σημαντική θετική επίδραση παρουσιάζεται και για τις

κατοικίες που βρίσκονται σε σημεία έντονης κυκλοφοριακής κίνησης, σε όλα τα κλάσματα ΑΣ αλλά και στο συντελεστή απορρόφησης και στον ΑΑΣ.

Επίσης, η τοποθεσία - περιοχή που βρίσκονταν οι κατοικίες φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο καθώς οι κατοικίες που βρίσκονταν στο κέντρο της πόλης και εκείνες που βρίσκονταν σε προάστια φαίνεται να επιδρούν αρνητικά κυρίως στο συντελεστή απορρόφησης και τον ΑΑΣ, καθώς στα προάστια οι συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του ΣΑ. Οι κατοικίες που υπόκεινται στο φαινόμενο του καναλισμού παρουσιάζουν θετική επίδραση στο συντελεστή απορρόφησης και στον ΑΑΣ.

**Σχήμα 7-5:** Γραφική απεικόνιση της διαμέσου τιμής της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς για το σύνολο των κατοικιών. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



Επίσης, οι περιοχές έντονης κυκλοφοριακής κίνησης, παρουσιάζουν σημαντική θετική επίδραση σε όλες τις παραμέτρους και κυρίως στο συντελεστή απορρόφησης και τον ΑΑΣ. Η κατηγορία των κατοικιών που βρίσκονταν στο κέντρο της πόλης με εκείνες

που βρίσκονταν σε προάστια έδωσε αρνητική επίδραση κυρίως στο συντελεστή απορρόφησης και τον ΑΑΣ. Οι κατοικίες που υπόκεινται στο φαινόμενο του καναλισμού επιδρούν θετικά στο συντελεστή απορρόφησης και στον ΑΑΣ.

**Πίνακας 7-5:** Τυποποιημένη παράμετρος  $\beta$  της σχετικής διαφοράς συγκεντρώσεων ( $\% \Delta C / C_{\Sigma A}$ ) και των παραμέτρων εξωτερικού χώρου.

|                                        | $A\Sigma_{10}$ | $A\Sigma_{2.5}$ | $A\Sigma_{(10-2.5)}$ | <b>Συντ. Απορ/σης</b> | <b>ΑΑΣ</b>   |
|----------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|-----------------------|--------------|
| Κέντρο-Προάστιο                        | -0.25          | -0.18           | -0.13                | <b>-0.53</b>          | <b>-0.67</b> |
| Περιοχή με έντονη κυκλ. κίνηση         | 0.39           | 0.32            | 0.29                 | <b>0.52</b>           | <b>0.56</b>  |
| Μονοκατοικία / Διαμέρισμα              | -0.07          | -0.41           | -0.04                | -0.21                 | -0.36        |
| Χρον/γία οικήματος                     | -0.10          | -0.29           | -0.06                | -0.19                 | -0.13        |
| Ολική ροή οχημάτων                     | 0.44           | 0.19            | 0.36                 | <b>0.50</b>           | <b>0.56</b>  |
| Αποστ. από κοντ. δρόμο                 | -0.13          | -0.27           | -0.04                | -0.26                 | -0.21        |
| Αποστ. από δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας   | -0.14          | -0.33           | -0.02                | -0.26                 | -0.31        |
| Αποστ. από διασταύρωση                 | -0.21          | -0.27           | -0.11                | -0.39                 | -0.41        |
| Αποστ. από φωτ. σηματο/τη              | 0.20           | -0.18           | -0.09                | -0.22                 | -0.26        |
| Αποστ. από σταθμό αναφοράς             | -0.12          | -0.12           | -0.10                | 0.19                  | -0.18        |
| Ύψος δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου   | <b>-0.45</b>   | -0.08           | <b>-0.51</b>         | -0.11                 | -0.37        |
| Θέση δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου   | 0.26           | 0.27            | 0.23                 | 0.20                  | 0.24         |
| Αποστ. από χώρο σταθ/σης               | 0.15           | -0.06           | 0.23                 | 0.20                  | 0.22         |
| Αποστ. από βιοτεχνία                   | 0.09           | 0.04            | 0.05                 | 0.17                  | 0.36         |
| Κατοικίες με έντονη κυκλοφοιακή κίνηση | 0.38           | 0.35            | 0.31                 | <b>0.42</b>           | 0.34         |
| Κατοικίες με καναλισμό                 | 0.10           | 0.04            | 0.09                 | 0.35                  | <b>0.43</b>  |

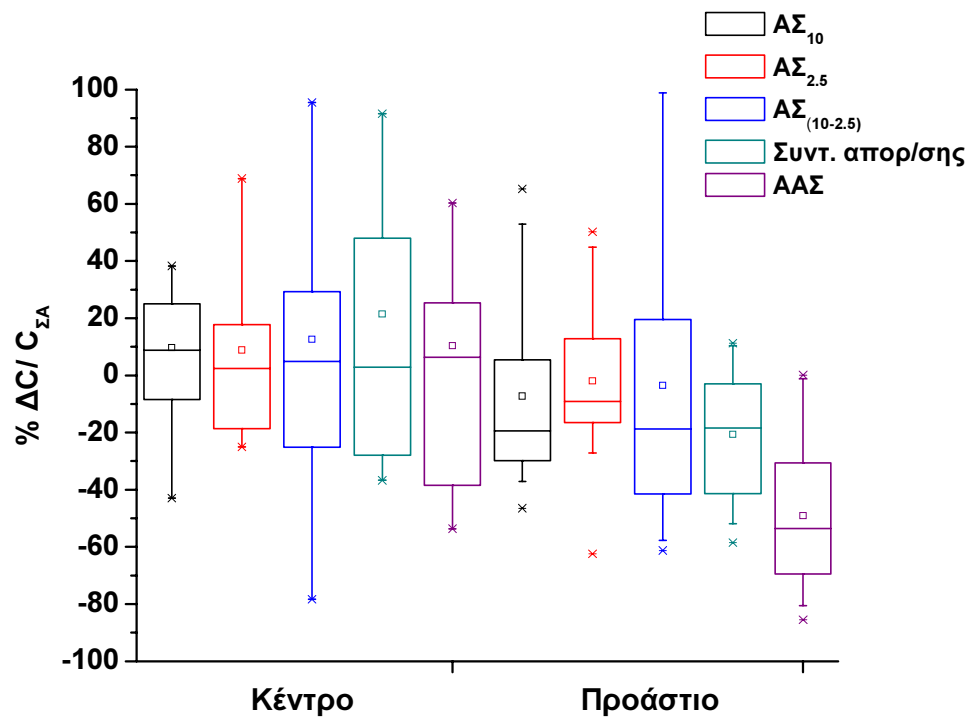
|        |       |       |       |       |      |
|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| Εποχές | -0.16 | -0.02 | -0.08 | -0.05 | 0.13 |
|--------|-------|-------|-------|-------|------|

Στο Σχήμα 7-6 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των διαμέσων τιμών της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων για την περίπτωση των κατοικιών που βρίσκονταν στο κέντρο και σε προάστιο της Αθήνας. Φαίνεται ότι για τις κατοικίες που βρίσκονταν στο κέντρο, η διάμεσος τιμή της ποσοστιαίας σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων είναι θετική για όλες τις παραμέτρους και κοντά στο μηδέν, δηλώνοντας έτσι μικρότερες διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου των κατοικιών και σταθμού αναφοράς ενώ παρουσιάζεται αρνητική για τις κατοικίες που βρίσκονταν σε προάστια, δηλώνοντας μικρότερες συγκεντρώσεις στα προάστια. Αξιοσημείωτο είναι ότι, η διαφορά των συγκεντρώσεων, μεταξύ των δύο υποκατηγοριών, δεν φαίνεται να μεταβάλλεται σημαντικά στα λεπτά ΑΣ.

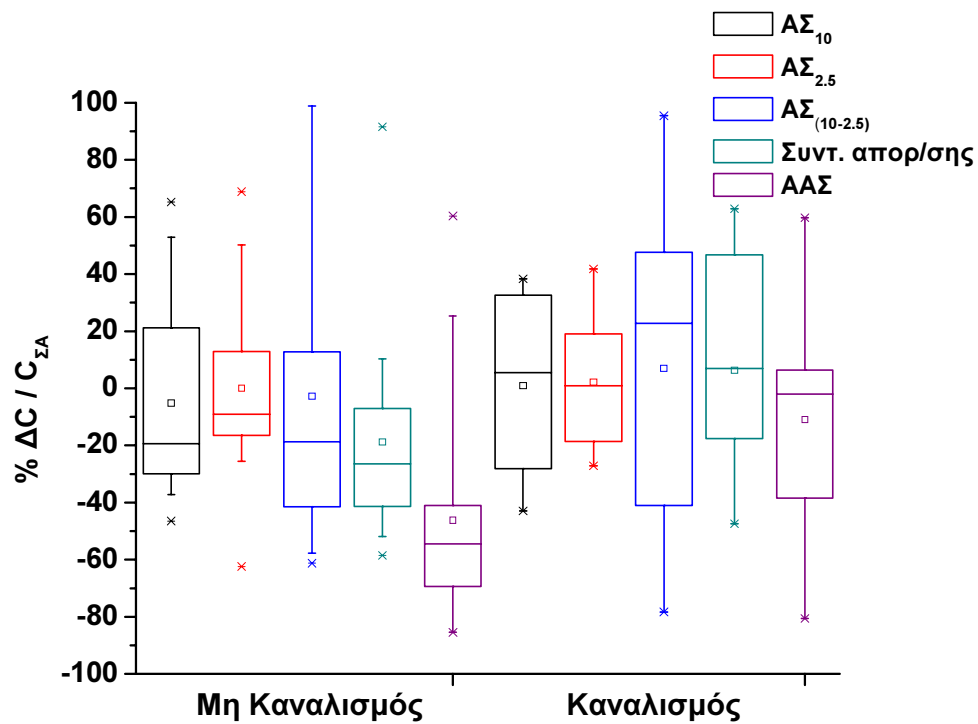
Αντίστοιχα, στο Σχήμα 7-7 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των θηκογραμμάτων της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων για την περίπτωση των κατοικιών, που υπόκειται και μη στο φαινόμενο του καναλισμού. Είναι εμφανές ότι, στις κατοικίες που βρίσκονταν σε καναλισμό, οι σχετικές διαφορές των συγκεντρώσεων είναι θετικές και αυξημένες σε σύγκριση με την αντίθετη περίπτωση, ειδικά για το συντελεστή απορρόφησης, τον ΑΑΣ αλλά και τα αδρά ΑΣ, υποδηλώνοντας αρκετά αυξημένες τιμές στις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει καναλισμός οι σχετικές διαφορές των συγκεντρώσεων παρουσιάζονται αρνητικές στο συντελεστή απορρόφησης και τον ΑΑΣ.

Στο Σχήμα 7-8 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων για την περίπτωση των κατοικιών με έντονη κυκλοφοριακή κίνηση. Φαίνεται ότι υπάρχει διαφορά των τιμών μεταξύ των δύο υποκατηγοριών. Συγκεκριμένα, στις κατοικίες με έντονη κυκλοφοριακή κίνηση, η σχετική διαφορά των συγκεντρώσεων είναι υψηλότερη (υποδηλώνοντας μεγάλες συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου), με μεγάλο εύρος τιμών τόσο στα αδρά ΑΣ όσο και στον ΑΑΣ ενώ για τις περιοχές που δεν παρουσιάζουν έντονη κίνηση οχημάτων οι αντίστοιχες σχετικές διαφορές των συγκεντρώσεων είναι αρνητικές.

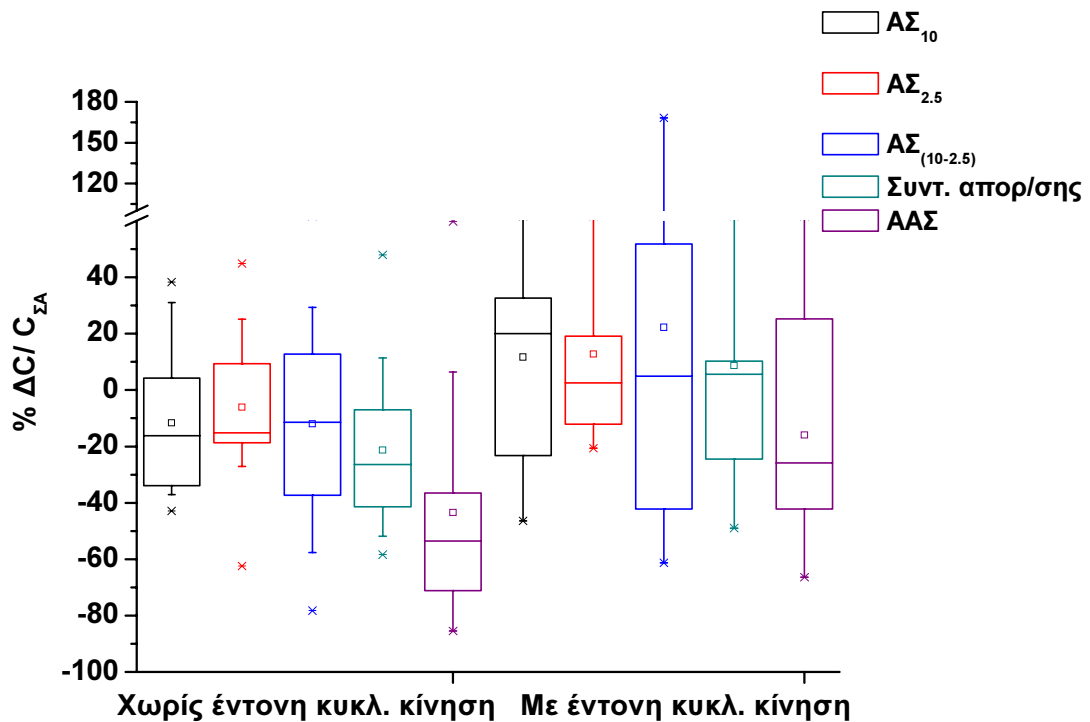
**Σχήμα 7-6:** Γραφική απεικόνιση διαμέσου τιμής της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς για κατοικίες που βρίσκονταν στο κέντρο και σε προάστιο. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 7-7:** Γραφική απεικόνιση διαμέσου τιμής της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς για κατοικίες που υπόκειται και δεν υπόκειται σε καναλισμό (canyon effect). (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 7-8:** Γραφική απεικόνιση διαμέσου τιμής της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς για κατοικίες που χαρακτηρίζονται ως έντονης κυκλοφοριακής (traffic homes) και χωρίς έντονη κυκλοφοριακή κίνηση. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



## 7.6 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση των ημερήσιων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς

Εφαρμόστηκε η μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης των ημερήσιων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου των κατοικιών σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του σταθμού αναφοράς (Σ.Α.) για κάθε παράμετρο ( $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ , συντελεστής απορρόφησης και ΑΑΣ).

Οι συντελεστές της παλινδρόμησης, κλίση και TEA, υπολογίστηκαν για κάθε κατοικία (Πίνακας 7-6). Συμπεριλήφθηκαν όλες οι κατοικίες που είχαν δεδομένα τουλάχιστον τριών ημερών. Οι ομοιότητες ή οι διαφορές μεταξύ των κλίσεων και των TEA παρέχουν μία ένδειξη της χωρικής ομοιογένειας των ΑΣ καθώς ο Σ.Α. είναι ενδεικτικός της κατάστασης που επικρατεί στην πόλη της Αθήνας. Οι κλίσεις δηλώνουν την συμμεταβολή ή μη των εκάστοτε κατοικιών με το Σ.Α. Η TEA, για κάθε περίπτωση (κατοικίας), δίνει εικόνα κατά πόσο τα επίπεδα της εκάστοτε περιοχής, που βρίσκεται η κατοικία, είναι αυξημένα ή πιο χαμηλά από τα αντίστοιχα του ΣΑ.

Από τον Πίνακα 7-6 φαίνεται ότι, για τα  $AS_{10}$  η μεγαλύτερη κλίση (1.87) υπολογίστηκε στην κατοικία (136) στην περιοχή του Αμαρουσίου, ενώ η μικρότερη στην κατοικία (133) στην Ν. Ιωνία. Αντίστοιχα για τα  $AS_{2.5}$ , η μεγαλύτερη κλίση (1.63) υπολογίστηκε πάλι στην κατοικία (136) στην περιοχή του Αμαρουσίου, ενώ η μικρότερη στην κατοικία (128) στο Χολαργό. Για τα αδρά ΑΣ, η μεγαλύτερη κλίση (2.0), υπολογίστηκε στην κατοικία (123) στην Καλλιθέα, ενώ η μικρότερη στην κατοικία (131) στο Π. Φάληρο. Ομοίως για το συντελεστή απορρόφησης, η μεγαλύτερη κλίση (1.18), υπολογίστηκε στην κατοικία (134) στο Χαλάνδρι ενώ η μικρότερη (-0.15), στην κατοικία (112) στο κέντρο των Αθηνών, στα Εξάρχεια. Για τον ΑΑΣ, η μεγαλύτερη κλίση (3.0) υπολογίστηκε στην κατοικία (100) σε κεντρικό δρόμο του Π. Φαλήρου, ενώ η μικρότερη (-0.21) στην κατοικία (129) στη Γλυφάδα. Φαίνεται ότι, υπάρχει συμμεταβολή του σταθμού αναφοράς με την περιοχή Αμαρουσίου για λεπτά ΑΣ και τα  $AS_{10}$  ενώ για τα αδρά ΑΣ υπάρχει συμμεταβολή με την Καλλιθέα.

Από τον Πίνακα 7-6, φαίνεται ότι οι τιμές της TEA μεταβάλλονται αρκετά. Για τα  $AS_{10}$ , η κατοικία (116), στο Ζεφύρι, εμφανίζει τιμές αρκετά πιο υψηλές από εκείνες του

Σ.Α. ενώ στην κατοικία (118) στην Ν. Ιωνία, οι τιμές παρουσιάζονται πιο χαμηλές. Αντίστοιχα, τα λεπτά ΑΣ εμφανίζουν υψηλότερα επίπεδα από εκείνα του Σ.Α. στη κατοικία (130) στα Ν. Λιόσια, ενώ πιο χαμηλά από εκείνα του Σ.Α. εμφανίζονται στην κατοικία (118) στην Ν. Ιωνία. Ομοίως, τα αδρά ΑΣ εμφανίζουν επίπεδα μεγαλύτερα του Σ.Α. στην κατοικία (116), στο Ζεφύρι ενώ αντίθετα χαμηλότερα επίπεδα εμφανίζονται στην κατοικία (123) στην Καλλιθέα. Ο συντελεστής απορρόφησης εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα από τον Σ.Α. στην κατοικία (116) στο Ζεφύρι, ενώ χαμηλά επίπεδα εμφανίζονται στην κατοικία (118) στην Ν. Ιωνία. Τα υψηλότερα επίπεδα ΑΑΣ σε σύγκριση με του Σ.Α. εμφανίζονται στην κατοικία (107), σε κεντρικό δρόμο στο Κουκάκι, ενώ μειωμένα επίπεδα εμφανίζονται στην κατοικία (100) στο Π. Φάληρο.

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η συμμεταβολή ή μη των συγκεντρώσεων των ΑΣ με εκείνες του Σ.Α. και το ποιες περιοχές εμφανίζουν επίπεδα συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου αυξημένα σε σύγκριση με τον Σ.Α., έγινε κατηγοριοποίηση των κατοικιών ανάλογα με την περιοχή που βρίσκονταν σε: βόρειες, ανατολικές, νότιες, δυτικές και στο κέντρο των Αθηνών.

Όσον αφορά στις κλίσεις, από το Σχήμα 7-9 φαίνεται ότι, οι μεγαλύτερες κλίσεις εμφανίζονται στις κατοικίες που βρίσκονται στις δυτικές περιοχές των Αθηνών και στο κέντρο της πόλης. Οι κλίσεις των ΑΣ<sub>10</sub> και των αδρών ΑΣ, των δυτικών περιοχών, εμφανίζουν και το μεγαλύτερο εύρος τιμών. Γενικά, οι κλίσεις των λεπτών ΑΣ, εμφανίζονται υψηλότερες των υπολοίπων κλασμάτων ΑΣ δηλώνοντας έτσι μεγαλύτερη συμμεταβολή με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του Σ.Α.

Οι τιμές της TEA για τα ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΣ<sub>(10-2.5)</sub>, παρουσιάζουν εμφανώς υψηλότερη μέση και διάμεσο τιμή στην περίπτωση των κατοικιών που βρίσκονται σε δυτικές περιοχές των Αθηνών, με τις τιμές των ΑΣ<sub>10</sub> και των αδρών ΑΣ να είναι αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες του Σ.Α. (Σχήμα 7-10). Επίσης, αυξημένη μέση τιμή παρουσιάζει ο συντελεστής απορρόφησης στις κατοικίες που βρίσκονταν στο κέντρο και στις δυτικές περιοχές εμφανίζοντας, στην περίπτωση αυτή, μεγάλο εύρος τιμών (Σχήμα 7-11). Αντίστοιχη εικόνα με εκείνη του συντελεστή απορρόφησης εμφανίζει η TEA του ΑΑΣ (Σχήμα 7-12) όπου και σε αυτήν την περίπτωση τόσο οι κατοικίες που βρίσκονται

στις δυτικές περιοχές όσο και εκείνες του κέντρου εμφανίζουν επίπεδα αρκετά υψηλότερα από εκείνα του Σ.Α.

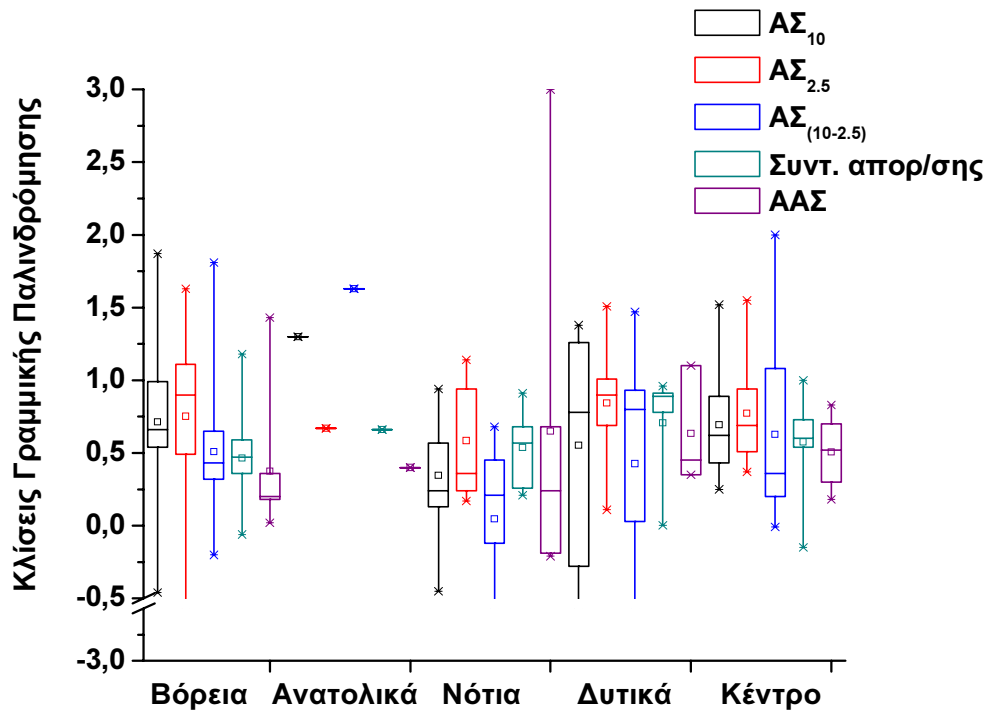
**Πίνακας 7-6:** Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης, κλίση και τεταγμένη επί την αρχή (TEA), των ημερήσιων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς.

|     | ΑΣ <sub>10</sub> |              | ΑΣ <sub>2.5</sub> |             | ΑΣ <sub>(10-2.5)</sub> |              | Συντελεστής απορρόφησης |           | ΑΑΣ       |              |
|-----|------------------|--------------|-------------------|-------------|------------------------|--------------|-------------------------|-----------|-----------|--------------|
|     | Κλίση            | TEA          | Κλίση             | TEA         | Κλίση                  | TEA          | Κλίση                   | TEA       | Κλίση     | TEA          |
| 100 | 0.24±0.12        | 52.20±6.78   | 0.36±0.45         | 15.21±7.52  | 0.18±0.06              | 36.91±2.32   | 0.57±0.24               | 2.31±1.04 | 3.00±2.36 | -69854±81881 |
| 104 | 0.21±0.06        | 18.83±3.01   | 0.17±0.23         | 11.95±5.33  | 0.21±0.08              | 7.80±2.03    | 0.26±0.14               | 1.48±0.64 | 0.24±0.13 | 11387±4590   |
| 105 | 1.09±0.16        | -30.96±12.67 | 0.64±0.13         | -9.64±6.44  | 0.33±0.42              | 24.92±14.40  | -0.06±0.45              | 2.70±2.61 | 0.49±0.10 | -1542±4572   |
| 106 | 1.26±0.22        | -7.48±13.81  | 0.90±0.23         | 7.92±8.80   | 1.47±0.39              | -7.78±9.57   | 0.96±0.17               | 0.62±0.75 | 1.10±0.18 | -4677±6290   |
| 107 | 0.89±0.22        | 10.59±7.68   | 1.55±0.29         | 2.21±4.87   | 0.43±0.16              | 6.37±3.09    | 1.00±0.10               | 2.35±0.41 | 0.18±0.66 | 31324±18808  |
| 108 | 0.35±0.12        | 7.57±6.12    | 0.37±0.50         | 11.64±12.34 | -0.01±0.1              | 4.18±1.52    | 0.39±0.39               | 1.19±1.81 | 0.70±0.35 | 9144±12097   |
| 109 |                  |              |                   |             |                        |              |                         |           | 0.70±0.66 | 22859±33292  |
| 110 | 0.74±0.28        | 11.79±9.72   | 0.59±0.21         | 4.74±3.60   | 1.08±0.34              | 4.13±5.94    | 0.60±0.18               | 1.31±0.67 | 0.69±0.10 | 13227±3716   |
| 111 | 0.94±0.42        | -3.46±14.37  | 1.04±0.43         | -1.15±9.44  | 0.60±0.33              | -0.37±4.05   | 0.68±0.50               | 0.18±1.92 | 0.93±0.21 | -4641±7472   |
| 112 | 0.94±0.21        | 8.01±6.50    | 0.69±0.20         | 5.68±4.07   | 1.27±0.22              | 4.15±2.31    | -0.15±0.58              | 3.84±1.69 | 0.83±0.44 | 15013±12781  |
| 113 | 0.57±0.15        | 11.85±10.13  | 0.53±0.28         | 13.94±11.17 | 0.45±0.19              | 2.83±5.26    | 0.69±0.20               | 0.77±0.96 | 0.68±0.13 | -3285±4698   |
| 114 | 0.78±0.27        | 34.44±15.91  | 1.01±0.16         | 5.05±6.22   | 0.80±0.42              | 20.39±9.14   | 0.78±0.35               | 2.60±1.31 | 0.35±0.38 | 31318±9659   |
| 115 | 0.77±0.14        | 1.14±6.33    | 0.94±0.18         | 1.70±4.40   | 0.68±0.28              | -2.57±6.24   | 0.91±0.09               | 0.34±0.33 | 0.58±0.16 | 4085±4496    |
| 116 | -0.28±0.4        | 165.99±36.2  | 0.69±0.39         | 24.54±17.98 | -1.10±0.4              | 129.79±15.09 | 0.003±0.26              | 5.75±1.40 | 0.45±0.25 | 10535±9778   |
| 117 | 0.95±0.16        | -14.17±9.72  | 0.49±1.13         | 9.34±24.35  | 0.65±0.06              | -3.49±2.66   | -0.01±0.21              | 1.81±0.74 | 0.20±0.25 | 9074±8157    |
| 118 | 1.38±1.89        | -39.61±198.1 | 1.51±0.50         | -23.23±18.5 | 0.03±0.88              | 69.70±60.08  | 0.91±0.36               | -0.68±2.1 |           |              |

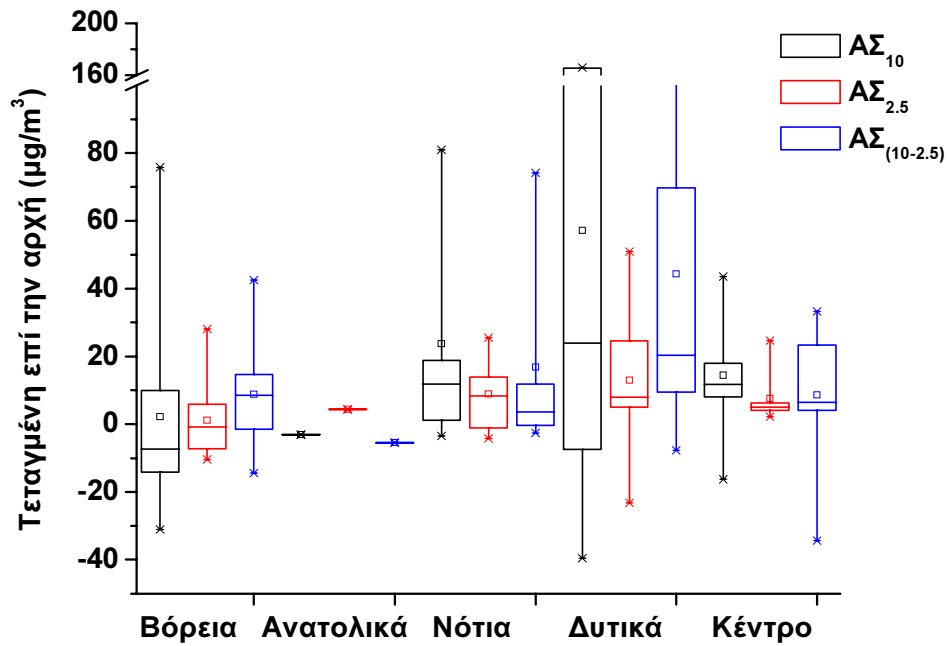
|                 |            |              |           |             |           |              |           |           |           |            |
|-----------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 119             | 0.54±0.15  | 7.63±6.72    | 0.90±0.07 | -0.82±1.39  | 0.32±0.17 | 8.47±4.86    | 0.36±0.15 | 0.60±0.37 | 0.20±0.19 | 2860±3286  |
| 120             |            |              |           |             |           |              |           |           |           |            |
| 121             | 0.25±0.27  | 43.64±13.69  | 1.04±0.48 | 3.24±9.08   | 0.01±0.35 | 33.25±11.76  | 0.89±0.23 | 1.61±0.59 | 0.24±0.09 | 5737±1251  |
| 122             | 1.30±0.26  | -3.06±16.60  | 0.67±0.09 | 4.44±2.25   | 1.63±0.37 | -5.48±14.74  | 0.66±0.26 | 0.40±0.89 | 0.40±0.11 | -355±2102  |
| 123             | 1.52±0.84  | -16.29±55.12 | 0.41±0.55 | 24.66±13.58 | 2.00±0.28 | -34.30±11.75 | 0.73±0.59 | 0.44±2.09 | 0.30±0.24 | 4215±4639  |
| 124             | 0.24±0.11  | 23.07±7.54   | 0.46±0.32 | 5.90±7.23   | 0.11±0.07 | 14.66±2.89   | 0.47±0.11 | 0.32±0.29 | 0.36±0.09 | 1109±1020  |
| 125             | 0.51±0.11  | 29.14±8.95   | 0.94±0.61 | 5.07±17.36  | 0.30±0.46 | 24.35±25.05  | 0.64±0.10 | 0.61±0.36 | 0.52±0.43 | 5885±6413  |
| 126             | 0.66±0.43  | -7.35±23.77  | 1.11±0.32 | -5.88±5.84  | 0.43±0.42 | -1.02±15.64  | 0.36±0.36 | 0.51±1.30 | 0.18±0.09 | 2404±1507  |
| 127             | 0.55±0.14  | 9.94±12.97   | 0.95±0.47 | 1.32±9.66   | 0.44±0.14 | 8.79±10.52   | 0.71±0.06 | 0.09±0.22 | 1.43±0.35 | -7693±3881 |
| 128             | -0.46±0.21 | 75.82±12.07  | -0.68±0.2 | 28.14±3.66  | -0.20±0.4 | 42.51±13.35  | 0.57±0.29 | 0.62±1.09 | 0.36±0.08 | -546±1125  |
| 129             | 0.13±0.11  | 16.72±5.12   | 0.24±0.14 | 8.31±2.94   | -0.12±0.2 | 11.89±3.49   | 0.21±0.15 | 1.04±0.57 | -0.21±0.2 | 7055±2904  |
| 130             | 0.92±0.39  | 23.86±34.05  | 0.11±0.43 | 50.95±20.30 | 0.93±0.25 | 9.49±10.57   | 0.89±0.30 | 0.33±1.62 |           |            |
| 131             | -0.45±1.4  | 81.00±63.50  | 0.25±1.01 | 25.48±22.10 | -1.98±1.5 | 74.20±34.85  | 0.57±0.52 | 1.75±2.20 | -0.19±0.3 | 4334±3462  |
| 132             | 0.43±0.11  | 17.94±5.15   | 0.51±0.08 | 6.22±1.86   | 0.36±0.14 | 11.90±3.79   | 0.55±0.07 | 0.80±0.30 |           |            |
| 133             | -0.74±0.4  | 165.57±28.07 |           |             |           |              |           |           |           |            |
| 134             | 0.99±0.15  | -13.36±13.46 | 1.27±0.49 | -7.25±18.67 | 0.70±0.13 | -1.57±6.93   | 1.18±0.23 | -0.88±1.3 | 0.02±0.08 | 9106±3621  |
| 135             | 0.35±0.12  | 11.57±4.20   | 1.14±0.47 | -4.21±7.37  | 0.36±0.08 | 3.64±1.67    | 0.42±0.17 | 0.32±0.63 | 0.16±0.25 | 5367±11539 |
| 136             | 1.87±0.06  | -31.05±3.05  | 1.63±0.19 | -10.39±3.74 | 1.81±0.07 | -14.43±2.03  | 0.59±0.38 | 0.47±1.60 | 0.13±0.07 | 3821±2162  |
| 137             | 0.62±0.20  | 17.54±14.00  | 0.86±0.07 | 4.10±2.09   | 0.20±0.27 | 23.29±10.95  | 0.54±0.20 | 1.22±0.81 | 0.41±0.10 | 2421±3074  |
| <b>Διάμεσος</b> | 0.62±0.58  | 11.57±45.89  | 0.69±0.47 | 5.06±13.62  | 0.40±0.77 | 8.13±30.08   | 0.58±0.32 | 0.69±1.30 | 0.38±0.59 | 4275±16741 |
| <b>Ελάχιστη</b> | -0.074     | -39.61       | -0.68     | -23.23      | -1.98     | -34.30       | -0.15     | -0.88     | -0.21     | -69854     |

|                |      |        |      |       |      |        |      |      |      |       |
|----------------|------|--------|------|-------|------|--------|------|------|------|-------|
| <b>Μέγιστη</b> | 1.87 | 165.99 | 1.63 | 50.95 | 2.00 | 129.79 | 1.18 | 5.75 | 3.00 | 31324 |
|----------------|------|--------|------|-------|------|--------|------|------|------|-------|

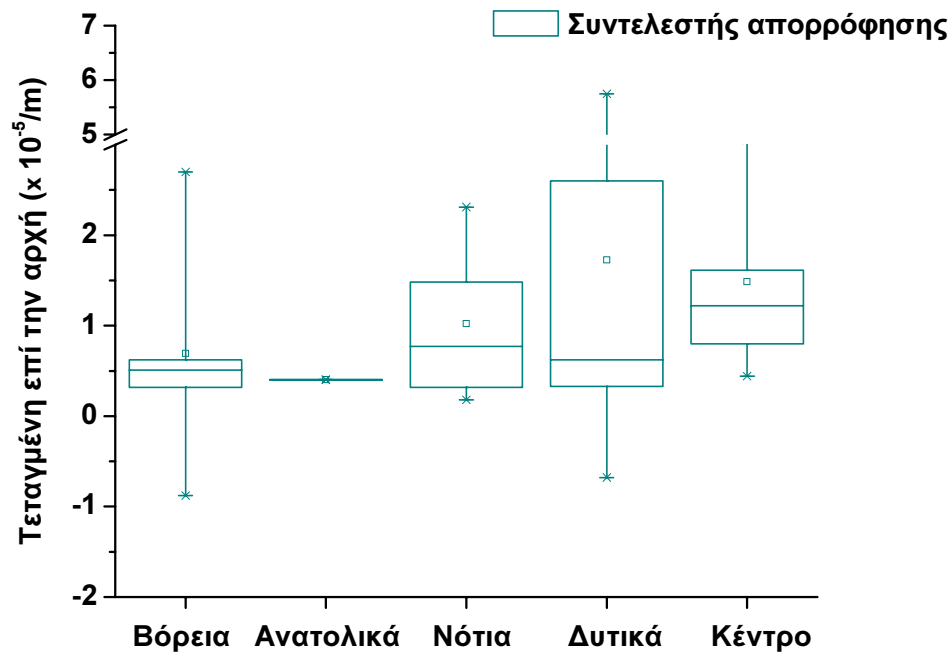
**Σχήμα 7-9:** Κλίσεις γραμμικής παλινδρόμησης για όλες τις παραμέτρους ΑΣ. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\Gamma$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



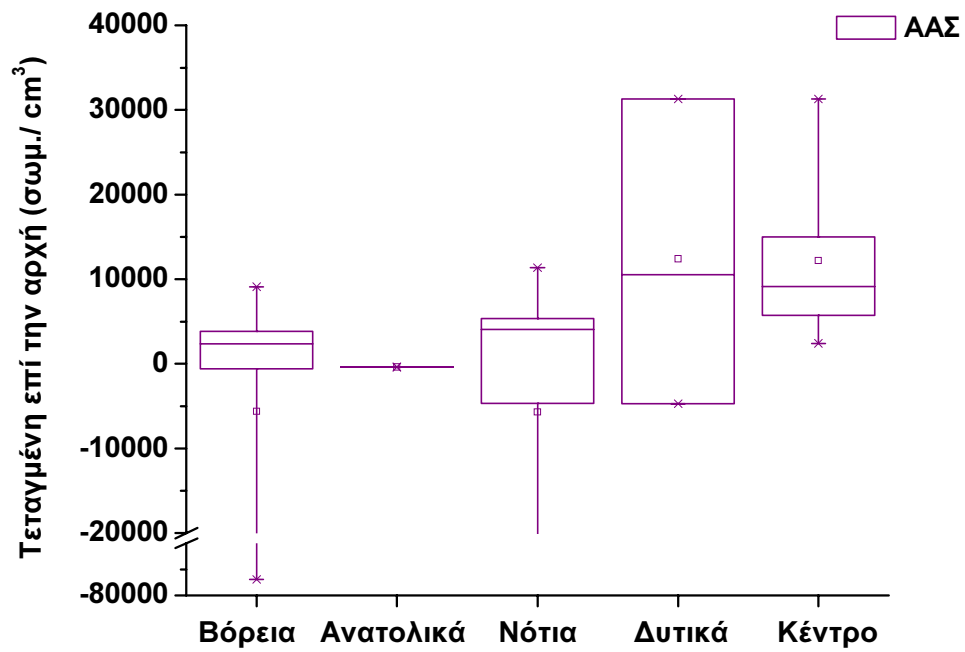
**Σχήμα 7-10:** Τεταγμένη επί την αρχή για τα  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ . (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 7-11:** Τεταγμένη επί την αρχή για τον συντελεστή απορρόφησης. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



**Σχήμα 7-12:** Τεταγμένη επί την αρχή για τον ΑΑΣ. (Σε κάθε θηκόγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή ( $\square$ ), το 1% και 99% (\*), το 5% ( $\perp$ ) και 95% ( $\top$ ), το 25% και 75% όρια παραλληλογράμμου και η διάμεσος).



## 7.7 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και διαφόρων χαρακτηριστικών των κατοικιών

Η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης εφαρμόστηκε στις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου των κατοικιών, ως εξαρτημένη μεταβλητή, με χαρακτηριστικά των κατοικιών και των συγκεντρώσεων ΑΣ του σταθμού αναφοράς, ως ανεξάρτητες μεταβλητές, προκειμένου να υπολογιστούν οι επιδράσεις των χαρακτηριστικών στις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου. Τα «εξωτερικά» χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Τοποθεσία κατοικίας (κέντρο (1) / προάστιο (2)).
- Περιοχές, αστικές ήπιας (1) ή έντονης (2) κυκλοφοριακής κίνησης.
- Απόσταση από τον κεντρικό σταθμό (0-5km (1), 5-10m (2), >10 km (3)).
- Τύπος κατοικίας (ανεξάρτητη μονοκατοικία (1)/ διαμέρισμα (2)).
- Χρονολογία ανέγερσης οικήματος (πριν (1) ή μετά (2) το 1980).
- Ύψος δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου (0-3m (1), 3-6m (2), >6m (3)).
- Θέση δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου (προς τον ακάλυπτο (1), το δρόμο (2))
- Ολική ροή οχημάτων ανά ημέρα, κατηγοριοποίηση (<5000 οχήμ./ημέρα (1), <10000 οχήμ./ ημέρα (2), <20000 οχήμ./ ημέρα (3),  $\geq 20000$  οχήμ./ ημέρα (4)).
- Απόσταση από τον κοντινότερο δρόμο (0-5m (1), 5-10m (2), >10m (3)).
- Απόσταση από το δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας (0-100m (1), 100-500m (2), >500m (3)).
- Απόσταση από διασταύρωση (0-100m (1), 100-500m (2), >500m (3)).
- Απόσταση από φωτεινό σηματοδότη (0-100m (1), 100-500m (2), >500m (3)).

Από τα αποτελέσματα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης φαίνεται ότι, η απόσταση από δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας ( $28.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $21.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) καθώς και η απόσταση από την κοντινότερη διασταύρωση δρόμων ( $58.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $18.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) είναι σημαντικοί παράγοντες επίδρασης στα ΑΣ<sub>10</sub> και στα ΑΣ<sub>2.5</sub> αντίστοιχα (Σχήματα 7-13).

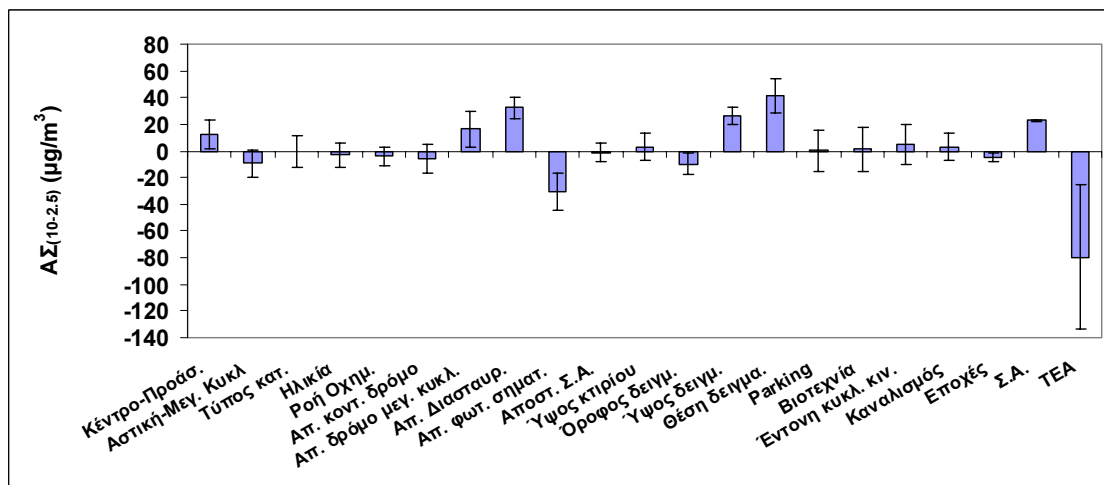
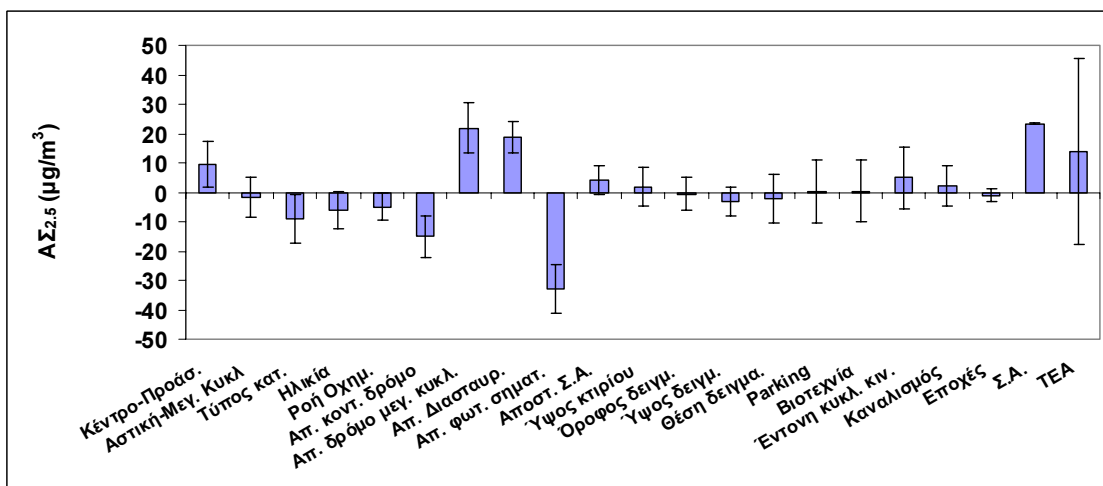
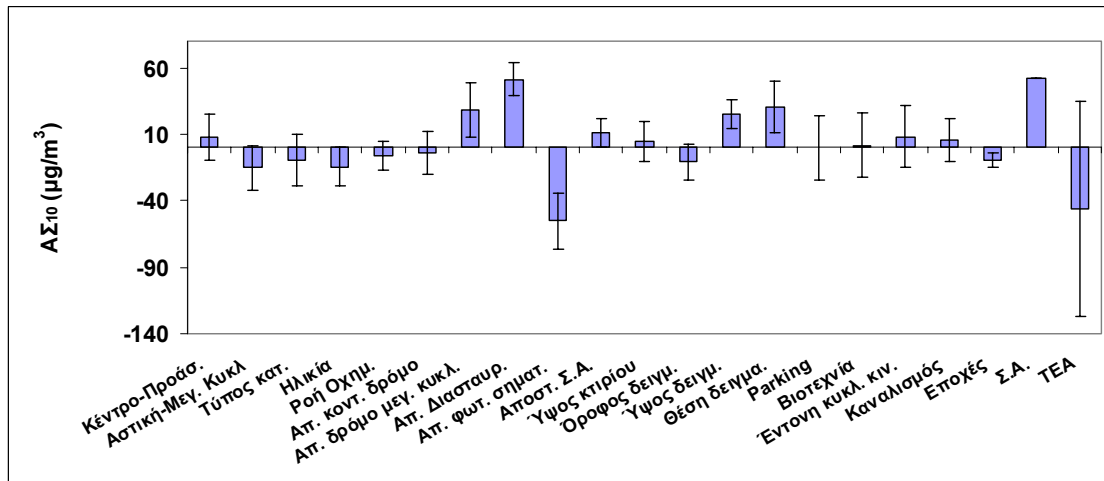
Επίσης, καθοριστικοί παράγοντες για τα  $AS_{10}$  φαίνεται να είναι, τόσο το ύψος της δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου ( $25.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) όσο και η θέση δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου ( $30.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Τόσο ο χαρακτηρισμός των κατοικιών ως έντονης κυκλοφορικής κίνησης ( $8.21\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) όσο και το φαινόμενο του καναλισμού, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες επίδρασης στα  $AS_{10}$  ( $5.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Η τοποθεσία της κατοικίας (κέντρο-προάστιο) και η ύπαρξη βιοτεχνίας κοντά σε αυτήν εμφανίζεται σημαντική στα λεπτά ΑΣ.

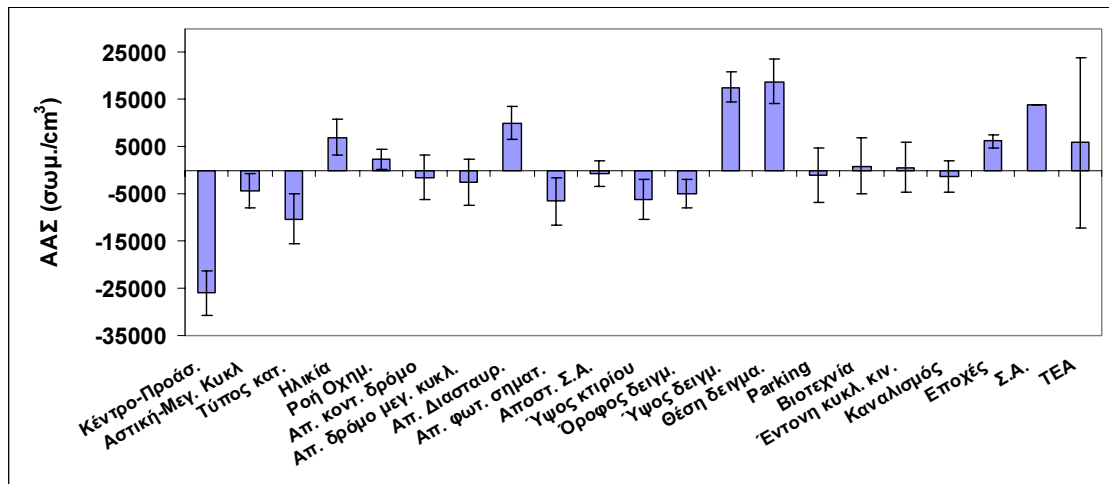
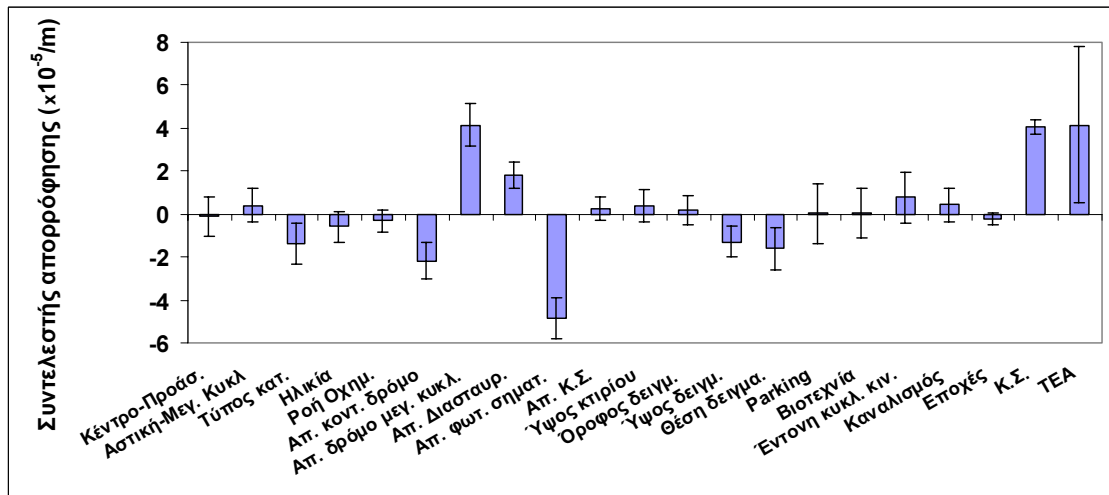
Στα αδρά ΑΣ, ιδιαίτερης σημαντικότητας παράγοντες στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων εμφανίζονται να είναι η θέση και το ύψος δειγματοληψίας ( $41.1\mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $26.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Επίσης, σημαντικοί παράγοντες είναι η απόσταση από την κοντινότερη διασταύρωση δρόμων ( $32.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) και η απόσταση από δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας ( $16.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) καθώς και η τοποθεσία των κατοικιών, αν βρίσκονται στο κέντρο της πόλης ή σε προάστιο ( $12.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Όσον αφορά το συντελεστή απορρόφησης, οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι η απόσταση από δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας ( $4.1\times 10^{-5}/\text{m}$ ) και η απόσταση από διασταύρωση δρόμων ( $1.8\times 10^{-5}/\text{m}$ ) (Lianou et. al., 2007). Επίσης, οι κατοικίες έντονης κυκλοφοριακής κίνησης εμφανίζουν θετική επίδραση στο συντελεστή απορρόφησης ( $0.8\times 10^{-5}/\text{m}$ ).

Όσον αφορά στον ΑΑΣ, η μεγαλύτερη επίδραση προέρχεται από τις παραμέτρους ύψος, θέση δειγματοληψίας και απόσταση από διασταύρωση δρόμων.

**Σχήματα 7-13:** Αποτελέσματα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για τα  $ΑΣ_{10}$ ,  $ΑΣ_{2.5}$ ,  $ΑΣ_{(10-2.5)}$ , συντελεστή απορρόφησης και ΑΑΣ.





## 7.8 Συσχέτιση των συγκεντρώσεων εσωτερικού χώρου με τα «εσωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών

Προκειμένου να μελετηθούν οι παράμετροι που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου των κατοικιών ως προς τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου, υπολογίστηκε η επί τοις εκατό σχετική διαφορά τους ( $\% \Delta C(\text{εσωτ.} - \text{εξωτ.})/C_{\text{εξωτ.}}$ ), όπως έγινε αντίστοιχα με τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου και του Σταθμού Αναφοράς (Πίνακας 7-7). Σε αυτήν την περίπτωση, οι αρνητικές τιμές της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων δηλώνουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στον εξωτερικό χώρο της υπό μελέτη κατοικίας.

**Πίνακας 7-7:** Διάμεση τιμή της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου ( $\% \Delta C/C_{\text{εξωτ.}}$ ), μέση τιμή, ελάχιστη και μέγιστη τιμή.

| ID  | $A\Sigma_{10}$ | $A\Sigma_{2.5}$ | $A\Sigma_{(10-2.5)}$ | Συντελεστής απορρόφησης | ΑΑΣ    |
|-----|----------------|-----------------|----------------------|-------------------------|--------|
| 100 | -45.19         | 9.23            | -76.88               | -18.40                  | 25.92  |
| 104 | -31.94         | -36.40          | -32.29               | -34.84                  | -59.37 |
| 105 | -33.80         | 62.96           | -78.75               | 50.87                   | -26.52 |
| 106 | -53.62         | -46.36          | -40.02               | -16.14                  | -61.49 |
| 107 | -4.45          | 4.44            | -6.21                | -11.47                  | -29.47 |
| 108 | 39.28          | 12.86           | 101.03               | 25.82                   | -41.36 |
| 109 | 17.86          | 11.43           | 42.86                | -28.92                  | -39.55 |
| 110 | -20.13         | 32.87           | -55.39               | 6.31                    | -47.90 |
| 111 | -12.07         | -51.01          | 47.23                | 0.02                    | -38.36 |
| 112 | -27.29         | -10.83          | -40.74               | -8.29                   | -31.39 |
| 113 | 5.30           | -25.26          | 68.16                | -41.10                  | -2.72  |
| 114 | -50.86         | -36.63          | -76.04               | -33.16                  | -70.99 |
| 115 | 11.53          | -8.85           | 41.13                | -9.54                   | 0.08   |
| 116 | -70.57         | -52.38          | -83.43               | -33.00                  | -46.28 |
| 117 | -35.79         | -32.14          | -64.39               | -20.67                  | 0.57   |
| 118 | -38.70         | -11.41          | -72.49               | -14.09                  |        |
| 119 | 27.66          | -2.47           | 36.79                | -27.78                  | 36.09  |
| 120 |                |                 |                      |                         |        |
| 121 | -35.42         | -32.79          | -31.87               | -33.91                  | 47.63  |
| 122 | -64.21         | -22.38          | -77.62               | -20.98                  | 35.58  |
| 123 |                |                 |                      |                         | 14.95  |
| 124 | -29.99         | 13.02           | -67.99               | -16.59                  | 6.55   |
| 125 | -51.35         | -11.11          | -64.66               | -17.22                  | -7.92  |

|                    |             |            |             |             |            |
|--------------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 126                | 2.19        | 56.72      | -66.98      | 14.49       | 75.39      |
| 127                | -15.73      | 13.73      | -9.76       | -9.65       | 44.11      |
| 128                | -63.86      | -32.32     | -79.34      | -24.96      | 33.16      |
| 129                | 30.03       | 66.64      | -39.32      | -4.24       | -65.49     |
| 130                | -62.94      | -49.94     | -80.38      | -23.19      | -52.22     |
| 131                | -34.66      | -9.24      | -30.00      | -29.17      | 83.87      |
| 132                | -19.34      | -1.36      | -38.90      | 12.33       |            |
| 133                | -63.32      | -59.64     | -69.30      | -19.78      |            |
| 134                | -60.12      | -35.77     | -87.95      | -14.44      | -14.89     |
| 135                | -2.14       | 36.11      | -13.99      | -16.38      | 432.24     |
| 136                | 10.12       | -2.51      | 1.98        | -19.76      | 14.12      |
| 137                | -34.88      | -15.63     | -51.66      | -5.61       | -20.04     |
| Μέση τιμή<br>(±SE) | -24.80±5.32 | -8.07±5.77 | -33.25±8.69 | -13.44±3.30 | 6.27±16.04 |
| Διάμεσος           | -31.94      | -10.83     | -40.74      | -16.59      | -7.92      |
| Σταθ.<br>αποκλ.    | 30.55       | 33.16      | 49.91       | 18.95       | 89.28      |
| Ελάχιστη           | -70.57      | -59.64     | -87.95      | -41.10      | -70.99     |
| Μέγιστη            | 39.28       | 66.64      | 101.03      | 50.87       | 432.24     |

Εφαρμόστηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της διαμέσου τιμής της σχετικής διαφοράς συγκεντρώσεων (% $\Delta C/C_{\text{εξωτ.}}$ ) ως εξαρτημένης μεταβλητής και των «εσωτερικών» χαρακτηριστικών των κατοικιών. Τα «εσωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

- Όγκος κατοικίας
- Τύπος κουζίνας (ανοικτού τύπου (1), κλειστού τύπου (2))
- Όροφος κατοικίας.
- Αριθμός ενδιάμεσων πορτών μεταξύ κουζίνας και σαλονιού.
- Ύπαρξη συγκεκριμένου εξοπλισμού στην κουζίνα (0: όχι, 1: ναι) όπως: κουζίνα αερίου ή ηλεκτρική, φούρνος αερίου ή ηλεκτρικός, λέβητας αερίου ή ηλεκτρικός, φούρνος μικροκυμάτων, πλυντήριο πιάτων και ρούχων, άλλου τύπου συσκευές.
- Ύπαρξη ή μη απορροφητήρα (0: όχι, 1: ναι) και τρόπος λειτουργίας απορροφητήρα (σε κάθε δραστηριότητα στην κουζίνα (1), επιλεκτικά (2), καθόλου (3)).
- Τύπος θέρμανσης στον κεντρικό χώρο, θερμάστρα αερίου, τζάκι κ.α.

- Εξαερισμός κεντρικού χώρου (κλιματισμός, παράθυρα, μπαλκονόπορτες, κ.α.)
- Θέση δειγματοληψίας εσωτερικού χώρου κατοικιών (σαλόνι με όψη προς τον ακάλυπτο (1), τον δρόμο (2)).
- Αριθμός ηλεκτρικών συσκευών.
- Τύπος δαπέδου (παρκέ (1), χαλί (2)).
- Κατοικίδια ζώα (0: όχι, 1: ναι).

Οι εξαγόμενοι συντελεστές συσχέτισης δίνουν ένα μέτρο των διαφορών στις συγκεντρώσεις μεταξύ των δύο κατηγοριών της κάθε μεταβλητής. Στον Πίνακα 7-8 φαίνεται ο τυποποιημένη παράμετρος  $\beta$  από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εσωτερικού και εξωτερικού χώρου με τα «εσωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών.

**Πίνακας 7-8:** Τυποποιημένη παράμετρος  $\beta$  της σχετικής διαφοράς συγκεντρώσεων  $\% \Delta C / C_{\text{εξωτ.}}$  και των παραμέτρων εσωτερικού χώρου (με έντονους χαρακτήρες οι στατιστικά σημαντικοί συντελεστές).

| Χαρακτηριστικά εσωτ. χώρου κατοικίας | $A\Sigma_{10}$ | $A\Sigma_{2.5}$ | $A\Sigma_{(10-2.5)}$ | Συντ. Απορ/σης | ΑΑΣ          |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------|--------------|
| Όγκος κατοικίας                      | -0.11          | 0.02            | -0.26                | 0.04           | -0.24        |
| Τύπος κουζίνας                       | <b>-0.37</b>   | <b>-0.38</b>    | -0.10                | -0.09          | <b>-0.33</b> |
| Όροφος κατοικίας                     | -0.08          | 0.05            | -0.15                | 0.21           | -0.19        |
| Αριθμός ενδ/σες πορτών               | <b>-0.29</b>   | <b>-0.37</b>    | -0.01                | 0.02           | <b>-0.34</b> |
| Κουζίνα αερίου                       | 0.05           | 0.24            | 0.02                 | -0.09          | <b>0.59</b>  |
| Ηλεκτρική κουζίνα                    | 0.05           | -0.04           | -0.20                | 0.11           | <b>-0.67</b> |
| Φούρνος αερίου                       | -0.23          | -0.13           | -0.17                | -0.11          | 0.06         |
| Ηλεκτρικός φούρνος                   | -0.21          | -0.38           | 0.05                 | -0.11          | -0.04        |
| Λέβητας αερίου                       | -0.23          | -0.16           | -0.10                | -0.04          | -0.12        |
| Ηλεκτρικός λέβητας                   | 0.25           | 0.11            | 0.27                 | -0.15          | -0.09        |
| Φούρνος μικροκυμάτων                 | -0.12          | 0.16            | -0.19                | <b>0.37</b>    | -0.05        |

|                                         |              |              |             |              |             |
|-----------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Πλυντήριο πιάτων                        | -0.003       | 0.14         | -0.19       | -0.01        | -0.17       |
| Πλυντήριο ρούχων                        | 0.25         | 0.11         | 0.27        | -0.15        | -0.09       |
| Άλλες συσκευές                          | <b>0.30</b>  | 0.02         | 0.28        | -0.02        | 0.002       |
| Ολικός αριθμός συσκευών                 | -0.11        | 0.04         | -0.10       | 0.01         | -0.08       |
| Απορροφητήρας                           | 0.12         | 0.16         | 0.06        | 0.04         | <b>0.45</b> |
| Χρήση απορροφητήρα                      | 0.10         | 0.06         | 0.11        | 0.02         | <b>0.35</b> |
| Θερμάστρα αερίου στο σαλόνι             | 0.13         | 0.24         | 0.07        | -0.03        | <b>0.88</b> |
| Τζάκι                                   | 0.09         | <b>0.51</b>  | -0.12       | <b>0.54</b>  | 0.09        |
| Άλλη συσκευή στο σαλόνι                 | 0.12         | -0.09        | 0.13        | -0.13        | 0.05        |
| Κλιματισμός στο σαλόνι                  | -0.23        | -0.23        | -0.16       | -0.07        | 0.01        |
| Μικρό παράθυρο (σαλόνι)                 | 0.23         | 0.24         | 0.05        | 0.11         | <b>0.53</b> |
| Μεγάλο παράθυρο (σαλόνι)                | -0.02        | 0.32         | -0.22       | 0.33         | -0.01       |
| Μπαλκονόπορτα (σαλόνι)                  | 0.05         | <b>-0.39</b> | 0.16        | <b>-0.61</b> | 0.07        |
| Περισσότερα του ενός παράθυρα (σαλόνι)  | 0.38         | 0.11         | 0.48        | 0.37         | -0.10       |
| Αριθμός συστημάτων εξαερισμού (σαλόνι)  | 0.04         | 0.08         | -0.06       | 0.14         | 0.23        |
| Μικρό παράθυρο (κουζίνα)                | -0.04        | -0.07        | 0.11        | 0.07         | 0.11        |
| Μεγάλο παράθυρο (κουζίνα)               | 0.22         | 0.29         | -0.03       | 0.02         | 0.07        |
| Μπαλκονόπορτα (κουζίνα)                 | <b>-0.46</b> | <b>-0.49</b> | -0.24       | -0.28        | 0.05        |
| Αριθμός συστημάτων εξαερισμού (κουζίνα) | <b>-0.30</b> | -0.29        | -0.15       | -0.19        | 0.21        |
| Τύπος κάλυψης δαπέδου                   | <b>0.38</b>  | -0.06        | <b>0.50</b> | -0.09        | 0.15        |
| Θέση δειγματοληψίας                     | -0.10        | -0.22        | -0.01       | <b>-0.43</b> | -0.01       |
| Κατοικίδια                              | 0.28         | -0.07        | <b>0.45</b> | -0.16        | -0.01       |

Από τον Πίνακα 7-8 φαίνεται ότι παράμετροι όπως, ο τύπος της κουζίνας και ο αριθμός των ενδιάμεσων, διαχωριστικών, πορτών μεταξύ κουζίνας και σαλονιού,

επιδρούν αρνητικά (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) στην ποσοστιαία διαφορά των συγκεντρώσεων εσωτερικού-εξωτερικού χώρου, των  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$  και του  $AAΣ$ , υποδηλώνοντας μειωμένες τιμές συγκεντρώσεων εσωτερικού χώρου. Επίσης, σημαντική, αρνητική επίδραση φαίνεται να έχουν η παρουσία μπαλκονόπορτας στον κεντρικό χώρο της κατοικίας (σαλόνι), για τα λεπτά  $AS$  (-0.39) και το συντελεστή απορρόφησης (-0.61). Αρνητική επίδραση έχει και η παρουσία μπαλκονόπορτας στην κουζίνα, στα  $AS_{10}$  (-0.46) και  $AS_{2.5}$  (-0.49), υπονοώντας τη μείωση των συγκεντρώσεων εσωτερικού χώρου κατά την χρήση της. Η χωροθέτηση του κεντρικού χώρου (σαλονιού), με όψη στο δρόμο ή στον ακάλυπτο χώρο παίζει σημαντικό ρόλο στις δειγματοληψίες εσωτερικού χώρου για το συντελεστή απορρόφησης (-0.43).

Αντίθετα, θετική επίδραση παρουσιάζει η κουζίνα αερίου και η θερμάστρα αερίου στο σαλόνι, για τον  $AAΣ$  ενώ το τζάκι έχει θετική επίδραση στη σχετική διαφορά των συγκεντρώσεων των λεπτών  $AS$  (0.51) και του συντελεστή απορρόφησης (0.54). Θετικό συντελεστή  $\beta$  παρουσιάζει και ο φούρνος μικροκυμάτων για το συντελεστή απορρόφησης (0.37). Ο τύπος κάλυψης του πατώματος και η χρήση χαλιών παρουσιάζει θετική επίδραση τόσο στα  $AS_{10}$  (0.38) όσο και στα αδρά  $AS$  (0.50), ενώ η παρουσία κατοικίδιων εμφανίζει θετική επίδραση μόνο στα αδρά  $AS$  (0.45).

## 7.9 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των συγκεντρώσεων εσωτερικού χώρου και διαφόρων χαρακτηριστικών των κατοικιών

Εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου των κατοικιών (εξαρτημένη μεταβλητή) με χαρακτηριστικά των κατοικιών που αφορούν τον εξοπλισμό, τη διαρρύθμιση, τα συστήματα θέρμανσης και εξαερισμού και την ύπαρξη κατοικίδιων, να αποτελούν τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Τα χαρακτηριστικά που ελήφθησαν υπόψη είναι:

- Ο όγκος της κατοικίας.
- Τύπος κουζίνας (ανοικτού τύπου (1), κλειστού τύπου (2)).
- Όροφος κατοικίας.
- Αριθμός ενδιάμεσων πορτών μεταξύ κουζίνας και σαλονιού.
- Ύπαρξη συγκεκριμένου εξοπλισμού στην κουζίνα όπως: κουζίνα αερίου ή ηλεκτρική, ηλεκτρικός φούρνος, φούρνος μικροκυμάτων, πλυντήριο πιάτων.
- Ύπαρξη ή μη απορροφητήρα και ο τρόπος λειτουργίας του (σε κάθε δραστηριότητα στην κουζίνα, επιλεκτικά, καθόλου).
- Τύπος θέρμανσης στον κεντρικό χώρο, θερμάστρα αερίου, τζάκι κ.α.
- Εξαερισμός κεντρικού χώρου (κλιματισμός, παράθυρα, μπαλκονόπορτες, κ.α.).
- Εξαερισμός στην κουζίνα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες).
- Θέση δειγματοληψίας εσωτερικού χώρου κατοικιών (σαλόνι με όψη σε δρόμο ή σε ακάλυπτο χώρο).
- Τύπος δαπέδου (παρκέ, χαλί).
- Κατοικίδια ζώα.

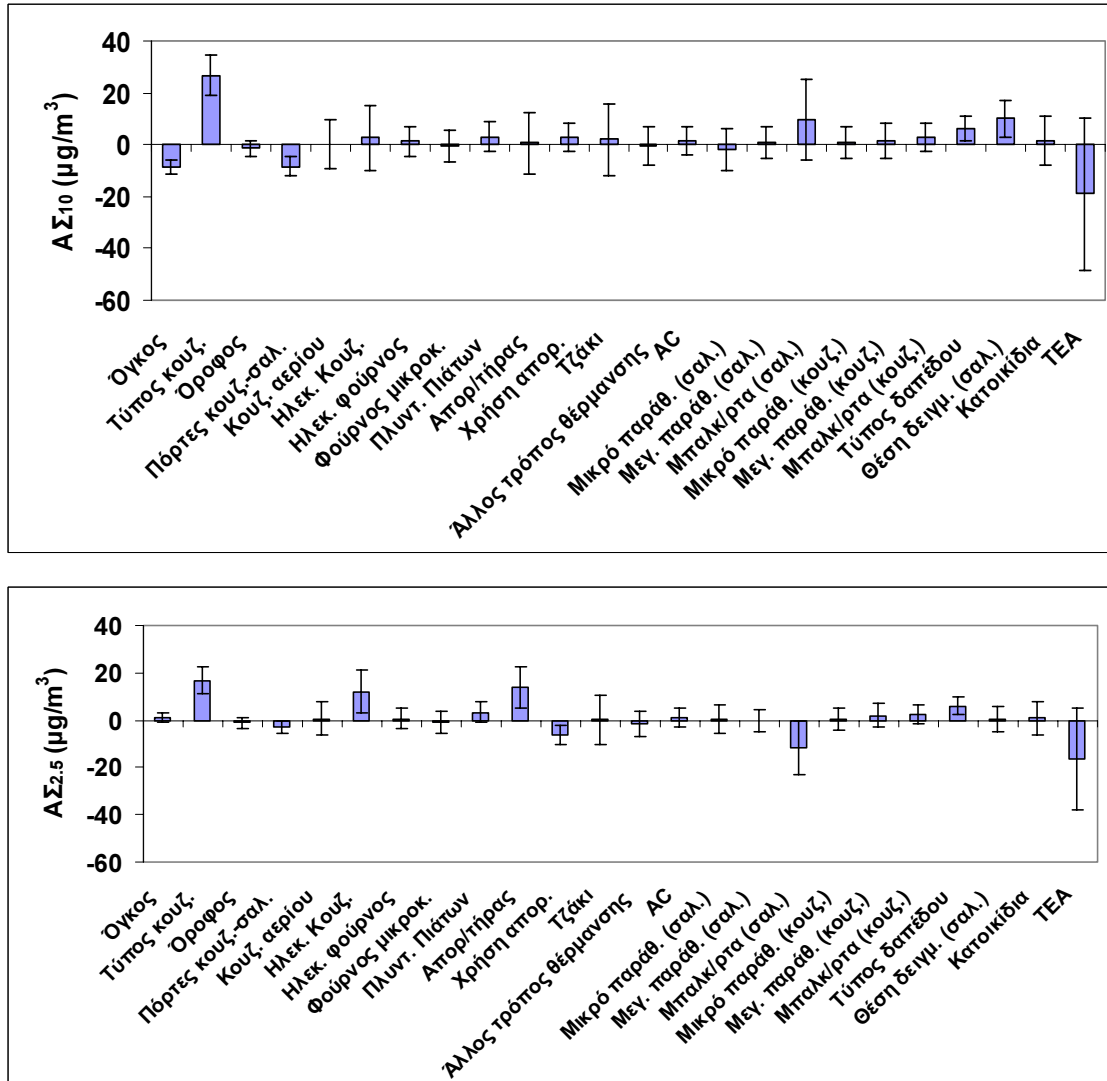
Από τα αποτελέσματα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης φαίνεται ότι η κατηγορία που αφορά τον τύπο της κουζίνας (κλειστού ή ανοικτού) αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα επίδρασης συγκεντρώσεων των  $AS_{10}$  ( $26.6\mu g/m^3$ ), των  $AS_{2.5}$  ( $16.7\mu g/m^3$ ) και αρκετά σημαντικό για τα αδρά  $AS$  ( $12.2\mu g/m^3$ ) (Σχήματα 7-14).

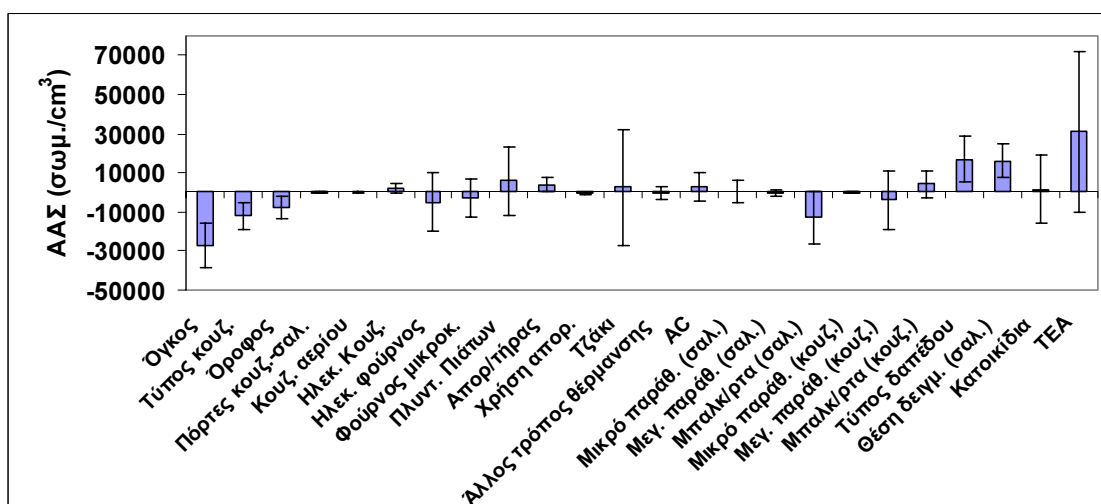
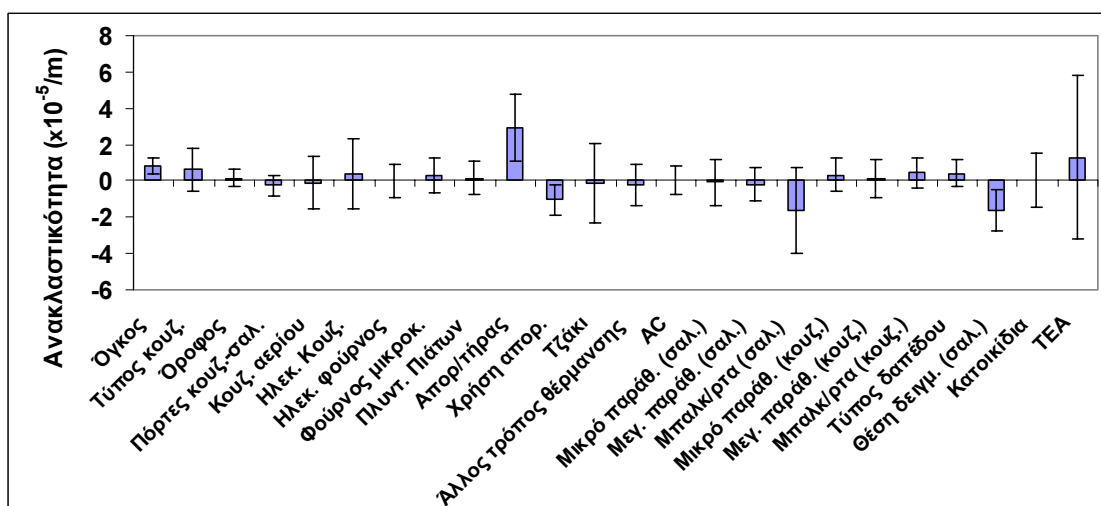
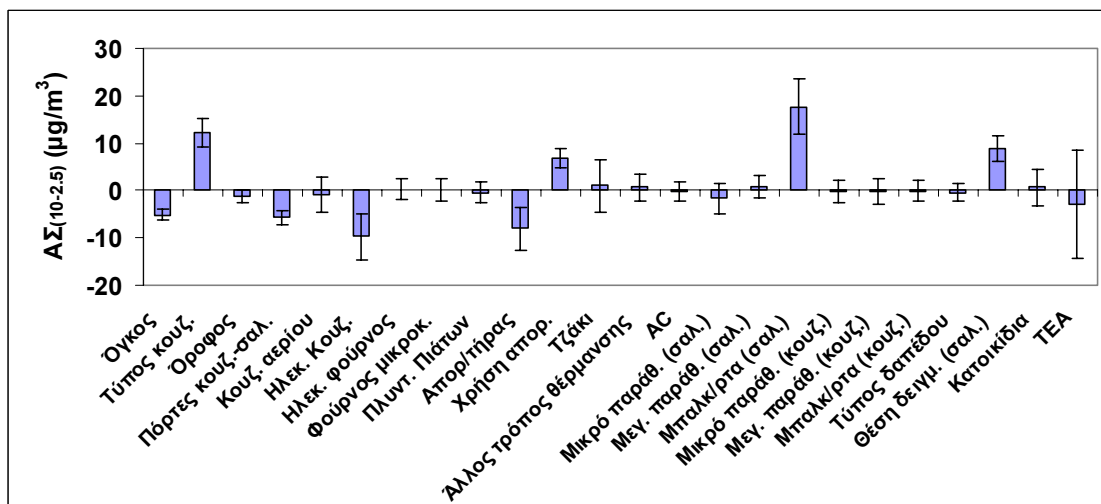
Σημαντικός παράγοντας στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των  $AS_{10}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$  και του ΑΑΣ αποτελεί και η θέση δειγματοληψίας ( $10.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ( $8.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) και ( $16075\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ ) αντίστοιχα. Επίσης, σημαντική είναι η συνεισφορά του τύπου κάλυψης του δαπέδου για τα  $AS_{10}$  ( $6.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), τα λεπτά ΑΣ ( $6.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) και τον ΑΑΣ ( $16917\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ ). Θετική παρουσιάζεται η επίδραση της ηλεκτρικής κουζίνας στα λεπτά ΑΣ ( $12.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Ο εξοπλισμός της κουζίνας με απορροφητήρα, φαίνεται να συνεισφέρει θετικά στις συγκεντρώσεις των λεπτών ΑΣ ( $14.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) και στο συντελεστή απορρόφησης ( $2.9\times 10^{-5}/\text{m}$ ) και αρνητικά στα αδρά ΑΣ ( $-8.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ενώ η χρήση του απορροφητήρα συνεισφέρει αρνητικά τόσο στις συγκεντρώσεις των  $AS_{2.5}$  ( $-6.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) όσο και στο συντελεστή απορρόφησης ( $-1.0\times 10^{-5}/\text{m}$ ).

Αρνητική επίδραση, για τα  $AS_{10}$  ( $-8.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), φαίνεται να έχει ο αριθμός των ενδιάμεσων πορτών μεταξύ κουζίνας και σαλονιού καθώς είναι μία παράμετρος που εμποδίζει την μεταφορά των ΑΣ μεταξύ των δύο δωματίων. Επίσης, η μπαλκονόπορτα στο σαλόνι έχει σημαντική αρνητική επίδραση στα λεπτά ΑΣ ( $-11.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), στο συντελεστή απορρόφησης ( $-1.6\times 10^{-5}/\text{m}$ ) και στον ΑΑΣ ( $-12975\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ ). Ο όγκος της κατοικίας επιδρά αρνητικά τόσο στα  $AS_{10}$  ( $-8.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) όσο και στον ΑΑΣ ( $-27381\text{σωμ.}/\text{cm}^3$ ).

**Σχήματα 7-14:** Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης πολλαπλών μεταβλητών για τα  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ , συντελεστή απορρόφησης και ΑΑΣ.





## 7.10 Συμπεράσματα

Η εκτίμηση της χωρικής μεταβολής μεταξύ των αστικών περιοχών (των σημείων δειγματοληψίας), οδήγησε σε ανάλυση με χρήση των συντελεστών συσχέτισης, σε συνδυασμό με τους συντελεστές χωρικής απόκλισης και τις απόλυτες διαφορές συγκεντρώσεως μεταξύ των, υπό μελέτη, σημείων δειγματοληψίας (σταθμού αναφοράς και των εκάστοτε κατοικιών).

Γενικά, ο συντελεστής χωρικής απόκλισης, των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς, παρουσίασε τις μεγαλύτερες τιμές του, τόσο ως προς το εύρος των τιμών (ελάχιστη – μέγιστη), όσο ως προς τη μέση και διάμεσο τιμή, στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ και του ΑΑΣ. Το γεγονός αυτό αποδίδεται σε τοπικές πηγές των πρωτογενών ΑΣ και στη μεταφορά των δευτερογενών ΑΣ, δηλώνοντας έτσι μεγάλη μεταβλητότητα από περιοχή σε περιοχή. Οι μεγαλύτεροι συντελεστές χωρικής απόκλισης, υπολογίστηκαν σε κατοικίες που βρίσκονταν εκτός του κέντρου των Αθηνών, σε προάστια. Αντίστοιχα, ο συντελεστής χωρικής απόκλισης, για τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στα αδρά ΑΣ.

Η απλή γραμμική συσχέτιση, της επί τοις εκατό σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς ( $\% \Delta C / C_{\text{σταθ. αναφ.}}$ ), με τα «εξωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών, έδειξε ότι η σημαντικότερη επίδραση στον παράγοντα ( $\% \Delta C / C_{\text{σταθ. αναφ.}}$ ) σχετίζεται με τις παραμέτρους που αφορούν στις εκπομπές και στη ροή των οχημάτων. Επίσης, η περιοχή που βρίσκεται η κατοικία παίζει σημαντικό ρόλο καθώς κατοικίες που βρίσκονται σε περιοχές έντονης κυκλοφοριακής κίνησης, καθώς και αυτές που υπόκεινται στο φαινόμενο καναλισμού (canyon effect), παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή  $\beta$  σε συντελεστή απορρόφησης και ΑΑΣ.

Από τη γραμμική παλινδρόμηση των ημερησίων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου των κατοικιών σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του σταθμού αναφοράς (Σ.Α.), προέκυψε ότι οι κατοικίες που βρίσκονταν στις δυτικές περιοχές των Αθηνών και στο κέντρο της πόλης, παρουσίασαν μεγαλύτερη συμμεταβολή με τον ΣΑ. Επίσης, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου, παρουσιάστηκαν αυξημένα στις

κατοικίες οι οποίες βρίσκονταν σε δυτικές περιοχές των Αθηνών, με τις τιμές των  $AS_{10}$  και των αδρών  $AS$  να είναι αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες του Σ.Α.

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου, με τα «εξωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών προσδιόρισε τους παράγοντες που επιδρούν περισσότερο στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις. Οι παράγοντες αυτοί, αφορούν στη ροή των οχημάτων και χαρακτηριστικά των κατοικιών που αφορούν στον καλό αερισμό τους, όπως η εγγύτητα από δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας, η απόσταση από την κοντινότερη διασταύρωση δρόμων, το ύψος της δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου, η θέση δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου, ο χαρακτηρισμός των κατοικιών ως έντονης κυκλοφορικής κίνησης και το φαινόμενο του καναλισμού.

Αντίστοιχα, η απλή γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της διαμέσου τιμής της σχετικής διαφοράς συγκεντρώσεων εξωτερικού-εσωτερικού χώρου ( $\% \Delta C / C_{\text{εξωτ.}}$ ) και των «εσωτερικών» χαρακτηριστικών των κατοικιών, έδειξε ότι χαρακτηριστικά που αφορούν στην κουζίνα της κατοικίας, επιδρούν σημαντικά στις σχετικές διαφορές των συγκεντρώσεων  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$  και  $AAΣ$ . Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει ο εξαερισμός, στον κεντρικό χώρο της κατοικίας (σαλόνι) καθώς η παρουσία μπαλκονόπορτας, επιδρά αρνητικά στην διαφορά της μάζας  $AS$  και στο συντελεστή απορρόφησης. Η χωροθέτηση του κεντρικού χώρου, με όψη στο δρόμο ή στον ακάλυπτο χώρο, παίζει σημαντικό ρόλο στις δειγματοληψίες εσωτερικού χώρου για το συντελεστή απορρόφησης.

Επίσης, οι παράγοντες που επιδρούν περισσότερο στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου, αφορούν στον τύπο της κουζίνας (κλειστό ή ανοικτό), στη θέση της δειγματοληψίας και στον τύπο κάλυψης του δαπέδου. Η χρήση απορροφητήρα συνεισφέρει αρνητικά, τόσο στις συγκεντρώσεις των λεπτών  $AS$  όσο και στο συντελεστή απορρόφησης. Αρνητική επίδραση έχει και ο αριθμός των ενδιάμεσων πορτών, μεταξύ κουζίνας και σαλονιού, καθώς αποτελεί μια παράμετρο που εμποδίζει τη μεταφορά των  $AS$  μεταξύ των δύο δωματίων. Επίσης, η ύπαρξη μπαλκονόπορτας στο σαλόνι έχει σημαντική αρνητική επίδραση στα λεπτά  $AS$ , στο συντελεστή απορρόφησης και στον  $AAΣ$ . Ο όγκος της κατοικίας επιδρά αρνητικά τόσο στα  $AS_{10}$  όσο και στον  $AAΣ$ .

Γενικά, εμφανίζεται ότι ο σταθμός αναφοράς μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα επίπεδα των λεπτών  $AS$  και του συντελεστή απορρόφησης, για όλη την πόλη των

Αθηνών καθώς αυτά εμφανίζουν τη μικρότερη χωρική απόκλιση. Οι συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου, φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από χαρακτηριστικά κατοικιών που αφορούν στην κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων και στον καλό αερισμό της περιοχής στην οποία βρίσκεται η κατοικία. Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από τη διαρρύθμιση της κατοικίας (τύπος κουζίνας, αριθμός ενδιάμεσων πορτών, όψη σαλονιού προς το δρόμο).

## **Βιβλιογραφία**

Brook J.R., Dann T.F., Bonvalot Y., 1999: Observations and Interpretations from the Canadian Fine Particle Monitoring Program. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol. 49, pp. 35-44.

Burton R., Suh H., Koutrakis P., 1996: Spatial Variation in Particulate Concentrations within Metropolitan Philadelphia; *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 30, pp. 400-407.

Ebelt S., Petkau J.A., Vedal S., Fisher T. V., Brauer M., 2000: Exposure to chronic obstructive pulmonary disease patients to particulate matter: relationships between personal and ambient air concentrations. *J Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol 50, pp. 1081 – 1094.

Goswami E., Larson T., Lumley T., Liu L., 2002: Spatial Characteristics of Fine Particulate Matter: Identifying Representative Monitoring Locations in Seattle, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol. 52, pp. 324-333.

Hitchins J., Morawska L., Wol R., Gilbert D., 2000: Concentrations of submicrometre particles from vehicle emissions near a major road, *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 51-59.

Ito K., Thurston G. D., Nadas A., Lipmann M., 2001: Monitor-to-Monitor Temporal Correlation of Air Pollution and Weather Variables in the North-Central U.S., *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, Vol. 11, pp. 21-32.

Kingham S., Briggs D., Elliott P., Fischer P., Lebret E., 2000: Spatial Variations in the Concentrations of Traffic-Related Pollutants in Indoor and Outdoor Air in Huddersfield. England; *Atmos. Environ.*, Vol. 34, pp. 905-916.

Koistinen K. J., Hanninen O., Rotko T., Edwards R. D., Moschandreas D., Jantunen M. J., 2001: Behavioral and environmental determinants of personal exposures to PM<sub>2.5</sub> in EXPOLIS - Helsinki, Finland, *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 2473-2481.

Lianou M., Chalbot M. - C., Kotronarou A., Kavouras I. G. et al., 2007: Dependence of Home Outdoor Particulate Mass and Number Concentrations on Residential and Traffic Features in Urban Areas. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol. 57, pp. 1507–1517.

Morawska L., Thomas S., Gilbert D., Greenaway C., Rijnders E., 1999: A study of the horizontal and vertical profile of submicrometer particles in relation to a busy road, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 1261-1274.

Nerriere E., Zmirou-Navier D., Blanchard O., Momas I., Ladner J., Le Mouellex Y., Personnaz M.B., Lameloise P., Delmas W., Target A., Desqueyroux H. Can, 2005: We Use Fixed Ambient Air Monitors to Estimate Population Long-Term Exposure to Air Pollutants? The Case of Spatial Variability in the Genotox ER Study; *Environ. Res.*, Vol. 97, pp. 32-42.

Pinto J.P., Lefohn A.S., Shadwick D.S., 2004: Spatial Variability of PM<sub>2.5</sub> in Urban Areas in the United States; *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol. 54, pp. 440-449.

Williams et. al., Creason J., Zweidinger R., Watts R., Sheldon L., Shy C., 2000: *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 4193-4204.

## Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>

### 8.1 Συμπεράσματα

Στη διδακτορική διατριβή μελετήθηκαν οι συγκεντρώσεις  $AS_{10}$ ,  $AS_{2.5}$ ,  $AS_{(10-2.5)}$ , του αριθμού  $AS$  και υπολογίστηκε ο συντελεστής απορρόφησης, σε κεντρικό σταθμό (σταθμός αναφοράς,  $\Sigma A$ ) και στον εσωτερικό – εξωτερικό χώρο, σε 35 κατοικίες, της Αθήνας κατά την περίοδο 23/10/2002-31/03/2004. Έγινε στατιστική ανάλυση των δεδομένων, μελέτη της επίδρασης των μετεωρολογικών παραμέτρων στις συγκεντρώσεις του  $\Sigma A$ , μελέτη της επίδρασης των δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα εντός των κατοικιών στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου καθώς και της επίδρασης διαφόρων χαρακτηριστικών των κατοικιών, που αφορούν στη διαρρύθμιση των κατοικιών αλλά και στην κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων, στις συγκεντρώσεις  $AS$ .

Τα επίπεδα  $AS$  στο  $\Sigma A$ , παρουσιάστηκαν αρκετά αυξημένα και πολύ κοντά στα επίπεδα άλλων βαλκανικών χωρών. Για το 2003, οι συγκεντρώσεις των  $AS_{10}$  ( $56.8\mu g/m^3$ ) υπερέβησαν το όριο των  $50\mu g/m^3$ . Τις ημέρες επεισοδίων με υψηλές συγκεντρώσεις  $AS_{10}$ , τα αντίστοιχα επίπεδα του συντελεστή απορρόφησης (αντιπροσωπεύουν την αιθάλη) ήταν αρκετά αυξημένα. Από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι, συνολικά, οι μετρήσεις του  $\Sigma A$  είναι υψηλότερες σε σχέση με εκείνες του εξωτερικού χώρου των κατοικιών και οι μετρήσεις εξωτερικού χώρου παρουσιάζονται υψηλότερες, σε σχέση με τις αντίστοιχες του εσωτερικού χώρου.

Τα αδρά  $AS$  του  $\Sigma A$ , εμφανίζουν εποχική μεταβολή των συγκεντρώσεών τους, με αύξηση του εύρους των τιμών τους κατά τις μεταβατικές περιόδους (άνοιξη και φθινόπωρο), λόγω επεισοδίων μεταφερόμενης σκόνης από τη Σαχάρα και αυξημένες τιμές τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης, ο συντελεστής απορρόφησης και ο  $AA\Sigma$  παρουσιάζουν εποχική μεταβολή, με τις συγκεντρώσεις να αυξάνονται κατά την ψυχρή και να μειώνονται κατά τη θερμή περίοδο, λόγω των ισχυρών ανέμων θερμικής κυκλοφορίας.

Οι μέσες ωριαίες τιμές του  $AA\Sigma$  παρουσιάζουν έντονη διακύμανση, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ακολουθώντας τους ρυθμούς των κατοίκων. Εμφανίζουν δύο μέγιστα, ένα το

πρωϊ, λόγω αύξησης της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων κατά τη μετακίνηση των κατοίκων στην εργασία τους και ένα τις βραδυνές ώρες.

Γενικά, δεν εμφανίζεται αξιόλογη εβδομαδιαία διακύμανση των ΑΣ ενώ παρουσιάζονται διαφορές στην εβδομαδιαία διακύμανσή τους κατά τους χειμερινούς και θερινούς μήνες, με τα λεπτά ΑΣ να εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές από τα αδρά κατά τη χειμερινή περίοδο. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο ότι το χειμώνα η αυξημένη βροχόπτωση οδηγεί στην υγρή εναπόθεση και έκπλυση των ΑΣ και ιδιαίτερα των αδρών ενώ οι αυξημένες εκπομπές καύσεων από τα οχήματα αλλά και για λόγους θέρμανσης οδηγεί σε αυξημένες, σε σχέση με τα αδρά ΑΣ, συγκεντρώσεις λεπτών ΑΣ.

Οι τιμές των λόγων  $ΑΣ_{2.5}/ΑΣ_{10}$  και  $ΑΣ_{10-2.5}/ΑΣ_{10}$  για τον Σ.Α., υπολογίστηκαν κοντά στο 0.5, με  $ΑΣ_{2.5}/ΑΣ_{10} < ΑΣ_{10-2.5}/ΑΣ_{10}$ , γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα αδρά σωματίδια αποτελούν σημαντικό, και πολλές φορές το μεγαλύτερο, ποσοστό των  $ΑΣ_{10}$ . Αυτό οφείλεται στην επαναιώρηση αδρών σωματιδίων λόγω της κίνησης των οχημάτων.

Η επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στις συγκεντρώσεις ΑΣ του ΣΑ, φαίνεται τόσο από τους αρνητικούς συντελεστές συσχέτισης τους με την ταχύτητα του ανέμου και τη βροχόπτωση όσο και από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Συγκεκριμένα, η μείωση των συγκεντρώσεων παρουσιάζεται μεγαλύτερη στα αδρά ΑΣ και αποδίδεται στο μέγεθός τους και στην αύξηση του ρυθμού εναπόθεσης λόγω βροχής. Η μείωση των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ, ήταν σταδιακή τις ημέρες με συνεχόμενη βροχή ενώ με την αύξηση των διαδοχικών ημερών βροχόπτωσης η μείωση μπορεί να φτάσει και το 70%. Η ένταση της βροχής παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Η μεταβαλλόμενη ένταση της βροχής επιφέρει σημαντική μείωση, περισσότερο στα αδρά αλλά και στα λεπτά ΑΣ.

Σημαντική είναι και επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στις συγκεντρώσεις μάζας ΑΣ. Με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, παρουσιάζεται σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων. Αισθητή είναι η μείωση του συντελεστή απορρόφησης ακόμα και σε μικρές ταχύτητες ανέμου ( $\leq 5\text{m/s}$ ). Καθοριστική είναι και η επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου, ειδικά του βορείου τομέα (ΒΔ-Β), στη μείωση των συγκεντρώσεων μάζας, ιδιαίτερα στα αδρά ΑΣ.

Η συσχέτιση των κλασμάτων ΑΣ του ΣΑ, έδειξε πολύ υψηλή συσχέτιση των συγκεντρώσεων μάζας των ΑΣ<sub>10</sub> με τα αδρά ΑΣ και λιγότερο υψηλή συσχέτιση με τα λεπτά ΑΣ. Υψηλή παρουσιάζεται και η συσχέτιση των ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΑΣ με το συντελεστή απορρόφησης. Αντίστοιχα, ο έλεγχος της συσχέτισης των παραμέτρων εξωτερικού και εσωτερικού χώρου των κατοικιών έδειξε ότι υπάρχει υψηλή συσχέτιση των ΑΣ<sub>10</sub> με τα λεπτά και τα αδρά. Στα δεδομένα εξωτερικού χώρου, παρουσιάζεται υψηλή η συσχέτιση των λεπτών ΑΣ με το συντελεστή απορρόφησης, κάτι που δεν ισχύει για τα αντίστοιχα δεδομένα εσωτερικού χώρου.

Η χημική ανάλυση φίλτρων ΑΣ<sub>2.5</sub> του ΣΑ έδειξε ότι τα πρωτογενή ΑΣ, λόγω τοπικής κυκλοφορίας των οχημάτων (αντιπροσωπεύονται από τις μετρήσεις του συντελεστή απορρόφησης), αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό των λεπτών ΑΣ.

Τα στατιστικά αποτελέσματα έδειξαν ότι στις συγκεντρώσεις του ΣΑ και του εξωτερικού χώρου των κατοικιών, οι υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>10</sub> οφείλονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ. Πιθανές πηγές των αδρών σωματιδίων είναι η επαναιώρηση σκόνης των δρόμων λόγω της κίνησης των οχημάτων και τοπικές εκπομπές, σε περιοχές όπου εκτελούνταν έργα για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004. Αντίστοιχα, στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου, η συνεισφορά των λεπτών ΑΣ ήταν μεγαλύτερη, προφανώς λόγω των δραστηριοτήτων που λάμβαναν χώρα εντός των κατοικιών και δρούσαν ως πηγές λεπτών ΑΣ.

Η διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις ΑΣ<sub>10</sub>, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, αποδίδεται περισσότερο στη διαφοροποίηση των αδρών και λιγότερο στα λεπτά ΑΣ, λόγω μεγαλύτερου εύρους τιμών, καθώς προέρχονται από διαφορετικές περιοχές της Αθήνας. Η χωρική κατανομή των ΑΣ, σύμφωνα με τις μετρήσεις στον εξωτερικό χώρο των κατοικιών παρουσίασε αυξημένες συγκεντρώσεις στα δυτικά προάστια (π.χ. Ζεφύρι) και μειωμένες στα νότια. Ο συντελεστής απορρόφησης δεν διαφοροποιείται κατά πολύ μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, δηλώνοντας την υπάρξη μηχανισμών άμεσης επίδρασης μεταξύ τους. Ο ΑΑΣ παρουσίασε μεγαλύτερο εύρος τιμών στον εξωτερικό χώρο, καθώς απεικονίζει γενικότερα την κατάσταση διαφορετικών περιοχών όπου βρίσκονταν οι κατοικίες.

Η αντιστοίχιση της εξίσωσης του ισοζυγίου μάζας με τα αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης και των συγκεντρώσεων εξωτερικού – εσωτερικού χώρου, έδειξε ότι το μέγεθος των ΑΣ και η σύστασή τους επηρεάζουν το βαθμό διείσδυσης των ΑΣ εξωτερικού χώρου του περιβάλλοντος αέρα στο εσωτερικό της κατοικίας. Σε κατοικίες με μεγάλη δραστηριότητα εντός, οι συντελεστές συσχέτισης των ΑΣ<sub>10</sub> ήταν μικροί. Γενικά, οι κατοικίες που βρίσκονταν σε χαμηλό ύψος από το έδαφος παρουσίασαν υψηλούς συντελεστές R. Οι συντελεστές συσχέτισης των αδρών ΑΣ, ανά κατοικία, βρέθηκαν μικρότεροι από τους συντελεστές των ΑΣ<sub>10</sub> και ΑΣ<sub>2.5</sub>, λόγω των πηγών εσωτερικού χώρου, όπου υπάρχουν σημαντικότερες πηγές υπέρλεπτων και αδρών παρά λεπτών ΑΣ. Επίσης, η συσχέτιση των ωριαίων συγκεντρώσεων του ΑΑΣ εξωτερικού – εσωτερικού χώρου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου υπάρχει φυσικός αερισμός, υπολογίστηκε αρκετά υψηλή με τον παράγοντα της διείσδυσης επίσης υψηλό.

Ο υψηλότερος βαθμός διείσδυσης των λεπτών ΑΣ, σε σύγκριση με αυτόν των αδρών ΑΣ εξωτερικού χώρου, είναι μια ακόμη πιθανή εξήγηση των υψηλών συντελεστών συσχέτισης των ΑΣ<sub>2.5</sub> και του συντελεστή απορρόφησης. Ο συντελεστής απορρόφησης παρουσίασε τους υψηλότερους συντελεστές, οι οποίοι οφείλονται πιθανώς στις μικρότερες απώλειες κατά τη διείσδυση, λόγω του μικρότερου μεγέθους των ΑΣ.

Οι τιμές της τεταγμένης επί τη αρχή (TEA), αντιπροσωπεύουν τα ΑΣ που παράγονται στις κατοικίες, κυρίως λόγω των πηγών εσωτερικού χώρου. Από τις διάμεσες τιμές του TEA των κατοικιών, φαίνεται ότι η υψηλές τιμές για τα ΑΣ<sub>10</sub> οφείλονται σε μεγάλο ποσοστό στις υψηλές τιμές των λεπτών ΑΣ.

Από το μοντέλο ισοζυγίου μάζας των ΑΣ βρέθηκε ότι, στις κατοικίες στις οποίες η συνεισφορά από τις «πηγές» ήταν θετική, το μεγάλο ποσοστό των ΑΣ<sub>10</sub>, που προερχόταν από τις δραστηριότητες αυτές, οφειλόταν στο αντίστοιχο υψηλό ποσοστό των ΑΣ<sub>2.5</sub>. Αντίστοιχα, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η συνεισφορά από το εξωτερικό περιβάλλον ήταν θετική, ο συντελεστής απορρόφησης παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό.

Ο μη παραμετρικός έλεγχος ομοιογένειας Mann-Whitney, των συντελεστών συσχέτισης R (εσωτερικού – εξωτερικού χώρου) με χαρακτηριστικά κατοικιών, έδειξε ότι οι συντελεστές συσχέτισης των ΑΣ<sub>10</sub>, φαίνεται να επηρεάζονται από τη θέση της

δειγματοληψίας (εκτός αλλά και εντός της κατοικίας) και από το φαινόμενο του καναλισμού. Αντίστοιχα, οι συντελεστές των αδρών ΑΣ επηρεάζονται κυρίως από το φαινόμενο του καναλισμού και του συντελεστή απορρόφησης από τη θέση δειγματοληψίας εντός της κατοικίας.

Η επίδραση των δραστηριοτήτων εντός των κατοικιών, φαίνεται και από το λόγο (I/O), ο οποίος είναι μεγαλύτερος για τα λεπτά ΑΣ, σε σχέση με αυτόν των ΑΣ<sub>10</sub> και των αδρών ΑΣ, λόγω των δραστηριοτήτων που λάμβαναν χώρα. Επίσης, ο ΑΑΣ εμφανίζει υψηλή τιμή του λόγου (I/O) ενώ τα αδρά ΑΣ εμφανίζουν το μεγαλύτερο εύρος τιμών του λόγου.

Η μελέτη της επίδρασης των δραστηριοτήτων εσωτερικού χώρου, έγινε σε συνθήκες κανονικής διαβίωσης. Οι δραστηριότητες με τη μεγαλύτερη συχνότητα ήταν το μαγείρεμα και ο αερισμός του χώρου με το άνοιγμα παράθυρου ή μπαλκονόπορτας. Η ημερήσια κατανομή του συνόλου των δραστηριοτήτων, για όλες τις υπό μελέτη κατοικίες, έδειξε υψηλή συσχέτιση με την ημερήσια κατανομή της μέσης συγκέντρωσης του αριθμού ΑΣ (ανά 30min) εσωτερικού χώρου.

Παραδείγματα επίδρασης των δραστηριοτήτων, στις συγκεντρώσεις του ΑΑΣ εσωτερικού χώρου, δείχνουν την απότομη αύξηση των συγκεντρώσεων ΑΑΣ κατά την έναρξη του επεισοδίου και την εκθετική μείωσή τους μετά το πέρας τους.

Κατά τη διάρκεια της επίδρασης των δραστηριοτήτων-πηγών, βρέθηκε ότι η μεγαλύτερη αύξηση των συγκεντρώσεων ΑΑΣ και επομένως η ποσοστιαία επιβάρυνση τους, προερχόταν κυρίως από το άναμμα κεριών, το τηγάνισμα, το μαγείρεμα και το κάπνισμα. Το γεγονός αυτό γίνεται αντιληπτό τόσο από τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου όσο και από το λόγο I/O.

Η επίδραση των δραστηριοτήτων-πηγών στις συγκεντρώσεις ΑΑΣ εσωτερικού χώρου, αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του αριθμού των δραστηριοτήτων που δρουν ταυτόχρονα, ειδικά όταν δεν παρουσιάζεται η βοηθητική δράση των «καταβοθρών» στην ανανέωση του αέρα.

Κατά την επιλογή των περιπτώσεων όπου λάμβανε χώρα μία συγκεκριμένη δραστηριότητα, χωρίς να αποκλείεται η ταυτόχρονη επίδραση κάποιας άλλης

δραστηριότητας (προκειμένου να αποτυπωθεί η πραγματική κατάσταση εντός των κατοικιών) παρουσιάστηκε ένα κοινό υπόβαθρο ( $\sim 10000$ σωμ./cm<sup>3</sup>), στις περιπτώσεις στις οποίες δεν εμφανιζόταν η συγκεκριμένη δραστηριότητα. Το υπόβαθρο αυτό αποτυπώνει την πραγματική κατάσταση που επικρατεί σε κατοικίες στις οποίες διαβιούν άνθρωποι, χωρίς περιορισμούς στις δραστηριότητές τους.

Η ισοδύναμη επίδραση των δραστηριοτήτων ( $\alpha_i$ ) υπολογίστηκε προκειμένου να προσδιοριστεί η «σχετική» βαρύτητα μιας δραστηριότητας (π.χ. κάπνισμα) ως προς τη βαρύτητα άλλων δραστηριοτήτων. Τη μεγαλύτερη τιμή  $\alpha_i$  παρουσίασε το άναμμα των κεριών και ακολουθούν οι διαδικασίες μαγειρέματος (βράσιμο, τηγάνισμα). Από τη συμμεταβολή της Συνολικής Ισοδύναμης Επίδρασης  $A_i$  και της συγκέντρωσης του ΑΑΣ, φαίνεται ότι αυξανόμενου του  $A_i$ , το οποίο αντιπροσωπεύει το «αίτιο», αυξάνεται η συγκέντρωση του ΑΑΣ.

Η εκτίμηση της χωρικής μεταβολής μεταξύ των αστικών περιοχών (των σημείων δειγματοληψίας), οδήγησε στον υπολογισμό της χωρικής απόκλισης. Γενικά, ο συντελεστής χωρικής απόκλισης, για τις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς, παρουσίασε τις μεγαλύτερες τιμές του, τόσο ως προς το εύρος των τιμών, όσο και ως προς τη μέση και διάμεσο τιμή, στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ και του ΑΑΣ. Το γεγονός αυτό αποδίδεται σε τοπικές πηγές των πρωτογενών ΑΣ και στη μεταφορά των δευτερογενών ΑΣ, δηλώνοντας έτσι μεγάλη μεταβλητότητα από περιοχή σε περιοχή. Οι μεγαλύτεροι συντελεστές χωρικής απόκλισης υπολογίστηκαν σε κατοικίες που βρίσκονταν εκτός του κέντρου των Αθηνών, σε προάστια. Επίσης, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις στις συγκεντρώσεις των αδρών ΑΣ παρατηρούνται κατά τις μεταβατικές περιόδους, άνοιξη-φθινόπωρο. Αντίστοιχα, ο συντελεστής χωρικής απόκλισης για τις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς, παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στα αδρά ΑΣ ενώ τις μικρότερες τιμές του συντελεστή, εμφανίζουν τα λεπτά ΑΣ και ο συντελεστής απορρόφησης.

Η γραμμική παλινδρόμηση των ημερήσιων συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου των κατοικιών, σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του σταθμού αναφοράς (Σ.Α.), έδωσε πληροφορίες σχετικά με τη χωρική ομοιογένεια των ΑΣ. Οι συγκεντρώσεις των κατοικιών που βρίσκονταν στις δυτικές περιοχές των Αθηνών εμφάνισαν μεγαλύτερη

συμμεταβολή με αυτές στο κέντρο της πόλης. Γενικά, οι κλίσεις των λεπτών ΑΣ, εμφανίζονται υψηλότερες των υπόλοιπων κλασμάτων ΑΣ, δηλώνοντας έτσι μεγαλύτερη συμμεταβολή με τις συγκεντρώσεις του Σ.Α. Αντίστοιχα, οι ΤΕΑ παρουσίασαν εμφανώς υψηλότερη μέση και διάμεσο τιμή στην περίπτωση των κατοικιών που βρίσκονται σε δυτικές περιοχές των Αθηνών, με τις τιμές των ΑΣ<sub>10</sub> και των αδρών ΑΣ να είναι αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες του Σ.Α.

Η απλή γραμμική συσχέτιση της, επί τοις εκατό, σχετικής διαφοράς των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου και σταθμού αναφοράς ( $\% \Delta C / C_{\text{σταθ.αναφ}}$ ) με τα «εξωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών, έδειξε ότι η σημαντικότερη επίδραση σχετίζεται με τις παραμέτρους που αφορούν στις εκπομπές και στη ροή των οχημάτων. Επίσης, η περιοχή στην οποία βρίσκεται η κατοικία παίζει σημαντικό ρόλο. Κατοικίες που βρίσκονταν σε περιοχές έντονης κυκλοφοριακής κίνησης καθώς και αυτές που υπόκειντο στο φαινόμενο του καναλισμού (canyon effect), παρουσίασαν υψηλό συντελεστή  $\beta$  όσον αφορά στο συντελεστή απορρόφησης και στον ΑΑΣ.

Από την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των συγκεντρώσεων εξωτερικού χώρου με τα «εξωτερικά» χαρακτηριστικά των κατοικιών, προέκυψε ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στις συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου, είναι παράγοντες που αφορούν στη ροή των οχημάτων και στα χαρακτηριστικά των κατοικιών που σχετίζονται με τον καλό αερισμό τους. Οι παράγοντες αυτοί είναι η εγγύτητα από δρόμο μεγάλης κυκλοφορίας, η απόσταση από την κοντινότερη διασταύρωση δρόμων, το ύψος και η θέση της δειγματοληψίας εξωτερικού χώρου, η έντονη κυκλοφορική κίνηση και το φαινόμενο του καναλισμού.

Αντίστοιχα, η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της διαμέσου τιμής της σχετικής διαφοράς συγκεντρώσεων εξωτερικού-εσωτερικού χώρου ( $\% \Delta C / C_{\text{εξωτ.}}$ ) και των «εσωτερικών» χαρακτηριστικών των κατοικιών έδειξε ότι (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) χαρακτηριστικά που αφορούν στην κουζίνα της κατοικίας επιδρούν σημαντικά στις σχετικές διαφορές των συγκεντρώσεων ΑΣ<sub>10</sub>, ΑΣ<sub>2.5</sub> και ΑΑΣ. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η παρουσία μπαλκονόπορτας στο σαλόνι, καθώς επιδρά αρνητικά στην διαφορά της μάζας ΑΣ και στο συντελεστή απορρόφησης. Η χωροθέτηση του κεντρικού χώρου

(σαλονιού), με όψη στον δρόμο ή στον ακάλυπτο χώρο, παίζει σημαντικό ρόλο στις δειγματοληψίες εσωτερικού χώρου για τη μέτρηση του συντελεστή απορρόφησης.

Ως προς τον ΑΑΣ, θετική επίδραση παρουσιάζει η κουζίνα αερίου και η θερμάστρα αερίου στο σαλόνι, ενώ το τζάκι έχει θετική επίδραση στη σχετική διαφορά των συγκεντρώσεων των λεπτών ΑΣ και στο συντελεστή απορρόφησης. Ο φούρνος μικροκυμάτων επιδρά θετικά στη διαφορά των τιμών του συντελεστή απορρόφησης. Ο τύπος κάλυψης του πατώματος και η χρήση χαλιών, παρουσιάζει θετική επίδραση περισσότερο στα αδρά ΑΣ αλλά και στα ΑΣ<sub>10</sub>, ενώ η παρουσία κατοικιδίων εμφανίζει θετική επίδραση μόνο στα αδρά ΑΣ.

Οι παράγοντες που επιδρούν περισσότερο στις συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου αφορούν στον τύπο της κουζίνας (κλειστού ή ανοικτού), τη θέση δειγματοληψίας και τον τύπο κάλυψης του δαπέδου. Η χρήση απορροφητήρα συνεισφέρει αρνητικά τόσο στις συγκεντρώσεις των λεπτών ΑΣ όσο και στο συντελεστή απορρόφησης. Αρνητική επίδραση έχει και ο αριθμός των ενδιάμεσων πορτών μεταξύ κουζίνας και σαλονιού καθώς είναι μια παράμετρος που εμποδίζει την μεταφορά των ΑΣ μεταξύ των δύο δωματίων. Η μπαλκονόπορτα στο σαλόνι έχει σημαντική αρνητική επίδραση στα λεπτά ΑΣ, στο συντελεστή απορρόφησης και στον ΑΑΣ. Ο όγκος της κατοικίας επιδρά αρνητικά τόσο στα ΑΣ<sub>10</sub> όσο και στον ΑΑΣ.

Γενικά, προκύπτει ότι ο σταθμός αναφοράς μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα επίπεδα των λεπτών ΑΣ και του συντελεστή απορρόφησης για όλη την πόλη των Αθηνών καθώς οι παράγοντες αυτοί εμφανίζουν την μικρότερη χωρική απόκλιση. Αντίθετα, τα αδρά ΑΣ και ο ΑΑΣ εμφανίζουν μεγάλη χωρική ανομοιογένεια από περιοχή σε περιοχή.

Οι συγκεντρώσεις εξωτερικού χώρου, επηρεάζονται σημαντικά από χαρακτηριστικά κατοικιών που αφορούν στην κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων και στον καλό αερισμό της περιοχής στην οποία βρίσκεται η κατοικία. Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις εσωτερικού χώρου επηρεάζονται σημαντικά από τη διαρρύθμιση της κατοικίας (τύπος κουζίνας, αριθμός ενδιάμεσων πορτών, όψη σαλονιού προς τον δρόμο).

Το μέγεθος των ΑΣ και η σύστασή τους επηρεάζουν το βαθμό διεύθυνσης των ΑΣ εξωτερικού χώρου, του περιβάλλοντος αέρα, μέσα στην κατοικία. Κατά συνέπεια, τα

λεπτά ΑΣ, και ο συντελεστής απορρόφησης εξωτερικού χώρου (που αντιπροσωπεύει την αιθάλη), εμφανίζουν μεγάλο ποσοστό διεξόδου στον εσωτερικό χώρο των κατοικιών.

Τέλος, όσον αφορά στην επίδραση των δραστηριοτήτων εσωτερικού χώρου, προκύπτει ότι τόσο το είδος όσο και το πλήθος των δραστηριοτήτων αποτελούν σημαντικούς παράγοντες επίδρασης στις συγκεντρώσεις του αριθμού ΑΣ εσωτερικού χώρου, με τις κυριότερες δραστηριότητες-πηγές να είναι το άναμμα των κεριών, το τηγάνισμα και δευτερευόντως το κάπνισμα.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

### **Έντυπο 1**

#### **Α) Εβδομαδιαίος έλεγχος καλής λειτουργίας του CPC**

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| City                                       |     |
| Site IDa                                   |     |
| CPC ID                                     |     |
| Date of checking                           |     |
| Time period of checking                    |     |
|                                            |     |
| Check of CPC front panel LEDsb             |     |
| LASER                                      | yes |
| FLOW                                       | yes |
| OPTICS                                     | yes |
| SATURATOR                                  | yes |
| CONDENSER                                  | yes |
| LIQUID LEVEL                               | yes |
| Particle counting activity                 | yes |
|                                            |     |
| Data acquisition program running           | yes |
| Color of dryer                             |     |
| Flow rate CPC front panel                  |     |
| Flow rate Gillibrator low flow w/o inlet   |     |
| Flow rate Gillibrator high flow w/o inlet  |     |
| Flow rate Gillibrator high flow with inlet |     |
| Zero check, particle counting indicator ON | yes |
| Zero check, particle number reading        |     |
| Detector zero (V)                          |     |

**B) Έλεγχος καλής λειτουργίας του CPC**

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| City                         |     |
| Site ID                      |     |
| CPC ID                       |     |
| Date of checking             |     |
| Time period of checking      |     |
| Check of CPC front panel LED |     |
| LASER                        | yes |
| FLOW                         | yes |
| OPTICS                       | yes |
| SATURATOR                    | yes |
| CONDENSER                    | yes |
| LIQUID LEVEL                 | yes |
| Particle counting activity   | yes |

## Έντυπο 2

### Περιγραφή εξωτερικών χαρακτηριστικών κατοικιών

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Identification                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
| City                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |
| Site code (Central, Routine or subject ID)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |
| Site address (street + street number)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
| Coordinates                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
| Center (center / suburb)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
| Traffic impacts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
| Site type                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
| Light vehicles flow on the nearest street (cars / day)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |
| Heavy vehicles flow on the nearest street (cars/ day)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
| Distance to nearest street (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
| Distance to nearest major street (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |
| Distance to nearest intersection (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |
| Distance to nearest traffic light (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
| Width of the nearest street (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
| Height of building of which home is part (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
| Describe the street configuration:<br>1. Largely uninterrupted rows of homes on both sides of the street<br>2. Largely uninterrupted rows of homes on the study home side of the street, but not the other side<br>3. Largely uninterrupted rows of homes on the other side of the street, but not on the study home side<br>4. On both sides of the road interrupted rows of homes |  |
| Buildings uninterrupted for at least 25 meter on each side (yes / no)                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
| Floor at which outdoor measurements are made <sup>5</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
| Sampling height for outdoor measurements (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
| Sampling site in backyard (B), streetside (S) or rooftop (R)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
| Living room faces backyard (B), streetside (S) or both (BS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
| Other impacts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |

|                                                                                   |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
| Is there a large parking lot within 100 meter?                                    |  |
| Is there a small industrial plant (e.g. garage, petrol station) within 100 meter? |  |

1. using local system, allowing distance calculations
2. urban background / traffic site
3. record distance to the side of the street. All distances from the front door
4. from study home front to the home front of the other side of the street
5. 0=ground floor, 1 = first floor, 2=second floor and so on

### Έντυπο 3

#### Καταγραφή εσωτερικών χαρακτηριστικών των κατοικιών

##### Home characterization form

City: \_\_\_\_\_

Subject ID: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

Field worker: \_\_\_\_\_

Provide a sketch of the floor of the living room, indicating the position of the kitchen relative to the living room and the location of the following items. Indicate the position of the nearest street to the living room.

- sampling inlets
- CPC
- PM10
- PM2.5
- Air exchange rate sources and CAT

- ventilation openings:

- door
- openable window
- mechanical ventilation opening
- ventilation grid (passive)

- pollution sources (if present, question 7)

1. Measure height, length and width of the living room, kitchen and other rooms, including hallways

*(Home volume is important because it is needed in ventilation rate measurements and in indoor air modeling. If irregular shaped, add multiple W and L)*

|            | Living room | Kitchen | Other rooms |
|------------|-------------|---------|-------------|
| Height (m) |             |         |             |

|            |  |  |  |
|------------|--|--|--|
| Length (m) |  |  |  |
| Width (m)  |  |  |  |

2. Record the number of floors of the building of which the home is part?

\_\_\_ floors

3. How many floors are there in the home?

(do not count cellar, but do include an attic)

\_\_\_ floors

4. Record at which floor living room, kitchen and bedroom are located

(0 = ground floor) \_\_\_\_\_

floor living room \_\_\_\_\_

floor kitchen \_\_\_\_\_

floor bedroom \_\_\_\_\_

5. Specify type of kitchen

a) open kitchen

b) kitchen separate from living room

6. How many doors are there between kitchen and living-room?

..... doors (0 for open kitchen)

7. Record which equipment is present in the kitchen

- gas stove
  - electrical / ceramic stove
  - gas oven
  - electrical oven
- geyser without a vent
- geyser with a vent
- gas fired boiler

- electrical boiler
- microwave oven
- dish washer
- washing machine
- gas fired cloth dryer
- electric cloth dryer
- other, specify \_\_\_\_\_

8. Is there a fume hood present above the stove?

- yes, exhaust air removed out of the home
- yes, exhaust air recirculated in the kitchen after passing an active carbon filter
- no

9. When cooking is the fume hood used

- all of the time?
- some of the time?
- none of the time?

10. Record which equipment is present in the living room

- gas heater
- fireplace
- wood / coal heater
- other, specify \_\_\_\_\_
- none

11. Specify the ventilation facilities in the living room

(both mechanical ventilation and air conditioning systems typically filter the air which is what we want to know; heating / cooling is not critical information)

- air conditioning
- mechanical ventilation that is always ON
- mechanical ventilation that is sometimes turned ON by the inhabitant
- ventilation roster (passive)

- small (<1500 cm<sup>2</sup>) window that can be opened by the inhabitant
- large (>1500 cm<sup>2</sup>) window that can be opened by the inhabitant
- door to the outside
- other, specify \_\_\_\_\_

12. Specify the function of the mechanical ventilation / air conditioning system in the living room

- recirculates indoor air
- removes indoor air to an exhaust system but does not take in outdoor air
- takes in outdoor air and removes indoor air

If the system takes in outdoor air:

11.1 Where is the inlet of the ventilation system

- rooftop
- same floor as living room
- other, specify \_\_\_\_\_

13. Specify the ventilation facilities in the kitchen

- mechanical ventilation that is always ON
- mechanical ventilation that is sometimes turned ON by the inhabitant
- ventilation roster (passive)
- small (<600 cm<sup>2</sup>) window that can be opened by the inhabitant
- large (>600 cm<sup>2</sup>) window that can be opened by the inhabitant
- door to the outside
- other, specify \_\_\_\_\_

14. Specify the function of the mechanical ventilation system / air conditioning in the kitchen

- recirculates indoor air
- removes indoor air to an exhaust system but does not take in outdoor air

- takes in outdoor air and removes indoor air

15. What type of floor cover is present in the living-room?

- smooth (e.g. vinyl, wood, laminate, stone, ceramic tile)
- smooth with a rug (larger than 1 m<sup>2</sup>)
- fitted carpet covering the whole floor

## Έντυπο 4

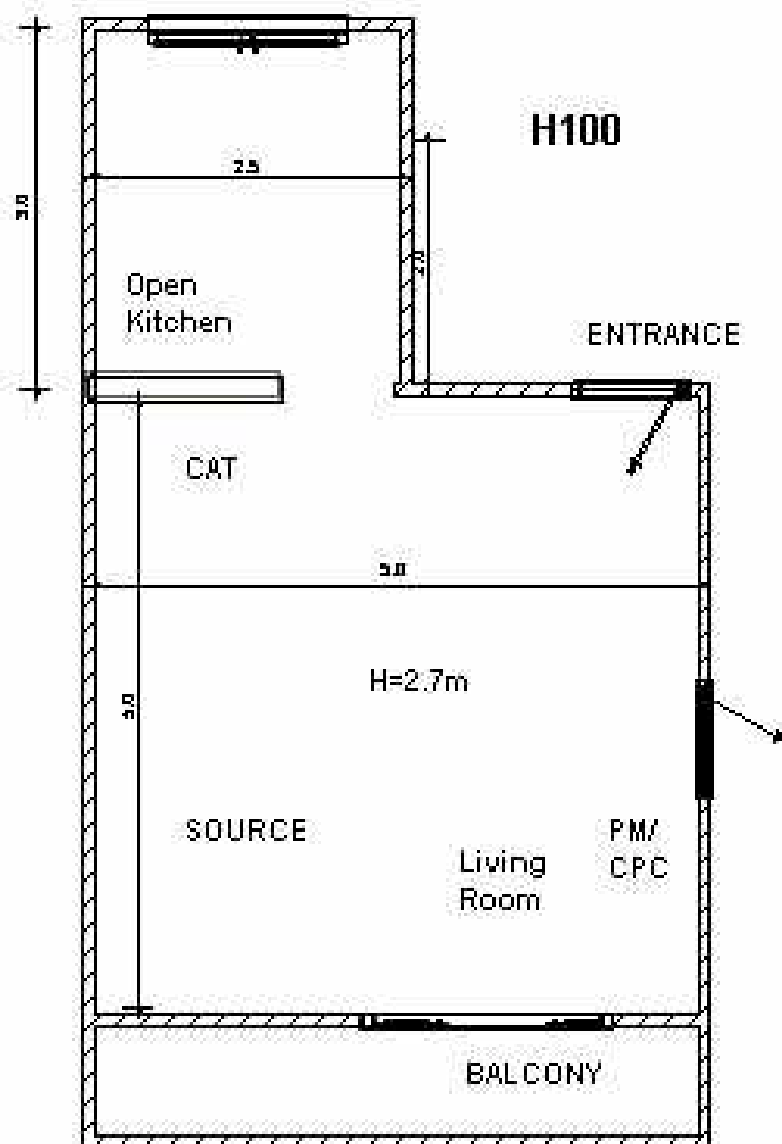
### ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

Παρακαλούμε συμπληρώνεται το Ημερολόγιο Δραστηριοτήτων τρεις φορές κάθε ημέρα, το πρωί, το απόγευμα και το βράδυ  
Παρακαλούμε σημειώστε με (X) τις δραστηριότητες για κάθε μισή ώρα που πραγματοποιούνται μόνο στο καθιστικό, και το μαγείρεμα/τηγάνισμα στην κουζίνα

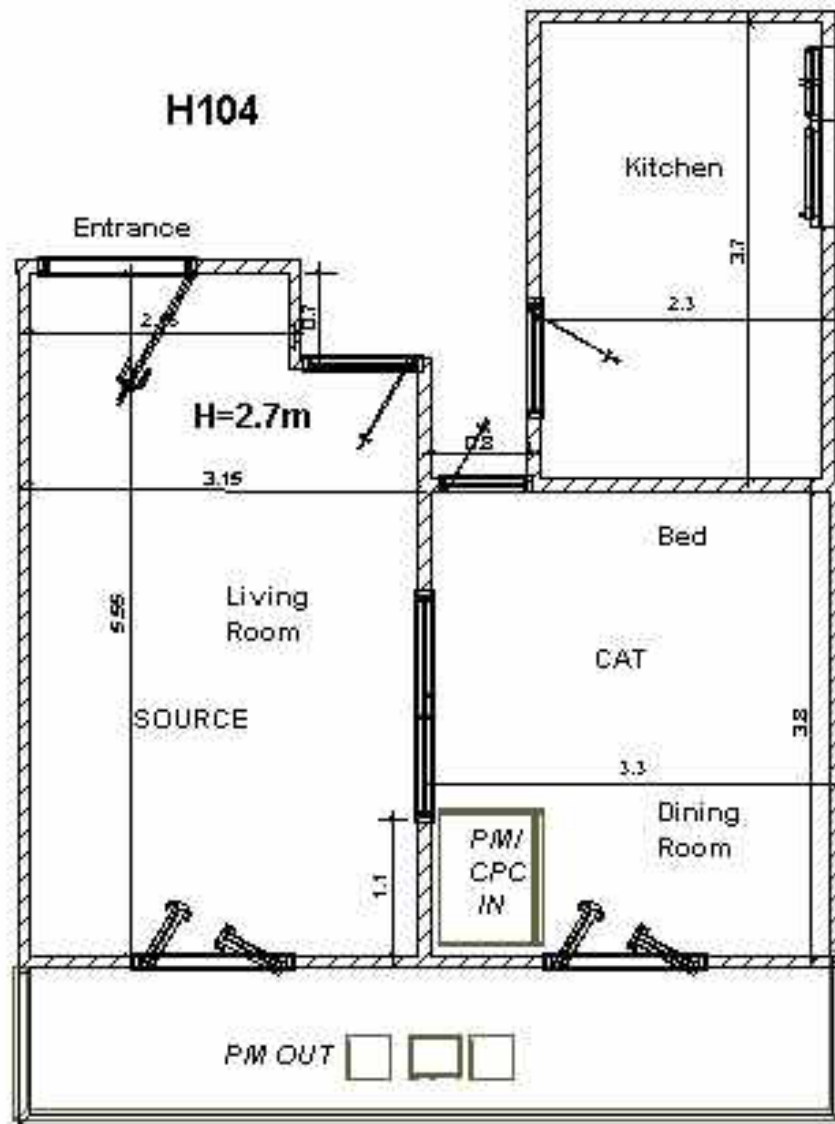
| Κωδικός:         |                | Ημερομηνία: |                             |           |                        | Πόλη:                   |                         |                |               |                  |                           |                                 |   |
|------------------|----------------|-------------|-----------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|---------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|---|
| Χρονική Διάρκεια | Δραστηριότητες |             |                             |           |                        |                         |                         |                |               | Εξαερισμός       |                           |                                 |   |
|                  | Επισκέψεις     | Κάπνισμα    | Μαγείρεμα (Ψήσιμο, Βράσιμο) | Τηγάνισμα | Απορροφητήρας Ανοικτός | Ξεσκόνισμα / Ηλ. Σκούπα | Καθάρισμα / Χρήση Σπρέυ | Κεριά αναμμένα | Τσάκι / Σόμπα | Ανοικτό Παράθυρο | Ανοικτή Πόρτα (εξωτερική) | Λειτουργία Μηχανικού Εξαερισμού |   |
| 0.00 – 0.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 0.30 – 1.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 1.00 - 1.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 1.30 – 2.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
|                  |                |             |                             |           |                        |                         |                         |                |               |                  |                           |                                 |   |
| 2.00 - 2.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 2.30 – 3.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 3.00 – 3.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 3.30 – 4.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
|                  |                |             |                             |           |                        |                         |                         |                |               |                  |                           |                                 |   |
| 4.00 – 4.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 4.30 – 5.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 5.00 – 5.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 5.30 – 6.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
|                  |                |             |                             |           |                        |                         |                         |                |               |                  |                           |                                 |   |
| 6.00 – 6.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 6.30 – 7.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 7.00 – 7.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 7.30 – 8.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
|                  |                |             |                             |           |                        |                         |                         |                |               |                  |                           |                                 |   |
| 8.00 – 8.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 8.30 – 9.00      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 9.00 – 9.30      | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 9.30 – 10.00     | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
|                  |                |             |                             |           |                        |                         |                         |                |               |                  |                           |                                 |   |
| 10.00 – 10.30    | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 10.30 – 11.00    | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 11.00 – 11.30    | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |
| 11.30 – 12.00    | Ο              | Ο           | Ο                           | Ο         | Ο                      | Ο                       | Ο                       | Ο              | Ο             | Ο                | Ο                         | Ο                               | Ο |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

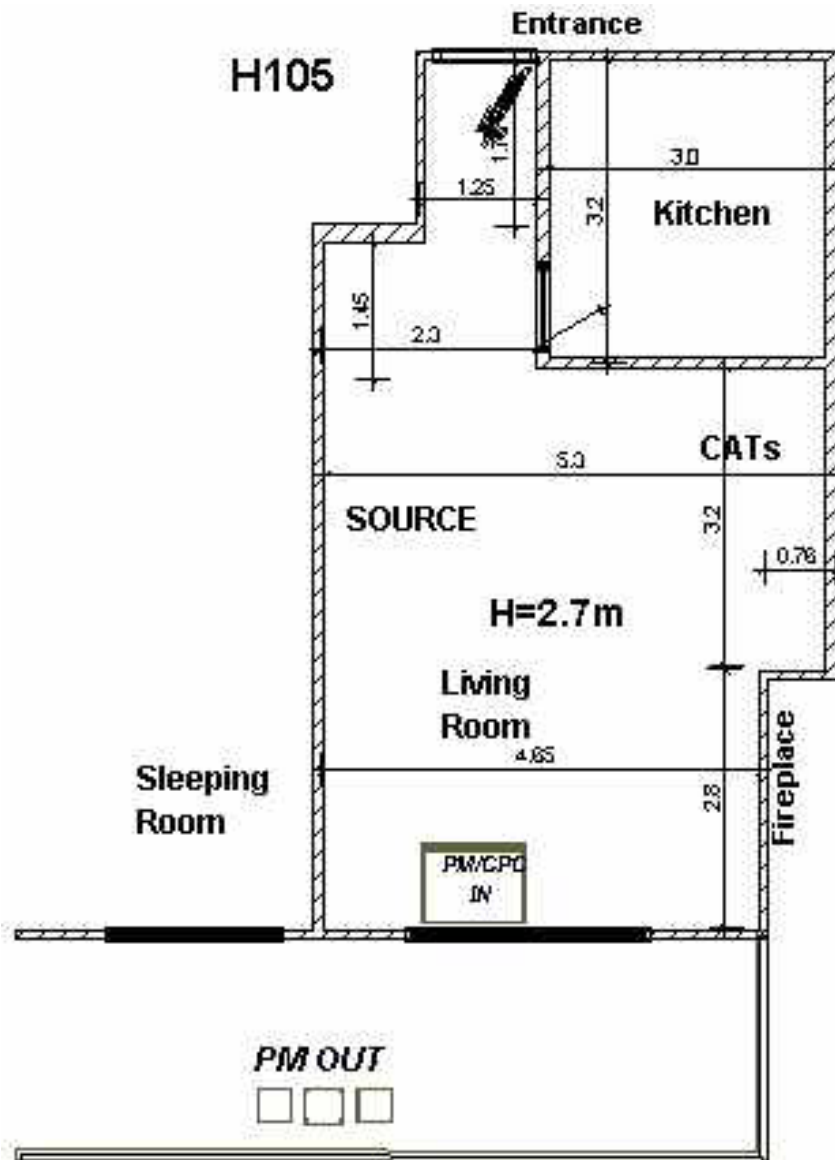
### Κατοικία (ID 100)



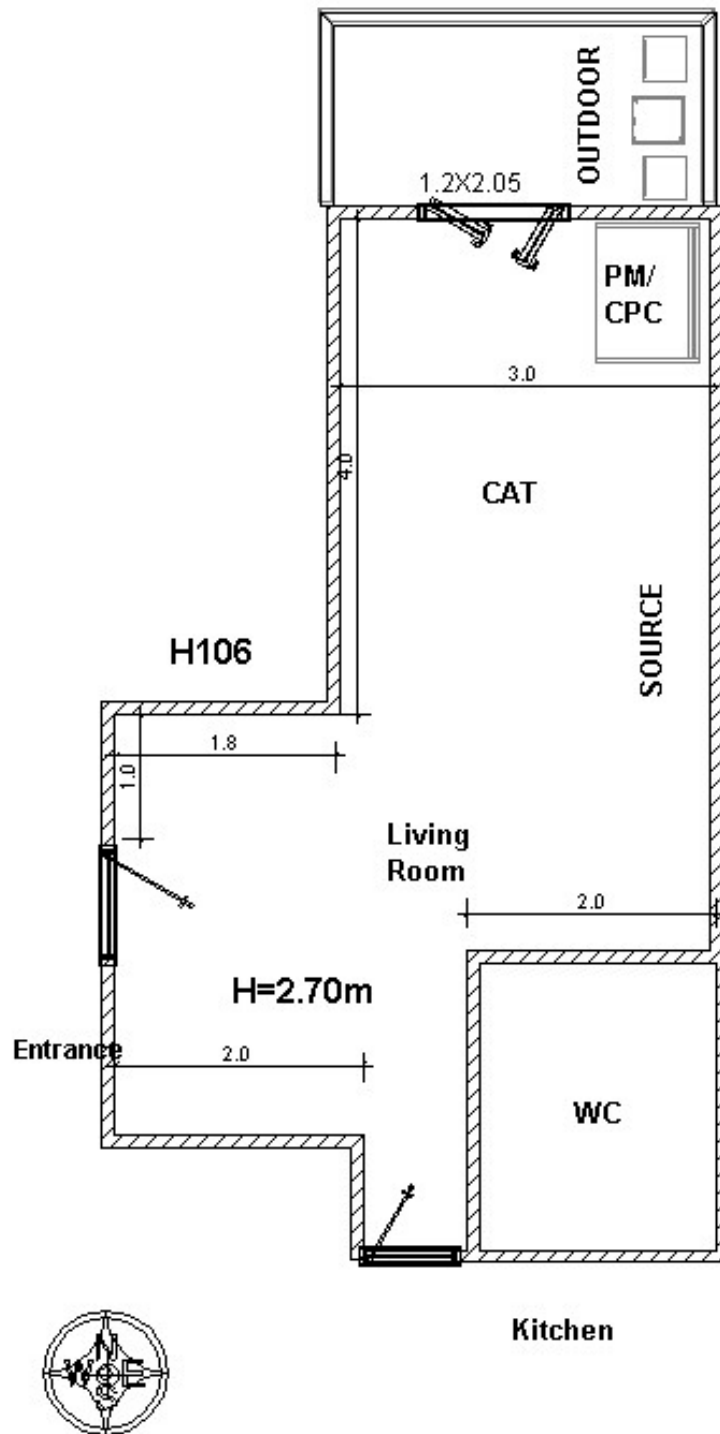
Κατοικία (ID 104)



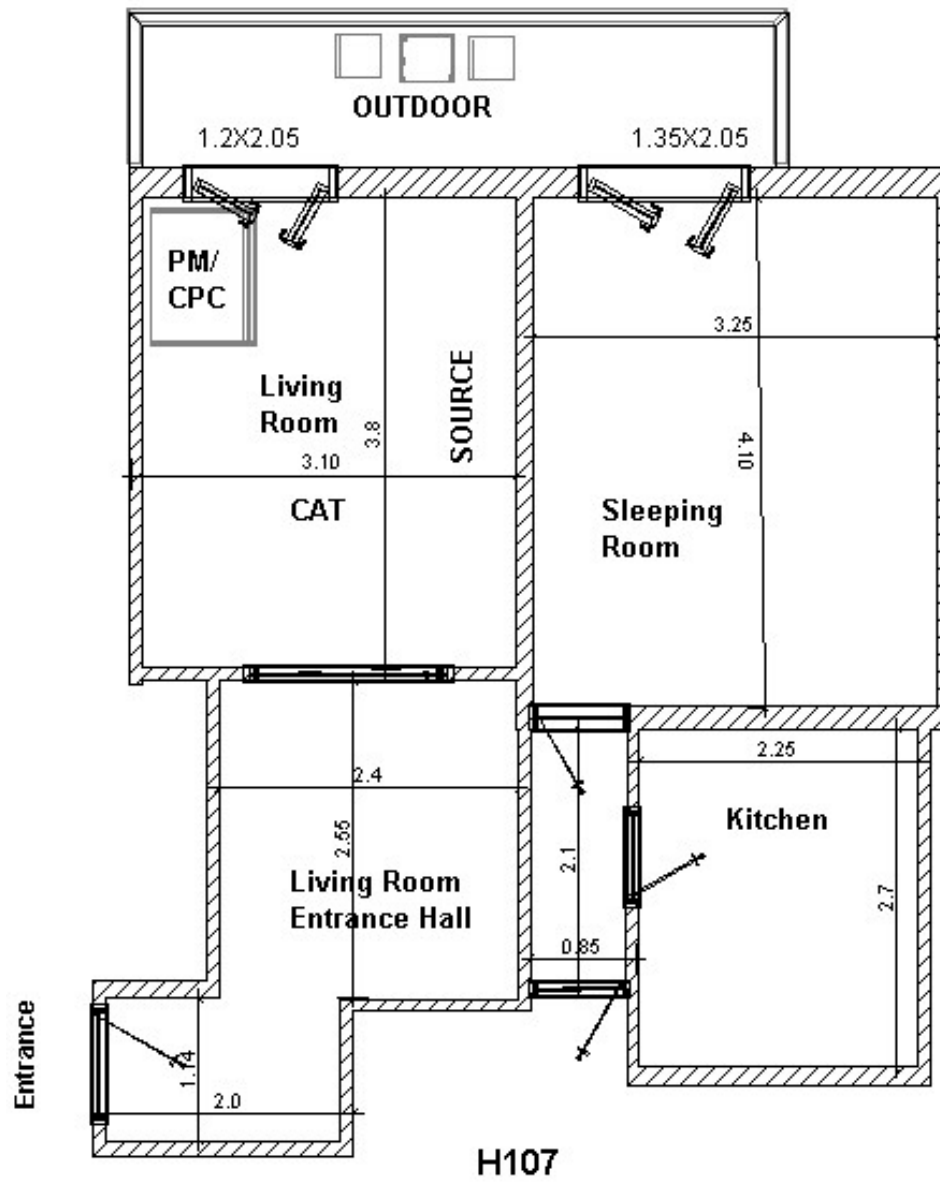
Κατοικία (ID 105)



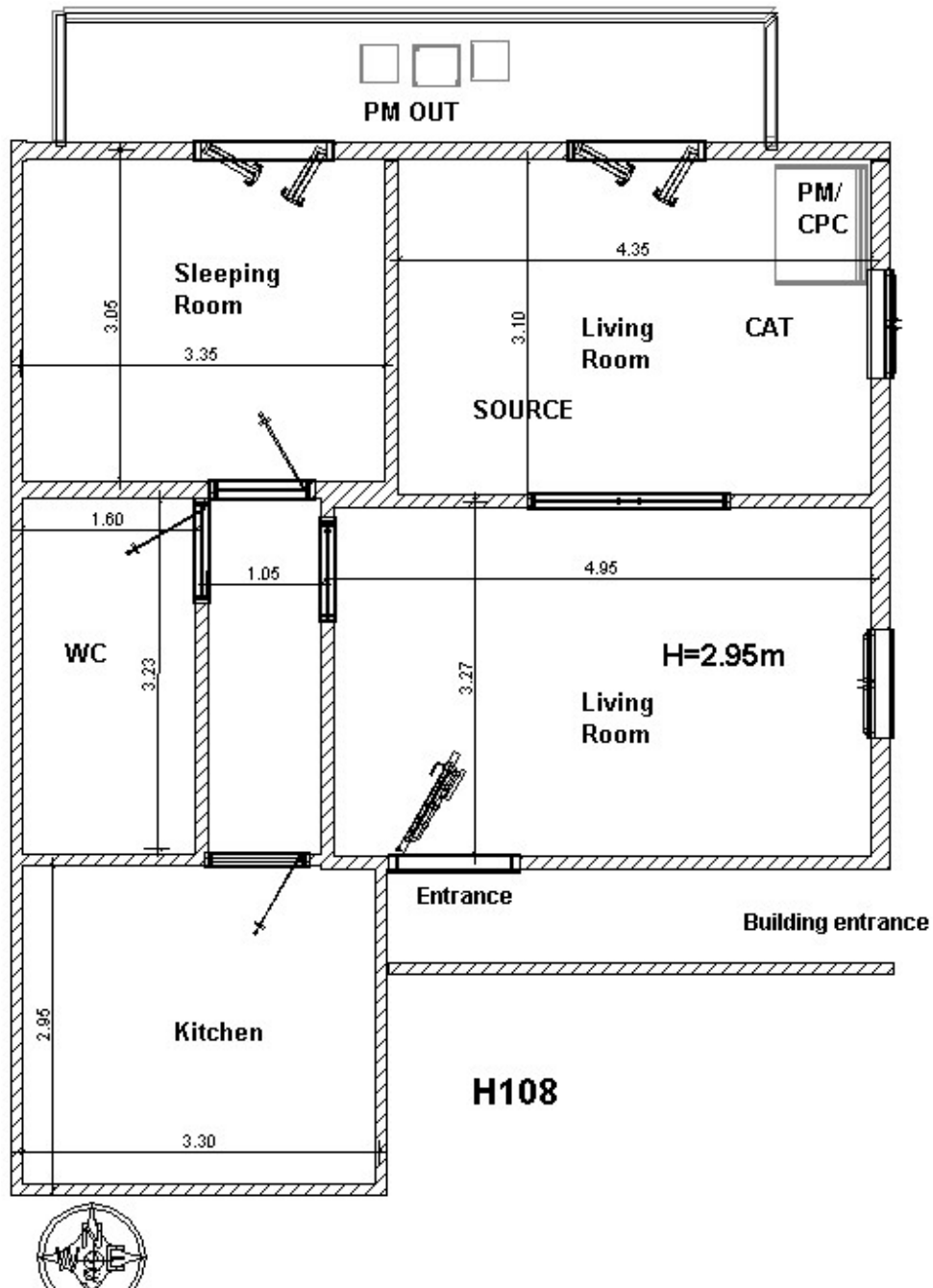
**Κατοικία (ID 106)**



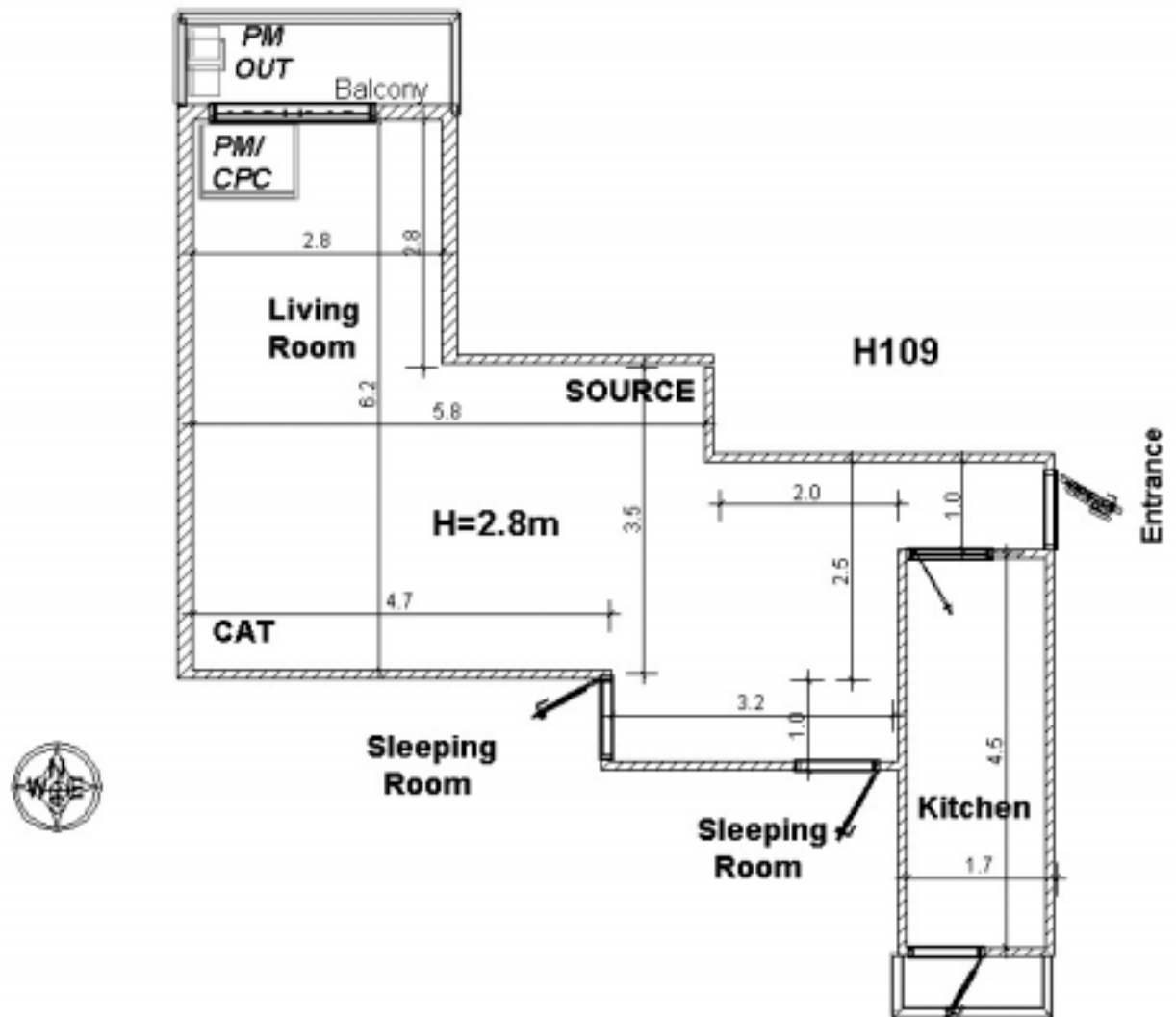
**Κατοικία (ID 107)**



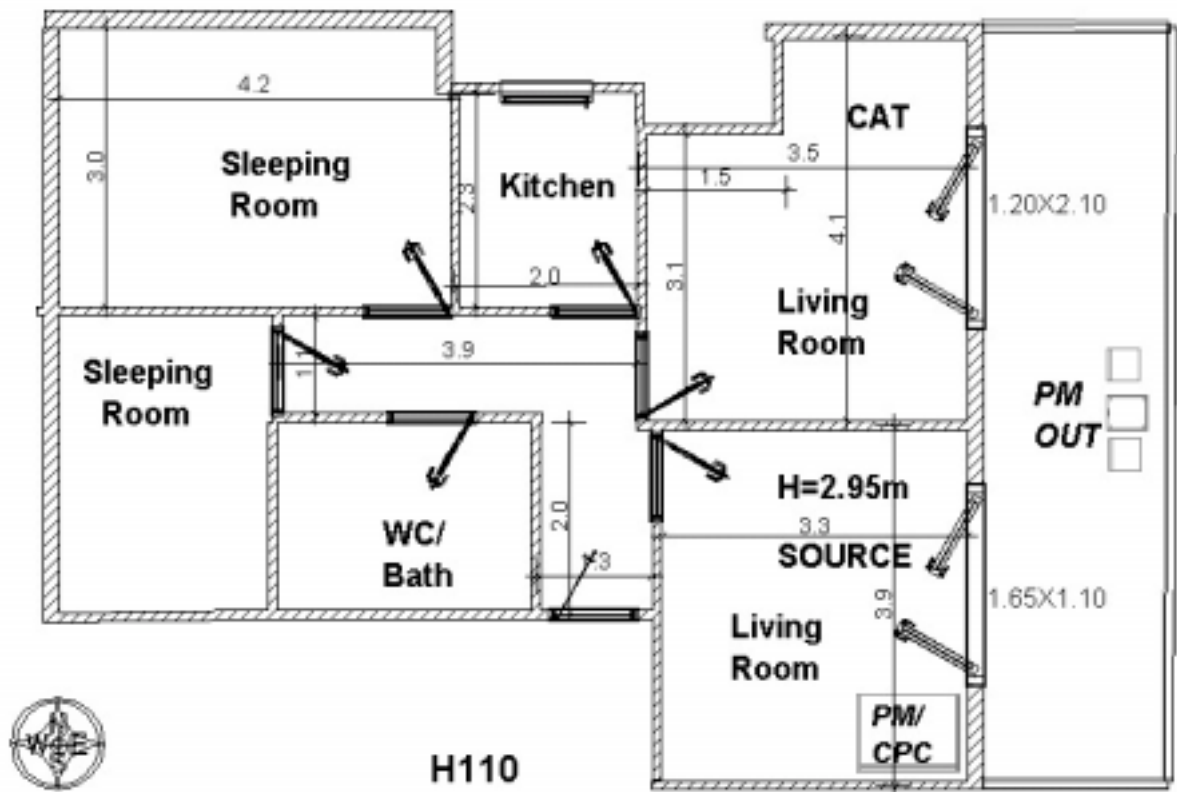
**Κατοικία (ID 108)**



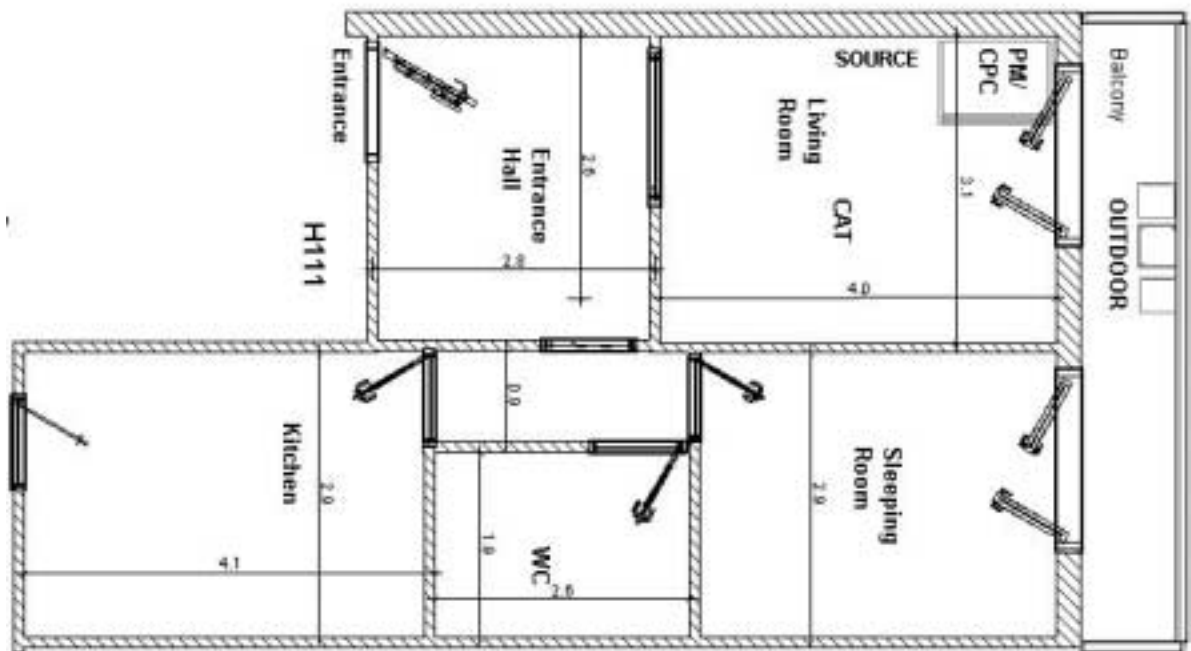
Κατοικία (ID 109)



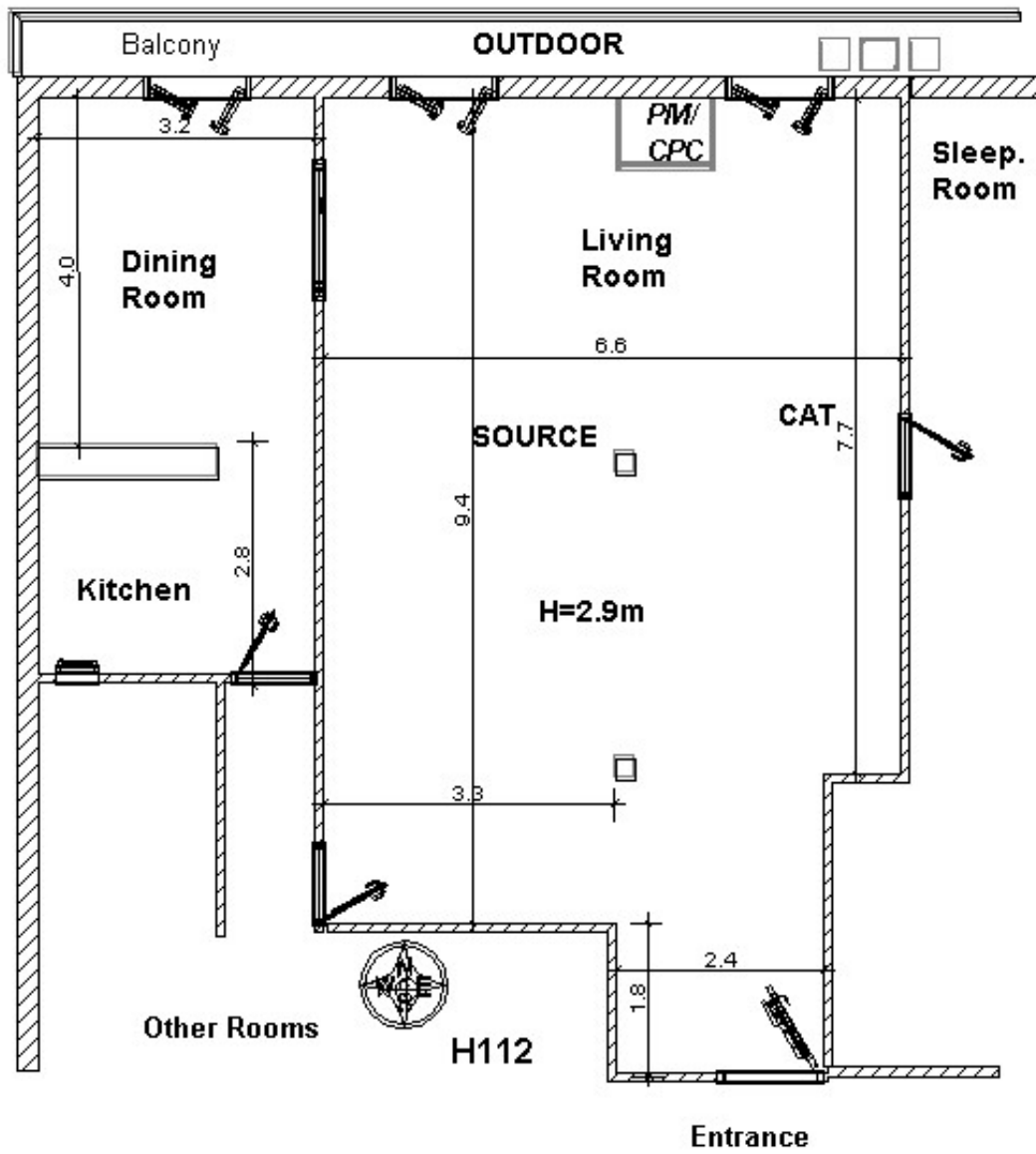
Κατοικία (ID 110)



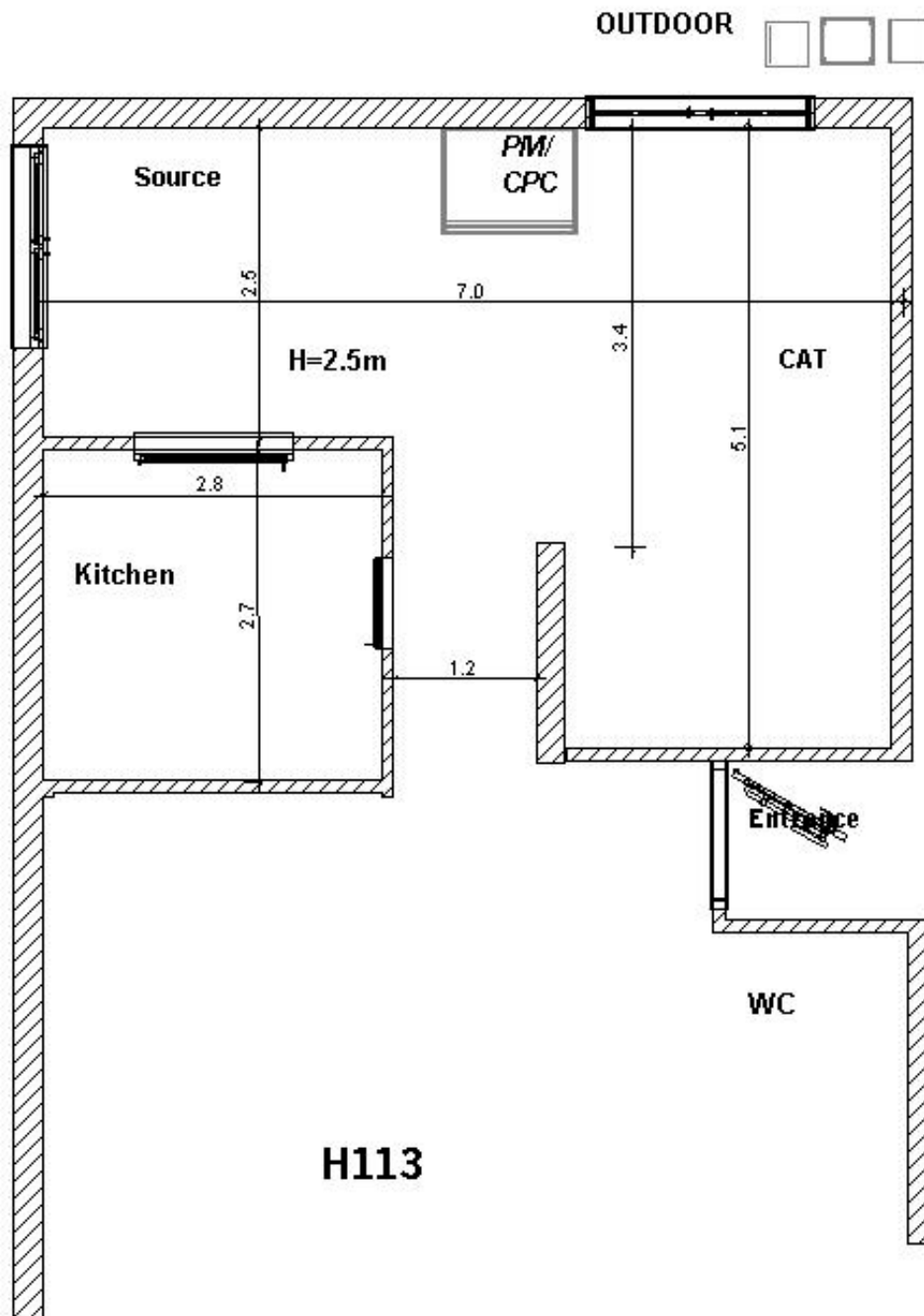
Κατοικία (ID 111)



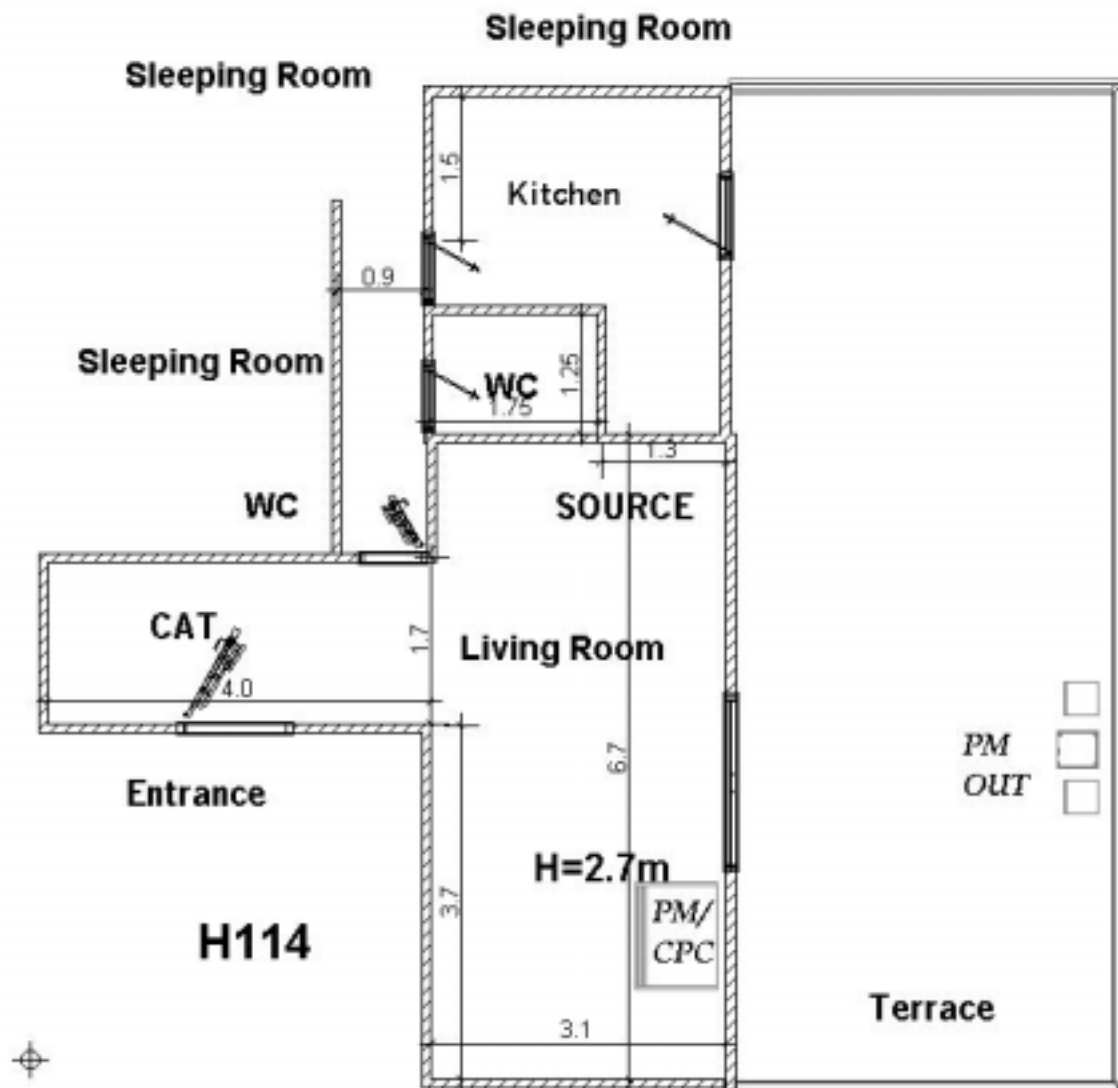
**Κατοικία (ID 112)**



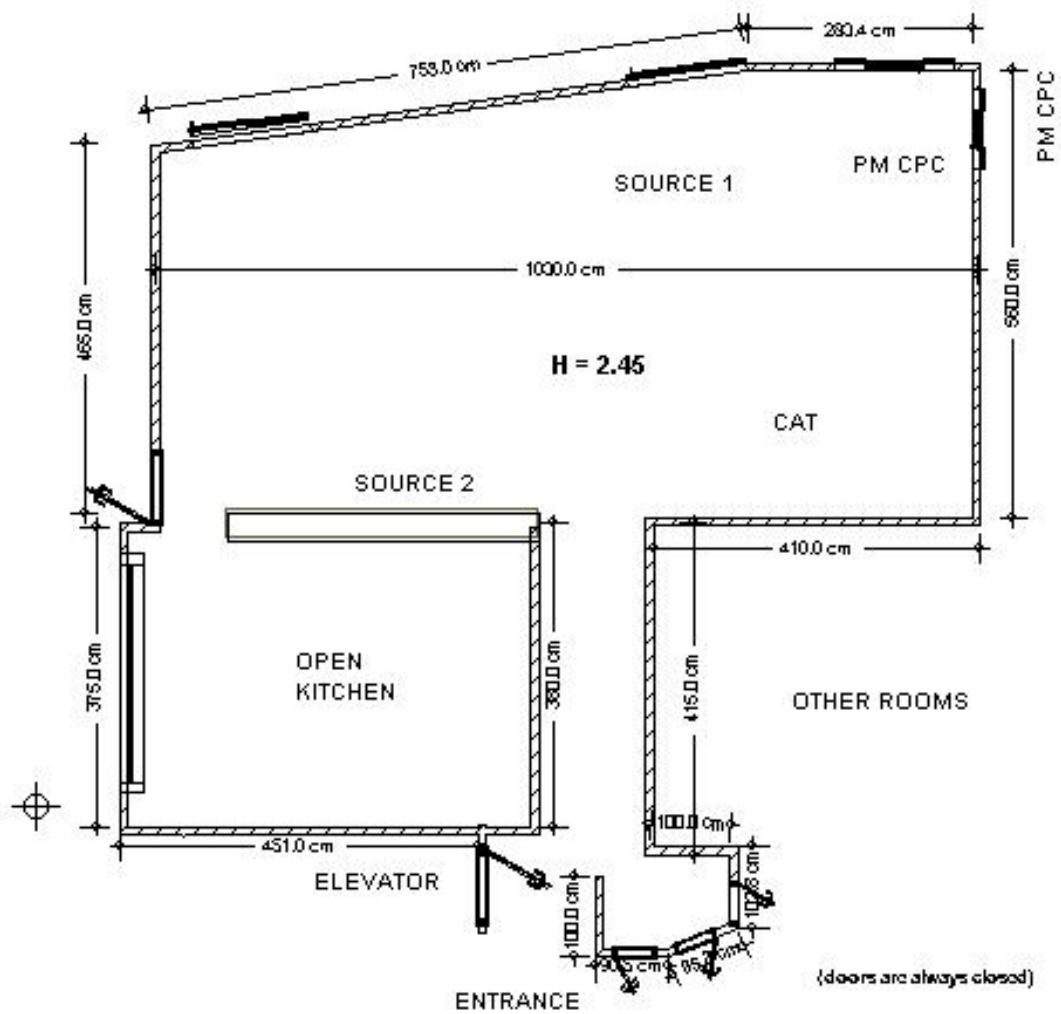
**Κατοικία (ID 113)**



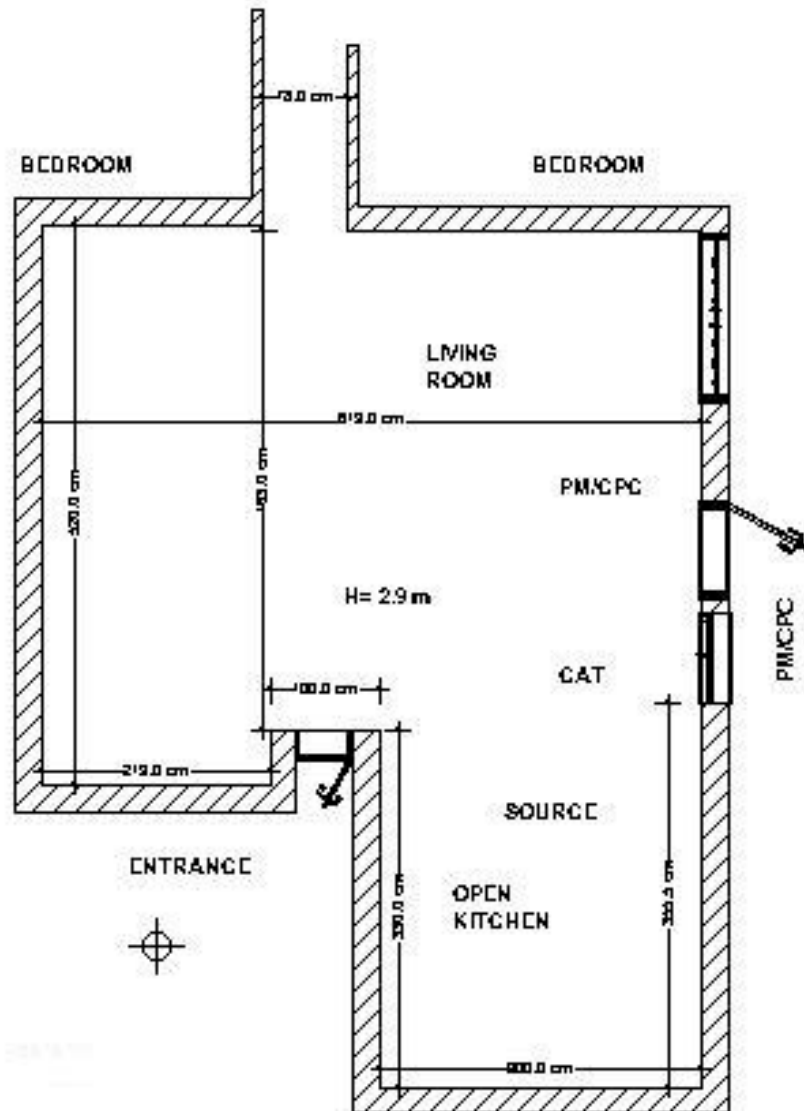
Κατοικία (ID 114)



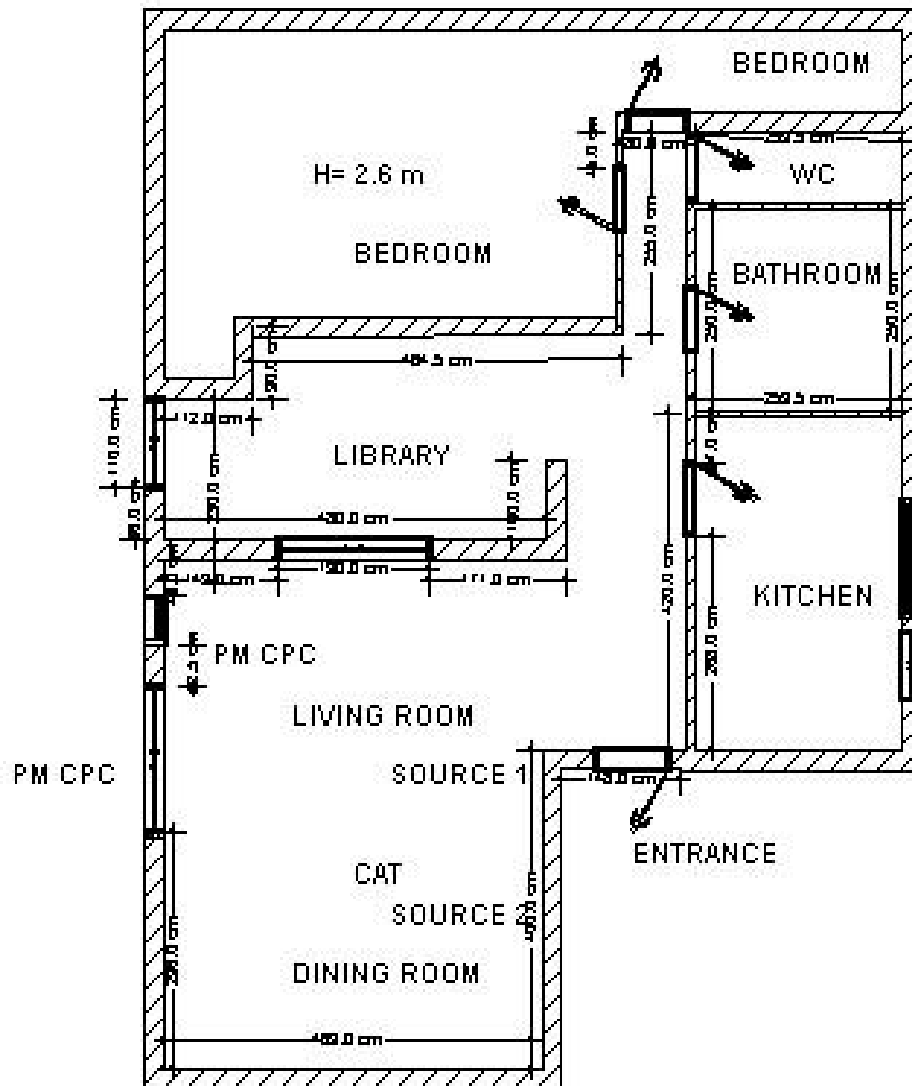
**Κατοικία (ID 115)**



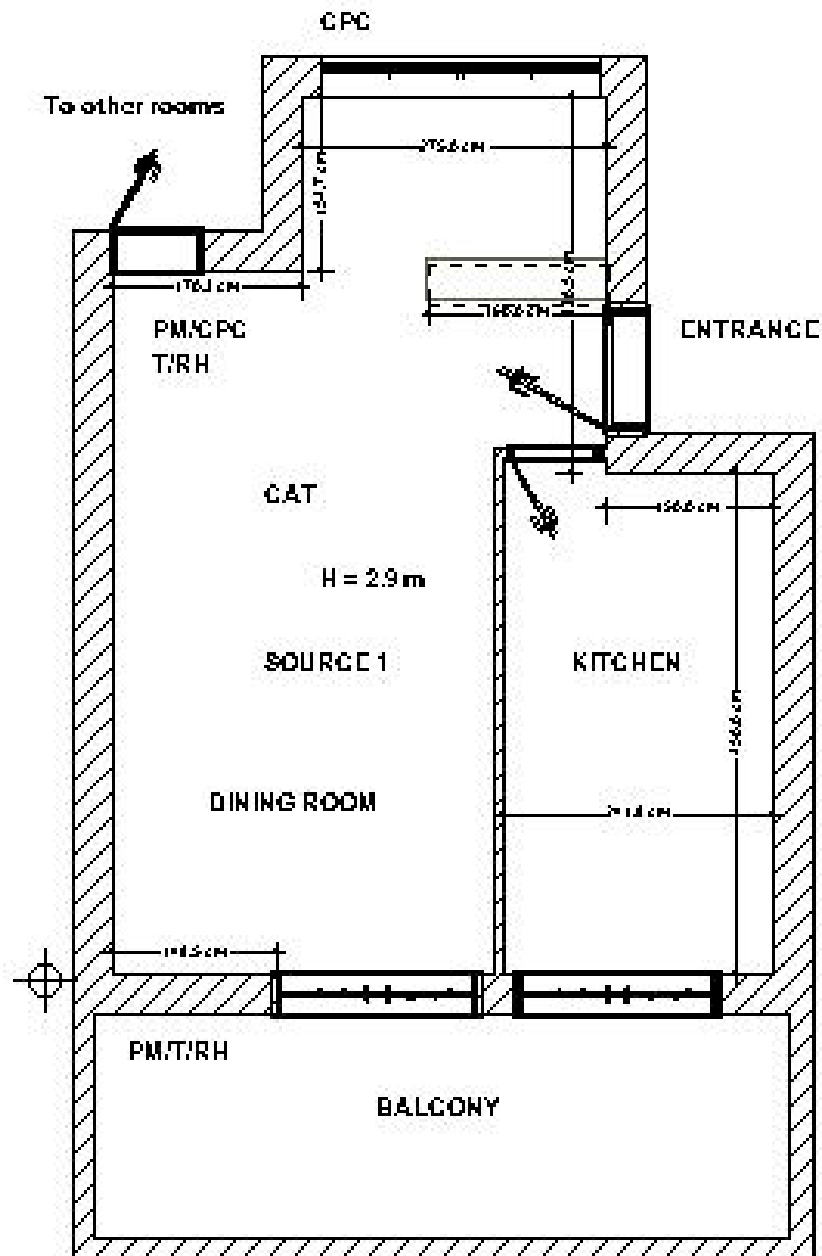
Κατοικία (ID 116)



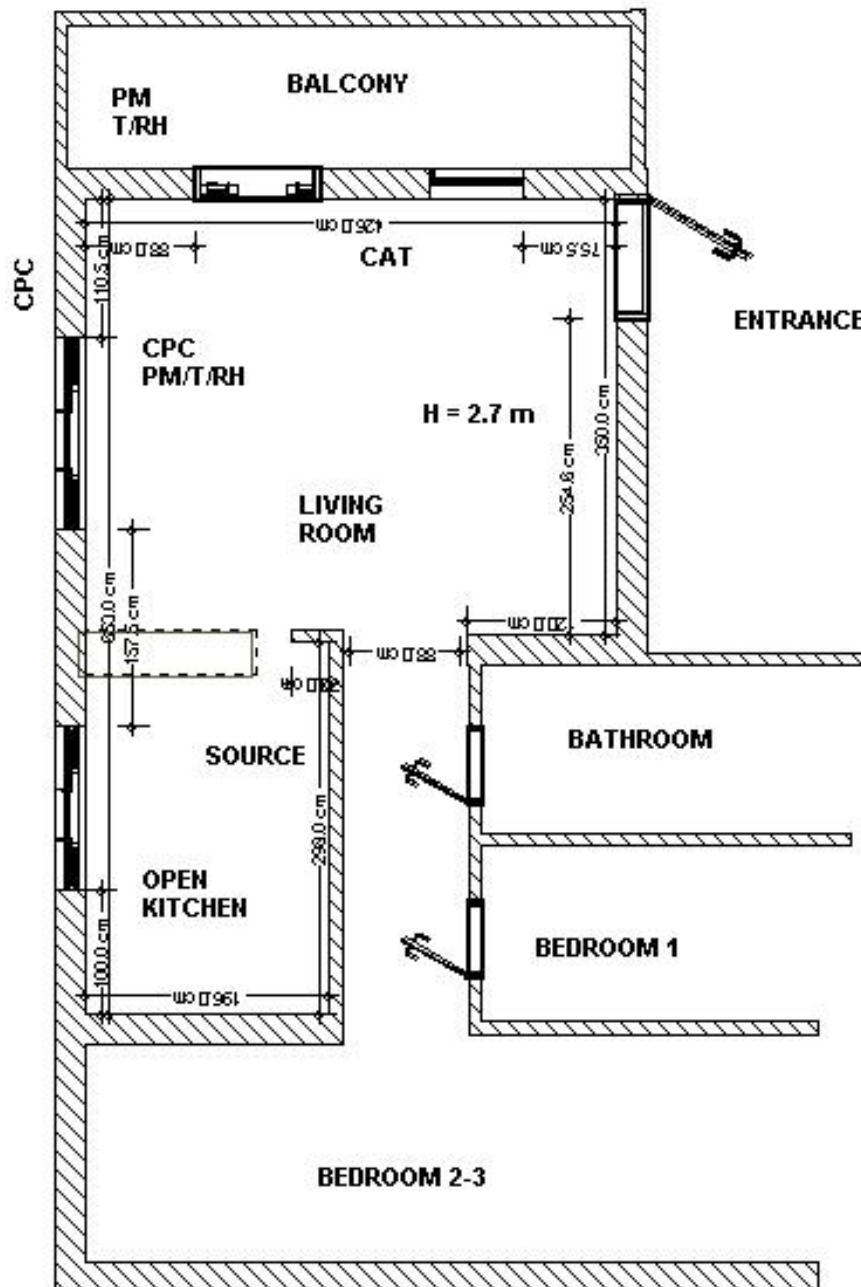
## Κατοικία (ID 117)



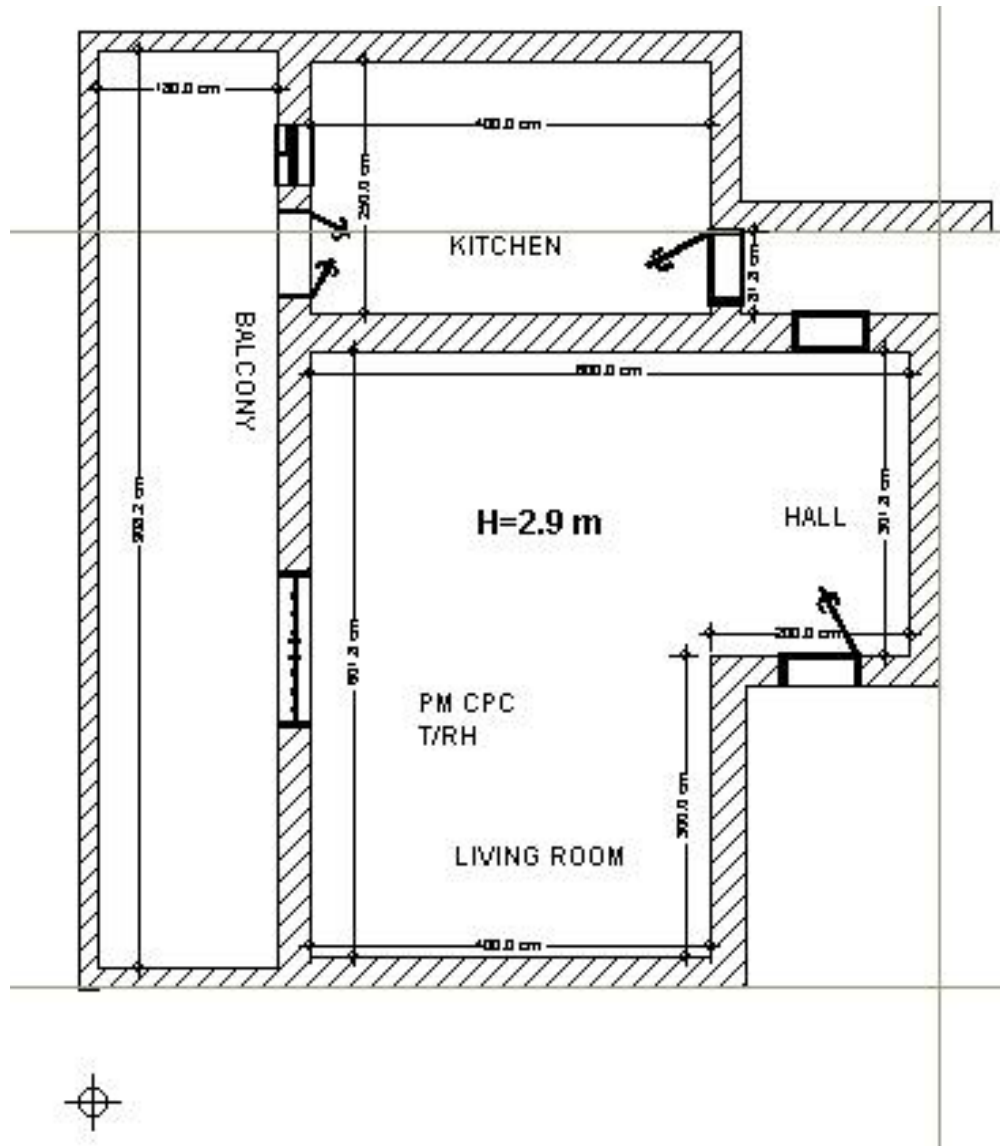
Κατοικία (ID 118)



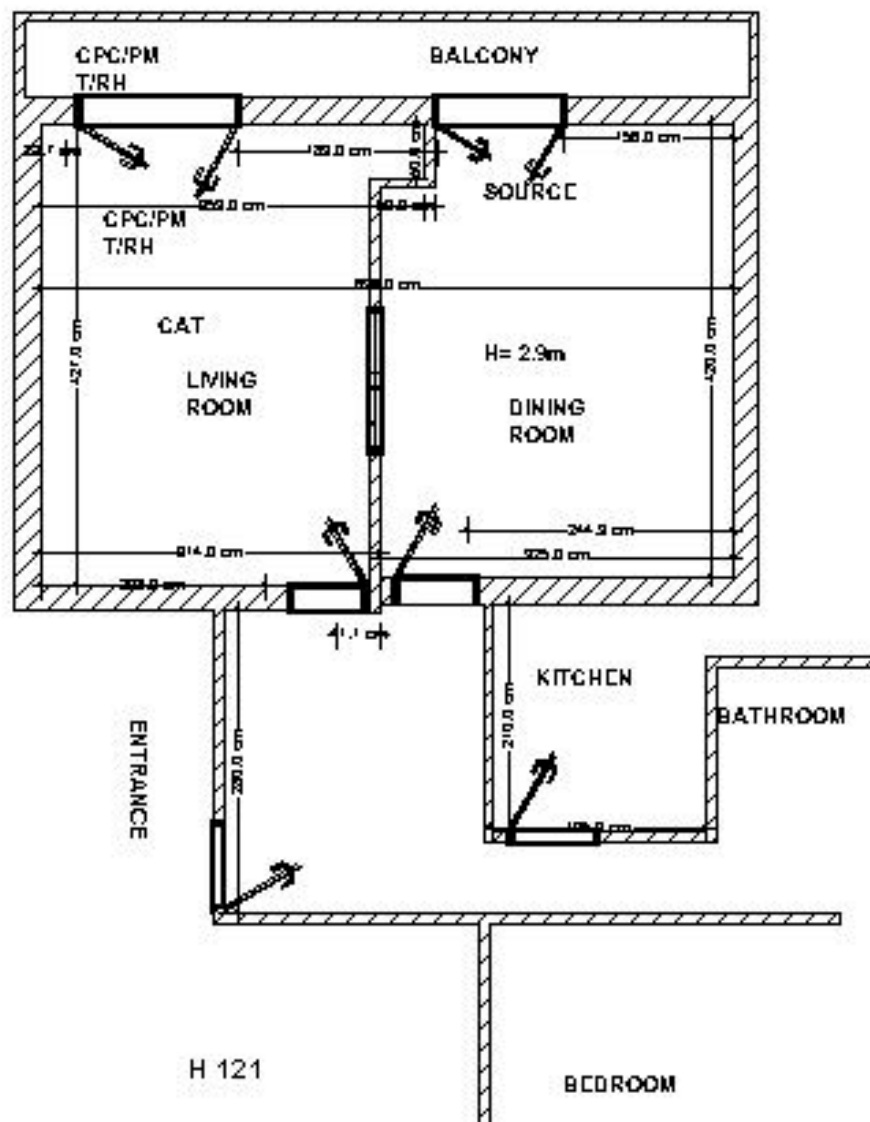
Κατοικία (ID 119)



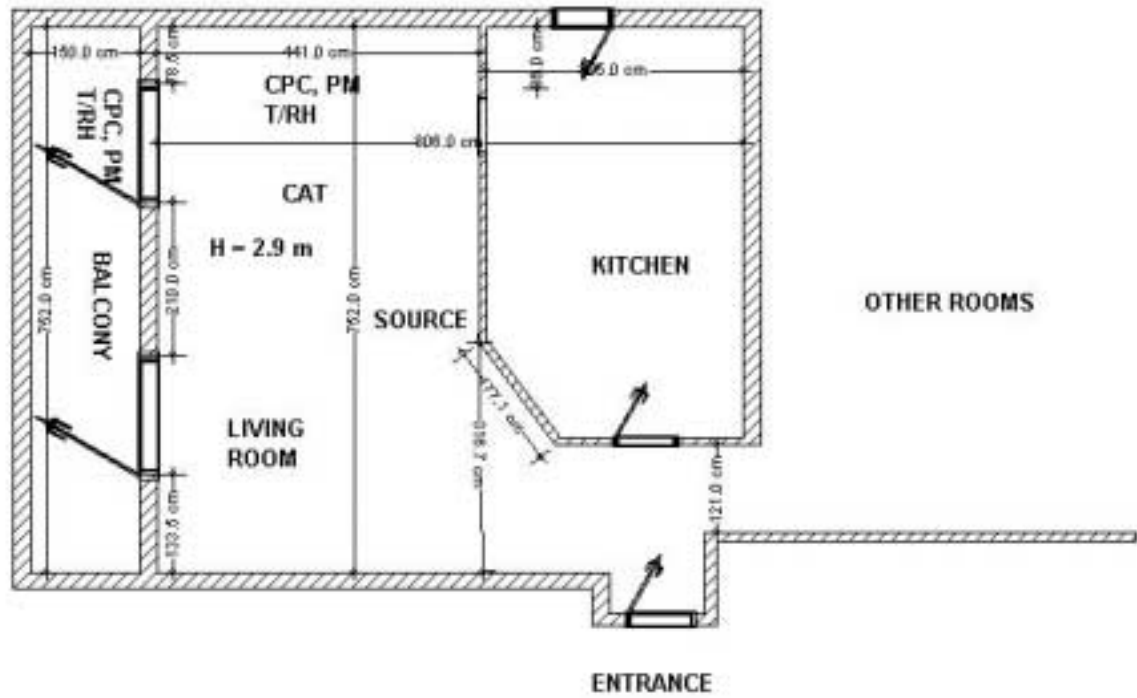
Κατοικία (ID 120)



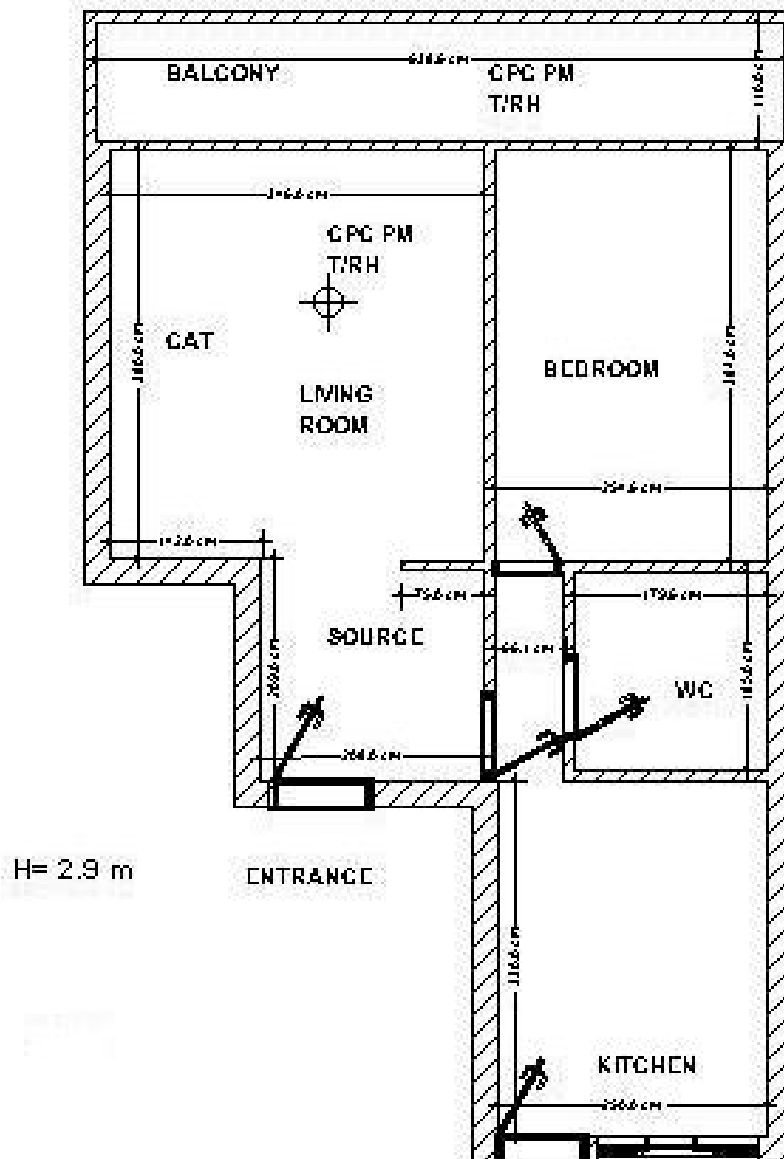
## Κατοικία (ID 121)



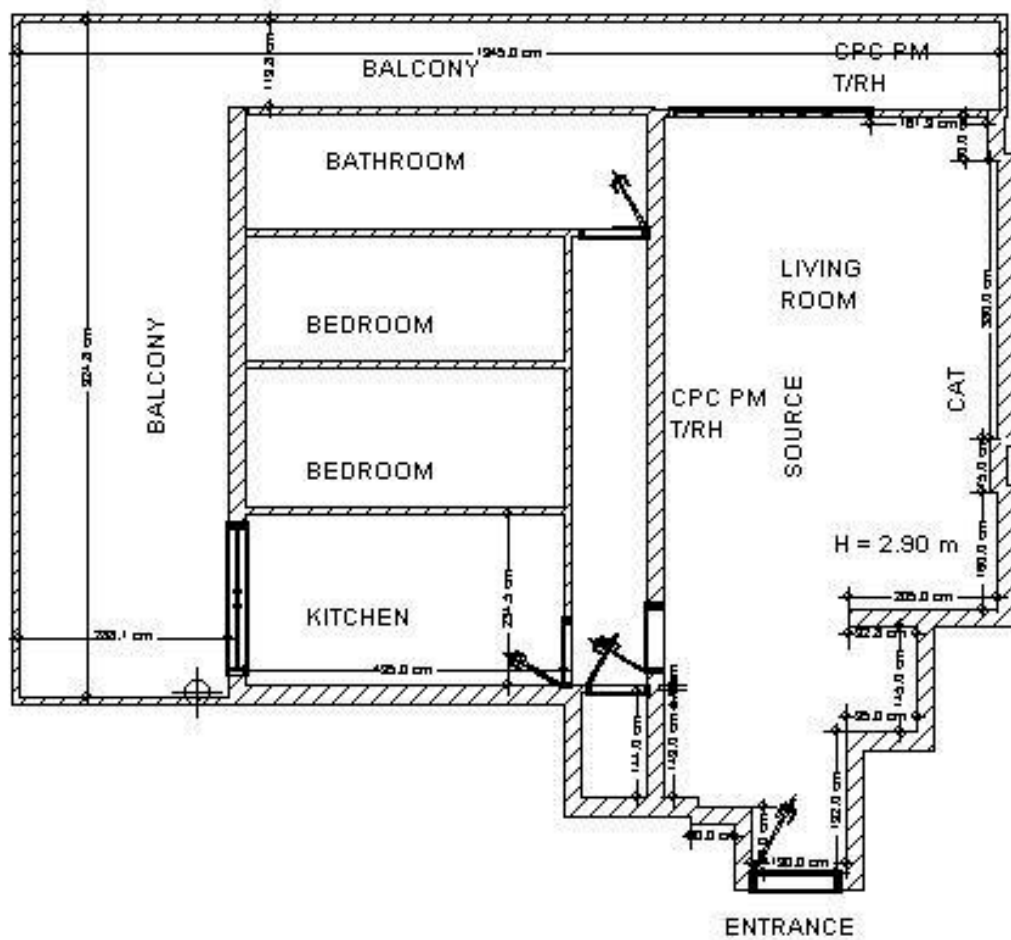
## Κατοικία (ID 122)



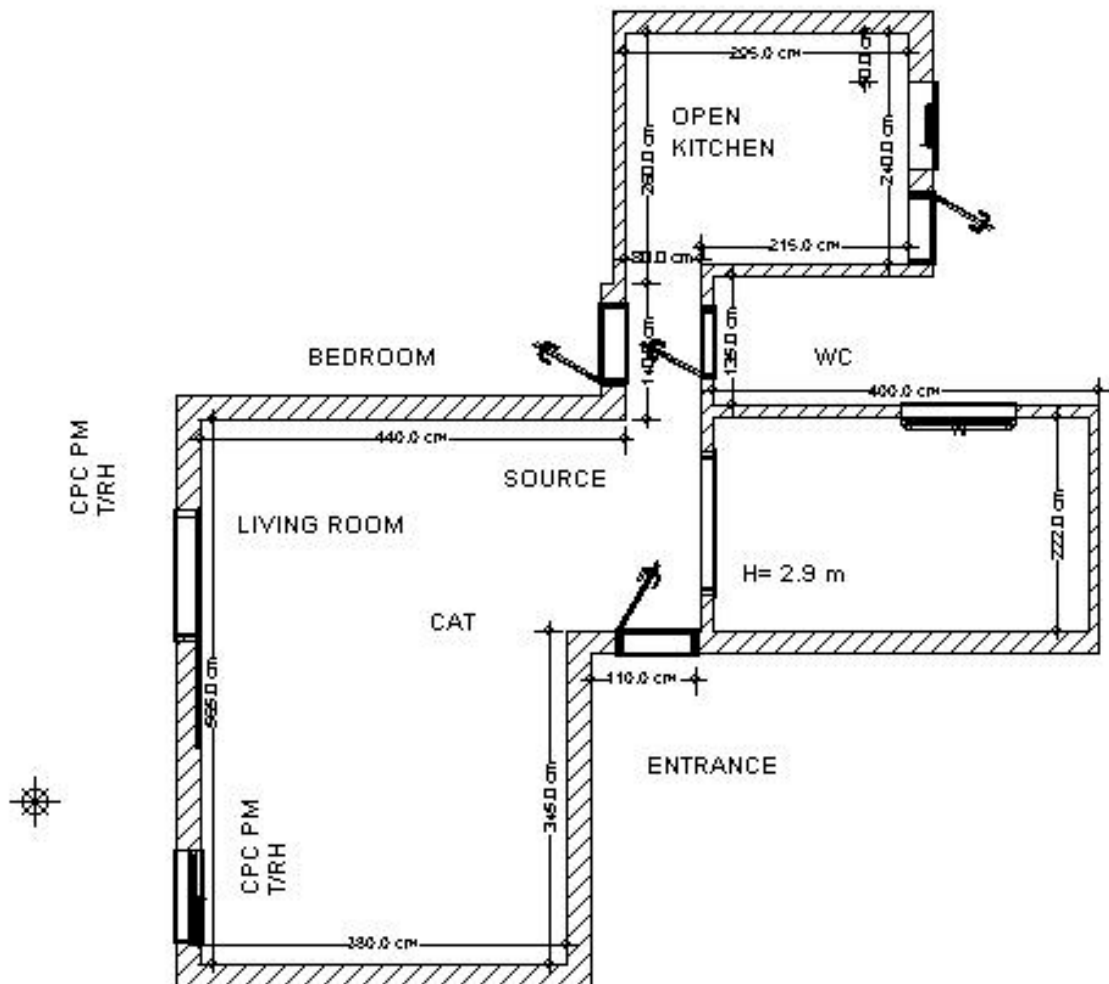
Κατοικία (ID 123)



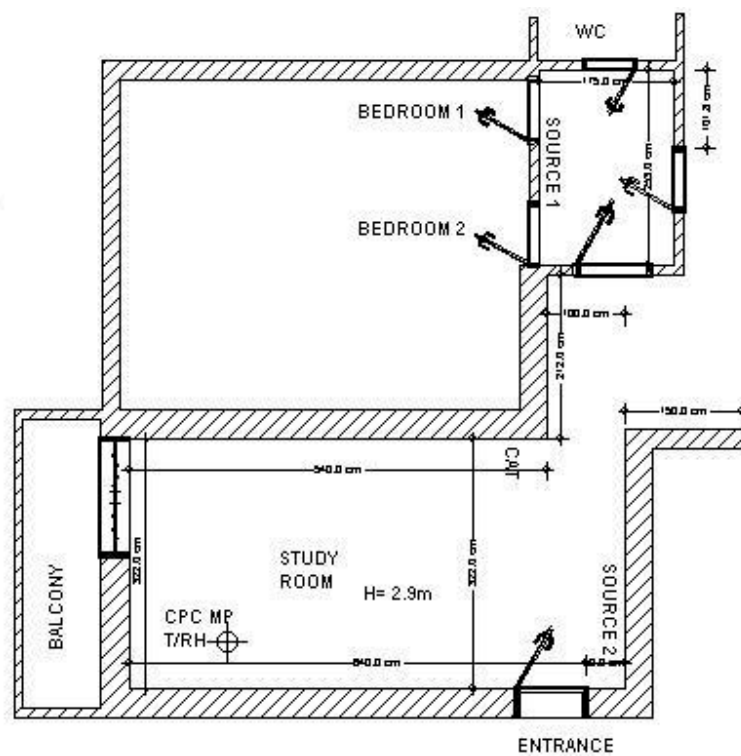
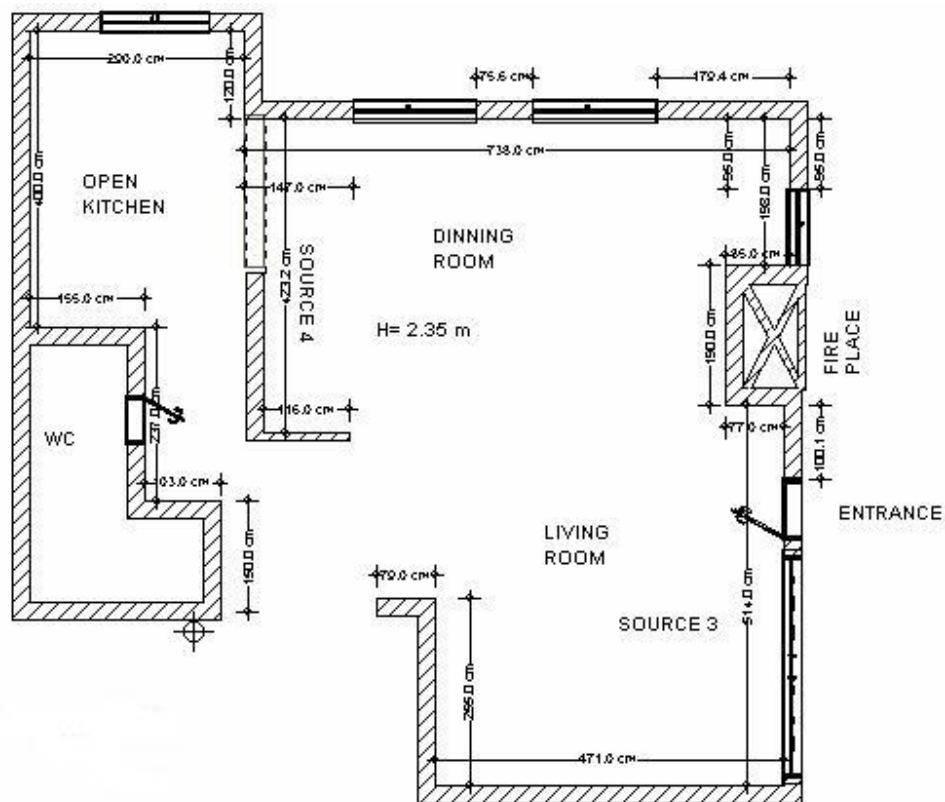
Κατοικία (ID 124)



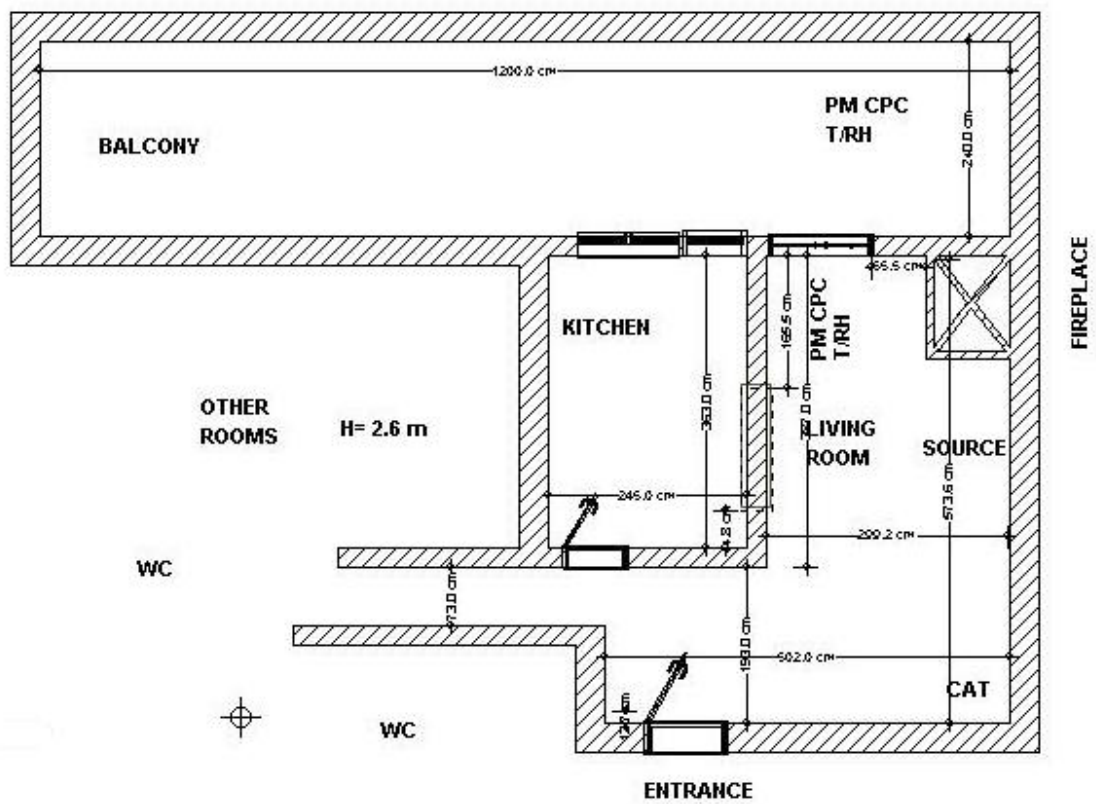
Κατοικία (ID 125)



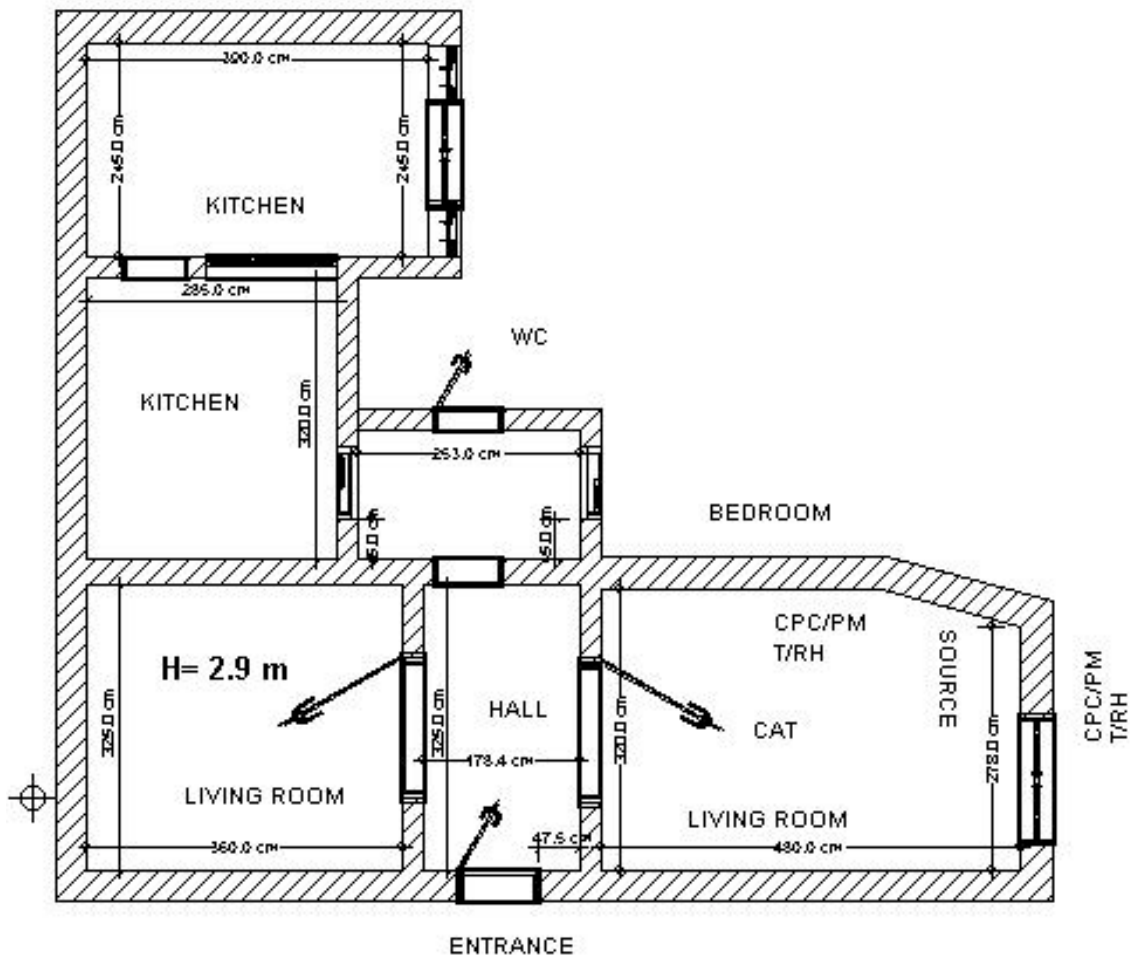
## Κατοικία (ID 126)



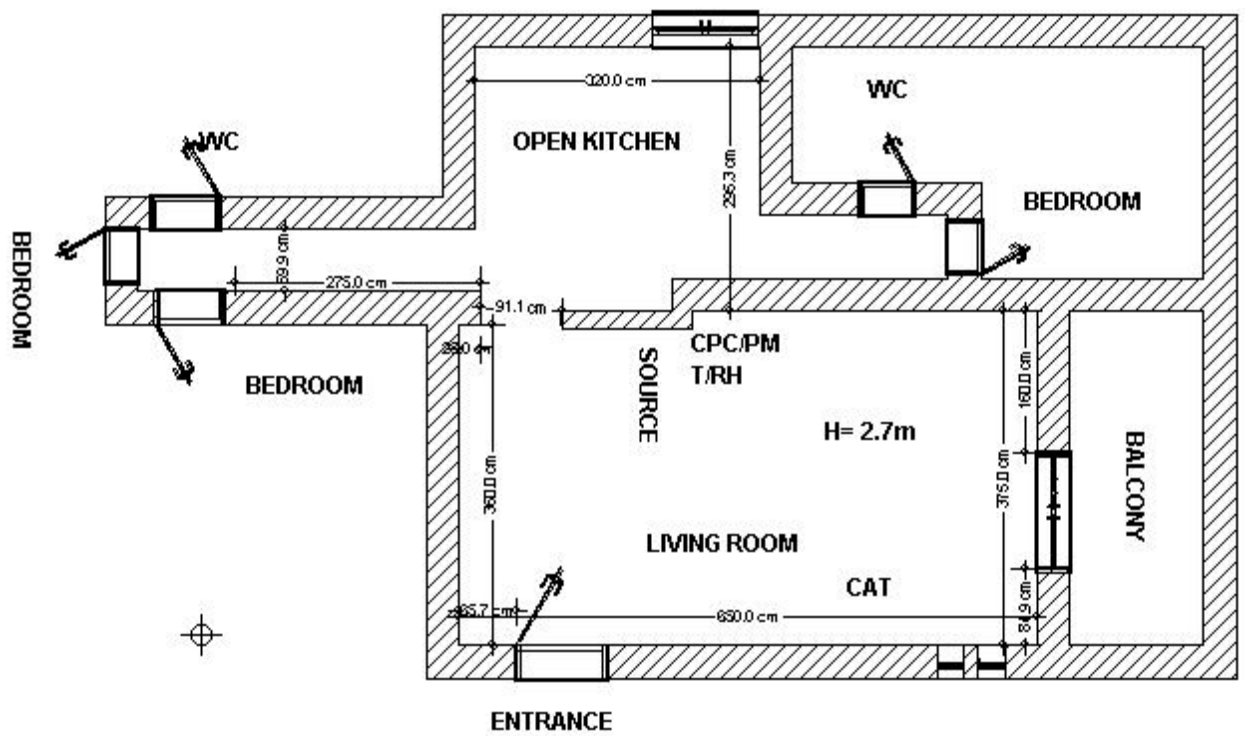
Κατοικία (ID 127)



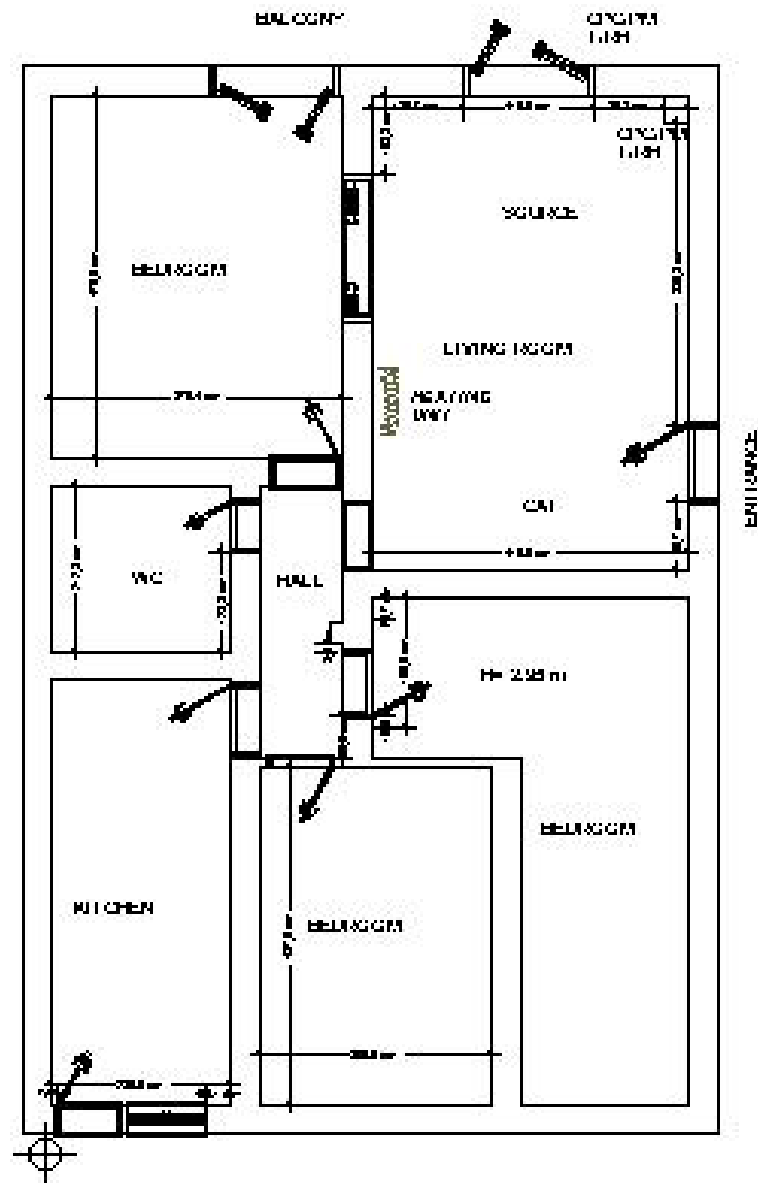
Κατοικία (ID 128)



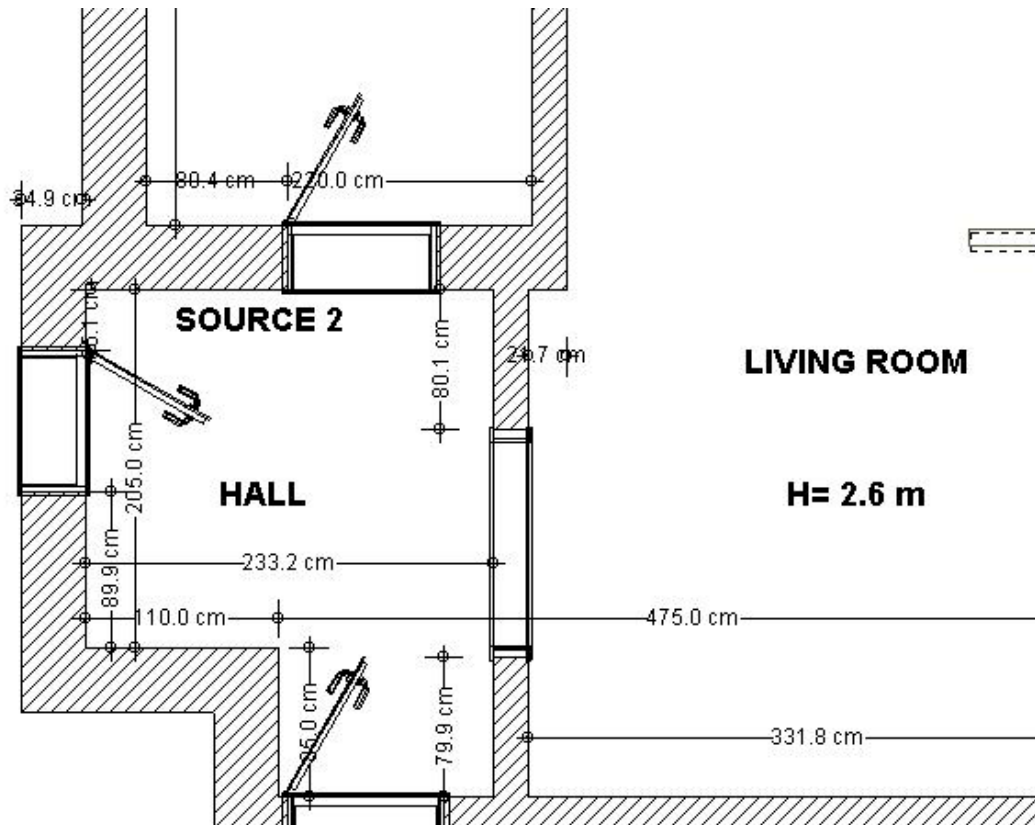
Κατοικία (ID 129)



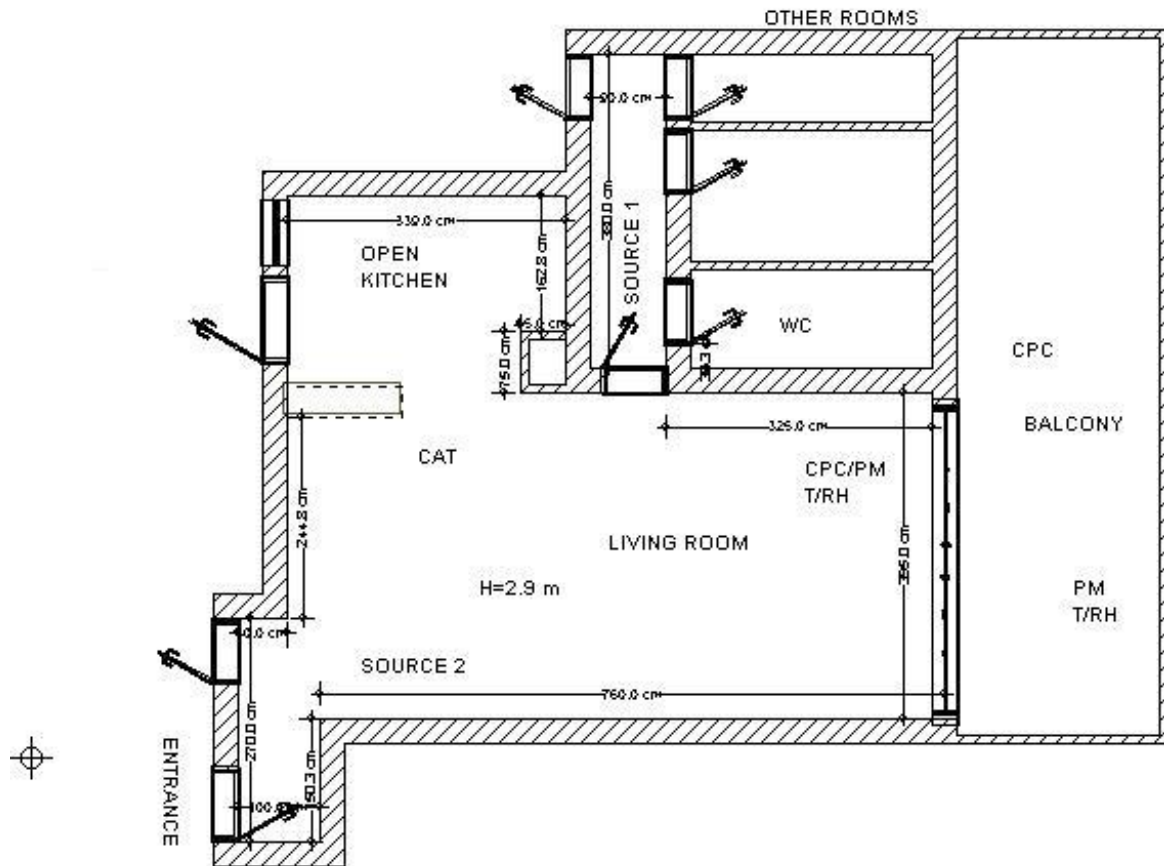
## Κατοικία (ID 130)



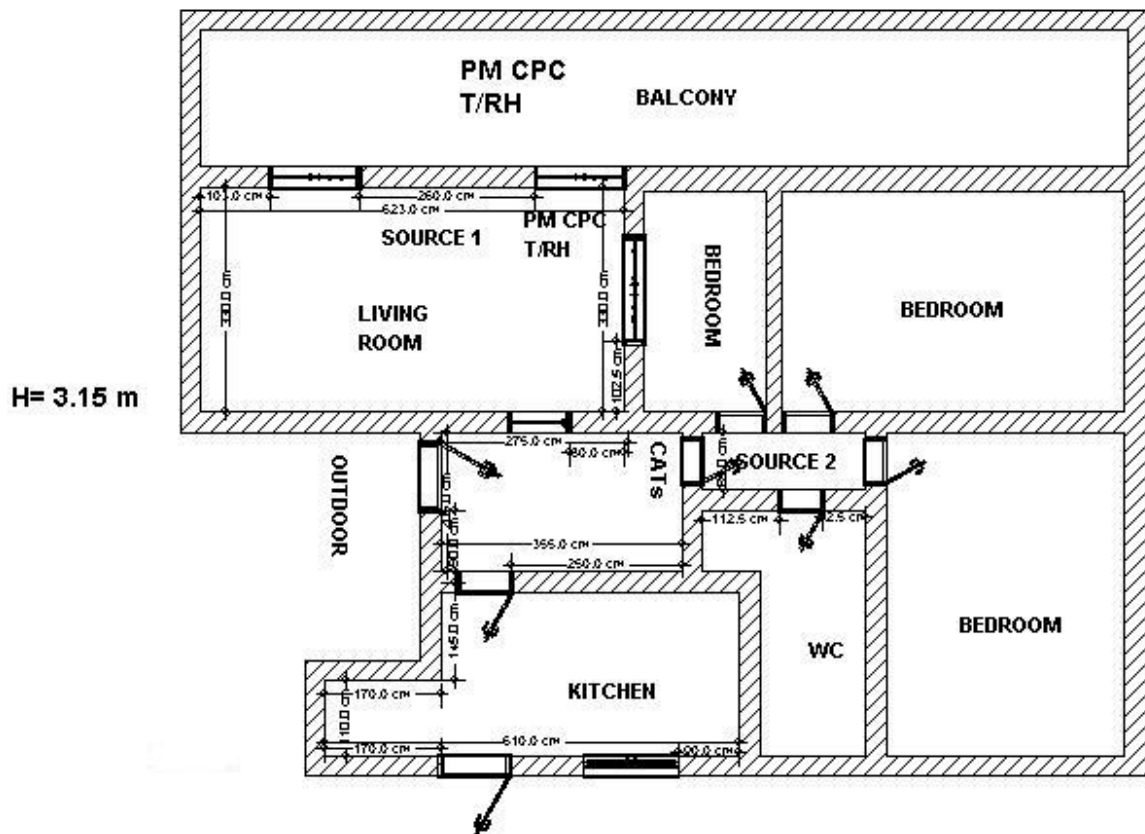
**Κατοικία (ID 131)**



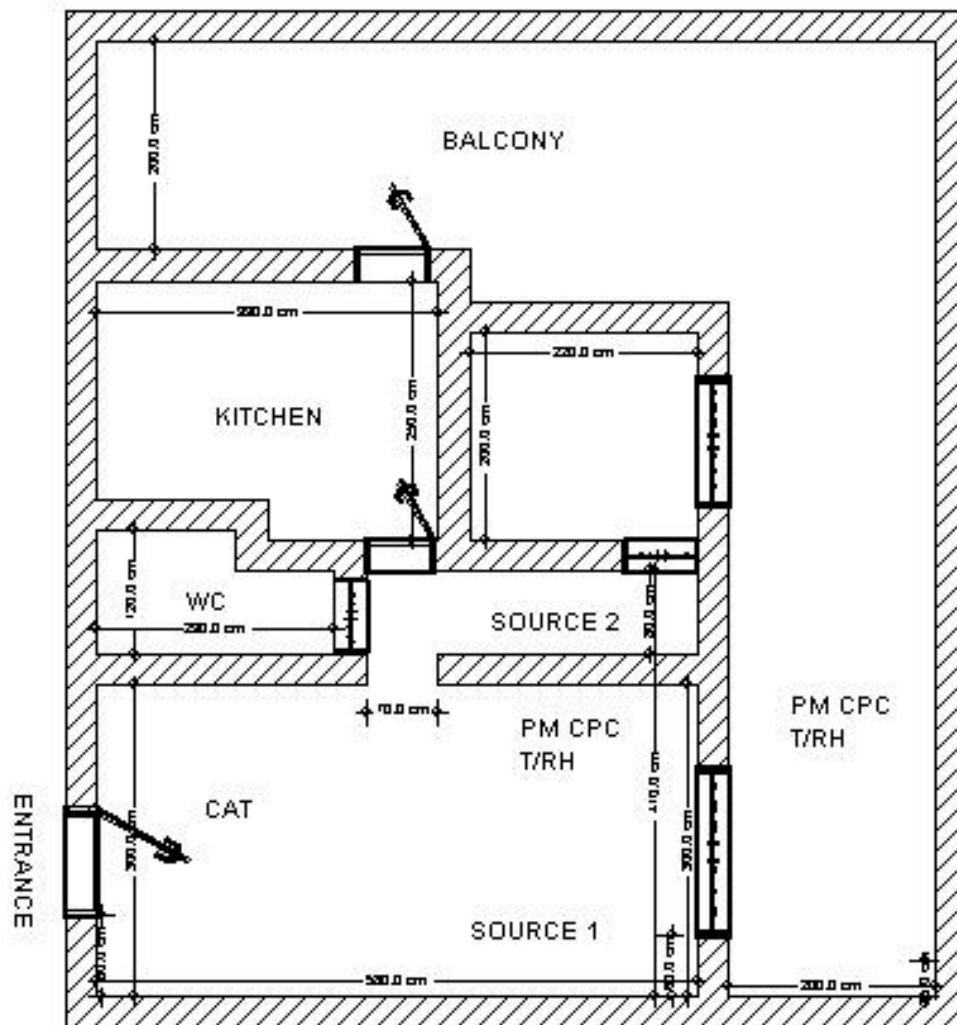
Κατοικία (ID 132)



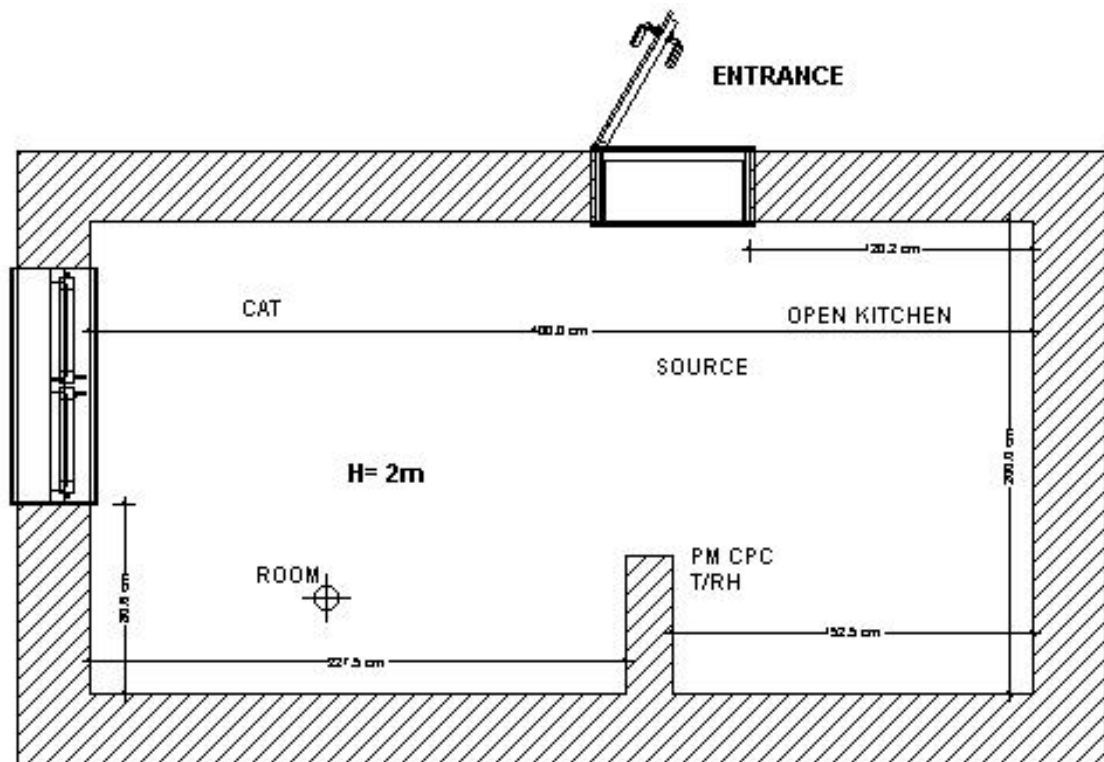
Κατοικία (ID 133)



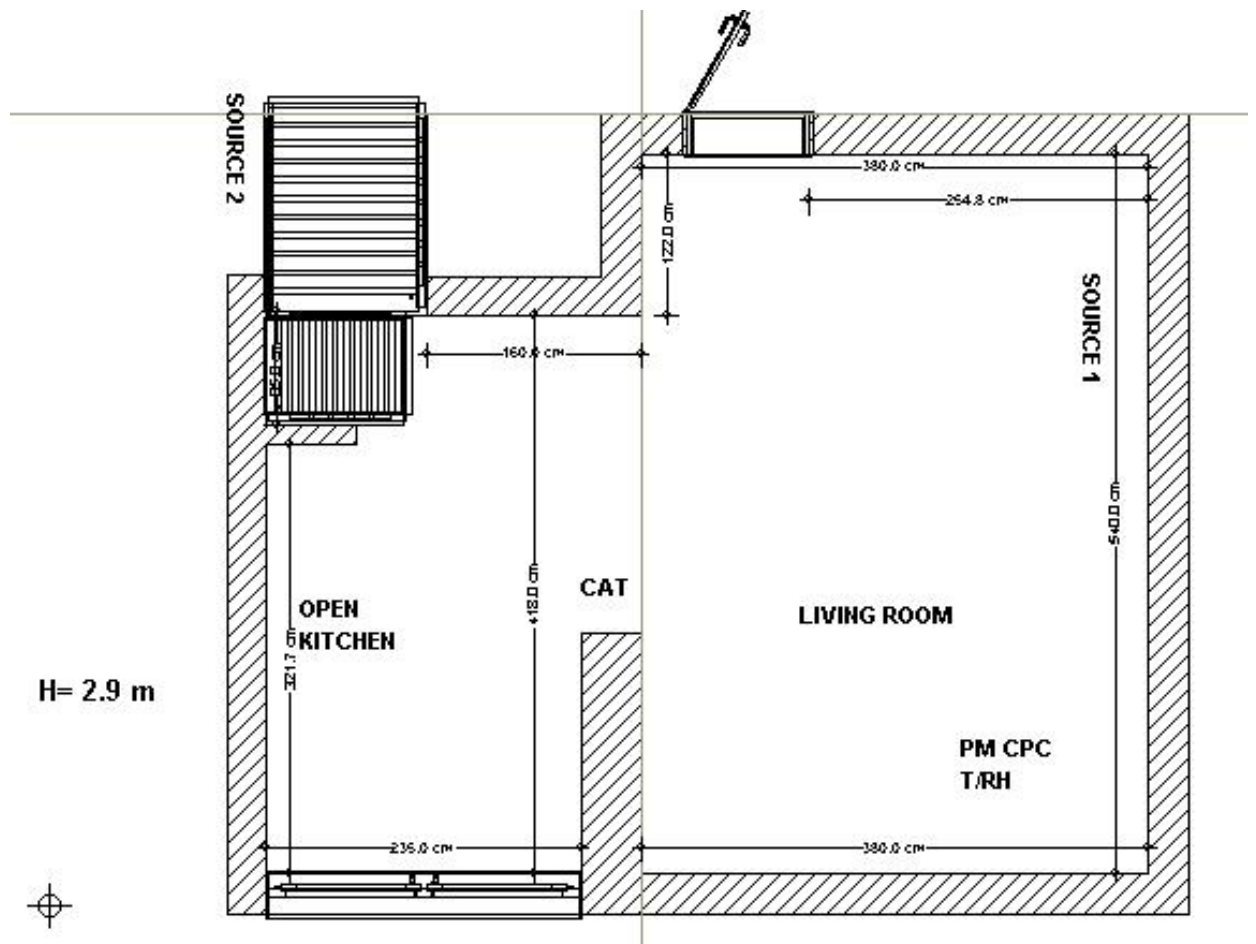
Κατοικία (ID 134)



**Κατοικία (ID 135)**



Κατοικία (ID 136)



Κατοικία (ID 137)

