



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΤΙΡΙΩΝ:  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΖΑΧΑΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

*Eξεταστική Επιτροπή:*

*M. Λαζαρίδης (επιβλέπων) E. Γιδαράκος Θ. Τσούτσος*

XANIA 2010

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη και συμβολή του επιβλέποντα Καθηγητή κ. Λαζαρίδη Μιχαήλ, στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Καθηγητή κ. Λαζαρίδη Μιχάλη για την καθοδήγηση, την συμβολή, την άριστη συνεργασία και τον πολύτιμο χρόνο που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Γιδαράκο Ευάγγελο και κ. Τσούτσο Θεοχάρη, Καθηγητές του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και ιδιαίτερα την αρραβωνιαστικιά μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η ποιότητα αέρα στο εσωτερικό κτιρίων με εφαρμογή στον Ελλαδικό χώρο. Η εξασφάλιση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα εξαρτάται από τους διαφόρους ρύπους που είτε υπάρχουν στο χώρο είτε διεισδύουν σ' αυτόν από το εξωτερικό περιβάλλον. Αντικείμενο της μελέτης θα αποτελέσουν οι ρύποι και οι πηγές προέλευσης τους στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών, εργασίας και εκπαιδευτικών κτιρίων.

Η παρούσα μελέτη αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος αναφέρονται οι ρύποι και ταξινομούνται σε κατηγορίες, ανάλογα με τη σύσταση τους και την επιβάρυνση τους στην ανθρώπινη υγεία. Στο δεύτερο μέρος εξετάζεται αναλυτικά το είδος των ρύπων, η προέλευση τους, καθώς και η συγκέντρωση αυτών, που δύναται να επηρεάσει τη ποιότητα των εσωτερικών χώρων σε μια κατοικία, σε ένα εργασιακό ή εκπαιδευτικό χώρο. Στο τρίτο μέρος καταγράφονται τα συμπεράσματα της παραπάνω διερεύνησης και προτείνονται τρόποι πρόληψης και αντιμετώπισης των προβλημάτων ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στη ποιότητα αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος, αναφέροντας συνοπτικά τις συχνότερες πηγές ρύπων που συναντάται, καθώς και τις παρενέργειες που προκαλούν στον άνθρωπο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται αναλυτικά οι πηγές ρύπανσης αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος, ταξινομώντας τις σε πέντε σημαντικές κατηγορίες : την ρύπανση από φυσικούς παράγοντες, από ραδιενέργεια, τη χημική, τη σωματιδιακή, και τη βιολογική ρύπανση. Επιγραμματικά , στην κατηγορία ρύπανσης από φυσικούς παράγοντες εντάσσονται η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων, στην κατηγορία ρύπανσης από ραδιενέργεια το Ραδόνιο, στη κατηγορία χημικής ρύπανσης τα οξείδια του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου, ο αμίαντος, οι τεχνητές ορυκτές ίνες, η Φορμαλδεΰδη, η νικοτίνη, οι πτητικές οργανικές ενώσεις, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και το όζον. Τέλος, στη κατηγορία της βιολογικής ρύπανσης εντάσσονται οι ιοί , τα βακτήρια και τα αλλεργιογόνα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων σε μορφή διαγραμμάτων σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών σε πόλεις του εξωτερικού, καθώς και μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών σε Ελληνικές πόλεις. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται ειδική αναφορά μέσω διαγραμμάτων στους ρύπους και τις συγκεντρώσεις τους στο εσωτερικό μιας κατοικίας με την κατανάλωση τσιγάρων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται μετρήσεις συγκεντρώσεων πτητικών οργανικών ενώσεων, διοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων σε μορφή διαγραμμάτων στο εσωτερικό εργασιακών χώρων τόσο σε τοπικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Επίσης, μελετάται η επίδραση του μηχανικού συστήματος αερισμού στην ποιότητα αέρα και συγκρίνεται με τη μέθοδο του φυσικού αερισμού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται και αναλύονται τα επίπεδα συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με τα επίπεδα αερισμού στους εσωτερικούς χώρους εκπαιδευτικών κτιρίων πόλεων του εξωτερικού και ελληνικών πόλεων. Τέλος, αναλύονται μετρήσεις συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε εκπαιδευτικά κτίρια στον Ελλαδικό χώρο.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας συνοψίζονται τα γενικά συμπεράσματα και προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος της ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
2. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ .....	8
2.1 Εισαγωγή στις πηγές ρύπανσης αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος.....	8
2.2 Πηγές εσωτερικής ρύπανσης .....	10
2.2.1 Ρύπανση από φυσικούς παράγοντες .....	10
2.2.2 Επιβάρυνση από ραδιενέργεια.....	17
2.2.3 Χημική Ρύπανση .....	21
2.2.4 Σωματιδιακή Ρύπανση .....	32
2.2.5 Βιολογική Ρύπανση .....	37
3.ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ .....	39
3.1 Εισαγωγή .....	39
3.2 Μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού αέρα σε παγκόσμιο επίπεδο.....	40
3.3 Μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού αέρα στην Ελλάδα.....	43
3.4 Επιβάρυνση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα λόγω του καπνίσματος.....	48
3.5 Διακύμανση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα λόγω του αερισμού.....	55
3.6 Συμπεράσματα .....	56
4. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ .....	59
4.1 Εισαγωγή .....	59
4.2 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εργασιακούς χώρους σε παγκόσμιο επίπεδο..	60
4.3 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εργασιακούς χώρους στην Ελλάδα .....	63

4.4 Επίδραση του μηχανικού συστήματος αερισμού στην ποιότητα εσωτερικού αέρα εργασιακών χώρων καθώς και στην ανθρώπινη υγεία .....	71
4.5 Συμπεράσματα .....	77
<b>5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ.....</b>	<b>80</b>
5.1 Εισαγωγή .....	80
5.2 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εκπαιδευτικά κτίρια σε παγκόσμιο επίπεδο ...	83
5.4 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εκπαιδευτικά κτίρια στην Ελλάδα .....	86
5.5 Συμπεράσματα .....	89
<b>6. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ.....</b>	<b>91</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>97</b>

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

<b>Σχήμα1.1</b> Επίπεδα της μετρηθείσας συγκέντρωσης των PM2.5 ή PM3 σε ελληνικές κατοικίες. Πηγή: Μ. Σανταμούρης και Μ. Παπαγλάστρα: Ρύπανση Εσωτερικών Χωρών, 2007.....	2
<b>Σχήμα2.1</b> Σχηματική παρουσίαση των διαφόρων πηγών ρύπανσης μέσα σε ένα κτίριο ΠΗΓΗ:ASHRAE,2000.....	11
<b>Σχήμα 2.2</b> Χωρισμός των επαρχιών του Πουέρτο Ρίκο ανάλογα με τα επίπεδα του ραδονίου.....	18
<b>Σχήμα 2.3</b> Κατανομή της συγκέντρωσης Ραδονίου ( $Bq/m^3$ )σε σπίτια σε διάφορες χώρες στον κόσμο ΠΗΓΗ: Cohen,1993 .....	20
<b>Σχήμα 2.4</b> Επιπτώσεις στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα σε ανalogία με την ποσότητα του $CO_2$ ( $\mu g/m^3$ ) .....	21
<b>Σχήμα 2.5</b> Εξάρτηση της HbCO στο αίμα από τη διάρκεια εκθέσεως στο CO στον αέρα (Wolf, 1971).....	23
<b>Σχήμα 2.6</b> Συσχέτιση της διάρκειας του χρόνου ετοιμότητας με τη συγκέντρωση του CO Πηγή: US = EPA, 1970 .....	24
<b>Σχήμα 2.7</b> Απεικόνιση της διείσδυση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα. ΠΗΓΗ: Kuimtzi, Fitianou, Samara, Konstantinou, 1998 .....	35
<b>Σχήμα 3.1</b> Συγκεντρώσεις PM10 στον εξωτερικό αέρα διάφορων πόλεων.....	40
<b>Σχήμα 3.2</b> Συγκέντρωση PM10 σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών στο Πεκίνο και στο Ν. Δελχί.....	41
<b>Σχήμα 3.3</b> Συγκέντρωση PM2,5 σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις .....	42
<b>Σχήμα 3.4</b> Μετρηθείσες συγκεντρώσεις PM10 σε εσωτερικούς χώρους 11 κατοικιών στην Αθήνα (1-11) και 2 κατοικιών στην Θεσσαλονίκη (12-13). ....	43
<b>Σχήμα 3.5</b> Συγκέντρωση PM2,5 σε εσωτερικούς χώρους σε διάφορες περιοχές της Αθήνας .....	45
<b>Σχήμα 3.6</b> Συγκέντρωση CO σε 50 κατοικίες στην Αθήνα. ....	46

<b>Σχήμα 3.7</b> Συγκέντρωση CO <sub>2</sub> σε 50 κατοικίες στην Αθήνα.....	47
<b>Σχήμα 3.8</b> Κάτοψη διαμερίσματος και θέση των αισθητήρων . ΠΗΓΗ:C.H. Halios et al.,2005.....	49
<b>Σχήμα 3.9</b> Διάγραμμα εσωτερικών και εξωτερικών μετρήσεων NO σε συνδυασμό με την κατανάλωση τσιγάρων . ΠΗΓΗ: C.H. Halios et al. (2005).....	50
<b>Σχήμα 3.10</b> Διάγραμμα εσωτερικών και εξωτερικών μετρήσεων O3 σε συνδυασμό με την κατανάλωση τσιγάρων . ΠΗΓΗ: C.H. Halios et al. (2005).....	51
<b>Σχήμα 3.11</b> Διαγράμματα εξάρτησης TVOCs και CO <sub>2</sub> σε συνάρτηση με το χρόνο. Το TVOCs αναπαρίσταται με τα τρίγωνα και το CO <sub>2</sub> με τους ρόμβους ΠΗΓΗ:C.H. Halios et al.,2005.....	52
<b>Σχήμα 3.12</b> Μεταβολή της συγκέντρωσης PM10 σε συνάρτηση με την ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων σε 50 κατοικίες στην Ελλάδα .....	53
<b>Σχήμα 3.13</b> Μεταβολή της συγκέντρωσης PM2,5 σε συνάρτηση με την ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων σε 50 κατοικίες στην Ελλάδα. ....	54
<b>Σχήμα 3.14</b> Συγκέντρωση PM10 σε συνάρτηση με τα επίπεδα αερισμού 50 κατοικιών .....	55
<b>Σχήμα 3.15</b> Συγκέντρωση PM2.5 σε συνάρτηση με τα επίπεδα αερισμού των κατοικιών .....	56
<b>Σχήμα 4.1</b> Μετρήσεις συγκέντρωσης TVOC σε εργασιακούς χώρους διάφορων χωρών.....	60
<b>Σχήμα 4.2</b> Μετρήσεις μέσης συγκέντρωσης CO <sub>2</sub> σε εργασιακούς χώρους στην Κορέα και το Λονδίνο .....	61
<b>Σχήμα 4.3</b> Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2.5 σε διάφορες πόλεις .....	62
<b>Σχήμα 4.4</b> Συγκέντρωση CO <sub>2</sub> (ppm) στο εσωτερικό εργασιακών χώρων στην Ελλάδα με φυσικό αερισμό .....	64
<b>Σχήμα 4.5</b> Συγκέντρωση CO <sub>2</sub> (ppm) στο εσωτερικό εργασιακών χώρων στην Ελλάδα με μηχανικό αερισμό.....	65

<b>Σχήμα 4.6</b> Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2.5 και PM10 σε κτίρια γραφείων στην περιοχή της Αττικής.....	67
<b>Σχήμα 4.7</b> Συγκεντρώσεις TVOC σε κτίρια γραφείων στην περιοχή της Αττικής.....	69
<b>Σχήμα 5.1</b> Ρυθμός αερισμού σε διάφορα εκπαιδευτικά κτίρια στην περιοχή των ΗΠΑ και της ευρωπαϊκής ένωσης. ΠΗΓΗ: Amanatidis & Tzikas, 2002.....	83
<b>Σχήμα 5.2</b> Ιστόγραμμα συγκέντρωσης CO <sub>2</sub> (ppm) σε εκπαιδευτικά κτίρια των ΗΠΑ και του Καναδά. ΠΗΓΗ: Amanatidis & Tzikas, 2002.....	85
<b>Σχήμα 5.3</b> Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε εκπαιδευτικά κτίρια στην Ελλάδα. .....	87

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1.1 Ποσοστό εμφάνισης συμπτωμάτων σε κτίρια με επιβεβαρυμμένο περιβάλλον από αέριους ρύπους.....	4
Πίνακας 1.2 Συχνότητα Παρουσίασης Προβλήματος Εσωτερικής Ποιότητας Αέρα ...	5
Πίνακας 2.1 Θερμοκρασία άνεσης σε σχέση με την εργασία.....	13
Πίνακας 2.2 Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους ΠΗΓΗ: ΤΕΕ,1986 .....	14
Πίνακας 2.3 Προτεινόμενες τιμές αερισμού για διάφορους χώρους.....	16
Πίνακας 2.4 Αεροδυναμική διάμετρος και χρόνος καθόδου διαφόρων σωματιδίων ..	36
Πίνακας 4.1 Απαραίτητος αέρας ανά είδος εργασίας.....	72
Πίνακας 4.2 Συμπτώματα σε κτίρια γραφείων και σε δημαρχεία με φυσικό και τεχνικό αερισμό .....	74

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνθρωπος σχεδιάζει και ρυθμίζει τα κτίρια, και αυτά στη συνέχεια ρυθμίζουν τη ζωή του είχε πει πολύ ορθά σε μια ομιλία του ο Βρετανός πρωθυπουργός Winston Churchill πάνω από μισό αιώνα πριν. Τα κτίρια προσφέρουν στέγη και ιδιώτευση στους ανθρώπους και ρυθμίζουν την ποιότητα της ζωής τους καθώς σε αυτά περνάει το 87% του χρόνου του. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 άρχισε να αναφέρεται το πρόβλημα της εσωτερικής ατμοσφαιρικής Ρύπανσης μετά από παράπονα των ενοίκων. Οι πρώτες σοβαρές μελέτες ξεκίνησαν δέκα χρόνια αργότερα. Το επιστημονικό ενδιαφέρον και ο προσδιορισμός αυτής ως σημαντικού παράγοντα για τη δημόσια υγεία εντάθηκαν κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριάντα ετών.

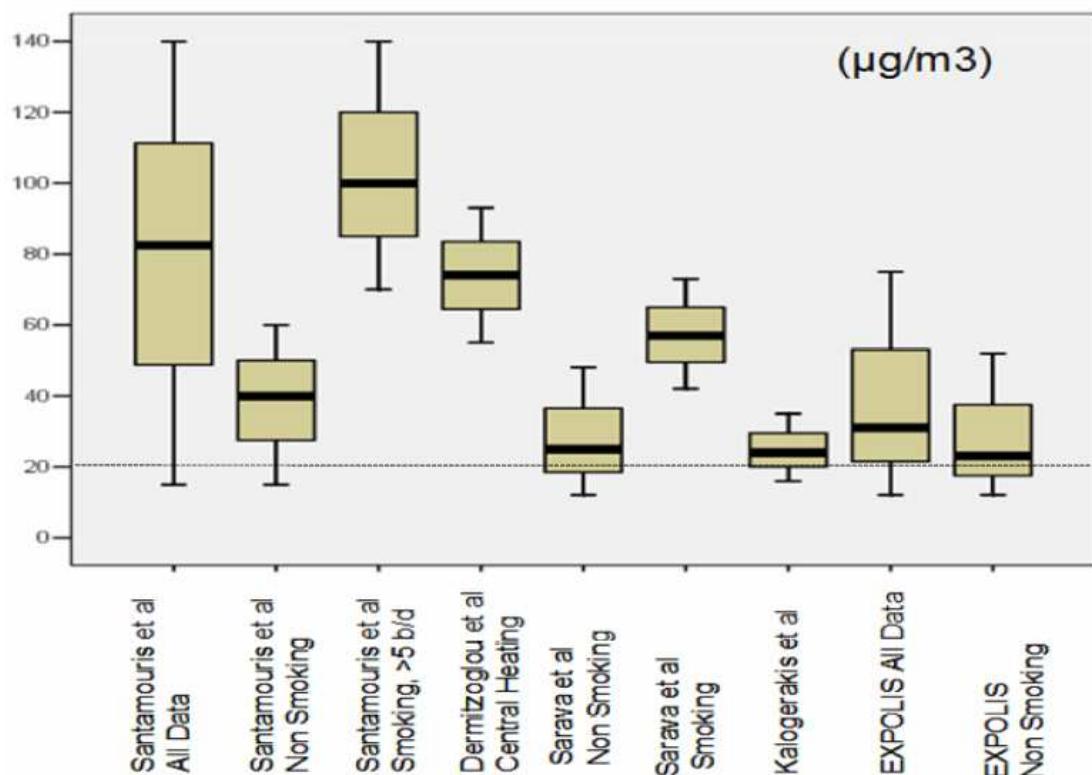
Η μελέτη της ποιότητας του εσωτερικού αέρα είναι πολύ σημαντική διότι η ρύπανση της εσωτερικής ατμόσφαιρας μπορεί να είναι και 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν στο εξωτερικό περιβάλλον, αυτό συμβαίνει γιατί οι ρύποι εγκλωβίζονται στο εσωτερικό του κτιρίου καθώς και γιατί ο όγκος του αέρα είναι μικρός όπου περιέχονται οι ρύποι, με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο εσωτερικό των κτιρίων.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής οι Βιομηχανικές εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι 25 φορές μεγαλύτερη από αυτές του καπνίσματος, διαπιστώθηκε ότι η μείωση κατά 2% του καπνίσματος σε εσωτερικούς χώρους θα είχε την ίδια θετική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία όσο το κλείσιμο όλων των εργοστασίων, ως προς τη μέση έκθεση του πληθυσμού σε αιωρούμενα σωματίδια. Βέβαια η παραπάνω διαπίστωση είναι πολύ απλουστευμένη επειδή αναφέρεται μόνο στον πληθυσμό των καπνιστών και σε σχέση με την έκθεση τους σε αιωρούμενα σωματίδια και χωρίς να εξετάζει τη χημική τους σύσταση και την τοξικότητα τους (Lazaridis et al, 2007).

Είναι χαρακτηριστικό ότι η συγκέντρωση των επικίνδυνων σωματιδίων PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>3</sub> στις ελληνικές κατοικίες ξεπερνά έως και επτά φορές το θεωρητικό όριο των 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  λόγω κυρίως του καπνίσματος και των μη κατάλληλων συνθηκών αερισμού ( Σχήμα 1.1 ). Ακόμα, σε βιομηχανικά κτίρια η εσωτερική ρύπανση φθάνει έως και τα όρια της τοξικότητας. Όπως διαπιστώνεται το όλο πρόβλημα είναι

εξαιρετικά σημαντικό και οι διαπιστωμένες υψηλές συγκεντρώσεις θέτουν σε άμεσο κίνδυνο την υγεία των εργαζομένων και ασθενών.

Παρόμοια προβλήματα εντοπίζονται σε όλους σχεδόν τους τύπους των κτιρίων στην Ελλάδα. Η παντελής έλλειψη προδιαγραφών όσον αφορά τα υλικά, τα συστήματα και τον αερισμό καταδικάζουν μεγάλο μέρος των Ελλήνων να διαβιώνουν σε απαράδεκτες περιβαλλοντικές συνθήκες.



**Σχήμα 1.1 Επίπεδα της μετρηθείσας συγκέντρωσης των PM2.5 ή PM3 σε ελληνικές κατοικίες. Πηγή: Μ. Σανταμούρης και Μ. Παπαγλάστρα: Ρύπανση Εσωτερικών Χωρών, 2007**

Τα κυριότερα συμπτώματα της μειωμένης ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος που εμφανίζουν οι ένοικοι είναι (Elinyae, 2007):

- Η δύσπνοια
- Ο ξηρός βήχας
- Ο πονόλαιμος
- Το βράχνιασμα
- Η ρινόρροια
- Η δακρύρροια
- Το φτάρνισμα

- Ο ερεθισμός του δέρματος (εξανθήματα)
- Οι πονοκέφαλοι
- Οι ζαλάδες
- Η ναυτία
- Η πνευματική κόπωση και σύγχυση
- Η σωματική κόπωση
- Ο λήθαργος
- Οι πεπτικές διαταραχές

Βέβαια η μακροπρόθεσμη παραμονή προκαλεί λοιμώξεις όπως (Elinyae,2007):

- Ρινίτιδες (αλλεργικές ή μη αλλεργικές)
- Ιγμορίτιδες
- Ωτίτιδες
- Επιπεφυκίτιδες
- Πνευμονίες
- Δερματίτιδες (εκζέματα)
- Παθήσεις του πεπτικού συστήματος

Και άλλες ασθένειες όπως:

- Νεοπλασίες
- Παθήσεις του ήπατος
- Παθήσεις των νεφρών
- Παθήσεις του κεντρικού νευρικού συστήματος

Μετά από καταγραφές σε 365 δημόσια κτίρια στις ΗΠΑ (Ashrae, Ενημερωτικό Φυλλάδιο 2/2000), στα οποία είχαν παρουσιαστεί συμπτώματα αδιαθεσίας, τα πλέον διαδεδομένα συμπτώματα και το ποσοστό εμφάνισης τους παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1.

Συμπτώματα	(%) Κτιρίων
Ερεθισμός στα μάτια	81
Ξερός λαιμός	71
Πονοκέφαλος	67
Ασυνήθιστη κούραση	53
Προβλήματα αναπνοής	51
Ερεθισμός στο δέρμα	38
Δύσπνοια	33
Βήχας	24
Ζαλάδες	22
Υπνηλία	15

**Πίνακας 1.1 Ποσοστό εμφάνισης συμπτωμάτων σε κτίρια με επιβεβαρυμμένο περιβάλλον από αέριους ρύπους**

Οι πιθανές αιτίες για τα προβλήματα υγείας που παρατηρούνται στα κτίρια παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2 (Ashrae, Ενημερωτικό Φυλλάδιο 2/2000). Οι διάφοροι τύποι προβλημάτων συνοψίζονται σε τρεις κατηγορίες :

- 1) μικροβιακή μόλυνση
- 2) χημική μόλυνση και
- 3) ακατάλληλος αερισμός.

Τη μεγαλύτερη ευθύνη για τη μόλυνση του εσωτερικού αέρα την έχουν οι δύο τελευταίες κατηγορίες.

Τύπος Προβλήματος	(%) Κτιρίων
Χημική μόλυνση από δομικά υλικά	4
Μικροβιακή μόλυνση	5
Εξωτερική μόλυνση	11
Εσωτερική μόλυνση	19
Ανεπαρκής αερισμός	50
Άγνωστος	11

## Πίνακας 1.2 Συχνότητα Παρουσίασης Προβλήματος Εσωτερικής Ποιότητας Αέρα

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες :

- Την ποιότητα του εξωτερικού αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί η ποιότητα αέρα σε έναν εσωτερικό χώρο μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τις μεταβολές στη σύσταση του εξωτερικού αέρα και με ρυθμό ανταπόκρισης, ο οποίος εξαρτάται από τη διαπερατότητα της δομής του κτιρίου και την φύση των ρύπων.
- Την εσωτερική παραγωγή ρύπων, όπου οι κύριες εσωτερικές πηγές ρύπων είναι : τα δομικά υλικά, τα χρώματα, τα έπιπλα και τα λοιπά υλικά που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Οι δραστηριότητες των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους όπως : η χρήση κουζίνας αερίου, το μαγείρεμα, ο καθαρισμός του χώρου, το κάπνισμα, η χρήση καταναλωτικών προϊόντων και ακόμη η ίδια η παρουσία των ατόμων.

Από πειραματικές μελέτες προκύπτει ότι οι ρύποι από εξωτερικές πηγές φτάνουν στο εσωτερικό περιβάλλον με κάποια χρονική καθυστέρηση, η οποία εξαρτάται από το ρυθμό ανταλλαγής του εσωτερικού με τον εξωτερικό αέρα. Επίσης τα σωματίδια που εισέρχονται πιο εύκολα μέσα στο σπίτι είναι τα σωματίδια που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη ή ίση με 2,5μμ, τα οποία είναι πιο επικίνδυνα για την υγεία γιατί εισχωρούν πιο βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα (Lazaridis et al, 2007).

Μια διαπίστωση που κάναμε είναι ότι όσο και αν αερίσουμε με φυσικό τρόπο δεν μπορούμε να έχουμε μικρότερες τιμές των ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον απ' ότι το εξωτερικό.

Σημαντικό είναι να κατανοήσουμε ότι πολλοί ρύποι παραμένουν στον εσωτερικό χώρο για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την εκπομπή τους. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι τα χαλάκια καθαρισμού των ποδιών μπροστά από τις πόρτες των σπιτιών μας.

Ο έλεγχος της συγκέντρωσης των αέριων ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων επιτυγχάνεται με δυο βασικές στρατηγικές, οι οποίες ιεραρχικά είναι οι εξής: α) η απομάκρυνση των πηγών εκπομπών ρύπων από τον εσωτερικό χώρο και β) ο αερισμός. Ο αερισμός μπορεί να γίνει είτε απλά με το άνοιγμα των παραθύρων είτε με τη βοήθεια συσκευών κλιματισμού. Πολλές φορές, όμως, η εφαρμογή της πρώτης στρατηγικής είναι ανέφικτη, διότι οι πηγές εκπομπών ρύπων είτε δεν μπορούν να απομακρυνθούν είτε δεν είναι σταθερές σε έναν χώρο, όπως για παράδειγμα είναι οι ένοικοι των κτιρίων. Επομένως, ο αερισμός αποτελεί πολύ συχνά το μοναδικό εφαρμόσιμο τρόπο αντιμετώπισης της ρύπανσης του εσωτερικού αέρα. Πράγματι, ο αερισμός είναι αναγκαίος καθώς συμβάλλει στη διατήρηση ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα μέσω των μηχανισμών διάλυσης και απομάκρυνσης των ρύπων. Ενώ, λοιπόν, η θέρμανση και ο κλιματισμός αποτελούν δύο σχετικά απλές λειτουργίες, ο αερισμός περιλαμβάνει πιο περίπλοκες διαδικασίες (η είσοδος του αέρα του περιβάλλοντος, ο κλιματισμός και ανάμιξη του αέρα του περιβάλλοντος με ένα μέρος του εσωτερικού αέρα, η διανομή του αναμεμιγμένου αέρα σε κάθε σημείο του κτιρίου και η εξαγωγή μέρους του εσωτερικού αέρα στο περιβάλλον), οι οποίες είναι και οι σημαντικότερες στον καθορισμό της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα χειροτερεύει, όταν μία ή περισσότερες από τις παραπάνω διαδικασίες είναι ανεπαρκείς.

Ο φυσικός αερισμός συχνά δεν επαρκεί με αποτέλεσμα να προσφεύγουμε στο μηχανικό αερισμό, για παράδειγμα με συσκευές κλιματισμού. Έτσι οδηγούμαστε στην ανάπτυξη εναλλακτικών συστημάτων θέρμανσης ψύξης και αερισμού και διαχείρισης τους αλλά και με επιπτώσεις στον εσωτερικό αέρα από μια σειρά προβλημάτων που δημιουργούνται, αν δεν υπάρξει σωστός σχεδιασμός και η προβλεπόμενη συντήρηση τους.

Η ενεργειακή κρίση τη δεκαετία του 1970 αποτέλεσε το έναυσμα για μια στροφή προς ενεργειακά περισσότερο αποδοτικές επιλογές κατά το σχεδιασμό των κτιρίων. Αρχικά θεωρήθηκε εύλογη η μείωση του ρυθμού εναλλαγών αέρα λόγω του υψηλού κόστους κλιματισμού. Ο αερισμός βασίστηκε πλέον στη μηχανική ανακύκλωση του αέρα, οι ρωγμές και οι διαρροές στο κέλυφος των κτιρίων καλύφθηκαν και πρόσθετα μονώθηκαν οι τοίχοι και οι οροφές. Η παραπάνω τακτική αρχίζει να αλλάζει, παρόλο που υπήρξε αισθητή μείωση της ενέργειας, γιατί γίνεται αντιληπτό ότι συχνά η αλόγιστη υιοθέτηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας οδηγεί, σε συνδυασμό βέβαια και με άλλους παράγοντες, στη δημιουργία ενός υποβαθμισμένου εσωτερικού περιβάλλοντος, ενός εσωτερικού περιβάλλοντος το οποίο χαρακτηρίζεται από έλλειψη συνθηκών θερμικής άνεσης και από τη μειωμένη ποιότητα εσωτερικού αέρα και συνδέεται με την εμφάνιση διαφόρων συμπτωμάτων και παραπόνων της υγείας των ενοίκων.

Η βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί εφαρμόζοντας κάποιες τυποποιημένες διαδικασίες. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν τακτικούς ελέγχους της λειτουργίας του κτιρίου, τήρηση αρχείων με όλα τα προβλήματα που εγείρονται και διεξαγωγή χημικών μετρήσεων. Σε περιπτώσεις όπου προσδιορίζεται κάποιο πρόβλημα, απαιτείται η εφαρμογή των κατάλληλων διορθωτικών μέτρων.

Οι επιστήμονες έχουν παρουσιάσει προτάσεις τεχνικής αλλά και νομοθετικής μορφής για την επίλυση του προβλήματος και παράλληλα εισηγήθηκαν τη σήμανση των υλικών και προϊόντων που χρησιμοποιούνται στα κτίρια, έτσι ώστε να μπορεί ο πολίτης να είναι ενημερωμένος για τη ρύπανση που προκαλείται από αυτά, καθώς και να έχει τη δυνατότητα επιλογής των πλέον κατάλληλων.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάδειξη των προβλημάτων ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων στον Ελλαδικό χώρο και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τον υπόλοιπο κόσμο. Αντλώντας πληροφορίες από έρευνες που έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα στην Ελληνική και Διεθνή βιβλιογραφία συγκρίνονται οι τιμές για διάφορους τύπους κτιρίων όπως για κτίρια κατοικίας, κτίρια γραφείων και εκπαιδευτικά κτίρια. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η υπάρχουσα κατάσταση όσον αφορά τους βασικούς ρύπους που εντοπίζονται στο εσωτερικό των κτιρίων και πιο συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια (PM10, PM2,5 και PM1), το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα, τα επίπεδα Φορμαλδεΰδης καθώς

και τις οργανικές πτητικές ενώσεις. Έπειτα γίνεται ανάλυση των πηγών ρύπανσης για κάθε τύπο κτιρίου καθώς και για κάθε ένα από τους παραπάνω ρυπαντές και συγκρίνονται σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου καθώς και με τον τύπο αερισμού του κτιρίου (φυσικό ή μηχανικό) και τον χρόνο αερισμού του.

## 2. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### 2.1 Εισαγωγή στις πηγές ρύπανσης αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος

Η ρύπανση του εξωτερικού αέρα είναι ένα αρκετά γνωστό θέμα που απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα εδώ και πολλά χρόνια (φωτοχημικό νέφος, φαινόμενο του θερμοκηπίου, όξινη βροχή, τρύπα του όζοντος κ.α.) και έχουν γίνει αρκετές έρευνες πάνω στο θέμα αυτό. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως και με την αλλαγή του τρόπου ζωής μας παρατηρήθηκε ότι η ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους δεν είναι πάντα η καλύτερη. Οι περισσότεροι εσωτερικοί ρύποι προέρχονται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον είτε παράγονται μέσα στο ίδιο το κτίριο.

Η ποιότητα του εξωτερικού αέρα, που επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την θέση και τον τύπο του κτιρίου (πχ υψηλοί ρύποι σε αστικές περιοχές). Ιδιαίτερα σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια, οι εξωτερικοί ρύποι εύκολα μπορούν να διεισδύσουν μέσα στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η επιβάρυνση του εσωτερικού αέρα κτιρίων με ρύπους από το εξωτερικό περιβάλλον μπορεί να είναι σημαντική σε ορισμένες περιπτώσεις. Ωστόσο ο εσωτερικός αέρας μπορεί να είναι μέχρι και εκατό φορές περισσότερο μολυσμένος από τον εξωτερικό αέρα (Whitley, 1994). Σε διάφορες έρευνες, ο ανεπαρκής αερισμός αποδείχθηκε ότι είναι η βασική αιτία για τα προβλήματα των αρρώστων κτιρίων, καθώς βρέθηκε υπεύθυνος στο 50% περίπου των κτιρίων που ερευνήθηκαν.

Τα προβλήματα αερισμού συνήθως περιλαμβάνουν :

- ανεπαρκή κυκλοφορία καθαρού εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου,
- περιορισμένη ανάμιξη αέρα,
- ακραίες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας ή διακύμανσή τους,

- προβλήματα φιλτραρίσματος του αέρα, που οφείλονται σε ακατάλληλη ή ανεπαρκή συντήρηση των εγκαταστάσεων.

Οι συγκεντρώσεις σωματιδίων στον αέρα μετρούνται σε αριθμό ανά μονάδα όγκου. Για παράδειγμα, ένα κυβικό εκατοστό αέρα ενός τυπικού γραφείου περιέχει 3000 σωματίδια. Οι συγκεντρώσεις χημικών αέριων ρύπων που έχουν σχέση με την ποιότητα του αέρα, εκφράζονται σε σωματίδια ανά δισεκατομμύριο (parts per billion-ppb) ή ανά εκατομμύριο (parts per million-pmm). Το ένα ppb σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος ρύπος αντιπροσωπεύει μόνο το  $1 \cdot 10^{-12}$  του αέρα. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι εξαιρετικά μικρές, αλλά ακόμη και σε αυτά τα επίπεδα συγκεντρώσεων, ένα κυβικό εκατοστό του αέρα περιέχει  $2 \cdot 10^{10}$  μόρια. Το πολύ χαμηλό βάρος ενός μορίου, σχεδόν  $10^{10}$  φορές μικρότερο από ένα 1 μμ σωματίδιο σκόνης, επιτρέπει την μοριακή διάχυση σε ρυθμούς πάρα πολύ μεγαλύτερους από αυτές των σωματιδίων (Joffe, 1996). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ακόμα και τοπικές πηγές αέριων ρύπων να μολύνουν σε μικρό χρονικό διάστημα ένα τεράστιο όγκο αέρα.

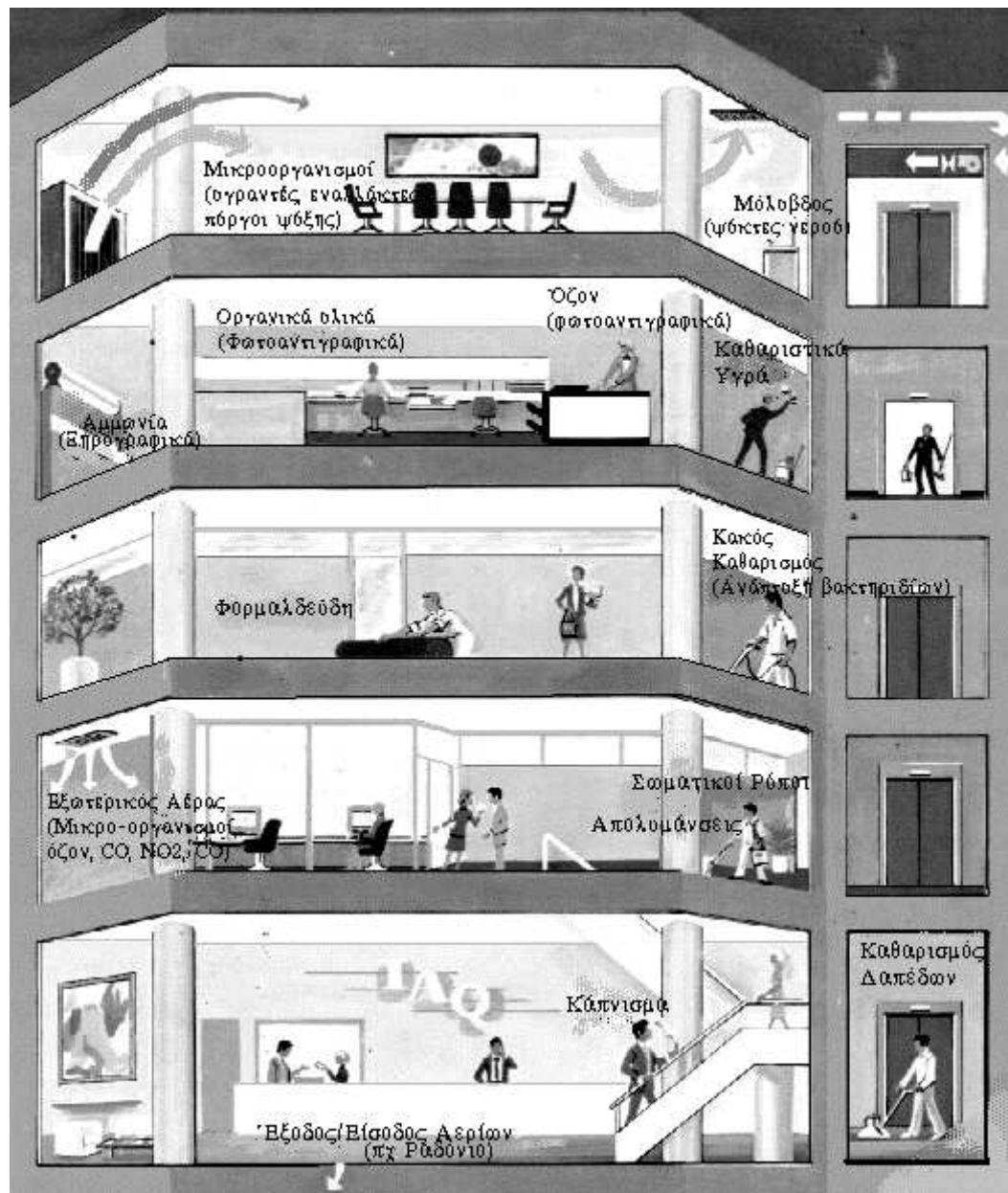
Για να περιγραφούν οι πηγές εσωτερικών ρύπων και η μόλυνση του εσωτερικού αέρα, όπως την αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος, ορίστηκαν δυο νέες μονάδες από τον Fanger, το olf και το decipol, αντίστοιχα. Το ένα olf είναι ο ρυθμός παραγωγής ρύπων από ένα άτομο αναφοράς, μέσα σε ένα χώρο. Όλες οι άλλες πηγές ρύπων εκφράζονται με την αντίστοιχη δύναμη της πηγής του ρύπου, η οποία ορίζεται σαν τον αριθμό των ατόμων αναφοράς (olfs) που χρειάζονται ώστε να προξενήσουν τα ίδια επίπεδα δυσαρέσκειας όπως ακριβώς και η συγκεκριμένη πηγή ρύπου. Για παράδειγμα, ένας μέσος καπνιστής παράγει 6 olf. Το ένα decipol (dp) είναι η επιβάρυνση του αέρα που προκαλείται από ένα άτομο αναφοράς (ένα olf) μέσα σε ένα χώρο ο οποίος αερίζεται με 10 l/s καθαρού αέρα.

## 2.2 Πηγές εσωτερικής ρύπανσης

### 2.2.1 Ρύπανση από φυσικούς παράγοντες

Οι παράμετροι της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας καθώς επίσης και η ταχύτητα του αέρα και την ακτινοβολούμενη θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων (ASHRAE Standard 55, 1981), επειδή :

- Πολλά προβλήματα που σχετίζονται με τη φτωχή ποιότητα εσωτερικού αέρα μπορούν να επιλυθούν με τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα.
- Οι ένοικοι των κτιρίων που δεν αισθάνονται θερμικά άνετα διαθέτουν μικρότερη ανοχή σε άλλες οχλήσεις. Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά τη οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμιά θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες συνθήκες.
- Ο ρυθμός εκπομπής ρύπων από τα δομικά υλικά, την επίπλωση και τον εξοπλισμό του κτιρίου είναι συχνά υψηλότερος σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.
- Η υγρασία αυτή καθαυτή είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη μικροβιολογικής ρύπανσης όπως μυκήτων και ακάρεων.
- Ο αερισμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας της εσωτερικής ατμόσφαιρας για το λόγο ότι το απαιτούμενο οξυγόνο απομακρύνει ή διαλύει τους ρύπους των εσωτερικών χώρων.



**Σχήμα 2.1 Σχηματική παρουσίαση των διαφόρων πηγών ρύπανσης μέσα σε ένα κτίριο ΠΗΓΗ: ASHRAE, 2000**

Στον Ελλαδικό χώρο η θερμική επιβάρυνση είναι πιο συχνά αποτέλεσμα των θερμών συνθηκών και λιγότερο των ψυχρών συνθηκών. Ωστόσο τα τελευταία 10 χρόνια άρχισαν να κατασκευάζονται βιοκλιματικές κατοικίες στην Ελλάδα έτσι ώστε να υπάρχει θερμική άνεση στα κτίρια.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση (Richard De Dear, Gail Brager, Donna Cooper, 1997) χωρίζονται:

- στις φυσικές παραμέτρους οι οποίες είναι:
  - η θερμοκρασία του αέρα,
  - η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών,
  - η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα,
  - η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα.
- στις βιολογικές παραμέτρους οι οποίες είναι:
  - το φύλο των χρηστών του χώρου
  - η ηλικία των χρηστών του χώρου
  - οι συνήθειες των χρηστών του χώρου
- στους εξωτερικούς παράγοντες οι οποίοι είναι:
  - το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου
  - ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου

Συμπληρωματικά, χρησιμοποιούνται και άλλοι φυσικοί παράμετροι για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, όπως :

- Μέση θερμοκρασία δέρματος
- Ρυθμός εφίδρωσης και
- Ξηρότητα του δέρματος.

Η θερμοκρασία του αέρα είναι αναμφισβήτητα καθοριστική παράμετρος όταν αναφερόμαστε στο εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων είναι παρακάτω:

- Το εξωτερικό περιβάλλον
- Ο προσανατολισμός του κτιρίου
- Τα υλικά κατασκευής και τα υλικά θερμομόνωσης του κτιρίου
- Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου (μηχανικός ή φυσικός)
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου

- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης του κτιρίου
- Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτίριο και παράγουν θερμότητα
- Ο τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτιρίου.

Στον πίνακα 2.1 έχουμε άλλα δυο μεγέθη που επηρεάζουν τη θερμοκρασία άνεσης τα οποία είναι ο ρουχισμός και η μεταβολική δραστηριότητα σε σχέση με τη θερμοκρασία (Hoppe, 1998)

Εργασία	Μεταβολική Δραστηριότητα [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία άνεσης [°C ]
Ηρεμία	0	0,5	31
		1,0	29
Καθιστική εργασία	43	0,5	27
		1,0	23
Ελαφριά εργασία	100	0,5	22
		1,0	16
Έντονη εργασία	20	0,5	12

**Πίνακας 2.1 Θερμοκρασία άνεσης σε σχέση με την εργασία**

Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας με την οδηγία 2425/86 προτείνει ως συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους, τις τιμές που παρουσιάζονται στο πίνακα 2.2 :

Κατηγορία Χώρου	Θερμοκρασία το καλοκαίρι	Υγρασία το καλοκαίρι	Θερμοκρασία το χειμώνα	Υγρασία το χειμώνα
Κατοικίες	25-26	40-50	22	30-50
Κτίρια γραφείων	25-26	40-50	21-23	30-35
Βιβλιοθήκες- Μουσεία	22	40-55	20-22	40-55
Νοσοκομεία	24	50-60	24	30
Εστιατόρια Κέντρα διασκέδασης	23-26	50-60	21-23	30-40

---

**Πίνακας 2.2 Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους**  
**ΠΗΓΗ: ΤΕΕ, 1986**

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός χώρου ορίζεται ως εκείνη η θερμοκρασία μιας συμπαγούς μαύρης επιφάνειας για την οποία παρατηρείται η ίδια απώλεια θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, σε σχέση με την εξεταζόμενη επιφάνεια. Διαφοροποιείται από τη θερμοκρασία του αέρα, γιατί είναι πρωτίστως υπεύθυνη για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας.

Η κίνηση του αέρα συνδέεται με δύο παραμέτρους :

- την ταχύτητα του αέρα
- τη μορφή της ροής του αέρα, αν είναι στρωτή η τυρβώδης

Σε περίπτωση χαμηλής θερμοκρασίας, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, σε σημείο που να προκαλεί δυσφορία.

Η υγρασία και η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας αποτελούν τα δυσκολότερα μεγέθη κατά την αξιολόγηση του εσωκλίματος και εκφράζεται με σχετικούς και απόλυτους όρους. Εν συντομίᾳ, η υγρασία επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματος:

- το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματος μας μέσω του δέρματος,
- το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα

Η δεύτερη παράμετρος που επηρεάζει καθολικά τις απώλειες θερμότητας από το σώμα είναι ο τύπος της ροής του αέρα. Στα κεντρικά κλιματιζόμενα κτίρια η ροή του αέρα δεν είναι στρωτή καθώς και η ταχύτητα του αέρα μεταβάλλεται με κάποια συχνότητα. Η περιοδικά μεταβαλλόμενη ροή του αέρα προκαλεί συναισθήματα δυσφορίας, συγκρινόμενη με τη στρωτή ροή.

Στα τέλη του 1970 ο P.O. Fanger είπε ότι οι άνθρωποι φαίνεται να μην προτιμούν μεταβολές στην ταχύτητα του αέρα, μεταβολές που όπως είπαμε προσομοιώνουν την τυρβώδη ροή, καθώς σε υψηλά ποσοστά τύρβης το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων είναι μεγάλο. Απ' τα παραπάνω προκύπτει ότι πρέπει να φτιάξουμε συστήματα μηχανικού αερισμού που να παρέχουν την ροή του αέρα στη ζώνη χρήσης των χώρων με χαμηλές τιμές τύρβης. Αυτό έρχεται σε σύγκρουση με την απαίτηση επαρκούς ανάμιξης του εξωτερικού αέρα με τον εσωτερικό ώστε να επιτευχθεί αραίωση των ρύπων και ομοιογενή εσωτερική ατμόσφαιρα διότι η στρωτή ροή δεν έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ανάμιξης, σε αντίθεση με την τυρβώδη ροή. Ωστόσο ο αερισμός εκτόπισης φαίνεται να ικανοποιεί τις δυο παραπάνω συνθήκες. Σε φυσικά αεριζόμενα κτίρια χρησιμοποιείται μια μονάδα που δε σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα του αέρα αλλά με τον αριθμό αλλαγών του αέρα ενός χώρου. Η μονάδα αυτή πρακτικά προδιαγράφει πόσες φορές της ημέρας είναι απαραίτητο να ανανεωθεί πλήρως ο αέρας ενός χώρου. Ο αριθμός των αλλαγών του αέρα εξαρτάται από κάποιες παραμέτρους οι οποίες είναι:

- Ο αριθμός των ατόμων ενός χώρου
- Το μέγεθος ενός χώρου σε τ.μ.

- Η ταχύτητα του αέρα, η οποία εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος των ανοιγμάτων του χώρου και από τον τρόπο που ο χρήστης του χώρου του τα χειρίζεται

Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας με την οδηγία 2423/86 προτείνει ως συνιστάμενες τιμές αερισμού χώρων, τις τιμές που παρουσιάζονται στο Πίνακα 2.3 :

<b>ΕΙΔΟΣ ΧΩΡΟΥ</b>	<b>ΚΑΠΝΙΖΟΝΤΕΣ</b>	<b>(m<sup>3</sup>/h άτομο)</b>
Διαμερίσματα συνήθη	Μερικοί	8,5
Διαμερίσματα πολυτελή	Μερικοί	8,5
Κουρεία	Σημαντικός αριθμός	17,0
Μπαρ	Πάρα πολλοί	25,5
Καταστήματα	Κανένας	8,5
Γραφεία διευθυντών	Εκτάκτως πολλοί	25,5
Εργοστάσια	Κανένας	8,5
Νοσοκομεία, Χειρουργεία	Κανένας κλιματισμός	Ειδικός
Νοσοκομεία, θάλαμοι ασθενών	Κανένας	25,5
Νοσοκομεία, Χώροι προσωπικού	Κανένας	17,0
Δωμάτια ξενοδοχείων	Πάρα πολλοί	25,5
Εργαστήρια	Μερικοί	8,5
Χώροι συγκεντρώσεων	Εκτάκτως πολλοί	25,5
Γραφεία συλλογικά	Μερικοί	8,5
Γραφεία προσωπικά	Κανένας	8,5
Γραφεία προσωπικά	Σημαντικός αριθμός	25,5
Καφέ – Μπαρ	Σημαντικός αριθμός	17,0
Εστιατόρια	Σημαντικός αριθμός	17,0
Σχολεία – αίθουσες διδασκαλίας	Κανένας	17,0
Θέατρα	Κανένας	8,5
Τουαλέτες (εξαερισμός)		36m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> δαπέδου

**Πίνακας 2.3 Προτεινόμενες τιμές αερισμού για διάφορους χώρους**

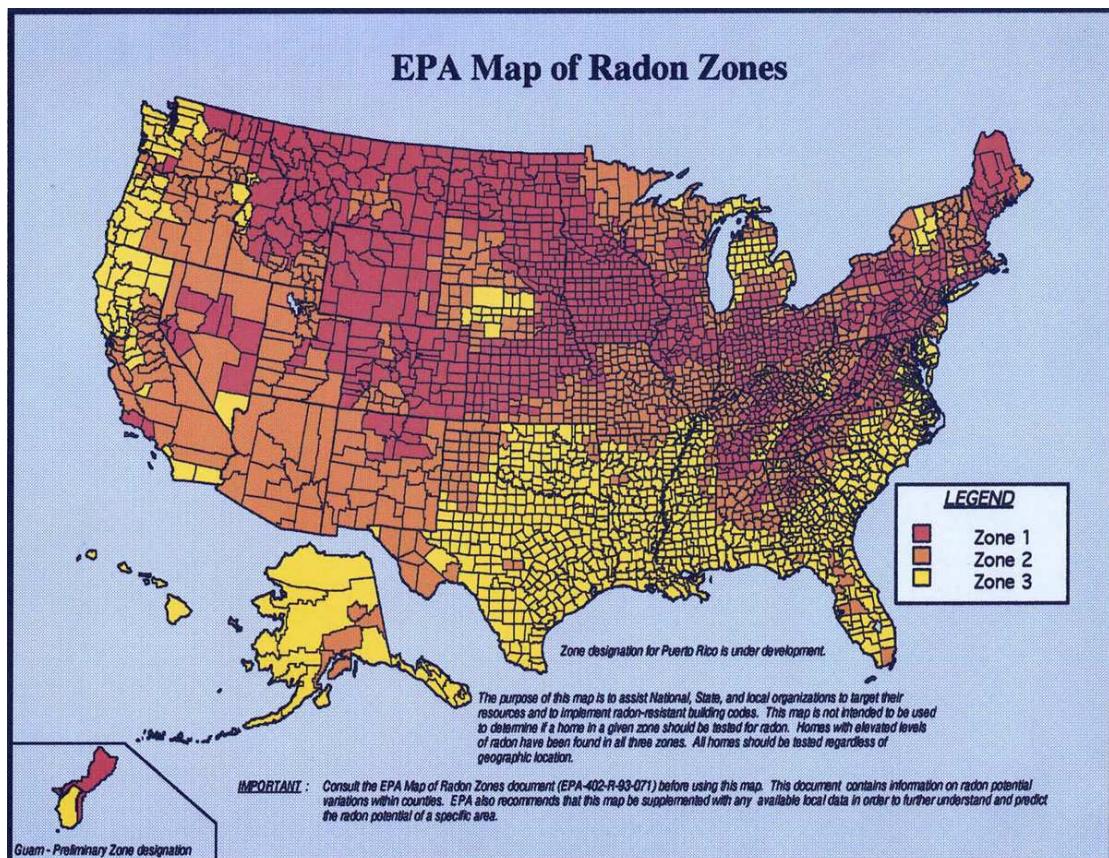
Η φιλοσοφία στον σχεδιασμό των κτιρίων έγκειται στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας δίχως να θυσιάζεται η επίτευξη θερμικής άνεσης και ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Ως εκ τούτου ο ορθός σχεδιασμός των κτιρίων οφείλει να λαμβάνει υπόψη του όλες τις παραμέτρους που διαμορφώνουν το εσωτερικό περιβάλλον και της ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα.

Το εργαλείο για τον ορθό σχεδιασμό των κτιρίων σε σχέση με την επίτευξη θερμικής ευεξίας πρέπει να αναζητηθεί στα πρότυπα θερμικής άνεσης. Σήμερα η καθολική ισχύς και εφαρμογή των προτύπων αυτών, που στηρίζονται στη στατική θεωρία της θερμικής άνεσης, βρίσκονται υπό συζήτηση με την δυναμική θεωρία της θερμικής άνεσης να κερδίζει έδαφος όχι όμως με στόχο την ανατροπή της κλασικής θεωρίας αλλά την συμπλήρωση της.

## 2.2.2 Επιβάρυνση από ραδιενέργεια

Η διασφάλιση απουσίας ραδιενεργών ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων ,ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου , αποτελεί κριτήριο παραμονής σε αυτά. Στη συνέχεια θα εστιάσουμε στο φυσικό ραδιενεργό στοιχείο Ραδόνιο το οποίο εγκλωβίζεται στους εσωτερικούς χώρους.

Το αέριο Ραδόνιο ( $Rn^{222}$ ) είναι αδρανές, άγευστο, άχρωμο και άοσμο ραδιενεργό προϊόν αποσύνθεσης του ραδίου (το οποίο είναι προϊόν αποσύνθεσης του ουρανίου) και βρίσκεται σε βραχώδη και μη εδάφη. Αν και το ραδόνιο δεν είναι χημικά ενεργό, είναι τα προϊόντα διάσπασης του δηλαδή το πολώνιο, ο μόλυβδος και το βισμούθιο τα οποία παραμένουν στους πνεύμονες και εκπέμπουν σωματίδια α με την πάροδο του χρόνου. Μεγάλες συγκεντρώσεις αέριου ραδονίου έχουν παρατηρηθεί σε οικίες και άλλα κτίρια, που βρίσκονται πάνω από εδάφη που περιέχουν και εκλύουν ραδόνιο, το οποίο εισέρχεται στους υπόγειους και ισόγειο χώρους από μικρορωγμές, κατασκευαστικούς αρμούς, σωλήνες αποχέτευσης κ.α.. Έτσι, παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του στο υπόγειο και στο ισόγειο παρά στους υπόλοιπους ορόφους ενός κτιρίου.



	<b>Zone 1</b> επαρχία όπου τα επίπεδα Ραδονίου είναι μεγαλύτερα από 4 pCi/L (pico curies per liter) <b>(Κόκκινη περιοχή)</b>	<b>Υψηλότερα επίπεδα</b>
	<b>Zone 2</b> επαρχία όπου τα επίπεδα ραδονίου είναι από 2 μέχρι 4 pCi/L <b>(πορτοκαλί περιοχή)</b>	<b>Μεσαία επίπεδα</b>
	<b>Zone 3</b> επαρχία όπου τα επίπεδα ραδονίου είναι μικρότερη από 2 pCi/L <b>(κίτρινη περιοχή)</b>	<b>Χαμηλότερα Επίπεδα</b>

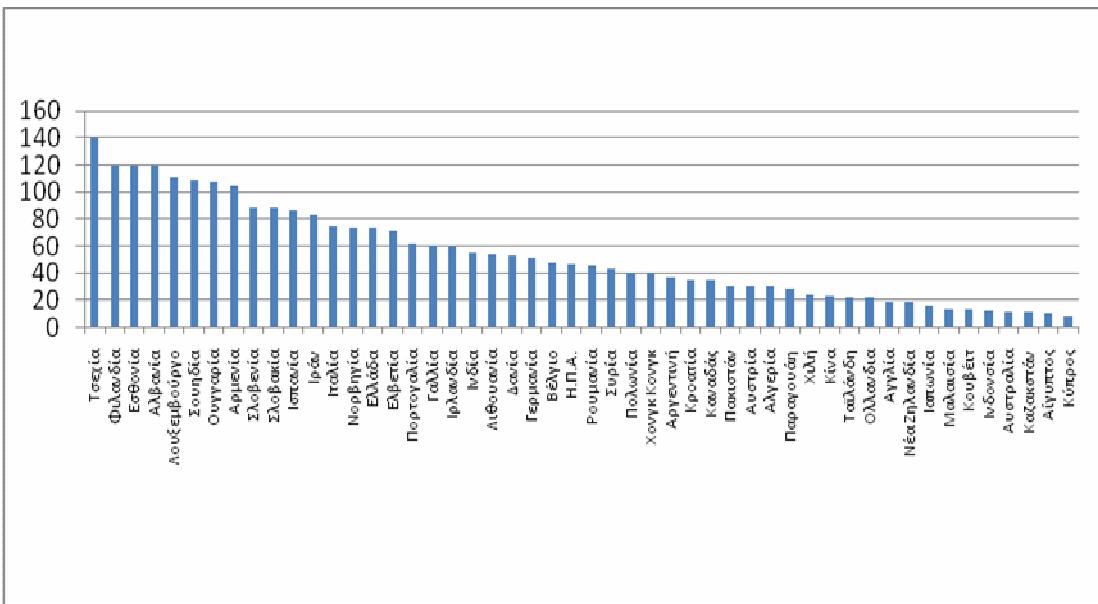
**Σχήμα 2.2 Χωρισμός των επαρχιών του Πουέρτο Ρίκο ανάλογα με τα επίπεδα του ραδονίου**

Στο σχήμα 2.2 φαίνεται ο χωρισμός των επαρχιών του Πουέρτο Ρίκο ανάλογα με τα επίπεδα ραδονίου.

Υλικά όπως γρανίτης, τσιμέντο που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή των κτισμάτων μπορεί να είναι ραδιενεργά και να ακτινοβολούν στους ενοίκους τους. Το Ραδόνιο αποτελεί το 60% του συνόλου της φυσικής ραδιενέργειας. Σε περιοχές της γης με αυξημένη συγκέντρωση Ραδονίου μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου με συχνότερη την εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα. Οι κίνδυνοι που προκύπτουν από την έκθεση σε ραδόνιο παρατηρήθηκε στις αρχές του 16<sup>ου</sup> αιώνα μετά από μια μεγάλη θνησιμότητα ανθρακωρύχων. Βέβαια οι πρώτες μελέτες για τη σχέση του Ραδόνιου με την εμφάνιση καρκίνου έγιναν το 1950 σε ανθρακωρύχους των Η.Π.Α. και άλλων χωρών. Έτσι οι εργάτες ορυχείων αποτέλεσαν την πρώτη ομάδα ανθρώπων πάνω στους οποίους μελετήθηκαν οι επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου μετά από έκθεση σε Ραδόνιο. Στη Σουηδία, μετά από μετρήσεις σε κατοικίες παρατηρήθηκε μεγάλη συγκέντρωση Ραδονίου σε αυτά, προερχόμενο από τσιμέντο της περιοχής πλούσιο σε Ράδιο. Ο ελλιπής αερισμός τους, λόγω καιρικών συνθηκών, εγκλωβίζει το Ραδόνιο του οποίου η συγκέντρωση συνεχώς αυξάνεται. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ποσότητα Ραδονίου μπορεί να διπλασιαστεί τους χειμερινούς μήνες έναντι τους καλοκαιρινούς.

Οι τιμές συγκέντρωσης Ραδονίου στο εσωτερικό των κτιρίων καθορίζονται από τους εξής παράγοντες:

- Από την είσοδο στο χώρο και την ταχύτητα παραγωγής από διάφορες πηγές
- Από την ταχύτητα και συχνότητα του αερισμού
- Από τις ταχύτητες χημικών ή φυσικών μεταβολών του Ραδονίου



**Σχήμα 2.3 Κατανομή της συγκέντρωσης Ραδονίου ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) σε σπίτια σε διάφορες χώρες στον κόσμο ΠΗΓΗ: Cohen, 1993**

Στο σχήμα 2.3 παρατηρείται μέση προς αυξημένη τιμή συγκέντρωσης του Ραδονίου σε ελληνικά σπίτια σε σχέση με μετρήσεις σε άλλες χώρες.

Αποτελεσματικοί μέθοδοι απομάκρυνσης του Ραδόνιου από τους εσωτερικούς χώρους είναι :

- Αύξηση του αερισμού
- Εγκατάσταση συστήματος αερισμού
- Σφράγισμα τυχόν ρωγμών
- Μόνωση εξωτερικών οικοδομικών στοιχείων
- Επιλογή μη ραδιενεργών κατασκευαστικών υλικών

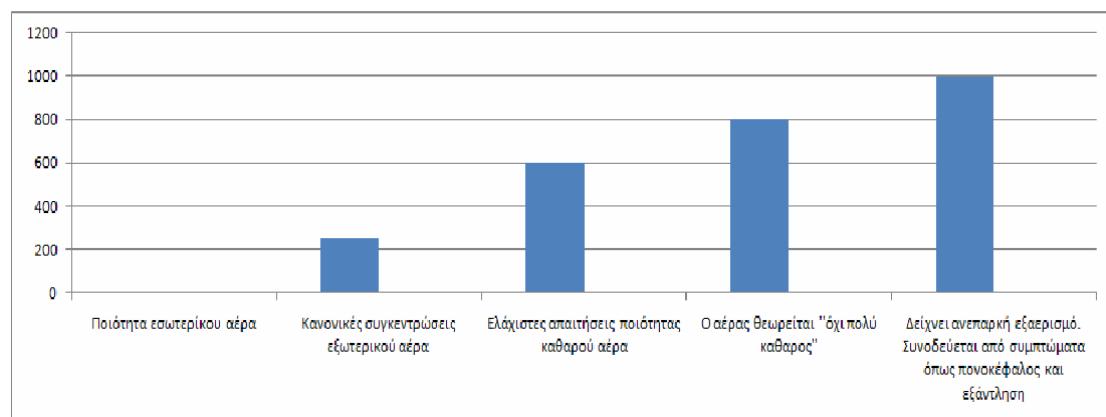
## 2.2.3 Χημική Ρύπανση

Η χημική ρύπανση εσωτερικών χώρων προέρχεται από δομικά υλικά, έπιπλα εσωτερικού χώρου, μηχανικό εξοπλισμό γραφείου, οικιακές συσκευές και από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Οι κύριοι χημικοί αέριοι ρυπαντές εσωτερικού χώρου είναι:

- Οξείδια (μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου)
- Νικοτίνη
- Αμίαντος
- Τεχνητές ορυκτές ίνες
- Φορμαλδεΰδη
- Τροποσφαιρικό όζων
- Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες
- Πτητικές οργανικές ενώσεις

Το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο. Σε φυσιολογικά επίπεδα η περιεκτικότητα της εξωτερικής ατμόσφαιρας σε CO<sub>2</sub> είναι 340ppm. Παρόλο που δεν είναι τοξικό, σε αυξημένες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει λαχάνιασμα, δυσκολία συγκέντρωσης και ελαφρά ζαλάδα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένας χρήσιμος δείκτης για την αξιολόγηση της ποιότητας του αερισμού. Το σχήμα 2.4 μας δείχνει επίπεδα CO<sub>2</sub> και την αντίστοιχη ποιότητα του εσωτερικού αέρα.



**Σχήμα 2.4 Επιπτώσεις στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα σε αναλογία με την ποσότητα του CO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)**

Κύριες πηγές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> σε εσωτερικούς χώρους :

- θερμάστρες αερίου και κηροζίνης
- συσκευές καύσης
- κάπνισμα
- αναπνοή των ανθρώπων και των ζώων

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> στον εσωτερικό αέρα εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

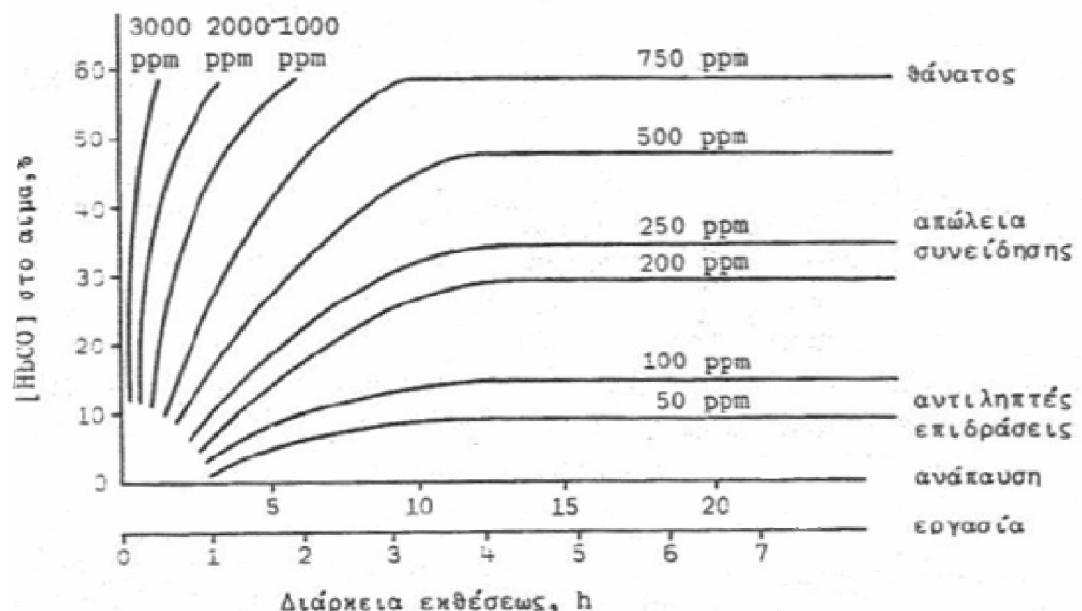
- Το πληθυσμό των ανθρώπων και των ζώων σε ένα χώρο
- Την ύπαρξη πηγών καύσης
- Συχνότητα καπνίσματος στο χώρο
- Την συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στο εξωτερικό περιβάλλον
- Το ρυθμό ανανέωσης του εσωτερικού αέρα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άγευστο και ιδιαίτερα τοξικό αέριο. Η παρουσία του στον αέρα εσωτερικά του κτιρίου προκαλεί πονοκεφάλους, κούραση, ναυτία αστάθεια και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμετό, απώλεια των αισθήσεων και τελικά το θάνατο.

Το μονοξείδιο του άνθρακα CO παράγεται κατά την ατελή καύση. Στο εσωτερικό των κτιρίων παράγεται από θερμάστρες αερίου, από καπνοδόχους και φούρνους οι οποίοι έχουν διαρροή, θερμοσίφωνες αερίου, ξύλινες σόμπες και τζάκια, από τη στάθμευση αυτοκίνητων σε γκαράζ καθώς επίσης και από το κάπνισμα. Επίσης μεταφέρεται σημαντική ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα CO από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό μέσω του αερισμού. Όπως αναφέρεται από το ΠΕΡΠΑ 1989, το σύνολο σχεδόν του μονοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα της Αθήνας οφείλεται στα αυτοκίνητα.

Η κυριότερη διοχέτευση μονοξειδίου του άνθρακα CO στους εσωτερικούς χώρους είναι μέσω του καπνίσματος . Η συγκέντρωση σε μονοξείδιο του άνθρακα CO του καπνού του τσιγάρου είναι περίπου 20.000 ppm. Με την εισπνοή στους πνεύμονες ο καπνός αραιώνεται κατά 50 φορές και ο εκπνεόμενος αέρας έχει, συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα CO περίπου 400 ppm. Η υψηλή συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα CO προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης HbCO στο αίμα

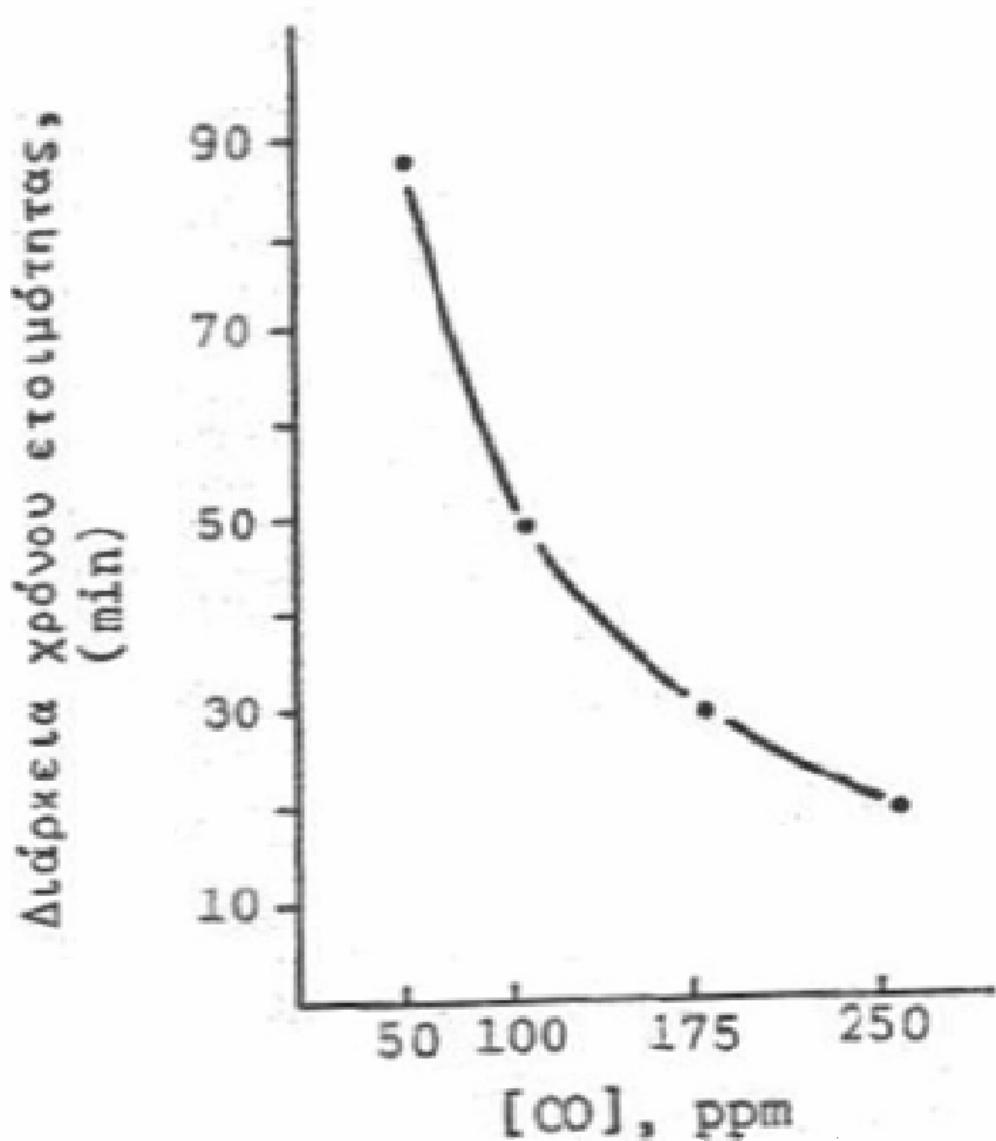
των καπνιστών. Με τη συνεχή κατανάλωση τσιγάρων αυξάνεται η συγκέντρωση σε CO του εσωτερικού χώρου όπου παραμένουν και οι μη καπνιστές. Στο σχήμα 2.5 παρέχονται οι συγκεντρώσεις της HbCO στο αίμα καπνιστών σε σχέση με τη διάρκεια εκθέσεως σε μονοξείδιο του άνθρακα CO.



Σχήμα 2.5 Εξάρτηση της HbCO στο αίμα από τη διάρκεια εκθέσεως στο CO στον αέρα (Wolf, 1971).

Επιπτώσεις από το κάπνισμα παρατηρείται και στους μη καπνιστές (παθητικοί καπνιστές) όπως η αύξηση της συγκέντρωσης της HbCO στο αίμα τους και η εκδήλωση σχετικών συμπτωμάτων παράλληλα με τη συνεχή αύξηση της συγκέντρωσης CO και άλλων τοξικών ουσιών στον αέρα που μπορεί να φθάσει τα 80-90ppm. Συνήθως η HbCO είναι 14 φορές μεγαλύτερη από ότι στους μη καπνιστές. Η δυσμενής επίδραση του καπνίσματος στους μη καπνιστές διαπιστώθηκε και από την ανάλυση του αίματος και των ούρων των μη καπνιστών, όπου βρέθηκαν υψηλά επίπεδα νικοτίνης. Ωστόσο η HbCO είναι 14 φορές μεγαλύτερη στους καπνιστές από ότι στους μη καπνιστές. Το κάπνισμα έχει δυσμενέστερες επιδράσεις σε άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικά νοσήματα, στα οποία υπερδιπλασιάζεται η συγκέντρωση της HbCO στο αίμα.

Η αυξημένη συγκέντρωση HbCO στο αίμα φέρει ως αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία διαφόρων οργάνων του ανθρώπου και κυρίως του εγκεφάλου, αφού αποτρέπει τη σωστή οξυγόνωση που χρειάζεται. Συνέπεια αυτού είναι η εμφάνιση προβλημάτων στις διάφορες φυσικές ικανότητες του ατόμου, όπως της ικανότητας ετοιμότητας στην οδήγηση οχημάτων.



**Σχήμα 2.6 Συνσχέτιση της διάρκειας του χρόνου ετοιμότητας με τη συγκέντρωση του CO Πηγή: US = EPA, 1970**

Στο σχήμα 2.6 σχετίζεται η διάρκεια χρόνου ετοιμότητας του οδηγού με τη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα CO στον εισπνεόμενο αέρα. Η διάρκεια του χρόνου ετοιμότητας του ανθρώπου μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO στον αέρα. Υποστηρίζεται ότι η συχνότητα των αυτοκινητιστικών δυστυχημάτων είναι μεγαλύτερη στους καπνιστές απ' ότι στους μη καπνιστές, διότι στην μείωση του χρόνου ετοιμότητας συμβάλλουν δυο πηγές ρύπων μονοξειδίου του άνθρακα και η ατμοσφαιρική ρύπανση και το κάπνισμα.

Τα οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub> είναι το μονοξείδιο το οποίο είναι άχρωμο και άοσμο αέριο και το διοξείδιο του αζώτου το οποίο είναι άοσμο καφέ-κόκκινο αέριο.

Κύριες πηγές των οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub> σε εσωτερικούς χώρους είναι :

- μαγειρικών συσκευών αερίου
- συσκευές θέρμανσης
- καπνό του τσιγάρου

Οι επιστημονικές έρευνες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην μελέτη του διοξειδίου του αζώτου εξαιτίας της σημαντικής επικινδυνότητας του στην υγεία του ανθρώπου. Η έκθεση των ανθρώπων στα οξείδια του αζώτου γίνεται μέσω της αναπνευστικής οδού. Οι κύριες επιπτώσεις είναι ο ερεθισμός των ματιών, της μύτης, του λαιμού και η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει χρόνια βρογχίτιδα.

Ο αμίαντος αποτελεί τη συλλογική ονομασία ορισμένων ορυκτών ινώδους μορφής και κρυσταλλικής δομής. Ο αμίαντος ως πρώτη ή δευτερεύουσα ύλη εντοπίζεται σε περισσότερες από 3.000 διαφορετικές τεχνικές εφαρμογές. Αναμιγνύεται με διάφορες συγκολλητικές ουσίες, όπως το τσιμέντο, και χρησιμοποιείται σαν οικοδομικό υλικό με τη μορφή των φύλλων και των σωλήνων αμιαντοτσιμέντου. Επίσης χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα πλακάκια, τους φούρνους, τις σόμπες, τα ηλεκτρικά σίδερα και άλλα προϊόντα. Η σκόνη αμιάντου εσωτερικών χώρων προέρχεται από υλικά μονώσεων σε ταβάνι με υψηλό βαθμό αποσάθρωσης, γύψο με αμίαντο κ.α.. Το αμιαντοτσίμεντο, έχοντας εγκλωβίσει τον αμίαντο μέσα του, δε φαίνεται να δημιουργεί πρόβλημα για τον αέρα εσωτερικού χώρου. Η απελευθέρωση του στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων οφείλεται στη σταδιακή γήρανση του υλικού, καθώς επίσης και στις παρεμβάσεις συντήρησης. Όμως, επισκευές και ανακατασκευές όπως και αλλαγές στη θερμοκρασία και την υγρασία μπορούν να προκαλέσουν αύξηση της σκόνης αμιάντου στους εσωτερικούς

χώρους. Οι διάφοροι υποπληθυσμοί εκτίθενται σε διαφορετικές συγκεντρώσεις ινών αμιάντου για ποικίλα χρονικά διαστήματα.

Ο αμίαντος αποτελεί μια σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη υγεία και τις τελευταίες δεκαετίες έχει απασχολήσει έντονα την ιατρική κοινότητα σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου. Ο αμίαντος είναι αποδεδειγμένα καρκινογόνος (IARC, 2000). Δεν είναι δυνατόν να προταθεί ασφαλές όριο για τον αμίαντο επειδή δεν έχουν γίνει αρκετές έρευνες για να διαπιστωθούν ασφαλή όρια για το υλικό αυτό. Έτσι η συγκέντρωση του θα πρέπει να κρατιέται όσο το δυνατό σε χαμηλότερα επίπεδα (WHO, 2000).

Η άμεση και πρώτη επαφή με τον αμίαντο δεν προκαλεί εμφανή σημεία ασθένειας. Ο αμίαντος γίνεται επικίνδυνος για την υγεία όταν εισπνέονται ψηλές συγκέντρωσεις ινών για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα πρόσωπα τα οποία εργάζονται καθημερινά με τον αμίαντο και εκτίθενται σε αυτόν συνεχώς, μπορούν να υποστούν σοβαρές βλάβες στην υγεία τους.

Έχει διαπιστωθεί ότι χρειάζονται από 10 έως 40 χρόνια για να εκδηλώσει κάποιος την ασθένεια μετά από την έκθεση του στον αμίαντο. Φαίνεται ότι είναι σπάνιο κάποιος να εκδηλώσει μια τέτοια ασθένεια μετά από ένα επεισόδιο έκθεσης του σε υψηλές ποσότητες ινών αμιάντου ή από έκθεση του για μικρό χρονικό διάστημα σε μικρές ποσότητες. Παρ' όλα αυτά επειδή η εκδήλωση των ασθενειών είναι άμεσα συνδεδεμένη και με την ευαισθησία του οργανισμού του ατόμου, η έκθεση σε αμίαντο πρέπει πάντοτε να αποφεύγεται ή στις περιπτώσεις που δεν μπορεί να αποφευχθεί, πρέπει να ελαττώνεται στο ελάχιστο δυνατό και οπωσδήποτε κάτω από τα όρια που θέτει η νομοθεσία. Οι κυριότερες ασθένειες που προκαλεί ο αμίαντος είναι η αμιάντωση, ο καρκίνος του πνεύμονα και το μεσοθηλίωμα.

Οι τεχνητές ορυκτές ίνες χρησιμοποιούνται ως θερμομονωτικά υλικά σαν υποκατάστατο του αμιάντου. Τέτοιες ίνες είναι ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας. Αναταραχές που προκαλούνται κατά τη συντήρηση και επισκευή των κτιρίων μπορούν να αυξήσουν τα επίπεδα των ινών πάνω από το φυσιολογικό όριο. Οι ίνες μπορούν να επικαθήσουν σε επιφάνειες όπως τα πατώματα, τραπέζια, ράφια και έπιπλα.

Οι βασικές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η ακόλουθες (Kroeling, 1998) :

- Ερεθισμός του άνω αναπνευστικού, του δέρματος και των ματιών
- Χρόνιες επιπτώσεις στο αναπνευστικό
- Καρκίνος των πνευμόνων και του μεσοθηλιακού ιστού.

Η φορμαλδεΰδη είναι άχρωμο αέριο με οξεία οσμή η οποία γίνεται αισθητή σε συγκεντρώσεις πάνω από 1ppm. Χρησιμοποιείται σήμερα σε ελεύθερη μορφή σε συγκολλητικές ουσίες για την παραγωγή προϊόντων ξύλου, όπως ινοπλάκες μέσης πυκνότητας (MDF), αντικολλητά (κόντρα πλακέ), μοριόπλακες (νοβοπάν), μονωτικές ινόπλακες. Από τη δεκαετία του '80 έχει διαπιστωθεί ότι τα προϊόντα αυτά αποτελούν τις κυριότερες πηγές έκλυσης φορμαλδεΰδης σε οικίες και εργασιακούς χώρους (Meyer, 1979, Clary, 1983, Φιλίππου, 1984). Τα βασισμένα σε νερό χρώματα εκλύουν επίσης φορμαλδεΰδη (Brown et al, 1996). Άλλες πηγές έκλυσης συναντάται σε διογκωμένα πολυμερή (μονωτικό αφρό) καθώς και ορισμένες συνθετικές ίνες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή υφασμάτων, χαλιών. Επιπλέον η φορμαλδεΰδη συμπεριλαμβάνεται στις διεργασίες καύσης όπως τη θέρμανση, το μαγείρεμα και το κάπνισμα.

Έτσι σήμερα η Φορμαλδεΰδη θεωρείται ένας από τους κυριότερους ρυπαντές εσωτερικών χώρων σε οικίες και γραφεία ( Dally et al 1981, Clary et al 1983, Breysse 1985, Garrett et al 1998, Hodgson et al 2000, Wu et al 2003). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται σε κλειστούς χώρους, χωρίς επαρκή και συχνό αερισμό, με υψηλή θερμοκρασία και σχετική χαμηλές τιμές υγρασίας.

Σύμφωνα με τον Αμερικάνικο φορέα American Federation of State – Country and Municipal Employees ( AFSCME, 1993), η φορμαλδεΰδη μπορεί να προκαλέσει άμεσες και χρόνιες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Οι άμεσες επιπτώσεις είναι οι ακόλουθες:

- Σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης (0,1-5ppm) παρατηρείται κνησμός οφθαλμών, δακρύρροια και ερεθισμός δέρματος
- Σε μέτρια επίπεδα έκθεσης (10-20 ppm) έχουμε κάψιμο οφθαλμών, μύτης και φάρυγγα, έντονο βήχα, έντονη δύσπνοια και δακρύρροια

- Σε υψηλά επίπεδα έκθεσης (50-100ppm) έχουμε θωρακικό άλγος, ταχυκαρδία, αρρυθμία, έντονος πονοκέφαλος, πνευμονικό οίδημα, ακόμη και θάνατος .

Οι χρόνιες επιπτώσεις είναι οι ακόλουθες:

- Ευαισθησία, ορισμένοι άνθρωποι μπορούν να αποκτήσουν ευαισθησία στη φορμαλδεΰδη και να παρουσιάζουν αλλεργική αντίδραση ακόμη και στη χαμηλού επιπέδου έκθεση
- Έκζεμα, άτομα που εκτίθενται σε διαλύματα φορμαλδεΰδης μπορούν να παρουσιάσουν έκζεμα (ξεφλούδισμα και φαγούρα του δέρματος), που μπορεί να περιβάλλει τα βλέφαρα, το λαιμό, τα χέρια, τα μπράτσα και τις μασχάλες
- Δερματίτιδα, η επαφή με φορμαλδεΰδη μπορεί να προκαλέσει δερματίτιδα. Η δερματίτιδες μπορεί να είναι από απλή ερυθρότητα του δέρματος ως δημιουργία φλυκταινών ή και ραγαδώσεων. Τα νύχια μπορεί να γίνουν μαλακά και καστανόχρωμα
- Βλάβες στους οφθαλμούς, η άμεση επαφή με το μάτι προκαλεί έντονο κάψιμο και δακρύρροια και μπορεί να βλάψει τον κερατοειδή χιτώνα
- Καρκίνο. Σύμφωνα με μελέτη που εκπονήθηκε υπό την αιγίδα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας η φορμαλδεΰδη χαρακτηρίσθηκε ως καρκινογόνος ουσία για τον άνθρωπο (IARC 2004), η φορμαλδεΰδη είναι γνωστό ότι προκαλεί ρινικό καρκίνο και ενδεχομένως να συνδέεται με άλλους καρκίνους ,ακόμα και με τον καρκίνο του εγκεφάλου. Ο Εθνικός Φορέας για την Επαγγελματική Ασφάλεια και την Υγεία των ΗΠΑ (NIOSH 1997) συστήνει ότι η φορμαλδεΰδη πρέπει να αντιμετωπίζεται ως πιθανή καρκινογόνος ουσία.
- Βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα. Σύμφωνα με άλλη πηγή (Norback et al 1995), η έκθεση ατόμων με άσθμα στη φορμαλδεΰδη συνδέεται με ανωμαλίες της αναπνευστικής λειτουργίας κατά τη διάρκεια του ύπνου (αϋπνία).

Η νικοτίνη σε καθαρή μορφή είναι κίτρινο-καφέ με ελαφρά οσμή ψαριού όταν θερμανθεί. Στον καπνό του τσιγάρου η νικοτίνη είναι διασπαρμένη στα μικροσωματίδια και η απορρόφηση της από το αίμα γίνεται σε μερικά δευτερόλεπτα. Από έρευνες που έχουν γίνει έχει παρατηρηθεί ότι κάθε καπνιστής αυξομειώνοντας

τον εισπνεόμενο αέρα ασυναίσθητα ρυθμίζει το ποσοστό νικοτίνης που προσλαμβάνει. Η βασική πηγή νικοτίνης στο εσωτερικό αέρα είναι το κάπνισμα. Συνήθως ένα τσιγάρο περιέχει 5 με 10 mg νικοτίνης και ο σύνηθες καπνιστής εισπνέει 1 με 2 mg νικοτίνης ανά τσιγάρο.

Η νικοτίνη προκαλεί ναυτία, εμετό, διάρροια, πόνο στην κοιλιά, πονοκέφαλο, ζαλάδα, ελάττωση ικανότητας ακοής, όρασης, και συντονισμού κινήσεων. Βέβαια σε μεγάλη συγκέντρωση καθαρής νικοτίνης επιφέρει οξεία συστηματική τοξικότητα και καρδιολογικές βλάβες όπως επίσης και τερατογενέσεις.

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις VOC είναι μια μεγάλη ομάδα οργανικών ενώσεων που περιλαμβάνουν το τριχλωροαιθυλένιο, το βενζόλιο, το τολουόλιο, τις μεθυλ- αιθυλ- κετόνες, τις αλκοόλες, τα μεθυλακρυλικά μόρια, την ακρολεΐνη τα PAH και τα φυτοφάρμακα. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή Οδηγία 2004/42/CE σαν οργανικές πτητικές ενώσεις ορίζονται όλες οι οργανικές ενώσεις που έχουν σημείο βρασμού μικρότερο ή ίσο των 250 °C μετρημένο σε ατμοσφαιρική πίεση 101,3kPa.

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις είναι μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες ουσιών, καθώς έχει διαπιστωθεί ότι οι VOC μπορούν να επηρεάσουν την άνεση του ανθρώπου και μπορούν να προκαλέσουν επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Τα επίπεδα των VOC που βρίσκονται στον αέρα εσωτερικών χώρων δεν είναι απαραίτητα υπεύθυνα για πιθανές τοξικές επιδράσεις στην υγεία, εντούτοις αρκετές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις έχουν ταξινομηθεί ως καρκινογόνες . Σύμφωνα με την οδηγία που προτείνεται από τον Molhave το 1990, το επίπεδο TVOC δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 200 µg/m<sup>3</sup> .

Από μελέτες που έγιναν σε διάφορα κτίρια στην περιοχή των Αθηνών παρατηρήσαμε τα ακόλουθα: Η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να επηρεαστεί από αρκετές παραμέτρους όπως συγκέντρωση εξωτερικού αέρα, καθαρότητα στο μηχανικό σύστημα εξαερισμού (συντήρηση φίλτρων, αγωγών αέρα και διαδικασίες καθαρισμού), κάπνισμα, διαδικασίες καθαριότητας των χώρων όπως και από την κίνηση των ατόμων στον χώρο. Οι συγκεντρώσεις των VOC στα κτίρια που έχουν μελετηθεί έχουν διακύμανση ακόμα και στο ίδιο κτίριο ανάλογα με την ημέρα που ελήφθησαν οι μετρήσεις ή το συγκεκριμένο δωμάτιο. Οι συγκεντρώσεις VOC σε πολλές περιπτώσεις ήταν υψηλότερες από τις συγκεντρώσεις εξωτερικού αέρα και σε ορισμένες περιπτώσεις υπερέβησαν την τιμή της οδηγίας των 200 µg/m<sup>3</sup>.

Οι κύριες αιτίες των υψηλών συγκεντρώσεων που βρέθηκαν στα υπό εξέταση κτίρια είναι:

- Ανακαίνιση κτιρίων. Σε χώρους όπου είχαν πρόσφατα ανακαίνιστεί βρέθηκαν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από  $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Κάπνισμα. Σημαντικές διαφορές βρέθηκαν σε καπνιστήρια σε σύγκριση με δωμάτια μη καπνιστών στο ίδιο κτίριο
- Ποιότητα εξωτερικού αέρα. Μετρήσεις που έγιναν στο ίδιο κτίριο για μεγάλο χρονικό διάστημα παρατηρήθηκε ότι η διακύμανση της συγκέντρωσης VOC του εσωτερικού αέρα ακολουθεί την διακύμανση του εξωτερικού αέρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι για μια μεγάλη στιγμιαία αύξηση της συγκέντρωσης των VOC στον εξωτερικό αέρα, τα επίπεδα του εσωτερικού παραμένουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα υψηλά λόγω του εγκλωβισμού τους .
- Λειτουργία και συντήρηση του συστήματος HVAC. Η συντήρηση και η λειτουργία του φαίνεται να είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παραμέτρους που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις VOC στον εσωτερικό αέρα. Σε κτίρια που εξετάσθηκαν πριν και μετά την συντήρηση παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές .
- Θέση ανοιγμάτων του εσωτερικού χώρου σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον για παράδειγμα θέση ανοιγμάτων κοντά σε πρατήρια υγρών καυσίμων ή κοντά σε κλειστούς χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων .
- Προϊόντα καθαρισμού φαίνεται να συμβάλλουν στην αύξηση των συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καθαρισμού και για σύντομο χρονικό διάστημα μετά τον καθαρισμό. Συνήθως τα επίπεδα μειώνονται σημαντικά σε περιπτώσεις όπου υπάρχει επαρκής αερισμός.

Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες ΠΑΥ αποτελούνται χημικά από τον άνθρακα και το υδρογόνο. Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί ,έχει διαπιστωθεί ότι οι ΠΑΥ είναι υπεύθυνοι για καρκινογενέσεις και μεταλλάξεις στα κύτταρα (Nielsen et al, 1996). Επίσης σύμφωνα με έρευνες του Εθνικού Ινστιτούτου Επιστημών Περιβαλλοντικής Υγείας και του υπουργείου Περιβάλλοντος των ΗΠΑ παρατηρήθηκε ότι η έκθεση μιας μητέρας σε ΠΑΥ μπορεί να επηρεάσει το δείκτη ευφυΐας του παιδιού που κυοφορεί.

Οι ΠΑΥ είναι μια ολόκληρη κατηγορία ενώσεων με πιο χαρακτηριστικούς εκπροσώπους (NIOSH/OSHA, Jan, 1981) το:

- Φαινανθρένιο
- Πυρένιο
- Βενζο(α)πυρένιο
- Χρυσένιο
- Ανθρακένιο

Οι ΠΑΥ παράγονται από ατελείς καύσεις άνθρακα και άλλων οργανικών υλικών, περιέχονται στο μαζούτ και σε λιγνιτικά κοιτάσματα. Λόγω της πολύ μεγάλης πτητικότητας, αυξάνουν πολύ την συγκέντρωση των καρκινογόνων ουσιών στον εσωτερικό αέρα. Οι ΠΑΥ προκαλούν καρκίνο των αναπνευστικών οργάνων, των νεφρών, του συκωτιού και του δέρματος. Επίσης υπάρχουν ενδείξεις ότι η χρόνια έκθεση σε ΠΑΥ προκαλεί λευχαιμία ή απλαστική αναιμία.

Στον αέρα οι ΠΑΥ μπορεί να είναι στην αέρια φάση ή προσροφημένοι στα σωματίδια σκόνης καπνού. Έκθεση σε ΠΑΥ μπορεί να προκληθεί από εισπνοή αέρα που προέρχεται από πυρκαγιές ή από ψήσιμο σε ψησταριές. Επιπλέον οι έντονα ψημένες τροφές σε κάρβουνο μπορεί να είναι επιβαρυμένες με ΠΑΥ. Οι κυριότερες πηγές ΠΑΥ στους εσωτερικούς χώρους είναι ο καπνός του τσιγάρου.

Το Τροποσφαιρικό όζον είναι άχρωμο και άοσμο αέριο που βρίσκεται στο ατμοσφαιρικό στρώμα που εφάπτεται στην επιφάνεια της Γης και μπορεί να αποτελέσει τοξικό παράγοντα. Από έρευνες που έγιναν έδειξαν ότι προκαλούν εγκαύματα ή και θάνατο. Τα συμπτώματα από μεγάλες συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού όζοντος είναι ο ερεθισμός των ματιών και του αναπνευστικού συστήματος και σε χρόνια έκθεση επιφέρει σημαντική επιβάρυνση σε υπάρχουσες αναπνευστικές παθήσεις.

Οι πηγές παραγωγής όζοντος στους εσωτερικούς χώρους είναι τα φωτοτυπικά μηχανήματα, οι ηλεκτροστατικοί καθαριστές αέρα και τα καυσαέρια.

## 2.2.4 Σωματιδιακή Ρύπανση

Μια σειρά μελετών της ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσα στα κτίρια, εστιάζεται σήμερα στα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter, PM). Η δράση των σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία είναι συνάρτηση της κατά μάζας συγκέντρωσής τους, αλλά καθοριστικές παράμετροι είναι και το μέγεθος τους καθώς και η χημική τους σύστασης. Εάν αυτές οι παράμετροι είναι γνωστές, οδηγούν στην πηγή προέλευσης των σωματιδίων, πληροφορία που είναι απαραίτητη για να καθορισθούν στρατηγικές ελέγχου. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται περαιτέρω, στα λεπτά σωματίδια, αυτά με διáμετρο μικρότερη των 2,5 μμ (PM2,5), που εισχωρούν βαθιά στους πνεύμονες και μπορούν να περιέχουν τοξικά μέταλλα, καρκινογόνους πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες ή μικροοργανισμούς. Τα σωματίδια, πέρα από τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία προκαλούν φθορά και των υλικών (Monn Ch., 2001, Sinclair J.D., L.A. Postakelty, C.J. Weschler and H.C. Shields 1990).

Ο εξωτερικός αέρας φιλτράρεται από το κέλυφος του κτιρίου, ανάλογα με τη στεγανότητα και τον τρόπο εξαερισμού. Παρόλα αυτά, πάρα πολλοί είναι οι ρύποι που δεν φιλτράρονται, ενώ παράλληλα η διαδικασία αυτή μπορεί να προσθέσει και άλλους ρύπους από το κέλυφος του κτιρίου. Ο βαθμός της διείσδυσης διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Τα σωματίδια με μικρή διάμετρο έχουν μεγαλύτερη ικανότητα διείσδυσης στους εσωτερικούς χώρους, απ' ότι αυτά με μεγάλη . Έχει βρεθεί ότι ο λόγος των εσωτερικών προς των εξωτερικών συγκεντρώσεων I/O (indoor/outdoor) προσεγγίζει την μονάδα για τα PM2,5 ή τα PM10 (σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μμ) με απουσία των εσωτερικών πηγών. Αντιθέτως, ο λόγος I/O για τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια είναι συνήθως μικρότερος της μονάδας, λόγω της μικρότερης ικανότητας των χοντρότερων σωματιδίων να εισχωρούν στους εσωτερικούς χώρους μέσω των τοιχωμάτων του κτιρίου (Thatcher, T.L., Layton, D.W., 1995). Σε περιπτώσεις όμως αυξημένης ανθρώπινης δραστηριότητας στους εσωτερικούς χώρους, οι εσωτερικές πηγές υπερισχύουν έναντι της διείσδυσης από έξω.

Τόσο ο αριθμός, όσο και το είδος των εξωτερικά προερχόμενων αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους, εξαρτάται και από την περιοχή που βρίσκεται το κτίριο (αγροτική, αστική κ.τ.λ.). Από έρευνα που έγινε στο Άμστερνταμ (Kames R., C. Lee, R. Wiener and D. Leigh , 1991) βρέθηκε ότι οι εξωτερικές

συγκεντρώσεις των PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub> σε κατοικίες κοντά σε κεντρικούς δρόμους (υψηλή κυκλοφορία οχημάτων) ήταν 15-20% υψηλότερες απ' ότι σε κατοικίες κοντά σε δρόμους με μειωμένη κίνηση. Διαφορές παρόμοιου μεγέθους παρατηρήθηκαν και στις εσωτερικές συγκεντρώσεις των ίδιων κατοικιών. Πρόσφατες επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν ότι οι άνθρωποι που κατοικούν κοντά σε κεντρικούς δρόμους στις πόλεις, παρουσιάζουν περισσότερο συχνά αναπνευστικά προβλήματα.

Συνήθεις πηγές ρύπανσης στους εσωτερικούς χώρους είναι η κίνηση των ατόμων στο χώρο (επανααιώρηση σκόνης, σωματίδια από ρούχα και δέρμα), κάπνισμα, λειτουργία μηχανών, εκπομπές από δομικά υλικά και επίπλωση, διαδικασία καθαριότητας. Για παράδειγμα ο καπνός από τους καπνίζοντες παράγει σωματίδια διαμέτρων μεταξύ 0.1-0.8 μμ (Miller S.L., Nazaroff W.W., 2001), ενώ αναφέρεται ότι η κίνηση των ατόμων αποτελεί μια εσωτερική πηγή σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μεταξύ 0.7 - 10 μμ ( Abt E., Suh H.H., Allen G., Koutrakis P., 2000).

Τα συνηθέστερα συμπτώματα που σχετίζονται με την ύπαρξη σωματιδιακών ρύπων σε εσωτερικούς χώρους είναι οι ενοχλήσεις των ματιών, της μύτης, του λαιμού, οι πονοκέφαλοι και η αίσθηση της κούρασης και της υπνηλίας, επιπτώσεις που είναι βραχυπρόθεσμες, παροδικές και εύκολα θεραπεύσιμες. Βέβαια υπάρχουν και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις όπως οι αναπνευστικές ασθένειες, οι καρδιακές παθήσεις ακόμα και ο καρκίνος.

Οι κύριες πηγές σωματιδιακής ρύπανσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

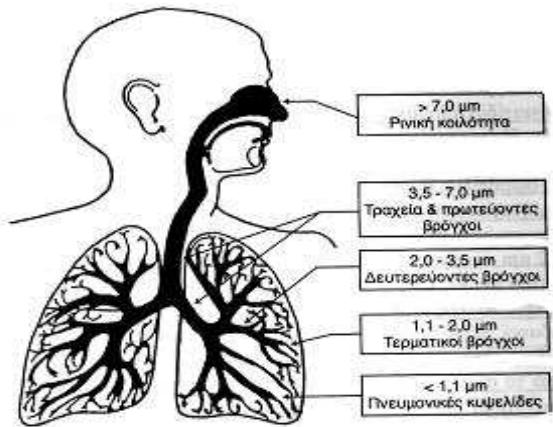
- Στις εξωτερικές πηγές οι οποίες είναι σε ένα αστικό περιβάλλον οι βιομηχανικές μονάδες και η κυκλοφορία των οχημάτων και κυρίως των πετρελαιοκίνητων. Σε μικρότερο βαθμό υπάρχουν και φυσικές πηγές όπως η θάλασσα, τα ηφαίστεια κ.ά.
- Στις εσωτερικές πηγές οι οποίες είναι κυρίως η θέρμανση χώρων και η ύπαρξη εστιών καύσης (κουζίνες, τζάκια), τα υλικά κατασκευής του κτιρίου καθώς και υλικά που συνθέτουν τον εξοπλισμό και τα συστήματα του χώρου δηλαδή όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και μόνωση του κτιρίου, την κατασκευή και διαμόρφωση των χώρων, τη διακόσμηση τους, τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, την ανθρώπινη παρουσία στο χώρο και τις ανθρώπινες δραστηριότητες (κάπνισμα, καθαριότητα), τα ζώα και τα φυτά που βρίσκονται στο κτίσμα.

Η αεροδυναμική διάμετρος των εξωτερικών σωματιδιακών ρύπων είναι συνήθως μεγαλύτερη από ότι αυτή των εσωτερικών. Η χημική σύσταση των σωματιδίων που προέρχονται από εσωτερικές πηγές είναι κυρίως οργανική και έχουν αεροδυναμική διάμετρο συνήθως μικρότερη των 2,5 μμ

Από το κάπνισμα του καπνού παράγομε πάνω από 4000 διαφορετικά συστατικά στον αέρα (USEPA 1992) και έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται άμεσα με την εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα καθώς και μιας σειράς άλλων αναπνευστικών προβλημάτων. Τα περισσότερα από τα σωματίδια που παράγονται από το τσιγάρο είναι αναπνεύσιμα γιατί είναι μικρότερα των PM1. Έχει αποδειχθεί ότι ένας καπνιστής σε κτίρια γραφείων μπορεί να αυξήσει τοπικά τη συγκέντρωση των σωματιδίων από 12 σε 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Kroeling P., 1994).

Σε αστικές περιοχές και όταν στο εσωτερικό των κτιρίων δεν υπάρχουν ισχυρές πηγές, κύρια πηγή ρύπανσης σωματιδίων αποτελεί το εξωτερικό περιβάλλον. Οι τεχνικές μετρήσεις είναι πολύ δύσκολο να διαχωρίσουν τη φύση των μετρούμενων σωματιδίων, ώστε να έχουμε μια συνολική εικόνα προέλευσης των σωματιδίων.

Τα αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία συνδέονται με την απόθεση των σωματιδίων στην περιοχή της αναπνευστικής οδού, στη θωρακική περιοχή και στους πνεύμονες. Το μέγεθος των σωματιδίων που έχει σημασία για την ανθρώπινη υγεία κυμαίνεται μεταξύ 0,1-10 $\mu\text{m}$  αεροδυναμικής διαμέτρου. Σωματίδια με μέγεθος από 10 έως 15 $\mu\text{m}$  εναποτίθενται στη ρινοφαρυγγική κοιλότητα, τη μύτη και το άνω μέρος της αναπνευστικής οδού, οπότε δεν εισχωρούν βαθύτερα στην αναπνευστική οδό. Τα μικρά σωματίδια μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους πνεύμονες. Στο σχήμα 2.7 φαίνεται η διείσδυση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.



**Σχήμα 2.7 Απεικόνιση της διείσδυση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα. ΠΗΓΗ: Kuimtzi, Fitianou, Samara, Konstantinou, 1998**

Η κατηγοριοποίηση των σωματιδίων γίνεται ανάλογα με το μέγεθος τους, σε τρεις περιοχές κατανομής (ASHRAE, 2001) :

- Περιοχή πυρήνωσης που αποτελείται από σωματίδια με διάμετρο  $< 0,2\text{μμ}$
- Περιοχή συσσώρευσης που αποτελείται από σωματίδια διαμέτρου  $0,2\text{-}2,5\text{μμ}$ .
- Περιοχή μεγάλων σωματιδίων που αποτελείται από σωματίδια διάμετρο  $>2,5\text{μμ}$

Στους εσωτερικούς χώρους οι πλειοψηφία των σωματιδίων είναι μικρότερη από  $1\text{μμ}$ . Στον πίνακα 2.4 φαίνονται τα τυπικά είδη σωματιδίων που συναντώνται σε εσωτερικούς χώρους, το μέγεθος τους και ο χρόνος αιώρησης τους.

Είδος σωματιδίου	Αεροδυναμική διάμετρος μμ	Χρόνος καθόδου
Ανθρώπινες τρίχες	100-150	5 δευτερόλεπτα
Νιφάδες δέρματος	20-40	
Ορατή σκόνη	>10	
Τυπική γύρη	15-25	5 λεπτά
Σπόροι	2-10	
Βακτήρια	1-5	10 ώρες
Καπνός τσιγάρου	0,1-1	
Μεταλλικοί και οργανικοί	<0,1-1	
Ατμοί		
Ιοί	<0,1	

**Πίνακας 2.4** Αεροδυναμική διάμετρος και χρόνος καθόδου διαφόρων σωματιδίων

Έχει αποδειχθεί ότι καθώς μειώνεται η συγκέντρωση των σωματιδίων βελτιώνεται η υγεία των χρηστών του κτιρίου. Σε συγκεντρώσεις σωματιδίων μεγαλύτερες από  $500\text{μg}/\text{m}^3$  επιδεινώνονται η κατάσταση υγείας σε άτομα με αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα. Στα παιδιά έχει παρατηρηθεί μείωση της χωρητικότητας των πνευμόνων για αρκετές εβδομάδες όταν αυτά εκτίθενται σε μείγμα σωματιδίων εσωτερικών και εξωτερικών πηγών που ζεπερνά σε συγκέντρωση τα  $80\text{ μg}/\text{m}^3$  (ASHRAE,2001).

## 2.2.5 Βιολογική Ρύπανση

Οι βιολογικοί παράγοντες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη ρύπανση του εσωτερικού αέρα των κτιρίων είναι οι μούχλες, τα αλλεργιογόνα, ιοί, βακτήρια, πρωτόζωα, η γύρη των λουλουδιών, σκόνες και ζωικά απορρίμματα από έντομα (Brooks and Davis 1992). Σε κτίρια με κεντρικό σύστημα κλιματισμού (HVAC), τα εσωτερικά τοιχώματα των αγωγών (ειδικά στα πρώτα μέτρα ή εκεί που επιτυγχάνεται το σημείο δρόσου και η υγρασία πλησιάζει στο 100%) μπορεί να αποτελέσουν μέρη αναπαραγωγής μούχλας και βακτηρίων. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα σοβαρό σε θερμά και υγρά κλίματα και επιδεινώνεται με την τάση σχεδιασμού με γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργεια.

Κατά τη διάρκεια ψύξης του υγρού αέρα, το νερό συμπυκνώνεται. Στις παλαιότερες μεθόδους κλιματισμού, ο αέρας ψύχονταν πολύ περισσότερο από ότι χρειαζόταν για τη δημιουργία κλίματος ευφορίας, απομακρύνοντας έτσι το μεγαλύτερο μέρος του νερού με αποτέλεσμα η αρχική θερμοκρασία δωματίου να επαναφέρεται άμεσα. Λόγω της ανάγκης εξοικονόμησης ενέργειας καταργήθηκε η παραπόνω μέθοδος κλιματισμού. Έτσι, με τη νέα τεχνολογία κλιματισμού ο ψυχόμενος αέρας που στέλνεται στο κτίριο περιέχει περισσότερη υγρασία από ότι στο παρελθόν και συχνά υγραίνει τα εσωτερικά τοιχώματα των αεραγωγών, προσφέροντας ιδιαίτερες συνθήκες για αναπαραγωγή μούχλας, μυκήτων, βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών.

Μια άλλη αλλαγή που χρησιμοποιήθηκε στις σύγχρονες HVAC για την εξοικονόμηση ενέργειας είναι η χρήση υψηλότερου ποσοστού ανακυκλωμένου αέρα και μικρότερου ποσοστού εξωτερικού αέρα. Η αλλαγή αυτή μαζί με τις σύγχρονες μεθόδους ψύξης, δημιούργησε το πρόβλημα της ρύπανσης του εσωτερικού περιβάλλοντος. Σε πολυάριθμες έρευνες σε κτίρια που έχουν πρόβλημα με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα ο έλεγχος των συστημάτων HVAC βρέθηκαν εκατομμύρια σπόροι μυκήτων ανά τετραγωνικό εκατοστό στα εσωτερικά τοιχώματα των αεραγωγών (Alley, David Cooper 2000) που παρασύρονται από τον αέρα των κλιματιστικών στις οικίες και στους χώρους εργασίας. Οι άνθρωποι μπορεί να είναι αλλεργικοί στις μούχλες, στους σπόρους των μυκήτων τους και των αέριων προϊόντων του μεταβολισμού τους.

Το καλοκαίρι του 1976, στο ξενοδοχείο «Bellevue- Staford» της Φιλαδέλφειας των ΗΠΑ, μια επιδημία πνευμονίας πρόσβαλε 221 ανθρώπους και προκάλεσε 34 θανάτους κατά τη διάρκεια της ετήσιας συνέλευσης των Αμερικανών απόστρατων λεγεωνάριων. Αργότερα εξακριβώθηκε ότι η αιτία αυτής της πνευμονίας ήταν ένα είδος gram -αρνητικού αερόβιου βακτηριδίου- που ονομάστηκε Λεγιονέλλα πνευμονόφιλος και απομονώθηκε σε υδρατμούς του νερού των κλιματιστικών κεντρικών συστημάτων. Ο ίδιος μικροοργανισμός ήταν υπεύθυνος και για μια προηγούμενη επιδημία πνευμονίας, στο ίδιο ξενοδοχείο της Φιλαδέλφειας το 1974, αλλά και για την πνευμονοπάθεια που παρουσιάστηκε το 1968 σε 144 εργαζόμενους και επισκέπτες ενός νοσοκομείου της πόλης Πόντιακ του Μίτσιγκαν και ονομάστηκε «Pontiac- Fever». Το βακτήριο *Legionella Pneumophila* είναι η κύρια αιτία ασθένειας του αναπνευστικού και η οποία είναι υπεύθυνη για 1-13% των πνευμονολογικών περιστατικών που διαπιστώνονται στα νοσοκομεία (Hayes et al 1995). Αυτά τα βακτήρια μπορούν να ζήσουν εκτός του ανθρώπινου σώματος και συγκεκριμένα στο νερό μέχρι και ένα χρόνο και πηγές της *Legionella Pneumophila* στον αέρα εσωτερικού χώρου βρέθηκαν σε πολύ ζεστές μπανιέρες, σε υγραντήρες και εξατμιστές, σε θερμαντήρες ζεστού νερού, σε συσκευές πυρόσβεσης, σε βρύσες και πύργους ψύξης πολλών κτιρίων.

Αλλεργιογόνα λέγονται οι ομάδες διαφόρων ουσιών που προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις σε ορισμένους ανθρώπους. Μια αλλεργική αντίδραση είναι εξαιρετικά υπερβολική απόκριση της ανοσίας και μπορεί να προκαλέσει φυσική βλάβη στον ξενιστή (οργανισμό που φιλοξενεί το παράσιτο). Τα αλλεργιογόνα που βρέθηκαν στους εσωτερικούς χώρους περιλαμβάνουν

- τις βιοτικές ομάδες όπως βακτήρια, μύκητες, σπόρους μούχλας, γύρη και άλγη (φυτικό πλαγκτόν)
- μη-βιοτικές ομάδες όπως οικιακή σκόνη, τμήματα από σώματα εντόμων, νεκρά κύτταρα μυκήτων και βακτηρίων, πολύ λεπτή σκόνη και περιττώματα κατσαρίδας. Ασθένειες που προέρχονται από αερομεταφερόμενα αλλεργιογόνα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, αλλεργική ρινίτιδα (οξύ ερεθισμό των ρινικών διαφραγμάτων, φαγούρα και ύγρανση των ματιών και φτάρνισμα), αλλεργικό άσθμα και υπερευαίσθητη πνευμονίτιδα.

### **3.ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Η ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων σε κατοικίες αποτέλεσε αντικείμενο πειραματικών ερευνών τόσο στον Ελλαδικό χώρο όσο και στο διεθνές. Στόχος της υλοποίησης των ερευνών αυτών ήταν ο προσδιορισμός του είδους, της ποσότητας και της συχνότητας εμφάνισης των διαφόρων ρύπων σε εσωτερικούς χώρους των κατοικιών καθώς και οι επιπτώσεις τους στους ενοίκους.

Η μελέτη και εξαγωγή των συμπερασμάτων από τη συγκέντρωση ρύπων στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών θεωρείται μείζονος σημασίας, δεδομένου ότι περίπου το 1/3 της ανθρώπινης δραστηριότητας διενεργείται στις κατοικίες. Συνεπώς, τυχόν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, λόγω της ύπαρξης ρύπων στον εσωτερικό αέρα, αναμένεται να είναι σοβαρότερες.

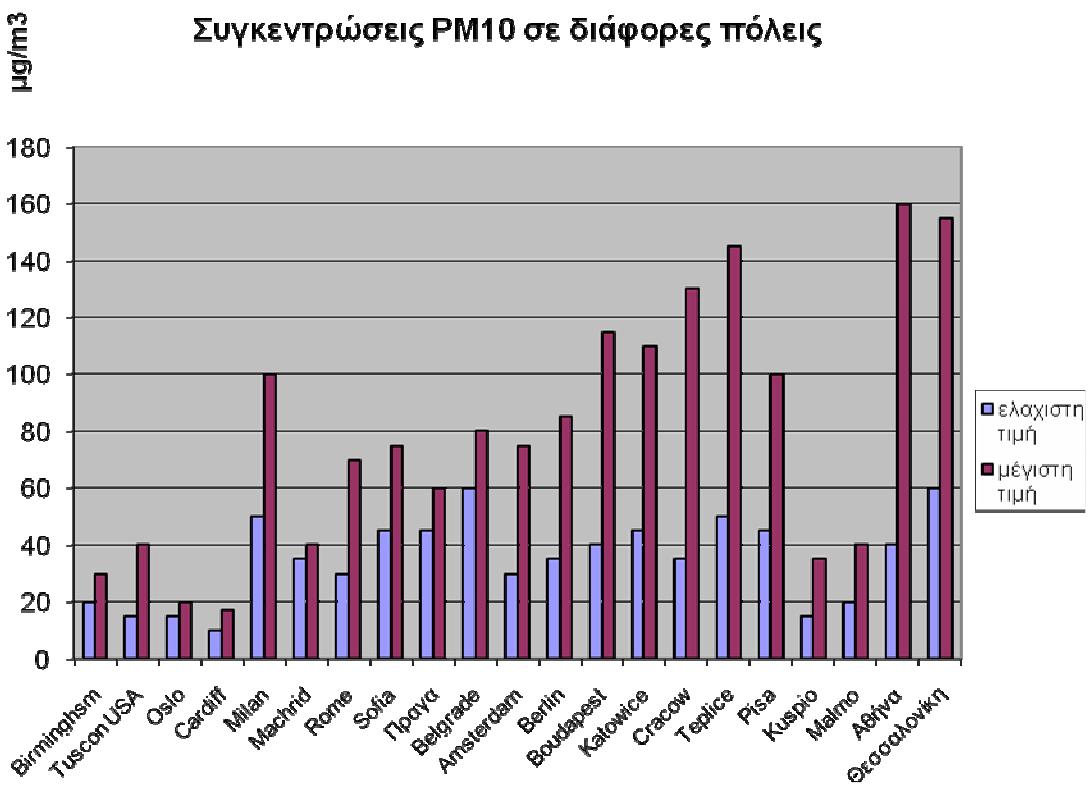
Οι πιο συχνά εμφανιζόμενοι ρύποι στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών είναι οι σωματιδιακοί ρύποι, το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, το μονοξείδιο του άνθρακα CO, τα διοξείδια του αζώτου και οι πτητικές οργανικές ενώσεις VOC. Οι κυριότερες πηγές ρύπων των προαναφερθέντων είναι :

- οικιακές εργασίες όπως το μαγείρεμα, το ξεσκόνισμα, η χρήση χημικών προϊόντων κατά το καθαρισμό χώρου, η χρήση ηλεκτρικής σκούπας κ.α.
- η θέρμανση όπως εστίες τζακιών και οι σόμπες
- η επίπλωση
- το κάπνισμα
- και το εξωτερικό περιβάλλον

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται, αναλύονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα διαφόρων πειραματικών ερευνών από τη ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία.

### 3.2 Μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού αέρα σε παγκόσμιο επίπεδο

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τα επίπεδα της συγκέντρωσης των PM10 στον εξωτερικό αέρα πόλεων της Ευρώπης και της Αμερικής.

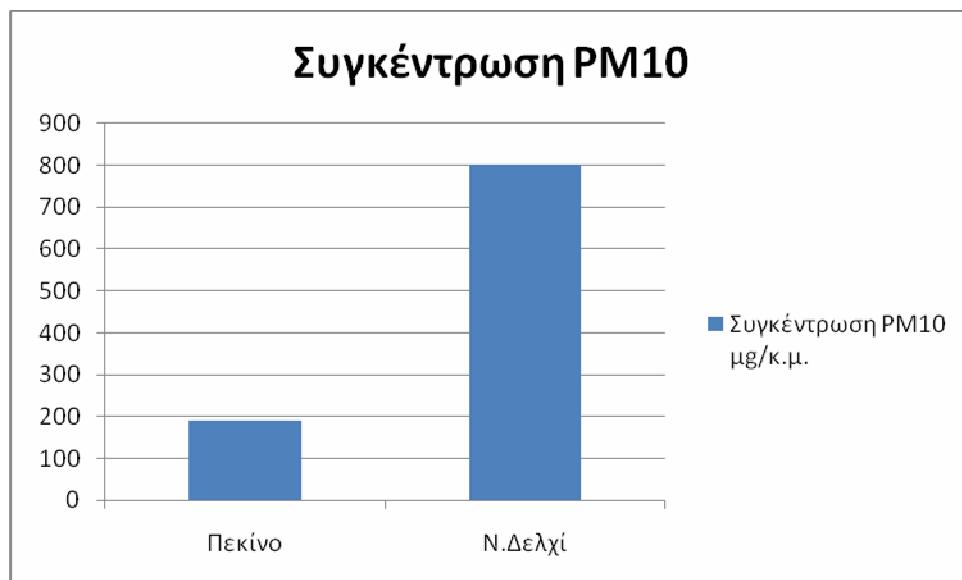


**Σχήμα 3.1 Συγκέντρωσεις PM10 στον εξωτερικό αέρα διάφορων πόλεων.**

Τα δεδομένα για το Birmingham προέρχονται από τον Jones et al (2000), για το Tuscon από τον Quackenboss et al(2004), για το Όσλο από τον Oie et al (1997), για το Cardiff από τον Berube et al(2004), για το Μιλάνο από τον Markazzan et al (2003) για τη Μαδρίτη από τον Artinano et al (2003), για τη Ρώμη από τους Cattani et al, (2003), και Fusco et al (2001), για την Σόφια από τον Farmer et al (2003), για την Πράγα από τον Gotschi et al (2002), για το Βελιγράδι από τον Rajsic et al (2004), για το Άμστερνταμ από τον Vallious et al (2005). Για τις υπόλοιπες πόλεις εκτός των Αθηνών και της Θεσσαλονίκης, τα δεδομένα προέρχονται από τον Hoek et al (1997). Οι μετρήσεις που αφορούν τις Ελληνικές πόλεις είναι από τον Grivas et al (2004).

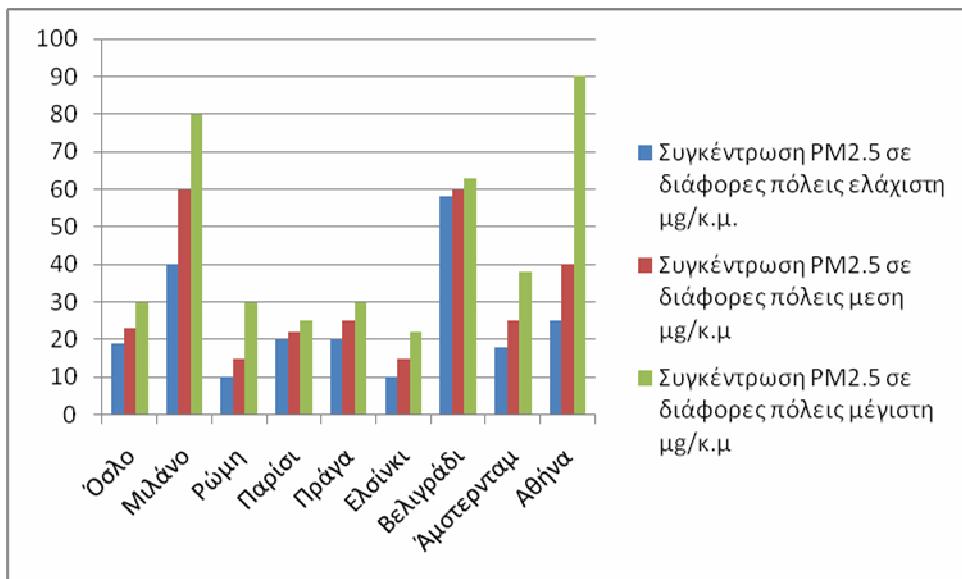
Από το σχήμα 3.1 διαπιστώνεται ότι η μέση συγκέντρωση σωματιδίων PM10 στο σύνολο των πόλεων κυμαίνεται από 30 έως 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Επίσης, παρατηρούνται αυξημένες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 από 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  έως 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στις πόλεις Μιλάνο, Βελιγράδι, Βερολίνο, Βουδαπέστη, Katowice, Cracow, Teplise, Πίζα, Αθήνα και Θεσσαλονίκη, οι οποίες έχουν κοινό χαρακτηριστικό τη πυκνοκατοίκηση και το ανάλογο κυκλοφοριακό φόρτο. Η μεγάλη απόκλιση συγκεντρώσεων σε πόλεις όπως Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Cracow, Teplise σε σύγκριση με πόλεις όπως Βελιγράδι, Πράγα κ.α. μπορεί να ερμηνευτεί λαμβάνοντας υπόψη τη μονιμότητα των πηγών ρύπανσης καθώς και τη διακύμανση κλίματος κατά τη διάρκεια του έτους.

Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται οι συγκεντρώσεις PM10 σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών στις πόλεις Πεκίνο και Δελχί από μετρήσεις που πάρθηκαν από έρευνες των Song et al (2006) και του Khillare et al (2003). Διαπιστώνεται ότι οι συγκεντρώσεις PM10 σε αναπτυσσόμενες πόλεις όπως το Ν. Δελχί είναι υψηλότερες από πόλεις ανεπτυγμένες όπως το Πεκίνο.



**Σχήμα 3.2 Συγκέντρωση PM10 σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών στο Πεκίνο και στο Ν. Δελχί.**

Στο σχήμα 3.3 εκφράζονται η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη συγκέντρωση σωματιδίων PM2,5 στο εσωτερικό κατοικιών σε διάφορες πόλεις της Ευρώπης .



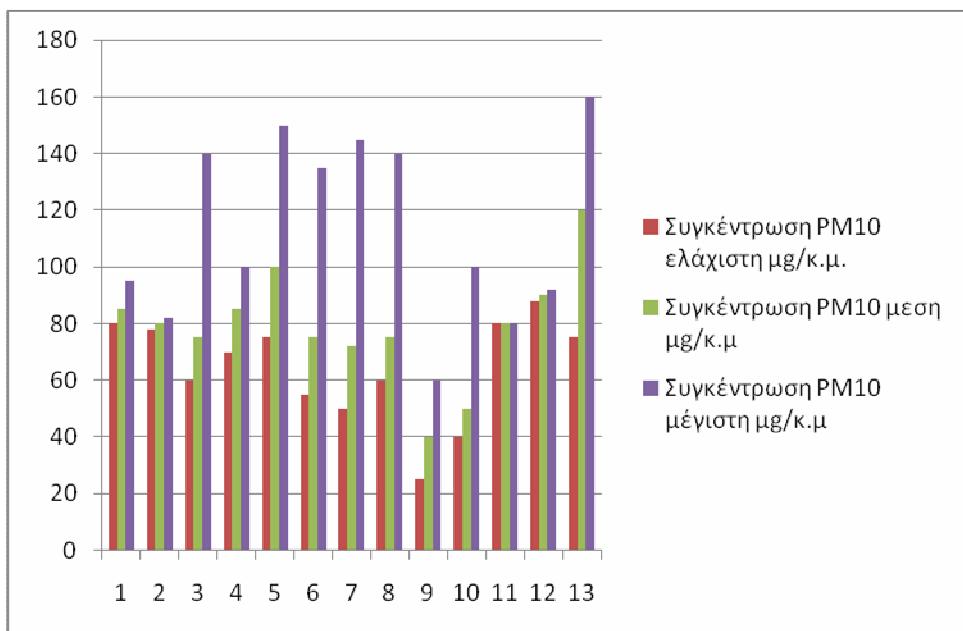
**Σχήμα 3.3 Συγκέντρωση PM2,5 σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις .**

Τα δεδομένα για το Όσλο είναι από τον Oie et al (1997), για το Μιλάνο από τον Lonati et al(2005), για την Ρώμη από τον Cattani et al (2003), για το Παρίσι από τον Bauling et al (2004), για την Πράγα από τους Gotschi et al (2002), για το Ελσίνκι από τους Gotschi et al (2002), και Vallius et al (2005), για το Βελιγράδι από τον Rajsic et al (2004) και για το Άμστερνταμ από τον Vallious et al (2005) .

Από το σχήμα 3.3 συμπεραίνουμε ότι η μέση συγκέντρωση των PM2.5 κυμαίνεται σχεδόν σε όλες τις πόλεις περί 20 με 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ η μέγιστη μέση συγκέντρωση στο Μιλάνο και στο Βελιγράδι είναι  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στην Αθήνα παρατηρούμε ότι έχουμε την μέγιστη τιμή συγκέντρωσης που είναι στα  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Επίσης, παρατηρούμε ότι στο Παρίσι η ελάχιστη, μέση και μέγιστη συγκέντρωση PM2,5 κυμαίνεται στο ίδιο επίπεδο των 19 με  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με πιθανή ύπαρξη σταθερής πηγής ρύπων στη περιοχή δειγματοληψίας, όπως δρόμος με μόνιμο κυκλοφοριακό φόρτο, ή βιομηχανική μονάδα, δεδομένου ότι σε αστικές περιοχές κύρια πηγή ρύπανσης του εσωτερικού χώρου κατοικιών είναι το εξωτερικό περιβάλλον. Η μεγάλη απόκλιση μέγιστης ελάχιστης τιμής συγκέντρωσης PM2,5, της τάξης των  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στην Αθήνα πιθανόν να οφείλεται στην ημερήσια διακύμανση της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων καθώς επίσης και από την συχνή αλλαγή κλίματος ανά έτος.

### 3.3 Μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού αέρα στην Ελλάδα

Στο σχήμα 3.4 απεικονίζονται οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις PM10 σε έντεκα εσωτερικούς χώρους κατοικιών στην Αθήνα και δύο στη Θεσσαλονίκη.



**Σχήμα 3.4 Μετρηθείσες συγκεντρώσεις PM10 σε εσωτερικούς χώρους 11 κατοικιών στην Αθήνα (1-11) και 2 κατοικιών στην Θεσσαλονίκη (12-13).**

Οι μετρήσεις σε επτά κατοικίες από τη περιοχή Αμαρουσίου (1-7) έγιναν αντίστοιχα από τους Valaisanes et al (2006), Scheff and Valiozis (1990), Chaloulakou et al (2005), Manalis et al (2005), Hoek et al (1997), Vassillakos et al (2005), Grivas et al (2004), σε μια κατοικία από το κέντρο Αθήνας (8) Grivas et al (2004), σε μια κατοικία από την περιοχή Θρακομακεδόνων (9) Grivas et al (2004), σε μια κατοικία από τη περιοχή Ελευσίνας (10) Grivas et al (2004), σε μια κατοικία από τη περιοχή των προαστίων της Αθήνας (11) Sfakianaki et al (2007), σε μια κατοικία των προαστίων Θεσσαλονίκης (12) Voutsas et al (2002) και σε μια κατοικία στο κέντρο της Θεσσαλονίκης (13) Samara et al (2003).

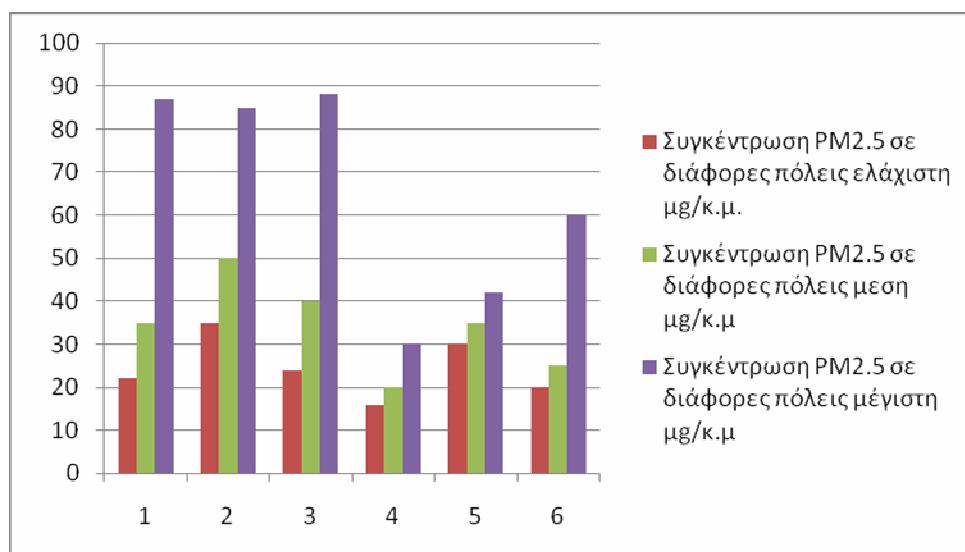
Από τις μετρήσεις που έγιναν σε επτά κατοικίες στο Μαρούσι παρατηρείται έντονη διακύμανση των μέγιστων τιμών συγκέντρωσης από κατοικία σε κατοικία, για παράδειγμα οι (1,2,4) με τις (3,5,6,7). Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί αν υποθέσουμε ότι η θέση των κατοικιών, που παρουσίασαν αυξημένες μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων σε σχέση με τη μέση τιμή τους, είναι κοντά ή δίπλα σε δρόμους έντονης κυκλοφορίας οχημάτων. Επιπρόσθετα, πιθανόν να παρουσιάζεται έντονη

κινητικότητα στους εσωτερικούς χώρους των κατοικιών αυτών, που προκαλεί επανα-αιώρηση των σωματιδίων. Το ίδιο μπορούμε να συμπεράνουμε και για τις μετρήσεις στη κατοικία στο κέντρο της Αθήνας (8). Οι τιμές συγκεντρώσεων PM10 στη κατοικία των Θρακομακεδόνων (9) κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα της τάξης των 25 με  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  χωρίς υψηλές αποκλίσεις των μετρηθείσων τιμών. Τα χαμηλά αυτά επίπεδα τιμών είναι αναμενόμενα, αν αναλογιστεί κανείς το προαστιακό χαρακτήρα των Θρακομακεδόνων με το αραιοκατοικημένο πληθυσμό και το ανύπαρκτο κυκλοφοριακό φόρτο σε συνδυασμό με τη προνομιακή του θέση αφού περιβάλλεται από τον καταπράσινο ορεινό όγκο της Πάρνηθας. Χαρακτηριστικό των μετρήσεων στη κατοικία της Ελευσίνας (10) είναι η μεγάλη απόκλιση της μέγιστης  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  με της ελάχιστης τιμής συγκέντρωσης  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  που μπορεί να εξηγηθεί με την ύπαρξη σημειακών πηγών ρύπανσης καθώς και με τη έντονα μεταβαλλόμενη κίνηση οχημάτων στο κεντρικό δρόμο της Ελευσίνας. Για παράδειγμα, στον οδικό άξονα Ελευσίνα-Κόρινθος παρατηρείται αυξημένη κίνηση οχημάτων τις πρωινές ώρες σε αντίθεση με τις βραδυνές. Στη κατοικία (11) η μέγιστη ελάχιστη και μέση τιμή συγκέντρωσης είναι σταθερή στα  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και αυτό ίσως να οφείλεται στον ανεπαρκή αερισμό της κατοικίας όπως θα αναμενόταν για ένα ακατοίκητο χώρο. Στις κατοικίες της Θεσσαλονίκης (12,13) γενικά καταγράφονται υψηλές συγκεντρώσεις από  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (12) μέχρι  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (13) σε σχέση με τις αντίστοιχες της Αθήνας  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (9) και  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (8) λόγω του ότι η Θεσσαλονίκη αποτελείται από βιομηχανικές περιοχές.

Τέλος παρατηρείται η μέση συγκέντρωση όλων των κατοικιών είναι γύρω στα  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  με μέγιστη όλων των τιμών τα  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στο κέντρο της Θεσσαλονίκης. Το επιτρεπόμενο όριο σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία είναι  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και ξεπερνάτε από όλες τις μετρήσεις των μέσων συγκεντρώσεων εκτός από τους Θρακομακεδόνες που είναι κατά  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  λιγότερο από το επιτρεπτό όριο και την Ελευσίνα που είναι στο επιτρεπτό όριο.

Η μέτρηση της σύστασης των σωματιδίων προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την επικινδυνότητα τους. Από την ανάλυση των Silanpa et al (2006) για τα σωματίδια PM<sub>2,5</sub> έως PM<sub>10</sub>, που έγινε στην περιοχή της Αθήνας, διαπιστώθηκε ότι το 65% της μάζας των σωματιδίων αποτελείται από υδατοδιαλυτά και μη συστατικά του εδάφους. Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από το Mantis et al (2005) για τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες PAH σε σωματίδια PM<sub>10</sub> σε περιοχές της Αθήνα όπως το Μαρούσι, το κέντρο της Αθήνας, την Ελευσίνα και τους Θρακομακεδόνες, εντοπίστηκε το ισχυρό καρκινογενές Benzo[a]pyrene σε μικρότερες συγκεντρώσεις βέβαια από το επιτρεπτό όριο, αλλά παρατηρήθηκαν και μεμονωμένες τιμές που το ξεπερνούσαν. Οι PAH είναι ημιπτητικές οργανικές ενώσεις που παράγονται κατά την ατελή καύση και την πυρόλυση οργανικής ύλης από τις οποίες πολλές είναι καρκινογόνες (IARC 1991).

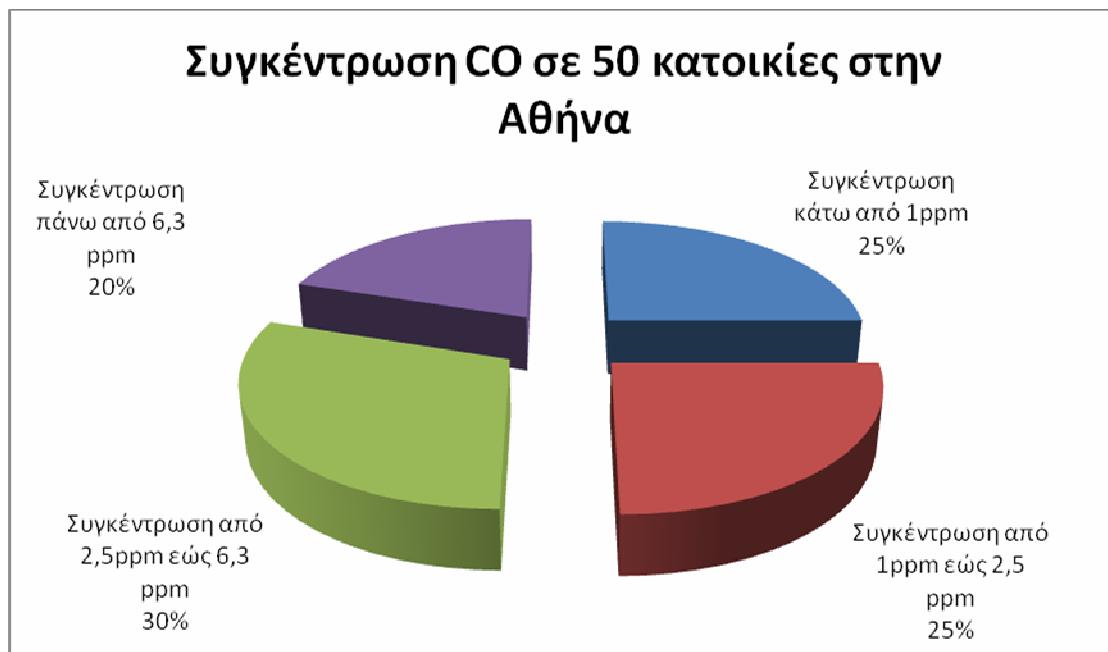
Στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 3.5) καταγράφεται το εύρος των συγκεντρώσεων των PM<sub>2,5</sub> σε εσωτερικούς χώρους κατοικιών σε διάφορες περιοχές της Αθήνας. Τα στοιχεία των μετρήσεων είναι από τους Hämminen et al (2003) Chaloulakou et al (2005), Vassilakos et al (2005) για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας (1-3), οι Vassilakos et al (2005) για την περιοχή της Αγία Παρασκευής (4), Valavanides et al (2006) (5), Sfakianaki et al (2007) (6).



**Σχήμα 3.5 Συγκέντρωση PM<sub>2,5</sub> σε εσωτερικούς χώρους σε διάφορες περιοχές της Αθήνας.**

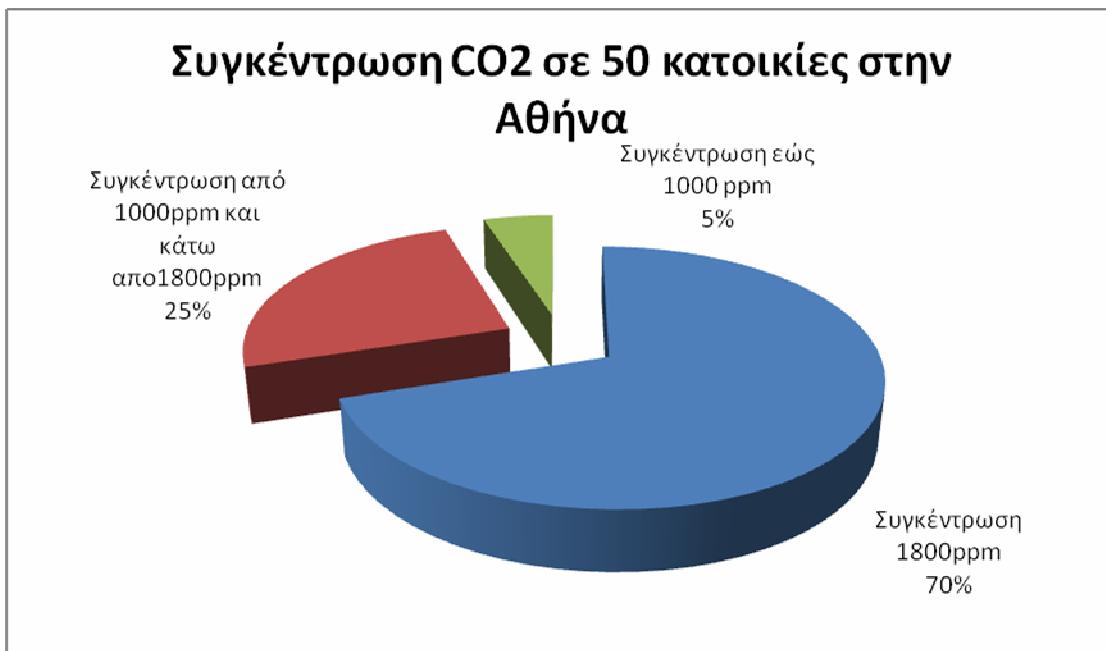
Η τιμές συγκέντρωσης PM<sub>2,5</sub> στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών στο κέντρο της Αθήνας (1,2,3) παρουσιάζει διακύμανση της τάξης των 55 μg/m<sup>3</sup> με 65μg/m<sup>3</sup> από ελάχιστη σε μέγιστη τιμή συγκέντρωσης. Αυτό οφείλεται στη περιοδική εμφάνιση ρύπων όπως ρύπους που προέχονται από κυκλοφοριακή συμφόρηση τις ώρες αιχμής ή ακόμα και το κάπνισμα ,την καθαριότητα και άλλες δραστηριότητες στο εσωτερικό των κατοικιών. Επίσης, παρατηρούνται ιδιαίτερα χαμηλές τιμές συγκεντρώσεων στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής με αναμενόμενα μικρές αποκλίσεις της μέγιστης, ελάχιστης και μέσης τιμής, αφού αποκλείεται λόγω περιοχής ο παράγοντας του βεβαρυμμένου από ρύπους εξωτερικού περιβάλλοντος. Τέλος, η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των εσωτερικών χώρων κατοικιών στην Αθήνα κυμαίνεται από 35 έως 50 μg/m<sup>3</sup> σε αντίθεση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες (σχήμα 3.3) που κυμαίνεται από 20 έως 25 μg/m<sup>3</sup>.

Στο σχήμα 3.6 αποτυπώνονται οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα CO, στους εσωτερικούς χώρους 50 κατοικιών στην Αθήνα (Santamouris et al, 2007).



**Σχήμα 3.6 Συγκέντρωση CO σε 50 κατοικίες στην Αθήνα.**

Στο 25 % των κατοικιών που μετρήθηκαν βρέθηκε συγκέντρωση CO κάτω από 1 ppm και από 1 ppm έως 2,5ppm. Το 30 % των κατοικιών είχαν συγκέντρωση από 1,5 έως 6,3 ppm και το 20 % πάνω από 6,3 ppm .



**Σχήμα 3.7 Συγκέντρωση CO<sub>2</sub> σε 50 κατοικίες στην Αθήνα.**

Στο σχήμα 3.7 αποτυπώνονται οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στο εσωτερικό χώρο 50 κατοικιών. Παρατηρείται ότι η συγκέντρωση έως 1000 ppm καταλαμβάνει μόνο το 5% της πίτας ενώ το 70% εμφανίζει συγκέντρωση CO<sub>2</sub> 1800 ppm. Στο 25% των κατοικιών βρέθηκε συγκέντρωση CO<sub>2</sub> από 1000 έως 1800 ppm. Η αυξημένη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> της τάξης των 1800 ppm στη πλειονότητα των κατοικιών που μετρήθηκαν πιθανόν να οφείλεται στο σύστημα θέρμανσης, στο κάπνισμα και στο εξωτερικό περιβάλλον.

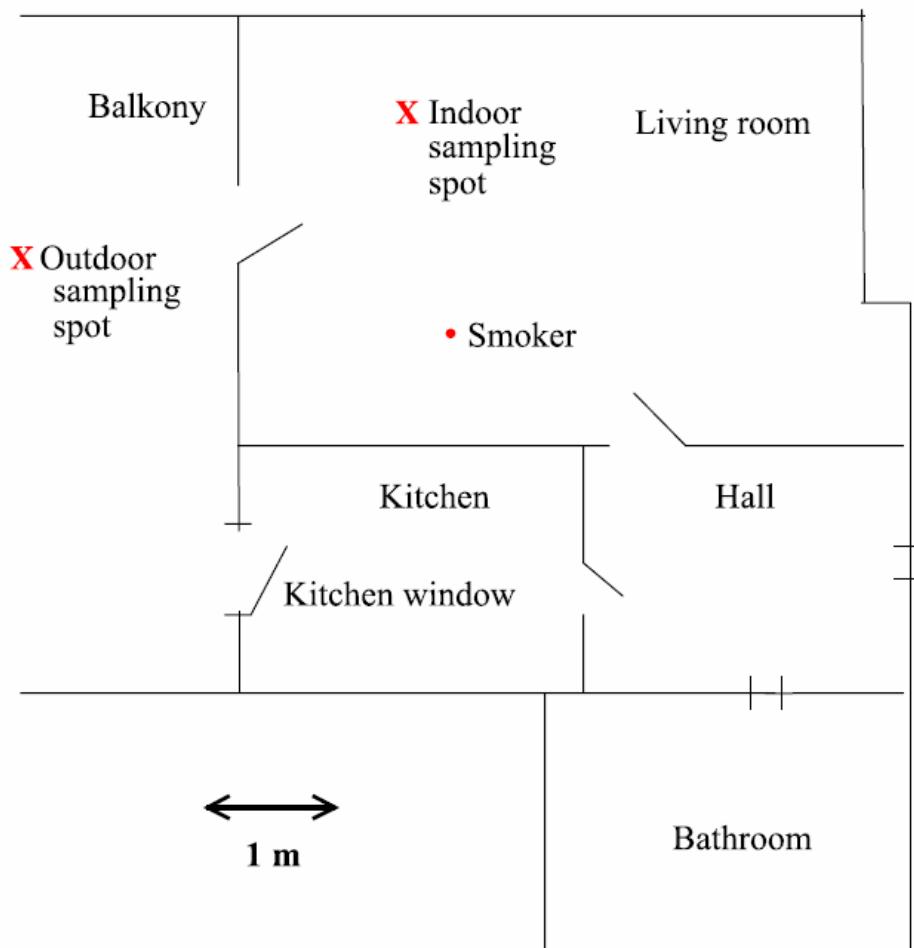
Οι Willers et al (2006) μέτρησαν την συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> σε 74 κουζίνες με διαφορετικούς τύπους καυσίμων για μαγείρεμα. Με χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για μαγείρεμα η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> είναι 744 ppm, ενώ με χρήση φυσικού αερίου η αντίστοιχη συγκέντρωση είναι πολύ μεγαλύτερη στα 906 ppm. Οι Beak et al (1997) μέτρησαν την συγκέντρωση CO<sub>2</sub> σε έξι κατοικίες σε δύο πόλεις της Κορέας η οποία κυμαίνεται από 300 έως 1300 ppm.

### **3.4 Επιβάρυνση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα λόγω του καπνίσματος**

Το κάπνισμα του καπνού αποτελεί έναν από τους πιο επικίνδυνους και διαδεδομένους ρύπους. Ο καπνός του τσιγάρου παράγει περισσότερα από 4000 διαφορετικά συστατικά στον αέρα ( USEPA, 1992) και έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται άμεσα με την εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα καθώς και μιας σειράς άλλων αναπνευστικών ασθενειών. Το κάπνισμα το κατέταξε η EPA στη ομάδα των καρκινογενών το 1992. Τα σωματίδια που παράγονται από το τσιγάρο είναι εισπνεύσιμα καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό τους είναι διαμέτρου μικρότερης από 1μμ, ενώ ένα μεγάλο ποσοστό είναι διαμέτρου μικρότερης από 0,1μμ (Dermitzoglou,2003). Αν δεν έχουμε παραγωγή φαγητού το κάπνισμα παράγει το 54% των αιωρούμενων Σωματιδίων σε ένα χώρο (Koutrakis et al, 1992). Σε κτίρια στις ΗΠΑ που έχουν γίνει μετρήσεις έδειξαν ότι η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε χώρους με καπνιστές μπορεί να αυξηθεί έως και 100 φορές και να φθάσει σε τιμές γύρω στα 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Από τις μετρήσεις των Santamouris (2007) και Halios et al (2005) για τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια στην Αθήνα βρέθηκε ότι η συγκέντρωση κυμαίνεται από 0,2 έως 0,3  $\text{mg}/\text{m}^3$  εξωτερικά του κτιρίου και η συγκέντρωση εσωτερικού χώρου μη καπνιζόντων ήταν περίπου 0,75  $\text{mg}/\text{m}^3$  ενώ σε χώρο καπνιζόντων η συγκέντρωση έφτανε τα 3,1  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

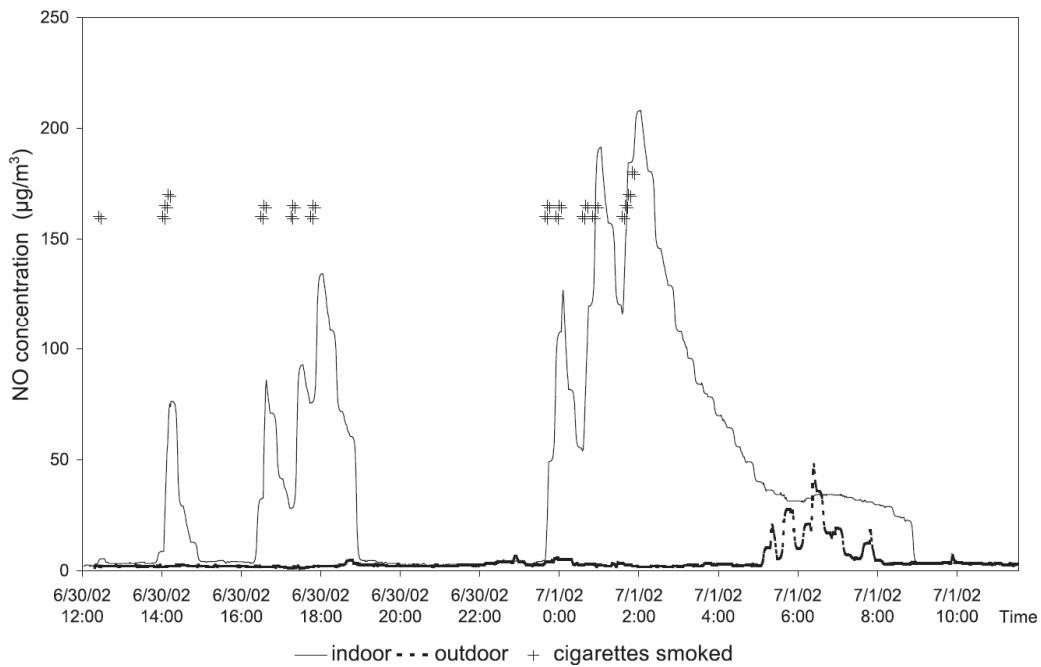
Σε μια έρευνα των Halios C., Assimakopoulos H.,Flocas (2004) σε ένα μικρό διαμέρισμα στο κέντρο της Αθήνας, κοντά σε κεντρικό δρόμο που χαρακτηρίζεται από μέτρια κυκλοφορία, έγιναν μετρήσεις των NOx, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, TVOCs, και CO<sub>2</sub> και παρατίθενται στα σχήματα 3.9 και 3.10. Το διαμέρισμα είναι 25 ετών και έχει εμβαδόν 28τ.μ.. Η κάτοψη του διαμερίσματος δίνεται στο σχήμα 3.6 όπου φαίνονται και οι θέσεις των αισθητήρων που μετρούνται τα NOx, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, TVOCs, και CO<sub>2</sub>.



**Σχήμα 3.8 Κάτοψη διαμερίσματος και θέση των αισθητήρων. ΠΗΓΗ: C.H. Halios et al., 2005**

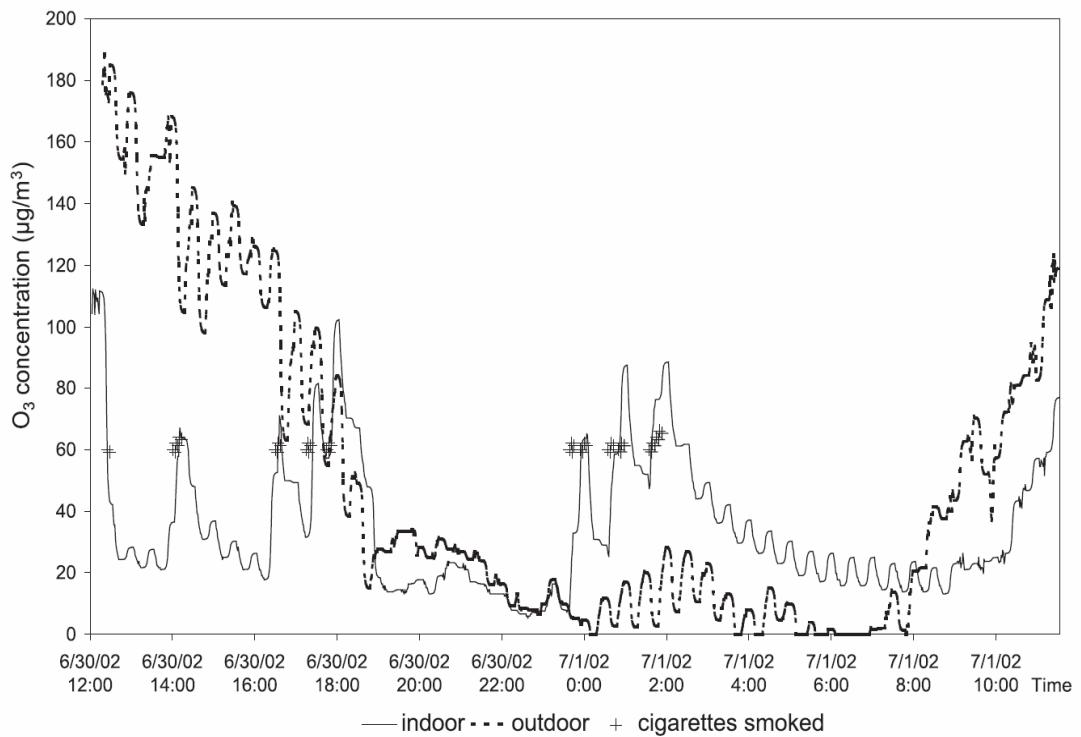
Οι θέσεις των αισθητήρων σύμφωνα με το σχήμα 3.8 εντοπίζονται σε δύο χώρους. Ο ένας αισθητήρας βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο του σπιτιού και συγκεκριμένα στο χώρο διημέρευσης όπου υπάρχουν και καπνιστές. Ο άλλος αισθητήρας βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο του σπιτιού και συγκεκριμένα στον εξώστη του ίδιου ορόφου και επικοινωνεί με το εσωτερικό της κατοικίας με δύο ανοίγματα.

Για να εκτιμηθεί η επίδραση του καπνίσματος στον εσωτερικό χώρο χρησιμοποιείται ο συντελεστής I/O εσωτερική προς εξωτερική συγκέντρωση του κάθε ρύπου. Ο ρυθμός αλλαγών του αέρα έχει υπολογιστεί σε 1,4 εναλλαγές αέρα ανά ώρα.



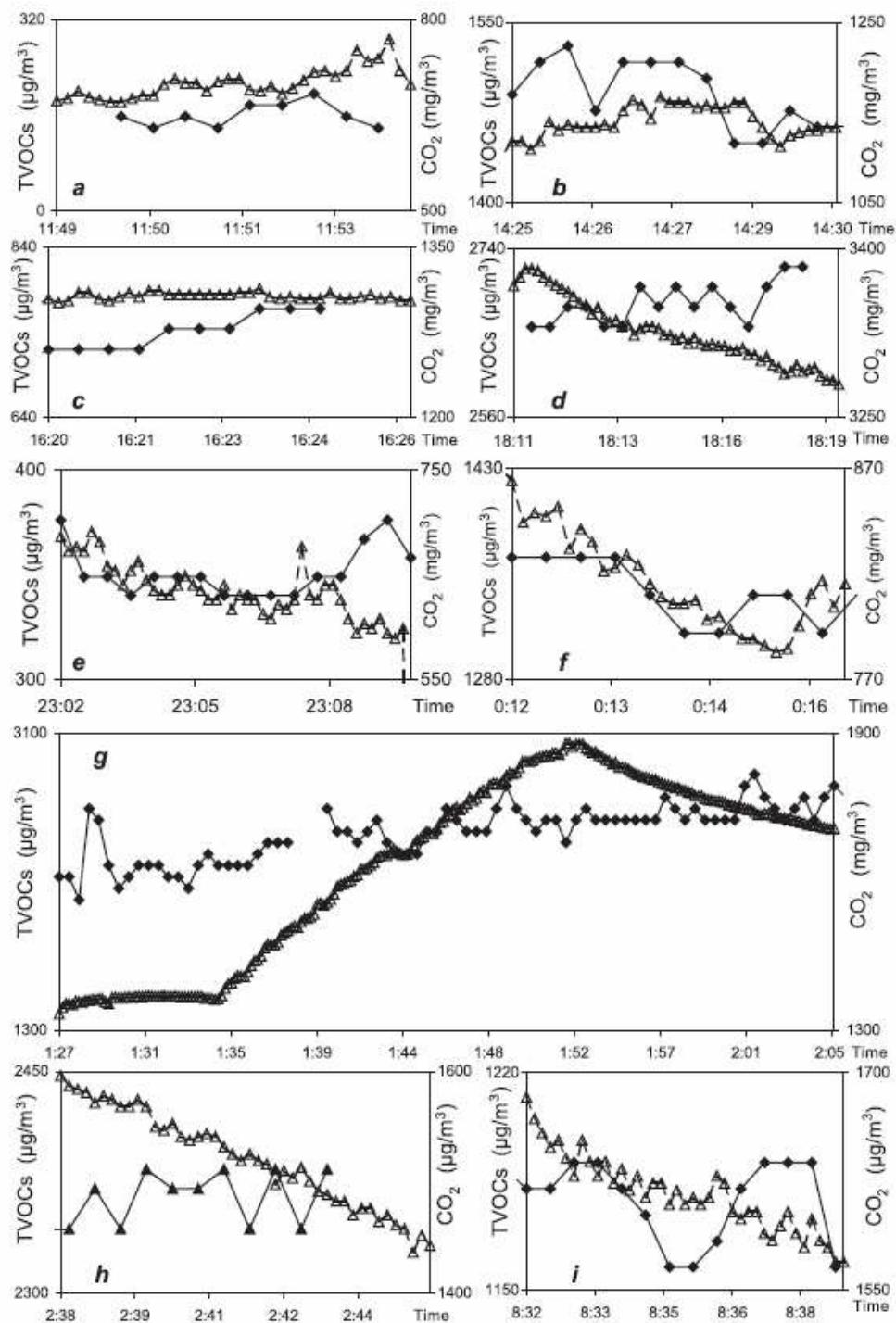
**Σχήμα 3.9 Διάγραμμα εσωτερικών και εξωτερικών μετρήσεων NO σε συνδυασμό με την κατανάλωση τσιγάρων. ΠΗΓΗ: C.H. Halios et al. (2005)**

Στο σχήμα 3.9 παρατηρούμε ότι οι εξωτερικές συγκεντρώσεις δεν υπερβαίνουν τα  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ οι εσωτερικές συγκεντρώσεις φτάνουν και τα  $220\mu\text{g}/\text{m}^3$  κατά την κατανάλωση τσιγάρων. Όταν δεν καταναλώνονται τσιγάρα παρατηρείται ότι οι μετρήσεις των επιπέδων του NO στο εσωτερικό και στο εξωτερικό χώρο είναι περίπου οι ίδιες. Επίσης τα μέγιστα του διαγράμματος των εσωτερικών μετρήσεων συμβαίνουν κατά τη διάρκεια κατανάλωσης τσιγάρων και μάλιστα έχουν αθροιστικό χαρακτήρα όταν επαναλαμβάνεται σε μικρά χρονικά διαστήματα.



**Σχήμα 3.10 Διάγραμμα εσωτερικών και εξωτερικών μετρήσεων Ο3 σε συνδυασμό με την κατανάλωση τσιγάρων. ΠΗΓΗ: C.H. Halios et al. (2005)**

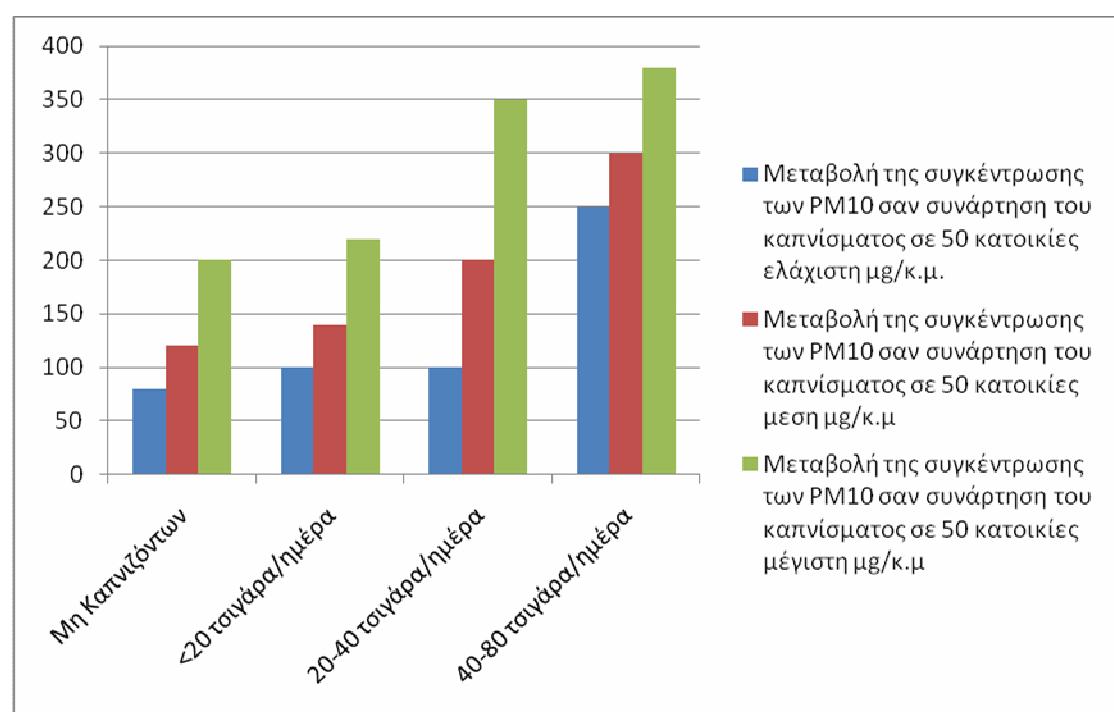
Στο σχήμα 3.10 παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις του O<sub>3</sub> στο εξωτερικό περιβάλλον είναι σε υψηλά επίπεδα τις πρωινές ώρες με χρονικό σημείο εκκίνησης στις 7:00 η ώρα το πρωί, κορύφωση στις 12:00 και πτώση σε 30 µg/m<sup>3</sup> περίπου στις 18:00 το απόγευμα. Κατά τη διάρκεια κατανάλωσης τσιγάρων παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης του O<sub>3</sub> στο εσωτερικό χώρο σε συνάρτηση με την ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων και τις τιμές του O<sub>3</sub> στο εξωτερικό περιβάλλον. Τα επίπεδα του O<sub>3</sub> στο εξωτερικό περιβάλλον είναι αρκετά υψηλότερα από του εσωτερικού τις πρωινές ώρες και αντίστροφα τις βραδυνές.



**Σχήμα 3.11 Διαγράμματα εξάρτησης TVOCs και CO<sub>2</sub> σε συνάρτηση με το χρόνο. Το TVOCs αναπαρίσταται με τα τρίγωνα και το CO<sub>2</sub> με τους ρόμβους. ΠΗΓΗ: C.H. Halios et al., 2005**

Στο σχήμα 3.11 απεικονίζονται τα διαγράμματα εξάρτησης TVOCs και το CO<sub>2</sub> σε συνάρτηση με το χρόνο και την κατανάλωση τσιγάρων. Από το σχήμα 3.11 συμπεραίνουμε ότι οι συγκεντρώσεις TVOCs επηρεάζονται κυρίως από το κάπνισμα, με μια αύξηση έως και δέκα φορές σε σύγκριση με το επίπεδο αναφοράς (300 µg/m<sup>3</sup>). Οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> επηρεάζονται από το κάπνισμα όπως και τα TVOCs με τη διαφορά ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων του CO<sub>2</sub> παρουσιάζουν αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια του καπνίσματος σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις των TVOCs που διακρίνονται από σταθερή αύξηση κατά τη διάρκεια κατανάλωσης του τσιγάρου και στο τέλος της σταθερή πτώση.

Στο σχήμα 3.12 καταγράφεται η μεταβολή της συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 σε σχέση με την ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων στον εσωτερικό χώρο 50 κατοικιών στην Αθήνα Santamouris et al (2007) .

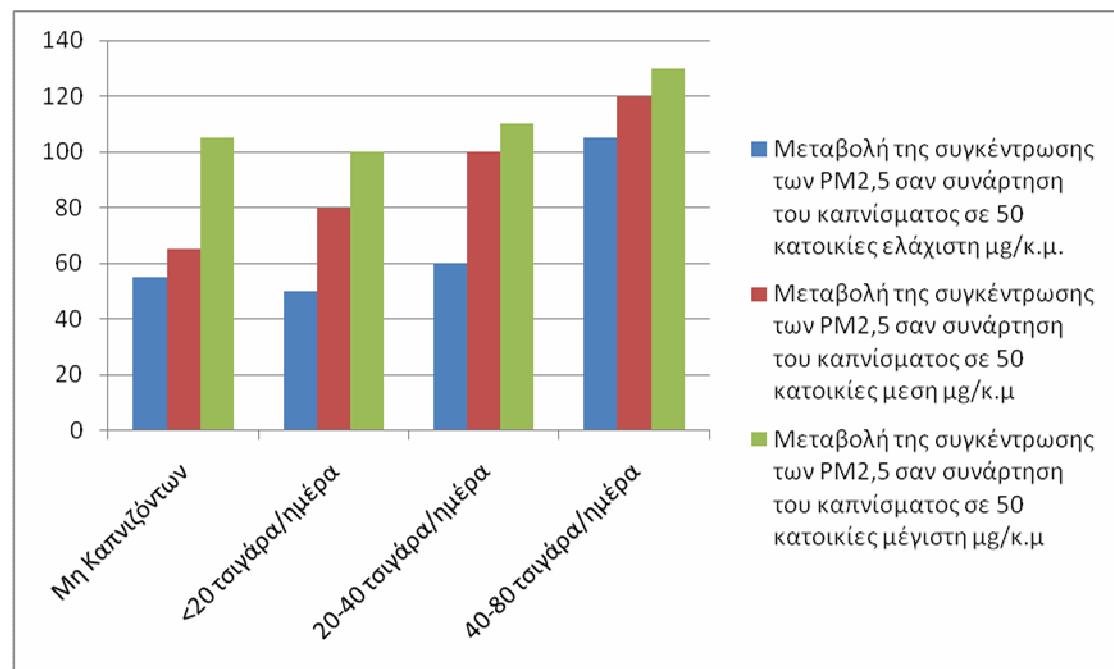


**Σχήμα 3.12 Μεταβολή της συγκέντρωσης PM10 σε συνάρτηση με την ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων σε 50 κατοικίες στην Ελλάδα .**

Από το σχήμα 3.12 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις PM10 σε μια κατοικία μη καπνίζοντων δεν εμφανίζουν ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με την κατοικία στην οποία η ποσότητα κατανάλωσης των τσιγάρων δεν ξεπερνάει τα 20. Αντιθέτως, απεικονίζονται διαφορές της τάξης μέχρι και 150 µg/m<sup>3</sup> μεταξύ εσωτερικών χώρων των κατοικιών μη καπνίζοντων και καπνίζοντων ποσότητας 20 έως 40 τσιγάρα ημερησίως. Τέλος, οι συγκεντρώσεις των PM10 στο εσωτερικό κατοικιών, όπου

καπνίζονται 40 με 80 τσιγάρα ημερησίως ξεπερνάνε τα  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Έντονες διαφορές των τιμών συγκεντρώσεων παρουσιάζουν η ελάχιστη και η μέση τιμή ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι η μέγιστη τιμή της είναι μόνο κατά  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  υψηλότερη από τη μέγιστη τιμή που εμφανίζεται στις κατοικίες των καπνιζόντων 20 έως 40 τσιγάρα ημερησίως.

Στο σχήμα 3.13 καταγράφεται η μεταβολή της συγκέντρωσης σωματιδίων PM2,5 σε σχέση με την ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων στον εσωτερικό χώρο 50 κατοικιών στην Αθήνα Santamouris et al (2007) .



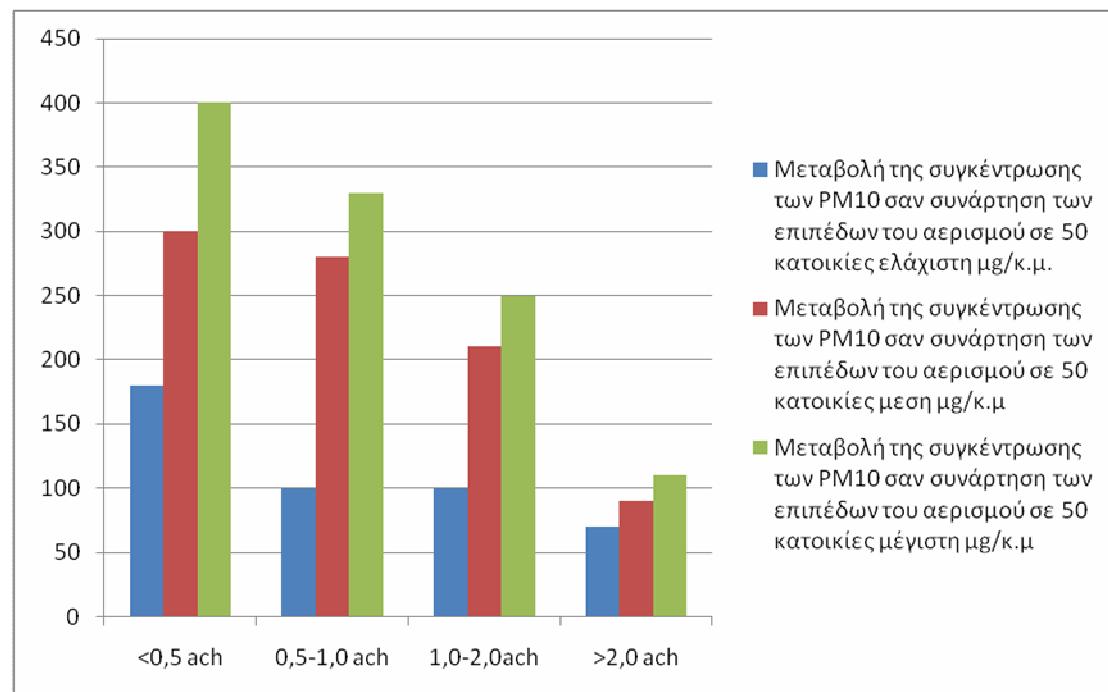
**Σχήμα 3.13 Μεταβολή της συγκέντρωσης PM2,5 σε συνάρτηση με την ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων σε 50 κατοικίες στην Ελλάδα.**

Από το διάγραμμα συγκεντρώσεων PM2,5 διαπιστώνουμε μια σταθερή αύξηση της τάξης των 18 με  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  της μέσης τιμής συγκέντρωσης ενώ παρατηρείται γενικά αύξηση ελάχιστης, μέσης και μέγιστης τιμής συγκεντρώσεων μόνο στις κατοικίες καπνιζόντων 40 έως 80 τσιγάρα ημερησίως. Τελικά φαίνεται να μην είναι ιδιαίτερα καθοριστική η ποσότητα κατανάλωσης τσιγάρων ή μη στις συγκεντρώσεις PM2.5 στο εσωτερικό κατοικιών.

Οι συγκεντρώσεις των PM1 σε εσωτερικούς χώρους μη καπνιζόντων κυμαίνονται από 5 έως  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ η αντίστοιχη συγκέντρωση στους εσωτερικούς χώρους καπνιζόντων κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα από 8 έως  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , σύμφωνα με έρευνα των Saraga et al (2006).

### 3.5 Διακύμανση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα λόγω του αερισμού

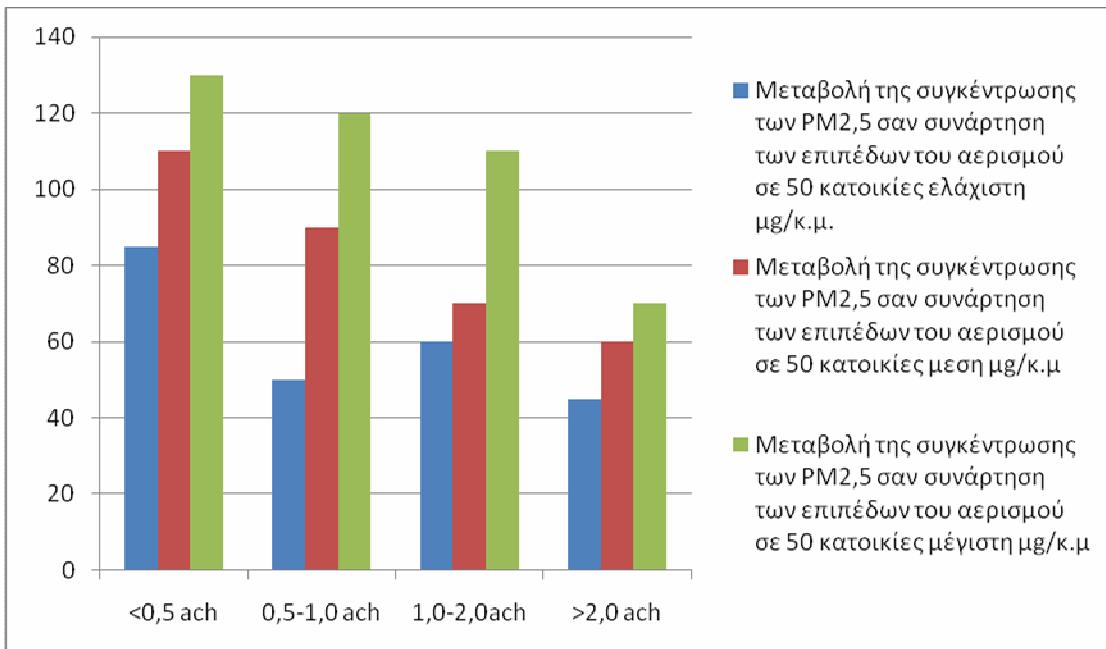
Στο σχήμα 3.14 καταγράφονται οι συγκεντρώσεις PM10 σε συνάρτηση με τα επίπεδα αερισμού των 50 κατοικών (Santamouris et al,2007)



**Σχήμα 3.14 Συγκέντρωση PM10 σε συνάρτηση με τα επίπεδα αερισμού 50 κατοικιών.**

Στο σχήμα 3.14 παρατηρείται μια σχεδόν αναλογική σχέση μεταξύ της συχνότητας αερισμού και της μείωσης των τιμών συγκέντρωσης PM10. Επίσης πάνω από δύο εναλλαγές ανά ώρα οι τιμές των συγκεντρώσεων PM10 διαμορφώνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα της τάξης των  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  και δημιουργείται διαφορά της τάξης των  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε σύγκριση με τη μέγιστη τιμή συγκεντρώσεων όταν έχουμε μια έως δύο εναλλαγές την ώρα.

Στο σχήμα 3.15 καταγράφονται οι συγκεντρώσεις PM2,5 σε συνάρτηση με τα επίπεδα αερισμού των 50 κατοικιών (Santamouris et al, 2007)



**Σχήμα 3.15 Συγκέντρωση PM2,5 σε συνάρτηση με τα επίπεδα αερισμού των κατοικιών.**

Ομοίως με τις συγκεντρώσεις των PM10, ο συχνός αερισμός επιφέρει και ανάλογη μείωση της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5 .

### 3.6 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν μετρήσεις της ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου κατοικιών σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο με σκοπό την προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων στο σύνολο ώστε να μπορέσουμε να εξάγουμε , όσο το δυνατόν, ασφαλή συμπεράσματα για την προέλευση και τα αίτια των ρύπων ,τα οποία είναι τα εξής :

- Οι μεγάλες τιμές συγκεντρώσεων PM10 στον εξωτερικό αέρα οφείλεται στο κυκλοφοριακό φόρτο στη διακύμανση του κλίματος καθώς και στην τυχόν ύπαρξη βιομηχανικών μονάδων.
- Οι διαφορές συγκεντρώσεων PM10 στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες πόλεις οφείλεται στην επιλογή

συστήματος θέρμανσης καθώς και στην άγνοια των επιπτώσεων από την ρύπανση εσωτερικού αέρα.

- Οι διαφορές συγκεντρώσεων PM2,5 στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών εξαρτώνται άμεσα από το εξωτερικό περιβάλλον δηλαδή από τη θέση του κτιρίου, την έκθεση του στους ρύπους του εξωτερικού περιβάλλοντος και τις κλιματικές αλλαγές της περιοχής.
- Τα κέντρα των αστικών πόλεων παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές συγκεντρώσεων PM10 σε σχέση με τα προάστια τα οποία δεν καταβάλλονται από τους ρύπους της κίνησης των οχημάτων, των βιομηχανικών μονάδων και της πυκνοκατοίκησης.
- Οι χαμηλές τιμές συγκέντρωσης PM2,5 στο εσωτερικό των κατοικιών προαστιακών περιοχών καθορίζονται κυρίως από τους ρύπους που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα όπως κάπνισμα, καθαριότητα, θέρμανση χώρων με διεργασίες καύσης, ανθρώπινη κινητικότητα, καθώς και από τον απαραίτητο εξοπλισμό του χώρου.
- Οι υψηλές συγκεντρώσεις PM2,5 στο εσωτερικό των κατοικιών αστικών περιοχών προέρχονται κυρίως από το εξωτερικό περιβάλλον.
- Η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στο εσωτερικό των κατοικιών οφείλεται κατά κύριο λόγο στο κάπνισμα και κατά δευτερεύοντα στις διεργασίες καύσης και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η επίδραση του καπνίσματος και του αερισμού στον εσωτερικό αέρα των κατοικιών και καταλήξαμε στα εξής :

- Η κατανάλωση τσιγάρων στους εσωτερικούς χώρους αποφέρει αύξηση και συχνά αθροιστική των συγκεντρώσεων του NO, του O<sub>3</sub>, του TVOCs και του CO<sub>2</sub>, στοιχεία ιδιαίτερα επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία.
- Η υπερβολική κατανάλωση τσιγάρων (20 έως 80 τσιγάρα ημερησίως) προκαλεί αύξηση έως 200% των τιμών συγκέντρωσης PM10 στο εσωτερικό των κτιρίων.
- Η κατανάλωση τσιγάρων δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερα καθοριστική στις συγκεντρώσεις PM2,5 στο εσωτερικό των κτιρίων.

- Η συχνότητα αερισμού των εσωτερικών χώρων καθορίζει καταλυτικά τη συγκέντρωση των σωματιδίων PM2,5 και PM10.

Τέλος είναι αναγκαίο να τονίσουμε ότι ο καθορισμός της φύσης των μετρούμενων σωματιδίων μέσω διαγραμμάτων απεικόνισης διαφόρων ερευνών είναι αρκετά επισφαλής ώστε να έχουμε μια συνολική εικόνα προέλευσης των σωματιδίων, με αποτέλεσμα να αποτελεί εμπόδιο στην αναζήτηση τρόπου αντιμετώπισης αυτών.

## **4. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ**

### **4.1 Εισαγωγή**

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί ποικίλες έρευνες σε διάφορους εσωτερικούς χώρους προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα του αέρα και να καταγραφούν οι πιθανές πηγές επιβάρυνσης των εργασιακών χώρων. Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων σε κτίρια γραφείων είναι σημαντικός παράγοντας για την ανθρώπινη ευεξία και συνεπώς για την παραγωγικότητα και αποδοτικότητα του. Συγκεκριμένα, έχουν αναφερθεί παράπονα από ενοίκους γραφείων σχετικά με συμπτώματα και ενοχλήσεις, τα οποία διαπιστώθηκε ότι σχετίζονταν με τον αέρα του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του κτιρίου (Ευρωπαϊκή Ένωση 2003). Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη από το Κοινό Ερευνητικό Κέντρο (JRC), περισσότερο από το 20% του πληθυσμού υποφέρει από άσθμα και αλλεργικές παθήσεις που προκαλούνται από αέριους ρύπους σε εσωτερικούς χώρους. Επίσης, έχουν αναφερθεί αρκετά άλλα συμπτώματα όπως ρινικές, οφθαλμικές και στοματοφαρυγγικές παθήσεις.

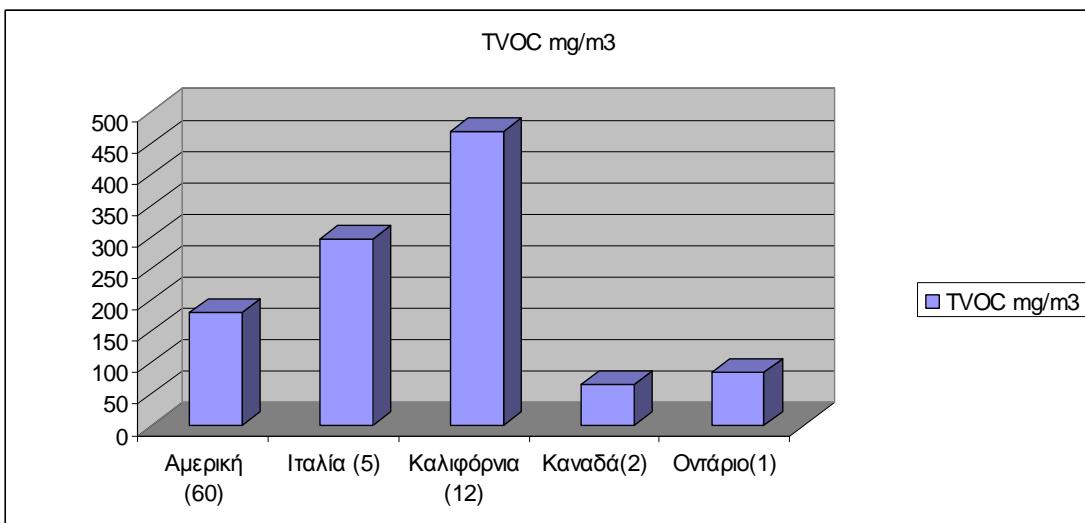
Οι πιο συχνά εμφανιζόμενοι ρύποι στους εργασιακούς χώρους είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις VOC, το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, καθώς και τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι κυριότερες πηγές ρύπων των προαναφερθέντων είναι :

- το κάπνισμα ,
- η λειτουργία και η συντήρηση του συστήματος θέρμανσης , ψύξης και εξαερισμού (HVAC),
- η κίνηση των ατόμων στο χώρο,
- τα προϊόντα καθαρισμού ,
- ο τεχνικός εξοπλισμός ( φωτοτυπικά μηχανήματα, υπολογιστές , κ.ά.),
- ανακαίνιση κτιρίου (βάψιμο επιφανειών, αλλαγή μοκέτας, κ.ά.),
- και το εξωτερικό περιβάλλον.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλύονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα διαφόρων πειραματικών ερευνών από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία.

## 4.2 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εργασιακούς χώρους σε παγκόσμιο επίπεδο

Στο σχήμα 4.1 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις TVOC σε εσωτερικούς χώρους εργασίας σε διάφορες χώρες.

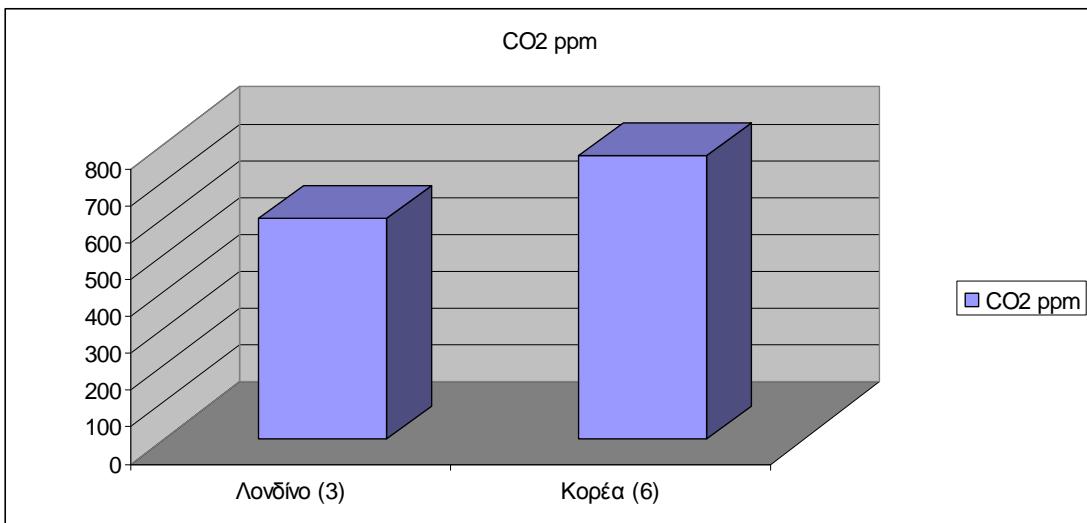


**Σχήμα 4.1 Μετρήσεις συγκέντρωσης TVOC σε εργασιακούς χώρους διάφορων χωρών**

Τα δεδομένα για την Αμερική προέρχονται από τον Brown (1994), για την Ιταλία από τον Cavallo (1993), για την Καλιφόρνια από τον Daisey (1993), για τον Καναδά και το Οντάριο από τον Hodgon (1991). Ο αριθμός στις παρενθέσεις στο διάγραμμα απεικονίζει τα μετρηθέντα κτίρια επαγγελματικών χώρων .

Παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις TVOC σε Αμερική, Ιταλία, Καλιφόρνια, χώρες που διακρίνονται για την παραγωγικότητα τους στο τομέα της παροχής υπηρεσιών αλλά και την έντονη οικιστική ανάπτυξη. Σε αντίθεση, χώρες όπως Καναδά και Οντάριο παρουσιάζουν χαμηλές τιμές συγκεντρώσεων TVOC της τάξης των 50 έως 110 mg/m<sup>3</sup>. Η διαφορά των συγκεντρώσεων αυτών πιθανόν να οφείλεται κυρίως στον παράγοντα του εξωτερικού περιβάλλοντος, δεδομένου ότι οι χώρες του Καναδά και του Οντάριο χαρακτηρίζονται από την αραιοκατοίκηση και από έντονη παρουσία πρασίνου.

Στο σχήμα 4.2 καταγράφονται μετρήσεις της μέσης συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> σε εργασιακούς χώρους στην Κορέα και το Λονδίνο .



**Σχήμα 4.2 Μετρήσεις μέσης συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> σε εργασιακούς χώρους στην Κορέα και το Λονδίνο**

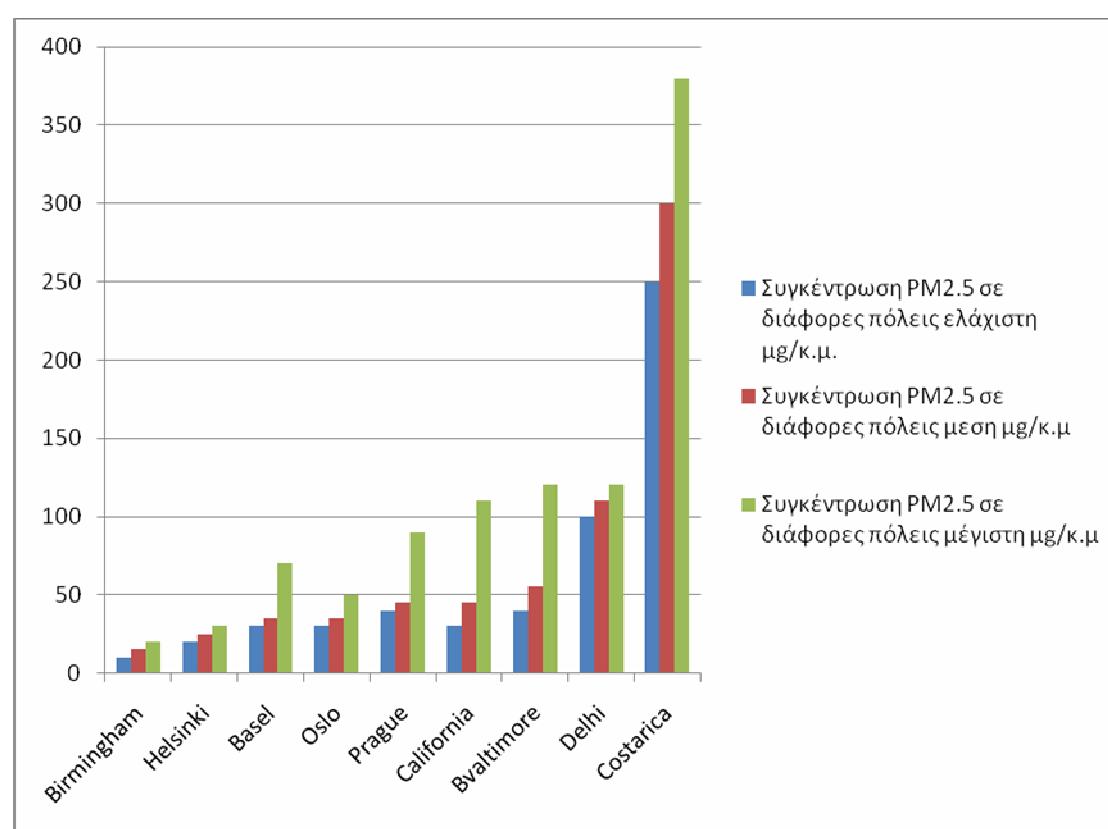
Τα δεδομένα για το Λονδίνο προέρχονται από τους Phillips et al (1993), για την Κορέα από τους Beak et al (1997). Ο αριθμός στις παρενθέσεις στο διάγραμμα απεικονίζει τα μετρηθέντα κτίρια επαγγελματικών χώρων .

Οι μέσες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> σε εργασιακούς χώρους στην Κορέα είναι κατά 250 ppm υψηλότερες από αυτές του Λονδίνου. Η διαφορά αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι η Κορέα είναι βιομηχανική πόλη με βεβαρυμμένο από ρύπους εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης ,δεδομένου ότι το CO<sub>2</sub> αποτελεί ένα από τα κύρια αέρια που εκπέμπονται από τον άνθρωπο και επομένως, είναι σημαντικός δείκτης για τον αριθμό των ατόμων σε ένα χώρο και τις αλλαγές αέρα ανά ώρα, δικαιολογεί τις αυξημένες τιμές συγκέντρωσης σε μια πολυπληθής πόλη, όπως η Κορέα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο Hong Kong σε 422 κτίρια γραφείων όπου επιτυγχανόταν μικρή συγκέντρωση CO<sub>2</sub> με τη μέθοδο του αερισμού, αυξανόταν η εσωτερική συγκέντρωση του οζοντος (Wong et al,2006). Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι σε 38 κτίρια γραφείων στο Hong Kong , η μείωση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα στα κτίρια συνοδευόταν από σχετική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω των αυξημένων επιπέδων του αερισμού (Mui et al,2006). Έρευνα που έχει διεξαχθεί από τους Seppanen et al (1999) έδειξε ότι η αύξηση των επιπέδων αερισμού καθώς και η μείωση των επιπέδων του CO<sub>2</sub> σχετίζονται με την αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζόμενων.

Πηγή διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> στα κτίρια γραφείων είναι η εκπνοή από τους χρήστες των κτιρίων. Η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> είναι δείκτης του επαρκούς αερισμού σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων σε έναν χώρο. Κατά μέση τιμή κάθε χρήστης παράγει 0,31 λίτρα CO<sub>2</sub> ανά λεπτό (Apte et al, 2000). Η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> σε εσωτερικούς χώρους κυμαίνεται από 350 έως 2500 ppm (Seppanen et al, 1999). Σύμφωνα με τα όρια επικινδυνότητας, τα παραπάνω επίπεδα δεν θεωρούνται επιβλαβή για τον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά αποτελούν ένδειξη για την παρουσία άλλων ρυπαντών στην εσωτερική ατμόσφαιρα. Ωστόσο, για επίπεδα αερισμού κάτω από 10 λίτρα ανά δευτερόλεπτο εμφανίζονται προβλήματα υγείας στους εργαζόμενους (Seppanen et al, 1999). Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας διότι μεταβάλλεται σημαντικά και η παρουσία των ατόμων καθώς και ο αερισμός.

Στο σχήμα 4.3 καταγράφονται συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 στους εσωτερικούς χώρους γραφείων σε διάφορες πόλεις.



**Σχήμα 4.3 Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 σε διάφορες πόλεις**

Τα δεδομένα για το Birmingham προέρχονται από τον Jones et al (2000), για το Όσλο από τον Oie et al (1997), για την Πράγα από τον Gotschi et al (2002), για την Καλιφόρνια από τον Daisey (1993).

Στο σχήμα 4.3 παρατηρούνται συγκεντρώσεις PM2,5 στο Birmingham, στο Ελσίνκι, στο Όσλο και το Δελχί με κοινό χαρακτηριστικό ότι οι μέγιστες και ελάχιστες συγκεντρώσεις τους κυμαίνονται στο ίδιο επίπεδο τιμών. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι οι πηγές ρύπων στις συγκεκριμένες πόλεις έχουν μόνιμη επίδραση όπως ο τεχνικός εξοπλισμός και το εξωτερικό περιβάλλον. Στις πόλεις Basel, Πράγα, Καλιφόρνια και Βαλτιμόρη καταγράφεται διαφορά μεταξύ της μέγιστης συγκέντρωσης PM2,5 με την ελάχιστη ή τη μέση. Οι υψηλές διαφορές οφείλονται στην κίνηση των ατόμων, τις ώρες αιχμής καθώς επίσης και από το κάπνισμα. Στη Costa Rica παρατηρούμε υψηλές συγκεντρώσεις PM2,5 όπου φτάνουν τα  $380 \mu\text{g}/\text{m}^3$  τιμή η οποία μαρτυράει ως πηγή το εξωτερικό περιβάλλον.

Οι ένοικοι των γραφείων αυξάνουν τη συγκέντρωση των σωματιδίων λόγω κυρίως της επανααιώρησης σωματιδίων. Έχει διαπιστωθεί ότι η κίνηση κάθε ατόμου εντός του χώρου αυξάνει τη συγκέντρωση των σωματιδίων με διάμετρο από 5 έως 25 μμ κατά  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Επίσης η συγκέντρωση των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 1 μμ διαπιστώθηκε ότι συσχετίζεται μόνο με τα επίπεδα του καπνίσματος και όχι με άλλες δραστηριότητες (Skov et al, 1990).

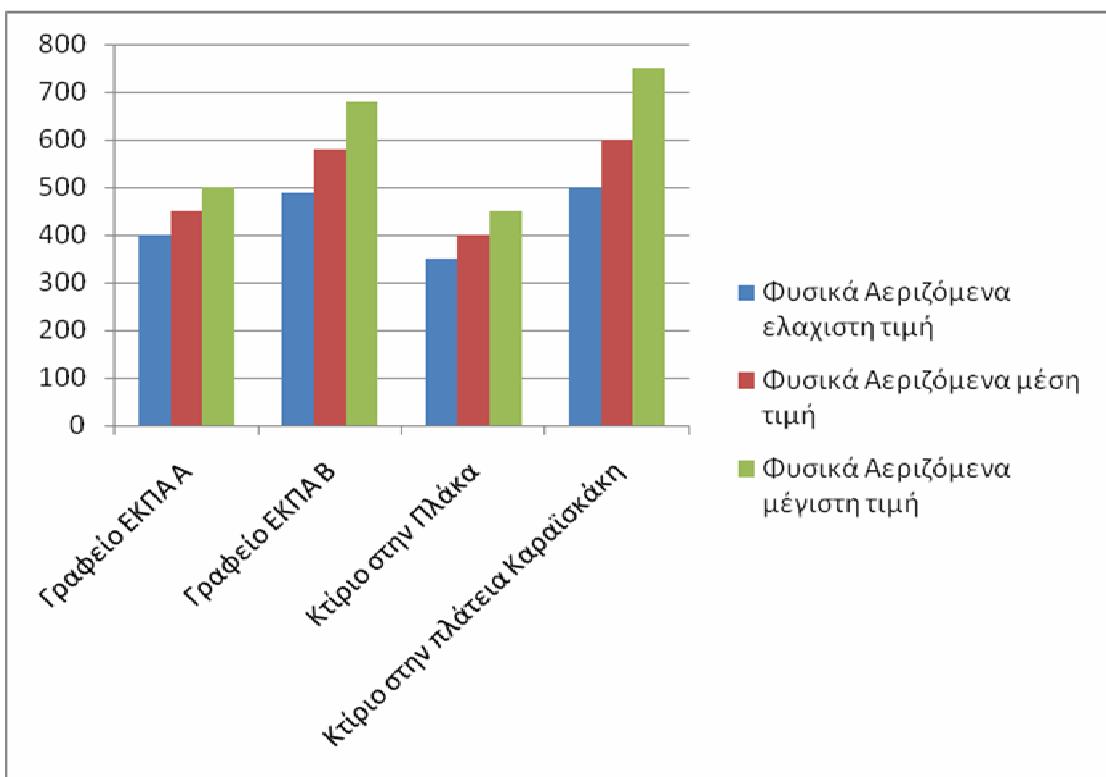
Σε κτίρια γραφείων με καπνιστές έχουν μετρηθεί συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων που φθάνουν και τα  $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Oldaker et al (1990). Από την έρευνα των Turner et al (1992) όπου μετρήθηκαν 585 κτίρια γραφείων με καπνιστές και μη, αναφέρουν ότι η μέση συγκέντρωση σε κτίρια με καπνιστές ήταν περίπου  $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ σε κτίρια μη καπνιστών ήταν  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αντίστοιχη έρευνα των Sega et al, 1986, σε πέντε νέα κτίρια στο Zagreb έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της χειμερινής και θερινής περιόδου η συγκέντρωση είναι 163 και  $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  εκ των οποίων 82 και  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  προέρχονται από το κάπνισμα και η μέγιστη συγκέντρωση έφθασε τα  $370 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.3 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εργασιακούς χώρους στην Ελλάδα

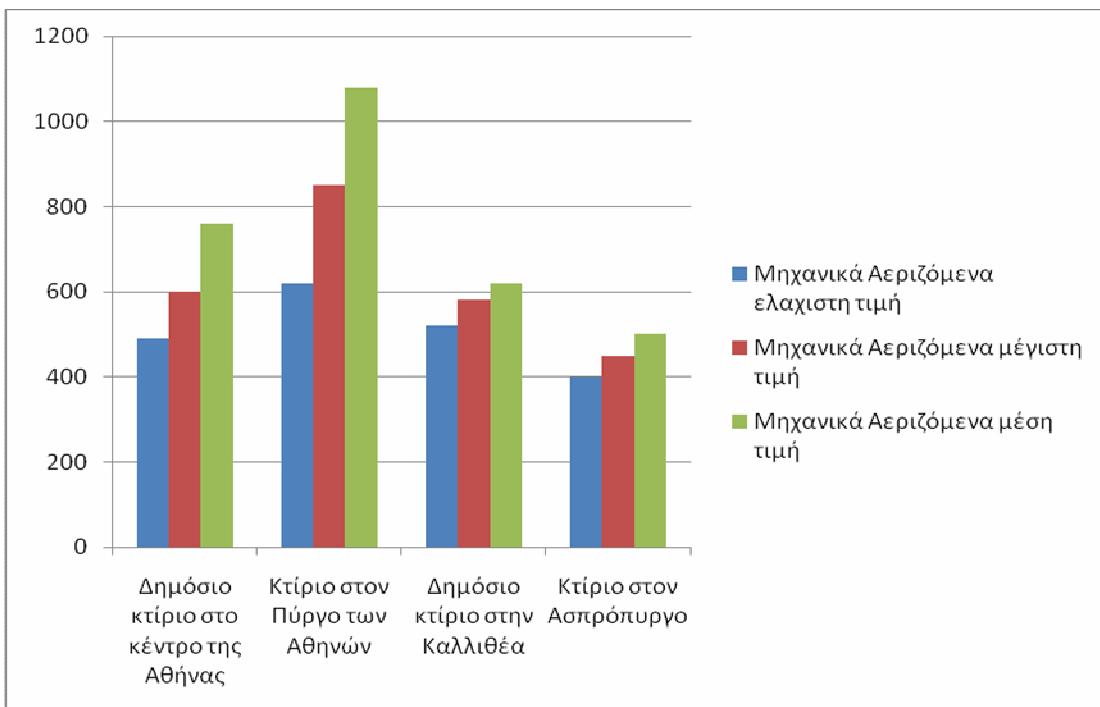
Οι μετρήσεις των χημικών παραμέτρων έδειξαν ότι σε περίπου όλα τα κτίρια, οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στον αέρα εσωτερικών χώρων ήταν μικρότερες από 1000 ppm, επιτρεπτό όριο όπου έχει προταθεί από το ASHRAE. Ωστόσο βρέθηκαν τιμές διοξειδίου του άνθρακα κοντά στα 1000 ppm (Santamouris et al, 2004), στις εξής περιπτώσεις :

- Σε κτίρια που βρίσκονται στο κέντρο της Αθήνας όπου η εισαγωγή εξωτερικού αέρα βρίσκεται κοντά σε δρόμο με υψηλή κυκλοφοριακή κίνηση οχημάτων
- Κυψελωτά δωμάτια με μεγάλο αριθμό εργαζόμενων και χωρίς εισόδους αέρα. Αυτό το πρόβλημα υπάρχει συνήθως σε κτίρια που έχουν ανακαινιστεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ανοικτοί χώροι χωρίζονται σε κυψελωτά δωμάτια χρησιμοποιώντας συνήθως τοιχώματα με φατνώματα, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η θέση των εισόδων αέρα .
- Κυψελωτά δωμάτια με σφραγισμένα παράθυρα, όπου οι ρυθμιστές εισόδους αέρα είναι απενεργοποιημένοι. Στα περισσότερα κτίρια οι εργαζόμενοι δεν γνωρίζουν τη λειτουργία του συστήματος HVAC και επομένως κλείνουν τους ρυθμιστές των εισόδων φρέσκου αέρα θεωρώντας ότι πρόκειται για ανακυκλοφορούμενο αέρα του συστήματος κλιματισμού.

Στο σχήμα 4.4 και σχήμα 4.5 φαίνονται τα επίπεδα CO<sub>2</sub> με φυσικό και μηχανικό αερισμό αντίστοιχα στο εσωτερικό εργασιακών χώρων στην Ελλάδα



**Σχήμα 4.4 Συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (ppm) στο εσωτερικό εργασιακών χώρων στην Ελλάδα με φυσικό αερισμό**



**Σχήμα 4.5 Συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (ppm) στο εσωτερικό εργασιακών χώρων στην Ελλάδα με μηχανικό αερισμό**

Τα δεδομένα προέρχονται για τα δύο διοικητικά κτίρια του Πανεπιστημίου Αθηνών από τους Santamouris et al (2005), για το κτίριο γραφείων στην Πλάκα από τους Sfakianaki et al (2007), για το γραφείο στον πύργο των Αθηνών από τους Santamouris et al (2007), για ένα δημόσιο κτίριο στο κέντρο της Αθήνας, από τους Assimakopoulos et al (2007), για ένα δημόσιο κτίριο στην Καλλιθέα από τους Farrou and Santamouris et al (2007), για ένα κτίριο στον Ασπρόπυργο από τους Santamouris et al (2006) και για το πολυώροφο κτίριο γραφείων στην Πλατεία Καραϊσκάκη στην Αθήνα από τους Santamouris et al (2006) .

Αναφέρεται ότι στο κτίριο A του Πανεπιστημίου Αθηνών , στο κτίριο στην Πλατεία Καραϊσκάκη και στο δημόσιο κτίριο στο κέντρο της Αθήνας, υπήρχε μεγάλος αριθμός καπνιστών, στο κτίριο B υπήρχε περιορισμένος αριθμός καπνιστών, ενώ στο κτίριο στην Πλάκα καθώς και στο κτίριο στον Ασπρόπυργο δεν επιτρέπεται το κάπνισμα .

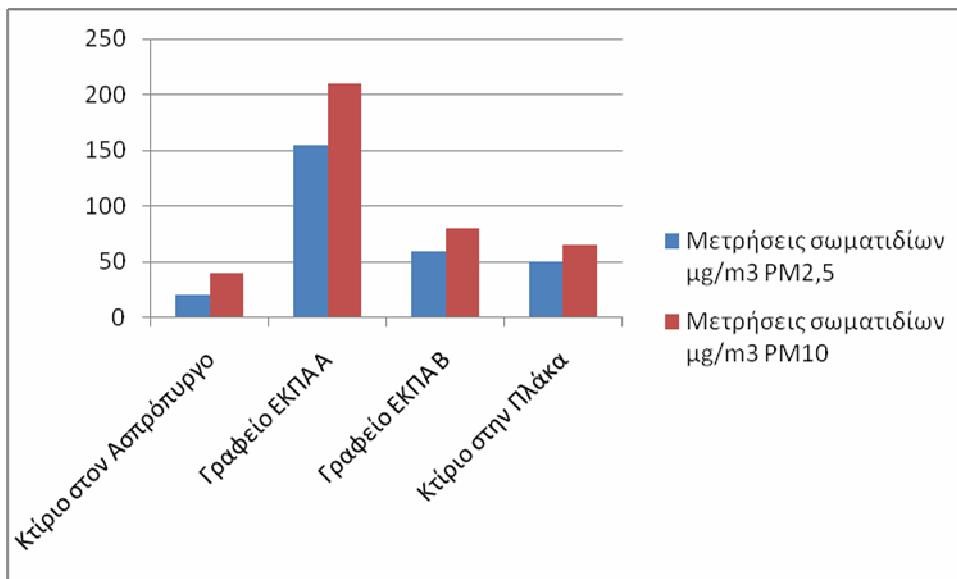
Στο σχήμα 4.4 οι μέσες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> κυμαίνονται από 450 έως 600ppm ενώ η μέγιστη τιμή φτάνει τα 750 ppm στο κτίριο που βρίσκεται στην πλατεία Καραϊσκάκη. Συγκρίνοντας τα δύο γραφεία του πανεπιστημίου Αθηνών παρατηρούμε τη διαφορά της τάξης των 180 ppm που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στο γραφείο ΕΚΠΑ B, όπου και παρατηρούνται υψηλότερες τιμές, αναμένεται, εκτός από την

εισαγωγή ρυπογόνου αέρα (υψηλή κίνηση οχημάτων) από το εξωτερικό περιβάλλον και το κάπνισμα, περισσότερη κινητικότητα και περισσότεροι εργαζόμενοι. Επίσης μια άλλη αιτία των διαφορών πιθανόν να έγκειται στην έλλειψη επαρκούς αερισμού (μικρά ανοίγματα), στη συχνότητα και στη διάρκεια του αερισμού. Ομοίως και για το κτίριο στην πλατεία Καραϊσκάκη, το οποίο παρουσιάζει τιμές CO<sub>2</sub> από 500 έως 750 ppm.

Στο σχήμα 4.5 παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στον πύργο των Αθηνών με χαρακτηριστικό τη μεγάλη απόκλιση μέγιστης και ελάχιστης τιμής της τάξης των 400 ppm. Η αναμενόμενη αυτή διαφορά οφείλεται στην μεταβαλλόμενη παρουσία ανθρώπων και στη λειτουργία και χρήση του κεντρικού συστήματος κλιματισμού. Σε αντίθεση το δημόσιο κτίριο στην Καλλιθέα παρουσιάζει σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> χωρίς ιδιαίτερες αποκλίσεις στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή. Ως δημόσιο κτίριο αναμένεται σταθερή παρουσία και κινητικότητα ανθρώπων και συνεπώς αποδοτικότερη λειτουργία του κεντρικού συστήματος κλιματισμού.

Τέλος, συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα αξίζει να αναφερθεί ότι οι μηχανικά αεριζόμενοι χώροι παρουσιάζουν εν γένει υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> και αυτό έγκειται στην άγνοια σωστής χρήσης του μηχανικού συστήματος αερισμού από τους ενοίκους. Επίσης σημειώνεται ότι η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> ξεπέρασε το επιτρεπτό όριο των 1000 ppm στον πύργο των Αθηνών.

Στο σχήμα 4.6 φαίνονται οι συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 σε κτίρια γραφείων στην περιοχή της Αττικής.



**Σχήμα 4.6 Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2.5 και PM10 σε κτίρια γραφείων στην περιοχή της Αττικής**

Για το κτίριο στον Ασπρόπυργο Santamouris et al(2006), για τα διοικητικά κτίρια Α και Β του Πανεπιστημίου Αθηνών στο κέντρο της Αθήνας (Santamouris et al ,2005) και για το κτίριο στην Πλάκα (Sfakianakis et al, 2007)

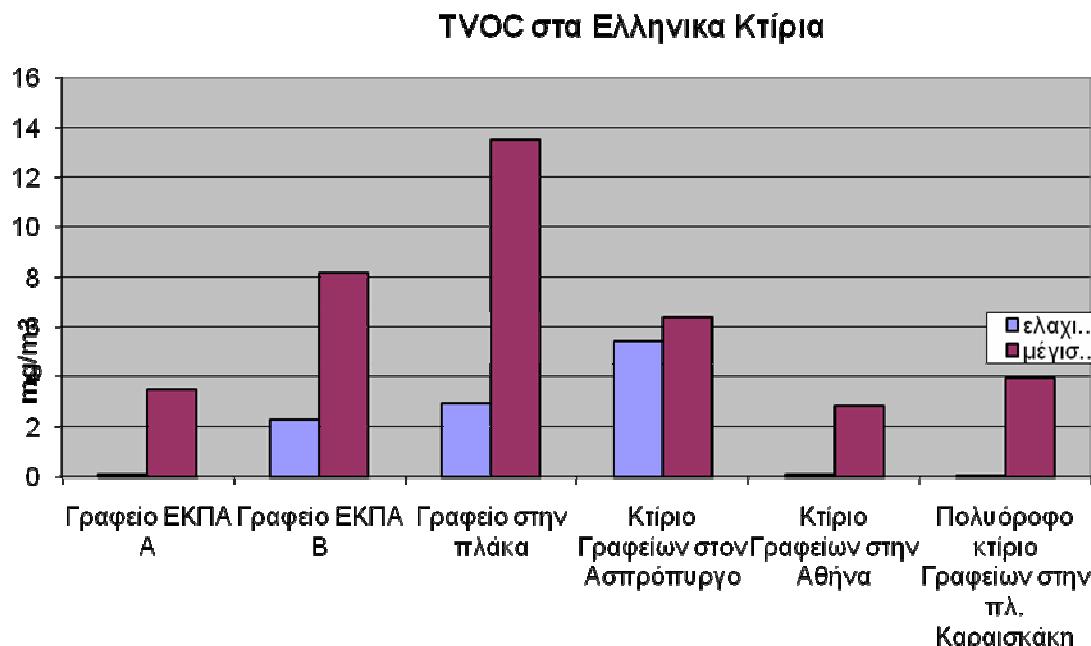
Αναφέρεται ότι στο κτίριο Α του Πανεπιστημίου Αθηνών, στο κτίριο στην Πλατεία Καραϊσκάκη και στο δημόσιο κτίριο στο κέντρο της Αθήνας, υπήρχε μεγάλος αριθμός καπνιστών, στο κτίριο Β υπήρχε περιορισμένος αριθμός καπνιστών, ενώ στο κτίριο στην Πλάκα καθώς και στο κτίριο στον Ασπρόπυργο δεν επιτρέπεται το κάπνισμα .

Στο γραφείο ΕΚΠΑ Α παρατηρούνται οι μέγιστες συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 της τάξης των  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα. Η διαφορά των συγκεντρώσεων αυτών με τις μετρήσεις στα υπόλοιπα κτίρια οφείλεται κυρίως στο μεγάλο αριθμό καπνιζόντων. Οι συγκεντρώσεις στο γραφείο ΕΚΠΑ Β και στο κτίριο στην Πλάκα κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα παρόλο του ότι στο κτίριο στην Πλάκα απαγορεύεται το κάπνισμα. Αυτό μας οδηγεί να υποθέσουμε ανεπαρκή αερισμό, πέρα από το δεδομένο ρυπογόνο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης οι χαμηλές τιμές σωματιδίων στο κτίριο του Ασπρόπυργου δικαιολογούνται από την ύπαρξη μηχανικού συστήματος αερισμού με αποτέλεσμα να φιλτράρεται ό εξωτερικός αέρας.

Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η συγκέντρωση PM2,5 είναι τριπλάσια στα κτίρια καπνιζόντων και η συγκέντρωση PM10 τετραπλάσια.

Οι συγκεντρώσεις των Ολικών Αιωρούμενων Σωματιδίων ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερες από τα όρια που δίνονται από την ελληνική νομοθεσία για την υγεία και την ασφάλεια ( $5000 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Εντούτοις, αυτό το όριο αναφέρεται κυρίως σε βιομηχανικές περιοχές και όχι σε εμπορικά κτίρια και κτίρια γραφείων. Σύμφωνα με οδηγία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, η συγκέντρωση εισπνεόμενων σωματιδίων που εγείρει ανησυχία είναι  $150 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αυτό δεν σημαίνει ότι θα αναφερθούν σημαντικά προβλήματα υγείας σε περίπτωση που οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από την τιμή της οδηγίας. Πηγές που έχουν ενοχοποιηθεί για αυτές υψηλότερες συγκεντρώσεις από  $150 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  είναι επίσης η χρήση μοκέτας η οποία αποτελεί εστία μόνιμης ρύπανσης καθώς και η έντονη παρουσία χαρτικής ύλης (ανοιχτά ράφια βιβλιοθηκών).

Στο σχήμα 4.7 περιγράφονται οι συγκεντρώσεις TVOC σε διάφορα κτίρια γραφείων στην περιοχή της Αττικής .



**Σχήμα 4.7 Συγκεντρώσεις TVOC σε κτίρια γραφείων στην περιοχή της Αττικής**

Τα δεδομένα προέρχονται για τα δύο διοικητικά κτίρια του Πανεπιστημίου Αθηνών από τους Santamouris et al (2005), για το κτίριο γραφείων στην Πλάκα από τους Sfakianaki et al (2007), για ένα δημόσιο κτίριο στο κέντρο της Αθήνας, από τους Assimakopoulos et al (2007), για ένα κτίριο στον Ασπρόπυργο από τους Santamouris et al (2006) και για το πολυόροφο κτίριο γραφείων στην Πλατεία Καραϊσκάκη στην Αθήνα από τους Santamouris et al (2006).

Οι τιμές συγκεντρώσεων των TVOC στα διάφορα γραφεία της Αττικής παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών από 2 έως 13,5 mg/m<sup>3</sup>. Αξιοσημείωτο του παραπάνω διαγράμματος είναι η υψηλότερη συγκέντρωση TVOC στο γραφείο στην Πλάκα έναντι της συγκέντρωσης στο γραφείο ΕΚΠΑ Β, αφού στο γραφείο στην Πλάκα απαγορεύεται το κάπνισμα. Στη προσπάθεια εξήγησης αυτής της διαφοράς αναζητείται πηγή εκπομπής TVOC που θα μπορούσε να ξεπεράσει αυτή του καπνίσματος. Μια πιθανή πηγή εκπομπής TVOC θα μπορούσε να ήταν η συχνή χρήση καθαριστικών καθώς και ο εξοπλισμός γραφείου.

Τα επίπεδα των VOC που βρίσκονται στον αέρα εσωτερικών χώρων δεν είναι τις περισσότερες φορές υπεύθυνα για τοξικές επιδράσεις στην υγεία, εντούτοις, αρκετές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις έχουν ταξινομηθεί ως καρκινογόνες (ΠΟΥ 1987). Οι συγκεντρώσεις TVOC στον αέρα εσωτερικών χώρων έχουν παρουσιάσει διακύμανση δύο ή περισσοτέρων τάξεων μεγέθους ανάλογα κυρίως με τα χαρακτηριστικά των κτιρίων (Berhnard 1995). Σύμφωνα με το Π.Δ. 127/2000 για το Βενζόλιο και το Π.Δ. 90/1999 για το τολουόλιο και τα ξυλόλια τα αντίστοιχα επιτρεπτά όρια είναι  $3,19 \text{ mg/m}^3$ ,  $375 \text{ mg/m}^3$  και  $435 \text{ mg/m}^3$ .

Στα πλαίσια ενός Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος, έγιναν μετρήσεις εσωτερικών ρύπων σε έξι γραφεία στην Αθήνα (Loizidou & Lagoudi, 1994). Οι παράμετροι που μετρήθηκαν, ήταν αντιπροσωπευτικοί ρύποι (CO, CO<sub>2</sub>, σωματίδια, πτητικές οργανικές ενώσει), θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα αέρα. Από τις μετρήσεις που έγιναν προέκυψαν τα εξής:

- Οι συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub>, αν και δεν θεωρείται επικίνδυνος ρύπος, είναι όμως ενδεικτικό της ποιότητας του αερισμού στους χώρους και του αριθμού των ατόμων, κυμαίνονται μεταξύ 540-1280 ppm, με αποδεκτά όρια τα 1000 ppm, ενώ οι εξωτερικές συγκεντρώσεις ήταν 350-380 ppm.
- Το μονοξείδιο του άνθρακα, προέρχεται κυρίως από το εξωτερικό περιβάλλον (πχ αυτοκίνητα). Οι συγκεντρώσεις CO ήταν ιδιαίτερα χαμηλές, κάτω από 1-2 ppm, όταν το όριο σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας είναι 8.6 ppm ( $10\text{mg/m}^3$ ).
- Τα σωματίδια (πχ καπνό τσιγάρων) παρουσίασαν σε μερικές περιπτώσεις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (πχ  $550 \mu\text{g/m}^3$ ), ενώ σε άλλες  $59-177 \mu\text{g/m}^3$ . Σημειώνεται ότι σε όλα τα κτίρια επιτρεπόταν το κάπνισμα σε όλους τους χώρους. Η οδηγία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας προτείνει η μέση ημερήσια συγκέντρωση σωματιδίων να μην ξεπερνά τα  $125 \mu\text{g/m}^3$ .
- Οι συγκεντρώσεις των πτητικών οργανικών ενώσεων, που προέρχονται από διάφορα υλικά (πχ κόλλες, διαλύτες, μπογιές), στους χώρους των γραφείων κυμαίνονται μεταξύ  $146-968 \mu\text{g/m}^3$ , αρκετά κάτω από το όριο των  $2000 \mu\text{g/m}^3$ .

#### **4.4 Επίδραση του μηχανικού συστήματος αερισμού στην ποιότητα εσωτερικού αέρα εργασιακών χώρων καθώς και στην ανθρώπινη υγεία**

Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων έχει διερευνηθεί σε περισσότερα από 30 μεγάλα κτίρια στην Ελλάδα. Τα περισσότερα προβλήματα που αναφέρθηκαν φαίνεται να σχετίζονται με τον σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη συντήρηση των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και αερισμού καθώς και με τη χρήση τους από τους ενοίκους. Τα κτίρια που ελέγχθηκαν βρίσκονταν στην περιοχή της Αττικής και συγκεκριμένα στο κέντρο των Αθηνών, στα προάστια καθώς και σε μεγάλες λεωφόρους με πολύ κίνηση. Κάποια από αυτά τα κτίρια ελέγχθηκαν στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων, ενώ άλλα αξιολογήθηκαν μετά από αίτημα του διαχειριστή του κτιρίου. Συνήθως, η εκτίμηση της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό ενός μεγάλου κτιρίου διεξάγεται είτε στα πλαίσια μιας περιβαλλοντικής πολιτικής που ακολουθείται από τον ιδιοκτήτη του κτιρίου είτε σε περιπτώσεις συμπτωμάτων ή παραπόνων για την υγεία, που αναφέρονται από τους ενοίκους του κτιρίου.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων σε καθένα από αυτά τα κτίρια, περιλάμβανε επιθεώρηση του κτιρίου προκειμένου να γίνουν αντιληπτά τα χαρακτηριστικά του, χρησιμοποιώντας τυποποιημένη λίστα ελέγχου και διεξαγωγή μετρήσεων χημικών και φυσικών παραμέτρων. Οι χημικές παράμετροι που μετρήθηκαν στις περισσότερες περιπτώσεις περιλάμβαναν Ολικά Αιωρούμενα Σωματίδια, TVOC και CO2.

Χαρακτηριστικό κάποιων κτιρίων που ελέγχθηκαν είναι η ύπαρξη μηχανικού αερισμού. Σημαντικές διαφορές διαπιστώθηκαν στα εξής (Santamouris et al, 2004) :

- τύπο συστήματος εξαερισμού (μονό σύστημα τροφοδοσίας, σύστημα διπλού αγωγού, κλπ.)
- μέθοδοι θέρμανσης/ψύξης (μονάδες ανεμιστήρα fan coils, θέρμανση αέρα, προθέρμανση αέρα, κλπ.)
- θέση εισαγωγής εξωτερικού αέρα. Στα περισσότερα κτίρια η τροφοδοσία φρέσκου αέρα βρισκόταν στην ταράτσα του κτιρίου, ενώ σε άλλα κτίρια υπήρχε ξεχωριστή εισαγωγή αέρα σε κάθε όροφο. Σε αυτή την περίπτωση κάθε όροφος διαθέτει τη δική του μονάδα χειρισμού αέρα.

- ποσοστό επανακυκλοφορίας αέρα. Σε περίπου το ήμισυ των κτιρίων η εισαγωγή εξωτερικού αέρα ήταν 100%, ενώ σε άλλα υπήρχε ποσοστό επανακυκλοφορούμενου αέρα.
- φιλτράρισμα και ύγρανση, χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα σάκου σε περίπου όλες τις μονάδες χειρισμού αέρα, ενώ σε μικρό ποσοστό των κτιρίων υπήρχε σύστημα ύγρανσης.
- η δομή του κτιρίου (ανοικτοί χώροι, κυψελωτά δωμάτια)

Ένα σύστημα εξαερισμού, προκειμένου να θεωρείται αποτελεσματικό, θα πρέπει:

- να παρέχει συνθήκες θερμικής άνεσης
- να διανέμει επαρκείς ποσότητες νωπού αέρα, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των εργαζομένων στο κτίριο (Πίνακας 4.1)
- να απομονώνει και να απομακρύνει οσμές και ρύπους μέσω του ελέγχου της ατμοσφαιρικής πίεσης με ειδικές διατάξεις.

Είδος εργασίας	Αέρας σε κυβικά μέτρα ανά ώρα και εργαζόμενο
Κυρίως καθιστική εργασία	20 έως 40
Κυρίως ελαφριά σωματική εργασία	40 έως 60
Κυρίως βαριά σωματική εργασία	Πάνω από 65

**Πίνακας 4.1 Απαραίτητος αέρας ανά είδος εργασίας**

Αν χρησιμοποιούνται τεχνητά συστήματα εξαερισμού, θα πρέπει να λειτουργούν συνεχώς, να διατηρούνται σε καλή κατάσταση λειτουργίας και κάθε βλάβη τους να επισημαίνεται με αυτόματο μηχανισμό. Επίσης, θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση των εργαζομένων σε ενοχλητικά ρεύματα αέρα.

Για ιδιαίτερες συνθήκες εργασίας όπου παράγονται αέρια, ατμοί, σωματίδια και διάφορες σκόνες, πρέπει να απάγονται ή να κατακρατούνται με κατάλληλα μέσα. Οι παράγοντες που απάγονται, εφόσον είναι επιβλαβείς, πρέπει να υποβάλλονται σε

επεξεργασία (συμπύκνωση, κατακρήμνιση, εξουδετέρωση κ.λπ.) πριν εκδιωχθούν στο περιβάλλον.

Για τον εντοπισμό συμπτωμάτων των εργαζόμενων διεξάχθηκαν δυο μελέτες με συνεργασία ενός μεγάλου δείγματος εργαζομένων σε κτίρια γραφείων (Argiriou et.al,1992 και Argiriou et al, 1994)και δημαρχεία (Balaras et al, 1993). Οι εργαζόμενοι στα κτίρια που εξετάσθηκαν, συμπλήρωσαν ένα ειδικά διαμορφωμένο έντυπο, το οποίο συντάχθηκε βάσει παρόμοιων διεθνών ερωτηματολογίων. Περιλάμβανε ένα πίνακα με 31 συμπτώματα, τα οποία οι εργαζόμενοι μπορούσαν να επιλέξουν με το σκεπτικό ότι σχετίζονται άμεσα με το περιβάλλον εργασίας και το κτίριο. Οι εργαζόμενοι, άντρες και γυναίκες από διαφορετικούς ορόφους μέσα στο κτίριο, επιλέχθηκαν τυχαία για να απαντήσουν στα ερωτήματα αυτά. Ο μόνος περιορισμός ήταν να εργάζονται τουλάχιστον για ένα χρόνο στην ίδια θέση. Για τα γραφεία, η έρευνα έγινε σε 30 συνολικά κτίρια στην Αθήνα (18 κλιματιζόμενα και 12 φυσικά αεριζόμενα κτίρια) και συνολικά συμμετείχαν 476 εργαζόμενοι Για τα δημαρχεία, η έρευνα έγινε σε 20 συνολικά κτίρια (11 κλιματιζόμενα και 9 φυσικά αεριζόμενα κτίρια) και συνολικά συμμετείχαν 437 εργαζόμενοι.

Τα αποτελέσματα για τα 31 συμπτώματα από τα οποία οι εργαζόμενοι ανέφεραν ότι υπέφεραν, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

Συμπτώματα	Κλιματιζόμενα Γραφεία	Φυσικά Αεριζόμενα Γραφεία	Κλιματιζόμενα Δημαρχεία	Φυσικά Αεριζόμενα Δημαρχεία
Ερεθισμός στα μάτια	182 (58,3%)	102(61,4%)	121(48%)	81(43,8%)
Μόλυνση στα μάτια	41(13,1%)	30(18,1%)	27(10,7%)	17(9,2%)
Πονόλαιμος	60(19,2%)	31(18,7%)	39(15,5%)	23(12,4%)
Βήχας	58(18,6%)	35(21,1%)	57(22,6%)	29(15,7%)
Υπερβολικό φλέγμα	20(6,4%)	8(4,6%)	19(7,5%)	13(7%)
Καταρροή	45(14,4%)	14(8,4%)	30(11,9%)	21(11,3%)
Παραρινοκολπίτιδα	7(2,2%)	1(0,6%)	5(2%)	2(1,1%)
Βρογχοπνευμονία	6(1,9%)	0	3(1,2%)	0
Δύσπνοια	59(18,3%)	40(24,1%)	50(19,8%)	24(13%)
Ακροαστικά	5(1,6%)	0	7(2,8%)	10(5,4%)
Κρούσματα άσθματος	6(1,9%)	0	4(1,6%)	9(4,9%)
Βρογχίτιδα	15(4,8%)	6(3,6%)	13(5,2%)	5(2,7%)
Πονοκεφάλοι	195(62,5%)	79(47,6%)	173(68,7%)	92(49,7%)
Αδυναμία συγκέντρωσης	103(33%)	69(41,6%)	99(39,3%)	64(34,6%)
Ζαλάδα	89(28,5%)	50(30,1%)	93(36,9%)	68(36,8%)
Ασυνήθιστη κούραση	97(31,1%)	41(24,7%)	93(36,9%)	50(27%)
Υπνηλία	98(31,4%)	47(28,3%)	75(29,8%)	44(23,8%)
Δυσκολία στον ύπνο	34(10,9%)	9(5,4%)	25(9,9%)	24(13%)
Εξανθήματα	14(4,5%)	10(6%)	15(5,9%)	9(4,9%)
Ερεθισμός στη μύτη	37(11,9%)	11(6,6%)	25(9,9%)	13(7%)
Ρινορραγία	7(2,2%)	1(0,6%)	2(0,8%)	4(2,2%)
Ριναλγία	6(1,9%)	2(1,2%)	2(0,8%)	1(0,5%)
Ναυτία	12(3,8%)	5(3%)	14(5,6%)	9(4,9%)
Εμμετός	6(1,9%)	2(1,2%)	5(2%)	1(0,5%)
Διάρροια	2(0,6%)	0	6(2,4%)	3(1,6%)
Πόνος στο στήθος	16(5,1%)	6(3,6%)	26(10,3%)	13(7%)
Πόνος στην κοιλιά	10(3,2%)	1(0,6%)	16(6,3%)	11(6%)
Προβλήματα στην έμμηνο ρύση	7(2,2%)	2(1,2%)	16(6,3%)	14(7,6%)
Ασυνήθιστη δίψα	34(10,9%)	19(11,4%)	20(8%)	18(9,7%)
Πόνος σε όλο το σώμα	15(4,8%)	12(7,2%)	21(8,3%)	14(7,6%)
Πυρετός	6(1,9%)	5(3%)	8(3,2%)	4(2,1%)

**Πίνακας 4.2 Συμπτώματα σε κτίρια γραφείων και σε δημαρχεία με φυσικό και τεχνικό αερισμό**

Τα συμπτώματα με τα υψηλότερα ποσοστά στα κτίρια γραφείων καθώς και στα δημαρχεία, είτε πρόκειται για φυσικά ή τεχνητά αεριζόμενα, είναι οι πονοκέφαλοι, οι ερεθισμοί στα μάτια, η αδυναμία συγκέντρωσης, η ζαλάδα, η ασυνήθιστη κούραση και η υπνηλία. Το γεγονός ότι τα συμπτώματα αυτά αναφέρθηκαν από υψηλό ποσοστό των εργαζομένων στους κλιματιζόμενους αλλά και στους φυσικά αεριζόμενους χώρους υποδεικνύει την ανάγκη περισσότερου αερισμού στο χώρο. Επίσης συμπτώματα σχετικά με αναπνευστικά προβλήματα όπως κρούσματα άσματος, βρογχοπνευμονία, βρογχίτιδα, ακροαστικά, δύσπνοια, παραρινοκολπίτιδα, καταρροή και υπερβολικό φλέμα αναφέρθηκαν σε υψηλότερο ποσοστό στους κλιματιζόμενους χώρους. Το ίδιο μπορούμε να αναφέρουμε και για συμπτώματα που σχετίζονται με τη γενική αδιαθεσία του ατόμου όπως ναυτία, εμετός και διάρροια. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη κακή συντήρηση του κεντρικού συστήματος κλιματισμού. Το σύμπτωμα του ερεθισμού στα μάτια παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό αναφοράς στους κλιματιζόμενους χώρους γραφείων και δημαρχείων έναντι των φυσικά αεριζόμενων. Εξήγηση του φαινόμενου αυτού πιθανόν να αποτελεί το γεγονός ότι τα συστήματα κλιματισμού και ειδικά αυτά της παλαιότερης τεχνολογίας σχεδιασμού έχουν την ιδιότητα να αφαιρούν την εσωτερική υγρασία του χώρου με αποτέλεσμα τον ερεθισμό των ματιών. Αυτό θα μπορούσε να ειπωθεί και για τη μόλυνση στα μάτια καθώς και το βήχα. Ωστόσο, οι αναφορές για τα συγκεκριμένα συμπτώματα δείχνουν μεγαλύτερα ποσοστά στα φυσικά αεριζόμενα γραφεία από ότι στα κλιματιζόμενα. Μια πιθανή ερμηνεία θα μπορούσε να είναι η εισαγωγή ρυπογόνου αέρα στο εσωτερικό των γραφείων.

Επίσης από την παραπάνω έρευνα οι Argiriou et al (1992) και Balaras et al (1993) διαπίστωσαν τα εξής:

- Κατά μέσο όρο, ο αριθμός των συμπτωμάτων ανά άτομο είναι 4,3 στα κλιματιζόμενα γραφεία και 3,9 στα φυσικά αεριζόμενα γραφεία.
- Το ποσοστό των εργαζόμενων με τουλάχιστον ένα σύμπτωμα είναι 89,5% στα κλιματιζόμενα και 87,8% στα φυσικά αεριζόμενα κτίρια.
- Για το συνολικό αριθμό των κτιρίων γραφείων, ο μέσος όρος των εργαζομένων με τουλάχιστον ένα σύμπτωμα είναι 88,9%.
- Στα δημαρχεία, ο μέσος όρος του αριθμού των συμπτωμάτων ανά άτομο είναι 4,4 για τα κλιματιζόμενα κτίρια και 3,7 για τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια.

- Το ποσοστό των εργαζόμενων με τουλάχιστον ένα σύμπτωμα είναι 88,5% στα κλιματιζόμενα και 85,9% στα φυσικά αεριζόμενα κτίρια.
- Για το συνολικό αριθμό των δημαρχείων, ο μέσος όρος των εργαζομένων με τουλάχιστον ένα σύμπτωμα είναι 87,4%.

Η ποιότητα του αέρα μέσα στο κτίριο, χαρακτηρίστηκε σαν ικανοποιητική ή μη ικανοποιητική, από την ερευνητική ομάδα (4-5 άτομα) που επισκέφθηκε το κάθε κτίριο. Με την άφιξή τους στο κτίριο, μέσα σε ένα χρονικό διάστημα 1 λεπτού, κατέγραψαν την εντύπωσή τους από τις οσμές που υπήρχαν στον αέρα, ευρισκόμενοι σε ένα αντιπροσωπευτικό σημείο μέσα στο κτίριο.

- Περίπου τα μισά από τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια παρουσιάζουν ποσοστό δυσαρέσκειας πάνω από 50%. Όλα αυτά τα κτίρια όμως ήταν σε περιοχές με πολύ υψηλή εξωτερική μόλυνση του αέρα.
- Για τα μισά κλιματιζόμενα κτίρια, το ποσοστό δυσαρέσκειας ήταν πάνω από 25%, αν και μόνο για το 17% επί του συνόλου, το ποσοστό δυσαρέσκειας ξεπέρασε το 60%.
- Για τα δημαρχεία, πάνω από τα μισά κλιματιζόμενα κτίρια και περίπου το ένα τρίτο από τα φυσικά αεριζόμενα κτίρια, το ποσοστό δυσαρέσκειας ξεπέρασε το 20%. Σ' ένα κλιματιζόμενο κτίριο το ποσοστό δυσαρέσκειας έφτασε το 80%.

Οι πληροφορίες που έχουμε διαθέσιμες για τις επιπτώσεις του εσωτερικού περιβάλλοντος στην αποδοτικότητα των εργαζομένων, δεν είναι αρκετές (Whitley, Makin and Dickson, 1994). Τα περισσότερα αποτελέσματα ερευνών προέρχονται από εργαστηριακές μελέτες, τα αποτελέσματα των οποίων διαφέρουν από τις πραγματικές συνθήκες σε πραγματικούς χώρους εργασίας. Συνεπώς, χρειάζεται επιπλέον έρευνα στον τομέα αυτό, όπως οι προσπάθειες που παρουσιάστηκαν πιο πάνω.

## 4.5 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού αέρα σε εργασιακούς χώρους σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο με σκοπό την προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων στο σύνολο ώστε να μπορέσουμε να εξάγουμε, όσο το δυνατόν, ασφαλή συμπεράσματα για την προέλευση και τα αίτια των ρύπων, τα οποία είναι τα εξής:

- Υψηλές συγκεντρώσεις TVOC παρατηρήθηκαν σε χώρες με έντονη οικιστική ανάπτυξη και κύριο χαρακτηριστικό την υψηλή παραγωγικότητα στους τομείς παροχής υπηρεσιών. Αντιθέτως χώρες με έντονη παρουσία πρασίνου σε συνδυασμό με την αραιοκατοίκηση παρουσίασαν χαμηλές συγκεντρώσεις.
- Παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση των τιμών TVOC στα γραφεία, πέρα από το κάπνισμα, είναι η συχνή χρήση καθαριστικών και ο εξειδικευμένος εξοπλισμός γραφείου.
- Λόγω της τοξικότητας των TVOC πρόσφατα θεσπίστηκαν επιτρεπτά όρια για τους εργασιακούς χώρους στην Ελλάδα.
- Οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα όταν αφορούν πολυπληθείς εργασιακούς χώρους σε βιομηχανικές περιοχές του εξωτερικού. Κύρια μέθοδος αντιμετώπισης CO<sub>2</sub> είναι η πρόβλεψη επαρκούς αερισμού.
- Η αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων σχετίζεται άμεσα με την μείωση των επιπέδων CO<sub>2</sub> μέσω του τακτικού αερισμού.
- Τα επίπεδα CO<sub>2</sub> σε εργασιακούς χώρους στην Ελλάδα διαπιστώθηκε ότι κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα όταν ενεργούν διάφοροι παράγοντες, όπως βεβαρυμμένο εξωτερικό περιβάλλον, κάπνισμα, κακός σχεδιασμός κυψελωτών δωματίων και τέλος η άγνοια των χρηστών της λειτουργίας του κεντρικού συστήματος κλιματισμού και γενικά η κακή συντήρηση του.

- Η συγκέντρωση PM2,5 στους εργασιακούς χώρους οφείλεται κυρίως στο κάπνισμα ενώ άλλοι παράγοντες που συνεισφέρουν είναι η επανααιώρηση των σωματιδίων λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας καθώς και η εισαγωγή ρυπογόνου εξωτερικού αέρα. Χαμηλές συγκεντρώσεις PM2,5 επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανικού συστήματος αερισμού ώστε να φιλτράρεται ο εξωτερικός αέρας.
- Οι επιτρεπόμενες τιμές που προτείνονται από την Ελληνική νομοθεσία ( $5000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) αφορούν βιομηχανικές περιοχές και όχι κτίρια γραφείων. Αν και οι κίνδυνοι για την υγεία θεωρούνται ήσσονος σημασίας θα έπρεπε να έχει θεσπιστεί ένα όριο για τη συγκέντρωση σωματιδίων σε εργασιακούς χώρους, αφού συχνά συναντώνται τιμές υψηλότερες από  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  (προτεινόμενο όριο της παγκόσμιας οργάνωσης υγείας).

Στη συνέχεια μελετήθηκε η επίδραση του μηχανικού συστήματος αερισμού στην ποιότητα εσωτερικού αέρα εργασιακών χώρων και καταλήξαμε στα εξής :

- Κριτήριο για την ικανοποίηση της ποιότητας του αέρα είναι ό τύπος κεντρικού συστήματος κλιματισμού καθώς και η χρήση και η θέση του. Για να αξιοποιηθεί σε βέλτιστο βαθμό η χρήση του κεντρικού συστήματος κλιματισμού θα πρέπει να εξασφαλίζονται τα εξής :
  - Κάθε όροφος του κτιρίου να διαθέτει δική του μονάδα χειρισμού αέρα.
  - Το κεντρικό σύστημα κλιματισμού να διαθέτει θέρμανση, ψύξη και αερισμό.
  - Να επιλέγεται εισαγωγή εξωτερικού αέρα και όχι επανακυκλοφορία του εσωτερικού.
  - Να παρέχεται φιλτράρισμα και ύγρανση των χώρων, να απομονώνει και να απομακρύνει οσμές και ρύπους στο περιβάλλον μετά την επεξεργασία τους.
  - Οι αγωγοί αέρα να τοποθετούνται ανάλογα με τη δομή του κτιρίου έπειτα από εξειδικευμένη μελέτη.

- Η χρήση και η λειτουργία του να εκτελείται από εξειδικευμένο προσωπικό σύμφωνα με τις ανάγκες του χώρου που μπορεί να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Τέλος η συντήρηση του συστήματος θα πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα και από εξειδικευμένο προσωπικό.

Τέλος , έπειτα από παράθεση των συμπτωμάτων σε φυσικά αεριζόμενους και κλιματιζόμενους χώρους γραφείων συμπεραίνουμε ότι:

- Τα μεγάλα ποσοστά συμπτωμάτων που παρουσιάστηκαν και σε φυσικά αεριζόμενους αλλά και σε κλιματιζόμενους χώρους υποδεικνύουν την ανάγκη περισσότερου αερισμού στο χώρο.
- Άλλα συμπτώματα που αναφέρθηκαν σε κλιματιζόμενους χώρους απέδειξαν γενικά κακή συντήρηση των κεντρικών συστημάτων κλιματισμού ή παλαιάς τεχνολογίας συστήματα αερισμού.
- Τα συμπτώματα που αναφέρθηκαν σε φυσικά αεριζόμενους χώρους οφείλονται στη κακή ποιότητα του εξωτερικού αέρα.

## **5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ**

### **5.1 Εισαγωγή**

Η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος στα εκπαιδευτικά κτίρια εμφανίζει ιδιαίτερη σημασία και προσελκύει όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, των εκπαιδευτικών, των διευθυντών και διαχειριστών των εκπαιδευτικών εγκαταστάσεων και γενικότερα του κοινωνικού συνόλου. Αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν περισσότεροι από 71 εκατομμύρια μαθητές και περίπου 4,5 εκατομμύρια δάσκαλοι και καθηγητές στη πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αντιπροσωπεύοντας το 20% του συνολικού πληθυσμού. Επιπρόσθετα στις μισές χώρες της ΕΕ τα παιδιά βρίσκονται πάνω από 800 ώρες το χρόνο στις αίθουσες, δηλαδή περίπου το ένα τρίτο μιας τυπικής μέρας (EFA, 2001).

Το ενδιαφέρον αυξάνεται και επειδή πέρα από το γεγονός ότι τα εκπαιδευτικά κτίρια αποτελούν χώρο παραγωγής εκπαιδευτικού έργου, σε αυτά βρίσκονται άνθρωποι μικρής ηλικίας, δηλαδή ομάδες πληθυσμών με αυξημένες απαιτήσεις υγιεινής. Πράγματι, το ανοσοποιητικό σύστημα των μαθητών είναι πιο ευπαθές από των ενηλίκων με αποτέλεσμα να προσβάλλονται πιο εύκολα από χημικούς παράγοντες που εκπέμπονται στους χώρους των σχολείων. Επιπλέον, ο οργανισμός των μαθητών βρίσκεται σε ανάπτυξη και αναπνέει μεγαλύτερο όγκο αέρα ανά μονάδα βάρους που υπολογίζεται σε περίπου 400 ml/min/kg σε αντίθεση με τους ενήλικες που είναι 150 ml/min/kg. Ένας ακόμα παράγοντας σε αυτό το σημείο που διαφοροποιεί την έκθεση των ενήλικων από τους ανήλικους στους ρύπους έγκειται στο γεγονός ότι συχνά τα παιδιά, ιδίως προσχολικής ηλικίας, παίζουν πάνω σε χαλιά και μοκέτες που όπως θα αναφερθεί παρακάτω, αποτελούν κύρια πηγή εκπομπών ρύπων. Επομένως, οι ρύποι που υπάρχουν στα σχολικά κτίρια επηρεάζουν περισσότερο τους μαθητές με συνέπεια την εμφάνιση αναπνευστικών προβλημάτων και κυρίως αύξηση των κρουσμάτων άσθματος. Τα κρούσματα άσθματος είναι μάλιστα ιδιαίτερα υψηλά στην Αμερική και κυρίως στις βιομηχανικές περιοχές.

Πέρα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που εμφανίζει η ευαίσθητη ομάδα πληθυσμού των μαθητών προστίθενται και άλλοι τέσσερις κρίσιμοι παράγοντες που καθιστούν τα εκπαιδευτικά κτίρια πιο πιθανούς χώρους εμφάνισης φτωχής ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος σε σύγκριση με άλλα κτίρια. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι παρακάτω:

Η ηλικία των κτιρίων. Στις χώρες τις Ευρωπαϊκής Ένωσης σχεδόν το 90% των σχολείων χτίστηκαν πριν από το 1980, και ειδικότερα, το 50% κατά τη δεκαετία του '60. Αν και οι συνέπειες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος μπορούν να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε παλαιό ή νέο κτίριο, οι αυξανόμενοι κίνδυνοι στα παλαιότερα κτήρια οφείλονται στα ξεπερασμένα συστήματα εξαερισμού.

Η έλλειψη χρημάτων για την ανακαίνιση και την συντήρηση των σχολικών κτιρίων. Πολλά σχολικά κτίρια και ιδιαίτερα τα δημόσια δεν διαθέτουν επαρκείς οικονομικούς πόρους ώστε να προβαίνουν σε περιοδική είτε ανακαίνιση είτε επιδιόρθωση και συντήρηση ή ακόμα και αλλαγή του εξοπλισμού και των όποιων μηχανικών συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού διαθέτουν.

Ο μεγάλος αριθμός μαθητών και καθηγητών που εισέρχονται στα σχολικά κτίρια. Συχνά παρατηρείται το φαινόμενο της υπέρβασης του αριθμού των μαθητών σε μία αίθουσα διδασκαλίας με αποτέλεσμα ο αρχικός σχεδιασμός των αιθουσών όσον αφορά στον αερισμό τους να μη καλύπτει τις επιπρόσθετες ανάγκες σε φρέσκο αέρα. Έρευνα στα σχολικά κτίρια στις Η.Π.Α. έδειξε πως στο 10% των σχολικών αιθουσών ο αριθμός των μαθητών μεγαλύτερος κατά 25%.

Η αλλαγή χρήσης των κτιρίων. Πολλές φορές οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες στεγάζονται σε δημόσια κτίρια που αρχικά δεν είχαν σχεδιαστεί για να παρέχουν τέτοιες υπηρεσίες. Ως εκ τούτου οι συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος με την δημιουργία εκ των υστέρων αιθουσών με την κατεδάφιση ή κατασκευή ενδιάμεσων τοίχων και με την παρουσία μεγάλου αριθμού ατόμων σε αυτούς τους νέους διαμορφωμένους χώρους δεν πληρούν συχνά τα απαραίτητα κριτήρια αερισμού ενός χώρου.

Η τοποθεσία που βρίσκεται το σχολικό συγκρότημα. Σε ένα πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον είναι δυστυχώς αναμενόμενο τα εκπαιδευτικά κτίρια συχνά να γειτνιάζουν σε κεντρικούς οδικούς άξονες με αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο και σε

μία τέτοια περίπτωση οι περιεκτικότητες των ρύπων θα εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες. Από μετρήσεις που έχει διενεργήσει η EPA σε σχολεία της Οκλαχόμα έχει βρεθεί ότι σχολείο που βρίσκεται 1000 μέτρα από μεγάλη εθνική οδό έχει υποστεί ρύπανση που αντιστοιχεί στο 10% της ρύπανσης σχολείου που βρίσκεται μόλις 300 μέτρα από αυτήν.

Τα σχολικά κτίρια αποτελούνται από χώρους διάφορων δραστηριοτήτων, στους οποίους ο μαθητής διδάσκεται, γυμνάζεται, διαλογίζεται, ξεκουράζεται και επομένως είναι εύλογο οι πηγές εκπομπής ρύπων να ποικίλουν από χώρο σε χώρο.

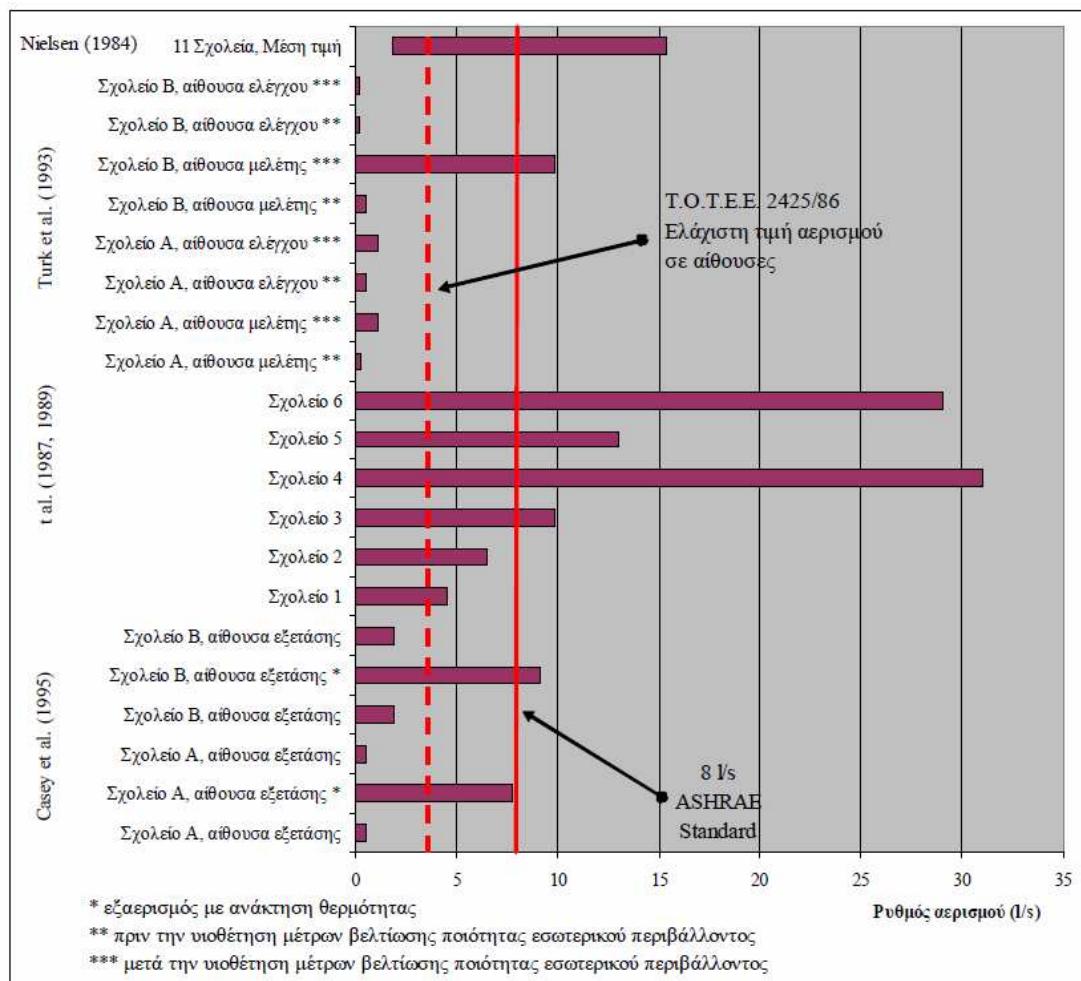
Οι σημαντικότεροι ρύποι που συναντιούνται στα σχολικά κτίρια είναι :

- οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), και ιδιαίτερα η φορμαλδεΰδη,
- το διοξείδιο του άνθρακα,
- το μονοξείδιο του άνθρακα,
- τα αιωρούμενα σωματίδια,

Οι συνέπειες της φτωχής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στα εκπαιδευτικά κτίρια είναι καταλυτικές για την ορθή λειτουργία ενός σχολικού συγκροτήματος, την απόδοση των μαθητών και των καθηγητών καθώς και για την υγεία των παραπάνω.

## 5.2 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εκπαιδευτικά κτίρια σε παγκόσμιο επίπεδο

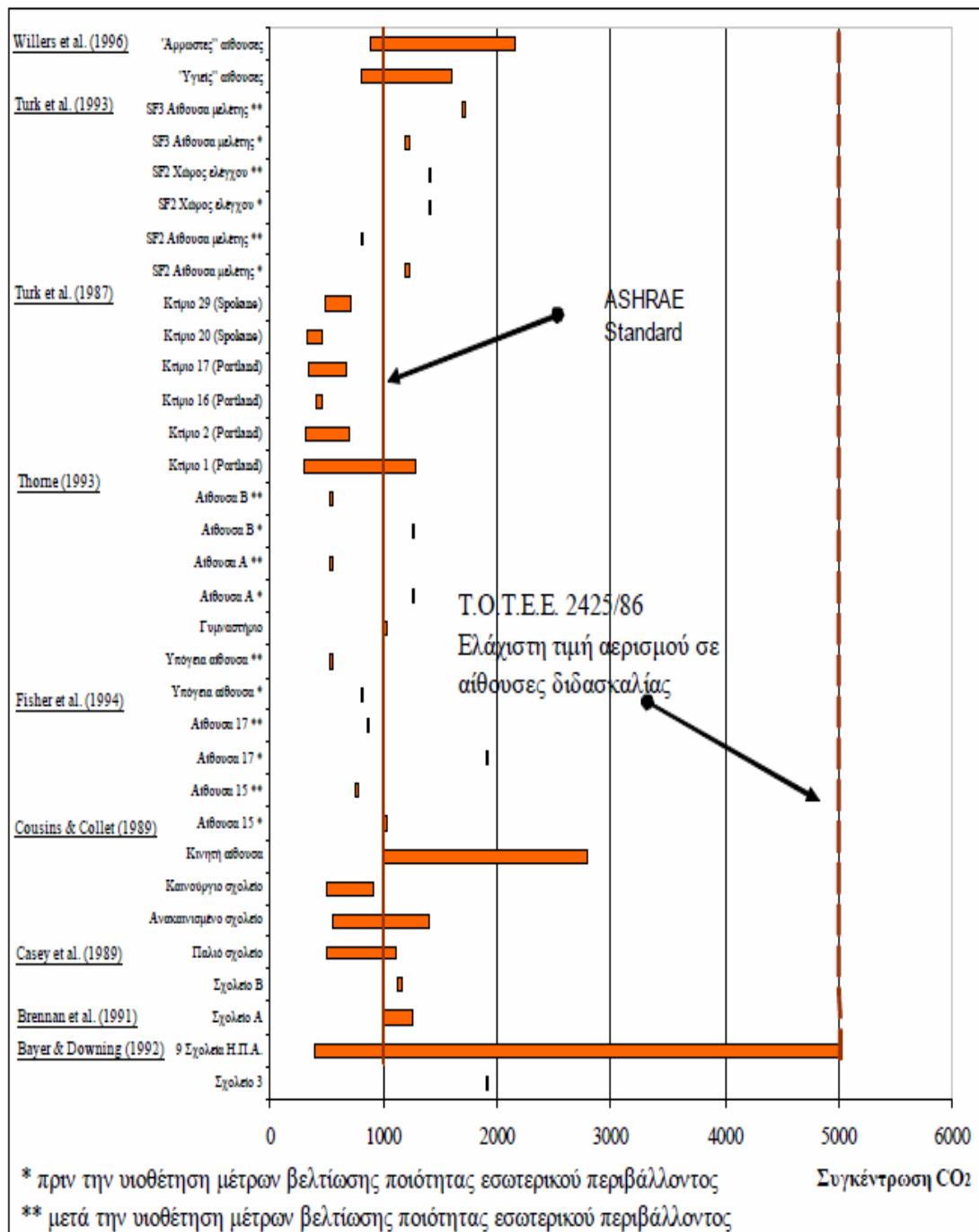
Είναι γενικότερα αποδεκτό πως η ποιότητα του εσωτερικού αέρα και ο ρυθμός αερισμού στις σχολικές αίθουσες επηρεάζουν την υγεία των μαθητών και έμμεσα την ικανότητα μάθησης (Amanatidis & Tzikas, 2002). Αν και ο ρυθμός αερισμού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, περιορισμένος αριθμός σχετικών μετρήσεων στα εκπαιδευτικά κτίρια είναι διαθέσιμος. Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται ο ρυθμός αερισμού σχετικών δημοσιευμένων ερευνών σε εκπαιδευτικά κτίρια στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη (Casey et al, 1995, t al, 1987, 1989, Turk et al,1993, Nielsen 1984) .



**Σχήμα 5. 1 Ρυθμός αερισμού σε διάφορα εκπαιδευτικά κτίρια στην περιοχή των ΗΠΑ και της ευρωπαϊκής ένωσης. ΠΗΓΗ: Amanatidis & Tzikas, 2002**

Στο σχήμα 5.1 καταγράφεται ο ρυθμός αερισμού σε διάφορα εκπαιδευτικά κτίρια στις ΗΠΑ και στην Ευρωπαϊκή ένωση. Επίσης, τίθενται σε σύγκριση ο ρυθμός αερισμού πριν την υιοθέτηση μέτρων βελτίωσης ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος με το ρυθμό αερισμού μετά την υιοθέτηση. Παρατηρείται βελτίωση του ρυθμού αερισμού στις περιπτώσεις που εφαρμόστηκαν τα μέτρα βελτίωσης αλλά αρκετά μικρή και χωρίς να πλησιάζει την προτεινόμενη τιμή των 8 l/s κατά ASHRAE, με εξαίρεση ένα σχολείο. Ωστόσο 7 σχολεία από τα 20 που εξετάστηκαν διέθεταν ρυθμό αερισμού από 8 l/s έως και 31 l/s. Στα σχολεία όπου μετά τον εξαερισμό του χώρου αποκαθίσταται η φυσιολογική θερμοκρασία μέσω μεθόδων θέρμανσης, ο ρυθμός αερισμού των μετρήσεων τετραπλασιάστηκε σε σχέση με τα σχολεία όπου μετά τον αερισμό δεν προβλεπόταν η θέρμανση των χώρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η προτεινόμενη τιμή αερισμού κατά το TEE 2425/86 (4 l/s) είναι κατά 4 l/s μικρότερη από το πρότυπο του ASHRAE (8 l/s) .

Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζεται μέσω ιστογράμματος η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> σε εκπαιδευτικά κτίρια των ΗΠΑ και του Καναδά (Casey et al, 1995, et al, 1987, 1989, Turk et al, 1993, Nielsen 1983) .



**Σχήμα 5. 2 Ιστόγραμμα συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> (ppm) σε εκπαιδευτικά κτίρια των ΗΠΑ και του Καναδά. ΠΗΓΗ: Amanatidis & Tzikas, 2002**

Οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> κυμαίνονται σε διάφορα επίπεδα ανάλογα με το είδος του χώρου που εξετάζεται, για παράδειγμα αίθουσα μελέτης, γυμναστήριο, υπόγεια αίθουσα, την παλαιότητα ή μη του κτιρίου καθώς και την θέση του. Συγκεκριμένα, παρατηρείται υψηλότερες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στις αίθουσες μελέτης από ότι σε ένα γυμναστήριο ή μια υπόγεια αίθουσα, διότι αναμένεται περισσότερο πλήθος ατόμων σ' αυτές. Ωστόσο μετά από μετρήσεις των συγκεντρώσεων στις ίδιες αίθουσες αλλά με εξασφάλιση επαρκούς αερισμού διαπιστώθηκε ότι οι μετρήσεις αυτές ήταν κατά πολύ μικρότερες από αυτές του γυμναστηρίου και ίδιες μ' αυτές της υπόγειας αίθουσας. Επίσης, διακρίνεται ότι οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> σε ανακαίνισμένο σχολείο ξεπερνούν αυτές ενός καινούριου ή ακόμα και ενός παλιού σχολείου. Αυτό μαρτυρά ότι η ανακαίνιση του κτιρίου έγινε αποκλειστικά με κριτήριο την εξυπηρέτηση των αναγκών για νέες αίθουσες χωρίς να ληφθεί υπόψη ο επαρκής αερισμός τους. Οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στο παλιό σχολείο είναι υψηλότερες από αυτές του καινούριου σχολείου το οποίο ερμηνεύεται με την υπόθεση ενός ξεπερασμένου συστήματος αερισμού. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι τα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> που συστήνει το TEE 2425/86 είναι 5000 ppm ενώ το ASHRAE 1000 ppm.

#### 5.4 Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εκπαιδευτικά κτίρια στην Ελλάδα

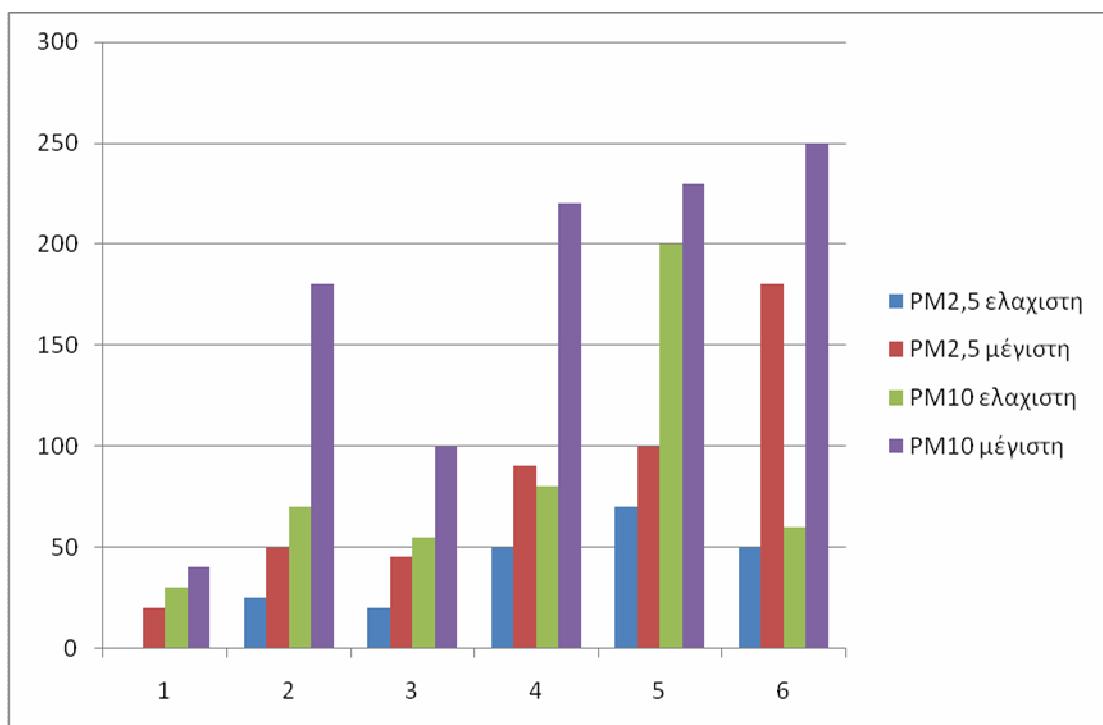
Στο πλαίσιο διερεύνησης των εσωκλιματικών συνθηκών των εκπαιδευτικών κτιρίων στη Θεσσαλονίκη θεωρήθηκε σκόπιμη η διεξαγωγή συγκεκριμένων μετρήσεων, ώστε να αποκομιστούν χρήσιμα συμπεράσματα (Amanatidis & Tzikas, 2002). Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε παιδικούς σταθμούς, νηπιαγωγεία και κτίρια δημοτικών σχολείων. Οι μετρήσεις αφορούσαν τα επίπεδα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, συγκέντρωσης CO, συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>, σωματιδίων μεγέθους άνω των 0,5 μμ και σωματιδίων μεγέθους άνω των 5μμ, όπως επίσης και της ταχύτητας του αέρα.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στον παιδικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ο οποίος λειτουργούσε έως το 2003. Ο παιδικός σταθμός βρισκόταν στην ανατολική πλευρά της πανεπιστημιούπολης πλησίον της λεωφόρου Γ' Σεπτεμβρίου. Τα μετρητικά όργανα τοποθετήθηκαν σε δύο κτίρια του παιδικού σταθμού με διαφορετικό προσανατολισμό. Για την ορθή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων συλλέχθηκαν με τη χρήση ερωτηματολογίων επιπλέον δεδομένα για τον αριθμό των

παιδιών που βρίσκονταν στην αίθουσα κάθε ώρα και τον τρόπο αερισμού των αιθουσών.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> κυμαίνονταν κάτω από το ελληνικό επιτρεπτό όριο των 5000ppm ενώ ξεπερνούσε τα 1000ppm, το αντίστοιχο όριο της ASHRAE. Από τη μελέτη αυτή διαπιστώθηκε η συσχέτιση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> με το πλήθος των παιδιών και με τη συχνότητα αερισμού. Επίσης, ενοχοποιήθηκε η έντονη δραστηριότητα των παιδιών για την αύξηση της συγκέντρωσης σωματιδίων ενώ οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα αποδόθηκαν στην αυξημένη κυκλοφορία αυτοκινήτων τις ώρες αιχμής.

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM2,5 και PM10 σε εκπαιδευτικά κτίρια της Αττικής. Οι μετρήσεις για τα κτίρια 1 και 2 αφορούν δύο πανεπιστήμια των Αθηνών (Gemenetzis et al, 2006), για τα κτίρια 3, 4 και 5, κτίρια στοιχειώδους εκπαίδευσης (Diapouli et al,2004), και για το κτίριο 6 σχολείο στην Αγία Παρασκευή (Santamouris et al,2005).



**Σχήμα 5.3 Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε εκπαιδευτικά κτίρια στην Ελλάδα.**

Συγκρίνοντας τα κτίρια από τα δύο πανεπιστήμια, παρατηρείται υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης PM10 στο ένα από αυτά, στοιχείο που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το κτίριο με την υψηλή συγκέντρωση βρίσκεται κοντά σε δρόμο υψηλής κυκλοφορίας, είτε αφορά κτίριο όπου βρίσκονται καπνίζοντες. Διακυμάνσεις των τιμών συγκέντρωσης PM10 παρουσιάζουν τα δημοτικά σχολεία με υψηλότερη αυτήν των  $240 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Αποκλείοντας ως πιθανή πηγή ρύπου το κάπνισμα συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για σωματίδια προερχόμενα από τη χρήση κιμωλίας για το κτίριο 6 και για ρυπογόνο εξωτερικό περιβάλλον για το κτίριο 4. Επίσης άλλοι παράγοντες που θα μπορούσαν να συνεισφέρουν σ' αυτές τις υψηλές τιμές συγκεντρώσεων είναι η έντονη δραστηριότητα των παιδιών, με αποτέλεσμα την επανααιώρηση των σωματιδίων, σε συνδυασμό με τον ανεπαρκή αερισμό των χώρων. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί και για το κτίριο 6 όσον αφορά για τα σωματίδια PM10. Ωστόσο η υψηλή τιμή συγκέντρωσης PM2,5 της τάξης των  $180 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  υποδηλώνει μια πιθανή πρόσφατη ανακαίνιση. Τέλος σημαντική μείωση των PM10 μετρήθηκε κατά την περίοδο μη λειτουργίας των σχολείων.

Από μελέτη των Ransom and Pope (1992), αναφέρεται ότι για κάθε αύξηση της εξωτερικής των PM10 κατά  $100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ , υπήρχε ταυτόχρονη αύξηση των απόντων μαθητών κατά 40% ακόμη και για συγκεντρώσεις κάτω των  $150 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ύπαρξη βιολογικών και χημικών παραγόντων στα σωματίδια σκόνης όπως μικρόβια και αλλεργιογόνα που μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα υγείας (Gyntelberg et al, 1994, Mylhave et al 2000). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται από τους Smedje and Morback (2001) που αναφέρουν ότι τα αναπνευστικά προβλήματα σε σχολεία αυξάνονται όσο η συχνότητα καθαρισμού μειωνόταν.

## 5.5 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν μετρήσεις της ποιότητας εσωτερικού αέρα στα εκπαιδευτικά κτίρια σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο με σκοπό την προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων στο σύνολο ώστε να μπορέσουμε να εξάγουμε, όσο το δυνατόν, ασφαλή συμπεράσματα για την προέλευση και τα αίτια των ρύπων, τα οποία είναι τα εξής :

- Οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> σε αίθουσες εκπαιδευτικών κτιρίων εξαρτώνται από το ρυθμό αερισμού σε συνάρτηση με το πλήθος ατόμων σε αυτές.
- Τα επίπεδα συγκεντρώσεως CO<sub>2</sub> στα παραπάνω διαγράμματα κυμαίνονται κάτω από το όριο που ισχύει στην Ελλάδα (5000ppm), ενώ ξεπερνούσε το αντίστοιχο όριο της ASHRAE (1000ppm). Η τελευταία ενημέρωση πρότυπης τιμής ρυθμού αερισμού καθώς και το επιτρεπτό όριο συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> για την Ελλάδα έγινε το 1986 (TEE 2425/86) ενώ για την Αμερική το 1999 ASHRAE (standard 62, 1999), γι' αυτό κρίνεται αναγκαία η ενημέρωση των ελληνικών προτύπων ώστε να συμφωνούν με τα αποτελέσματα νεότερων ερευνών.
- Ο επαρκής αερισμός προϋποθέτει το σωστό σχεδιασμό των αιθουσών του σχολείου, τη χρήση συστήματος κλιματισμού προηγμένης τεχνολογίας, την πρόβλεψη θέρμανσης μετά τον αερισμό και την ενημέρωση της κοινωνίας του σχολείου για τις προτεινόμενες τιμές αερισμού στις αίθουσες σε συνδυασμό με τις βλαβερές συνέπειες της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στην ανθρώπινη υγεία.
- Η συγκέντρωση σωματιδίων PM2,5 αυξάνεται σημαντικά με την έντονη δραστηριότητα των παιδιών σε κλειστούς χώρους χωρίς συχνό αερισμό. Δεδομένου ότι στα σχολικά κτίρια δεν επιτρέπεται το κάπνισμα ούτε υπάρχουν συνήθως πηγές από παραγωγή φαγητού, οι εσωτερικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων περιορίζονται στις απλές σχολικές δραστηριότητες και κυρίως στη χρήση κιμωλίας
- Η συγκέντρωση σωματιδίων PM10 παρουσιάζει υψηλές τιμές στα σχολεία όπου βρίσκονται σε αστικό περιβάλλον, κοντά σε δρόμους υψηλής κυκλοφορίας .Ωστόσο και η χρήση κιμωλίας, σε συνδυασμό με την

επανααιώρηση των σωματιδίων λόγω της έντονης δραστηριότητας των παιδιών συμβάλλει στη αύξηση της συγκέντρωσης των εν λόγω σωματιδίων. Η δραστηριότητα των μαθητών αυξάνει κυρίως την συγκέντρωση των μεγάλης διαμέτρου σωματιδίων στον εσωτερικό αέρα (Patterson et al, 2000).

- Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων στους πανεπιστημιακούς χώρους οφείλονται στο κάπνισμα καθώς και στο πλήθος ατόμων.

## 6. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Με την παρούσα μελέτη συγκεντρώθηκαν και μελετήθηκαν μετρήσεις της ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου σε κατοικίες, επαγγελματικούς χώρους και εκπαιδευτικά κτίρια από τη διεθνή βιβλιογραφία με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για το είδος, το μέγεθος, τη συχνότητα εμφάνισης των ρύπων καθώς και την προέλευση τους. Με γνώμονα τα συμπεράσματα αυτά, θα προταθούν διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης τους.

Ένας από τους ρύπους από τους οποίους μελετήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το CO<sub>2</sub> του οποίου η παρουσία υπήρξε καταλυτική σ' όλους τους χώρους κατοικιών, γραφείων και εκπαιδευτικών κτιρίων που εξετάστηκαν. Συγκεκριμένα αυξημένες τιμές CO<sub>2</sub> παρουσιάστηκαν στις κατοικίες με κύριο υπαίτιο το κάπνισμα στους εσωτερικούς χώρους αυτής. Στο κεφάλαιο που αφιερώθηκε στην επίδραση του καπνίσματος στους εσωτερικούς χώρους μιας κατοικίας διαπιστώθηκε έντονη και αθροιστική επιβάρυνση του αέρα με κάθε κατανάλωση τσιγάρου. Άλλες πηγές προέλευσης CO<sub>2</sub> στις κατοικίες, αλλά με δευτερεύοντα ρόλο, αποδείχθηκαν η εισαγωγή ρυπογόνου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και οι διεργασίες καύσης που συντελούνται σε μια οικεία με το μαγείρεμα, τη θέρμανση κτλ. Ομοίως, τα επίπεδα CO<sub>2</sub> κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα ακόμα και στους εργασιακούς χώρους, όπου αποκλείεται ο παράγοντας του μαγειρέματος και συχνά και ο παράγοντας του καπνίσματος. Προς αναζήτηση των αιτιών διαπιστώθηκε ότι πρωταρχικό ρόλο της εμφάνισης των υψηλών συγκεντρώσεων διαδραματίζει ο ρυθμός αερισμού σε συνάρτηση με το πλήθος των παρευρισκομένων ατόμων. Επιπρόσθετα το βεβαρυμμένο εξωτερικό περιβάλλον, κακός σχεδιασμός κυψελωτών δωματίων καθώς και η χρήση κεντρικού συστήματος κλιματισμού συμβάλλουν στα αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> στους εσωτερικούς χώρους επαγγελματικών κτιρίων. Ομοίως και για τους εσωτερικούς χώρους των εκπαιδευτικών κτιρίων.

Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στις κατοικίες προέρχονται από διάφορους παράγοντες όπως τη θέση της κατοικίας σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον, τις κλιματικές αλλαγές καθώς και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε διαφορά στη συγκέντρωση από μετρηθείσες κατοικίες σε βιομηχανικές περιοχές ή περιοχές με έντονο βιομηχανικό φόρτο σε αντίθεση με

περιοχές προαστιακού χαρακτήρα. Στη διαφορά αυτή συντελεί και η μεταβολή του κλίματος αφού επιτρέπεται η μεταφορά σωματιδίων μέσω του ανέμου, ενώ στην περίπτωση ψυχρού κλίματος η παραμονή σωματιδίων λόγω μη συχνού αερισμού. Παράγοντες συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν και η ανθρώπινη δραστηριότητα όπως το κάπνισμα, η καθαριότητα και η ανθρώπινη κινητικότητα, των οποίων ο βαθμός επίδρασης εξαρτάται από το χαρακτήρα του ενοίκου και τις ανάγκες του. Αντιθέτως η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων στους εργασιακούς χώρους, οφείλεται κυρίως στο κάπνισμα και στην ανθρώπινη κινητικότητα εφόσον η εισαγωγή εξωτερικού αέρα φιλτράρεται μέσω προηγμένου συστήματος κλιματισμού. Επίσης συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να προκληθεί με τη σύνθεση του εργασιακού χώρου όπως την παρουσία ανοιχτών ραφιών χαρτικής ύλης και χρήση μοκέτας. Στους εκπαιδευτικούς χώρους συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων εντοπίζεται στις απλές σχολικές δραστηριότητες με κύριες αυτήν της έντονης δραστηριότητας των παιδιών σε κλειστούς χώρους χωρίς το απαραίτητο αερισμό καθώς και στην εκτεταμένη χρήση κιμωλίας.

Συγκεντρώσεις TVOC παρουσιάστηκαν στους εργασιακούς χώρους με πιθανά αίτια τη συχνή χρήση καθαριστικών και τον εξειδικευμένων μηχανών γραφείου . Παρομοίως με το CO<sub>2</sub> παράγοντες υψηλών συγκεντρώσεων TVOC αποτελούν η θέση του κτιρίου καθώς και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Αναμενόμενα υψηλές τιμές παρουσίασαν μετρηθέντα γραφεία σε περιοχές οικιστικής ανάπτυξης καθώς και στους επαγγελματικούς χώρους όπου επιτρέπονταν το κάπνισμα . Λόγω της τοξικότητας των TVOC θεσπίστηκαν επιτρεπτά όρια σε επαγγελματικά κτίρια στον Ελληνικό χώρο .

Εξαιτίας της σημαντικής επίδρασης του καπνίσματος στην ποιότητα αέρα των εσωτερικών χώρων στα κτίρια αφιερώθηκε ένα κεφάλαιο με ανάλογες μελέτες, με την συμβολή των οποίων καταλήξαμε ότι η κατανάλωση τσιγάρων στο εσωτερικό των κτιρίων μπορεί να προκαλέσει έως και 200% αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και των συγκεντρώσεων NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, TVOC, και CO<sub>2</sub> . Από τη παραπάνω διαπίστωση συμπεράνουμε ότι το κάπνισμα στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να δημιουργήσει ένα σχετικά υγιές περιβάλλον σε ιδιαίτερα τοξικό. Εφόσον η κατάργηση του καπνίσματος στους εσωτερικούς χώρους δεν αποτελεί επιλογή, ο μόνος τρόπος αντιμετώπισης είναι η συχνότητα αερισμού.

Η ανάπτυξη του οικιστικού περιβάλλοντος οδήγησε στο σχεδιασμό κτιρίων με πρόβλεψη μηχανικού συστήματος αερισμού. Για την εξασφάλιση ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων αυτών οφείλεται να πληρούνται ανάλογες προδιαγραφές τοποθέτησης, χρήσης και συντήρησης του κεντρικού συστήματος κλιματισμού. Στη προσπάθεια σύγκρισης φυσικά και τεχνητά αεριζόμενων χώρων μέσω αναφοράς συμπτωμάτων των εργαζομένων σ' αυτούς, καταλήξαμε ότι απαιτείται συχνότερη συντήρηση ή και ακόμα και αντικατάσταση των κεντρικών συστημάτων κλιματισμού καθώς και τη συνεχή λειτουργία τους.

Το κύριο πρόβλημα σήμερα στην Ελλάδα όσον αφορά τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων είναι η έλλειψη κατάλληλης νομοθεσίας ή τυποποιημένων κατευθυντήριων οδηγιών καθώς και η έλλειψη πληροφόρησης. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, τα μεγάλα κτίρια γραφείων και τα εμπορικά κτίρια αξιολογούνται με βάση την νομοθεσία για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία. Τα όρια που ορίζονται από αυτή τη νομοθεσία, αναφέρονται κυρίως σε βιομηχανικούς χώρους, όπου θα πρέπει να ελέγχεται η έκθεση του εργαζομένου σε συγκεκριμένες, γνωστές πηγές βιομηχανικής ρύπανσης. Αυτά τα όρια έχουν σχεδιαστεί ώστε να προστατεύουν τους εργαζόμενους από επίπεδα που μπορεί να προκαλέσουν "βλάβη της υγείας και της λειτουργικής ικανότητας" και σε περιπτώσεις όπου η λήψη μέτρων είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή στη βιομηχανία. Επίσης, οι εργαζόμενοι στη βιομηχανία γνωρίζουν την πιθανή πηγή ρύπανσης και χρησιμοποιούν κατάλληλο εξοπλισμό ασφαλείας. Από την άλλη πλευρά τα κτίρια γενικής χρήσης χαρακτηρίζονται από εκατοντάδες πηγές που παράγουν πολλαπλούς ρύπους σε πολύ χαμηλότερα από τα βιομηχανικά επίπεδα. Λόγω τις έλλειψης κατάλληλων οδηγιών καθώς και λόγω της έλλειψης ενημέρωσης, οι άνθρωποι δεν γνωρίζουν τη σημασία της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων για την καθημερινή ζωή. Επομένως, σε αρκετά κτίρια, απλά προβλήματα που μπορούν να επιλυθούν χωρίς κόστος, δεν αντιμετωπίζονται κατάλληλα. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να εμφανιστούν παράπονα και συμπτώματα λόγω της κατάστασης του κτιρίου.

Οι συνθήκες της ποιότητας του αέρα εσωτερικά των κτιρίων μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά με τα ακόλουθα βήματα:

- Με διεξαγωγή διαγνωστικής μελέτης
- Με διεξαγωγή χαρακτηριστικών μετρήσεων ακολουθώντας τυποποιημένη στρατηγική
- εφαρμογή απλών τροποποιήσεων/διορθωτικών μέτρων

Συνήθεις λύσεις για τα προβλήματα ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων είναι :

- Ο αερισμός μετά από εργασίες ανακαίνισης , προκειμένου να εκδιωχθούν οι ρύποι των υλικών και να μειωθεί η συγκέντρωσή τους στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Να απομονωθούν, εάν είναι δυνατόν, οι χώροι που ανακαινίστηκαν από τους υπόλοιπους χώρους του κτιρίου.
- Η αντικατάσταση των υφιστάμενων υλικών του κτιρίου και της επίπλωσης από υλικά με χαμηλές εκπομπές ρύπων (χρήση χρωμάτων με βάση το νερό, επίπλωση από φυσικό ξύλο, φυσικά υλικά στο δάπεδο).
- Να ζητηθεί από τους προμηθευτές νέων οικοδομικών υλικών και επίπλωσης να αερίσουν τα εμπορεύματα τους στις εγκαταστάσεις τους πριν την τοποθέτηση.
- Η αποφυγή της χρήσης χαλιών, ταπετσαρίας ή άλλων υλικών που απορροφούν VOC .
- Η σωστή ενημέρωση προκειμένου να χρησιμοποιούνται οι σωστές δόσεις καθαριστικών προϊόντων.
- Η αποφυγή της χρήσης άσκοπων χημικών προϊόντων όπως αποσμητικών τουαλέτας.
- Να μετακινηθούν εάν κριθεί σκόπιμο οι είσοδοι εξωτερικού αέρα προκειμένου να μην επηρεάζονται από τις κοντινές πηγές ρύπανσης του αέρα .

- Να χρησιμοποιηθούν ειδικά φίλτρα στην εισαγωγή αέρα προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η μεταφορά ρύπων από τον εξωτερικό αέρα στον εσωτερικό.
- Οργάνωση συχνού προγράμματος συντήρησης και καθαρισμού των φίλτρων αέρα, της μονάδας θέρμανσης και ψύξης, των ρυθμιστών διανομής αέρα και των μονάδων χειρισμού αέρα .
- Οργάνωση συχνού προγράμματος επιθεώρησης, συντήρησης και καθαρισμού για τις μονάδες διαιρούμενου τύπου που βρίσκονται σε κάθε χώρο .
- Τοποθέτηση ξεχωριστού συστήματος εξαερισμού για τους κλειστούς χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων .
- Να αποφευχθεί από τους ενοίκους να καπνίζουν εντός των εσωτερικών χώρων του κτιρίου .
- Να αποφεύγονται τα παραδοσιακού τύπου τζάκια και να επιλέγονται κλειστού τύπου εστίες.
- Να τοποθετούνται ισχυρότερη αποροφητήρες και να μεριμνάται η συγνή συντήρηση τους.
- Να εκτελείται σωστός σχεδιασμός της τοποθέτησης των αγωγών του κεντρικού συστήματος κλιματισμού , ιδιαίτερα στην ειδική περίπτωση κυψελωτών δωματίων.
- Να προβλέπεται ειδικευμένο προσωπικό για την χρήση του κεντρικού συστήματος κλιματισμού σε κτίρια με πολλούς ενοίκους.
- Να προβλέπεται πριν την κατασκευή ενός κτιρίου, η επιρροή του εξωτερικού αέρα στον εσωτερικό και ανάλογα να επιλέγεται η μέθοδος αερισμού.
- Να μεριμνάται αερισμός κατά τη διάρκεια καθαριότητας .
- Να αποφεύγεται η τοποθέτηση ανοιχτών ραφιών στους επαγγελματικούς χώρους.

- Να αντικατασταθούν οι πίνακες κιμωλίας με σύγχρονους πίνακες μαρκαδόρου στις αίθουσες διδασκαλίας.

Τέλος, προτείνεται να θεσπιστεί νομοθετικό πλαίσιο που θα περιλαμβάνει τα επιτρεπτά όρια των ρύπων στον εσωτερικό αέρα των κτιρίων, τη διάθεση μέτρων αντιμετώπισης καθώς και τη συγκρότηση επιτροπής ελέγχου τήρησης των επιτρεπόμενων ορίων με δυνατότητα επιβολής προστίμων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abt E., Suh H.H., Allen G., Koutrakis P., (2000). «Characterization of Indoor Particle Sources: A Study conducted in the Metropolitan Boston Area» Environmental Health Perspectives Vol. 108, pp. 35-44.
2. Aga, E., Samoli E., Touloumi G., Anderson H.R., Cadum E., Forsberg B. Goodman P., Goren A., Kotesovec F., Kritz B., Macarol, Medina , Paldy , S, Schindler, Sunyer , Tittanen , Wojtyniak , Zmirou , Schwartz , Katsouyanni,2003 , Short-term effects of ambient particles on mortality in the elderly: results from 28 cities in the APHEA2 project. European Respiratory Journal 40 (Suppl.), pp. 28-33.
3. Allen A., Miguel A. (1995) "Indoor organic and inorganic pollutants: in-situ formation and dry deposition in Southeastern Brazil" Atmospheric Environment, vol.29 , No. 23, pp. 3519-3526.
4. Αμανατίδης Α. και Τζήκας Κ,2002, Ποιότητα αέρα και θερμική Άνεση σε εκπαιδευτικά κτίρια, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
5. American Federation of State - Country and Municipal Employees (AFSCME), 1993. Fact sheet: Health and safety, AFSCME, USA. pp. 78-83.
6. Anreini B. et al , 2000, Aldehydes in the atmospheric enviroment: Evaluation of human exposure in the north-west area of Milan. Microchem. J 67, pp. 11-19
7. Apte W.J. Fisk and Daise , Associations Between indoor CO<sub>2</sub> Concentrations and sick Building Syndrome, Symptoms in /u.S.Office Building. An Analysis of the 1994-1996 BASE StudyData, Indoor Air 2000, 10: pp. 246-257
8. Argiriou, A., Balaras, C.A., Dascalaki, E., Gaglia, A., Gountelas, G., Moustris, K., Santamouris, M., Vallindras, M. (1992). A Survey of Indoor Air Quality in Office Buildings in Athens, Greece., Int. Energy Conversion and Management, 35,5, pp. 385-294

9. Argiriou A., D. Asimakopoulos, C. Balaras, E. Dascalaki, A. Lagoudi, M. Loizidou, M. Santamouris, I. Tselepidaki (1994). On the energy consumption and indoor air quality in office and hospital buildings in Athens Energy Conversion and Management, pp. 35,5,385-294
10. ASHRAE Standard 55 , 1981, Thermal Environmental Condition for Human Occupancy
11. ASHRAE Standard 62 , 1999, Ventilation for Acceptable Indoor air Quality
12. Baek S.O. , Yoon-Shin Kim and Roger Perry: Indoor Air Quality in Homes, Offices and restaurants in Korean Urban Areas- Indoor/Outdoor Relationships, Atmospheric Environment
13. Balaras, C.A., Santamouris, M., Dascalaki, E., Argiriou, A., Asimakopoulos, D., Loizidou, M. (1993). .Indoor Air Quality and Health Symptoms in Town Halls in Athens, Hellas. 6<sup>th</sup> Int. Conference on indoor Air Quality and Climate , Indoor Air, pp. 315-320.
14. Baulig A., et al, 2004, Physicochemical characteristics and biological activities of seasonal atmospheric particulate matter sampling in two locations of Paris. Environmental Science and Technology 38, pp. 5985-5992.
15. Barlett KH, Martinez M, Bert J. Modelling of Occupant-Generated CO<sub>2</sub> Dynamics in Naturally Ventilated Classrooms, Journal of Occupational and Environmental Hygiene 2004, pp139-148.
16. BeruBe K.J. et al, The spatial and temporal variations in PM10 mass from six UK homes , Science of the Total Environment 324 (2004) pp. 41-53.
17. Breysse, P., Timothy J. Buckley 1985. The Office Environment: How Dangerous? In Indoor Air. Sensory and Hyperreactivity Reactions to Sick Buildings, Swedish Council for Building Research, Stockholm. 12: pp. 55-63.
18. Brown SK ,2002, Volatile Organic Polutants in New and Established Building in Melbourne. Sources of formaldehydes, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. Indoor Air 12: pp. 235-242.
19. Brown, S., 2000. New home owners breathe toxic cocktail. Media release ref. 2000/257. Commonwealth Scientific & Industrial Research

Organisation (CSIRO), Melbourne, Australia. California Air Resource Board (CARB), 1991. Indoor air quality guideline: No.1. Formaldehyde in the home. Indoor Air 4, pp. 123-134.

20. Cattani G. et al,2003, Particulate matter measurement of PM2.5 and PM10 in Rome: comparision indoor/outdoor. Annals, Instituto Superiore di Sanita 39 , pp. 357-364.

21. Chaloulakou , P ,Kassomenos G., Grivas Spyrelis,2005 , Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece, Environment International 31, pp. 651-659.

22. Chao H.J. Schwartz Milton and Burge H.A., 2003, The work environmental and workers, health in four large office buildings, Environ. Health Perspec., 111, pp. 1242-1248.

23. Clary, J., 1983. A review of the health effects of formaldehyde. Proc. of the 17th Particleboard Symposium, WSU, Pullman.

24. Cooper C.D. Dietz and Reinhart, 2000, Foundations of Environmental Engineering

25. Daisey T. et al,1994 ,Volatile organic Compounds in twelve California office Buildings: Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki,1993, vol 2, pp 9-14,pp. 3557-3562.

26. De Bortoli et al, 1986, Concentrations of selected organic Pollutants in Indoor and Outdoor Air in Northerm Italy. Environment International, Vol.12,pp. 343-350.

27. Δελλής N. και Τραγουδάρας Δ, 2002, Ενεργειακοί έλεγχοι ποιότητα εσωτερικού αέρα και θερμική άνεση σε κτίρια γραφείων

28. Dementzoglou M.,Maqnoli , Voutsas , Samara ,2003, Sources and partents of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in fine indoor particulate matter of Greek houses Fresenius Environmental Bulletin Volume 12, Issue 12, pp. 1511-1519.

29. Dimitropoulou , Ashmore , Byrne ,2001, Modelling the contribution of passive smoking to exposure to PM10 in UK homes, Indoor and built Enviroment, Volume 10, Issue 3-4, pp. 209-213.

30. Dols, W.S., Persily, A. and Nabinger, S.J. (1995). "Indoor air quality commissioning of a new office building", Proc. Practical Engineering for IAQ, R.F. pp. 29-41.

31. Drakou G., C. Zerefos, I. Ziomas, M. Voyatzaki (1998) "Measurements and Numerical Simulations of Indoor Air Pollutants in Two Different Cases". Atmospheric Environment Vol. 32, ?No.4, pp. 595-610.
32. Elinyae, 2007, Υγιεινή κα ασφάλεια της εργασίας [www.elinyae.gr](http://www.elinyae.gr)
33. Edwards , Jurvelin , Saarela, Jantunen,2001, VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland, Atmospheric Environment 35 pp. 4531-4543.
34. Erdmann and Michael G. Apte,2004 , Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100- building BASE dataset, Indoor Air, pp. 127-134.
35. EPA, 1994. Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants-Draft, Air Risk Information Support Center, Office of Air Quality Planning and Standards, United States Environmental Protection Agency [www.epa.org](http://www.epa.org)
36. Farmer, PB et al,2003, Molecular epidemiology studies of carcinogenic environmental pollutants. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in environmental pollution on exogenous and oxidative DNA damage. Mutation Research pp. 397-402.
37. Garrett, M., Rayment, P., Hooper, M., Abramson, M., Hooper, B., 1998. Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children. Clin. Exp. Allergy
38. Gotschi T. et al,2002, Comparison of black smoke and PM<sub>2.5</sub> levels in indoor and outdoor environments of four European cities. Environmental Science and Technology36, pp. 1191-1197.
39. Grivas A, Chaloulakou, Samara and Spyrellis, 2004, Spatial and temporal Variation of PM10 mass concentrations with in the greater area of Athens, Greece, Water air and Soil Pollution 158: pp. 357-371.
40. Guerin, Jeckins,Tomkins,2004, The chemistry of environmental tobacco smoke: composition and measurement. Chelsea, MI: Lewis Publishers

41. Guo, Lee, Chan and W.M. Li, 2004, Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments, Environmental Research 94, pp.57-66.
42. Gyntelberg F., 1994, Dust and sick syndrome, Indoor Air, 4 pp.223-238.
43. Haghhighat and Giovanna Donnini, 1999, Impact of psychosocial factors on perception of the indoor air environments studies in 12 office building, Building and Environment 23, pp. 368-492.
44. Halios et al, 2005, Investigating cigarette-smoke indoor pollution in a controlled environment, Science of the Total Environment 337. pp.183-190
45. He C., Morawska, Hitchins, Gilbert, 2004 , Contribution from indoor sources to particles number and mass concentrations in residential houses . Atmospheric Environment 38, pp3405-3415.
46. Hodgson, A., Rudd, A., Beal, D., Chandra, S., 2000. Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses. Indoor Air, suppl 8, pp135-144.
47. Hoek et al, 1997, Wintertime PM10 and black smoke concentrations Across Europe: Results from the Peace study , Atmospheric Environment Vol. 31, No.21, pp 3609-3622.
48. Hoppe et al, 1998, Indoor climate and air quality
49. International Agency for Research on Cancer (IARC), 1987-1991, Monographs on the Evaluation of carcinogenic risk to Humans, Lyon, vols.43-53.
50. International Agency for Research on Cancer (IARC), 2004. Formaldehyde as carcinogenic to humans. , International Agency for Research on Cancer, Lyon, France. pp35-83
51. Jones C.A. et al, 2000, Indoor/outdoor relationships of particulate matter in domestic homes with roadside, urban and rural locations, Atmospheric Environment 34, pp 2603-2612.
52. Kamens R., C. Lee, R. Wiener and D. Leith (1991) "A study to characterize indoor particles in three non-smoking homes". Atmospheric Environment 25, pp 939-948.
53. Katsouyanni K. et al, 2001, Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on the total

mortality: results from 29 european cities with in the APHEA 2 project. Epidemiology 12, 521-531.

54. Khillare ,Rajni Pandey, Balachandran ,2004, Characterisation of indoor PM10 in Residential Areas of Delhi, Indoor Built Environ , pp139-147.

55. Koutrakis, Briggs, Leaderer, 1992, Source apportionment of indoor aerosols in Suffolk and Omnodaga countries, New York , Env. Sci Technol. 26, pp521-527.

56. Λαζαρίδης Μ. ,2008, Ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους

57. Lagoudi, Loizidou, Assimakopoulos 1996 , volatile organic compounds in office building Part II , Identification of pollution sources in indoor air, 5(6), 348-354.

58. Lonnati et al,2005, Major chemical components of PM2,5 in Milan (Italy). Atmospheric Environment 39 , pp 1925-1934.

59. Mantis , Chaloulakou, Samara, 2005, PM10 –bound polycyclic aromatic hydrocarbon PAHs in the Greater Area of Athens, Greece, Chemosphere 59, pp593-604.

60. Marcazzan, Ceriani , Valli, Vecchi, 2003, Source apportionment of PM10 and PM2,5 in Milan (Italy) using receptor modeling. Science of the total Environment 317, pp 137-147.

61. Meyer et al,1979, Urea formaldehydes resing eds Addison Wesley Publishing

62. Miller S.L., Nazaroff W.W., (2001). «Environmental tobacco smoke particles in multizone indoor environments»

63. Monn Ch., (2001). “Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, nitrogen dioxide and ozone” Atmospheric Environment 35, pp1-32.

64. Mui LT, Wong, Law , 2006, An energy benchmarking model for ventilation systems of air-conditioned offices in subtropical climates, Atmospheric Environment 40 , pp4246-4257.

65. Myat TA et al, 2002, An intervention study of outdoor air supply rates and sick leave among office workers, Proceeding of Indoor Air, pp778-783.

66. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1997. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Department of Health and Human Services, USA.
67. Norback, D., Bjornsson, E., Janson, C., Widstrom, J., Boman, G., 1995. Subjective indoor air quality in schools-the influence of high room temperature, carpeting, fleecy wal materials and volatile organic compounds, Indoor Air, pp237-246.
68. Ohura et al, Organic air pollutants inside and outside residences in Shimizu, Japan: Levels, sources and risks, Science of the Total Environment 366, pp485-499.
69. Oldaker G.B. et al, 1990, Results of surveys of environmental tobacco smoke in offices and restaurants. In Kasuga, H, ed Indoor Air Quality, International Archives of Occupational and Environmental, Health Supplement. Tokyo: Springer- Verlag, pp99-104.
70. Park E.K. Lee 2003, Particulate exposure and size distribution from wood burning stoves in Costa Rica, Indoor Air 13, pp253-259.
71. Penman JM ,1980, Experiment determination of ventilation rate in Occupied Rooms using Atmospheric Carbon Dioxide concentration. Building and Environment 15, pp45-47.
72. Rajsic, Tasic, Novakovic, Tomasevic, 2004, First assessment of the PM10 and PM2,5 particulate level in the ambeient air of Belgrade city. Environmental Science and Pollution Research International 11, pp158-164.
73. Rehwagen M., 2003, Seasonal cycle of VOCs in apartments. Indoor Air, pp283-291.
74. Samara C, et al, 2003, Chemical mass balance source apportionment of PM10 in an industrialized urban area of Northern Greece. Atmospheric Environment 37, pp41-54.
75. Santamouris M. and Pavlou, 2002 , IAQ Measurements of an office building in the Tower of Athens , Univercity of Athens, Group Building Environmental Studies, Physics Department, Athens
76. Santamouris M. , Doukas , Pavlou, Zannis, 2004, Final report of the energy and IAQ measurements in the Selete buiding, Athens. Univercity of Athens group Building Environmental Studies, Physics Department.

77. Santamouris et al, 2007, Indoor Air Quality in 50 residences in Athens
78. Santamouris and Doukas, 2005 , Measurements of the IAQ in a school in Agia Paraskeui
79. Santamouris and Doukas, 2005 , Measurements of the energy and IAQ in a multistory office building Environmental,
80. Santamouris et al, 2007 , Measurements of the Energy and IAQ in the health care center building
81. Saraga ,Th.Maggos et al.,2006,"Contribution from smoking to PM2.5,PM1 particles and VOC's concentrations in residential houses in Athens,Greece"Air Pollution 2006,14<sup>th</sup> International Conference , The New Forest, UK, 22-24 May.
82. Scheff P. and C.Valiozis 1990,"Characterisation and Source Identification of Respirable Particulate Matter in Athens" Atmospheric Environment Vol 24A, No. 1 pp203-211.
83. Sega,Mirka Fugas et al.,1986,Indoor-Outdoor Relationships for Respirable Particles ,Total Suspended Particulate matter and Smoke concentrations in modern Office Buildings ,Environment International, Vol.12, pp71-74.
84. Seifert B,Wolfgang Mailahn et al. 1989"Seasonal Variation of concentrations of Volatile Organic Compounds in Selected German Homes. Environment International, Vol.12, pp397-408.
85. Seppdnen,O.A., Fisk et al. ,1999,"Association of ventilation rates and CO<sub>2</sub> concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings",Indoor Air 9, pp226-252.
86. Sexton K,J.Adgate et al. ,2004,"Comparison of Personal ,Indoor ,and Outdoor Exposures to Hazardous Air Pollutants in Three Urban Communities ,Environ Sci Technol 38, pp423-430.
87. SfakianakiA.,Vassilakopoulou, et al.,2007,"Energy and Environmental Rehabilitation of a Listed Neoclassical Building in Athens.
88. Sililanpaa,Risto Hillamo et al.,2006,"Chemical Composition and mass Closure of Particulate Matter at Six Urban Sites in Europe

89. Skov,P.Valbjornet al. ,1990,"Influence of indoor climate of the sick building syndrome in an office environment . Scand.J. Work. Environ Health 16, pp363-371.
90. Son B,Breysse P et al.,2003,Volatile organic compounds concentrations in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea. Environ Int 29, pp79-85.
91. Song , Minsi Zhang , Xuhui , 2006, Cai: PM10 modeling of Beijing in the winter Atmospheric Environment 40, pp4126-4136.
92. State of California ,2000,"Health Effects of Exposures to Environmental tobacco Smoke.
93. Stazer, A.K. (1994). .Sick Building Syndrome., Building Standards, pp14-15.
94. Sinclair J.D., L.A. Postakelty, C.J. Weschler and H.C. Shields (1990) "Deposition of airborne sulfate, nitrate, and chloride salts as it relates to corrosion of electronics",
95. Thomaidis ,Evangelos B.Bakeas et al ,2003,Characterization of lead, cadmium, arsenic, and nickel in PM<sub>2.5</sub> particles in the Athens atmosphere, Chremospere 52, pp959-966.
96. Turner S,Louis Cyr et al.,1992,The Measurement of Environmental Tobacco Smoke in 585 Office Environments International, Vol 18, pp19-28.
97. USEPA,(1992):Respiratory health Effects of Passive Smoking : Lung Cancer and Other Disorders . EPA/600/6-90/00F Washigton DC. EPA/600/6-90/00F,Washigton DC.
98. Valavanidis A,konstantinos Fiotakis et al .., 2006,"Characterization of atmospheric particulates ,particle-bound transition metals and polycyclic aromatic hydrocarbons of urban air in the centre of Athens (greece ) Chemosphere 65, pp760-768.
99. Valavanidis A ,Margarita Vatista ,2006,"Indoor Air Quality Measurements in the chemistry Department building of the University of Athens. Indoor Built Environ 15, pp595-605.
100. Vallius ,M.,Janssen et al., 2005,"Sources and elemental composition of ambient PM(2.5) in three European cities. Science of the total Environment 33, pp147-162.

101. Vassilakos ,D.saraga et al., 2005,"Temporal variations of PM2.5 in the ambient air of a suburban site in Athens. Science of the total Environment 39, pp223-231.
102. Voutsas, D., Samara et al. ,2002,"Elemental composition of airborne particulate matter in the multiimpacted urban area of Thessaloniki. Atmospheric Environment 36, pp4453-4462
103. Wargocki ,P., Wyon et al. ,2003,"Call-centre operator Performance with New and used Filters at Two Outdoor Air Supply Rates .In.Tham,Sekhar ",& Cheong., ed. Proceedings of Healthy Buildings Conference Singapore " Vol.3, pp 213-218.
104. Wiglusz,R., Sitko et al., 2002,"The effect of temperature on the emission of formaldehyde and VOCs from laminate flooring -case study ", Building and Environment, Vol. 37, pp41-44.
105. Willers S., M.mB., Brunekreef et al,2006, "Gas Cooking ,kitchen ventilation and exposure to combustion products, Indoor Air 16, pp65-73.
106. Whitley, T., Makin, P.J. and Dickson, D.J. (1994). "Productivity Environments: A literature survey", Proc. Engineering Indoor Environments pp. 59-66.
107. Wu, P., Li, Y., Lee, C., Chiang, C., Su, J., 2003. Risk assessment of formaldehyde in typical office buildings in Taiwan. Indoor Air 10: ππ178-192
108. Wolf , 1971 , Applied Solid state science
109. Wong KW, Mui-, P.S. Hui,2006 , Statistical model for characterizing common air pollutants in air-conditioned offices, Atmospheric Environment 40, pp4246-4257.
110. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τεχνική οδηγία 2423/86
111. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τεχνική οδηγία 2425/86
112. Thatcher, T.L., Layton, D.W., (1995). "Deposition, re-suspension and penetration of particles within a residence"
113. Zabiegala B., Przyjazny and Namienik, 1999, Passive dosimetry as an alternative technique to dynamic enrichment of organic pollutants of indoor air, Journal of environmental Pathology Toxicology and Oncology, Vol 18, pp47-59.

114. Zhu, Ronnewhook, Leonoramarro and Chan, Selected Volatile Organic Compounds in residential air in the City of Ottawa, Canada, Environ, Sci technol 39, pp3964-3971.