



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, Α΄ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΤΟΜΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ  
ΜΕ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»**

**MSc: “Environment and Health. Capacity building for decision making”**

**Επιστημονική Υπεύθυνη και Διευθύντρια ΠΜΣ**

**Πολυξένη Νικολοπούλου-Σταμάτη, Αν. Καθ. Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ**

**“Επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων. Ο ρόλος της παραμονής  
των ανθρώπων και οι διατάξεις θέρμανσης”**

**“Degradation of indoor air quality. Presence of people and heating systems”**

Όνομα : Αγγελική Θεοδωράτου

Αρ. μητρώου : 20110716

Επάγγελμα : Πολιτικός Έργων Υποδομής

Επιβλέπων καθηγητής ΜΔΕ : Ιωάννης Τσάκνης, Καθηγητής ΤΕΙ - Αθηνών

**ΑΘΗΝΑ 2014**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, Α΄ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΤΟΜΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ  
ΜΕ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»**

**MSc: “Environment and Health. Capacity building for decision making”**

**Επιστημονική Υπεύθυνη και Διευθύντρια ΠΜΣ  
Πολυξένη Νικολοπούλου-Σταμάτη, Αν. Καθ. Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ**

**“Επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων. Ο ρόλος της παραμονής  
των ανθρώπων και οι διατάξεις θέρμανσης”**

**“Degradation of indoor air quality. Presence of people and heating systems”**

Όνομα : Αγγελική Θεοδωράτου

Αρ. μητρώου : 20110716

Επάγγελμα : Πολιτικός Έργων Υποδομής

Επιβλέπων καθηγητής ΜΔΕ : Ιωάννης Τσάκνης, Καθηγητής ΤΕΙ - Αθηνών

Πρόεδρος : Πολυξένη Νικολοπούλου – Σταμάτη, Αν. Καθηγήτρια Ε.Κ.Π.Α.

Μέλος : Ευαγγελία Πρωτόπαπα, Καθηγήτρια ΤΕΙ - Αθηνών

**ΑΘΗΝΑ 2014**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>6</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>7</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>10</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b>	
<b>ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ</b> .....	<b>11</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ .....	12
1.3 ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ .....	12
1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ .....	14
1.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ .....	14
1.4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ .....	15
1.4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΧΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΝΙΔΑ .....	15
1.4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ .....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b>	
<b>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ</b> .....	<b>17</b>
2.1 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ .....	17
2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ .....	18
2.3 ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ .....	18
2.3.1 ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ .....	19
2.3.2 ΟΖΟΝ .....	19
2.3.3 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ .....	19
2.3.4 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ .....	20
2.3.5 ΚΑΠΝΟΣ ΤΟΥ ΤΣΙΓΑΡΟΥ .....	20
2.3.6 ΑΜΙΑΝΤΟΣ .....	20
2.3.7 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ .....	20
2.3.8 ΡΑΔΟΝΙΟ .....	21
2.3.9 ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ .....	21
2.4 ΣΥΝΔΡΟΜΟ ΑΡΡΩΣΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ .....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b>	
<b>ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ</b> .....	<b>23</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	23
3.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	23
3.2.1.ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	23
3.2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ .....	25

3.2.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	25
3.3 ΣΧΗΜΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	26
3.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	27

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

<b>ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ .....</b>	<b>29</b>
--	-----------

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	29
4.2 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ .....	30
4.3 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	30
4.3.1 ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	31
4.3.2 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....	31
4.3.3 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ .....	31
4.4 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ .....	32
4.4.1 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ .....	32
4.4.1.1 ΕΥΠΑΘΕΙΣ ΟΜΑΔΕΣ .....	33
4.4.2 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	34
4.4.2.1 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ .....	34
4.4.2.2 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ .....	34
4.4.2.3 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	35
4.4.2.4 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ .....	35

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

<b>ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ .....</b>	<b>36</b>
---	-----------

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	36
5.2 ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΑΝΘΡΩΠΩΝ .....	36
5.3 ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ .....	37
5.4 ΚΑΠΝΙΣΜΑ .....	39
5.5 ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ .....	40

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

<b>ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ .....</b>	<b>42</b>
--	-----------

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	42
6.2 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ .....	42
6.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΛΟΡΙΦΕΡ .....	43
6.4 ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ .....	43
6.5 ΚΑΥΣΗ ΞΥΛΩΝ .....	44
6.6 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ .....	45

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

<b>ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .....</b>	<b>46</b>
---	-----------

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	46
7.2 ΙΟΝΙΣΤΕΣ .....	46

7.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	46
7.4 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ .....	47
7.5 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ .....	47
7.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	48
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup></b>	
<b>ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ .....</b>	<b>50</b>
8.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	50
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup></b>	
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....</b>	<b>54</b>
9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	54
9.2 ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ .....	54
9.2.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	55
9.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	55
9.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	56
9.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	56
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup></b>	
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>59</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>61</b>

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 2.1 : Ταξινόμηση παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα εσωτερικού αέρα (Νικολάου, 2011)

Πίνακας 4.1 : Ικανότητα αναπνευστικής διείσδυσης σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων (Ρεμουντάκη, 2012)

Πίνακας 8.1: Οριακές τιμές για τα σωματίδια  $PM_{10}$

Πίνακας 8.2: Οριακές τιμές για τα σωματίδια  $PM_{2,5}$

Πίνακας 9.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου Digital Dust Indicator

Πίνακας 9.2 : Μετρήσεις συγκεντρώσεων

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε αυτές τις πρώτες σελίδες της διπλωματικής διατριβής θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Τσάκη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, προσφέροντάς μου τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Δε θα παραλείψω να ευχαριστήσω την επιστημονική υπεύθυνη του προγράμματος την κα. Πολυξένη Νικολοπούλου – Σταμάτη Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Παθολογικής Ανατομικής, που μέσα από τη διδασκαλία, τα παραδείγματα και την μεγάλη αγάπη της για αυτό που επιτελεί, προσφέρει τις βάσεις, κινεί το ενδιαφέρον και ωθεί τους φοιτητές να εμβαθύνουν σε σημαντικά θέματα σχετικά με την υγεία και την προστασία του περιβάλλοντος. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κα. Ευαγγελία Πρωτόπαπα.

Δεν θα παραλείψω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Εφαρμογών του ΤΕΙ Αθηνών κ. Δημήτριο Μπέντο για την προθυμία και το ενδιαφέρον που έδειξε, προκειμένου να ολοκληρωθεί το παρόν κείμενο και να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις.

Ένα ξεχωριστό ευχαριστώ οφείλω στους ενοίκους των κατοικιών που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του πειραματικού μέρους, χωρίς την υπομονή και τη συνεργασία τους δε θα ήταν δυνατή η υλοποίηση των μετρήσεων. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράστασή και στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα.

Αθήνα 2014

Αγγελίνα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σημερινός τρόπος ζωής υποβαθμίζει συνεχώς την ποιότητα του αέρα παρόλο που είναι όρος για την ανάπτυξη, την ευημερία, την υγιεινή διαβίωση, την απόλαυση, την ίδια την ύπαρξη της ζωής. Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα αφορά τόσο την εξωτερική ατμόσφαιρα όσο και την ατμόσφαιρα εσωτερικών χώρων. Ο άνθρωπος ξοδεύει μεγάλο μέρος της ζωής του σε εσωτερικούς χώρους, καθώς ζει και εργάζεται μέσα σε αυτούς. Οι συνθήκες που επικρατούν τους χώρους αυτούς επηρεάζουν την ανθρώπινη ευεξία και συνιστούν κίνδυνο για την υγεία του. Ένας σημαντικός ρύπος εσωτερικών χώρων είναι τα αιωρούμενα σωματίδια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η συνεισφορά της παραμονής των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους και του τρόπου θέρμανσης των χώρων αυτών στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι η βιβλιογραφική έρευνα, όπου επιβεβαιώνεται η επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων λόγω της παραμονής των ανθρώπων και των δραστηριοτήτων τους. Στο δεύτερο μέρος, παρουσιάζονται μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων που πραγματοποιήθηκαν σε κατοικίες στο Γέρακα Αττικής και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Στο τέλος, περιγράφονται προτάσεις και μέτρα για τον περιορισμό της ρύπανσης εσωτερικών χώρων.



## **ABSTRACT**

The current way of life constantly degrades air quality, although that is a precondition for the development, prosperity, healthy living, enjoyment, the very existence of life itself. Degradation of air quality concerns both the outer atmosphere and the atmosphere interiors. Man spends much of his life indoors, where he lives and works. The conditions of these areas affect human well-being and pose a threat to his health. A major factor of indoor pollutant is particulate matter.

In this thesis, we study the contribution of people, who stay indoors and how interior heating influence the concentrations of suspended particles. The thesis consists of two parts. The first part is the literature study, confirming the change of the quality of indoor air due to the stay of people and their activities. In the second part, are presented the measurements of concentrations of particulate matter carried out in homes in Gerakas and the results obtained. In the end, protection and measures are described to reduce indoor pollution

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αέρας αποτελεί το φυσικό περιβάλλον μέσα στο οποίο ζει ο άνθρωπος και κάθε ζωντανός οργανισμός. Η σπουδαιότητά του για τη ζωή του ανθρώπου φαίνεται από το γεγονός ότι ο άνθρωπος δεν μπορεί να ζήσει χωρίς αέρα περισσότερο από 3-5 λεπτά. Παρόλη, όμως, τη σημασία του αέρα για τη ζωή, ο άνθρωπος συνεχώς τον ρυπαίνει. Η ατμόσφαιρα του πλανήτη δέχεται συνεχώς μολυσματικούς παράγοντες με ρυθμό σε τέτοιες συγκεντρώσεις που επηρεάζουν δυσμενώς τη διαβίωση του ανθρώπου και των ζώων. Η επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα δεν αφορά μονάχα τον αέρα της εξωτερικής ατμόσφαιρας, αλλά και την εσωτερική ατμόσφαιρα που επικρατεί στους εσωτερικούς χώρους.

Τις τελευταίες δεκαετίες πραγματοποιούνται έρευνες για τη ρύπανση των εσωτερικών χώρων, καθώς οι άνθρωποι πλέον ξοδεύουν περίπου το 80%-90% του χρόνου σε εσωτερικούς χώρους. Πηγές της ρύπανσης εσωτερικών χώρων είναι η ίδια η εξωτερική ατμόσφαιρα, αλλά και ο άνθρωπος και οι διαδικασίες που διαμορφώνουν συνθήκες, ώστε η παραμονή του στο εσωτερικό περιβάλλον να είναι πιο ευχάριστη. Από τους ρύπους εσωτερικών χώρων ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς έχει αποδειχθεί πως σχετίζονται με πολλές ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος.

Βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιαστεί η επίδραση της παραμονής των ανθρώπων και του τρόπου θέρμανσης στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται αναφορά γενικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση, στη ρύπανση των εσωτερικών χώρων και τους κυριότερους ρυπαντές. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η συνεισφορά των αιωρούμενων σωματιδίων στη ρύπανση των εσωτερικών σε συνδυασμό με την παραμονή των ανθρώπων και τον τρόπο θέρμανσης των χώρων αυτών. Ακολουθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και προτάσεις για την πρόληψη και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει οριστεί με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (W.H.O.), ορίζεται ως η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα ουσιών (ρύπων) για αρκετό χρονικό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση, ώστε είναι δυνατόν να είναι βλαβερές για τους ζωντανούς οργανισμούς (ανθρώπους, ζώα, φυτά) και τις υλικές κατασκευές, ή ακόμη να επηρεάζουν δυσμενώς τις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπου ([www.who.int](http://www.who.int)). Οι ουσίες αυτές είναι συνήθως χημικές ενώσεις, φυσικές ή ανθρωπογενείς ή χημικά στοιχεία, τα οποία υπάρχουν στην ατμόσφαιρα σε αέρια, υγρή ή στερεά μορφή (Καραθανάσης, 2006).

Η Βιομηχανική Επανάσταση αποτέλεσε ορόσημο για τη μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ειδικότερα τον 19<sup>ο</sup> αιώνα που οι ατμομηχανές αντικαταστάθηκαν από καυστήρες, το κάρβουνο έγινε το βασικό καύσιμο, η ανάγκη για λήψη μέτρων για την προστασία της ατμόσφαιρας έγινε πιο έντονη. Σ' αυτό, ιδιαίτερα συνέβαλαν ο καπνός και η ιπτάμενη τέφρα προϊόντα, που προκύπτουν από την καύση του κάρβουνου. Κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, που άρχισε να χρησιμοποιείται πλέον το πετρέλαιο, η ρύπανση της ατμόσφαιρας αποτελεί γεγονός, το οποίο δε γίνεται να παραβλεφθεί τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο (Γεντεκάκης, 1999).

Αρχικά, κυριάρχησε η άποψη πως η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει γίνει αισθητή μονάχα στα αστικά και στα βιομηχανικά κέντρα, όπου οι συγκεντρώσεις των ρύπων είναι σημαντικά αυξημένες. Ωστόσο, στη συνέχεια ανακαλύφθηκε πως οι συγκεντρώσεις ρύπων μπορεί να είναι εξίσου αυξημένες και σε περιοχές της υπαίθρου. Έτσι η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα φαινόμενο με παγκόσμια κλίμακα και επηρεάζει τη ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων, καθώς ευθύνεται για μεγάλο ποσοστό ασθενειών (Καραθανάσης, 2006, [www.who.int](http://www.who.int)).

## 1.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα οφείλεται τόσο στην εκπομπή τους από φυσικές πηγές (ηφαίστεια, πυρκαγιές, βιολογικές διεργασίες, γύρη) όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανικές, εμπορικές και αγροτικές δραστηριότητες, μεταφορές, θέρμανση, καύσεις). Στην περίπτωση που οι ρύποι εκπέμπονται απευθείας από την πηγή στην ατμόσφαιρα ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{COS}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , υδρογονάνθρακες). Ωστόσο, υπάρχουν και ρύποι, οι οποίοι σχηματίζονται από φωτοχημικές αντιδράσεις μεταξύ των πρωτογενών ρύπων και πτητικών οργανικών ενώσεων και άλλων αερίων ή σωματιδίων που υπάρχουν ήδη στην ατμόσφαιρα. Οι ρύποι αυτοί ονομάζονται δευτερογενείς ( $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ) και ο σχηματισμός τους είναι δυνατόν να συντελείται τόσο σε τόπο όσο και σε χρόνο διαφορετικό από την αρχική εκπομπή των πρωτογενών ρύπων (Καραθανάσης, 2006).

## 1.3 ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Φυσικές διεργασίες ή ανθρώπινες δραστηριότητες από τις οποίες εκλύονται ρύποι στην ατμόσφαιρα ορίζονται ως πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι εκείνες που συμβάλουν σε σημαντικό βαθμό στην υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ([www.gr.european-lung-foundation.org](http://www.gr.european-lung-foundation.org)).

Φυσικές πηγές ρύπανσης είναι :

- οι πυρκαγιές δασών,
- οι ηφαιστειακές εκρήξεις,
- η αποσάθρωση του εδάφους,
- οι ωκεανοί και οι θάλασσες,
- η γύρη και
- η αποσύνθεση.

Πηγές ρύπανσης που συνδέονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι :

- η παραγωγή ενέργειας από στερεά και υγρά καύσιμα,
- η βιομηχανική δραστηριότητα,
- η αγροτική δραστηριότητα,
- οι μεταφορές,
- η θέρμανση των κτιρίων και
- οι καθημερινές δραστηριότητες της ζωής μας (Γεντεκάκης, 1999).

Διάκριση των πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται ακόμη ανάλογα και με τη 'σταθερότητά' τους, οπότε διακρίνονται σε κινητές (μεταφορικά μέσα) και σε σταθερές πηγές (βιομηχανίες, εστίες θέρμανσης). Ακόμη, διακρίνονται σύμφωνα με τη γεωμετρική τους μορφή σε σημειακές, όπου βρίσκονται σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση (βιομηχανίες), γραμμικές (οδικές αρτηρίες) και εμβαδικές πηγές, όπου το σύνολο των πηγών βρίσκονται διεσπαρμένες σε μια ευρεία περιοχή (ανθρώπινες δραστηριότητες, εστίες θέρμανσης) ([www.ecodonet.gr](http://www.ecodonet.gr)).

Υπάρχει και μια 'ιδιαίτερη' κατηγορία ρύπων ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συμβάλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων, δηλαδή των τεχνητών κλειστών χώρων (κατοικίες, εργασιακοί χώροι, δημόσια κτίρια, χώροι διασκέδασης, μεταφορικά μέσα). Οι βασικότεροι ρυπαντές αυτής της κατηγορίας είναι :

- η ρυπασμένη εξωτερική ατμόσφαιρα,
- οι διεργασίες καύσης,
- τα υλικά κατασκευής και επίπλωσης,
- το κάπνισμα,
- τα υλικά καθαρισμού και
- τα συστήματα θέρμανσης – κλιματισμού (Διαπούλη, 2013, Σφακιανάκης, 2003).

Η συγκεκριμένη κατηγορία ρυπαντών κατατάσσονται ανάλογα με την επικινδυνότητά τους, της θέσης τους στο εσωτερικό περιβάλλον και το ύψος των συγκεντρώσεών τους (Σφακιανάκης, 2003).

#### **1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

Το εύρος των επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι απροσδιόριστο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση επιδρά αρνητικά στην υγεία των ανθρώπων, τη χλωρίδα και την πανίδα, καταστρέφει υλικά, επιδρά στο κλίμα και στο έδαφος και μειώνει σε σημαντικό βαθμό την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν με απόλυτη ακρίβεια, καθώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Επίσης, μπορεί να προκαλέσουν κοινωνικές και πολιτικές μεταβολές και αλλαγές στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου (Γεντεκάκης, 1999, Καραθανάσης, 2006).

##### **1.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει ένα ευρύ φάσμα συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία. Οι συνέπειες αυτές εκδηλώνονται είτε σαν απλές ενοχλήσεις είτε σαν χρόνιες αρρώστιες (Γεντεκάκης, 1999, Καραθανάσης, 2006). Ωστόσο, σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες το αναπνευστικό σύστημα είναι αυτό που επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς είναι το σημείο εισόδου στο ανθρώπινο σώμα ([www.gr.european-lung-foundation.org](http://www.gr.european-lung-foundation.org)).

Απλές ενοχλήσεις προκύπτουν συνήθως από έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων και για μικρό χρονικό διάστημα και προκαλούν ερεθισμό των οφθαλμών, ζάλη, εμετούς και προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα. (Γεντεκάκης, 1999, Καραθανάσης, 2006).

Οι χρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οδηγούν σε λοιμώξεις του αναπνευστικού, καρδιακές παθήσεις και τον καρκίνο του πνεύμονα ([www.who.int](http://www.who.int)).

Είναι αναμενόμενο οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης να ποικίλλουν από άνθρωπο σε άνθρωπο. Περισσότερο ευάλωτα είναι τα ήδη άρρωστα άτομα και συγκεκριμένες κοινωνικές ομάδες, όπως παιδιά, ηλικιωμένοι και έγκυοι (Καραθανάσης, 2006, [www.pneumonologist.gr](http://www.pneumonologist.gr))

#### **1.4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ**

Οι επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κλίμα εντοπίζονται τόσο σε τοπική όσο και σε ευρεία κλίμακα. Έντονες βροχοπτώσεις, εκτεταμένες ξηρασίες, περιορισμός της ηλιοφάνειας, λιώσιμο των πάγων, αύξηση της στάθμης της θάλασσας, ερημοποίηση των εδαφών είναι μερικά από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κλίμα. Η κυριότερη επίδραση στο κλίμα είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπου μεταβάλλει την ένταση και τη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων (Ρεμουντάκη, 2010).

#### **1.4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΧΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΝΙΔΑ**

Ανάλογες με τις επιδράσεις που έχει η ατμοσφαιρική ρύπανση στον άνθρωπο, παρόμοιες συναντάμε στα ζώα και στα φυτά. Ειδικότερα στα ζώα η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει παρόμοια αρνητικά αποτελέσματα με εκείνα του ανθρώπου λόγω της ομοιότητας των οργανισμών. Τα ζώα επηρεάζονται σημαντικά από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους είτε μέσω της τροφής που λαμβάνουν είτε και μέσω του νερού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα ζώα είναι η εξαφάνιση ορισμένων ειδών και η μείωση του πληθυσμού τους (Γεντεκάκης, 1999, Καραθανάσης, 2006).

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι επιδρούν στα φυτά με άμεσο και με έμμεσο τρόπο. Η άμεση επίδραση των ρύπων επηρεάζει τη φωτοσύνθεση, τη διαπνοή και την αναπνοή, ενώ έμμεσα επηρεάζεται το ριζικό σύστημα των φυτών μέσω της εναπόθεσης ρύπων στο έδαφος. Ανεξάρτητα από τον τρόπο επιρροής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πανίδα και στη χλωρίδα, οι κλιματικές αλλαγές επιδρούν στο ζωικό και στο φυτικό βασίλειο (Γεντεκάκης, 1999, Καραθανάσης, 2006).

#### **1.4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ**

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές επιδρούν σε κτίρια, κατασκευές και μνημεία. Η δράση των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι κυρίως διαβρωτική και οξειδωτική. Μεταλλικές και σιδερένιες επιφάνειες οξειδώνονται σχετικά γρήγορα, ενώ επιφάνειες από αλουμίνιο επηρεάζονται λιγότερο από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ιδιαίτερα, οι μαρμάρινες επιφάνειες διαβρώνονται από την οξειδωμένη μορφή των

θεικών ιόντων με αποτέλεσμα την καταστροφή των λεπτομερειών στα γλυπτά και στα μνημεία. Τέλος, αντικείμενα από καουτσούκ και ελαστικά χάνουν την ελαστικότητά τους και προκαλείται ταχύτερη γήρανσή τους από την έκθεσή τους στο ατμοσφαιρικό όζον (Ρεμουντάκη, 2010).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

#### 2.1 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Η εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα αέρα (Indoor air quality) περιγράφει την ποιότητα αέρα μέσα και γύρω από τα κτίρια και τις κατασκευές, η οποία επηρεάζει την ανθρώπινη ευεξία, την παραμονή των ανθρώπων σε αυτά και συνιστά κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου ([www.technicalreview.gr](http://www.technicalreview.gr) ,[www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)).

Η ανάγκη για σωστή ποιότητα εσωτερικού αέρα για την ανθρώπινη υγεία άρχισε να δημιουργείται περίπου πριν 150 χρόνια. Οι πρώτες εκτιμήσεις για τις ανόργανες και τις οργανικές ενώσεις, οι οποίες επηρεάζουν την ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του 1970, ενώ την επόμενη δεκαετία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πιο συστηματικές και θεσμοθετήθηκαν όρια σύμφωνα με τοξικά, επιδημιολογικά και στατιστικά όρια (Salthammer, 2011). Εκτός από τα προβλήματα υγείας που προκλήθηκαν τα τελευταία χρόνια λόγω της ρύπανσης εσωτερικών χώρων, παρατηρήθηκε ότι προκαλείται το σύνδρομο των άρρωστων κτιρίων. Το σύνδρομο των σύγχρονων κτιρίων αναγνωρίστηκε επίσημα το 1982 από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ([www.who.int](http://www.who.int))

Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τις αναπτυσσόμενες και τις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες (Νικολάου, 2011). Οι περισσότερες μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, σχετικά με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας εσωτερικών χώρων, αφορούν κυρίως τις σύγχρονες ανεπτυγμένες χώρες, ενώ οι συνθήκες που επικρατούν στις τρίτες χώρες δεν είναι εύκολο να αξιολογηθούν (Salthammer, 2011). Σύμφωνα με τις έρευνες, οι άνθρωποι ξοδεύουν κατά μέσο όρο το 90% του χρόνου τους (15-16 ώρες ημερησίως) σε εσωτερικό περιβάλλον ανεξάρτητα από τις δραστηριότητες, την ηλικία και το φύλο (Salthammer, 2011; Νικολάου, 2011).

## 2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων διαμορφώνεται από ένα πλήθος παραγόντων, οι οποίοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι κλιματολογικές συνθήκες, ο τρόπος διαβίωσης, τα υλικά κατασκευής του κτιρίου, οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο κτίριο, η παραμονή ανθρώπων μέσα σε αυτό είναι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους. Οι παράγοντες είναι δυνατόν να ταξινομηθούν σε φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς (Λαζαρίδης, 2008; Νικολάου, 2011).

Πίνακας 2.1 : Ταξινόμηση παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα εσωτερικού αέρα  
(Πηγή : Νικολάου, 2011)

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ	
ΦΥΣΙΚΟΙ	Θερμοκρασία (20-26° C)
	Σχετική υγρασία (20-70%)
	Αερισμός (περίπου 8l/s κατά άτομο, απουσία καπνιστών)
	Φωτισμός
	Θόρυβος (<70-80dB) και δονήσεις
	Σκόνη
ΧΗΜΙΚΟΙ	Αιωρούμενα σωματίδια
	Βαρέα μέταλλα, τοξικά στοιχεία
	Ιόντα
	Πτητικές οργανικές ενώσεις
	Ανόργανες αέριες ενώσεις
ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ	Μικροοργανισμοί (ιοί, βακτήρια, μύκητες)
	Αλλεργιογόνα (γύρη, έντομα, ζώα)

## 2.3 ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Στο εσωτερικό των κτιρίων παρατηρούνται συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων, οι οποίοι προκύπτουν τόσο από εσωτερικές πηγές, όσο και από εξωτερικές πηγές. Μετρήσεις και μελέτες άρχισαν να πραγματοποιούνται μετά από συμπτώματα που παρουσίασαν οι ένοικοι – χρήστες εσωτερικών χώρων.

Οι σημαντικότεροι εσωτερικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι οι ακόλουθοι:

### **2.3.1 ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ**

Το μονοξείδιο του άνθρακα προκύπτει από κάθε είδους ατελούς καύσης που πραγματοποιείται και η βασικότερη πηγή δηλητηρίασης (Bernstein *et al.*, 2008). Πηγές εκπομπής του μονοξειδίου είναι οι συσκευές θέρμανσης (σόμπες κηροζίνης και ξύλου, τζάκια), θερμοσίφωνες αερίου, μηχανές εσωτερικής καύσης, φούρνοι και καπνοδόχοι και ο καπνός του τσιγάρου (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003). Οι εξατμίσεις των αυτοκινήτων σε κλειστούς χώρους στάθμευσης είναι επίσης πηγές εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα (Λαζαρίδης, 2008). Τέλος, μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να σχηματιστεί από το μεταβολισμό του διχλωρομεθανίου που βρίσκεται στα απορρυπαντικά (Σφακιανάκης, 2003).

### **2.3.2 ΟΖΟΝ**

Παρότι η ύπαρξη του όζοντος στη στρατόσφαιρα είναι ευεργετική, οι υψηλές συγκεντρώσεις είναι επιβαρυντικές για την υγεία (Λαζαρίδης, 2008). Η κυριότερη πηγή προσέλευσής του είναι το εξωτερικό περιβάλλον. Συσκευές, όπως φίλτρα αέρα και ιονιστές, έχει παρατηρηθεί πως αυξάνουν τις τιμές συγκεντρώσεως του όζοντος, παρότι προορίζονται για βελτίωση των αναπνευστικών προβλημάτων (Bernstein *et al.*, 2008). Πηγές εκπομπής του όζοντος είναι τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα και οι εκτυπωτές laser στους εργασιακούς χώρους (Λαζαρίδης, 2008).

### **2.3.3 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ**

Οξείδια του αζώτου προκύπτουν από καύσεις. Βασικές πηγές εκπομπής τους είναι οι συσκευές θέρμανσης, ο καπνός του τσιγάρου και οι συσκευές μαγειρέματος που λειτουργούν με γκάζι (Bernstein *et al.*, 2008; Λαζαρίδης, 2008). Όταν δεν πραγματοποιούνται καύσεις στους εσωτερικούς χώρους, η συγκέντρωση των οξειδίων είναι μισές σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών οξειδίων (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003).

#### **2.3.4 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ**

Οι κυριότερες πηγές διοξειδίου του θείου είναι οι καύσεις καυσίμων και ο καπνός του τσιγάρου. Πιο συγκεκριμένα έχει αποδειχθεί πως οι σόμπες κηροζίνης αποτελούν τη βασική πηγή εκπομπής διοξειδίου του θείου στο εσωτερικό των κτιρίων (Bernstein *et al.*, 2008). Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και ως συντηρητικό των τροφίμων, με αποτέλεσμα να εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφικής αλυσίδας ([www.food – info.gr](http://www.food-info.gr)).

#### **2.3.5 ΚΑΠΝΟΣ ΤΟΥ ΤΣΙΓΑΡΟΥ**

Ο καπνός του τσιγάρου είναι ο πιο διαδεδομένος ρύπος εσωτερικού χώρου. Αποτελείται από ένα μίγμα αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων, με βασικό συστατικό τη νικοτίνη που προκαλεί εθισμό και ανήκει στην κατηγορία των ιδιαίτερα τοξικών ουσιών. Τα αιωρούμενα σωματίδια που προκύπτουν από το τσιγάρο συσσωματώνονται με τα προϋπάρχοντα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Άλλες επικίνδυνες ενώσεις που περιέχονται στον καπνό του τσιγάρου είναι η ακρολένη, το υδροχλώριο και η φορμαλδεΰδη (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003). Τόσο οι καπνιστές όσο και οι παθητικοί καπνιστές επηρεάζονται στον ίδιο βαθμό από τον καπνό του τσιγάρου (U.S.E.P.A., 1999).

#### **2.3.6 ΑΜΙΑΝΤΟΣ**

Ο αμίαντος είναι ένας από τους μεγαλύτερους ρυπαντές του εσωτερικού περιβάλλοντος, καθώς παλιότερα χρησιμοποιούταν ευρύτατα ως δομικό υλικό. Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί ως υλικό δαπέδου, τοιχοποιίας, οροφής και μόνωσης, υλικό κατασκευής εξοπλισμού και διακόσμησης τζακιού, πυροπροστασία και για σωλήνες ύδρευσης και αποχέτευσης. Τα τελευταία χρόνια γίνεται συστηματική προσπάθεια για την ασφαλή απομάκρυνσή του, η οποία προϋποθέτει τη μη απελευθέρωση ινών (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003).

#### **2.3.7 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ**

Τα βαρέα μέταλλα που συναντώνται συνήθως στο εσωτερικό των κτιρίων είναι ο μόλυβδος, το κάδμιο, ο υδράργυρος και το αρσενικό. Ανιχνεύονται τόσο στα λεπτόκοκκα

όσο και στα χονδρόκοκκα σωματίδια. Οι βασικότερες πηγές των μετάλλων αυτών είναι : το πόσιμο νερό, τα τρόφιμα, τα αλουμινένια σκεύη, το κάπνισμα και τα προϊόντα καθημερινής χρήσης (φάρμακα, καλλυντικά, χρώματα, λιπάσματα κ.α.). Σημαντικές είναι οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία λόγω της συσσωρευτικής τους ιδιότητας στον οργανισμό και την πρόσληψή τους μέσω της τροφικής αλυσίδας (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003).

### **2.3.8 ΡΑΔΟΝΙΟ**

Το ραδόνιο είναι φυσικό στοιχείο, ελκύεται ως αέριο από το έδαφος και διαχέεται στο εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων ή διαλύεται στο υπόγειο νερό. Υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε υπόγεια και ισόγεια, ειδικότερα παλιών κατοικιών, που μπορεί να υπάρχουν ρωγμές, καθώς τα νέα κτίρια είναι αεροστεγώς κατασκευασμένα (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003).

### **2.3.9 ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ**

Πηγές πτητικών οργανικών ενώσεων στους εσωτερικούς χώρους είναι ενεργά συστατικά προϊόντων καθημερινής χρήσης. Προϊόντα οικιακής χρήσης (μπογιές, βερνίκια, αρωματικά χώρου, συντηρητικά ξύλου, εντομοαπωθητικά, υγρά καθαριστικά χαλιών), προϊόντα προσωπικής φροντίδας (καλλυντικά, σπρέι, αποσμητικά σώματος), προϊόντα γραφείου (μελάνια εκτυπωτών, κόλλες, διορθωτικά, μελάνια) οικοδομικά υλικά και υλικά επιλώσεων (διαλυτικά, υλικά μονώσεων, συμπιεσμένα ξύλα κ.α.) και ο καπνός του τσιγάρου είναι οι συνηθέστερες πηγές (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003). Η φορμαλδεΐδη είναι η πιο αντιπροσωπευτική ένωση (Bernstein *et al.*, 2008). Σημαντική είναι, τέλος, και η συνεισφορά της εξωτερικής ατμόσφαιρας στις συγκεντρώσεις των ενώσεων αυτών, καθώς είναι δυνατόν να διεισδύσουν στους εσωτερικούς χώρους. Τέλος, η ύπαρξη εσωτερικού γκαράζ στις κατοικίες είναι σημαντική πηγή πτητικών οργανικών ενώσεων (Λαζαρίδης, 2008; Σφακιανάκης, 2003).

## **2.4 ΣΥΝΔΡΟΜΟ ΑΡΡΩΣΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ**

Το 'σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου' είναι ένας όρος που άρχισε να χρησιμοποιείται από τη δεκαετία του '70 για να περιγράψει κλειστούς χώρους, κυρίως εργασιακούς, όπου

οι ένοικοί τους βιώνουν προβλήματα υγείας συσχετιζόμενα με την ατμοσφαιρική ρύπανση χωρίς να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη πηγή ρύπανσης, τα οποία υποχωρούν μετά την αποχώρησή τους από το κτίριο (Bernstein *et al.*, 2008; U.S. E.P.A., 1999).

Τα συνηθέστερα συμπτώματα των ενοίκων είναι πονοκέφαλος, ερεθισμός των ματιών και του δέρματος, ναυτία, πεπτικά και αναπνευστικά προβλήματα, κόπωση και υπνηλία (U.S. E.P.A., 1999). Η μακροχρόνια παραμονή ενδέχεται να προκαλέσει λοιμώξεις, παθήσεις του πεπτικού συστήματος, του ύπατος, των νεφρών και του νευρικού συστήματος. Υπάρχει διαφοροποίηση στην κλινική εικόνα των ενοίκων, λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στους διάφορους χώρους του κτιρίου και ανάλογα με τη χρήση των χώρων αυτών (Νικολάου, 2011).

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί πολλοί παράγοντες μπορούν να συμβάλλουν ή να προκαλέσουν το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου. Οι αιτίες του συνδρόμου είναι το μη αποτελεσματικό σύστημα εξαερισμού, οι πηγές εσωτερικής ρύπανσης (συστήματα θέρμανσης, καπνός του τσιγάρου, έπιπλα, ταπετσαρίες, χαλιά, φωτοτυπικά μηχανήματα), η ρύπανση της ατμόσφαιρας και βιολογικοί παράγοντες (βακτήρια, ιοί, γύρη). Τέλος, οι συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, φωτισμός, ηχορύπανση) που επικρατούν στο κτίριο είναι πιθανοί παράγοντες, οι οποίοι συμβάλλουν στο σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου (Bernstein *et al.*, 2008; Νικολάου, 2011).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ**

#### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ως αιωρούμενο σωματίδιο (Suspended Particulate Matter) νοείται κάθε σώμα, στερεό ή υγρό (εκτός των σταγονιδίων του νερού), που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα, η ομίχλη, νέφη και τα βιοαεροζόλ αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Ορισμένα σωματίδια είναι ορατά με γυμνό μάτι, ενώ άλλα ανιχνεύονται μονάχα με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Ελευθεριάδης, 2012; [www.air-quality.gr](http://www.air-quality.gr)).

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν μέρος της ατμόσφαιρας και προέρχονται από φυσικές (διάβρωση του εδάφους, ηφαίστεια, ωκεανοί, φυσικές πυρκαγιές) και ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής (βιομηχανία, θέρμανση, μεταφορές, παραγωγή ενέργειας) (Ελευθεριάδης, 2012; Λαζαρίδης, 2008). Οι επιδράσεις τους τόσο στο περιβάλλον όσο και στη ανθρώπινη υγεία είναι σημαντικές και πολλές φορές δρουν αθροιστικά με άλλους ρύπους που υπάρχουν ήδη στην ατμόσφαιρα (Φιωτάκης, 2009).

#### **3.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται ανάλογα με ορισμένα χαρακτηριστικά τους σε επιμέρους κατηγορίες.

##### **3.2.1.ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα έχουν ποικίλες μορφές ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους και διακρίνονται στις παρακάτω επιμέρους κατηγορίες. Οι συνηθέστερες μορφές αιωρούμενων σωματιδίων που συναντάμε στην ατμόσφαιρα είναι : αερολύματα, σκόνη, καπνός, ιπτάμενη τέφρα, άχλη και σπρέι.

Τα αερολύματα είναι υγρά ή στερεά σωματίδια, διαμέτρου μεγέθους μικρότερου των 100 $\mu\text{m}$ . Η παρουσία των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνη για αρκετά ατμοσφαιρικά και μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως σχηματισμός κρυστάλλων.

Η σκόνη είναι συνήθως στερεά σωματίδια μεγάλου μεγέθους διαμέτρου (1,0 $\mu\text{m}$  – 10.000 $\mu\text{m}$ ) και πηγή προέλευσής τους είναι φυσικές διεργασίες κυρίως, όπως η διάβρωση του εδάφους, η θραύση και ο τεμαχισμός υλικών.

Ο καπνός αποτελείται από λεπτά στερεά σωματίδια (μεγέθους 0,5-1 $\mu\text{m}$ ) που σχηματίζονται από την ατελή καύση οργανικών ουσιών.

Η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από λεπτότατα σωματίδια τέφρας (μεγέθους 1,0-1.000 $\mu\text{m}$ ) στερεών καυσίμων και περιέχονται στα καυσαέρια οργανικών ενώσεων.

Η άχλης είναι κυρίως υγρά σταγονίδια (μεγέθους μικρότερο των 10 $\mu\text{m}$ ) και σχηματίζονται από τη συμπύκνωση αερίων, τη διασπορά υγρών ή από χημικές αντιδράσεις. Σε περίπτωση που η συγκέντρωση της άχλης είναι τέτοια, ώστε να εμποδίζεται η ορατότητα, τότε πρόκειται για σχηματισμό ομίχλης.

Τα σπρέι αποτελούνται από υγρά σωματίδια (μεγέθους 10 – 1.000 $\mu\text{m}$ ) που προέρχονται από τη διασπορά υγρών στην ατμόσφαιρα (Peavy *et al.*, 1985).

Μια βασική τους διάκριση είναι ανάλογα με την πηγή προέλευσης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω και διακρίνονται σε σωματίδια που προέρχονται από φυσικές πηγές και σε σωματίδια που προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές. Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμός τους είναι ο τρόπος σχηματισμού τους. Σε αυτήν την περίπτωση διακρίνονται σε πρωτογενή σωματίδια, όπου εκλύονται άμεσα είτε από φυσικές διεργασίες (αποσάθρωση εδάφους, ηφαίστεια) είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες (καύση, βιομηχανία, μεταφορές, ανθρώπινες κατασκευές) και σε δευτερογενή σωματίδια, τα οποία παράγονται έμμεσα στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων. Οι συνήθειες διεργασίες που συντελούνται για το σχηματισμό των δευτερογενών σωματιδίων είναι :



συσσωμάτωση, η ομογενής / ετερογενής πυρηνοποίηση και η συμπύκνωση (Ελευθεριάδης, 2012).

### **3.2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ**

Άλλος τρόπος διαχωρισμός των σωματιδίων γίνεται βάσει της δυνατότητας διεισδυτικότητας τους στον ανθρώπινο οργανισμό, κυρίως στο αναπνευστικό σύστημα και διακρίνονται σε :

- Εισπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles) : σωματίδια που εισέρχονται στον οργανισμό (ανώτερο αναπνευστικό σύστημα) μέσω της εισπνοής τους. Έχουν διάμετρο έως 10μm. Σχετίζονται με αναπνευστικές ασθένειες, όπως ρινίτιδα και καρκίνος του πνεύμονα.
- Θωρακικά σωματίδια (thoracic particles) : σωματίδια που διαπερνούν το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα και εισέρχονται στην τραχειοβρογχική περιοχή. Έχουν διάμετρο μικρότερη των 7μm. Σχετίζονται με ασθένειες, όπως άσθμα, βρογχίτιδα και καρκίνος του πνεύμονα.
- Αναπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles) : σωματίδια που εισέρχονται ως τα βάθη των πνευμόνων (βρογχίλια, κυψελιτικοί πόροι). Έχουν μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερο των 2,5μm. Λόγω της μεγάλης διεισδυτικότητάς τους στον ανθρώπινο οργανισμό έχουν και τις σημαντικότερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Σχετίζονται με ασθένειες όπως πνευμονοκονιάσεις και εμφυσήματα (Nieboer *et al.*, 2005).

### **3.2.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Το μέγεθος των σωματιδίων ποικίλει σε μεγάλο βαθμό και παίζει σημαντικό ρόλο για τη χημική τους σύσταση, την οπτική συμπεριφορά τους, το μηχανισμό εναπόθεσής τους και το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Ο γενικότερος διαχωρισμός τους είναι εκείνος ανάμεσα σε λεπτόκοκκα (fine particles) σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1 μm και χονδρόκοκκα (coarse particles) σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 μm (Ελευθεριάδης, 2012; Λαζαρίδης, 2008).

Ο συνηθέστερος διαχωρισμός τους αναφέρεται στη μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων. Σε αυτήν την περίπτωση διακρίνονται σε :

- Ολικά Αιωρούμενα Σωματίδια (Total Suspended Particulates TSP) που αποτελούν το σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων, ανεξάρτητα της χημικής σύστασης και προέλευσης. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0,01  $\mu\text{m}$  ως μερικές εκατοντάδες  $\mu\text{m}$ .
- Αιωρούμενα Σωματίδια Διαμέτρου μικρότερης των 10 $\mu\text{m}$  (Particulate Matter 10),
- Αιωρούμενα Σωματίδια Διαμέτρου μικρότερης των 2,5 $\mu\text{m}$  (Particulate Matter 2,5) (Λαζαρίδης, 2008; Φιωτάκης, 2009). Ειδικότερα λόγω της δυνατότητας των  $\text{PM}_{2,5}$  να διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα διακρίνονται σε : μικρούς πυρήνες, σωματίδια Aitkin, σωματίδια στην περιοχή συσσώρευσης και υπέρλεπτα σωματίδια (Λαζαρίδης, 2008; [www.air-quality.gr](http://www.air-quality.gr)).

### 3.3 ΣΧΗΜΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλει ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους και τη διαδικασία σχηματισμού τους. Ανάλογα με το σχήμα τους είναι εύκολο να προσδιοριστεί η πηγή προέλευσή τους και η αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (Grassi *et al.*, 2004; Perrino, 2010). Σε γενικές γραμμές τα σωματίδια θεωρούνται σφαιρικά, ώστε να είναι εύκολη η μελέτη τους παρόλο που η πλειοψηφία τους είναι πολύπλοκα σχήματα. Μη σφαιρικά σωματίδια προκύπτουν από τις διαδικασίες καύσης, ενώ σφαιρικά σωματίδια είναι τα υγρά σωματίδια (σταγόνες), η ιπτάμενη τέφρα και τα ανόργανα άλατα. Διαφορετική μορφή έχουν οι ίνες αμιάντους (ινώδη μορφή) και ο γύψος (Ελευθεριάδης, 2012).

Ο τρόπος προσδιορισμός του σχήματος των ακανόνιστων αιωρούμενων σωματιδίων είναι ο ορισμός της διαμέτρου του σωματιδίου και διακρίνεται στην :

- Οπτική διάμετρο,

- Διάμετρο Stokes, η οποία ορίζεται ως η διάμετρος μιας σφαίρας που έχει την ίδια πυκνότητα και την ίδια ταχύτητα πτώσης στην ατμόσφαιρα με το εξεταζόμενο σωματίδιο και
- Αεροδυναμική διάμετρο, η οποία ορίζεται ως η διάμετρος μιας σφαίρας με πυκνότητα  $1\text{g/cm}^3$  και έχει την ίδια ταχύτητα πτώσης στην ατμόσφαιρα με το εξεταζόμενο σωματίδιο (Ελευθεριάδης, 2012).

### 3.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλει σε μεγάλο βαθμό. Τα συστατικά που απαντώνται στα περισσότερα σωματίδια είναι :

- Θεϊκά, τα θεϊκά προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και είναι βασικά συστατικά των  $\text{PM}_{2,5}$ .
- Νιτρικά, τα νιτρικά σχηματίζονται κυρίως από την οξείδωση των ατμοσφαιρικών οξειδίων του αζώτου σε νιτρικά. Λόγω της ταχύτερης οξείδωσης του διοξειδίου του  $\text{NO}_2$  σε σχέση με το  $\text{SO}_2$ , δεν εύκολο να προσδιοριστεί η κατανομή τους.
- Αμμωνιακά, τα αμμωνιακά άλατα είναι αποτέλεσμα της εξουδετέρωσης της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από θεϊκά και νιτρικά ιόντα. Αμμωνιακές ενώσεις απαντώνται κυρίως σε λεπτόκοκκα σωματίδια.
- Χλωριόντα, Τα χλωριόντα προέρχονται κυρίως από θαλάσσια αερολύματα και είναι χονδρόκοκκα σωματίδια. Έχει παρατηρηθεί τους χειμερινούς μήνες πως η ρήψη αλατιού στους δρόμους, για την αντιμετώπιση του πάγου, αποτελεί πηγή προέλευσής τους. Επίσης, η εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από ατμούς υδροχλωρικού οξέος, το οποίο προκύπτει από διαδικασίες αποτέφρωσης και σταθμούς παραγωγής ενέργειας, συμβάλλει στη δημιουργία σωματιδίων. Τα σωματίδια αυτά ανήκουν στο λεπτόκοκκο κλάσμα.
- Οργανικός και στοιχειακός άνθρακας, Ο οργανικός άνθρακας που εντοπίζεται στα αιωρούμενα σωματίδια προέρχεται κυρίως από πρωτογενείς πηγές εκπομπής. Ωστόσο, οργανικός άνθρακας παράγεται και μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων

που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα. Ο στοιχειακός άνθρακας προέρχεται κυρίως από τις διεργασίες καύσης και την κυκλοφορία οχημάτων.

- Γεωλογικά υλικά, Τα υλικά αυτά προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση του εδάφους. Η σύνθεσή τους δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια, καθώς εξαρτάται από τη γεωλογία της περιοχής και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Είναι προφανές οι ξηρές επιφάνειες και οι ισχυροί άνεμοι ευνοούν την αιώρηση σωματιδίων.
- Βιολογικά υλικά, Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μικροοργανισμοί, σπόροι και γύρη. Σε γενικές γραμμές τα σωματίδια αυτά είναι κυρίως χονδρόκοκκα, με εξαίρεση ορισμένους μικροοργανισμούς.
- Μέταλλα, στα αιωρούμενα σωματίδια περιέχονται συνήθως νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο (Harrison and Yin., 2000).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση εσωτερικών χώρων χαρακτηρίζεται από πολλές ιδιαιτερότητες σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο ακριβής προσδιορισμός των πηγών δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, καθώς οι συγκεντρώσεις των ρύπων επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του εσωτερικού χώρου, τα γεωλογικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής, ο προσανατολισμός του εσωτερικού χώρου, τα υλικά δόμησης, η χρήση του χώρου και η ύπαρξη ή όχι εξαερισμού είναι παράγοντες που διαμορφώνουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων σε εσωτερικούς χώρους (Σφακιανάκης, 2003; Χαρπαντίδου κα, 2005).

Οι διεργασίες που επίσης επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους είναι :

- οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας : Ειδικότερα σε κτίρια που κλιματίζονται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχόμενου με τον εξερχόμενο αέρα μπορεί να οδηγήσει σε εναπόθεση σωματιδίων κυρίως των  $PM_{2,5}$  μεταβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο τη συγκέντρωσή τους (Han *et al.*, 2011).
- η εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό και το υπόλοιπο εσωτερικό περιβάλλον,
- η συμπύκνωση και η εξάτμιση : Η παρουσία σταγόνων στον αέρα επηρεάζουν το μέγεθος των σωματιδίων. Οι διεργασίες αυτές λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια των σωματιδίων και εξαρτώνται από τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας (Λαζαρίδης, 2008).
- η επαναίωση : Δραστηριότητες όπως το κάπνισμα, το τηγάνισμα, το καθάρισμα με ηλεκτρική σκούπα, το άναμμα κεριών, το περπάτημα (ειδικά σε μικρούς χώρους) και το είδος των υλικών στα οποία εναποτίθενται τα σωματίδια συμβάλλουν στην επαναίωσή τους (Qian and Ferro, 2014).
- η συσσωμάτωση : Αλλάζει σημαντικά την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων, οδηγεί στο σχηματισμό νέων σωματιδίων και στη μείωση του ολικού αριθμού

των σωματιδίων. Η συσσωμάτωση περιγράφεται είτε με την κίνηση Brown, τη βαρυτική καθίζηση είτε την τυρβώδη ροή (Gmachowski, 2013; Λαζαρίδης, 2008).

- ο η πυρινοποίηση : Οδηγεί στη μεταβολή του μεγέθους των σωματιδίων και στη δημιουργία νέων σωματιδίων, μεταβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο τη συγκέντρωσή τους (Place *et al.*, 2010).

#### **4.2 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ**

Οι κυριότερες πηγές αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους είναι :

- η εξωτερική ατμόσφαιρα,
- οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες,
- οι διάφορες καύσεις που πραγματοποιούνται στους κλειστούς χώρους,
- τα υλικά δόμησης και επίπλωσης,
- το κάπνισμα,
- η παρουσία ανθρώπων και ζώων και
- τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού, εξαερισμού και ύγρανσης (Σφακιανάκης, 2003).

#### **4.3 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Η εισαγωγή εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι συγκεντρώσεις σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης σε εσωτερικούς χώρους είναι συνήθως χαμηλότερες από των σωματιδίων σε ανοιχτό περιβάλλον, όταν δεν υπάρχουν πηγές εσωτερικής ρύπανσης. Ωστόσο, στην πραγματικότητα οι συγκεντρώσεις στους εσωτερικούς χώρους είναι παρόμοιες με εκείνες του εξωτερικού περιβάλλοντος λόγω της αλληλεπίδρασης με την εξωτερική ατμόσφαιρα (Milner *et al.*, 2004).

Οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη διείδυση σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης σε εσωτερικούς χώρους είναι :

- η εναπόθεση των σωματιδίων,

- η διείσδυση των σωματιδίων και
- ο εξαερισμός του χώρου (Σφακιανάκης, 2003).

#### **4.3.1 ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Η εναπόθεση σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης σε εσωτερικούς χώρους γίνεται με την απορρόφησή τους από επιφάνειες και στη συνέχεια επανεκπέμπονται στον εσωτερικό χώρο. Η επαναιώρησή τους είναι πολύπλοκη διαδικασία και αφορά κυρίως τα λεπτόκοκκα σωματίδια, καθώς τα χονδρόκοκκα λόγω βαρύτητας εναποτίθενται στις διάφορες επιφάνειες και δεν επαναιωρούνται. Στην εναπόθεση των σωματιδίων πάνω στις επιφάνειες οφείλεται και η φθορά των υλικών (Λαζαρίδης, 2008).

#### **4.3.2 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

Σωματίδια εξωτερικής προέλευσης εισέρχονται στο εσωτερικό των κτιρίων μέσω σχισμών, χαραμάδων και κενών που υπάρχουν στα κτίρια. Όπως είναι αναμενόμενο δεν εισέρχεται όλο το σύνολο των σωματιδίων στο εσωτερικό περιβάλλον. Μέρος των σωματιδίων εναποτίθενται στις επιφάνειες των σχισμών. Η συγκέντρωση των σωματιδίων που τελικά διεισδύουν στο εσωτερικό περιβάλλον εξαρτάται από :

- τη ροή του αέρα που εισέρχεται,
- το μέγεθος των σωματιδίων και
- τις σχισμές του κτιρίου που διακρίνονται σε τρεις διαφορετικούς σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι :απευθείας σχισμή, σχισμή σχήματος L και διπλή καμπή σχισμή (Λαζαρίδης, 2008).

#### **4.3.3 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ**

Ως εξαερισμός νοείται η κυκλοφορία εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό κτιρίων και πραγματοποιείται με :

- ο τη διείσδυση σωματιδίων εξωτερικής προέλευσης στους εσωτερικούς χώρους. Η διείσδυση γίνεται μέσω ρωγμών, ανοιγμάτων και διακένων που υπάρχουν στους τοίχους, την οροφή, τα πατώματα και τα κουφώματα.

- Το φυσικό εξαερισμό, που πραγματοποιείται μέσω ανοιχτών θυρών και παραθύρων. Η θερμοκρασιακή διαφορά επηρεάζει τόσο τη διείσδυση των σωματιδίων όσο και το φυσικό εξαερισμό.
- Το μηχανικό εξαερισμό που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μηχανικών μέσων, όπως μηχανικοί εξαεριστήρες (Σφακιανάκης, 2003).

#### **4.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ**

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν επίδραση τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο στο περιβάλλον και στα υλικά. Οι επιπτώσεις στην υγεία αφορούν κυρίως το αναπνευστικό σύστημα και την ικανότητα της διείσδυσής τους και την απόθεσή τους στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αφορούν αλλαγές στο κλίμα, στα οικοσυστήματα και στα υλικά.

##### **4.4.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ**

Σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει αποδειχθεί πως η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, κυρίως στο καρδιαγγειακό και αναπνευστικό σύστημα (Franek and DeRose, 2003; Moshhammer and Neuberger, 2003). Οι επιπτώσεις αυτές είναι σχετικές με το μέγεθος των σωματιδίων και τη χημική τους σύσταση και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σε οξείες και χρόνιες. Οι οξείες επιπτώσεις είναι άμεσες, εμφανίζονται σύντομα μετά την έκθεση και είναι αναστρέψιμες. Οι χρόνιες επιδράσεις οδηγούν σε διαρκείς και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στην υγεία (Franek and DeRose, 2003).

Οι άμεσες επιπτώσεις στην υγεία συνδέονται κυρίως με ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος όπως άσθμα, χρόνια βρογχίτιδα, πνευμονικές δυσλειτουργίες, μείωση αιματοκρίτη, καρδιακές αρρυθμίες, ζαλάδες κλπ. Οι ασθένειες αυτές προκαλούνται με την εισπνοή των αιωρούμενων σωματιδίων, μέσω του αναπνευστικού συστήματος και εισέρχονται στον οργανισμό, προκαλώντας βλάβες (Moshhammer and Neuberger, 2003). Σύμφωνα με μελέτες ιδιαίτερη επίδραση έχει η έκθεση παιδιών σε ρύπους εσωτερικών χώρων, προκαλώντας αύξηση στον αριθμό των παιδιών με άσθμα (Fabian *et al.*, 2013).



Στο αναπνευστικό σύστημα εισέρχονται σωματίδια με διάμετρο μικρότερη ή ίση των 10 $\mu\text{m}$ . Τα μεγαλύτερα σωματίδια εναποτίθενται κυρίως στην έξω θωρακική χώρα, τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη ή ίση των 7 $\mu\text{m}$  διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστική οδού, ενώ τα σωματίδια με μικρότερη ή ίση διάμετρο των 2,5 $\mu\text{m}$  εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες. Τα πολύ λεπτά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 0,1 $\mu\text{m}$  είναι δυνατόν να διαπεράσουν τους πνεύμονες.

Πίνακας 4.1 : Ικανότητα αναπνευστικής διείσδυσης σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων (Πηγή : Ρεμουντάκη, 2012)

Μέγεθος σωματιδίων	Επιπτώσεις
>11 $\mu\text{m}$	: δεν διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα
7-11 $\mu\text{m}$	: εισχωρούν στη ρινική κοιλότητα
4,7-7 $\mu\text{m}$	: εισχωρούν στο φάρυγγα
3,3-4,7 $\mu\text{m}$	: εισχωρούν στην τραχεία και την αρχή των βρόγχων
2,1-3,3 $\mu\text{m}$	: εισχωρούν στο μέσο των βρόγχων
1,1-2,1 $\mu\text{m}$	: εισχωρούν στα τελευταία τμήματα των βρόγχων
0,65-1,1 $\mu\text{m}$	: εισχωρούν στα βρογχόλια
0,43-065 $\mu\text{m}$	: εισχωρούν στις κυψελίδες των πνευμόνων

#### 4.4.1.1 ΕΥΠΑΘΕΙΣ ΟΜΑΔΕΣ

Σύμφωνα με μελέτες, ορισμένες κατηγορίες του πληθυσμού είναι πιο ευάλωτες στην έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια. Οι κατηγορίες αυτές είναι :

- παιδιά,
- άτομα με άσθμα ή ασθένειες του αναπνευστικού,
- άτομα με καρδιαγγειακές παθήσεις,
- ηλικιωμένοι και
- έγκυες γυναίκες (ΚΕΕΛΠΝΟ, 2012).

Τα παιδιά και τα βρέφη είναι εξαιρετικά ευάλωτα στις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς έχουν υψηλότερο μεταβολικό ρυθμό και ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου ανά μονάδα σωματικού βάρους σε σχέση με τους ενήλικες. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια ανά μονάδα σωματικού βάρους, με αποτέλεσμα να έχουν αυξημένο ρυθμό αναπνοής, περίπου διπλάσιο από των ενηλίκων. Επίσης έχουν πιο στενούς αεραγωγούς σε σχέση με τους ενήλικες και λόγω ύψους αναπνέουν πιο κοντά στο έδαφος, γεγονός που τα κάνει πιο επιρρεπή στην εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων (Etzel, 2007).

#### **4.4.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον συνοψίζονται στις αλλαγές στο κλίμα, την ορατότητα, τα οικοσυστήματα και τα υλικά.

##### **4.4.2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ**

Οι αλλαγές στην ορατότητα είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2,5μm με την ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από τα σωματίδια, με αποτέλεσμα την περιορισμένη ορατότητα. Η μείωση της ορατότητας είναι δυνατόν να παρατηρηθεί με γυμνό μάτι και με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώνεται η ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Biskos, 2004). Όπως, επίσης, η αλλοίωση των χρωμάτων οφείλεται στην ύπαρξη σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, καθώς ανακλούν ή απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία

##### **4.4.2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ**

Όλο και πιο σαφείς είναι οι ενδείξεις ότι τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο κλίμα τόσο άμεσα όσο και έμμεσα (Andreae and Rosenfeld., 2008). Η τοπογραφία και οι κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής συμβάλλουν στις επιπτώσεις των σωματιδίων στο κλίμα (Jonsson *et al.*, 2004). Η απορρόφηση και η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι οι άμεσες επιδράσεις των σωματιδίων στο κλίμα και έχουν ως αποτέλεσμα την ψύξη ή τη θέρμανση της ατμόσφαιρας (Ρεμουντάκη, 2012; Andreae and Rosenfeld., 2008). Επίσης,

η μείωση της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας σε συνδυασμό με την άμεση θέρμανσης της ατμόσφαιρας λόγω των αερολυμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των βροχοπτώσεων. Έμμεσα, τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν στις ιδιότητες και στον αριθμό των νεφών, τροποποιώντας με αυτόν τον τρόπο τη διαδικασία των κατακρημνίσεων και επιδρώντας στον υδρολογικό κύκλο (Andreae and Rosenfeld, 2008).

#### **4.4.2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα έχει επιπτώσεις στα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα (Ρεμουντάκη, 2012). Η έκθεση των φυτών στα αιωρούμενα σωματίδια πραγματοποιείται είτε μέσω των φύλλων τους είτε με απορρόφηση από το ριζικό τους σύστημα. Τα χονδρόκοκκα σωματίδια εναποτίθενται στα φύλλα των φυτών επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο τη φωτοσύνθεση, την αναπνοή, τη διαπνοή και τις υπόλοιπες διεργασίες των φυτών. Ενώ τα σωματίδια που εναποτίθενται στο έδαφος, διαλύονται στο νερό και προσροφούνται από τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος (Harrison and Yin, 2000). Η ενσωμάτωση των σωματιδίων με τα σταγονίδια του νερού και τους κρυστάλλους του πάγου των νεφών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία όξινης βροχής που συνεπάγεται τη μείωση των τιμών του pH των κατακρημνίσεων, με αποτέλεσμα την καταστροφή των φυλλωμάτων και μείωση του ρυθμού ανάπτυξης (Ρεμουντάκη, 2012). Τέλος, οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στα ζώα είναι ανάλογες με εκείνες στους ανθρώπους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η εξαφάνιση πληθυσμών λόγω δημιουργίας τοξικών συνθηκών που καθιστούν δύσκολη την επιβίωσή τους και η λήψη τροφής εκτεθειμένη σε αιωρούμενα σωματίδια (Ρεμουντάκη, 2012; Harrison and Yin, 2000).

#### **4.4.2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ**

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτίθενται σε εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες προκαλώντας φθορές σε αυτές, όπως διάβρωση, κηλίδες, αποχρωματισμός, εξασθένηση ινών. Τέλος, η δημιουργία της όξινης βροχής, λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της οξύτητας των κατακρημνίσεων που συμβάλλει στις αλλοιώσεις των επιφανειών (Ρεμουντάκη, 2012).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, η παραμονή των ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους σχετίζεται με τη μεταβολή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στους χώρους αυτούς. Ειδικότερα, συγκεκριμένες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως το κάπνισμα και το μαγείρεμα, συμβάλλουν στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό περιβάλλον περίπου 30 φορές περισσότερο σε σχέση με τα κανονικά επίπεδα (Ferro *et al.*, 2004; Yu *et al.*, 2009). Ακόμη απλές καθημερινές δραστηριότητες, όπως το περπάτημα, το καθάρισμα του σπιτιού, το δίπλωμα ρούχων και η χρήση των επίπλων συνεισφέρουν στη ρύπανση των εσωτερικών χώρων (Ferro *et al.*, 2004).

#### 5.2 ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΑΝΘΡΩΠΩΝ

Η παραμονή ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους έχει αποδειχθεί πως είναι σημαντική πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων, κυρίως των PM<sub>10</sub> (Branis *et al.*, 2005). Εκτός από την ίδια την παραμονή των ανθρώπων, οι φυσικές διεργασίες του ανθρώπινου οργανισμού, όπως το φτέρνισμα, ο βήχας, η ίδια η αναπνοή του ανθρώπου και το δέρμα συμβάλλουν στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων (Qian *et al.*, 2014). Η ίδια η κίνηση των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους φαίνεται να προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των PM<sub>2,5</sub>, όπως και ο αριθμός των ενοίκων επηρεάζει τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων (MacNeill *et al.*, 2012). Σε γενικές γραμμές έχει παρατηρηθεί πως η έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρότερη κατά τους θερινούς μήνες, καθώς τους χειμερινούς μήνες ο αερισμός των σπιτιών δεν είναι επαρκής. Επίσης, η χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία, ευνοεί την αύξηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων, παρόλο που οι ανθρώπινες δραστηριότητες κατά τους χειμερινούς μήνες είναι περιορισμένες (Buonanno *et al.*, 2014; Spilak *et al.*, 2014).

Η εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων από την παραμονή των ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά των κτιρίων, τα υλικά δόμησης, την

ύπαρξη κλιματιστικών και συστημάτων εξαερισμού (Orch *et al.*, 2014). Ωστόσο, η παραμονή των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους και οι δραστηριότητες έχουν μεγαλύτερη επίδραση στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κτιρίων (Spilak *et al.*, 2014).

Γενικότερα, οι γυναίκες είναι πιο εκτεθειμένες σε σχέση με τους άντρες στα αιωρούμενα σωματίδια ανεξάρτητα από την εποχή, ενώ τα παιδιά και τα βρέφη εισπνέουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τους ενήλικες (Buonanno *et al.*, 2014; Etzel, 2007). Η επίδραση της παραμονής των ανθρώπων στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αποδεικνύεται με μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε αίθουσες διδασκαλίας, όπου βρέθηκε πως οι συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> ήταν αυξημένες τις ώρες διδασκαλίας σε σχέση με το υπόλοιπο 24ώρο, όταν το σχολείο παρέμενε κλειστό. Επειδή μέσα στις αίθουσες δεν υπήρχαν πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων, αποκλειστικά στην παραμονή των ανθρώπων οφείλεται η αύξηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (Branis *et al.*, 2005).

### **5.3 ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ**

Η διαδικασία του μαγειρέματος αποτελεί τη δεύτερη σημαντική πηγή ρύπανσης των εσωτερικών χώρων. Τα αέρια που παράγονται από το μαγείρεμα τροφών περιέχουν επικίνδυνους ρύπους για την ανθρώπινη υγεία και προκύπτουν από την ατελή καύση συστατικών των τροφίμων (Gao *et al.*, 2013b; Kabir and Kim, 2011). Ανάλογα με τον τρόπο μαγειρέματος, το στυλ μαγειρέματος, το καύσιμο που χρησιμοποιείται στην εστία μαγειρέματος (γκάζι, κάρβουνο, ηλεκτρισμός), τον τρόπο εξαερισμού (φυσικός ή τεχνητός εξαερισμός) και η ‘απομόνωση’ του χώρου μαγειρέματος από την υπόλοιπη κατοικία, επηρεάζεται η εκπομπή των αιωρούμενων σωματιδίων (Gao *et al.*, 2013b; Kabir and Kim, 2011, Lai and Ho, 2008). Ακόμη, οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν μέσα στους χώρους μαγειρικής, όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, συμβάλλουν στην εκπομπή των σωματιδίων (Lai and Ho, 2008). Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων που προκύπτουν από το μαγείρεμα είναι ποικίλου μεγέθους και εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία μαγειρέματος. Τα συνήθη αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται είναι τα υπέρλεπτα και τα PM<sub>2,5</sub> (Gao *et al.*, 2013a).

Το τηγάνισμα και το ψήσιμο σε φλόγα φαίνεται να αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, σε αντίθεση με το βράσιμο, όπου δεν παρουσιάζεται σημαντική μεταβολή στις συγκεντρώσεις των σωματιδίων (Gao *et al.*, 2013b). Η οργανική φύση του λαδιού είναι η αιτία για την εκπομπή μεγάλων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (See and Balasubramanian, 2008). Ανάλογα με το είδος του λαδιού που χρησιμοποιείται είναι και οι εκπομπές σωματιδίων. Έχει παρατηρηθεί πως η χρήση λαδιού σόγιας ή κάρδαμου μειώνουν περίπου κατά 90% τις συγκεντρώσεις PM<sub>2,5</sub> και των υπέρλεπτων σε σχέση με τη χρήση ελαιόλαδου ή φυσιτικέλαιου. Η χρήση μπαχαρικών όπως θαλασσινού ή επιτραπέζιου αλατιού, μαύρου πιπεριού, σκόρδου σε σκόνη κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την εκπομπή PM (Torkmahalleh *et al.*, 2013).

Επιπροσθέτως, το μαγείρεμα λιπαρών φαγητών σε υψηλές θερμοκρασίες ή σε φωτιά αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τα επίπεδα εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων (Kabir and Kim, 2011). Ο κινέζικος τρόπος μαγειρέματος που περιλαμβάνει πάντα το τηγάνισμα των τροφών και απαιτεί σημαντική ποσότητα λαδιού σε υψηλή θερμοκρασία είναι μια πρακτική που αυξάνει τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, κυρίως των οργανικών ρυπαντών, μετάλλων και καρκινογόνων (Lai and Ho, 2008; See and Balasubramanian, 2008). Ενώ και το ψήσιμο των κόκκων του καφέ ελκύει αρκετές σημαντικές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (Kabir and Kim, 2011). Τέλος, έχει αποδειχθεί πως το βράσιμο των τροφών είναι ο λιγότερα επικίνδυνος τρόπος μαγειρέματος αναφορικά με τη ρύπανση εσωτερικών χώρων (See and Balasubramanian, 2008).

Σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει βρεθεί πως τα αιωρούμενα σωματίδια παραμένουν στην ατμόσφαιρα της κουζίνας μέχρι 90 λεπτά μετά την εκπομπή τους και περίπου 60 λεπτά στο χώρο του σαλονιού. Ειδικότερα, οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων φαίνεται να είναι υψηλότερες κατά 2,7 φορές στο σαλόνι μιας κατοικίας που έχει προηγηθεί μαγείρεμα σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον (Wan *et al.*, 2011). Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια του

μαγειρέματος είναι δυνατόν να ξεπεράσουν κατά 100 φορές τα θεσμοθετημένα όρια. Πιο εκτεθειμένοι είναι οι γυναίκες και τα παιδιά (Abdullahi *et al.*, 2013).

Σε γενικές γραμμές η χρήση μηχανικού εξαερισμού (αποροφητήρα) είναι δυνατόν να μειώσει κατά 25-50% τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τη μη χρήση εξαερισμού. Επίσης, η χρήση κεντρικής θέρμανσης ή κλιματιστικού μειώνουν τις συγκεντρώσεις που προέρχονται από τη μαγειρική κατά 23% και 14 % αντίστοιχα (Torkmahalleh *et al.*, 2013).

#### **5.4 ΚΑΠΝΙΣΜΑ**

Το κάπνισμα είναι δεύτερη πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους. Από τον καπνό του ενός τσιγάρου εκπέμπονται περίπου 14mg PM<sub>2,5</sub>, στα οποία περιέχονται 172 τοξικές ουσίες, εκ των οποίων οι 33 χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνοι αέριοι ρύποι, οι 47 είναι επικίνδυνα απόβλητα, οι 67 είναι καρκινογόνες ουσίες εκ των οποίων οι 20 σχετίζονται με τον καρκίνο του πνεύμονα (Repace *et al.*, 2011). Επίσης, υπέρλεπτα σωματίδια προκύπτουν από την καύση του καπνού, των οποίων η συγκέντρωση είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, λόγω της αυξημένης προσρόφησή τους από οργανικά συστατικά (Konstantopoulou *et al.*, 2014; Petal *et al.*, 2012). Η απουσία καπνιστών σε έναν κλειστό χώρο είναι δυνατόν να μειώσει τις συγκεντρώσεις των παραπάνω σωματιδίων κατά 90% (Bohac *et al.*, 2010).

Έχει αποδειχθεί πως οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που οφείλονται στον καπνό τσιγάρου ή πούρου είναι παρόμοιες μεταξύ τους, ενώ οι συγκεντρώσεις που οφείλονται σε πίπες είναι περίπου μισές από ότι του τσιγάρου (Ott and Siegmann, 2006). Αντιθέτως, η χρήση ηλεκτρονικού τσιγάρου έχει τις ίδιες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων με το κλασικό τσιγάρο, ακόμη και όταν μειωθεί η συγκέντρωση της νικοτίνης που περιέχει ο καπνός. Επίσης, ο τύπος του ηλεκτρονικού τσιγάρου και η γεύση του καπνού δεν επηρεάζουν την εκπομπή σωματιδίων. Σημαντική επίδραση στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων έχει κυρίως ο χρόνος εκπνοής του καπνού (Fuoco *et al.*, 2014). Ιδιαίτερα αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως η χρήση ναργιλέ εκπέμπει περίπου 4 φορές παραπάνω καρκινογόνους PAH, πτητικές αλδεΐδες και 30

φορές μονοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με ένα συνηθισμένο τσιγάρο (Daher *et al.*, 2010).

## 5.5 ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Δραστηριότητες όπως το περπάτημα, το ξεσκόνισμα, η χρήση ηλεκτρικής σκούπας, το στρώσιμο του κρεβατιού, το δίπλωμα ρούχων, κουβερτών και γενικότερα το καθάρισμα του σπιτιού αυξάνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Αναλυτικότερα, έχει διαπιστωθεί πως η λειτουργία σκούπας ηλεκτρικής αυξάνει περίπου κατά 20% την έκθεση των ανθρώπων στα αιωρούμενα σωματίδια (Ferro *et al.*, 2004). Ενώ, οι διαδικασίες αυτοκαθαρισμού (πυρόλυση) των ηλεκτρικών φούρνων φαίνεται να προκαλούν την πιο σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους (Gehin *et al.*, 2008).

Μία άλλη αιτία αύξησης των αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους που οφείλεται στην παρουσία ανθρώπων, είναι η μεταφορά κόκκων εδάφους από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό των κτιρίων μέσω των παπουτσιών. Σε αυτήν την περίπτωση αυξάνονται κυρίως οι συγκεντρώσεις σωματιδίων με χημική σύσταση παρόμοια με εκείνη του εδάφους. Έχει διαπιστωθεί πως δεν επιτυγχάνεται η ολική απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών, ούτε με τη χρήση ηλεκτρικής σκούπας, ούτε με νωπό καθάρισμα (σφουγγάρισμα) (Hunt *et al.*, 2006). Ακόμη, η ύπαρξη κατοικίδιου ζώου αυξάνει τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους (Spilac *et al.*, 2014). Επιπροσθέτως, η χρήση εκτυπωτών αυξάνει τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, κυρίως των σωματιδίων άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση εκτυπωτών λέιζερ αυξάνει περίπου 3 φορές παραπάνω τη συγκέντρωση των PM<sub>10</sub> σε σχέση με τους εκτυπωτές με μελάνι (Gehin *et al.*, 2008).

Το άναμμα κεριών, επίσης, έχει βρεθεί πως αυξάνει τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Ανάλογα με το είδος του κεριού ποικίλουν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Ακόμη, η φλόγα του κεριού επηρεάζει την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων. Έχει παρατηρηθεί πως όταν η φλόγα στο κερί δεν είναι σταθερή, τρεμοπαίζει ή το κερί περιβάλλεται από μεταλλικό περιτύλιγμα, οι εκπομπές



αιωρούμενων σωματιδίων είναι διπλάσιες σε σχέση με ένα κερι που καίγεται φυσιολογικά και η καύση των κεριών αυξάνει κυρίως τις συγκεντρώσεις των υπέρλεπτων σωματιδίων (Gehin *et al.*, 2008; Ott and Siegmann, 2006). Η φυσική καύση κεριού παράγει κυρίως σωματίδια ανθρακικής φύσης. Τέλος, η καύση θυμιατών και αντικουνουπικών κεριών (αργή καύση) έχει παρόμοιες εκπομπές με τις εκείνες της τυπικής διαδικασίας μαγειρέματος (Stabile *et al.*, 2012).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

#### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραμονή των ανθρώπων στο εσωτερικό των κτιρίων, είτε για επαγγελματικούς λόγους είτε για λόγους διαβίωσης, συνδέεται με την προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Για αυτό το λόγο, πολλές φορές το εσωτερικό των κτιρίων θερμαίνεται ή ψύχεται, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες παραμονής για τους ανθρώπους. Ωστόσο, η θέρμανση και η ψύξη των κτιρίων συμβάλλει στην υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων. Οι επιπτώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα του εσωτερικού των κτιρίων είναι ανάλογες με τον τρόπο θέρμανσης – ψύξης του κτιρίου.

#### 6.2 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Η κεντρική θέρμανση είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος θέρμανσης των κτιρίων και παραγωγής ζεστού νερού στην Ελλάδα, μέσω ενός κεντρικού συστήματος εγκατεστημένο σε ένα κτίριο. Το κεντρικό αυτό σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο αλληλοσυνδεδεμένων συσκευών και οργάνων. Η μόνη διαφοροποίηση αυτών των συστημάτων είναι τα θερμαντικά σώματα, τα οποία είτε βρίσκονται τοποθετημένα στον τοίχο (συνήθη καλοριφέρ) είτε η μεταφορά της ενέργειας γίνεται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων (ενδοδαπέδια θέρμανση) είτε συνδυασμός και των δύο ([www.cres.gr](http://www.cres.gr))

Σε γενικές γραμμές, η θέρμανση των κτιρίων ευνοεί την υποβάθμιση της ατμόσφαιρας των χώρων αυτών. Η διαφορά θερμοκρασίας με το εξωτερικό περιβάλλον και η ζεστή ατμόσφαιρα του εσωτερικού των κτιρίων είναι οι βασικές αιτίες για την επαναιώρηση σωματιδίων. Ειδικότερα, τα αιωρούμενα σωματίδια που προκύπτουν από τη θέρμανση των χώρων μέσω καλοριφέρ (καύσης πετρελαίου), επαναιωρούνται για όσο χρονικό διάστημα θερμαίνονται οι χώροι. Έχει παρατηρηθεί πως οι συγκεντρώσεις των οργανικών αιωρούμενων σωματιδίων μειώνονται κατά 50%, όταν οι χώροι δε θερμαίνονται (Spolnik *et al.*, 2007). Σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει βρεθεί πως η ενδοδαπέδια θέρμανση προκαλεί μικρότερη αύξηση στις συγκεντρώσεις

των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τα συνήθη καλοριφέρ. Στην περίπτωση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης η κυρίαρχη δύναμη που έλκει τα σωματίδια είναι η βαρύτητα, με αποτέλεσμα να μην αιωρούνται τα σωματίδια (Golkarfard and Talebizadeh, 2013).

### **6.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΛΟΡΙΦΕΡ**

Τα ηλεκτρικά καλοριφέρ είναι μια άλλη μορφή θέρμανσης των εσωτερικών χώρων, όπου μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα ([www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)). Τα ηλεκτρικά καλοριφέρ δε θεωρούνται πηγές αιωρούμενων σωματιδίων και η συνεισφορά τους στη ρύπανση των εσωτερικών χώρων είναι ανεξάρτητη από τη διαδικασία θέρμανσης. Η ουσιαστική διαφορά με τα κλασσικά καλοριφέρ είναι πως τα ηλεκτρικά θερμαίνουν τοπικά την ατμόσφαιρα, έτσι ώστε οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας να ευνοούν τις συγκεντρώσεις αβεστούχων σωματιδίων (Spolnik *et al.*, 2007). Η χρήση ηλεκτρικών καλοριφέρ προκαλεί αύξηση των συγκεντρώσεων υπέρλεπτων σωματιδίων σύμφωνα με έρευνες, ωστόσο βασική πηγή των σωματιδίων αυτών αποτελεί η διαδικασία του μαγειρέματος (Weichenthal *et al.*, 2007).

### **6.4 ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ**

Τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης για την επάρκεια των ενεργειακών πόρων, η χρήση κλιματιστικών συστημάτων για τη θέρμανση – ψύξη των εσωτερικών χώρων κερδίζει ολοένα έδαφος. Τα συστήματα κλιματισμού παρέχουν την απαραίτητη θερμική άνεση και βελτιώνουν την εσωτερική ατμόσφαιρα, κάνοντας τις συνθήκες παραμονής και διαβίωσης ευχάριστες (Yu *et al.*, 2013).

Ουσιαστικά, η λειτουργία του συστήματος κλιματισμού ενισχύει το ρυθμό εναπόθεσης σωματιδίων στις επιφάνειες του δωματίου, εξαιτίας της αύξησης της εναέριας κίνησης των σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους. Επίσης, σε ορισμένα σπίτια έχει παρατηρηθεί πως η χρήση φίλτρων, φορητών ή σταθερών στο σύστημα εξαερισμού του κλιματιστικού, αυξάνει ακόμη περισσότερο το ρυθμό εναπόθεσης (Wallace *et al.*, 2004). Ωστόσο, σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο εσωτερικό των καμπίων αυτοκινήτων, η λειτουργία του κλιματιστικού μειώνει τις συγκεντρώσεις των PM<sub>2,5</sub> και βελτιώνει την εσωτερική ατμόσφαιρα (Chuang *et al.*, 2013).

Σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, διαπιστώθηκε πως τα κλιματιστικά συστήματα συμβάλλουν κυρίως στην απομάκρυνση όζοντος, η απομάκρυνση όμως μειώνεται σταδιακά ανάλογα με την ώρα λειτουργίας τους. Πιο συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι αρχικά η απομάκρυνσης όζοντος είναι 35-50%, ενώ μετά από μία ώρα λειτουργίας το ποσοστό αυτό μειώνεται και περιορίζεται στο 5-10% της αρχικής συγκέντρωσης όζοντος. Η απομάκρυνση του όζοντος από τα φίλτρα των κλιματιστικών συστημάτων οφείλεται στις χημικές αντιδράσεις μεταξύ όζοντος και των σωματιδίων που αποτίθεται επί των φίλτρων, οι οποίες οδηγούν σε προϊόντα οξειδωσης όπως η φορμαλδεΐδη, καρβονύλια και υπέρλεπτα σωματίδια (Yu *et al.*, 2013).

## 6.5 ΚΑΥΣΗ ΞΥΛΩΝ

Η χρήση στερεών καυσίμων για τη θέρμανση κατοικιών πραγματοποιείται από περίπου 3 δισεκατομμύρια ανθρώπους, ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες (Abdullahi *et al.*, 2013). Τελευταία, λόγω της αύξησης του κόστους της ενέργειας, η χρήση συσκευών καύσης ξύλων όπως τζάκια και σόμπες έχει αυξηθεί, καθώς αποτελεί μία ελκυστική οικονομική μέθοδο θέρμανσης, δημιουργώντας όμως παράλληλα σημαντικά προβλήματα στην ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων (Salthammer *et al.*, 2013).

Ξύλα και άλλα είδη βιομάζας είναι τα πιο διαδεδομένα, αλλά είναι εκείνα που συμβάλλουν σημαντικά στην εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων. Έχει αποδειχθεί πως η καύση ξύλου αυξάνει τις συγκεντρώσεις των υπέρλεπτων σωματιδίων και των PM<sub>2,5</sub> (Salthammer *et al.*, 2013). Ουσιαστικά, η καύση βιομάζας αυξάνει περίπου κατά 8-20% τη συγκέντρωση των PM<sub>2,5</sub> (Balachandran *et al.*, 2013). Οι αυξημένες θερμοκρασίες καύσης (<1200°C) είναι δυνατόν να μετατρέψουν τα οξείδια του αζώτου σε ατμοσφαιρικό άζωτο, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες καύσης (<500°C) οδηγεί σε σύνθεση αρωματικών ενώσεων (Salthammer *et al.*, 2013).

Ανάλογα με το είδος του ξύλου που καίγεται είναι οι εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων. Επίσης, οι εκπομπές PM<sub>2,5</sub> είναι υψηλότερες, όταν χρησιμοποιείται τζάκι σε σχέση με τη χρήση ξυλόφουρνου και είναι υψηλότερες στην αρχή της καύσης, καθώς απελευθερώνονται χημικές ουσίες που δεν έχουν καεί ακόμη (Alves *et al.*, 2011;

Goncalves *et al.*, 2011). Τέλος, έχει παρατηρηθεί πως εκτός από την αύξηση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, τα σωματίδια που προκύπτουν από την καύση ξύλου επηρεάζουν και παράγοντες που σχετίζονται με την καρδιαγγειακή νοσηρότητα και θνησιμότητα (Alves *et al.*, 2011).

## **6.6 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

Παρότι υπάρχει πληθώρα εναλλακτικών τρόπων θέρμανσης, εκτός από την καύση πετρελαίου και ξύλου, δεν έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες σχετικά με την επίδραση που έχουν στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους. Σχετικά με τη χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση, έχει παρατηρηθεί πως απελευθερώνονται κυρίως σωματίδια διοξειδίου του άνθρακα (Salthammer *et al.*, 2013). Αντίθετα, η χρήση πάνελ υπέρυθρης θέρμανσης δε φαίνεται να μεταβάλλει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους (Spolnik *et al.*, 2007)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

### **ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

#### **7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τις σύγχρονες κοινωνίες, καθώς οι ένοικοι των χώρων βιώνουν προβλήματα υγείας συσχετιζόμενα με τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των κτιρίων. Το σημαντικότερο πρόβλημα είναι η ρύπανση που προκαλείται από τα αιωρούμενα σωματίδια. Για το αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες για τη μείωση των συγκεντρώσεών τους στους εσωτερικούς χώρους, καθώς και για τη μερική ή ολική απομάκρυνσή τους. Συνήθως για την απομάκρυνσή τους από τους χώρους κατοικιών χρησιμοποιούνται ιονιστές, ηλεκτροστατικά φίλτρα, συστήματα κλιματισμού και δεν παραλείπεται ο φυσικός αερισμός των χώρων.

#### **7.2 ΙΟΝΙΣΤΕΣ**

Οι μονοπολικόι ιονιστές χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μείωση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους. Τα συγκεκριμένα συστήματα προτιμώνται για οικιακή χρήση, επειδή οι κατοικίες έχουν περιορισμένους χώρους σε σχέση με τους εργασιακούς χώρους και απαιτούν ελάχιστη επίβλεψη, σε αντίθεση με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, τα οποία έχουν περιορισμένη ακτίνα δράσης, οι ιονιστές είναι δυνατόν να απομακρύνουν τα σωματίδια από το σύνολο του όγκου του δωματίου (Mayya *et al.*, 2004). Ένα, ακόμη, πλεονέκτημα των ιονιστών είναι ότι μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικά μέρη ενός κτιρίου, χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η χρήση τους στις κατοικίες (Novoselac and Siegel, 2009)

#### **7.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Τα συστήματα κλιματισμού είναι από τα πιο διαδεδομένα συστήματα απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση – ψύξη των κτιρίων και παράλληλα συμβάλλουν στο φιλτράρισμα της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων. Έχει παρατηρηθεί πως η χρήση κλιματιστικών είναι δυνατόν να μειώσει κατά 34% τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους (Park

*et al.*, 2011). Στις περιπτώσεις που το σύστημα κλιματισμού είναι σωστά συντηρημένο και λειτουργεί σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, τα ποσοστά απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δυνατόν να φτάσουν μέχρι 50%. Ειδικά για τα άτομα που ανήκουν σε ομάδες υψηλού κινδύνου, η χρήση συστημάτων κλιματισμού είναι η πιο αποτελεσματική λύση για τη μείωση στην έκθεση σωματιδίων (Wallace *et al.*, 2004).

#### **7.4 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ**

Ένας άλλος διαδεδομένος τρόπος απομάκρυνσης σωματιδίων είναι τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, καθώς φιλτράρουν μεγάλες ποσότητες αέρα και συλλέγουν σωματίδια ανεξαρτήτου μεγέθους. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση τους, όπως το οικονομικό κόστος και η μεγάλη απαίτηση χώρου εγκατάστασης (Park *et al.*, 2011). Σε γενικές γραμμές, η χρήση φίλτρων και κλιματιστικών συστημάτων είναι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τον αερισμό των χώρων ή τη σωστή μόνωσή τους, ώστε να μην επηρεάζονται οι συγκεντρώσεις των ρύπων της εσωτερικής ατμόσφαιρας από τις συγκεντρώσεις των ρύπων της εξωτερικής ατμόσφαιρας (Wallace *et al.*, 2004).

#### **7.5 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ**

Ο εξαερισμός ενός εσωτερικού χώρου γίνεται με ανταλλαγή αέρα, όπου ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται και εξέρχεται με διείσδυση. Η διαδικασία αυτή είναι δυνατόν να γίνει είτε με φυσικό τρόπο (αερισμός του χώρου) είτε με μηχανικό εξαερισμό, όπου στην περίπτωση του φυσικού εξαερισμού η κίνηση του αέρα προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου και από τον άνεμο που επικρατεί εκείνη τη στιγμή (Guo *et al.*, 2008). Ουσιαστικά, ο φυσικός αερισμός αξιοποιεί τις δυνάμεις του αέρα και τις διαφορές πυκνότητας για να κινήσει τον αέρα δια μέσου ενός κτιρίου και ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται μπορεί να είναι:

- διαμπερήs, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων,
- κατακόρυφος, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων και καμινάδων,
- κατακόρυφος ενισχυμένος από ηλιακή καμινάδα ([www.cres.gr](http://www.cres.gr); [www.ktirio.gr](http://www.ktirio.gr)).

Ο φυσικός εξαερισμός πραγματοποιείται μέσω ανοιγμάτων του χώρου (πόρτες, παράθυρα), αρμών και ρωγμών του περιβλήματος και ειδικών δομικών στοιχείων (αεραγωγοί) (Στασινόπουλος, 2001).

Σε κτίρια, όπου υπάρχει κεντρικό σύστημα εξαερισμού, η χρήση του εξαερισμού μειώνει σημαντικά το ρυθμό εναπόθεσης των σωματιδίων. Έχει παρατηρηθεί πως η συνεχόμενη χρήση του εξαερισμού σε σχέση με τη διακοπτόμενη χρήση είναι δυνατόν να μειώσει έως και δύο φορές τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς αυξάνεται η κυκλοφορία του αέρα (Howard-Reed *et al.*, 2003).

Στην κατηγορία του εξαερισμού, περιλαμβάνονται και οι οικιακοί απορροφητήρες των οποίων η λειτουργία είναι καθοριστική για τη μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος, καθώς είναι δυνατόν να μειωθούν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κατά 25-50% (Torkmahalleh *et al.*, 2013).

## **7.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Εκτός από τις παραπάνω λύσεις για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων, υπάρχουν και πιο 'φιλικές' προς το περιβάλλον και λιγότερο ενεργοβόρες μέθοδοι. Σε πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει διαπιστωθεί πως τα φυτά εσωτερικού χώρου έχουν τη δυνατότητα να βελτιώνουν την ποιότητα της εσωτερικής ατμόσφαιρας και να περιορίζουν τα συμπτώματα του 'άρρωστου κτιρίου' στους ενοίκους. Αρχικά, τα φυτά εσωτερικού χώρου προορίζονταν μονάχα για αισθητικούς και ψυχολογικούς λόγους. Ωστόσο, το 1989 σε πείραμα της NASA, όπου δημιουργήθηκε ένα μικρό, ερμητικά κλειστό κύκλωμα σε ένα σπίτι («Βιο-σπίτι»), αποδείχθηκε πως έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν ορισμένους τοξικούς ρύπους και μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για τη διατήρηση υγιούς ατμόσφαιρας σε κλειστούς χώρους. Αναλυτικότερα, η απορρόφηση της φορμαλδεΐδης από τα φυτά είναι εκείνη που αξιολογήθηκε ως κριτήριο αναφοράς λόγω των πολυάριθμων πηγών προέλευσής της μέσα στις κατοικίες. Τα πιο διαδεδομένα φυτά εσωτερικών χώρων που συμβάλλουν στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας ενός χώρου



είναι : η φτέρη, η τουλίπα, η αλόη, η ορχιδέα φαλενόβις, το κυκλάμινο, το χρυσάνθεμο και η μπιγκόνια (Wolverton, 2008).

Εκτός από τους παραπάνω τρόπους απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων, εξίσου σημαντική είναι η πρόληψη και η γνώση. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, υπάρχει ελάχιστη γνώση σχετικά με την πρόληψη και την αντιμετώπιση της ρύπανσης εσωτερικών χώρων. Οι ίδιοι οι ένοικοι των χώρων δε γνωρίζουν τις συνέπειες της ρύπανσης και τον τρόπο προφύλαξής τους. Σε πολλές περιπτώσεις, δεν απαιτείται εξειδικευμένη γνώση. Παράλληλα, η θεσμοθέτηση κατάλληλων μέτρων και αποφάσεων από πλευράς της Πολιτείας για την πρόληψη και την αντιμετώπιση της ρύπανσης είναι μία άλλη προσέγγιση για την αντιμετώπιση της ρύπανσης των εσωτερικών χώρων. Εκτός βέβαια από τη θεσμοθέτηση των σχετικών οδηγιών, κρίσιμη είναι και η εφαρμογή των παραπάνω μέτρων (Σφακιανάκης, 2003).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

### ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

#### 8.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στις περισσότερες πόλεις της δυτικής Ευρώπης, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα έχει βελτιωθεί εντυπωσιακά από την εποχή, όπου η αιθαλομίχλη έκανε τη ζωή αφόρητη. Εκείνη την εποχή, η αυξημένη ρύπανση είχε αναγκαία συνέπεια της οικονομικής ανάπτυξης - ήταν απλά το τίμημα που έπρεπε να καταβληθεί για την ευημερία και την εκβιομηχάνιση.

Η ιστορία της ποιότητας του αέρα στις πόλεις τις τελευταίες δεκαετίες έχει δείξει ότι αυτή η κατάσταση δεν είναι αναπόφευκτη. Η βελτίωση της ποιότητας του αέρα αποτελεί μια από τις μεγάλες επιτυχίες της περιβαλλοντικής πολιτικής, που δείχνει ότι είναι πραγματικά δυνατό να αποσυνδεθεί η οικονομική ανάπτυξη από την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Ιδιαίτερα, στη χώρα μας τα τελευταία δύο χρόνια λόγω της οικονομικής κρίσης και της αυξημένης τιμής του πετρελαίου, όλο και περισσότεροι στράφηκαν σε οικονομικότερους τρόπους θέρμανσης. Η καύση κακής ποιότητας καυσόξυλων και ακατάλληλων υλικών οδήγησαν στη δημιουργία αιθαλομίχλης, κυρίως τις κρύες νύχτες και την αύξηση των συγκεντρώσεων σωματιδίων PM<sub>10</sub> που ξεπέρασαν τα επιτρεπτά όρια.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής : «Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους ρύπους διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10), διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδο, αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρο και βενζο(α)πυρένιο, σύμφωνα με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων.»

Οι οδηγίες που έχουν εκδοθεί μέχρι σήμερα και αφορούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι:

1. Η Εναρμόνιση της Οδηγίας 1996/62/ΕΚ για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000). Στην οδηγία αυτή, προσδιορίζονται και καθορίζονται οι στόχοι για τις οριακές τιμών εκπομπών ρύπων, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία και το σύνολο του περιβάλλοντος.
2. Η Εναρμόνιση της Οδηγίας 1999/30/ΕΚ για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος (ΠΥΣ 34/30.5.2002, ΦΕΚ125/Α/ 5-6-02). Αποτελεί συμπληρωματική οδηγία της 1996/62/ΕΚ, όπου καθορίζονται οι οριακές τιμές, τα όρια συναγεμμού των παραπάνω ρύπων, η συλλογή κατάλληλων πληροφοριών σχετικά με τις συγκεντρώσεις των ρύπων και η διατήρηση της ποιότητας αέρα του περιβάλλοντος.
3. Η Εναρμόνιση της Οδηγίας 2000/69/ΕΚ για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 9238/332, ΦΕΚ 405Β/27.2.05). Αποτελεί ενσωμάτωση στην αρχική οδηγία 1996/62/ΕΚ και ενσωματώνει πρότυπα ελέγχου και όρια για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από το μονοξείδιο του άνθρακα.
4. Η Εναρμόνιση της Οδηγίας 2002/3/ΕΚ σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05). Η συγκεκριμένη οδηγία συμπληρώνει την 1996/62/ΕΚ και περιγράφει τα μέτρα που πρέπει να παρθούν για να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον από τις συγκεντρώσεις του όζοντος στον ατμοσφαιρικό αέρα.

5. Η Εναρμόνιση της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07). Όπως και οι παραπάνω οδηγίες, συμπληρώνει την αρχική οδηγία και αναφέρεται στη στρατηγική για την προστασία του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων από τους παραπάνω ρύπους.
6. Τέλος, η Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 96/62/ΕΚ και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ και 2002/3/ΕΚ), όπως και την απόφαση 97/101/ΕΚ για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα.

Η πιο πρόσφατη οδηγία που έχει εκδοθεί είναι η 2008/50/ΕΚ στην οποία γίνεται αναφορά για τον τρόπο επιλογής της τοποθεσίας των σημείων δειγματοληψίας για τις μετρήσεις διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων (PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub>), μολύβδου, βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους ατμοσφαιρικούς ρύπους, για τα αιωρούμενα σωματίδια δεν έχει θεσπιστεί ακόμη όριο συναγερμού, παρά μόνο οριακές τιμές, ώστε να προστατεύεται η ανθρώπινη υγεία και περιγράφονται στους παρακάτω πίνακες

Πίνακας 8.1: Οριακές τιμές για τα σωματίδια PM<sub>10</sub>

Χρονική περίοδος	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία επίτευξης οριακής τιμής
1 ημέρα	50μg/m <sup>3</sup> χωρίς να υπερβαίνεται περισσότερες από 35 φορές το χρόνο	50%	Ισχύει από 01/01/2005
Ημερολογιακό έτος	40μg/m <sup>3</sup>	20%	Ισχύει από 01/01/2005

Πίνακας 8.2: Οριακές τιμές για τα σωματίδια PM<sub>2,5</sub>

Χρονική περίοδος	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία επίτευξης οριακής τιμής
Ημερολογιακό έτος	20μg/m <sup>3</sup>	20% με στόχο μείωσης κάθε έτος, ώστε 01/01/2015 να είναι 0%	01/01/2015

Επιπροσθέτως, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων τα δύο τελευταία έτη ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, το Δεκέμβριο του 2013 εκδόθηκε Κοινή Υπουργική Απόφαση του Υ.Π.Ε.Κ.Α. με τα συναρμόδια υπουργεία με θέμα ‘Βραχυπρόθεσμα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια’ (ΚΥΑ οικ. 70601 ΦΕΚ 3272B/23.12.13). Με την έκδοση της συγκεκριμένης απόφασης επιτυγχάνονται :

- ο καθορισμός των επιπέδων συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων, πάνω από τα οποία πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την προστασία της υγείας των πολιτών,
- ο προσδιορισμός των μέτρων που δύνανται να αποφασίζονται κατά περίπτωση,
- η ενημέρωση και η προστασία του πληθυσμού για τα επίπεδα συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων, αλλά και για τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται από τους ίδιους τους πολίτες για την προστασία της υγείας όλων και
- ο συντονισμός του κρατικού μηχανισμού σε περιπτώσεις επεισοδίων.

Επίσης, θεσπίζονται μέτρα προφύλαξης της υγείας του πληθυσμού και ιδίως των ευπαθών κοινωνικών ομάδων και περιορισμού των εκπομπών από εστίες καύσης, βιομηχανικές πηγές και μέσα κυκλοφορίας. Παράλληλα, γίνεται αναφορά για τη χρήση των εναλλακτικών συσκευών θέρμανσης σύμφωνα με την ΚΥΑ 6690 (ΦΕΚ 1914/B/2012). Τέλος, εκτός από τη θέσπιση της ΚΥΑ, το Υπουργείο έχει προβεί σε δράσεις ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού και στην εντατικοποίηση των ελέγχων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### 9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μετρήσεις για την παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν σε κατοικίες στην ευρύτερη περιοχή του Γέρακα Αττικής. Ο Γέρακας ανήκει στα βορειοανατολικά προάστια της Αθήνας και περιβάλλεται από την Πεντέλη και τον Υμηττό. Τα δύο αυτά βουνά δημιουργούν ένα ιδιαίτερο μικροκλίμα στην περιοχή που οδηγεί σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλά ποσοστά υγρασίας ειδικά τους χειμωνιάτικους μήνες. Σε ότι αφορά τον τρόπο θέρμανσης των κατοικιών, λόγω της πρόσφατης ανοικοδόμησης της περιοχής, χρησιμοποιούνται κυρίως καυστήρες πετρελαίου τελευταίας τεχνολογίας. Αξίζει να σημειωθεί πως στην πλειοψηφία των κατοικιών υπάρχουν τζάκια που τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται συστηματικά, ενώ το δίκτυο διανομής του φυσικού αερίου δεν έχει φτάσει ακόμη στην περιοχή.

#### 9.2 ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι το Digital Dust Indicator – PCD-1. Η καταγραφή της συγκέντρωσης της μάζας της εισπνεόμενης σκόνη ανά μονάδα όγκου αέρα με τη συγκεκριμένη συσκευή πραγματοποιήθηκε μέσω της τεχνικής διάχυσης του φωτός. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 9.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου Digital Dust Indicator

Αρχή λειτουργίας	:	Διάχυση φωτός
Ευσαιθησία	:	0,001 mg/m <sup>3</sup>
Εύρος μέτρησης	:	0,001 – 9,999 mg/m <sup>3</sup>
Χρόνος μέτρησης	:	Προγραμματισμός από 1 λεπτό έως 620 λεπτά
Συχνότητα μέτρησης	:	6 δευτερόλεπτα
Outputs	:	RS-232C, Audio alarm

### 9.2.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο αέρας εισχωρεί από το καπάκι εισαγωγής μέσα στο όργανο, περνά μέσα από τις ακτίνες της φωτεινής πηγής, όπου ένα ευαίσθητο φωτοκύτταρο μετρά την ποσότητα του φωτός που διαχέεται από τα σωματίδια. Ο βαθμός της διάχυσης του φωτός είναι ανάλογος με τη συγκέντρωση σκόνης. Στη συνέχεια, το όργανο μετατρέπει το βαθμό διάχυσης του φωτός σε τιμή και αριθμό συγκέντρωσης. Προβάλλει τα αποτελέσματα στην οθόνη και παράλληλα τα αποθηκεύει για μετέπειτα χρήση. Το όργανο καταγράφει τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων ανά 6 δευτερόλεπτα και υπολογίζει το μέσο όρο των τιμών ανάλογα με το χρόνο μετρήσεων.

### 9.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Οι μετρήσεις πραγματοποιηθήκαν το Δεκέμβριο του 2013. Επιλέχθηκαν 7 κατοικίες στην ευρύτερη περιοχή του Γέρακα Αττικής, στις οποίες υπήρχαν τζάκια και καπνιστές ένοικοι. Αναλυτικότερα :

- οι μετρήσεις προέκυψαν μετά από μισή ώρα λειτουργίας του οργάνου στο χώρο. Το όργανο καταγράφει τιμές ανά 6sec και μετά υπολογίζει το μέσο όρο των τιμών για κάθε λεπτό και τον τελικό μέσο όρο των τιμών μετρήσεων. Παράλληλα γινόταν και καταγραφή των τιμών, ώστε να βρεθεί η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης σωματιδίων,
- οι μετρήσεις έλαβαν μέρος, ενώ οι ένοικοι των χώρων ακολουθούσαν την καθημερινότητά τους,
- σε κάθε κατοικία καταγραφόταν η αρχική τιμή συγκέντρωσης σωματιδίων, πριν τη μέτρηση συγκεντρώσεων που επηρεάζεται λόγω κάποιας ρυπογόνου δραστηριότητας πχ. τσιγάρο, μαγείρεμα, τζάκι.
- σε όλες τις κατοικίες οι χώροι ήταν ενιαίοι (κουζίνα – καθιστικό). Δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε δωμάτια.
- δεν υπήρχε κατοικίδιο ζώο σε κάποια από τις κατοικίες.

#### 9.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των συγκεντρώσεων στις 7 κατοικίες. Όπως αναφέρθηκε η αρχική τιμή αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων παρουσία ατόμων πριν την έναρξη κάποιας ρυπογόνου δραστηριότητας και η μέση τιμή προέκυψε μετά από 30 λεπτά μετρήσεων.

Πίνακας 9.2 : Μετρήσεις συγκεντρώσεων

Συγκέντρωση σε mgr/m <sup>3</sup>	Οικία 1	Οικία 2	Οικία 3	Οικία 4	Οικία 5A	Οικία 5B	Οικία 6A	Οικία 6B	Οικία 7A	Οικία 7B
Αρχική τιμή	0,012	0,015	0,018	0,018	0,009	0,009	0,007	0,007	0,006	0,006
Μέση τιμή	0,021	0,028	0,032	0,035	0,032	0,014	0,040	0,045	0,026	0,085
Μέγιστη τιμή	0,032	0,035	0,038	0,042	0,038	0,018	0,055	0,062	0,041	0,117

#### 9.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στις οικίες 1 και 2 δεν υπήρχαν ένοικοί καπνιστές και η μόνη πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων είναι το τζάκι. Παρατηρούμε πως η λειτουργία του τζακιού αυξάνει περίπου κατά 50% τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Πρέπει να σημειωθεί πως οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων έχουν ξεπεράσει την τιμή των 30mgr/m<sup>3</sup> που θεωρείται οριακή για οικία που δεν υπάρχει καπνιστής. Επομένως, η λειτουργία τζακιού συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους.

Στις οικίες 3 και 4 οι ένοικοι είναι καπνιστές και παράλληλα υπάρχει και αναμμένο τζάκι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι αρκετά αυξημένες σε σχέση με τις κατοικίες που δεν υπήρχαν καπνιστές, τόσο οι αρχικές τιμές όσο και οι μέσες τιμές που προέκυψαν με παράλληλη λειτουργία τζακιού. Ιδιαίτερη σημασία έχει πως στην οικία 4 η μέγιστη τιμή είναι ιδιαίτερα αυξημένη και πλησιάζει την οριακή τιμή των 50 mgr/m<sup>3</sup> που ορίζει η οδηγία της Ε.Ε.

Στην οικία 5 οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια μαγειρέματος με ταυτόχρονη ή όχι λειτουργία μηχανικού εξαερισμού (απορροφητήρα). Πιο συγκεκριμένα



κατά τη διάρκεια των μετρήσεων οι ένοικοι τηγάνιζαν ψάρι και δεν υπήρχε άλλη πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων. Στις μετρήσεις 'Οικία 5A' το τηγάνισμα του ψαριού γίνεται χωρίς τη χρήση απορροφητήρα, ενώ στις μετρήσεις 'Οικία 5B' λειτουργεί ο απορροφητήρας. Παρατηρούμε πως η λειτουργία του απορροφητήρα μειώνει σχεδόν κατά 50% τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων που προκύπτουν από τη διαδικασία του τηγανίσματος και σχεδόν οι τελικές τιμές συγκέντρωσης είναι παραπλήσιες με τις τιμές πριν την έναρξη του μαγειρέματος. Συγκρίνοντας τις τελικές τιμές συγκέντρωσης με εκείνες των οικιών που υπήρχαν καπνιστές και τζάκι σε λειτουργία, παρατηρούμε πως το μαγείρεμα, πιο συγκεκριμένα το τηγάνισμα, χωρίς τη χρήση απορροφητήρα προκαλούν παρόμοια μεταβολή στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.

Στην οικία 6 δεν υπήρχε καπνιστής ένοικος και μοναδική πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων είναι το τζάκι. Στη δεύτερη περίπτωση μετρήσεων ('Οικία 6B') λειτουργεί παράλληλα και κλιματιστικό. Στη συγκεκριμένη οικία παρατηρούμε πως η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης έχει ξεπεράσει το όριο των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  τόσο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του τζακιού όσο και κατά την παράλληλη λειτουργία του κλιματιστικού. Η αύξηση της μέσης τιμής και της μέγιστης τιμής συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κλιματιστικού οφείλεται στην επαναιώρηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Τέλος, στην οικία 7 μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με τζάκι αναμμένο και σε λειτουργία ή μη του απορροφητήρα. Στην πρώτη περίπτωση ('Οικία 7A') είναι αναμμένο το τζάκι, δεν υπάρχει καπνιστής ένοικος και δε λειτουργεί ο απορροφητήρας. Στη δεύτερη περίπτωση ('Οικία 7B') το τζάκι είναι αναμμένο και λειτουργεί ο απορροφητήρας. Παρατηρούμε πως τόσο η μέση τιμή όσο και η μέγιστη τιμή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων είναι πολύ αυξημένες και έχουν ξεπεράσει περίπου κατά 100% το όριο των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η αύξηση στην τιμή των συγκεντρώσεων οφείλεται στο γεγονός ότι η χρήση του απορροφητήρα δυσχεραίνει τη λειτουργία του τζακιού, καθώς 'τραβάει' τον καπνό από το τζάκι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στην οικία. Ουσιαστικά,

ο καπνός που προκύπτει από την καύση της βιομάζας εισέρχεται μέσα στο σπίτι αντί να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μέσω της καμινάδας.

Εν κατακλείδι, προκύπτει πως σημαντικές πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους είναι το τζάκι, το κάπνισμα και το μαγείρεμα, καθώς παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων κατά τη διάρκεια αυτών των δραστηριοτήτων. Η λειτουργία του τζακιού και το τσιγάρο παρατηρείται πως έχουν παρόμοια επίδραση στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Η διαδικασία του μαγειρέματος, πιο συγκεκριμένα το τηγάνισμα, φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικό χώρο. Ωστόσο, η λειτουργία του απορροφητήρα είναι δυνατόν να μειώσει δραστικά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων σε τιμές παραπλήσιες με τις αρχικές πριν τη διαδικασία του μαγειρέματος. Τέλος, η χρήση κλιματιστικού συστήματος ή απορροφητήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας τζακιού αυξάνει τις τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων, παρότι και οι δύο συσκευές μεμονωμένα συμβάλλουν στην απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων είναι ένας τομέας που τα τελευταία χρόνια ερευνάται συστηματικά, καθώς με τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, απαιτούμε όλο και πιο άνετο και υγιεινό εσωτερικό περιβάλλον. Στις σημερινές κοινωνίες, οι άνθρωποι ξοδεύουν περίπου 80% - 90% του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους και οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτούς έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις) και στην αποδοτικότητα της εργασίας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το εσωτερικό περιβάλλον είναι κυρίως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα και η κίνηση του αέρα.

Τόσο από τη βιβλιογραφική όσο και την πειραματική έρευνα προέκυψε πως οι σημαντικότερες πηγές αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μαγείρεμα και το κάπνισμα. Αξίζει να σημειωθεί πως η ίδια η παραμονή των ανθρώπων είναι πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων. Οι φυσικές διεργασίες του ανθρώπινου σώματος, όπως ο βήχας, το φτέρνισμα, η αναπνοή και το δέρμα συμβάλλουν στη αύξηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων και κυρίως των PM<sub>10</sub>. Ακόμη, η κίνηση των ανθρώπων μέσα στους εσωτερικούς χώρους προκαλεί μεταβολή στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς οδηγεί στην επαναιώρηση των σωματιδίων.

Η παραμονή των ανθρώπων στους εσωτερικούς χώρους συνδέεται και με ορισμένες δραστηριότητες που με τη σειρά τους αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Το μαγείρεμα, ειδικότερα το τηγάνισμα και το ψήσιμο σε ανοιχτή φλόγα, αυξάνει τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Η χρήση εξαερισμού, απορροφητήρα, είναι δυνατόν να μειώσει σε μεγάλο βαθμό τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Επίσης, το κάπνισμα είναι μια σημαντική πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων. Ο καπνός τους τσιγάρου είναι υπεύθυνος για την παρουσία PM<sub>2,5</sub> στην ατμόσφαιρα. Αρκεί να σημειωθεί πως η απουσία καπνιστών συνεπάγεται τη μείωση των συγκεντρώσεων σωματιδίων κατά 90%. Τέλος, δραστηριότητες που σχετίζονται με την καθαριότητα των κατοικιών αυξάνουν τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων.

Λόγω της παραμονής των ανθρώπων στο εσωτερικό των κτιρίων, πολλές φορές το εσωτερικό τους θερμαίνεται ή ψύχεται, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες Ωστόσο, οι διαδικασίες αυτές συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων. Η καύση βιομάζας είναι μια σημαντική πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων, όπως και η κεντρική θέρμανση. Από την άλλη πλευρά, η χρήση κλιματιστικών μπορεί ενδεχομένως να αυξάνει τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων, αλλά παράλληλα η χρήση τους είναι δυνατόν να μειώσει τις συγκεντρώσεις όζοντος. Τέλος, η χρήση πάνελ υπέρυθρης θέρμανσης δεν προκαλεί μεταβολή στην ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων.

Σε ότι αφορά το πειραματικό μέρος της διπλωματικής, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι σε πλήρη αρμονία με τις βιβλιογραφικές αναφορές. Το κάπνισμα, το μαγείρεμα και το τζάκι αποτελούν τις βασικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα των εσωτερικών χώρων. Η λειτουργία του τζακιού σε μια οικία είναι δυνατόν να ξεπεράσει το όριο των  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  που αποτελεί οριακή τιμή για οικία χωρίς καπνιστή. Το τζάκι και το κάπνισμα φαίνεται να έχουν παρόμοιες επιδράσεις στη μεταβολή των συγκεντρώσεων. Από την άλλη πλευρά, η παράλληλη λειτουργία του τζακιού με τον απορροφητήρα αυξάνει κατακόρυφα τις τιμές των συγκεντρώσεων, όπως και η χρήση του κλιματιστικού. Πρέπει να τονιστεί πως η παράλληλη χρήση τους μπορεί να είναι καθημερινό γεγονός και να οδηγήσει σε υπέρβαση του ορίου των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  που θέτει η Ευρωπαϊκή Οδηγία περισσότερες από τις 35 φορές το χρόνο.

Τελειώνοντας, έχει πολύ μεγάλη σημασία η ενημέρωση του ευρύ κοινού σχετικά με τις επιπτώσεις της ρύπανσης εσωτερικών χώρων και τον περιορισμό της. Ειδικά, τα τελευταία χρόνια που η χρήση του τζακιού αποτελεί μοναδικό τρόπο θέρμανσης πολλών κατοικιών, η ενημέρωση των κατοίκων σχετικά με την εύρυθμη λειτουργία των τζακιών είναι απαραίτητη. Επίσης, ιδιαίτερης σημασίας είναι η γνώση των οδηγιών χρήσεων καθημερινών προϊόντων πχ. απορρυπαντικά, καλλυντικά που συμβάλλουν στη μεταβολή των αιωρούμενων σωματιδίων. Τέλος, ο αερισμός των κατοικιών είναι σημαντικός για τον περιορισμό της ρύπανσης.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γεντεκάκης Ι.Β. (1999). 'Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές τεχνολογίες', Εκδόσεις Τζόλια, Θεσσαλονίκη, ISBN 960-8050-01-4.

Διαπούλη, Ε. (2013). Διαχείριση Αέρα, Ποιότητα της ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς χώρους, Εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος, Ι.Π.Τ.Α., Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος».

Ελευθεριάδης Κ. (2012). Χαρακτηριστικά Ατμοσφαιρικού Αερολύματος (Αιωρούμενων Σωματιδίων) με εφαρμογές στην ποιότητα αέρα, την υγεία και το κλίμα, Εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος, Ι.Π.Τ.Α., Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος»

Καραθανάσης Στ. (2006). 'Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία', Εκδόσεις Τζόλια, Θεσσαλονίκη, ISBN 960-418-0960-7.

ΚΕΕΛΠΙΝΟ, (2012). Γενικές πληροφορίες για τις επιπτώσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης για την Υγεία.

Λαζαρίδης Μ. (2008). Ποιότητα Αέρα σε εσωτερικούς χώρους, Εκδόσεις Τζόλια, Θεσσαλονίκη, ISBN 978-960-418-151-3.

Νικολάου Τ. (2011). Το πρόβλημα της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ρεμουντάκη Ε. (2010). 'Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση', WWF Ελλάς, Αθήνα, ISBN 978-960-7506-14-6.

Ρεμουντάκη Ε. (2012). 'Μηχανισμοί κινητικότητας ρύπων', ΕΜΠ, Αθήνα, Βοηθητικές Σημειώσεις για το Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Προστασίας Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία και Τεχνολογία Υλικών.

Στασινόπουλος Θ.Ν. (2011). ‘Βιοκλιματικός Σχεδιασμός’, ΕΜΠ, Αθήνα, Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα: Βιοκλιματικός Σχεδιασμός, Τμήμα Αρχιτεκτόνων.

Σφακιανάκης Μ. Κ. (2003). ‘Το Εσωτερικό Περιβάλλον, Οι πηγές ρύπανσης του και η διαχείρισή τους’ Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, ISBN 960-411-310-0.

### **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Franek W. and DeRose L. (2003). ‘Principles and Practices of Air Pollution Control’, APTI (US EPA), 3<sup>rd</sup> Edition, United States.

Peavy H., Rowe D. and Tchobanoglous G. (1985). ‘Environmental Engineering’, McGraw-Hill Science, New York 1985, ISBN: 978-0070491342.

Wolverton B.C. (2008). ‘Πώς να καθαρίσετε τον Αέρα, 50 φυτά που Καθαρίζουν την Ατμόσφαιρα στο Σπίτι ή το Γραφείο’, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, ISBN 978-960-7128-26-5, Μετάφραση Ε. Γκαγκάτση.

### **ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ - ΣΥΝΕΔΡΙΑ**

Φιωτάκης Κ., Βλαχογιάννη Θ., Βαλαβανίδης, Αθ. (2009). Εισπνεόμενα αιωρούμενα σωματίδια και μηχανισμοί παραγωγής ελευθέρων ριζών στον ανθρώπινο οργανισμό, *Χημικά Χρονικά*, **10** (71),14-19.

Χαρπαντίδου Ε., Dall’osto M., Καραγεώργος Ε., Λούπα Γ., Ραψομανίκης Σ. (2005). Μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων μέσα σε γραφείο, HELECO (Διεθνής έκθεση και συνέδριο για την τεχνολογία περιβάλλοντος)

### **ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ**

Abdullahi K., Delago-Saborit J. and Harrison R. M. (2013). Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review, *Atmospheric Environment*, **71**, 260-294.

- Alves C., Goncalves C., Fernandes A.P., Tarelho L. and Pio C. (2011). Fireplace and woodstove fine particle emissions from combustion of western Mediterranean wood types, *Atmospheric Research*, **101**, 692-700.
- Andreae M.O. and Rosenfeld D. (2008). Aerosol–cloud–precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols, *Earth-Science Reviews*, **89**, 13–41.
- Balachandran S., Pachon J.E., Lee S., Oakes M.M., Rastogi N., Shi W., Tafaris E., Yan B., Davis A., Zhang X., Weber R.J., Mulholland J.A., Bergin M.H., Zheng M. and Russell A.G. (2011). Particulate and gas sampling of prescribed fires in South Georgia, USA, *Atmospheric Environment*, **81**, 125-135.
- Bernstein J.A., Alexis N., Bacchus H., Bernstein L., Fritz P., Horner E., Li N., Mason S., Nel A., Oullette J., Reijula K., Reponen T., Selzer J., Smith A. and Tarlo S.M. (2008). The health effects of nonindustrial indoor air pollution, *J Allergy Clin Immunol*, **121**, 3, 585-591.
- Biskos, G. (2004). Theoretical and Experimental Investigation of the Differential Mobility Spectrometer, Queen's College.
- Bohac D.L., Heewett M.J., Kapphahn K.I., Grimsrud D.T., Apte M.G. and Gundel L.A. (2010). Change in Indoor Particle Levels After a Smoking Ban in Minnesota Bars and Restaurants, *Am J Prev Med*, **39** (6S1), S3-S9.
- Branis M., Rezacova P. and Domasova M.(2005). The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>1</sub> in a classroom, *Environmental Research*, **99**, 143-149.
- Buonanno G., Stabil L. and Morawska L. (2014). Personal exposure to ultrafine particles: The influence of time-activity patterns, *Science of the Total Environment*, 468-469, 903-907.

- Chuang H., Lin L., Hsu Y., Ma C. and Chuang K. (2013). In-car particles and cardiovascular health: An air conditioning-based intervention study, *Science of the Total Environment*, 452–453, 309–313.
- Daher N., Saleh R., Jaroudi E., Sheheikli H., Badr Th., Sepetdjian E., Rashidi M.A., Saliba N. and Shihadeh A. (2010). Comparison of carcinogen, carbon monoxide, and ultrafine particle emissions from narghile waterpipe and cigarette smoking: Sidestream smoke measurements and assessment of second-hand smoke emission factors, *Atmospheric Environment*, **44**, 8-14.
- Etzel R.A. (2007). Indoor and outdoor air pollution: Tobacco smoke, moulds and diseases in infants and children, *International Journal of Hygiene an Environmental Health*, **210**, 611-616.
- Gao J., Cao C., Zhang X. and Luo Z. (2013a). Volume-based size distribution of accumulation and coarse particles (PM<sub>0.1-10</sub>) from cooking fume during oil heating, *Building and Environment*, **59**, 575-580.
- Gao J., Cao Ch., Xiao Q., Xu B., Zhou X. and Zhang X. (2013b). Determination of dynamic intake fraction of cooking-generated particles in the kitchen, *Building and Environment*, **65**, 146-153.
- Gehin E., Ramalho O. and Kirchner S. (2008). Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities, *Atmospheric Environment*, **42**, 8341–8352.
- Gmachowski L. (2013). The aerosol particle collision kernel considering the fractal model of particle motion, *Journal of Aerosol Science*, **59**, 47-56.



- Golkarfard V. and Talebizadeh P. (2013). Numerical comparison of airborne particles deposition and dispersion in radiator and floor heating systems, *Advanced Powder Technology*, Article in Press.
- Goncalves C., Alves C., Fernandes A.P., Monteiro C., Tarelho L., Evtyugina M. and Pio C., (2011). Organic compounds in PM<sub>2.5</sub> emitted from fireplace and woodstove combustion of typical Portuguese wood species, *Atmospheric Environment*, **45**, 4533-4545.
- Grassi C., Narduzzi P. and Tognotti L. (2004). Atmospheric Matter by SEM-EDX, 13<sup>th</sup> World Clean Air and Environmental Protection Congress and Exhibition, London, UK.
- Guo H., Morawska L., He C. and Gilbert D. (2008). Impact of ventilation scenario on air exchange rates and on indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom, *Atmospheric Environment*, **42**, 757–768.
- Fabian M. P., Adamkiewicz G., Kay Stout N., Sandel M. and Levy J.I. (2013). A simulation model of building intervention impacts on indoor environmental quality, pediatric asthma and costs, *J Allergy Clin Immunol*, Article in Press.
- Ferro R. A., Kopperub J. R. and Hildemann M. L. (2004). Elevated personal exposure to particulate matter from human activities in a residence, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **14**, 34–40.
- Fuoco F.C., Buonanno G., Stabile L. and Vigo P. (2014). Influential parameters on particle concentration and size distribution in the mainstream of e-cigarettes, *Environmental Pollution*, **184**, 523-529.
- Han Y., Hu Y and Qian F. (2011). Effects of air temperature and humidity on particle deposition, *Chemical Engineering Research and Design*, **89**, 2063-2069.

- Harrison R.M. and Yin J. (2000). Particulate matter in the atmosphere : which properties are important for its effects on health? *The Science of the Total Environment*, **249**, 85-101.
- Howard-Reed C., Wallace L.A. and Emmerich S.J. (2003). Effect of ventilation systems and air filters on decay rates of particles produced by indoor sources in an occupied townhouse, *Atmospheric Environment*, **37**,5295–5306.
- Hunt A., Johnson D.L. and Griffith D.A. (2006). Mass transfer of soil indoors by track-in on footwear, *Science of the Total Environment*, **370**, 360-371.
- Jonsson P., Benneta C., Eliasson I. and Selin Lindgren E. (2004). Suspended particulate matter and its relations to the urban climate in Dar es Salaam, Tanzania, *Atmospheric Environment*, **38**, 4175–4181.
- Karib E. and Kim K. (2011). An investigation on hazardous and odorous pollutant emission during cooking activities, *Journal of Hazardous Materials*, **188**, 443-454.
- Konstantopoulou S. S., Behrakis P.K., Lazaris A.C. and Nikolopoulou-Stamati P. (2014). Indoor air quality in a bar/restaurant before and after the smoking ban in Athens, Greece, *Science of the Total Environment*, 476-477, 136-143.
- Lai A.C.K. and Ho Y.W. (2008). Spatial concentration variation of cooking-emitted particles in a residential kitchen, *Building and Environment*, **43**, 871-876.
- MacNeill M., Wallace L., Kearney J., Allen R.W., Van Ryswyk K., Judek S., Xu X. and Wheeler A. (2012). Factors influencing variability in the infiltration of PM<sub>2.5</sub> mass and its component, *Atmospheric Environment*, **61**, 518-532.
- Mayya Y.S., Sapra B.K., Khan A. and Synny F. (2004). Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments, *Aerosol Science*, **35**, 923–941.

- Milner J.T., Dimitroulopoulou C. and ApSimon H.M. (2004). Indoor concentrations in buildings from sources outdoors, ADMLC.
- Moshammer H. and Neuberger M. (2008). The active surface of suspended particles as a predictor of lung function and pulmonary symptoms in Austrian school children, *Atmospheric Environment*, 1737-1744.
- Nieboer E., Thomassen Y., Chashchin V., Odland J.O., (2005), Occupational Exposure assessment of metals - Metals in Perspective, *Journal of Environmental Monitoring* ,7, 411-415.
- Novoselac A. and Siegel J.A.(2009). Impact of placement of portable air cleaning devices in multizone residential Environments, *Building and Environment*, **44**,2348–2356.
- Orch Z., Stephens B. and Waring M.S. (2014). Predictions and determinants of size-resolved particle infiltration factors in single-family homes in the U.S., *Building and Environment*, **74**, 106-118.
- Ott W.R. and Siegmann H.C. (2006). Using multiple continuous fine particle monitors to characterize tobacco, incense, candle, cooking, wood burning, and vehicular sources in indoor, outdoor, and in-transit settings, *Atmospheric Environment*, **40**, 821-843.
- Park J., Young Yoon K. and Hwang J. (2011). Removal of submicron particles using a carbon fiber ionizer-assisted medium air filter in a heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) system, *Building and Environment*, **46**, 1699-1708.
- Petal V., Thomson G. and Wilson N. (2012). Smoking increases air pollution levels in city streets: Observational and fine particulate data, *Health & Place*, **18**, 1202-12-5.
- Perino C. (2010). Atmospheric Particulate Matter, Proceedings of a C.I.S.B. Minisymposium, 35-43.

- Place F.P., Ziemba D.L. and Griffin J.R. (2010). Observations of nucleation-mode particle events and size distributions at a rural New England site, *Atmospheric Environment*, **44**, 88-94.
- Qian J., Peccia J., Ferro A.R. and (2014). Walkinhg-induced particle resuspension in indoor environments, *Atmospheric Environment*, **89**, 464-481.
- Repace J.L., Jiang R., Acevedo-Bolton V., Cheng K., Klepeis N.E., Ott W.R. and Hildemann L.M. (2011). Fine particle air pollution and secondhand smoke exposures and risks inside 66 US casinos, *Environmental Research*, **111**, 473-484.
- Salthammer T., Svhrripp T., Wientzek S. and Wensing M. (2013). Impact of operating wood-burning fireplace ovens on indoor air quality, *Chemosphere*, Article in Press.
- Salthammer T. (2011). Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values, *Chemosphere*, **82**, 1507-1517.
- See S. W. and Balasubramanian R. (2008). Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods, *Atmospheric Environment*, **42**, 8852-8862.
- Spilak M.P., Frederiksen M., Kolarik B. and Gunnarsen L. (2014). Exposure to ultrafine particles in relation to indoor events and dwelling characteristics, *Building and Envrionment*, **74**, 65-74.
- Spolnik Z. ,Worobiec A., Samek L., Bencs L., Belikov K. and Grieken R. (2007). Influence of different types of heating systems on particulate air pollutant deposition: The case of churches situated in a cold climate, *Journal of Cultural Heritage*, **8**, 7-12.
- Stabile L., Fuocco F.C. and Buonanno G. (2012). Characteristics of particles and black carbon emitted by combustion of incenses, candles and anti-mosquito products, *Building and Environment*, **56**, 184-191.

Torkmahalleh M.A., Zhao Y., Hopke P.K., Rossner A. and Ferro A.R. (2013). Additive impacts on particle emissions from heating low emitting cooking oils, *Atmospheric Environment*, **74**, 194-198.

U.S. E.P.A. (1999). *Indoor Air Pollution – An Introduction for Health Professionals*, Washington DC, U.S. Environmental Protection Agency, Indoor Air Division.

Wallace L.A., Emmerich S.J. and Howard-Reed C. (2004). Effect of central fans and in-duct filters on deposition rates of ultrafine and fine particles in an occupied townhouse, *Atmospheric Environment*, **38**, 405–413.

Wan M., Wu C., Sze To G., Chan T. and Chao C. (2011). Ultrafine particles, and PM2.5 generated from cooking in homes, *Atmospheric Environment*, **45**, 6141-6148.

Weichenthal S., Dufresne A., Infante-Rivard C. and Joseph L. (2007). Indoor ultrafine particle exposures and home heating systems: A cross-sectional survey of Canadian homes during the winter months, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, **17**, 288–297.

Yu B.F., Hu Z.B., Liu M., Yang H.L., Kong Q.X. and Liu Y.H. (2009). Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health, *Journal of refrigeration*, **32**, 3 – 20.

#### **ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ**

Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Εύρεση στις 10 Νοεμβρίου 2013, στην ιστοσελίδα: <http://www.who.int>. Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>

Διάκριση των πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Εύρεση στις 10 Νοεμβρίου 2013, στην ιστοσελίδα: [www.ecodonet.gr](http://www.ecodonet.gr). Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>

Εξαερισμός κτιρίων. Εύρεση στις 21 Μαρτίου 2014, στην ιστοσελίδα: [www.cres.gr](http://www.cres.gr).  
Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.

Εξαερισμός κτιρίων. Εύρεση στις 21 Μαρτίου 2014, στην ιστοσελίδα: [www.ktirio.gr](http://www.ktirio.gr).  
Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>

Κεντρική θέρμανση. Εύρεση στις 2 Μαρτίου 2014, στην ιστοσελίδα: [www.cres.gr](http://www.cres.gr).  
Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.

Πηγές ατμοσφαιρικής Ρύπανσης/ Επιδράσεις της ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Εύρεση στις 10 Νοεμβρίου 2013, στην ιστοσελίδα: [www.gr.european-lung-foundation.org](http://www.gr.european-lung-foundation.org).  
Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.

Ρύπανση εσωτερικών χώρων. Εύρεση στις 25 Νοεμβρίου 2013, στην ιστοσελίδα: [www.air-quality.gr](http://www.air-quality.gr). Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.

Ρύπανση εσωτερικών χώρων. Εύρεση στις 25 Νοεμβρίου 2013, στην ιστοσελίδα: [www.technicalreview.gr](http://www.technicalreview.gr). Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.

Ρύπανση εσωτερικών χώρων. Εύρεση στις 25 Νοεμβρίου 2013, στην ιστοσελίδα: [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org). Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.

Ρύποι εσωτερικών χώρων. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2013, στην ιστοσελίδα: [www.food-info.gr](http://www.food-info.gr). Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.

Radiator. Εύρεση στις 24 Μαρτίου 2013, στην ιστοσελίδα: [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org).  
Αναζήτηση στον δικτυακό τόπο: <http://www.google.gr>.