

**Διπλωματική Εργασία**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΣΤΟ  
ΔΗΜΟ ΚΟΖΑΝΗΣ»**

**Γαληνός Κωνσταντίνος**

**Σαμπαζιώτης Βασίλειος**

**Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος**

**Επιβλέπων: Δρ. Μπάρτζης Ιωάννης**

**Τριμελής επιτροπή:**

**Δρ. Μπάρτζης Ιωάννης**

**Δρ. Μαρνέλλος Γεώργιος**

**Δρ. Κικινίδης Ευστάθιος**

**Κοζάνη, 2014**



## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Εκτίμηση της ποιότητας αέρα κατοικιών στο δήμο Κοζάνης » πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας .

Σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs) , αλδεϋδών και διοξειδίου του αζώτου σε 3 κατοικίες στην πόλη της Κοζάνης .

Την ανάθεση, την επίβλεψη και το συντονισμό της διπλωματικής εργασίας είχε ο κύριος Μπάρτζης Ιωάννης, καθηγητής του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, υπεύθυνος του τομέα « περιβάλλον και ενέργεια» και Διευθυντής του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Περιβάλλοντος.

Ευχαριστούμε θερμά την Κρυσταλλία Καλημέρη για τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μας εργασίας καθώς και τον Διδάκτορα Χημείας Τόλη Ευάγγελο για τη βοήθεια που παρείχε με τις εργαστηριακές αναλύσεις.

Οφείλουμε τέλος να ευχαριστήσουμε τους ενοίκους των τριών κατοικιών στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις για την εμπιστοσύνη τους και την υπομονή τους.

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Εκτίμηση της ποιότητας αέρα κατοικιών στο δήμο Κοζάνης» εκπονήθηκε κατά το έτος 2011 με σκοπό τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων, των αλδεϋδών καθώς και του διοξειδίου του αζώτου σε κτήρια κατοικιών στην πόλη της Κοζάνης αλλά και στις επιπτώσεις που προκαλούν αυτές οι ενώσεις στη ανθρώπινη υγεία.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρεις κατοικίες στην πόλη της Κοζάνης τον Οκτώβριο του 2011 και διήρκεσαν μία εβδομάδα.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται οι ενώσεις που μελετήθηκαν καθώς και τα συμπτώματα τους στην ανθρώπινη υγεία

Στο πειραματικό μέρος παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων .

Στο τελευταίο μέρος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την έρευνα και προτείνονται λύσεις για τον περιορισμό των προβλημάτων.

## Περιεχόμενα

1. Η ποιότητα του αέρα.....	7
1.1 Ο αέρας που αναπνέουμε.....	7
1.2 Η ποιότητα του αέρα ως Ευρωπαϊκό και διεθνές πρόβλημα.....	8
1.3 Η ρύπανση του αέρα εσωτερικών και εξωτερικών χώρων.....	10
2. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων.....	12
2.1 Τι είναι η ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων.....	12
2.2 Η σημασία της μελέτης της ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων σε αριθμούς.....	12
2.3 Οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων... ..	14
2.3.1 Οι διάφοροι ρύποι που μολύνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα και οι πηγές τους ... ..	14
2.3.2 Ο αερισμός του χώρου.....	18
2.3.3 Η θερμοκρασία.....	19
2.4 Το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου.....	20
2.4.1 Τα αίτια του συνδρόμου άρρωστου κτιρίου.....	21
2.4.2 Λύσεις για το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου.....	21
2.5 Οι ευπαθείς πληθυσμιακές ομάδες.....	22
3. Παρουσίαση των ρύπων που μελετήθηκαν.....	24
3.1 Πτητικές οργανικές ενώσεις.....	24
3.1.1 Βενζόλιο.....	25
3.1.2 Ξυλόλιο.....	25
3.1.3 Οκτάνιο.....	25
3.1.4 Αιθυλοβενζόλιο.....	26
3.1.5 Τολουόλιο.....	26
3.1.6 1,2,4 Τριμεθυλοβενζόλιο.....	27
3.1.7 α-Πινένιο.....	27
3.1.8 d-Λιμονένιο.....	27
3.1.9 Ναφθαλένιο.....	27
3.2 Αλδεΐδες.....	28
3.3 Διοξείδιο του αζώτου.....	32
4. Πειραματικός εξοπλισμός.....	35
4.1 Πειραματικός εξοπλισμός για τη δειγματοληψία των ρύπων.....	35

4.2 Πειραματικός εξοπλισμός για την εργαστηριακή ανάλυση και τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των δειγμάτων.....	39
4.2.1 Πειραματικός εξοπλισμός για την εργαστηριακή ανάλυση και τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων.....	39
4.2.1.1 Agilent 6890n/5973 Gas Chromatograph/Mass Selective Detector System .....	39
4.2.2 Πειραματικός εξοπλισμός για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης φορμαλδεΐδης .....	44
4.2.2.1 Agilent 1100 Series HPLC Value System.....	44
4.2.3 Πειραματικός εξοπλισμός για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου.....	46
4.3 Πειραματικός εξοπλισμός για τον υπολογισμό θερμοκρασίας, υγρασίας.....	49
[Πειραματικός εξοπλισμός για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και την καταγραφή των συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας].....	49
4.3.1 Hobo U12 Temp/RH/2 External Channel Logger.....	50
5. Μεθοδολογία δειγματοληψίας, αποθήκευσης και φυσικοχημικής ανάλυσης των δειγμάτων.....	50
<b>5.1 Μεθοδολογία εσωτερικής και εξωτερικής δειγματοληψίας των ρύπων .....</b>	<b>51</b>
5.1.1 Μεθοδολογία αποθήκευσης των δειγμάτων.....	51
5.2 Μεθοδολογία φυσικοχημικών αναλύσεων των δειγμάτων για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων.....	52
5.2.1 Μεθοδολογία ανάλυσης πτητικών οργανικών ενώσεων .....	52
5.2.2 Μεθοδολογία ανάλυσης φορμαλδεΐδης .....	53
5.2.3 Μεθοδολογία ανάλυσης διοξειδίου του αζώτου .....	54
6.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.....	55
6.1.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις α-πινένιου.....	63
6.1.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις d-λιμονένιου .....	65
6.1.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις ναφθαλενίου .....	68
6.1.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις τολουολίου .....	71
6.1.6 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Αιθυλοβενζολίου .....	74
6.1.7 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις p,m και ο-Ξυλένιου.....	77
6.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις αλδεΐδων. ....	82
6.3.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Φορμαλδεΐδης.....	82
6.3.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Ακεταλδεΐδης.....	85
6.3.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Ακρολεΐνης.....	88
6.3.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Ακετόνης. ....	88

6.3.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Προπιοναλδεΐδης. ....	91
6.3.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις για την 2-βουτανόνη.....	93
6.3.7 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Βουτυραλδεΐδης.....	95
6.3.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Βενζαλδεΐδης.....	98
6.3.9 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Εξαλδεΐδης.....	100
6.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις διοξειδίου του αζώτου .....	102
7. Συμπεράσματα – Προτάσεις .....	105
8. Βιβλιογραφία.....	106

# 1. Η ποιότητα του αέρα

## 1.1 Ο αέρας που αναπνέουμε

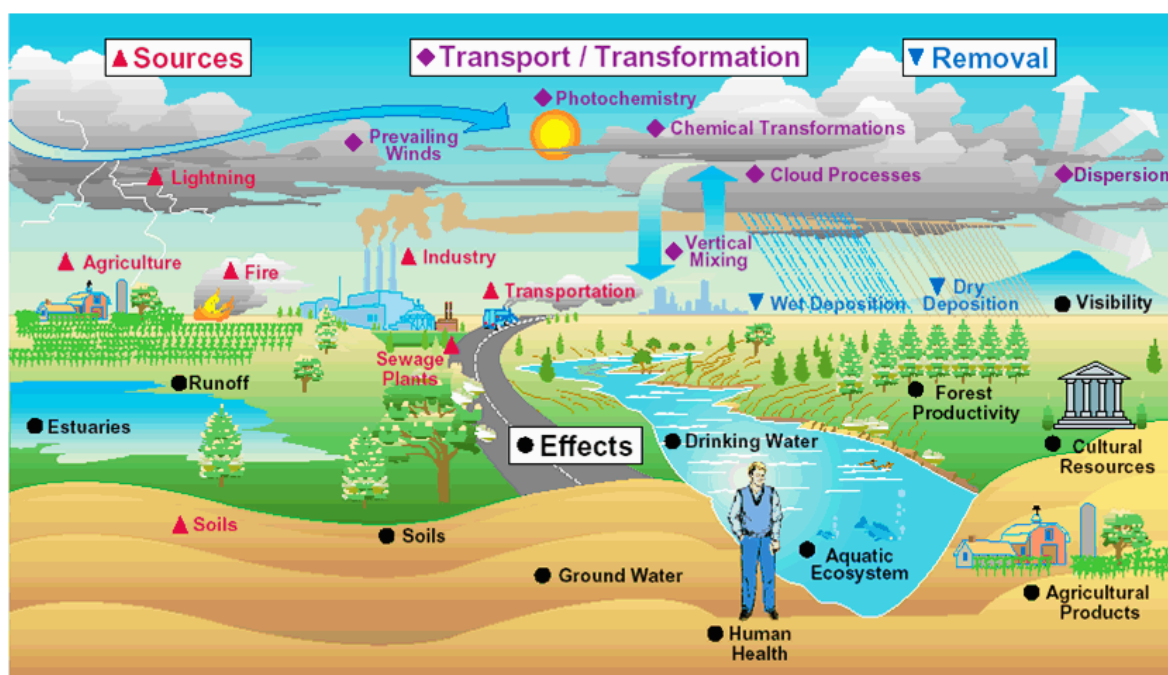
Ο ανθρώπινος οργανισμός χρειάζεται να καταναλώνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα ποσότητες νερού και τροφής, καθώς επίσης και μία συνεχή παροχή αέρα, προκειμένου να επιτελέσει αποτελεσματικά τις ζωτικές λειτουργίες του. Ο αέρας εισέρχεται στον οργανισμό μέσω της εισπνοής. Έπειτα, φιλτράρεται στους πνεύμονες και στη συνέχεια το οξυγόνο μεταφέρεται, μέσω της αιμοσφαιρίνης, στους ιστούς για να λάβει μέρος στις διαδικασίες της καύσης του οργανισμού. Ο αέρας που αναπνέουμε είναι ένα μίγμα αερίων που περιλαμβάνει, εκτός από το απαραίτητο οξυγόνο, άζωτο, νερό, αργό, διοξείδιο του άνθρακα και αέρια σε μικρές συγκεντρώσεις (trace gases). Καθημερινά εισπνέουμε 10 με 20 m<sup>3</sup> αέρα, καθώς παίρνουμε 26.000 αναπνοές. **Η πρόσβαση σε αποδεκτής ποιότητας αέρα είναι θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα και βασική ζωτική ανάγκη.** Αν ο αέρας του περιβάλλοντος περιέχει μολυσματικές ουσίες, αυτές εισέρχονται στον οργανισμό μέσω της αναπνοής και μπορούν να επηρεάσουν την υγεία. Συνεπώς, για να προστατευθεί η ανθρώπινη υγεία θα πρέπει ο αέρας να διατηρείται όσο το δυνατόν καθαρότερος.

Η ποιότητα του αέρα μέσα σε σπίτια, γραφεία, βρεφονηπιακούς σταθμούς, δημόσια και ιδιωτικά κτίρια, εγκαταστάσεις υγείας και γενικότερα σε χώρους που οι άνθρωποι περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους, είναι καθοριστικός παράγοντας υγιούς ζωής και ευημερίας. Οι επικίνδυνες ουσίες που εκλύονται από τα κτίρια και τα υλικά κατασκευής τους, τον οικιακό εξοπλισμό ή ως απόρροια της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως η χρήση καυσίμων ή η καύση ξύλων για το μαγείρεμα και τη θέρμανση, οδηγούν σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων υγείας που μπορούν να είναι ακόμα και θανατηφόρα. Επιπλέον, η χρήση των οχημάτων με κινητήρες προκαλεί την έκλυση επικίνδυνων χημικών ουσιών. Οι χημικές ουσίες και τα σωματίδια που έχουν την ικανότητα να βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία ονομάζονται «ρύποι». Η συσσώρευσή τους στον αέρα προκαλεί την αέρια ρύπανση, η επικινδυνότητα της οποίας εξαρτάται από τη συγκέντρωση των παραγόμενων ρύπων και τον ρυθμό εξάπλωσής τους.

Υπάρχουν διάφορες χημικές ουσίες που απελευθερώνονται στον αέρα από φυσικές αλλά και από ανθρωπογενείς πηγές. Οι ποσότητες ποικίλουν μεταξύ εκατοντάδων και εκατομμυρίων τόνων ετησίως. Η φυσική μόλυνση του αέρα προέρχεται από διάφορες έμβιες και αβιοτικές πηγές, όπως είναι τα φυτά, η ραδιενεργός διάσπαση, οι πυρκαγιές των δασών, τα ηφαίστεια και οι υπόλοιπες γεωθερμικές πηγές, καθώς επίσης και οι εκπομπές από το έδαφος και το νερό (Σχήμα 1.1). Αυτές επιδρούν στη συγκέντρωση ρύπων στο φυσικό περιβάλλον που ποικίλει ανάλογα με τις τοπικές πηγές ρύπανσης ή τις καιρικές συνθήκες. Η ανθρωπογενής ρύπανση του αέρα υπάρχει τουλάχιστον από την εποχή της ανακάλυψης της χρήσης της φωτιάς, εντάθηκε όμως δραματικά μετά την έναρξη της περιόδου της Βιομηχανικής Επανάστασης. Παρόλα αυτά, η αύξηση της αέριας ρύπανσης που προέρχεται από την ευρεία χρήση ορυκτών πηγών ενέργειας και την ανάπτυξη και χρήση των χημικών, συνοδεύτηκε από την ευαισθητοποίηση και την ανησυχία του πληθυσμού για τις επιζήμιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Επιπρόσθετα, η γνώση γύρω από τη φύση, την ποσότητα, τη φυσικοχημική συμπεριφορά και τις επιπτώσεις των αέριων ρυπαντών έχει αυξηθεί κατά πολύ τα τελευταία χρόνια.



Ωστόσο υπάρχουν ακόμα μεγάλα περιθώρια περαιτέρω έρευνας, ειδικά σε νέους επιστημονικούς τομείς, όπως η αναπτυξιακή τοξικότητα (δηλαδή η επικινδυνότητα μιας ουσίας που προκαλείται από την λήψη μιας ουσίας, πριν ή μετά την σύλληψη του εμβρύου, η οποία σχετίζεται με τις βλάβες στην ανάπτυξη του).



Σχήμα 1.1: Οι διαδρομές της ρύπανσης του αέρα

Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι ευρείες. Στους ανθρώπους η εναπόθεση στους πνεύμονες και η απορρόφηση εισπνεόμενων χημικών μπορεί να επιφέρει άμεσες επιπτώσεις στην υγεία. Επιπλέον, η δημόσια υγεία μπορεί να επηρεαστεί έμμεσα, λόγω της εναπόθεσης αέριων ρυπαντών στο περιβάλλον και την πρόσληψή τους από φυτά και ζώα, με αποτέλεσμα τα χημικά να εισέρχονται στη διατροφική αλυσίδα ή το νερό, συνιστώντας έτσι πρόσθετες πηγές ανθρώπινης έκθεσης. Ακόμα, οι άμεσες επιδράσεις των αέριων ρυπαντών σε φυτά, ζώα και χώμα μπορούν να επηρεάσουν τη δομή και τη λειτουργία ολόκληρων οικοσυστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της ιδιότητας της αυτορρύθμισης, επενεργώντας έτσι αρνητικά στην ποιότητα ζωής.

## 1.2 Η ποιότητα του αέρα ως Ευρωπαϊκό και διεθνές πρόβλημα

Οι Ευρωπαϊκές χώρες από το 1980, αναγνωρίζοντας την ιδιαίτερη σημασία του περιβάλλοντος για την υγεία και την ευημερία του ατόμου, υιοθετούν στρατηγικές, οι οποίες έχουν σαν στόχο να μειώσουν τους πιο βλαβερούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η διαδικασία τροχοδρομείται από υπουργικές διασκέψεις που διεξάγονται κάθε πέντε χρόνια και οργανώνονται από τα Ευρωπαϊκά περιφερειακά γραφεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ. Ευρώπη). Ο κύριος στόχος της Κοινοτικής πολιτικής για την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η επίτευξη επιπέδων ποιότητας αέρα, τέτοιων ώστε να μην υπάρχουν σημαντικοί κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία. Μέχρι στιγμής έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην Ευρώπη για την αντιμετώπιση των ρύπων του εξωτερικού αέρα μέσω της Κοινοτικής νομοθεσίας που υπάρχει από το 1970 και των προτύπων ποιότητας αέρα από το 1980. Η νομοθεσία αυτή επικαιροποιείται συνεχώς.

Τα πιο πρόσφατα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζονται με την Οδηγία – πλαίσιο της ποιότητας αέρα του 1996, όπως επίσης και από επόμενες Οδηγίες. Οι Οδηγίες για την ποιότητα αέρα επιβάλλουν στα κράτη – μέλη να οργανώσουν και να διατηρήσουν ένα σύστημα για την αξιολόγηση της εξωτερικής ποιότητας αέρα και να εκπονήσουν σχέδια δράσης για την επίτευξη των στόχων των Οδηγιών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Έχουν υιοθετηθεί όρια τιμών για τους συνηθέστερους ρύπους όπως το διοξείδιο του θείου, ο μόλυβδος και τα αιωρούμενα σωματίδια. Επίσης, το 2001 η Επιτροπή εισήγαγε το πρόγραμμα Καθαρός Αέρας για την Ευρώπη (Clean Air for Europe, CAFÉ) για να προετοιμάσει μία μακροχρόνια στρατηγική κατά της αέριας ρύπανσης, η οποία υιοθετήθηκε στις 21 Σεπτεμβρίου 2005.

Το 2002 τέθηκαν προς αντιμετώπιση τέσσερις τομείς προτεραιότητας στο Έκτο Κοινωνικό Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον (Sixth Community Environment Action Programme) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ένας από τους τομείς προτεραιότητας είναι ο τομέας Περιβάλλον, Υγεία και Ποιότητα Ζωής. Το 2003 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια νέα Στρατηγική για το Περιβάλλον και την Υγεία (Strategy on Environment and Health), με στόχο τη μείωση των ασθενειών που προκαλούνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες στην Ευρώπη. Η αέρια ρύπανση είναι ένα από τα κύρια ζητήματα περιβαλλοντικής μόλυνσης που σχετίζονται επιβεβαιωμένα, μεταξύ άλλων, με προβλήματα υγείας, όπως αναπνευστικές ασθένειες, άσθμα και αλλεργίες. Αυτή η στρατηγική ακολουθήθηκε με την ψήφιση από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο του Σχεδίου Δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το Περιβάλλον και την Υγεία (the EU Action Plan on Environment and Health) για την περίοδο 2004 - 2010. Σε αυτό το σχέδιο, η «Δράση 12» στοχεύει στη βελτίωση του αέρα εσωτερικών χώρων. Επιπλέον, ορόσημο σε όλη αυτή τη διαδικασία, ήταν η υπογραφή της Διακήρυξης της Πάρμα για το περιβάλλον και την υγεία (Parma Declaration on Environment and Health) από τα Ευρωπαϊκά κράτη - μέλη του Π.Ο.Υ. το 2010. Η προαναφερθείσα υπουργική διακήρυξη της Πάρμα επισημαίνει τη δέσμευση να αντιμετωπιστούν, ως προτεραιότητα, οι κοινωνικοοικονομικές ανισότητες όσον αφορά το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων. Όλες αυτές οι πρωτοβουλίες αναγνωρίζουν τη σημασία μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής για την αέρια ρύπανση που να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τον αέρα εξωτερικών χώρων αλλά και τους ρύπους των εσωτερικών χώρων.

Πολλές χώρες του Ευρωπαϊκού χώρου αντιμετωπίζουν κοινά προβλήματα αέριας ρύπανσης, εν μέρει επειδή οι πηγές μόλυνσης είναι παρόμοιες και προπαντός λόγω του ότι η αέρια ρύπανση δεν «αναγνωρίζει» εθνικά σύνορα. Το ζήτημα της διασυνοριακής, ευρείας κλίμακας μεταφοράς της αέριας ρύπανσης έχει απασχολήσει την Ευρώπη κατά την τελευταία δεκαετία. Επίσης, γίνονται διεθνείς προσπάθειες για την καταπολέμηση των εκπομπών ρύπων, όπως για παράδειγμα στα πλαίσια της Σύμβασης για τη Διασυνοριακή Ατμοσφαιρική Ρύπανση σε Μεγάλες Αποστάσεις (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη.

Από τις παραπάνω δράσεις, εύκολα συμπεραίνεται ότι τις τελευταίες δεκαετίες έχουν καταβληθεί μεγάλες προσπάθειες για τη μείωση της αέριας ρύπανσης στην Ευρώπη. Οι εκπομπές των κύριων αέριων ρύπων έχουν ελαττωθεί σημαντικά. Η δραστηκότερη μείωση συνέβη στο διοξείδιο του θείου, οι συνολικές εκπομπές του οποίου, μειώθηκαν κατά περίπου 50 % στην περίοδο 1980 - 1995. Η μείωση της εκπομπής οξειδίων του αζώτου ήταν

μικρότερη και παρατηρήθηκε μόνο μετά το 1990. Συγκεκριμένα, αυτή μειώθηκε κατά 15% την περίοδο 1990 - 1995. Η ελάττωση της εκπομπής διοξειδίου του θείου γίνεται αντιληπτή από τις φθίνουσες συγκεντρώσεις στον αέρα των αστικών περιοχών. Λιγότερο ευδιάκριτες είναι οι τάσεις των συγκεντρώσεων άλλων ρύπων στον αστικό αέρα όπως το διοξείδιο του αζώτου ή τα αιωρούμενα σωματίδια και θεωρείται ότι αυτοί οι ρύποι εξακολουθούν να συνιστούν σημαντικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Προκειμένου να τονιστεί η σπουδαιότητα που αποδίδει η Ευρωπαϊκή Ένωση στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, το έτος 2013 ανακηρύχτηκε ως «Ευρωπαϊκό Έτος Αέρα» (Σχήμα 1.2). Κατά τη διάρκεια αυτού του έτους, ο καθαρός αέρας θα βρεθεί στο επίκεντρο της Ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής, θα επανεξεταστεί η Ευρωπαϊκή Θεματική Στρατηγική για τη Ρύπανση του Αέρα (EU Thematic Strategy on Air Pollution), μία από τις 7 Θεματικές Στρατηγικές που χαράχθηκαν από το Έκτο Κοινοτικό Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον και θα ολοκληρωθούν οι συζητήσεις που ξεκίνησαν το 2012 για την επικαιροποίηση της σχετικής Ευρωπαϊκής νομοθεσίας.



**Σχήμα 1.2: 2013, Ευρωπαϊκό Έτος Αέρα**

Εκτός από τον Ευρωπαϊκό χώρο, έχουν θεσπιστεί όρια για συγκεκριμένους ρύπους από διεθνείς φορείς, όπως ο Π.Ο.Υ., αλλά και εθνικούς, όπως οι United States Environmental Protection Agency – EPA (Η.Π.Α.), Office of Environmental Health Hazard Assessment – ΟΕΗΗΑ (Καλιφόρνια, Η.Π.Α.), Agency for Toxic Substances and Disease Registry – ATSDR (Τζόρτζια, Η.Π.Α.), Umweltbundesamt – UBA (Γερμανία), Health Canada (Καναδάς) και άλλοι

### **1.3 Η ρύπανση του αέρα εσωτερικών και εξωτερικών χώρων**

Η υποχρέωση για την μείωση των επιπέδων έκθεσης σε αέριους ρύπους είναι πολυσύνθετη. Ξεκινά με μια ανάλυση προκειμένου να καθοριστούν τα χημικά που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, σε τι επίπεδα βρίσκονται και αν αυτά τα πιθανά επίπεδα είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Έπειτα, πρέπει να αποφασιστεί αν υπάρχει μη αποδεκτός κίνδυνος. Όταν ένα πρόβλημα εντοπιστεί, θα πρέπει να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν στρατηγικές αντιμετώπισής του, προκειμένου να αποφευχθεί ο υπερβολικός κίνδυνος για τη δημόσια υγεία με τον πιο αποδοτικό και οικονομικό τρόπο. Οι αναλύσεις των προβλημάτων της αέριας ρύπανσης είναι αρκετά πολύπλοκες. Κάποιες είναι εθνικής εμβέλειας, όπως για παράδειγμα ο ορισμός των πραγματικών επιπέδων έκθεσης του πληθυσμού, ο καθορισμός του αποδεκτού κινδύνου και των αποτελεσματικότερων στρατηγικών ελέγχου. Αντίθετα, άλλες μπορούν να

εφαρμοστούν σε όλες τις χώρες, όπως η ανάλυση της συσχέτισης των επιπέδων έκθεσης σε χημικά, των δόσεων τους και των επιδράσεών τους.

Η αμεσότερη και σημαντικότερη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης που επηρεάζει την υγεία πολλών ανθρώπων είναι ο καπνός του τσιγάρου. Ακόμα και όσοι δεν καπνίζουν μπορούν να εισπνεύσουν τον καπνό που παράγεται από άλλους (παθητικό κάπνισμα). Η ρύπανση εσωτερικών χώρων γενικότερα και πιο συγκεκριμένα η έκθεση στον εργασιακό χώρο συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική ανθρώπινη έκθεση, καθώς ο άνθρωπος περνάει το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας σε κλειστούς χώρους. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, εισπνεόμενων σωματιδίων, φορμαλδεΐδης και ραδονίου είναι συνήθως υψηλότερες σε σχέση με τις εξωτερικές.

Η αέρια ρύπανση εξωτερικών χώρων μπορεί να προέρχεται από μία σημειακή πηγή που μπορεί να επηρεάσει μόνο μία σχετικά μικρή περιοχή. Πολύ συχνά η εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται από ένα μείγμα ρυπαντών από μία ποικιλία διάχυτων πηγών όπως η κυκλοφοριακή κίνηση και η θέρμανση, αλλά και από σημειακές πηγές. Τέλος, εκτός από αυτούς που εκπέμπονται από τοπικές πηγές, οι ρύποι που μεταφέρονται σε μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις επιβαρύνουν τα γενικά επίπεδα μόλυνσης.

Η σχετική συμβολή των πηγών εκπομπής στην ανθρώπινη έκθεση σε αέρια ρύπανση ποικίλει ανάλογα με την περιοχή και τον τρόπο ζωής. Για κάποιους ρύπους, η ατμοσφαιρική ρύπανση εσωτερικών χώρων είναι σημαντικότερη αυτής των εξωτερικών, αυτό όμως σε καμία περίπτωση δε μειώνει τη σημασία της δεύτερης. Οι ποσότητες των ρύπων εξωτερικών χώρων μπορούν να έχουν επιβλαβείς επιδράσεις σε ζώα, φυτά και υλικά και δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επιπρόσθετα, οι ρύποι που παράγονται σε εξωτερικούς χώρους είναι δυνατόν να διεισδύσουν στο εσωτερικό περιβάλλον και να βλάψουν την ανθρώπινη υγεία, μέσω της έκθεσης του ατόμου τόσο σε ρύπους εξωτερικών όσο και σε ρύπους εσωτερικών χώρων.

## 2. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων

### 2.1 Τι είναι η ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων

Τα τελευταία χρόνια, ο αυξανόμενος όγκος επιστημονικών δεδομένων έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι ο αέρας μέσα σε σπίτια και άλλα κτίρια μπορεί να είναι περισσότερο μολυσμένος, σε σχέση με τον εξωτερικό αέρα, ακόμα και στις μεγαλύτερες και πιο βιομηχανικές πόλεις. Επιπλέον, είναι γνωστό ότι **ο μέσος άνθρωπος περνάει το 90 % της ζωής του μέσα σε εσωτερικούς χώρους**. Συνεπώς, για ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού, οι κίνδυνοι για την υγεία από την έκθεση σε αέρια ρύπανση εσωτερικών χώρων μπορεί να είναι σοβαρότεροι, σε σχέση με την έκθεση στους ρύπους του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Ο όρος «*ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων*» αναφέρεται στην ποιότητα του αέρα στο σπίτι, στο γραφείο, στο σχολείο, καθώς επίσης και σε οποιοδήποτε άλλο κτιριακό περιβάλλον. Οι περισσότεροι ρυπαντές που επιδρούν στην ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων προέρχονται από πηγές μέσα σε κτίρια, αν και κάποιος προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές είναι τα προϊόντα καύσης, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, τα αιωρούμενα σωματίδια και ο καπνός του τσιγάρου. Επίσης, ουσίες φυσικής προέλευσης όπως το ραδόνιο, βιολογικοί παράγοντες όπως η μούχλα, τα παρασιτοκτόνα, ο μόλυβδος, ο άσβεστος, το όζον και διάφορα πτητικά οργανικά συστατικά από πλήθος προϊόντων και υλικών ανήκουν στους συνηθέστερους ρύπους. Οι συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων μέσα σε εσωτερικούς χώρους έχουν αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας παραγόντων όπως η κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων με αυξημένη χρήση συνθετικών υλικών κατασκευής, η επίπλωση, τα προϊόντα προσωπικής υγιεινής, τα παρασιτοκτόνα και τα καθαριστικά οικιακής χρήσης.

### 2.2 Η σημασία της μελέτης της ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων σε αριθμούς

Η φτωχή ποιότητα αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος είναι παγκόσμιο ζήτημα. Πάνω από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι εκτίθενται τακτικά σε επίπεδα αέριας ρύπανσης εσωτερικού περιβάλλοντος που υπερβαίνουν τις οδηγίες του Π.Ο.Υ., έως και 100 φορές.

Η αέρια ρύπανση είναι ένα μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα για την υγεία που επηρεάζει τόσο τις αναπτυγμένες όσο και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η παγκόσμια ανησυχία αφορά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στις πόλεις, καθώς και στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα, συμπεριλαμβανομένου του χώρου εργασίας, τόσο στις αγροτικές όσο και στις αστικές περιοχές. Η υψηλότερη έκθεση σε αέρια ρύπανση λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό περιβάλλον και ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Προκειμένου να κατανοηθεί το μέγεθος του προβλήματος, παρατίθενται χαρακτηριστικά δεδομένα από τον Π.Ο.Υ. και την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Environmental Protection Agency – EPA), σχετικά με τις επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους:

- Περίπου 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι μαγειρεύουν και θερμαίνουν τις κατοικίες τους, χρησιμοποιώντας ορυκτά καύσιμα σε φωτιές και σόμπες που παρουσιάζουν διαρροές ρύπων της καύσης. Περίπου 2,7 δισεκατομμύρια καίνε βιομάζα (ξύλο,

κοπριά ζώων, απόβλητα καλλιεργειών) και επιπλέον 0,4 δισεκατομμύρια χρησιμοποιούν άνθρακα.

- Σχεδόν 2 εκατομμύρια άνθρωποι ετησίως πεθαίνουν πρόωρα εξαιτίας ασθενειών που οφείλονται στην αέρια ρύπανση εσωτερικών χώρων που προέρχεται από την καύση στερεών καυσίμων. Από αυτούς τους θανάτους το 44 % οφείλεται στην πνευμονία, το 54 % στη χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και το 2 % στον καρκίνο των πνευμόνων.
- Περίπου το 50 % των παιδικών θανάτων από πνευμονία οφείλεται σε εισπνεόμενα αιωρούμενα σωματίδια από τον ρυπογόνο αέρα εσωτερικών χώρων.
- Περισσότεροι από 1 εκατομμύριο άνθρωποι ανά έτος πεθαίνουν από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια που αναπτύσσουν κατά την έκθεσή τους σε μολυσμένο αέρα σε εσωτερικούς χώρους.
- Άντρες και γυναίκες που εκτίθενται σε μεγάλες ποσότητες καπνού μέσα σε εσωτερικούς χώρους έχουν 2 - 3 φορές περισσότερες πιθανότητες να εμφανίσουν χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια.
- Η ΕΡΑ κατατάσσει τη φτωχή ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων ως την τέταρτη σημαντικότερη περιβαλλοντική απειλή στις Η.Π.Α..
- Στις Η.Π.Α., τα άτομα που πάσχουν από διάφορες αλλεργίες ανέρχονται στα 40 εκατομμύρια. Η απόκτηση γνώσης για τον έλεγχο του οικιακού περιβάλλοντος, προκειμένου να ελαττωθούν τα επίπεδα των αλλεργιογόνων, είναι σημαντική για τη διαχείριση των αλλεργιών και του άσθματος. Τα άτομα που υποφέρουν από άσθμα ή από ασθένειες του αναπνευστικού διατρέχουν πιθανώς μεγαλύτερο κίνδυνο επιπλοκών στη υγεία τους, οι οποίες σχετίζονται με φτωχή ποιότητα αέρα στα σπίτια τους.
- Το άσθμα αποτελεί την έκτη σε κατάταξη χρόνια ασθένεια για τις Η.Π.Α και την πρώτη για τον παιδικό πληθυσμό της χώρας αυτής.
- Στην Ευρώπη, η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια μειώνει το προσδόκιμο ζωής για κάθε κάτοικο κατά σχεδόν ένα έτος, κυρίως λόγω του αυξημένου κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακών και αναπνευστικών ασθενειών και καρκίνου των πνευμόνων.
- Περίπου 40 εκατομμύρια κάτοικοι στις 115 μεγαλύτερες πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναπνέουν αέρα, του οποίου τουλάχιστον ένας ρύπος υπερβαίνει τα αποδεκτά όρια του Π.Ο.Υ.. Τα παιδιά που κατοικούν κοντά σε δρόμους με αυξημένη κίνηση οχημάτων έχουν διπλάσιες πιθανότητες εμφάνισης αναπνευστικών προβλημάτων σε σχέση με αυτά που κατοικούν σε περιοχές με μικρότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. οι κυριότερες συνέπειες της κακής ποιότητας αέρα στην υγεία είναι οι εξής:

### **Πνευμονία**

Σχεδόν οι μισοί θάνατοι στα παιδιά κάτω των 5 ετών αποδίδονται σε οξείες λοιμώξεις του κατώτερου αναπνευστικού, οι οποίες οφείλονται σε αιωρούμενα σωματίδια που

εισπνέονται, μέσω του μολυσμένου από την καύση στερεών καυσίμων αέρα εσωτερικών χώρων.

### **Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια**

Οι γυναίκες που εκτίθενται σε μεγάλες ποσότητες καπνού μέσα σε εσωτερικό χώρο έχουν 3 φορές περισσότερες πιθανότητες να νοσήσουν από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, όπως για παράδειγμα η χρόνια βρογχίτιδα, σε σχέση με τις γυναίκες που χρησιμοποιούν καθαρότερα καύσιμα. Στους άντρες, οι οποίοι ήδη διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης κάποιας χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας, λόγω των υψηλότερων ποσοστών καπνίσματος, η έκθεση σε καπνό μέσα σε κλειστούς χώρους σχεδόν διπλασιάζει αυτόν τον κίνδυνο.

### **Καρκίνος των πνευμόνων**

Σχεδόν το 1,5 % των θανάτων, εξαιτίας του καρκίνου των πνευμόνων ετησίως αποδίδεται στην έκθεση σε αέρια ρύπανση εσωτερικού περιβάλλοντος, καρκινογόνου μορφής. Όπως συμβαίνει και με τη βρογχίτιδα, ο κίνδυνος για τις γυναίκες είναι μεγαλύτερος εξαιτίας του ρόλου τους στην προετοιμασία του φαγητού. Επίσης, οι γυναίκες που σε κλειστούς χώρους αναπνέουν αέρα μολυσμένο με καπνό έχουν διπλάσια πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου των πνευμόνων.

### **Άλλες επιπτώσεις στην υγεία**

Σε γενικές γραμμές, τα αιωρούμενα σωματίδια και άλλοι ρύποι στον αέρα εσωτερικών χώρων προκαλούν φλεγμονές στις αναπνευστικές οδούς και τους πνεύμονες, εξασθενώντας το ανοσοποιητικό σύστημα και ελαττώνοντας την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο. Υπάρχουν επίσης ενδείξεις σύνδεσης της κακής ποιότητας αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος με χαμηλό βάρος βρεφών, φυματίωση, ισχαιμική καρδιοπάθεια και καρκίνους του ρινοφάρυγγα και του λάρυγγα.

## **2.3 Οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων**

Στο εξής κεφάλαιο αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων.

### **2.3.1 Οι διάφοροι ρύποι που μολύνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα και οι πηγές τους**

Οι ρύποι εσωτερικών χώρων προέρχονται από πολλές πηγές, οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως εσωτερικές και εξωτερικές.

Εσωτερικές πηγές ονομάζονται οι πηγές που βρίσκονται μέσα στα ίδια τα κτίρια. Οι πηγές καύσης σε εσωτερικούς χώρους, συμπεριλαμβανομένου του τσιγάρου, οι συσκευές μαγειρικής και θέρμανσης και τα τζάκια, απελευθερώνουν βλαβερά παραπροϊόντα καύσης, όπως μονοξείδιο του άνθρακα και αιωρούμενα σωματίδια. Επιπλέον, καθαριστικά προϊόντα, βαφές, εντομοκτόνα και άλλα ευρέως χρησιμοποιούμενα προϊόντα εισάγουν στον αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος πολλά διαφορετικά χημικά, συμπεριλαμβανομένων

των πτητικών οργανικών συστατικών. Τα οικοδομικά υλικά είναι επίσης πιθανές πηγές ρύπανσης είτε μέσω υλικών που αλλοιώνονται (π.χ. ίνες άσβεστου από τη μόνωση κτιρίου) ή από νέα υλικά (π.χ. εκπομπή χημικών από προϊόντα πεπεσμένου ξύλου), όπως επίσης και από τις κόλλες, τα χαλιά, τα καλύμματα επιπλώσεων, τα κατασκευασμένα προϊόντα ξύλου, τα φωτοτυπικά μηχανήματα, τα παρασιτοκτόνα και τα προϊόντα καθαριότητας που μπορεί να εκπέμπουν πτητικές οργανικές ουσίες. Άλλες ουσίες στον εσωτερικό αέρα προέρχονται από φυσικές πηγές, όπως η μούχλα, το νεκρό δέρμα και τα περιττώματα των ζώων.

Ο εξωτερικός αέρας που εισέρχεται σε ένα κτίριο μπορεί να αποτελέσει πηγή ρύπανσης του αέρα εσωτερικών χώρων. Για παράδειγμα, ρύποι από την εξάτμιση οχημάτων ή εκπομπές από υδραυλικές σωληνώσεις και τη χρήση χώρων του κτιρίου γενικότερα (μπάνια, κουζίνες), είναι δυνατόν να εισέλθουν στο κτίριο από αγωγούς πρόσληψης αέρα, τοποθετημένους σε κακή θέση, από παράθυρα καθώς και από άλλα ανοίγματα. Επιπλέον, προϊόντα καύσης μπορούν να εισχωρήσουν στο κτίριο από κοντινά γκαράζ. Οι εξωτερικές πηγές ρύπανσης απελευθερώνουν ρύπους, οι οποίοι εισέρχονται στα κτίρια μέσα από ανοικτές πόρτες, ανοικτά παράθυρα, συστήματα αερισμού, από χαραμάδες καθώς επίσης και από τα θεμέλια του κτιρίου. Το ραδόνιο σχηματίζεται στο έδαφος καθώς το ουράνιο στο χώμα και στα πετρώματα διασπάται και μπορεί να εισέλθει στα κτίρια μέσω χαραμάδων ή κενών στη δομή τους. Σε περιοχές με μολυσμένα υπόγεια ύδατα ή χώμα, τα πτητικά χημικά εισέρχονται στα κτήρια με τον ίδιο τρόπο. Τα πτητικά οργανικά του νερού απελευθερώνονται στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων, καθώς οι χρήστες του το χρησιμοποιούν, όπως για παράδειγμα στο μαγείρεμα και το μπάνιο. Τέλος, όταν τα άτομα εισέρχονται σε έναν εσωτερικό χώρο, μπορούν ακούσια να μεταφέρουν χώμα και σκόνη από το εξωτερικό περιβάλλον στα παπούτσια και στα ρούχα τους, μαζί με τους ρύπους που θα έχουν προσκολληθεί πάνω τους.

Οι συνηθέστεροι ρύποι που μολύνουν τον αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος και οι επιπτώσεις τους (Σχήμα 1.3) είναι οι εξής:

### ***Χημικά για συγκεκριμένη χρήση ή από ακούσιες εκπομπές διαφορετικών πηγών***

Εκατοντάδες πιθανώς επιβλαβή χημικά εκπέμπονται από καθαριστικά οικιακής χρήσης, προϊόντα προσωπικής υγιεινής, παρασιτοκτόνα, βαφές, προϊόντα δραστηριοτήτων ελεύθερου χρόνου και διαλυτικά υγρά. Τέτοια χημικά μπορούν να προκαλέσουν ζαλάδες, ναυτία, αλλεργικές αντιδράσεις, ερεθισμό των ματιών, του δέρματος και της αναπνευστικής οδού και καρκίνο. Ο ερεθισμός των ματιών και των ανώτερων αεραγωγών είναι ένα χαρακτηριστικό αποτέλεσμα της έκθεσης σε ρύπους αέρα εσωτερικού χώρου και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Ο ερεθισμός των αισθητηρίων οργάνων μπορεί να προκαλείται από συγκεκριμένα χημικά αλλά και από παράγοντες όπως η πολύ χαμηλή υγρασία του αέρα. Επίσης, οι δυσοσμίες είναι γενικά ανεπιθύμητες σε εσωτερικούς χώρους. Οι οσμές αυτές καθαυτές δεν προκαλούν τοξικολογικές βλάβες αλλά μπορούν να αυξήσουν την αναφορά συμπτωμάτων όπως για παράδειγμα ο πονοκέφαλος, η ναυτία και ο ερεθισμός ματιών και λαιμού. Άλλα συμπτώματα της έκθεσης σε οσμές είναι ο υπεραερισμός (εισπνοή μεγαλύτερων ποσοτήτων αέρα από αυτές που χρειάζεται ο οργανισμός) ή οι εξαρτημένες συναισθηματικές αντιδράσεις (hyper ventilation or conditioned emotional responses).



Η συλλογή δεδομένων, προκειμένου να χαρακτηριστεί το επίπεδο του κινδύνου των χημικών ουσιών, περιγράφεται στο Έγγραφο Τεχνικής Καθοδήγησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αξιολόγηση των κινδύνων όσον αφορά τις νέες και τις υπάρχουσες ουσίες (Technical Guidance Document, TGD). Πληροφορίες για τις σημαντικές ή λιγότερο σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία μπορούν να ληφθούν από τοξικολογικές βάσεις δεδομένων και πηγές. Ωστόσο, για τα περισσότερα από τα χημικά που εντοπίζονται στον αέρα εσωτερικών χώρων, δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για πιθανές επιπτώσεις (καρκινογόνες, μεταλλαξιογόνες, επιπτώσεις στην αναπαραγωγή) από μακροχρόνια έκθεση.

### ***Τα αιωρούμενα σωματίδια***

Τα αιωρούμενα σωματίδια στον ατμοσφαιρικό αέρα συνδέονται με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, οι οποίες περιλαμβάνουν αναπνευστικές και καρδιαγγειακές βλάβες. Τα αιωρούμενα σωματίδια του εξωτερικού αέρα μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένο φορτίο σωματιδίων μέσα στον αέρα εσωτερικών χώρων, αλλά υπάρχουν και εσωτερικές πηγές, όπως η καύση και το μαγείρεμα. Μπορούν επίσης να σχηματιστούν από αντιδράσεις μεταξύ όζοντος και ορισμένων πτητικών οργανικών ενώσεων. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται σταδιακά περισσότερα τεχνητά νανοσωματίδια σε καταναλωτικά αγαθά, χωρίς ωστόσο οι επιδράσεις τους ως ρυπαντές του αέρα εσωτερικών χώρων να είναι ακόμα γνωστές.

### ***Το ραδόνιο***

Το ραδόνιο στον εσωτερικό αέρα συνδέεται με τον καρκίνο των πνευμόνων. Το αέριο ραδόνιο διαχέεται, μέσω του χώματος, στις κατοικίες, σε περιοχές όπου το έδαφος περιέχει μεγάλες ποσότητες ουρανίου. Επιπλέον, το ραδόνιο εξατμίζεται από το νερό οικιακής χρήσης στον αέρα κατά τη θέρμανσή του. Έχουν μετρηθεί υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου σε πολλές χώρες. Η έκθεση σε ραδόνιο σε εσωτερικούς χώρους είναι η δεύτερη αιτία καρκίνου των πνευμόνων στις Η.Π.Α. προκαλώντας 21 χιλιάδες θανάτους ετησίως.

### ***Οι ρύποι που απελευθερώνονται κατά την καύση***

Οι ρύποι της καύσης προέρχονται από πηγές, όπως οι σόμπες που καίνε καύσιμο, οι λέβητες, τα τζάκια, οι συσκευές θέρμανσης χώρων και νερού, οι οποίες χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, πετρέλαιο, άνθρακα, ξύλο ή κάποιο άλλο καύσιμο. Οι πιο επικίνδυνοι ρύποι είναι τα άχρωμα και άοσμα αέρια μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του αζώτου. Το μονοξείδιο του άνθρακα εμποδίζει τη μεταφορά οξυγόνου στον οργανισμό, με αποτέλεσμα την εμφάνιση κόπωσης, πονοκεφάλων, αποπροσανατολισμού, ναυτίας και ζαλάδας. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι θανατηφόρο. Το διοξείδιο του αζώτου ερεθίζει τις βλεννώδεις μεμβράνες στα μάτια, τη μύτη και το λαιμό και μπορεί να προκαλέσει ταχύπνοια (περισσότερες από 20 αναπνοές ανά λεπτό) και εμφάνιση μολύνσεων.

### ***Ο καπνός του τσιγάρου***

Ο καπνός του τσιγάρου είναι ένας πολύ σοβαρός ρύπος του αέρα εσωτερικών χώρων. Περιέχει περίπου 200 γνωστά δηλητήρια, όπως η φορμαλδεΐδη και το μονοξείδιο του

άνθρακα και τουλάχιστον 60 χημικά που είναι επιβεβαιωμένο ότι προκαλούν καρκίνο. Στις Η.Π.Α., στους μη καπνιστές, κάθε χρόνο επιφέρει 3 χιλιάδες θανάτους από καρκίνο των πνευμόνων και 5<sup>ο</sup> χιλιάδες θανάτους από καρδιοπάθειες. Στα παιδιά και ιδιαίτερα στα βρέφη, ο καπνός του τσιγάρου ευθύνεται για πνευμονία, μολύνσεις της κατώτερης αναπνευστικής οδού και των αυτιών. Προκαλεί την ανάπτυξη άσθματος, την εμφάνιση ασθματικών επεισοδίων και την επιδείνωσή τους.

### ***Η άσβεστος***

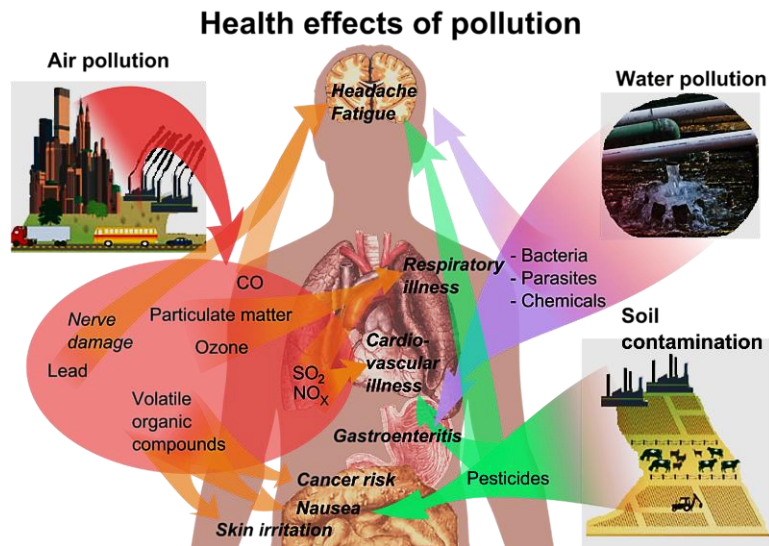
Ένα μη εύφλεκτο υλικό που μπορεί να παράγει μικροσκοπικές ίνες, οι οποίες όταν εισέρχονται στους πνεύμονες, μέσω της εισπνοής, μπορούν να προκαλέσουν ασβέστωση (δημιουργία ουλών στον πνευμονικό ιστό), καρκίνο των πνευμόνων και έναν άλλο καρκίνο, το μεσοθηλίωμα. Πολλά προϊόντα ασβέστου βρίσκονται στο σπίτι, όπως υλικά στέγης και δαπέδου, μονώσεις για τις οροφές, τους τοίχους, τους σωλήνες και τον εξοπλισμό θέρμανσης.

### ***Η φορμαλδεΐδη***

Ένα κοινό χημικό, που εντοπίζεται κυρίως σε κόλλες ή συγκολλητικούς παράγοντες σε πολλά υλικά που βρίσκονται σε σπίτια και γραφεία όπως χαλιά, ταπετσαρίες, μοριοσανίδες και επενδύσεις κόντρα πλακέ. Η απελευθέρωση φορμαλδεΐδης στον αέρα επιφέρει προβλήματα υγείας, όπως βήχα, ερεθισμούς ματιών, μύτης και λαιμού, εξανθήματα, πονοκεφάλους και ζαλάδα.

### ***Οι βιολογικοί ρυπαντές***

Στους βιολογικούς ρύπους του αέρα εσωτερικών χώρων ανήκουν η μούχλα, τα βακτήρια, τα παράσιτα, οι ιοί, η γύρη, το νεκρό δέρμα των ζώων και σωματίδια από ακάρεα σκόνης και κατσαρίδων. Όλα τα παραπάνω είναι σημαντικές πηγές αλλεργιογόνων εσωτερικού αέρα (αεροαλλεργιογόνα). Η έκθεση σε αυτά μπορεί να διαφέρει, λόγω των πολιτισμικών συνθηκών και τα αλλεργιογόνα από κατσαρίδες και ποντίκια είναι πιο διαδεδομένα στα κέντρα των πόλεων. Η έκθεση σε αεροαλλεργιογόνα μπορεί να επιφέρει ευαισθητοποίηση του οργανισμού και έκκριση αντισωμάτων ανοσοσφαιρίνης E (IgE). Τα αντισώματα IgE προκαλούν την ανάπτυξη ρινίτιδας και άσθματος, αλλεργικών ασθενειών της αναπνευστικής οδού. Η επιστημονική βιβλιογραφία για την επαφή με κατοικίδια ζώα και τις επιδράσεις της στην ανάπτυξη άσθματος είναι διφορούμενες. Ωστόσο, οι ευπαθείς ομάδες θα πρέπει να αποφεύγουν την έκθεση σε αλλεργιογόνα που επιφέρουν αλλεργικές αντιδράσεις. Τα συμπτώματα που σχετίζονται με τη βιολογική μόλυνση είναι ο βήχας, το σφίξιμο στο στήθος, ο πυρετός, το ρίγος, οι μυϊκοί πόνοι ή αλλεργικές αντιδράσεις όπως ο ερεθισμός των βλεννωδών μεμβρανών και η απόφραξη του άνω αναπνευστικού. Ένα βακτήριο εσωτερικού χώρου, η Legionella, προκαλεί τη νόσο των Λεγεωνάριων και τη νόσο Pontiac Fever.



**Σχήμα 2.1: Οι συνηθέστεροι ρύποι του ατμοσφαιρικού αέρα και οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία**

### 2.3.2 Ο αερισμός του χώρου

Εκτός από τις πηγές των αέριων ρύπων εσωτερικών χώρων, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για να καθοριστούν οι συγκεντρώσεις τους είναι ο ρυθμός εναλλαγής του εσωτερικού με τον εξωτερικό αέρα. Ο ρυθμός εναλλαγής επηρεάζεται από τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τις λειτουργικές παραμέτρους των κτιρίων και είναι τελικά συνάρτηση της διήθησης (του αέρα που ρέει μέσα στις δομές του κτιρίου διαμέσου ανοιγμάτων, αρμών και χαραμάδων σε τοίχους, δάπεδα και οροφές και γύρω από πόρτες και παράθυρα), του φυσικού αερισμού (αέρας που ρέει διαμέσου ανοιχτών παραθύρων και πορτών) και του μηχανικού (τεχνητού) αερισμού (αέρας που εξαναγκάζεται να εισέλθει σε εσωτερικούς χώρους ή να εξέλθει από αυτούς με χρήση συσκευών αερισμού, όπως ανεμιστήρες ή συστήματα χειρισμού του αέρα).

Στις αρχές με μέσα του 1900, στις Η.Π.Α., οι απαιτήσεις του αερισμού ενός κτιρίου ανέρχονταν σε 15 κυβικά πόδια εξωτερικού αέρα ανά λεπτό ανά ένοικο, κυρίως για τη μείωση και την απομάκρυνση των σωματικών οσμών. Ωστόσο, ως συνέπεια του εμπόργκο του πετρελαίου το 1973, τα μέτρα που θεσπίστηκαν για την εξοικονόμηση ενέργειας συνιστούσαν μια μείωση της παρεχόμενης για αερισμό ποσότητας εξωτερικού αέρα σε 5 κυβικά μέτρα ανά λεπτό, ανά ένοικο. Σε πολλές περιπτώσεις αυτοί οι μειωμένοι λόγοι αερισμού κρίθηκαν ανεπαρκείς για τη διατήρηση της υγείας και της άνεσης των ενοίκων των κτιρίων. Ο ανεπαρκής αερισμός, ο οποίος μπορεί να προκύψει αν τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού δε διανέμουν αποτελεσματικά τον αέρα στα

άτομα μέσα στο κτίριο θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Σε μια προσπάθεια να επιτευχθούν αποδεκτά επίπεδα ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων, ελαττώνοντας την κατανάλωση ενέργειας, η Αμερικανική Κοινότητα Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE), πρόσφατα αναθεώρησε το πρότυπο αερισμού, με ελάχιστη απαίτηση παροχής εξωτερικού αέρα ανά άτομο τα 15 κυβικά πόδια ανά λεπτό (20 κυβικά πόδια ανά λεπτό ανά άτομο σε γραφεία). Σε ορισμένους χώρους, όπως οι χώροι καπνιστών, ενδέχεται να απαιτούνται έως 60 κυβικά πόδια εξωτερικού αέρα ανά λεπτό ανά άτομο, ανάλογα με τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα μέσα σε αυτούς (ASHRAE Standard 62-1989). Ειδικότερα για τις σχολικές αίθουσες, η ASHRAE προτείνει ως ελάχιστο ρυθμό αερισμού τα 8 l/s ανά άτομο, που μεταφράζεται σε περίπου 3 ACH (Air Changes per Hour, Εναλλαγές Αέρα ανά Ώρα) (ASHRAE Standard 62-2001).

Οι κλιματικές και καιρικές συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με τη συμπεριφορά των χρηστών του κτιρίου, μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Οι καιρικές συνθήκες καθορίζουν αν οι χρήστες του κτιρίου ανοίγουν ή κλείνουν τα παράθυρα, αν χρησιμοποιούν συστήματα κλιματισμού, υγραντήρες ή συστήματα θέρμανσης, τα οποία μπορούν να επιδράσουν στην ποιότητα του αέρα μέσα στο κτίριο. Ορισμένες κλιματικές συνθήκες μπορούν να αυξήσουν την πιθανότητα ανάπτυξης υγρασίας ή μούχλας στο χώρο αν αυτές δεν ρυθμίζονται από ένα επαρκές σύστημα αερισμού ή κλιματισμού. Οι χαμηλοί ρυθμοί αερισμού, καθώς επίσης και οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα εσωτερικών χώρων, συνδέονται με την υγεία και τις εκτιμήσεις των αποτελεσμάτων της ποιότητας αέρα. Επίσης, ο ρυθμός αερισμού συνδέεται με την απόδοση κατά την εργασία και την ακαδημαϊκή επίδοση των μαθητών.

### **2.3.3 Η θερμοκρασία**

Η βασική προϋπόθεση για την ποιότητα του αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος είναι η κατάλληλη θερμοκρασία. Οι ακραίες θερμοκρασίες αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για την υγεία, και οι πολύ χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες θεωρούνται δυσάρεστες. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες, για παράδειγμα, επιδεινώνουν τις βλαβερές επιδράσεις της ανεπαρκούς υγρασίας.

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι η σύνδεση ανάμεσα στους κοινούς αέριους ρύπους εσωτερικού περιβάλλοντος, του αερισμού και της θερμοκρασίας του χώρου και των βλαβερών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία είναι αποδεδειγμένη. Το ραδόνιο είναι γνωστή καρκινογόνος ουσία για τον άνθρωπο και η δεύτερη αιτία εμφάνισης καρκίνου των πνευμόνων. Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι τοξικό και η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε αυτό μέσα σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να αποβεί θανάσιμη. Επιπλέον τα επεισόδια της νόσου των Λεγεωνάριων συνδέονται με κτίρια που έχουν συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, τα οποία δεν συντηρούνται αποτελεσματικά. Επιπρόσθετα, πολλοί ρύποι εσωτερικού αέρα όπως τα ακάρεα σκόνης, η μούχλα, το νεκρό δέρμα των κατοικίδιων ζώων, ο καπνός του τσιγάρου, τα αλλεργιογόνα των κατσαρίδων και άλλα προκαλούν κρίσεις άσθματος σε πάσχοντες μετά από την έκθεσή τους σε αυτά.

Ενώ αυτές και άλλες επιβλαβείς επιπτώσεις για την υγεία αποδίδονται σε συγκεκριμένους ρύπους, η επιστημονική κατανόηση ορισμένων ζητημάτων ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων, συνεχίζει να εξελίσσεται. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου, το οποίο λαμβάνει χώρα όταν, ενώ οι χρήστες ενός κτιρίου βιώνουν παρόμοια συμπτώματα κάθε φορά, κατά την παραμονή τους σε ένα συγκεκριμένο κτίριο, τα συμπτώματα αυτά μειώνονται ή εξαφανίζονται όταν αυτοί φεύγουν από το κτίριο. Αυτά τα συμπτώματα αποδίδονται όλο και περισσότερο σε μια ποικιλία χαρακτηριστικών του εσωτερικού αέρα του κτιρίου.

Οι ερευνητές επίσης εξετάζουν περαιτέρω τη σχέση μεταξύ εσωτερικού αέρα και σημαντικών θεμάτων που δε σχετίζονται απαραίτητα με την υγεία, όπως η επίδοση των μαθητών στην τάξη και η παραγωγικότητα σε εργασιακά περιβάλλοντα. Μια άλλη εξελισσόμενη περιοχή έρευνας είναι ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η λειτουργία και η συντήρηση του «πράσινου κτιρίου» το οποίο επιτυγχάνει ενεργειακή εξοικονόμηση και βελτιώνει την ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων του.

## 2.4 Το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου

Ο όρος «*σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου*» (Sick Building Syndrome, SBS) χρησιμοποιείται για να περιγράψει καταστάσεις, κατά τις οποίες οι χρήστες του κτιρίου παρουσιάζουν οξεία συμπτώματα στην υγεία και την άνεσή τους, τα οποία φαίνεται να συνδέονται με το χρόνο παραμονής τους σε ένα κτίριο, ενώ καμία συγκεκριμένη ασθένεια ή ακριβής αιτία γι' αυτά τα συμπτώματα δε μπορεί να προσδιοριστεί. Τα παράπονα των χρηστών μπορούν να περιορίζονται σε έναν μόνο συγκεκριμένο χώρο ή μία ζώνη του κτιρίου ή μπορεί να αφορούν το σύνολο των χώρων του. Σε αντίθεση με το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου, για να ορίσουμε εκείνη την κατάσταση όπου τα συμπτώματα ασθενειών που μπορούν να διαγνωστούν, ταυτοποιούνται και μπορούν να αποδοθούν σε αιωρούμενους ρύπους του κτιρίου, χρησιμοποιείται ο όρος «*ασθένεια σχετιζόμενη με το κτίριο*» (Building Related Illness, BRI).

Το 1984 μια αναφορά επιτροπής του Π.Ο.Υ. έδειξε ότι μέχρι και το 30 % των καινούριων ή ανακαινισμένων κτιρίων μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο παραπόνων που σχετίζονται με την ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων. Συνήθως, αυτή η κατάσταση είναι παροδική, αλλά ορισμένα κτίρια έχουν μακροχρόνια προβλήματα. Συχνά, προκύπτουν προβλήματα όταν ένα κτίριο χρησιμοποιείται ή συντηρείται με τρόπο που είναι ασύμβατος με τον σχεδιασμό του. Επίσης, κάποιες φορές, τα προβλήματα του εσωτερικού αέρα είναι αποτέλεσμα του κακού κτιριακού σχεδιασμού ή της δραστηριότητας των χρηστών του.

Για να επιβεβαιωθεί η ύπαρξη του συνδρόμου άρρωστου κτιρίου θα πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:

- Οι χρήστες του κτιρίου παραπονιούνται για συμπτώματα που σχετίζονται με οξεία δυσφορία όπως για παράδειγμα πονοκέφαλο, ερεθισμό ματιών, μύτης, λαιμού,

ξηρού βήχα, ξηροδερμίας ή φαγούρας, ζαλάδα, ναυτία, δυσκολία στη συγκέντρωση, κόπωση και ευαισθησία στις οσμές.

- Η ακριβής αιτία των συμπτωμάτων δεν είναι γνωστή.
- Οι περισσότερες καταγγελίες αναφέρουν ανακούφιση από τα συμπτώματα αμέσως μετά την έξοδο από το κτίριο.

#### **2.4.1 Τα αίτια του συνδρόμου άρρωστου κτιρίου**

Παρόμοια με τις αιτίες της κακής ποιότητας εσωτερικού αέρα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα ακόλουθα έχουν αναφερθεί ως αιτίες ή ως παράγοντες που συνεισφέρουν στην ανάπτυξη του συνδρόμου άρρωστου κτιρίου:

- Ο ανεπαρκής αερισμός
- Οι χημικοί ρύποι από εσωτερικές πηγές
- Οι χημικοί ρύποι από εξωτερικές πηγές
- Οι βιολογικοί ρύποι

#### **2.4.2 Λύσεις για το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου**

Οι λύσεις για το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου συνήθως περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πρακτικές:

##### ***Απομάκρυνση ή τροποποίηση της πηγής των ρύπων***

Η απομάκρυνση ή τροποποίηση της πηγής των ρυπαντών είναι μία αποτελεσματική προσέγγιση επίλυσης ενός προβλήματος ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου, όταν οι πηγές είναι γνωστές και ο έλεγχος δυνατός. Για παράδειγμα, πιθανές λύσεις θα ήταν: η περιοδική συντήρηση των συστημάτων θέρμανσης – ψύξης – κλιματισμού με καθαρισμό ή αλλαγή των φίλτρων τους, η αντικατάσταση χαλιών με λεκέδες νερού, η εφαρμογή περιορισμών στο κάπνισμα, η κατεύθυνση προς τον εξωτερικό αέρα των ρύπων που εκπέμπονται εσωτερικά, η αποθήκευση των βαφών, διαλυτικών, κολλών και παρασιτοκτόνων σε καλά αεριζόμενες περιοχές, καθώς και η χρήση τους, κατά το δυνατόν, σε περιόδους μη χρήσης του κτιρίου. Επιπλέον, θα πρέπει να επιτρέπεται να περάσει ένα χρονικό διάστημα μετά το χτίσιμο ή την αναπαλαίωση, ώστε τα υλικά χτισίματος να απελευθερώσουν όσο το δυνατόν περισσότερους ρύπους, πριν την κατοίκηση του χώρου. Πολλές από αυτές τις επιλογές μπορούν να εφαρμοστούν μία φορά.

##### ***Αύξηση του ρυθμού αερισμού***

Η αύξηση του ρυθμού αερισμού και της διανομής αέρα μπορούν να αποτελέσουν έναν οικονομικό τρόπο μείωσης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους. Τα συστήματα θέρμανσης – ψύξης – κλιματισμού θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε τουλάχιστον να καλύπτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις αερισμού, σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE Standard 62 - 1989. Όταν υπάρχουν ισχυρές πηγές ρυπαντών, ένα τοπικό σύστημα αερισμού θα ήταν κατάλληλο ώστε να κατευθύνει τον μολυσμένο αέρα έξω από το κτίριο.

## **Καθαρισμός του αέρα**

Ο καθαρισμός του αέρα μπορεί να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με τους άλλους δύο τρόπους που προαναφέρθηκαν, αλλά έχει ορισμένους περιορισμούς. Οι συσκευές ελέγχου των σωματιδίων, όπως τα συνηθισμένα φίλτρα φούρνων είναι οικονομικές αλλά δεν κατακρατούν αποτελεσματικά τα μικρά σωματίδια. Αντίθετα, τα φίλτρα αέρα υψηλής απόδοσης συλλέγουν τα μικρότερα εισπνεόμενα σωματίδια αλλά είναι σχετικά ακριβά στην εγκατάσταση και τη λειτουργία τους. Τα μηχανικά φίλτρα δεν απομακρύνουν τους αέριους ρύπους. Μερικοί απ' αυτούς μπορούν να απομακρυνθούν με προσροφητικές κλίνες, αλλά αυτές οι συσκευές μπορεί να είναι ακριβές και απαιτούν τακτική αντικατάσταση του προσροφητικού υλικού. Γενικά οι καθαριστές αέρα μπορεί να είναι χρήσιμοι αλλά έχουν περιορισμένη εφαρμογή.

## **Εκπαίδευση και επικοινωνία**

Η εκπαίδευση και η επικοινωνία είναι σημαντικά στοιχεία τόσο διορθωτικά όσο και προληπτικά για τα προγράμματα διαχείρισης της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων. Όταν οι ένοικοι του κτιρίου, η διοίκηση και το προσωπικό συντήρησης κατανοήσουν πλήρως τις αιτίες και τις συνέπειες των προβλημάτων της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων, μπορούν να συνεργαστούν αποτελεσματικότερα για την πρόληψη ή την επίλυση τέτοιων προβλημάτων.

## **2.5 Οι ευπαθείς πληθυσμιακές ομάδες**

Με τον όρο «ευπαθείς πληθυσμιακές ομάδες» εννοούνται τα παιδιά, οι έγκυες, τα ηλικιωμένα άτομα άνω των 65 χρονών και άτομα που υποφέρουν από άσθμα, καθώς επίσης και άλλες αναπνευστικές και καρδιοαγγειακές ασθένειες. Οι βλάβες που επιφέρουν στην υγεία κάποιοι ρυπαντές (π.χ. μικρόβια), μπορεί να καταστήσουν τα άτομα περισσότερο ευπαθή. Σε αυτό μπορούν επίσης να συμβάλλουν τα γενετικά χαρακτηριστικά, η διατροφική κατάσταση και ο τρόπος ζωής.

Η διαφορετική ευαισθησία των ευπαθών πληθυσμιακών ομάδων σε ρύπους, βασίζεται σε διαφορές, εξαρτώμενες από την ηλικία, στη φυσιολογία και την τοξικοκινητική των ατόμων και σε ποικίλες αντιδράσεις που αυτά παρουσιάζουν, οι οποίες οφείλονται σε υπάρχουσες ασθένειες και γενετικούς παράγοντες.

Η ευαισθησία στη χημική τοξικότητα μετά τη γέννηση είναι οξύτερη κατά τους πρώτους 6 μήνες και μπορεί να συνεχιστεί για χρόνια. Ωστόσο, τα παιδιά μπορεί να είναι λιγότερο ευαίσθητα και να ανέχονται μεγαλύτερες δόσεις χημικών ουσιών σε σχέση με τους μεγάλους, ανάλογα με την ηλικία και τα χημικά συστατικά. Ο κίνδυνος για τα παιδιά ενδέχεται να αυξηθεί από την υψηλότερη έκθεσή τους, εξαιτίας συγκεκριμένων μορφών έκθεσης (π.χ. χέρι στο στόμα). Οι αέριοι ρύποι μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την εμβρυακή και βρεφική πνευμονική ανάπτυξη, να επιφέρουν μετανεογνική βρεφική θνησιμότητα λόγω αναπνευστικών ασθενειών, να προκαλέσουν βήχα και βρογχίτιδα και να επιδεινώσουν το άσθμα. Η επίδραση μεμονωμένων αέριων ρύπων στην πνευμονική λειτουργία κατά την ανάπτυξη έχει μελετηθεί, δείχνοντας υψηλότερη ευαισθησία στα παιδιά. Οι επιβλαβείς ρύποι δεν έχουν ταυτοποιηθεί επακριβώς, παρόλα αυτά, οι δυσμενείς επιπτώσεις συνδέονται συχνότερα με την παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων

εξωτερικού περιβάλλοντος, διοξειδίου του αζώτου και όζοντος. Οι μελέτες που επικεντρώνονται συγκεκριμένα στο εσωτερικό περιβάλλον, όπου οι συγκεντρώσεις διαφέρουν, είναι ακόμα περιορισμένες. Επιπλέον, είναι γνωστή η μεγάλη ευαισθησία των παιδιών σε μόλυβδο και καπνό τσιγάρου. Έχουν εκφραστεί επίσης ανησυχίες για τα οργανοφωσφορικά παρασιτοκτόνα.

Η αλλαγμένη φυσιολογία και τοξικοκινητική (π.χ. μειωμένη νεφρική κάθαρση), καθιστούν τους ηλικιωμένους ανθρώπους δυναμικά πιο ευαίσθητους, λόγω της μειωμένης ικανότητάς τους για αποβολή αποβλήτων από το σώμα. Ωστόσο, οι ηλικιωμένοι μπορεί να είναι και λιγότερο ευαίσθητοι σε ορισμένες βλαβερές επιδράσεις συμπεριλαμβανομένου του ερεθισμού μύτης και οφθαλμών, υποδεικνύοντας έτσι ότι η γήρανση ενδέχεται να ελαττώνει την ευαισθησία.

Τα άτομα που υποφέρουν από καρδιαγγειακές ασθένειες είναι περισσότερο ευπαθή σε αιωρούμενα σωματίδια και τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή άλλες αναπνευστικές ασθένειες έχουν αυξημένη ευαισθησία σε περισσότερους αέριους ρύπους. Για παράδειγμα, στα άτομα με αλλεργική ρινίτιδα, ο ερεθισμός των αισθητηρίων μπορεί να λάβει χώρα σε χαμηλότερο επίπεδο έκθεσης.

Τον τελευταίο καιρό, στην Ευρώπη, σε άλλες βιομηχανοποιημένες χώρες, καθώς επίσης και σε διεθνείς φορείς, οι ευπαθείς πληθυσμιακές ομάδες εξετάζονται γενικά κατά περίπτωση. Ωστόσο, ένα σημαντικό εμπόδιο για την ταυτοποίηση των ομάδων αυτών, είναι η έλλειψη επαρκών δεδομένων. Προκειμένου αυτά να αυξηθούν, είναι απαραίτητες δράσεις, όπως ο έλεγχος αναπαραγωγικής τοξικότητας, με στόχο να διευκρινιστούν οι ανοσοποιητικές και νευρολογικές διαφορές των ατόμων. Επιπρόσθετα, τα φαρμακοκινητικά μοντέλα που βασίζονται στη φυσιολογία μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για τις φαρμακοκινητικές διαφοροποιήσεις στο ίδιο άτομο.



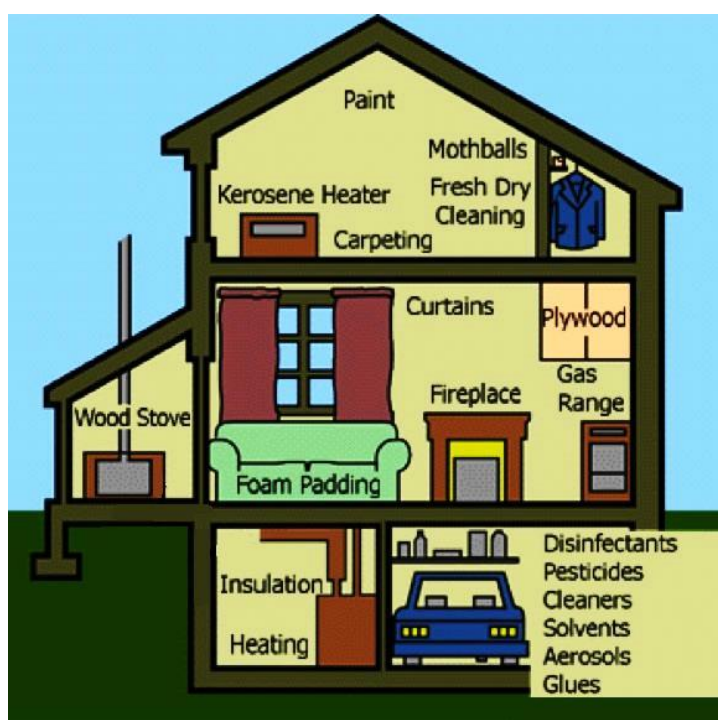
### 3. Παρουσίαση των ρύπων που μελετήθηκαν

Για τον σκοπό αυτής της Διπλωματικής Εργασίας μετρήθηκαν και αναλύθηκαν οι ρύποι που αναφέρονται στο κεφάλαιο αυτό. Ακολουθεί μια παρουσίαση του τρόπου παραγωγής τους, των πηγών εκπομπής τους, της επίδρασής τους στην ανθρώπινη υγεία και των ανώτατων ορίων της συγκέντρωσής τους σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Π.Ο.Υ..

#### 3.1 Πτητικές οργανικές ενώσεις

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs, Volatile Organic Compounds) εκλύονται ως αέρια από συγκεκριμένα στερεά και υγρά. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2004/42/ΕΚ, ως πτητική οργανική ένωση ορίζεται «κάθε οργανική ένωση της οποίας το αρχικό σημείο βρασμού, μετρούμενο σε σταθερή πίεση 101,3 kPa, είναι μικρότερο ή ίσο των 250 °C».

Οι συγκεντρώσεις των VOCs είναι μεγαλύτερες ως και δέκα φορές στους εσωτερικούς χώρους, σε σχέση με τους εξωτερικούς. Τα VOCs εκλύονται από πολλά προϊόντα καθημερινής χρήσης όπως μπογιές, βερνίκια, διαλυτικά, αστάρια, καθαριστικά, βαφές μαλλιών, εντομοκτόνα, οικοδομικά υλικά, επικαλυπτικά, ειδικά προϊόντα φινιρίσματος, συσκευές γραφείου (εκτυπωτές, φωτοτυπικά), διορθωτικά υγρά, μη ανθρακούχο χαρτί εκτύπωσης, υλικά ζωγραφικής και χειροτεχνίας (κόλλες), μαρκαδόρους κ.ά. (Σχήμα 3.1). Επιπλέον, τα καύσιμα παράγονται από οργανικά χημικά, τα οποία απελευθερώνουν VOCs, κατά τη χρήση τους, όπως επίσης και όταν απλά είναι αποθηκευμένα. Τέλος, τα VOCs εκλύονται και από την γεωργική δραστηριότητα.



Σχήμα 3.1: Πηγές εκπομπής VOCs στο εσωτερικό περιβάλλον

Οι βλαβερές επιπτώσεις των οργανικών χημικών στην ανθρώπινη υγεία κυμαίνονται σε αυτά που είναι πολύ τοξικά, μέχρι αυτά με άγνωστες ακόμα επιπτώσεις. Όπως και με άλλες ρυπαντικές ουσίες, το μέγεθος και η φύση των επιπτώσεων αυτών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το επίπεδο της έκθεσης στον ρύπο και τη διάρκεια έκθεσης. Τα πιο συνηθισμένα άμεσα συμπτώματα από την έκθεση σε VOCs είναι τα εξής: ερεθισμός ματιών και αναπνευστικής οδού, πονοκέφαλοι, ζαλάδες, οπτικές διαταραχές, απώλεια μνήμης και προσανατολισμού, ναυτία και δύσπνοια. Η εκτεταμένη έκθεση σε πτητικές οργανικές ενώσεις μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο συκώτι, τα νεφρά και το κεντρικό νευρικό σύστημα.

Τα VOCs περιλαμβάνουν πολλά χημικά, από τα οποία, για τους σκοπούς αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, μετρήθηκαν και αναλύθηκαν τα ακόλουθα:

### 3.1.1 Βενζόλιο

Το βενζόλιο (μοριακός τύπος:  $C_6H_6$ ), είναι μία οργανική ένωση, η οποία αποτελεί συστατικό καυσίμων, διαλυτικό λιπών, κεριών, ρητινών, ελαίων, βαφών, μελανιών, πλαστικών, κολλών και ελαστικών. Επίσης, χρησιμοποιείται κατά την εξαγωγή ελαίων από καρπούς και σπόρους, την εκτύπωση φωτογραφιών αλλά και την παρασκευή καθαριστικών, εκρηκτικών και φαρμακευτικών υλικών. Οι κυριότερες πηγές εκπομπής του βενζολίου στον ατμοσφαιρικό αέρα περιλαμβάνουν το κάπνισμα, την καύση ή εξάτμιση καυσίμου που περιέχει βενζόλιο, τις πετροχημικές βιομηχανίες και τις διεργασίες καύσης γενικότερα. Τα πιο σημαντικά προβλήματα στην υγεία εξαιτίας της μακροπρόθεσμης έκθεσης του ανθρώπου στο βενζόλιο είναι η αιματοτοξικότητα, η γονοτοξικότητα και η καρκινογένεση.

Από την Οδηγία 2008/50/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζεται σαν ανώτατη μέση ετήσια συγκέντρωση του βενζολίου για τον ατμοσφαιρικό αέρα, τα  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.1.2 Ξυλόλιο

Το ξυλόλιο (μοριακός τύπος:  $C_8H_{10}$ ) είναι μίγμα τριών ισομερών διμεθυλοβενζολίων: ο-ξυλόλιο, m-ξυλόλιο, π-ξυλόλιο. Είναι άχρωμο υγρό αδιάλυτο στο νερό και πολύ ευδιάλυτο σε οργανικούς διαλύτες. Χρησιμοποιείται κυρίως ως διαλύτης για την αύξηση των οκτανίων στις βενζίνες των μέσων μεταφοράς, επίσης χρησιμοποιείται σε πολλές οργανικές ενώσεις διότι διαθέτει μεγάλη διαλυτότητα σαν ένωση. Είναι ιδιαίτερα τοξικό τόσο για το δέρμα όσο και για το κυκλοφορικό σύστημα.

### 3.1.3 Οκτάνιο

Το οκτάνιο είναι ένα αλκάνιο, δηλαδή άκυκλος κορεσμένος υδρογονάνθρακας, με χημικό τύπο  $C_8H_{18}$  και σύντομο συντακτικό τύπο  $CH_3(CH_2)_6CH_3$ . Το οκτάνιο έχει τα ακόλουθα δεκαεπτά (17) ισομερή θέσης:

- 2-μεθυλεπτάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $CH_3(CH_2)_4CH(CH_3)_2$ .
- 3-μεθυλεπτάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $CH_3(CH_2)_3CH(CH_3)CH_2CH_3$  (σε δύο (2) οπτικά ισομερή).
- 4-μεθυλεπτάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $[CH_3(CH_2)_2]_2CHCH_3$ .
- Αιθυλεξάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(CH_3CH_2)_2CHCH_2CH_2CH_3$ .
- 2,2-διμεθυλεξάνιο ή νεοοκτάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(CH_3)_3C(CH_2)_3CH_3$ .

- 2,3-διμεθυλεξάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$  (σε δύο (2) οπτικά ισομερή).
- 2,4-διμεθυλεξάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$  (σε δύο (2) οπτικά ισομερή).
- 2,5-διμεθυλεξάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$
- 3,3-διμεθυλεξάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ .
- 3,4-διμεθυλεξάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$  (σε τρία (3) οπτικά ισομερή).
- Αιθυλο-2-μεθυλοπεντάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{CHCH}(\text{CH}_3)_2$ .
- Αιθυλο-3-μεθυλοπεντάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{C}(\text{CH}_3)_2$ .
- 2,2,3-τριμεθυλοπεντάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{CH}_3)_3$  (σε δύο (2) οπτικά ισομερή).
- 2,2,4-τριμεθυλοπεντάνιο ή ισοκτάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{C}(\text{CH}_3)_3$  (σε δύο (2) οπτικά ισομερή).
- 2,3,3-τριμεθυλοπεντάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ .
- 2,3,4-τριμεθυλοπεντάνιο, με σύντομο συντακτικό τύπο  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{CH}_3)\text{CH}(\text{CH}_3)_2$  (σε δύο (2) οπτικά ισομερή).
- Τετραμεθυλοβουτάνιο  $(\text{CH}_3)_3\text{CC}(\text{CH}_3)_3$ .

Από αυτά είναι γνωστότερο το 2,2,4-τριμεθυλοπεντάνιο ή ισοκτάνιο θεωρείται η σταθερά 100 στο βαθμό οκτανίου ως καύσιμο για κινητήρες εσωτερικής καύσης. Όλα τα οκτάνια (δηλαδή το οκτάνιο και τα ισομερή του) είναι συστατικά της βενζίνης και φυσικά εξαιρετικά εύφλεκτα.

### 3.1.4 Αιθυλοβενζόλιο

Το αιθυλοβενζόλιο ή αιθυλοβενζένιο ή αιθυλοκυκλοεξατριένιο ή φαινυλαιθάνιο είναι ένα αρένιο με σύντομο συντακτικό τύπο  $\text{PhCH}_2\text{CH}_3$ . Πρόκειται για ένα εξαιρετικά εύφλεκτο, άχρωμο υγρό με οσμή παρόμοια με της βενζίνης. Ανήκει στην κατηγορία αρωματικών υδρογονανθράκων και χρησιμοποιείται στην πετροχημική βιομηχανία κατά τη διαδικασία παραγωγής στυρόλιου που με τη σειρά του παράγει πολυστυρόλιο, ένα πολύ κοινό συνθετικό αρωματικό πολυμερές.

### 3.1.5 Τολουόλιο

Το τολουόλιο (μοριακός τύπος:  $\text{C}_7\text{H}_8$ ) ή τολουένιο ή μεθυλοβενζόλιο ή μεθυλοβενζένιο ή φαινυλομεθάνιο ή μεθυλοκυκλοεξατριένιο είναι ένα διαυγές δυσδιάλυτο στο νερό υγρό, με έντονη οσμή μπογιάς, διαφορετική από τη γλυκιά οσμή του βενζολίου. Ανήκει στα αρένια και χρησιμοποιείται ευρύτατα από τη βιομηχανία ως διαλύτης και ως πρώτη ύλη για παράγωγα. Το τολουόλιο είναι ένας συνηθισμένος διαλύτης, ικανός να διαλύσει μπογιές, διαλυτικά χρωμάτων, σιλικόνη στεγανωτικών, πολλά χημικά αντιδραστήρια, καοτσούκ, μελάνια, κόλλες, λάκες, υλικά βυρσοδεψίας δέρματος, και απολυμαντικά. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης φουλλερενίων και ως πρώτη ύλη για δισσοκτανολούλιο (που χρησιμοποιείται στην παραγωγή αφρού πολυουρεθάνης) καθώς και για TNT. Επίσης, χρησιμοποιείται ως διαλύτης για την παραγωγή νανοσωλήνων άνθρακα και ως βάση για κατασκευές πολυστερίνης. Τέλος είναι γνωστό καρκινογόνο και ιδιαίτερα τοξικό, ιδιαίτερα για το νευρικό σύστημα.

### 3.1.6 1,2,4 Τριμεθυλοβενζόλιο

Το 1,2,4 τριμεθυλοβενζόλιο είναι ένα άχρωμο υγρό με χημικό τύπο  $C_9H_{12}$ . Πρόκειται για έναν εύφλεκτο αρωματικό υδρογονάνθρακα με έντονη οσμή. Αποτελεί συστατικό του πετρελαίου και της πίσσας σε ποσοστό περίπου 3%. Είναι σχεδόν αδιάλυτο στο νερό αλλά διαλύεται εύκολα στην αιθανόλη, στον διαιθυλαιθέρα και στο βενζόλιο. Στην βιομηχανία, απομονώνεται από το κλάσμα του αρωματικού υδρογονάνθρακα  $C_9$  κατά την διαδικασία απόσταξης του πετρελαίου. Περίπου το 40% του κλάσματος αυτού αποτελείται από 1,2,4 τριμεθυλοβενζόλιο. Χρησιμοποιείται ως μέσο αποστείρωσης για την παρασκευή βαφών, αρωμάτων, ρητίνης και ως πρόσθετο στη βενζίνη.

### 3.1.7 α-Πινένιο

Το α-πινένιο (μοριακός τύπος:  $C_{10}H_{16}$ ) είναι ισομερές του πινένιου, το οποίο είναι βασικό συστατικό της ρητίνης του πεύκου, οπότε εκπέμπεται από ξύλινες επιφάνειες και προϊόντα χαρτιού, αλλά επίσης χρησιμοποιείται στην αρωματοποιία και σε καθαριστικά προϊόντα. Ανήκει στη χημική ομάδα των τερπενίων, δηλαδή φυσικά οργανικά μόρια με άτομα άνθρακα πολλαπλάσια του 5. Κύριο σύμπτωμα της χρήσης του είναι ο ερεθισμός του δέρματος, των ματιών και των βλεννογόνων.

Για το α-πινένιο δεν υπάρχουν μέχρι στιγμής οριακές τιμές συγκέντρωσης στον ατμοσφαιρικό αέρα, καθώς οι ποσότητες που παρατηρούνται στο περιβάλλον κρίνονται ως μικρής σημασίας.

### 3.1.8 d-Λιμονένιο

Το λιμονένιο (μοριακός τύπος:  $C_{10}H_{16}$ ) είναι ένα φυσικό χημικό που ανήκει στη χημική ομάδα των τερπενίων (όπως και το α-πινένιο) και παράγεται φυσικά από τα εσπεριδοειδή, καθώς και από άλλα φυτά. Το πιο κοινό ισομερές του, το d-λιμονένιο, συναντάται σε πολλά προϊόντα διατροφής, σαπούνια, καθαριστικά και αρώματα, εξαιτίας της γεύσης και της οσμής λεμονιού που έχει. Επίσης, χρησιμοποιείται σε εντομοκτόνα και εντομοαπωθητικά προϊόντα, αλλά και σαν διαλυτικό, ενώ εκπέμπεται και από εκτυπωτές και προϊόντα χαρτιού. Το d-λιμονένιο θεωρείται γενικά ασφαλές στη διατροφή, ενώ μπορεί να προκαλέσει ερεθισμούς στα μάτια και στο δέρμα.

Δεν υπάρχουν σαφείς οδηγίες και ανώτατες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στον αέρα για το d-λιμονένιο από την Ευρωπαϊκή Ένωση ή τον Π.Ο.Υ., καθώς η εισπνοή του θεωρείται ασήμαντη οδός εισόδου στον ανθρώπινο οργανισμό, σε σχέση με την κατάποση.

### 3.1.9 Ναφθαλένιο

Το ναφθαλένιο (μοριακός τύπος:  $C_{10}H_8$ ) είναι ο πολυκυκλικός αρωματικός υδρογονάνθρακας με την απλούστερη δομή. Επίσης, χαρακτηρίζεται και ως VOC, αφού το σημείο βρασμού του είναι  $218\text{ }^{\circ}\text{C}$  (δηλαδή μικρότερο από τους  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , σε ατμοσφαιρική

πίεση που είναι η ανώτατη επιτρεπόμενη θερμοκρασία για τον χαρακτηρισμό μιας οργανικής ένωσης ως πτητική). Είναι μία άσπρη κρυσταλλική σκόνη με χαρακτηριστική οσμή και το κύριο συστατικό της ναφθαλίνης. Παράγεται φυσικά, κυρίως από ορυκτά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας αλλά και κατά στην καύση ξύλου και καπνού. Επίσης, υπάρχει τεχνητή παραγωγή ναφθαλενίου, κατά την απόσταξη της πίσσας λιθανθράκων και την διύλιση πετρελαίου. Το ναφθαλένιο χρησιμοποιείται κατά την παρασκευή βαφών, ορισμένων πλαστικών (όπως το PVC) και κατά τον χρωματισμό δερμάτων. Η κύρια πηγή εκπομπής ναφθαλενίου σε εσωτερικούς χώρους είναι το κάπνισμα, η χρήση της ναφθαλίνης, αλλά και άλλων εντομοαπωθητικών ή εντομοκτόνων. Η έκθεση ατόμων σε ναφθαλένιο μπορεί να συμβεί μέσω της επαφής με αυτό, της εισπνοής των ατμών του και της κατάποσης ποσότητάς του (π.χ. αν ένα άτομο φάει με άπλυτα χέρια, έχοντας αγγίξει ναφθαλίνη). Τα κύρια συμπτώματα μιας σύντομης έκθεσης σε ναφθαλένιο είναι ο πονοκέφαλος, η ναυτία, η ζαλάδα και η τάση προς έμετο. Σε πιο σοβαρές εκθέσεις του οργανισμού σε αυτό (π.χ. κατάποση) μπορεί να παρουσιαστεί αιμολυτική αναιμία. Σε παιδιά, μετά από κατάποση, έχουν παρουσιαστεί πυρετός, διάρροια, πόνος στο στομάχι και επίπονη ούρηση. Τέλος, το ναφθαλένιο κατατάσσεται στις πιθανώς καρκινογόνες ουσίες.

Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ., η μέση ετήσια επιτρεπόμενη συγκέντρωση ναφθαλενίου στον εσωτερικό αέρα, είναι τα 0,01 mg/m<sup>3</sup>.

## 3.2 Αλδεΐδες

### 3.2.1 Ακεταλδεΐδη

Η ακεταλδεΐδη ή αιθανάλη είναι μια χημική ένωση με χημικό τύπο C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O και σύντομο συντακτικό τύπο CH<sub>3</sub>CHO ή συντομογραφικά MeCHO. Είναι μια από τις πιο σημαντικές αλδεΐδες και παράγεται σε μεγάλη βιομηχανική κλίμακα. Βρίσκεται στον καφέ, στο ψωμί, στα ώριμα φρούτα και γενικά παράγεται από φυτά ως μέρος του μεταβολισμού τους. Επίσης παράγεται με μερική οξείδωση της αιθανόλης. Η ακεταλδεΐδη είναι άχρωμο και πτητικό υγρό, ενώ έχει και χαρακτηριστική οσμή. Διαλύεται τόσο στο νερό, όσο και στους οργανικούς διαλύτες. Χρησιμοποιείται για την παρασκευή αιθυλικής αλκοόλης, οξικού οξέος, γαλακτικού οξέος, οξικών αλάτων και άλλων οργανικών ενώσεων. Επίσης για την παρασκευή της παραλδεΐδης, μεταλδεΐδης, χλωράλης καθώς και για την κατασκευή κατόπτρων. Μερικές εταιρείες που φτιάχνουν αλκοολούχα ποτά, κυρίως λικέρ, και γαλακτοκομικά προϊόντα, για να τα δώσουν αρωματική γεύση προσθέτουν ακεταλδεΐδη.

### 3.2.2 Προπενάλη ή ακρολεΐνη

Η προπενάλη ή ακρολεΐνη είναι η απλούστερη αλκενάλη, δηλαδή άκυκλη μονοαλδεΐδη με ένα διπλό δεσμό. Ο σύντομος συντακτικός της τύπος είναι CH<sub>2</sub>=CHCHO. Πρόκειται για ένα

άχρωμο υγρό με δυσάρεστη, διαπεραστική μυρωδιά η οποία μπορεί να περιγραφεί με τη μυρωδιά που εκλύεται από το καμένο λίπος, διαδικασία κατά την οποία έχουμε διάσπαση της προπανοτριόλης σε προπενάλη. Παράγεται βιομηχανικά από το προπυλένιο και χρησιμοποιείται κυρίως ως βιοκτόνο και σαν συστατικό για άλλες χημικές ενώσεις, όπως το το αμινοξύ μεθιονίνη. Η προπενάλη παρασκευάζεται βιομηχανικά από την οξειδωση του προπένιου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί αέρα ως πηγή οξυγόνου και απαιτεί μεταλλικά οξειδία ως ετερογενείς καταλύτες. Περίπου 500.000 τόνοι προπενάλης παράγονται με αυτόν τον τρόπο κάθε χρόνο στη Βόρειο Αμερική, στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία. Επιπροσθέτως, όλα τα ακρυλικά οξέα παράγονται κατά τον σχηματισμό της.

### 3.2.3 Προπανόνη ή Ακετόνη

Η ακετόνη είναι η πιο απλή μορφή κετόνης και έχει χημικό τύπο  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ . Στην όψη της είναι ένα άχρωμο εύφλεκτο υγρό, είναι αναμίξιμη με το νερό και εξυπηρετεί ως ένας σημαντικός διαλύτης και τυπικό καθαριστικό σκευών σε χημικά εργαστήρια. Η ακετόνη επίσης παράγεται από τον ανθρώπινο οργανισμό μέσω φυσιολογικών μεταβολικών διεργασιών και βρίσκεται στα ούρα και στο αίμα. Χρησιμοποιείται ως διαλύτης κυκλικών οργανικών ενώσεων, καθώς και σε πολλές εφαρμογές τόσο στην ιατρική όσο και στη αισθητική. Αναφέρεται ως συστατικό σε πρόσθετα τροφίμων και έχει τέλος πολλές οικιακές χρήσεις καθώς είναι κύριο συστατικό σε προϊόντα καθαρισμού συνήθως γι' αυτά που αναφέρονται στον καθαρισμό επιφανειών όπως η πορσελάνη ή το γυαλί. Η ακετόνη είναι χαμηλή σε τοξικότητα σε κανονική χρήση και μέχρι τώρα δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι προκαλεί χρόνια προβλήματα υγείας. Παρόλα αυτά σε υψηλές αέριες συγκεντρώσεις η ακετόνη είναι ερεθιστική και ίσως επηρεάζει το κεντρικό νευρικό σύστημα. Τέλος προκαλεί ερεθισμό αν έρθει σε επαφή με τα μάτια ή κατόπιν εισπνοής.

### 3.2.4 Προπιοναλδεΐδη

Η προπανάλη ή προπιοναλδεΐδη είναι μια χημική ένωση με χημικό τύπο  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  και σύντομο συντακτικό τύπο  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ . Στην όψη είναι ένα άχρωμο υγρό με ελαφρά ερεθιστική φρουτένια οσμή. Με βάση το χημικό της τύπο,  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  έχει οκτώ (8) ισομερή. Η προπανάλη χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη για την παραγωγή 2-μεθυλο-2-(υδροξυμεθυλο)προπανοδιόλη-1,2  $[\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_2]$  με αντίδραση συμπύκνωσης με μεθανόλη. Αυτή η τριόλη είναι σημαντική πρώτη ύλη για αλκυδριτίτες. Επίσης, η προπανάλη συμπυκνώνεται με 2-μεθυλοπροπανάμίνη-2  $[(\text{CH}_3)_3\text{CNH}_2]$  για την παραγωγή N-(διμεθυλαιθυλο)προπανιμίνης-1  $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{N}-\text{C}(\text{CH}_3)_2]$ , μια ιμίνη, που χρησιμοποιείται σε παραπέρα οργανικές συνθέσεις. Τέλος η προπανάλη είναι πολύ εύλεκτη και ιδιαίτερα ερεθιστική για τα μάτια, το δέρμα και το αναπνευστικό σύστημα.

### 3.2.5 Φορμαλδεΐδη

Η φορμαλδεΐδη (μοριακός τύπος: CH<sub>2</sub>O ή HCHO), η αλδεΐδη με την απλούστερη δομή, είναι ένα σημαντικό χημικό που χρησιμοποιείται ευρέως από τη βιομηχανία για την παρασκευή οικοδομικών υλικών και πολλών προϊόντων οικιακής χρήσης. Είναι επίσης ένα παραπροϊόν καύσης, καθώς και άλλων φυσικών διεργασιών. Γι' αυτόν τον λόγο, μπορεί να βρίσκεται σε σημαντικές συγκεντρώσεις τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

Στις πηγές εκπομπής της φορμαλδεΐδης σε οικιακούς χώρους ανήκουν τα οικοδομικά υλικά, το κάπνισμα, τα προϊόντα οικιακής χρήσης και η χρήση μη-αεριζόμενων συσκευών που λειτουργούν με καύσιμο (όπως κουζίνες υγραερίου, θερμάστρες κηροζίνης κ.ά.). Επίσης, η φορμαλδεΐδη χρησιμοποιείται για την πρόσδωση συγκεκριμένης μορφής σε υφάσματα κουρτινών ή ρουχισμού, ως συστατικό κολλών και συγκολλητικών (που εφαρμόζονται κυρίως σε κατασκευές πεπιεσμένου ξύλου) και σαν συντηρητικό σε βαφές και προϊόντα επικάλυψης. Ο ρυθμός εκπομπής της φορμαλδεΐδης μειώνεται, όσο αυξάνεται η ηλικία των προϊόντων στα οποία χρησιμοποιείται. Οι υψηλές θερμοκρασίες εσωτερικού χώρου και η υγρασία ευνοούν την αύξηση της έκλυσης φορμαλδεΐδης. Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι η φορμαλδεΐδη παράγεται στους εσωτερικούς χώρους από την αντίδραση των τερπενίων (π.χ. d-λιμονένιο, α-πινένιο) με το όζον.

Η φορμαλδεΐδη είναι ένα άχρωμο αέριο, με έντονη οσμή και μπορεί να προκαλέσει δακρύρροια, αίσθηση καψίματος στα μάτια και τον λαιμό, ναυτία, βήχα, εξανθήματα στο δέρμα, δύσπνοια, αλλεργικές αντιδράσεις ακόμα και κρίσεις άσθματος σε άτομα που εκτίθενται σε μεγάλες συγκεντρώσεις της. Υπάρχουν επιπλέον αρκετές ενδείξεις ότι ορισμένα άτομα ενδέχεται να αναπτύξουν ευαισθησία σ' αυτή και ότι μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση καρκίνου σε ζώα.

Ο Π.Ο.Υ. συστήνει ως μέγιστη τιμή της μέσης συγκέντρωσης φορμαλδεΐδης ανά μισή ώρα στους εσωτερικούς χώρους, τα 100 μg/m<sup>3</sup> για την αποφυγή ερεθισμού των αισθητηρίων.

### 3.2.6 Βουτανάλη ή Βουτυραλδεΐδη

Η βουτανάλη, είναι μια χημική ένωση, άκυκλη οργανική, της ομόλογης σειράς των κεκορεσμένων μονοαλδευδών με χημικό τύπο C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O και σύντομο συντακτικό τύπο CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CHO ή συντομογραφικά PrCHO. Με βάση το χημικό της τύπο, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O, έχει εικοσιπέντε (25) ισομερή. Χρησιμοποιείται σε αρώματα, σε φυτοφάρμακα και προϊόντα φυτοπροστασίας, σε φαρμακευτικά προϊόντα και συνθετικές ρητίνες. Είναι πολύ ευφλεκτή, έχει σημείο ζέσεως τους 75°C. Παρασκευάζεται με υδρογόνωση της Βουτενάλης αποτελώντας ενδιάμεσο προϊόν στη παρασκευή διαφόρων βιομηχανικών υλικών, όπως πρώτες ύλες διαφόρων εφαρμογών: πλαστικοποίησης, ως διαλύτης, ή ως αντιαφριστικό υλικό.

### 3.2.7 2-Βουτανόνη (2-Butanone)

Η βουτανόνη ή 2-οξοβουτάνιο ή β-κετοβουτάνιο ή αιθυλομεθυλοκετόνη ή αιθυλομεθυλοφορμαλδεΐδη είναι μια χημική ένωση με χημικό τύπο  $C_4H_8O$ . Στην όψη είναι ένα άχρωμο εύφλεκτο υγρό. Η Βουτανόνη είναι ένας κοινός και πολύ αποτελεσματικός διαλύτης και χρησιμοποιείται σε διαδικασίες που έχουν να κάνουν με γόμμες, ρητίνες, κυτταρίνες οξικού ή νιτρικού άλατος καθώς και σε χρώματα. Χρησιμοποιείται επίσης ως συνθετικό λάστιχο στη βιομηχανία, για την παραγωγή παραφίνης κεριού και στα οικιακά προϊόντα όπως λάκκα, βερνίκια, στο οινόπνευμα, σε κόλλες και ως προϊόν καθαρισμού. Τέλος χρησιμοποιείται για τη σύνθεση μεθυλικού αιθυλικού υπεροξειδίου κετονών, είναι καταλύτης για μερικές αντιδράσεις πολυμερισμού, για την κατασκευή πλαστικών και κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Η βουτανόνη είναι πολύ εύφλεκτη καθώς μπορεί να αντιδράσει με τα περισσότερα οξειδωτικά υλικά και να παράγει φλόγες. Επίσης είναι ερεθιστική προκαλώντας δυσφορία στα μάτια και στη μύτη των ανθρώπων, παρόλα αυτά δεν θεωρείται μεγάλη απειλή για την υγεία.

### 3.2.8 Βενζαλδεΐδη

Η βενζαλδεΐδη ή βενζοκαρβαλδεΐδη ή φαινυλομεθανάλη είναι η απλούστερη των αρωματικών αλδεΐδων καθώς και η σπουδαιότερη βιομηχανικά. Έχει χημικό τύπο  $C_7H_6O$ , αλλά συμβολίζεται συνοπτικά  $PhCHO$ . Στη θερμοκρασία δωματίου ( $20^{\circ}C$ ) είναι ένα άχρωμο υγρό με χαρακτηριστική και σχετικά ευχάριστη οσμή που θυμίζει αμύγδαλα, επειδή ακριβώς περιέχεται σ'αυτά και ειδικότερα στο αμυγδαλέλαιο. Άλλα φυσικά προϊόντα που την περιέχουν είναι τα βερούκοκα, τα κεράσια, τα ροδάκινα και τα καρύδια, κυρίως στους πυρήνες τους. Βέβαια οι ποσότητες βενζαλδεΐδης που περιέχουν οι σπόροι αυτοί είναι μικρές και δεν επαρκούν για τη βιομηχανική παραγωγή της, που γίνεται με άλλες μεθόδους. Τη δεκαετία του 1980, εκτιμάται ότι κάθε χρόνο παράγονταν 18 εκατομμύρια κιλά βενζαλδεΐδης σε Ιαπωνία, Ευρώπη και Βόρεια Αμερική, επίπεδα στα οποία κυμαίνεται η παραγωγή και την εποχή που διανύουμε. Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βενζαλδεΐδης στις μέρες μας είναι η οξείδωση και η χλωρίωση του τολουολίου στην υγρή του φάση. Πολυάριθμες άλλες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί, όπως η μερική οξείδωση της βενζυλικής αλκοόλης, η αλκαλική υδρόλυση του βενζυλοδιχλωριδίου και η καρβονυλίωση του βενζολίου. Η βενζαλδεΐδη χρησιμοποιείται συχνά για να προσδώσει γεύση αμυγδάλου. Η κύρια χρήση της όμως είναι ως αντιδρών για την παραγωγή άλλων οργανικών ενώσεων απαραίτητων σε τομείς όπως η φαρμακευτική ή τα πλαστικά πρόσθετα. Η βενζαλδεΐδη μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια, τη μύτη και τον λαιμό των ανθρώπων.

### 3.2.9 Εξανάλη

Η εξανάλη ή εξαν-αλδεΐδη είναι μια αλκυλική αλδεΐδη με χημικό τύπο  $C_6H_{12}O$ . Εμφανίζεται ως άχρωμο καθαρό υγρό και η μυρωδιά της θυμίζει φρεσκοκουρεμένο γρασίδι. Χρησιμοποιείται στην αρωματοβιομηχανία για να παράγονται φρουτώδη αρώματα. Είναι εύφλεκτη και δημιουργεί προβλήματα και ερεθισμό στο αναπνευστικό σύστημα σε περίπτωση εισπνοής.



### 3.3 Διοξείδιο του αζώτου

Το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) είναι ένα από τα πολλά οξείδια του αζώτου που βρίσκονται στον ατμοσφαιρικό αέρα (υποοξείδιο του αζώτου - N<sub>2</sub>O, μονοοξείδιο του αζώτου - NO, διοξείδιο του αζώτου - NO<sub>2</sub>) και σχετίζεται με τις διεργασίες καύσης που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Ενώ το σημείο βρασμού του είναι 21,15 °C, η χαμηλή του μερική πίεση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (908 mmHg, στους 25 °C) αποτρέπει τη συμπύκνωσή του και έτσι το NO<sub>2</sub> υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε αέρια μορφή. Το NO<sub>2</sub> είναι πτητικό, χρώματος καφέ-κόκκινου, αδιάλυτο στο νερό, βαρύτερο από τον αέρα και έχει χαρακτηριστική έντονη οσμή και βασικό συστατικό του φωτοχημικού νέφους (Σχήμα 3.5). Επιπλέον, είναι τοξικό αέριο, εξαιρετικά δραστικό οξειδωτικό και διαβρωτικό.



Σχήμα 3.2: Φωτοχημικό νέφος στο Λονδίνο, όπου περισσότεροι από 320.000 άνθρωποι εκτίθενται σε μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες ποσότητες NO<sub>2</sub>

Τα οξείδια του αζώτου δημιουργούνται στον αέρα μέσω διαφορετικών συνδυασμών οξυγόνου και αζώτου σε υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διεργασία της καύσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα NO που παράγεται. Το 90 – 95 % των οξειδίων του αζώτου που εκλύονται, είναι συνήθως NO και μόλις το 5 – 10 % NO<sub>2</sub>, ωστόσο, παρατηρούνται διαφορές σε αυτή την αναλογία ανάμεσα σε διαφορετικές πηγές εκπομπής. Σε συνθήκες περιβάλλοντος το NO οξειδώνεται ταχύτατα στον αέρα προς σχηματισμό NO<sub>2</sub>, μέσω των διαθέσιμων οξειδωτικών (όπως οξυγόνο - O<sub>2</sub>, όζον - O<sub>3</sub>, VOCs). Η ταχύτητα οξείδωσης είναι τόσο μεγάλη που το NO<sub>2</sub> θεωρείται συνήθως ο κύριος ρύπος (αντί του NO). Παρόλα αυτά, αυτή η διεργασία οξείδωσης στον αέρα εσωτερικών χώρων συμβαίνει πολύ πιο αργά. Οι αντιδράσεις παραγωγής του NO<sub>2</sub> είναι οι ακόλουθες:

1.  $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$  (Το N<sub>2</sub> και το O<sub>2</sub>, παρόλο που στις ατμοσφαιρικές συνθήκες δεν αντιδρούν μεταξύ τους, υπό συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, όπως ακριβώς στις μηχανές εσωτερικής καύσης, σχηματίζουν NO).

2.  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$  (Τα NO οξειδώνονται ταχύτατα στον αέρα προς σχηματισμό  $\text{NO}_2$ ).

Η κύρια πηγή έκλυσης του  $\text{NO}_2$  στον εξωτερικό αέρα είναι οι μεταφορές. Παράλληλα, στον εσωτερικό αέρα το  $\text{NO}_2$  παράγεται από το κάπνισμα, από συσκευές καύσης ξύλου, υγραερίου, πετρελαίου, κηροζίνης και κάρβουνου όπως σόμπες, θερμάστρες, τζάκια και ιδιαίτερος από κακοσυντηρημένες ή μη-επαρκώς αεριζόμενες συσκευές. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις του αζώτου επηρεάζονται σημαντικά από τις εξωτερικές φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής του.

Το  $\text{NO}_2$  εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό, κυρίως μέσω της αναπνοής. Το  $\text{NO}_2$  επιδρά, κυρίως σαν ερεθιστική ουσία, επηρεάζοντας τον βλεννογόνο των ματιών, τη μύτη, τον λαιμό και την αναπνευστική οδό. Η έκθεση σε εξαιρετικά μεγάλη δόση  $\text{NO}_2$  (όπως σε περίπτωση πυρκαγιάς) μπορεί να οδηγήσει σε πνευμονικό οίδημα. Συνεχής έκθεση σε υψηλά επίπεδα  $\text{NO}_2$  συμβάλει στην ανάπτυξη οξείας ή χρόνιας βρογχίτιδας. Τέλος η έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2$  μπορεί να προκαλέσει βρογχική αντιδραστικότητα σε πάσχοντες από άσθμα, μειωμένη πνευμονική λειτουργία σε ασθενείς με χρόνιες πνευμονικές παθήσεις και αυξάνει τον κίνδυνο αναπνευστικών μολύνσεων, ιδιαίτερα σε παιδιά.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/50/EK η μέγιστη επιτρεπόμενη ωριαία τιμή της συγκέντρωσης του  $\text{NO}_2$  ατμοσφαιρικού αέρα, για την προστασία του ανθρώπου είναι τα  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος), η ανώτερη μέση ετήσια τιμή είναι  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , (ενώ το ετήσιο κρίσιμο επίπεδο συγκέντρωσης των  $\text{NO}_x$  γενικότερα για την προστασία της βλάστησης και των φυσικών οικοσυστημάτων είναι τα  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 4. Πειραματικός εξοπλισμός

### 4.1 Πειραματικός εξοπλισμός για τη δειγματοληψία των ρύπων

Για τους σκοπούς αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της παθητικής δειγματοληψίας, όπως επίσης και η αυτόματη καταγραφή δεδομένων, για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων που εξετάστηκαν.

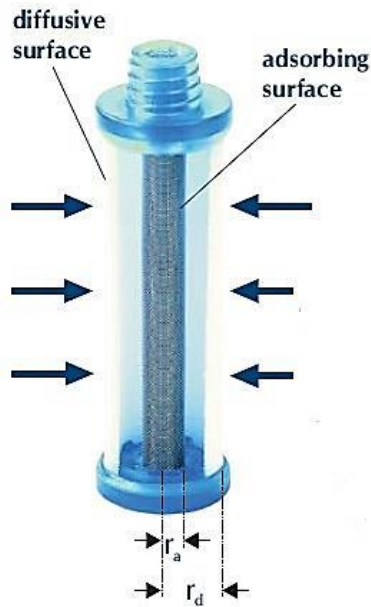
Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις που σημειώθηκαν στη δειγματοληψία αέρα τα τελευταία χρόνια είναι η εξέλιξη των παθητικών δειγματοληπτών. Η τεχνολογία της παθητικής δειγματοληψίας εισήχθη αρχικά στον τομέα της υγείας και ασφάλειας από τους ερευνητές Palmes και Gunnison. Με τον καιρό αυξήθηκε το πλήθος των εφαρμογών, στις οποίες αυτή χρησιμοποιείται και συνεπώς αυξήθηκαν ο αριθμός και οι τύποι των παθητικών δειγματοληπτών που είναι διαθέσιμοι στην αγορά. Κατά την παθητική δειγματοληψία δεν απαιτείται η ενεργή κίνηση του αέρα με αντλία, αλλά χρησιμοποιείται η φυσική διεργασία της διάχυσης ή της διαπέρασης μέσω μίας μεμβράνης. Οι περισσότεροι παθητικοί δειγματολήπτες χρησιμοποιούν τη διεργασία της διάχυσης, έτσι αναφέρονται συνήθως ως «παθητικοί δειγματολήπτες διάχυσης».

***Πειραματικός εξοπλισμός για τη δειγματοληψία των πτητικών οργανικών ενώσεων, φορμαλδεΰδης και διοξειδίου του αζώτου.***

Για τη δειγματοληψία των VOCs, της φορμαλδεΰδης και του NO<sub>2</sub> προτιμήθηκαν οι συσκευές παθητικής δειγματοληψίας με διάχυση, Radiello, της εταιρίας Fondazione Salvatore Maugeri IRCCS.

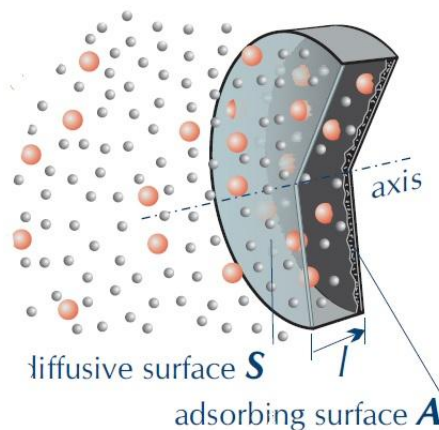
#### ***4.1.1 Radiello diffusive air samplers***

Η συσκευή Radiello είναι ένας παθητικός δειγματολήπτης διάχυσης, δηλαδή ένα κλειστό κουτί, κυλινδρικού σχήματος, το οποίο έχει 2 τοιχώματα. Το ένα είναι η επιφάνεια διάχυσης, την οποία διαπερνούν τα αέρια σωματίδια κι το δεύτερο, η προσροφητική επιφάνεια, στην οποία προσροφούνται (Σχήμα 4.1).



**Σχήμα 4.1:** Παθητικός δειγματολήπτης Radiello. Φαίνονται οι επιφάνειες διάχυσης και προσρόφησης

Ωθούμενα από την κλίση της συγκέντρωσης (διαφορά συγκέντρωσης ανά μονάδα μήκους),  $dC/dl$ , τα αέρια μόρια διασχίζουν τη διαχυτική επιφάνεια  $S$  και διαχέονται προς την προσροφητική επιφάνεια  $A$  κατά τη διαδρομή  $l$  (Σχήμα 4.2), παράλληλα με τον άξονα του κυλίνδρου.



**Σχήμα 4.2:** Η διαδρομή των αέριων μορίων διαμέσου του δειγματολήπτη Radiello

Τα μόρια που παγιδεύονται στο προσροφητικό υλικό τελικά προσροφώνται στο  $A$  σύμφωνα με την εξίσωση :

$$\frac{dm}{dt} = D S \frac{dC}{dl}$$

όπου  $dm/dt$ : ο ρυθμός πρόσληψης (προσρόφησης της μάζας),

D: η σταθερά διάχυσης

Αν C είναι η συγκέντρωση της επιφάνειας διάχυσης και C<sub>0</sub> η συγκέντρωση της προσροφητικής επιφάνειας, η ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης δίνει:

$$\frac{m}{t} = D \frac{S}{l} (C - C_0).$$

Αν η συγκέντρωση στην προσροφητική επιφάνεια είναι αμελητέα, η εξίσωση προσεγγίζεται ως εξής:

$$\frac{m}{tC} = D \frac{S}{l} = Q \text{ και έπειτα } C = \frac{m}{tQ},$$

όπου Q: ο ρυθμός συλλογής δείγματος και εκφράζεται στις μονάδες της ροής του αερίου (δηλαδή αν το m είναι σε μg, το t σε λεπτά και το C σε μg/l, τότε το Q εκφράζεται σε l/min).

Έτσι, αν ο ρυθμός δειγματοληψίας Q είναι σταθερός, για να υπολογιστεί η συγκέντρωση του ρύπου στο περιβάλλον, χρειάζεται μόνο να ποσοτικοποιηθεί η μάζα του αναλύτη (αέριος ρύπος) που παγιδεύεται στο προσροφητικό υλικό και να σημειωθεί ο χρόνος έκθεσης του δειγματολήπτη διάχυσης.

Ο μόνος τρόπος να βελτιωθεί ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι με τη βελτίωση της γεωμετρίας του δειγματολήπτη, χρησιμοποιώντας ακτινική σχεδίαση. Έτσι, οι δειγματολήπτες Radiello έχουν κυλινδρικό σχήδιο, με την εξωτερική επιφάνεια να δρα ως επιφάνεια διάχυσης και η εσωτερική ως προσροφητική επιφάνεια. Τα αέρια μόρια κινούνται αξονικά παράλληλα προς την προσροφητική κλίνη, η οποία είναι επίσης κυλινδρική και ομοαξονική της επιφάνειας διάχυσης. Σε σύγκριση με τους αξονικούς δειγματολήπτες, το Radiello έχει μεγαλύτερη επιφάνεια διάχυσης χωρίς την αύξηση του προσροφητικού υλικού.

Αν το εμβαδόν του κυλίνδρου είναι  $S = 2\pi rh$ , όπου h το ύψος του κυλίνδρου και η διαδρομή διάχυσης l είναι ίση με την ακτίνα r τότε ο ρυθμός προσρόφησης είναι:

$$\frac{dm}{dt} = D 2\pi hr \frac{dC}{dr}.$$

Με ολοκλήρωση της εξίσωσης αυτής από r<sub>d</sub> (η ακτίνα της κυλινδρικής επιφάνειας διάχυσης) έως r<sub>a</sub> (η ακτίνα της προσροφητικής επιφάνειας) γίνεται:

$$\frac{m}{tC} = D \frac{2\pi h}{\ln \frac{r_d}{r_a}} = Q,$$

όπου ο λόγος  $\frac{2\pi h}{\ln \frac{r_d}{r_a}}$  είναι η γεωμετρική σταθερά του δειγματολήπτη Radiello. Συνεπάγεται

λοιπόν, ότι ο υπολογισμένος ρυθμός προσρόφησης είναι ανάλογος του ύψους του κυλίνδρου και αντιστρόφως ανάλογος του λογαρίθμου του λόγου των ακτινών της επιφάνειας διάχυσης και προσρόφησης.

Ενώ ο ρυθμός συλλογής δείγματος δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις διαφορές της πίεσης στο περιβάλλον, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, έτσι ενδέχεται να προκύψουν σημαντικά σφάλματα στις μετρήσεις αν η θερμοκρασία είναι πολύ διαφορετική από 25 °C. Η δειγματοληψία δεν επηρεάζεται αν τα Radiello απορροφήσουν ακόμα και μεγάλες ποσότητες νερού, ως συνέπεια της έκθεσής τους σε υγρή ατμόσφαιρα. Το ίδιο, όμως, δεν ισχύει και για την περίπτωση που, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, δημιουργηθεί στρώμα πάγου στο πορώδες του Radiello, καταστρέφοντας έτσι τη δειγματοληψία. Συνεπώς, τα Radiello θα πρέπει να προστατεύονται από τις κακές καιρικές συνθήκες.

Ανάλογα με τον ρύπο που μετράται, υπάρχουν διαφορετικοί κύλινδροι διάχυσης (diffusive body) και προσρόφησης (adsorbing cartridge). Οι κύλινδροι προσρόφησης έχουν όλοι το ίδιο μέγεθος: 60 mm μήκος, και 4,8 ή 5,8 mm διάμετρο.

Για τη συλλογή του δείγματος των VOCs χρησιμοποιήθηκαν άσπροι κύλινδροι διάχυσης (white diffusive body, code 120), από μικροπορώδες πολυαιθυλένιο, πάχους 1,7 mm και μέσο πορώδες  $25 \pm 5$   $\mu\text{m}$ . Το μήκος της διαδρομής διάχυσης είναι 18 mm. Επίσης χρησιμοποιήθηκε προσροφητικός κύλινδρος ενεργού άνθρακα (activated charcoal adsorbing cartridge, code 130)

Για τη φορμαλδεΐδη έγινε χρήση μπλε κυλίνδρων διάχυσης (blue diffusive body, code 120-1), οι οποίοι έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τους άσπρους αλλά είναι αδιαφανείς, για να εξυπηρετείται η δειγματοληψία ουσιών, ευαίσθητων στο φως. Επιλέχθηκε ο προσροφητικός κύλινδρος για αλδεΐδες (chemiadsorbing cartridge for aldehydes, code 165).

Για το NO<sub>2</sub>, επιλέχθηκαν οι μπλε κύλινδροι διάχυσης (blue diffusive body, code 120-1), όπως και για τη φορμαλδεΐδη και ο προσροφητικός κύλινδρος για NO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> (chemiadsorbing cartridge for NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>, code 166).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για όλα τα Radiello, έγινε χρήση βάσεων (supporting plate, code 121) και ετικετών (label, code 190).

Τα πλεονεκτήματα αυτών των δειγματοληπτών είναι ότι δεν χρειάζονται παροχή ρεύματος, δεν απαιτούνται αντλίες αέρα, δεν υπάρχει η ανάγκη παρακολούθησής τους, είναι αθόρυβοι, φορητοί, ελαφριοί και το κόστος τους δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό.

## **4.2 Πειραματικός εξοπλισμός για την εργαστηριακή ανάλυση και τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των δειγμάτων**

### **4.2.1 Πειραματικός εξοπλισμός για την εργαστηριακή ανάλυση και τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων**

Ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων των VOCs πραγματοποιήθηκε με χρήση του συστήματος αέριου χρωματογράφου - φασματογράφου μάζας GC 6890n – MS 5973 της εταιρίας Agilent, με το οποίο αναλύθηκαν τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις συσκευές παθητικής δειγματοληψίας Radiello, οι οποίες παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 5.1.2.

#### **4.2.1.1 Agilent 6890n/5973 Gas Chromatograph/Mass Selective Detector System**

Ο αέριος χρωματογράφος – φασματογράφος μάζας Agilent 6890n/5973 (Σχήμα 4.3) αποτελείται από ένα σύστημα δύο συσκευών, οι οποίες επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες. Με την αέρια χρωματογραφία, διαχωρίζονται οι ουσίες που είναι διαλυμένες σε ένα μίγμα ενώ η φασματομετρία μαζών επιτρέπει την ακριβέστερη ταυτοποίηση αυτών των ουσιών.



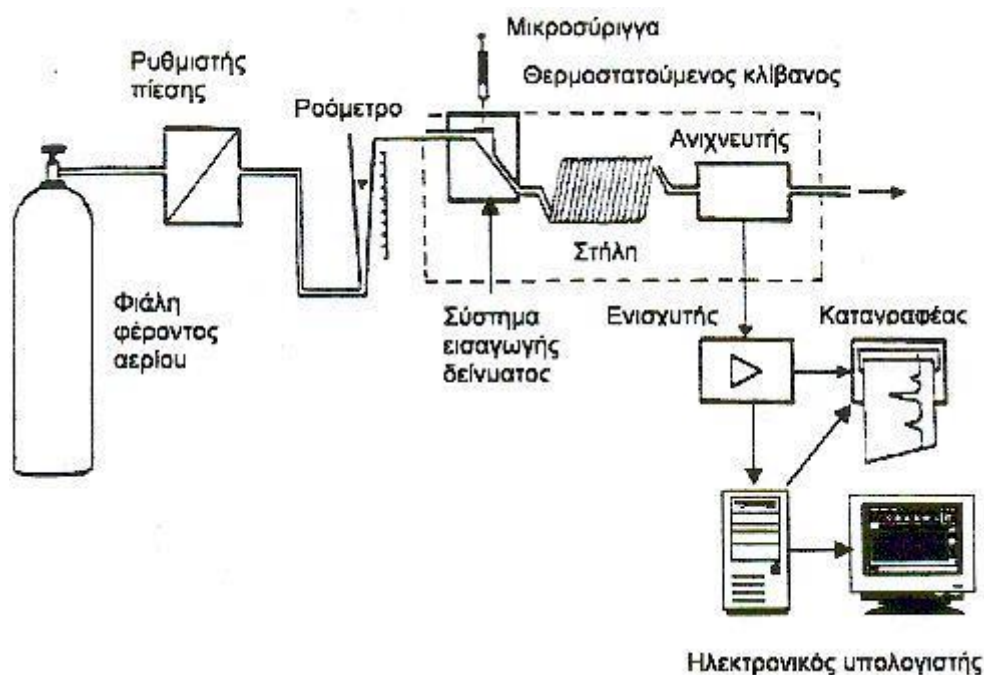
**Σχήμα 4.3: Ο αέριος χρωματογράφος – φασματογράφος μάζας Agilent 6890n/5973**

Η τεχνική της χρωματογραφίας, γενικότερα, βασίζεται στην κατανομή των προς διαχωρισμό ουσιών εντός δύο φάσεων, όπου η μία φάση διατηρείται ακίνητη (στατική φάση), ενώ η



δεύτερη βρίσκεται υπό συνεχή ροή (κινητή φάση). Το προς διαχωρισμό μίγμα εισάγεται με τη βοήθεια της κινητής φάσης στη στατική φάση. Οι δύο φάσεις επιλέγονται έτσι, ώστε τα συστατικά του δείγματος να κατανέμονται μεταξύ της κινητής και της στατικής φάσης σε διαφορετικό βαθμό. Τα συστατικά τα οποία κατακρατούνται ισχυρότερα από τη στατική φάση κινούνται αργά κατά τη ροή της κινητής φάσης. Αντίθετα, τα συστατικά τα οποία κατακρατούνται ασθενέστερα από τη στατική φάση, κινούνται ταχύτερα. Ως αποτέλεσμα αυτών των διαφορών στην ευκινήσια, τα συστατικά διαχωρίζονται. Οι διάφορες χρωματογραφικές μέθοδοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη φύση της κινητής φάσης (υγρή ή αέρια) ή της στατικής (στερεό ή υγρό πάνω σε στερεό υπόστρωμα), ως προς το μηχανισμό στον οποίο οφείλεται ο διαχωρισμός (προσρόφηση, ιοντοανταλλαγή, κατανομή, μέγεθος μορίων) και ως προς το μέσο στο οποίο έχει τοποθετηθεί η στατική φάση (στήλη, λεπτή στοιβάδα πάνω σε γυάλινη πλάκα, χαρτί).

Η αέρια χρωματογραφία είναι μια τεχνική, η οποία διαχωρίζει τα συστατικά ενός μίγματος. Η τυπική διάταξη ενός αέριου χρωματογράφου φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Το φέρον αέριο (συνήθως  $N_2$ , He,  $H_2$ , Ar), οδηγείται στη στήλη από τη φιάλη υψηλής πίεσης, μέσα από ρυθμιστές παροχής. Η εισαγωγή του δείγματος γίνεται με μικροσύριγγα στη βαλβίδα εισαγωγής του δείγματος στην κορυφή της στήλης. Τα συστατικά του δείγματος συμπαρασύρονται από το φέρον αέριο κατά μήκος της στήλης. Έπειτα, οι διαφορετικές αυτές ουσίες κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες, εξέρχονται από τη στήλη σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και συνεπώς διαχωρίζονται. Τα κλάσματα στη συνέχεια ανιχνεύονται στον ανιχνευτή και τα σήματα ανίχνευσης καταγράφονται από καταγραφικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, στη συνέχεια υπάρχει μια διάταξη, όπου συλλέγονται τα διάφορα κλάσματα και ένα ροόμετρο για τον έλεγχο της ταχύτητας ροής του φέροντος αερίου.



Σχήμα 4.4: Τυπική διάταξη ενός αέριου χρωματογράφου

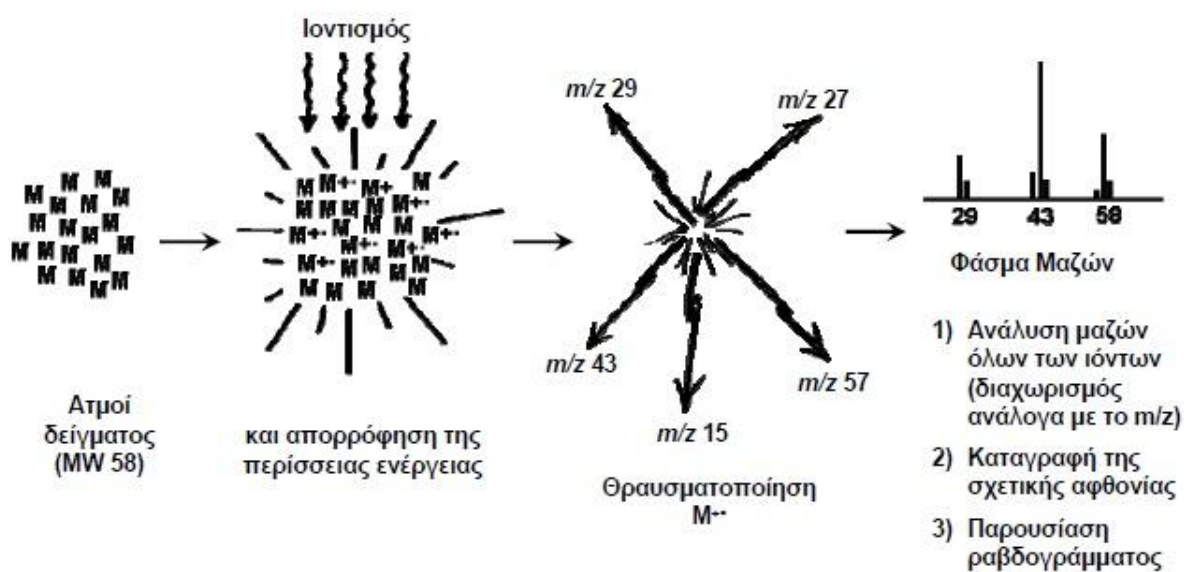
Ως φέρον αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε αέριο σε υπερκάθαρη κατάσταση, το οποίο μπορεί να διαφοροποιηθεί στον ανιχνευτή, από τα διάφορα συστατικά του μίγματος. Το φέρον αέριο πρέπει να είναι αδρανές και απαλλαγμένο από προσμίξεις. Επίσης δεν πρέπει να περιέχει οξυγόνο, γιατί οξειδώνει τη στατική φάση (δηλαδή τη φάση κατά την οποία υπάρχει σχετική αλληλεπίδραση των συστατικών του μίγματος με την επικάλυψη της στήλης) και αυτό σημαίνει καταστροφή της στήλης, ιδιαίτερα όταν αυτή είναι τριχοειδής και η ποσότητα της στατικής φάσης είναι ελάχιστη. Ίχνη υγρασίας επίσης απενεργοποιούν τη στατική φάση, για αυτό το φέρον αέριο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από υγρασία. Η επιλογή του φέροντος αερίου εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του ανιχνευτή που χρησιμοποιείται.

Η καρδιά του χρωματογράφου είναι η στήλη. Υπάρχουν δύο είδη στηλών οι πληρωμένες στήλες και οι τριχοειδείς. Η στήλη αποτελείται από έναν επιμήκη σωλήνα, συνήθως με τη μορφή σπειρώματος ή U, ώστε να καταλαμβάνει όσο το δυνατόν μικρότερο χώρο, από ανοξείδωτο χάλυβα, χαλκό, αργίλιο, γυαλί ή πλαστικό, μήκους 1 - 2 m (για της πληρωμένες στήλες), μέχρι αρκετών εκατοντάδων μέτρων (για τις τριχοειδείς), εσωτερικής διαμέτρου της τάξεως των χιλιοστόμετρων (στις αναλυτικές στήλες) και πολλών δεκάδων εκατοστών (στις παρασκευαστικές στήλες).

Το δείγμα, συνήθως όγκου 1  $\mu\text{L}$ , εισάγεται στο ρεύμα του φέροντος αερίου στην αρχή της στήλης με μια μικροσύριγγα, μέσω μιας ελαστικής πλακέτας ή διαφράγματος (septum). Η ταχύτητα και η ικανότητα του διαχωρισμού εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Για αυτό το λόγο, η στήλη βρίσκεται σε φούρνο, του οποίου η θερμοκρασία ελέγχεται αυστηρά. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται, εξαιτίας των διαφόρων δυνάμεων συγκράτησης και έκλουσης ανάμεσα στα συστατικά του μίγματος, το υλικό πλήρωσης της στήλης και της ροής του φέροντος αερίου.

Το δεύτερο μέρος του χρωματογράφου περιλαμβάνει τον ανιχνευτή, ο οποίος τοποθετείται στο τέλος της στήλης. Τα σήματα ενισχύονται, καθώς οι ουσίες εξέρχονται από τον χρωματογράφο διαχωρισμένες και καταγράφονται στο καταγραφικό σύστημα, έτσι καθίσταται δυνατόν να ταυτοποιηθούν οι ουσίες που υπάρχουν μέσα σε ένα μίγμα.

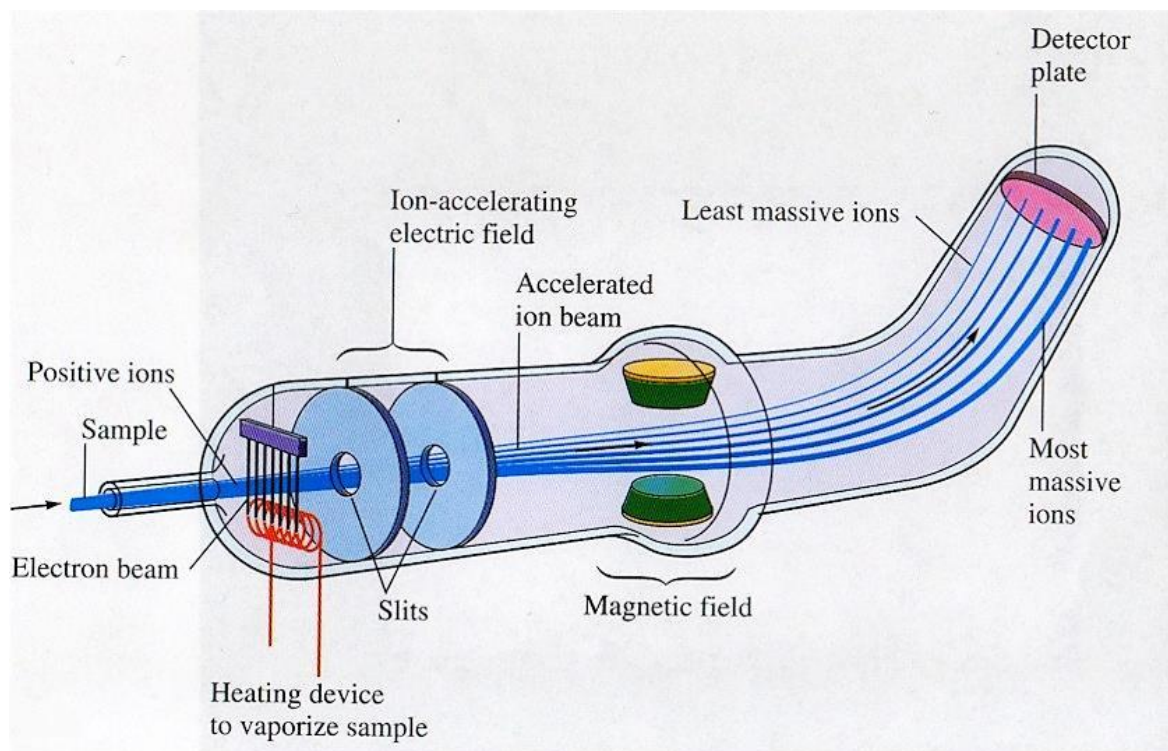
Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στην ταυτοποίηση των ουσιών, αρκετοί κατασκευαστές οργάνων προσφέρουν αέριους χρωματογράφους που μπορούν να συζευχθούν άμεσα με φασματογράφους μαζών ταχείας σάρωσης. Η αρχή λειτουργίας της φασματομετρίας μαζών στηρίζεται στη δημιουργία ιόντων (κυρίως θετικών) μιας ένωσης, το διαχωρισμό τους με βάση το λόγο μάζας προς φορτίο και την καταγραφή τους. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να προσδιοριστεί το μοριακό βάρος της ένωσης και ο τρόπος σύνδεσης των διαφόρων ομάδων μεταξύ τους (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Βασική αρχή λειτουργίας της φασματομετρίας μαζών

Οι τυπικοί φασματογράφοι μαζών (Σχήμα 4.6) αποτελούνται από:

- Το θάλαμο ιοντισμού, όπου μετατρέπεται η ένωση σε ιόντα, συνήθως κατιόντα, με απόσπαση ενός ηλεκτρονίου,
- Τον αναλυτή μαζών, όπου γίνεται διαχωρισμός των ιόντων με βάση το λόγο μάζας/φορτίου,  $m/z$ ,
- Τον ανιχνευτή.



**Σχήμα 4.6:** Τυπική διάταξη φασματογράφου μάζας. Τα μόρια με τον μικρότερο λόγο  $m/z$  εκτρέπονται περισσότερο, ενώ τα βαρύτερα, λιγότερο

Ο χώρος, όπου δημιουργούνται και επιταχύνονται τα ιόντα, διατηρείται σε κατάσταση υψηλού κενού. Με το υψηλό κενό δημιουργούνται, σε χαμηλές θερμοκρασίες θέρμανσης, ατμοί της προς προσδιορισμό ουσίας χωρίς τη διάσπασή της, που οδηγούνται στο θάλαμο ιοντισμού. Επίσης απομακρύνονται τα μόριά της και τα ουδέτερα προϊόντα της διάσπασης από το χώρο της ανάλυσης, μετά από κάθε μέτρηση.

Ο συνηθέστερος τρόπος ιοντισμού είναι με βομβαρδισμό των αερίων μορίων της ένωσης με δέσμη ηλεκτρονίων. Κατά τον ιοντισμό της ένωσης, ο οποίος επιτυγχάνεται με βομβαρδισμό μορίων αυτής με δέσμη ηλεκτρονίων μεγάλης ενέργειας (συνήθως 70 eV), δημιουργείται, με απώλεια ενός ηλεκτρονίου από μέρος της ένωσης, μια κατιοντική ρίζα που αντιστοιχεί στο μοριακό ιόν. Οι κατιοντικές αυτές ρίζες επιταχύνονται αρχικά με ηλεκτρικό πεδίο και στη συνέχεια κινούνται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, οπότε εκτρέπονται και διαχωρίζονται με βάση το λόγο  $m/z$ . Άλλοι τρόποι σχηματισμού ιόντων είναι : ο χημικός ιοντισμός (CI), η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου (FI), ο βομβαρδισμός με γρήγορα ουδέτερα άτομα Xe ή Ar ή ιόντα Cs (FIB). Οι πιο κοινότες αναλυτές είναι: αναλυτής τομέα, τετραπολικός αναλυτής, παγίδα ιόντων, αναλυτής χρόνου πτήσης

Ο αναλυτής αποτελείται από ένα σωλήνα σε σχήμα τόξου, που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μεγάλης έντασης (3000 - 4000 Gauss) και σε διεύθυνση κάθετη προς τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Με δύο κυκλικές οπές – διαφράγματα μεταβλητής ακτίνας στην αρχή και στο τέλος του σωλήνα, ένα μέρος από τα ιόντα που δεν εστιάζονται στο κέντρο των διαφραγμάτων απορρίπτεται.

Για τον αέριο χρωματογράφο της Agilent, η θερμοκρασία του φούρνου είναι -4 - 450 °C, τα φέροντα αέρια μπορούν να είναι υδρογόνο, ήλιο, άζωτο και αργό και η πίεση από 0 έως

100 psi, ενώ για τον φασματογράφο μαζών η ενέργεια ιοντισμού 5 - 241,5 eV, η ένταση του ρεύματος ιοντισμού 0 - 315  $\mu$ A, η θερμοκρασία της γραμμής μεταφοράς 100 - 350 °C, η θερμοκρασία της πηγής ιόντων 150 - 350 °C, το εύρος μαζών 1,6 - 800 amu και η συνολική ροή 2 mL/min.

#### **4.2.2 Πειραματικός εξοπλισμός για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης φορμαλδεΐδης**

Ο υγρός χρωματογράφος υψηλής πίεσης Agilent Series 1100 επιλέχθηκε για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της φορμαλδεΐδης, τα δείγματα της οποίας συλλέχθηκαν με τους παθητικούς δειγματολήπτες Radiello.

##### **4.2.2.1 Agilent 1100 Series HPLC Value System**

Το σύστημα Agilent Series 1100 (Σχήμα 4.7) εφαρμόζει τη μέθοδο διαχωρισμού HPLC, δηλαδή την υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης ή πίεσης (High Performance/Pressure Liquid Chromatography), η οποία περιλαμβάνει την έγχυση ενός μικρού όγκου υγρού δείγματος σε έναν σωλήνα πληρωμένο με μικρά σωματίδια (διαμέτρου 3 έως 5  $\mu$ m, που ονομάζονται στατική φάση). Τα διαφορετικά συστατικά του μίγματος συμπαρασύρονται από τον πληρωμένο σωλήνα (στήλη) με τη βοήθεια ενός υγρού (κινητή φάση), το οποίο εισάγεται στη στήλη με υψηλή πίεση, μέσω μιας αντλίας και διαχωρίζονται μεταξύ τους από το πληρωτικό υλικό της στήλης. Ο διαχωρισμός αυτός επιτυγχάνεται μέσω των φυσικοχημικών επιδράσεων μεταξύ των μορίων των συστατικών του μίγματος και της στατικής φάσης. Τα διαχωρισμένα συστατικά ανιχνεύονται στην έξοδο της στήλης από τον ανιχνευτή ο οποίος ανιχνεύει την ποσότητά τους. Έτσι, παράγεται το υγρό χρωματογράφημα.

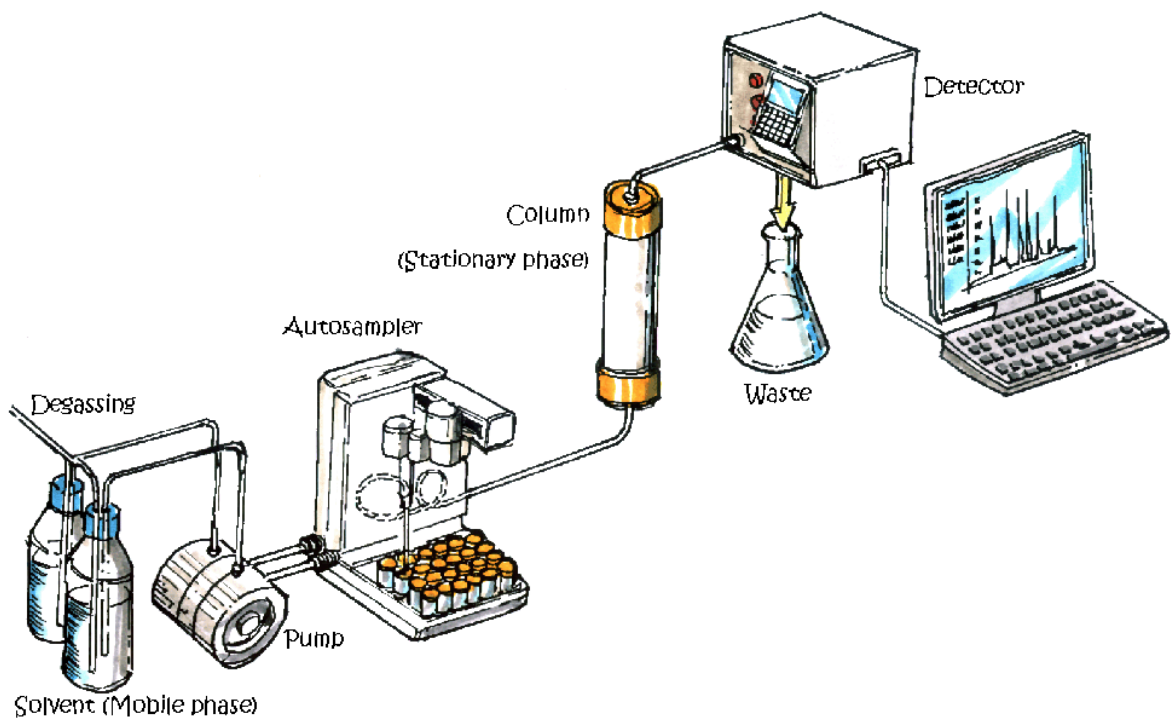
Ένα τυπικό σύστημα HPLC (Σχήμα 4.7) περιλαμβάνει:

- Τις φιάλες αποθήκευσης διαλυτών,
- την αντλία (σταθερής ροής ,σταθερής πίεσης),
- τη μονάδα εισαγωγής δείγματος (βαλβίδα εισαγωγής δείγματος, αυτόματος δειγματολήπτης),
- τη χρωματογραφική στήλη,
- τον ανιχνευτή και
- το καταγραφικό.

Στην αναλυτική στήλη γίνεται ο διαχωρισμός των συστατικών του δείγματος, ενώ η προώθηση της κινητής φάσης, διαμέσου της στήλης, γίνεται με την αντλία. Η διεργασία του χρωματογραφικού διαχωρισμού αρχίζει με την εισαγωγή του δείγματος στη στήλη.



Σχήμα 4.7: Agilent 1100



Σχήμα 4.8: Τυπική διάταξη υγρού χρωματογράφου υψηλής απόδοσης

Στην HPLC μπορούν να συμπεριληφθούν και να εφαρμοστούν όλα τα είδη που λαμβάνουν χώρα στους χρωματογραφικούς διαχωρισμούς, με την κατάλληλη χρήση υλικού πληρώσεως της στήλης και του διαλύτη έκλουσης. Οι κυριότερες κατηγορίες της είναι οι εξής:

- Χρωματογραφία Αντίστροφης Φάσης. Εδώ, η στατική φάση, η οποία είναι λιγότερο πολική της κινητής, αποτελείται από οξείδιο πυριτίου συζευγμένο με διάφορες ομάδες όπως αλκύλια (ακετύλιο, δεκαοκτύλιο), φαινύλιο, διόλες, αμινομάδες, κυανομάδες κ.ά., ενώ η κινητή φάση αποτελείται από μείγματα οργανικών διαλυτών (μεθανόλη, ακετονιτρίλιο, κ.ά.) με υδατικά ρυθμιστικά διαλύματα και νερό.
- Χρωματογραφία Κανονικής Φάσης και Χρωματογραφία Προσρόφησης. Στη χρωματογραφία κανονικής φάσης, η στατική φάση (συνήθως  $\text{SiO}_2$  ή  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) είναι πολικότερη από την κινητή, η οποία αποτελείται από μη πολικούς διαλύτες όπως εξάνιο, χλωροφόρμιο. Κατά τη χρωματογραφία προσρόφησης, ο διαχωρισμός των διαφόρων ουσιών βασίζεται στο διαφορετικό βαθμό προσρόφησης στη στατική φάση. Οι κυριότερες αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι ηλεκτροστατικής φύσης. Η χρωματογραφία προσρόφησης βρίσκει εφαρμογή στο διαχωρισμό ουσιών με παρόμοια δομή, αλλά με διαφορετική πολικότητα.
- Χρωματογραφία Κατανομής. Ο διαχωρισμός στηρίζεται στη διαφορετική κατανομή των συστατικών ενός μείγματος μεταξύ της κινητής και της υγρής στατικής φάσης και εφαρμόζεται στην ανάλυση ομόλογων, μη ιοντικών ενώσεων.
- Χρωματογραφία Ιοντοανταλλαγής. Ο διαχωρισμός οφείλεται στις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αναλυόμενων ιόντων και των φορτισμένων ομάδων της στατικής φάσης. Οι κυριότερες παράμετροι που καθορίζουν τη συγκράτηση στη χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής είναι το αντίθετο ιόν της δραστηκής ομάδας της στατικής φάσης, η ιονική ισχύς, το pH, ο τροποποιητής της κινητής φάσης και η θερμοκρασία.

Το σύστημα Agilent Series 1100 λειτουργεί σε θερμοκρασίες 4 - 55 °C και σχετική υγρασία μικρότερη του 95 %. Η συνιστώμενη ροή στη στήλη είναι 1 - 20  $\mu\text{L}/\text{λεπτό}$ , η πίεση λειτουργίας της βαλβίδας 20 - 400 bar, το συνιστώμενο pH των διαλυτών είναι 1,0 - 8,5 (οι διαλύτες με pH μικρότερο του 2,3 δεν πρέπει να περιέχουν οξέα που φθείρουν το ανοξείδωτο ατσάλι), ενώ το μήκος κύματος του ανιχνευτή είναι 190 - 950 nm.

#### **4.2.3 Πειραματικός εξοπλισμός για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου**

Οι συγκεντρώσεις του  $\text{NO}_2$  προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας, μέσω του φασματοφωτόμετρου υπεριώδους - ορατού Rayleigh UV-1601. Τα δείγματα συλλέχθηκαν από τους παθητικούς δειγματολήπτες Radiello.

##### **Rayleigh UV-1601 UV/VIS Spectrophotometer**

Η συσκευή ανάλυσης Rayleigh UV-1601 (Σχήμα 4.9) χρησιμοποιεί τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας υπεριώδους-ορατού (UV-VIS) για την ανίχνευση και τον υπολογισμό της συγκέντρωσης ρύπων. Γενικά, οι φασματοσκοπικές μέθοδοι χημικής ανάλυσης, όπου ανήκει και η φασματοφωτομετρία UV-VIS, χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την επίλυση διαφόρων χημικών προβλημάτων, που σχετίζονται με τη δομή, την κινητική, την ταυτοποίηση και την ποσοτική ανάλυση διαφόρων ενώσεων. Τα πλεονεκτήματα αυτών των μεθόδων είναι ότι χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα δείγματος, το οποίο δεν καταστρέφεται

στο τέλος της ανάλυσης, παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία και ο χρόνος της ανάλυσης είναι σχετικά μικρός.



**Σχήμα 4.9: Rayleigh UV-1601**

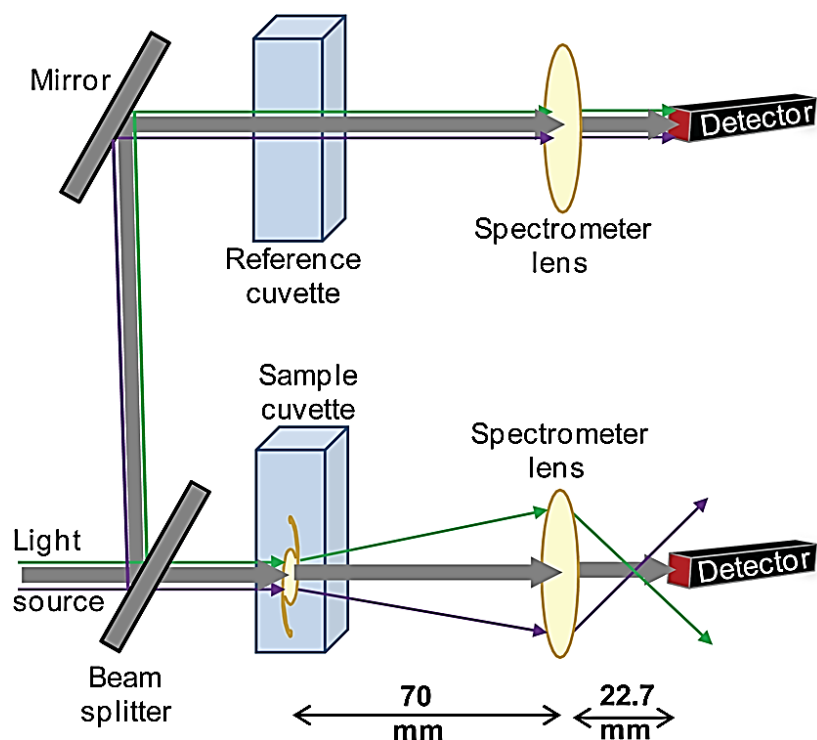
Οι περισσότερες φασματοφωτομετρικές μέθοδοι βασίζονται στην επίδραση κατάλληλης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μια ουσία που δεσμεύεται από τα άτομα ή τα μόρια της ύλης και προκαλεί ηλεκτρονικές διεγέρσεις, διεγέρσεις πυρήνων ή αλλαγές στην περιστροφή και τη δόνηση των μορίων. Στη συνέχεια, τα άτομα και τα μόρια επιστρέφουν συνήθως στην αρχική τους κατάσταση, αφού αποβάλλουν το ποσό της ενέργειας που απορρόφησαν. Η καταγραφή της έντασης της απορρόφησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος ή τη συχνότητα της ακτινοβολίας αποτελεί το φάσμα απορρόφησης, που είναι γραμμικό στα άτομα και έχει τη μορφή ταινιών στα μόρια.

Η απορρόφηση υπεριώδους (190 - 400 nm), ή ορατής ακτινοβολίας (400 - 800 nm), προκαλεί μόνο ηλεκτρονικές διεγέρσεις, δηλαδή διεγέρσεις ηλεκτρονίων της στοιβάδας σθένους, που μεταβαίνουν από μια δεσμική σε μια αντιδεσμική κατάσταση, χωρίς όμως να αλλάζουν τον κύριο κβαντικό αριθμό.

Πιο συγκεκριμένα (Σχήμα 4.10), ο μονοχρωμάτορας (πρίσμα ή παραθλαστικό φράγμα) σε ένα φασματοφωτόμετρο αναλύει τα λευκό φως στις διάφορες μονοχρωματικές περιοχές του και επιλέγει τα επιθυμητό μήκος κύματος, με μεγάλη ακρίβεια. Ο διαχωριστής δέσμης χωρίζει την εξερχόμενη δέσμη σε δύο ίσα μέρη. Οι κυψελίδες που περιέχουν το τυφλό δείγμα (blank, δηλαδή το διάλυμα που έχει υποστεί όλες ακριβώς τις επεξεργασίες όπως και το άγνωστο, αλλά δεν περιέχει την ουσία που εξετάζουμε) και το δείγμα μέτρησης κατασκευάζονται από χαλαζία για την περιοχή του υπεριώδους ή και από γυαλί για την



περιοχή του ορατού. Οι 2 ανιχνευτές, συνδυαζόμενοι, βρίσκουν το σήμα που οφείλεται στην ουσία που θέλουμε να προσδιορίσουμε. Ο ενισχυτής ενισχύει το εξερχόμενο σήμα. Η μέτρηση και η καταγραφή του σήματος γίνεται από φωτοκύτταρο και εκφράζεται σαν απορρόφηση ή διαπερατότητα. Σήμερα, τα χρησιμοποιούμενα όργανα είναι συνήθως αυτογραφικά διπλής δέσμης, (ο μηδενισμός του οργάνου γίνεται αυτόματα) και δίνουν τις μεταβολές της απορρόφησης και της διαπερατότητας συναρτήσει του μήκους κύματος.



Σχήμα 4.10: Τυπική διάταξη φασματοφωτόμετρου υπεριώδους – ορατού

Από την ανάλυση των τυφλών δειγμάτων προκύπτει η καμπύλη αναφοράς ή βαθμονόμησης (calibration curve), η οποία είναι η καμπύλη που προκύπτει από τη γραφική απεικόνιση των αριθμητικών τιμών μιας φυσικοχημικής ιδιότητας του δείγματος, συναρτήσει της συγκέντρωσης της ουσίας σε πρότυπα διαλύματα. Από την καμπύλη αναφοράς υπολογίζουμε αμέσως τη συγκέντρωση ενός άγνωστου διαλύματος.

Το φασματοφωτόμετρο υπεριώδους-ορατού Rayleigh έχει διαστάσεις 630×740×210 mm, βάρος 26 kg, εύρος μήκους κύματος 190 - 1100 nm, ακρίβεια μήκους κύματος  $\pm 0,3$  nm και ο ανιχνευτής του έχει φωτοδιόδους πυριτίου.

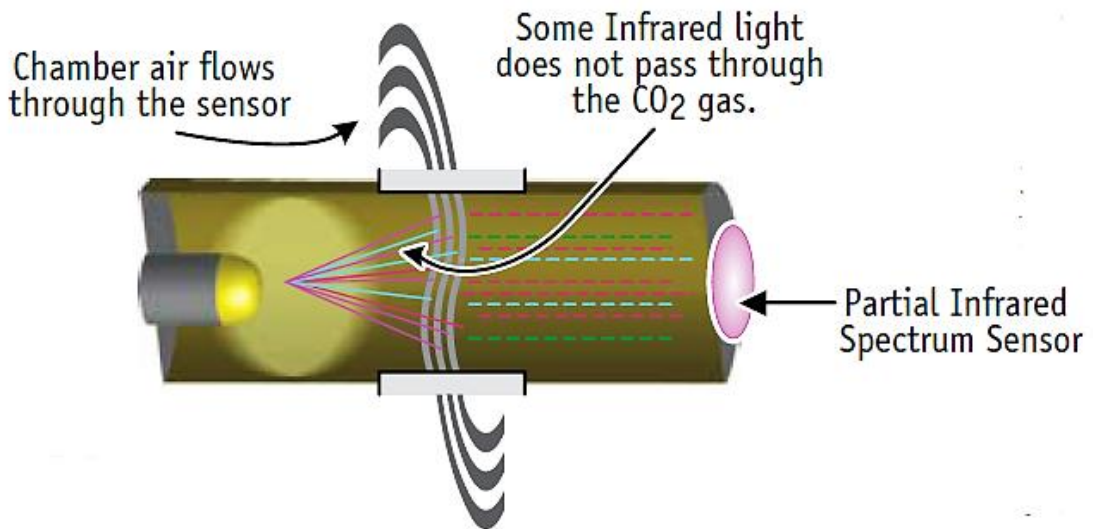
### 4.3 Πειραματικός εξοπλισμός για τον υπολογισμό θερμοκρασίας, υγρασίας

[Πειραματικός εξοπλισμός για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και την καταγραφή των συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας]

Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας και της υγρασίας στην κάθε οικία πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή καταγραφής δεδομένων Hobo U12 της εταιρίας Onset (Σχήμα 4.11),



Σχήμα 4.11: HOB0 U12



Σχήμα 4.12: Υπέρυθρη φασματοσκοπία χωρίς διάσπορά

#### 4.3.1 Hobo U12 Temp/RH/2 External Channel Logger

Οι συσκευές Hobo U12 χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας. Για τη μέτρηση της υγρασίας, γίνεται χρήση ενός χωρητικού (capacitive) αισθητήρα. Ο αισθητήρας είναι κατασκευασμένος από έναν πυκνωτή. Το διηλεκτρικό υλικό είναι ένα πολυμερές, το οποίο απελευθερώνει ή απορροφά νερό, ανάλογα με την αυξομείωση της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος, μεταβάλλοντας έτσι τη χωρητικότητα του πυκνωτή. Η μεταβολή αυτή μετρείται από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, καθορίζοντας έτσι την τιμή της σχετικής υγρασίας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με τη χρήση ενός αισθητήρα τύπου bandgap, ο οποίος λειτουργεί, εκμεταλλευόμενος το γεγονός ότι η τάση σε μία δίοδο πυριτίου εξαρτάται από τη διακύμανση της θερμοκρασίας.

## 5. Μεθοδολογία δειγματοληψίας, αποθήκευσης και φυσικοχημικής ανάλυσης των δειγμάτων

Για την παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε τρεις κατοικίες στην πόλη της Κοζάνης. Για την επιλογή των κατοικιών χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια. Οι τρεις κατοικίες βρίσκονται σε 3 αντιπροσωπευτικές τοποθεσίες της πόλης. Η κατοικία Α βρίσκεται σε αρκετά πολυσύχναστο μέρος της πόλης αφού γειτνιάζει με το νοσοκομείο της πόλης αλλά βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από τις άλλες 2 οικίες. Η οικία Β βρίσκεται σε αραιοκατοικημένη περιοχή μακριά από το κέντρο της πόλης ενώ η οικία Γ βρίσκεται στο κέντρο της πόλεως ενώ γειτνιάζει και τον πιο πολυσύχναστο δρόμο της πόλης.

## **5.1 Μεθοδολογία εσωτερικής και εξωτερικής δειγματοληψίας των ρύπων**

Στις μετρήσεις που έγιναν εφαρμόστηκε δειγματοληψία μεγάλης χρονικής περιόδου (long term sampling). Η δειγματοληψία σε κάθε οικία κάλυψε ένα χρονικό διάστημα 7 ημερών . Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω αποτελούν χρονικούς μέσους όρους των συγκεντρώσεων των ρύπων.

### **5.1.1 Μεθοδολογία αποθήκευσης των δειγμάτων**

Τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τη δειγματοληψία, αποθηκεύτηκαν σε ειδικές συνθήκες, οι οποίες καθορίστηκαν από τους κατασκευαστές των δειγματοληπτών

#### **5.1.1.1 Πτητικές οργανικές ενώσεις**

Πριν τη χρήση, οι προσροφητικοί κύλινδροι ενεργού άνθρακα Radiello αποθηκεύτηκαν σε ένα δροσερό μέρος και μακριά από πτητικές οργανικές ενώσεις. Μετά την έκθεση στο ρύπο, οι κύλινδροι σφραγίστηκαν σε ειδική θήκη και φυλάχθηκαν σε δροσερό μέρος, απουσία διαλυτών. Σε αυτές τις συνθήκες διατηρούν το περιεχόμενο τους και παραμένουν αναλλοίωτοι για τουλάχιστον 6 μήνες.

#### **5.1.1.2 Φορμαλδεΐδη**

Οι κύλινδροι φυλάχθηκαν σε σκοτεινό μέρος και στους 4 °C, πριν από τη δειγματοληψία. Σφραγισμένοι στα κουτιά τους, παραμένουν σταθεροί για τουλάχιστον 6 μήνες από την ημερομηνία παραγωγής. Κάθε τυφλό δείγμα (δηλαδή οι κύλινδροι, προτού χρησιμοποιηθούν για τη δειγματοληψία) έχει ποσότητα φορμαλδεΐδης, μικρότερη από 1 µg, ποσότητα που αντιστοιχεί σε συγκέντρωση στον αέρα μικρότερη από 0,1 µg/m<sup>3</sup> σε μία εβδομάδα, ή 2 µg/m<sup>3</sup> σε 8 ώρες. Η τιμή της ποσότητας της φορμαλδεΐδης στο τυφλό δείγμα μπορεί να αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου. Η ημερομηνία λήξης καθορίζεται από το πότε η τιμή της φορμαλδεΐδης, για ένα σωστά διατηρημένο κύλινδρο προσρόφησης, αναμένεται να ξεπεράσει τα 2 µg. Μετά τη δειγματοληψία, τα δείγματα αποθηκεύτηκαν, καλά σφραγισμένα, στους 4 °C.

#### **5.1.1.3 Διοξείδιο του αζώτου**

Οι κύλινδροι προσρόφησης παραμένουν σταθεροί για τουλάχιστον 12 μήνες πριν και 4 μήνες μετά τη δειγματοληψία, εφόσον διατηρηθούν σε κατάλληλες συνθήκες. Συνεπώς, αποθηκεύτηκαν πριν και μετά από αυτή σε σκοτεινό μέρος στους 4 °C.

## 5.2 Μεθοδολογία φυσικοχημικών αναλύσεων των δειγμάτων για των υπολογισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων

### 5.2.1 Μεθοδολογία ανάλυσης πτητικών οργανικών ενώσεων

Η δειγματοληψία των VOCs έγινε με χρήση των παθητικών δειγματοληπτών Radiello. Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των VOCs εφαρμόστηκε η μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας με φασματομετρία μαζών, και χρησιμοποιήθηκε ο αέριος χρωματογράφος με φασματογράφο μάζας Agilent 6890η/5973. Αναλυτικότερα, τα VOCs, οι συγκεντρώσεις των οποίων υπολογίστηκαν, ήταν: το βενζόλιο, το τολουόλιο, το αιθυλοβενζόλιο, το p,m ξυλένιο, το ο-ξυλένιο, το α-πινένιο, το d-λιμονένιο και το ναφθαλένιο, το οκτάνιο, το 1,2,4 τριμεθυλοβενζόλιο και το 2 φλοροτολουόλιο .

Αρχικά, παρασκευάστηκε το εσωτερικό πρότυπο (internal standard) από 2-fluorotoluene και δυθειάνθρακα (CS<sub>2</sub>). Έπειτα, έγινε το πυκνό πρότυπο διαλύοντας συγκεκριμένες ποσότητες βενζολίου, τολουολίου , 2 φλοροτολουολίου , οκτανίου, α-πινένιου, d-λιμονένιου , αιθυλοβενζολίου, p,m ξυλένιου, 1,2,4 τριμεθυλοβενζενίου, 3καρενίου και ναφθαλενίου σε CS<sub>2</sub>. Στη συνέχεια, αυτό αραιώθηκε δύο φορές και προσθέτοντας συγκεκριμένη ποσότητα εσωτερικού προτύπου, παρασκευάστηκαν διαλύματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκχύλιση τυφλών δειγμάτων Radiello. Τα εκχυλίσματα των τυφλών αυτών δειγμάτων που παράχθηκαν, με γνωστές συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ουσιών, τοποθετήθηκαν στον αέριο χρωματογράφο - φασματογράφο μάζας, ώστε να δημιουργηθεί η καμπύλη βαθμονόμησης του οργάνου και μέσω αυτής να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των ουσιών που συλλέχθηκαν κατά τη δειγματοληψία.

Για τον τελικό υπολογισμό της συγκέντρωσης χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$C = \frac{m}{Q_K \cdot t} \cdot 1000,$$

Όπου

C: η συγκέντρωση του ρύπου σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

m: η μάζα του ρύπου σε  $\mu\text{g}$ ,

$Q_K$ : η ροή δειγματοληψίας στη θερμοκρασία K, κατά την οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία σε l/min,

και t: ο συνολικός χρόνος της δειγματοληψίας σε min.

Ο ρυθμός δειγματοληψίας στη θερμοκρασία K υπολογίζεται, χρησιμοποιώντας τις τιμές αναφοράς  $Q_{298}$  (T=298K), οι οποίες παρέχονται από τον κατασκευαστή, για κάθε ρύπο των VOCs, η συγκέντρωση του οποίου αναλύεται, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_K = Q_{298} \cdot \left( \frac{K}{298} \right)^{1,5},$$

Όπου K: η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη δειγματοληψία

Και  $Q_{298}$ : 80 (βενζόλιο), 74 (τολουόλιο), 68 (αιθυλοβενζένιο), 53 (α-πινένιο), 43 (d-λιμονένιο), 70(p,m-xylene), 65(o-xylene), 50(1,2,4-TMB), 53(οκτανιο), 25 (ναφθαλένιο), σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 5.2.2 Μεθοδολογία ανάλυσης φορμαλδεΐδης

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των συγκεντρώσεων της φορμαλδεΐδης πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης. Αρχικά, έγινε η εκχύλιση των δειγμάτων, η δειγματοληψία των οποίων έγινε με τους παθητικούς δειγματολήπτες Radiello με την διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω.

Το κάθε δείγμα αναδεύτηκε, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, για μισή ώρα με ακετονιτρίλιο. Στη συνέχεια, αφού πέρασε από φιλτράρισμα με σύριγγες που είχαν φίλτρο, πορώδους 0,45  $\mu\text{m}$ , τοποθετήθηκε σε ειδικά δοχεία. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στην περίπτωση των τυφλών δειγμάτων για τη δημιουργία πρότυπων διαλυμάτων. Τα πρότυπα διαλύματα τοποθετήθηκαν πρώτα στο χρωματογράφο, ώστε να δημιουργηθεί η πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης του χρωματογράφου. Στη συνέχεια, έγινε η έγχυση των δειγμάτων, προκειμένου, μέσω της πρότυπης καμπύλης να εξαχθεί το χρωματογράφημα και διαβάζοντάς το, καταγράφηκαν οι συγκεντρώσεις της φορμαλδεΐδης κάθε δείγματος σε  $\mu\text{g}/\text{ml}$ .

Η τελική συγκέντρωση φορμαλδεΐδης υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$C = \frac{m}{Q_K \cdot t} \cdot 10^6,$$

όπου C: η συγκέντρωση φορμαλδεΐδης σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

m: η μάζα της φορμαλδεΐδης σε  $\mu\text{g}$ ,

$Q_K$ : ο ρυθμός δειγματοληψίας στη μέση θερμοκρασία της δειγματοληψίας K,

t: ο συνολικός χρόνος δειγματοληψίας.

Η ροή του αέρα στη μέση θερμοκρασία δειγματοληψίας δίνεται από τη σχέση:

$$Q_K = Q_{298} \cdot \left( \frac{K}{298} \right)^{0,35},$$

όπου  $Q_{298}$ : 99 ml/min για τη φορμαλδεΐδη.

### 5.2.3 Μεθοδολογία ανάλυσης διοξειδίου του αζώτου

Η δειγματοληψία του NO<sub>2</sub> πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των παθητικών δειγματοληπτών Radiello. Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων του NO<sub>2</sub> έγινε με το φασματοφωτόμετρο Rayleigh. Σε πρώτο στάδιο, παρασκευάστηκε διάλυμα 1000 mg/l NO<sub>2</sub><sup>-</sup> με ζύγιση ορισμένης ποσότητας NaNO<sub>2</sub> και τοποθέτηση του τελευταίου σε κατάλληλη ογκομετρική φιάλη. Έπειτα, έγινε διάλυμα 100 mg/l και από αυτό άλλα 5 πρότυπα διαλύματα 0,1 mg/l, 1 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l και 15 mg/l. Σε δεύτερο στάδιο, παρασκευάστηκαν ένα διάλυμα Sulrfanilamide (διαλύοντας 1g της ουσίας σε HCl και συμπληρώνοντας με νερό), καθώς και ένα διάλυμα Neda (αραιώνοντας με νερό). Στο κάθε ένα από τα πρότυπα διαλύματα προστέθηκε αρχικά διάλυμα Sulrfanilamide και αναδεύτηκε για 5 λεπτά και στη συνέχεια διάλυμα Neda και αναδεύτηκε για 10 λεπτά. Σε τελικό στάδιο, τα πρότυπα διαλύματα τοποθετήθηκαν στο φασματοφωτόμετρο για να σχεδιαστεί η πρότυπη καμπύλη.

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η εκχύλιση του κάθε δείγματος με νερό. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τα πρότυπα διαλύματα, αντλήθηκαν 0.5 ml από το κάθε δείγμα και προστέθηκε διάλυμα Sulrfanilamide και Neda. Τελικά, οδηγήθηκαν στο φασματοφωτόμετρο και μέσω της πρότυπης καμπύλης, υπολογίστηκαν οι μάζες του NO<sub>2</sub>.

Η τελική συγκέντρωση NO<sub>2</sub> υπολογίστηκε με τη σχέση:

$$C_{NO_2} = \frac{m_{NO_2}}{Q_K \cdot t},$$

Όπου  $C_{NO_2}$ : η συγκέντρωση του NO<sub>2</sub> σε ppb,

$m_{NO_2}$ : η μάζα του NO<sub>2</sub> σε ng,

$Q_K$ : η ροή του αέρα στη μέση θερμοκρασία της δειγματοληψίας σε ng/m<sup>3</sup>,

$t$ : η συνολική διάρκεια της δειγματοληψίας σε min.

Η ροή του αέρα στη μέση θερμοκρασία δειγματοληψίας υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_K = Q_{298} \cdot \left(\frac{K}{298}\right)^{7,0},$$

όπου  $Q_{298}$ : 0,141 ng·ppb<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> για το NO<sub>2</sub>.

## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 6.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

Παρουσιάζονται, στους ακόλουθους πίνακες, οι τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που μετρήθηκαν κατά την περίοδο δειγματοληψίας, αλλά και οι συνιστώμενες τιμές τους κατά την ASHRAE, για την άνεση των χρηστών του κτιρίου.

Χώρος Δειγματοληψίας		
	Θερμοκρασία (°C)	Σχ. Υγρασία (%)
<b>ΟΙΚΙΑ Α</b>		
Εσωτερικά	21	53
Εξωτερικά	12	69
<b>ΟΙΚΙΑ Β</b>		
Εσωτερικά	22	50
Εξωτερικά	11	71
<b>ΟΙΚΙΑ Γ</b>		
Εσωτερικά	21	56
Εξωτερικά	12	67

Εικόνα 6.1 Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

Συνιστώμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας της ASHRAE για τη θερμική άνεση

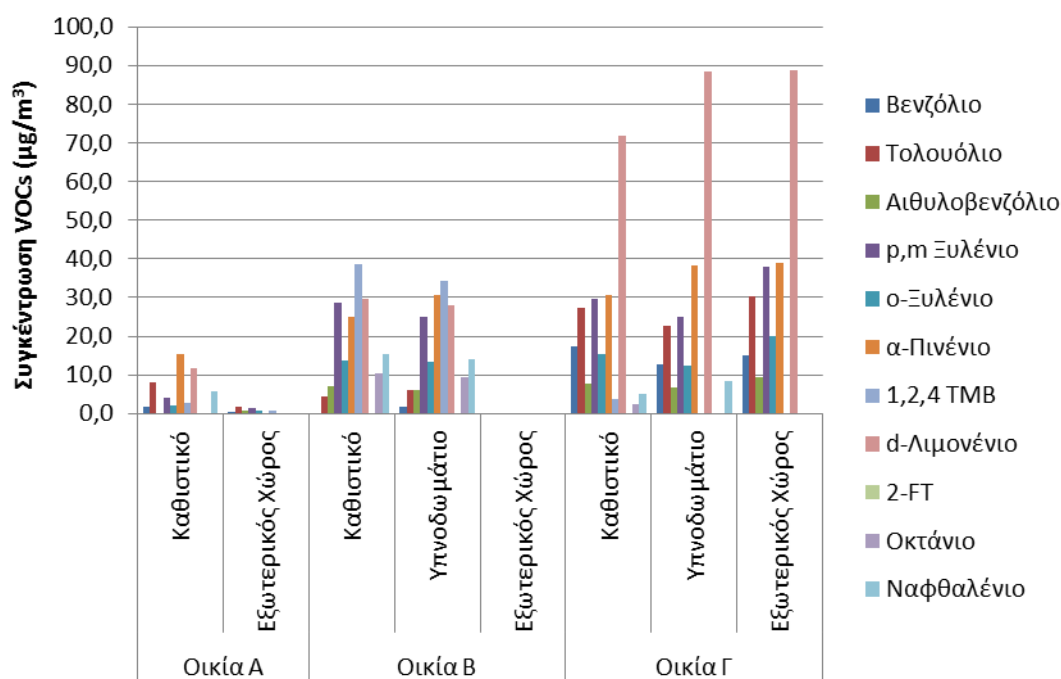
Σχ. Υγρασία (%)	Θερινή Περίοδος	Χειμερινή Περίοδος
	Θερμοκρασία (°C)	
30	20.2 - 24.4	23.3 - 26.6
40	20.2 - 24.1	23.3 - 26.3
50	20.2 - 23.6	23.3 - 26.1
60	20.2 - 23.3	23.3 - 25.5

Εικόνα 6.2 Συνιστώμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας της ASHRAE για τη θερμική άνεση



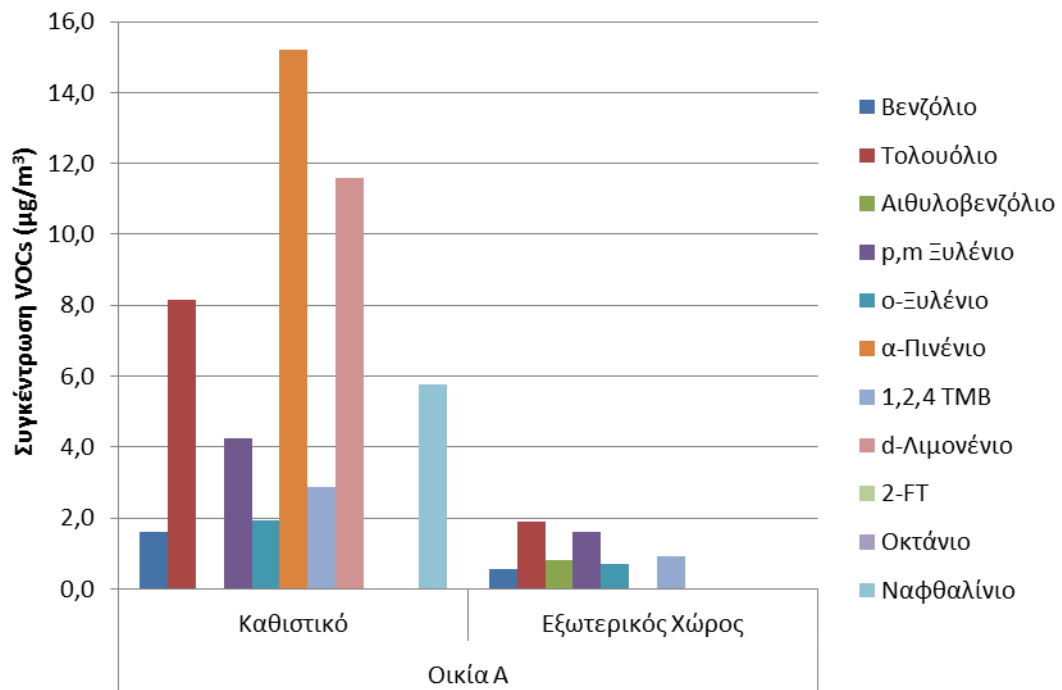
## 6.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις πτητικών οργανικών ενώσεων.

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VOCs στις τρεις οικίες. Παρατίθενται τα αποτελέσματα σε σχήματα μεμονωμένα για την κάθε οικία, αλλά και συγκεντρωτικά για όλες τις οικίες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, προκειμένου να διαμορφωθεί μια εικόνα, για τα γενικά επίπεδα των VOCs.



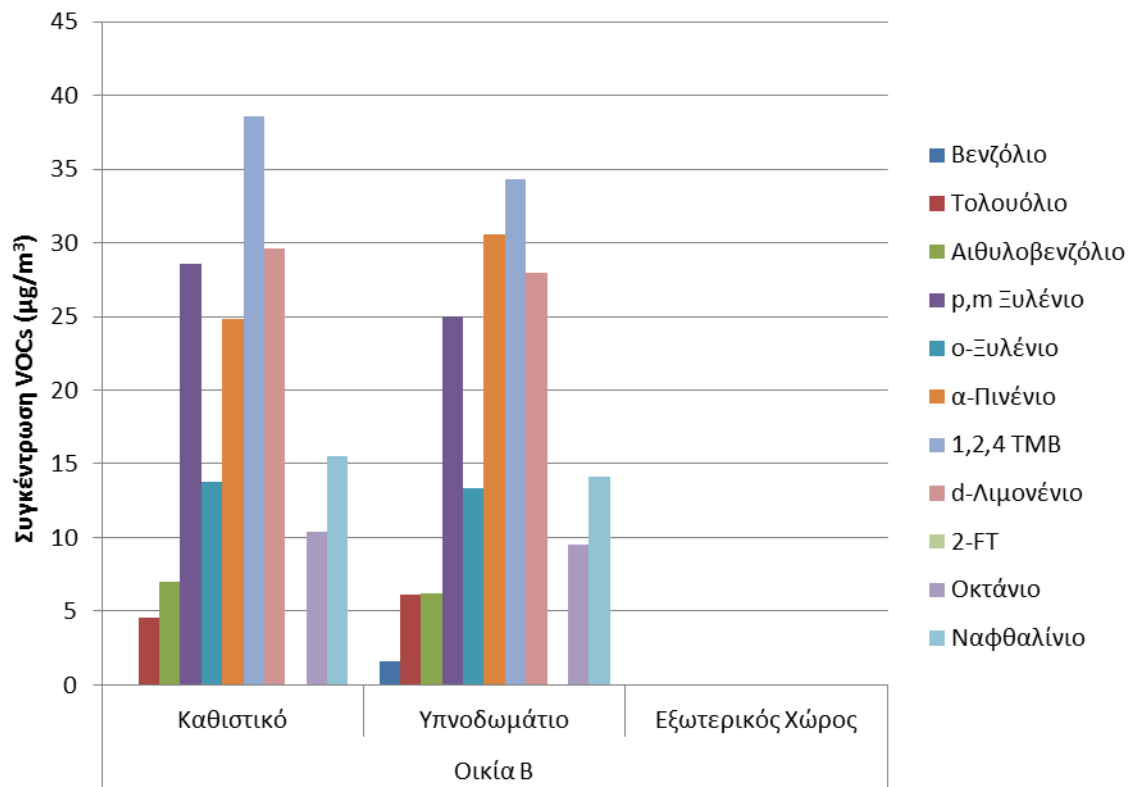
6.3 Μέσες συγκεντρώσεις των VOCs για τις τρεις κατοικίες (ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ)

## Οικία Α



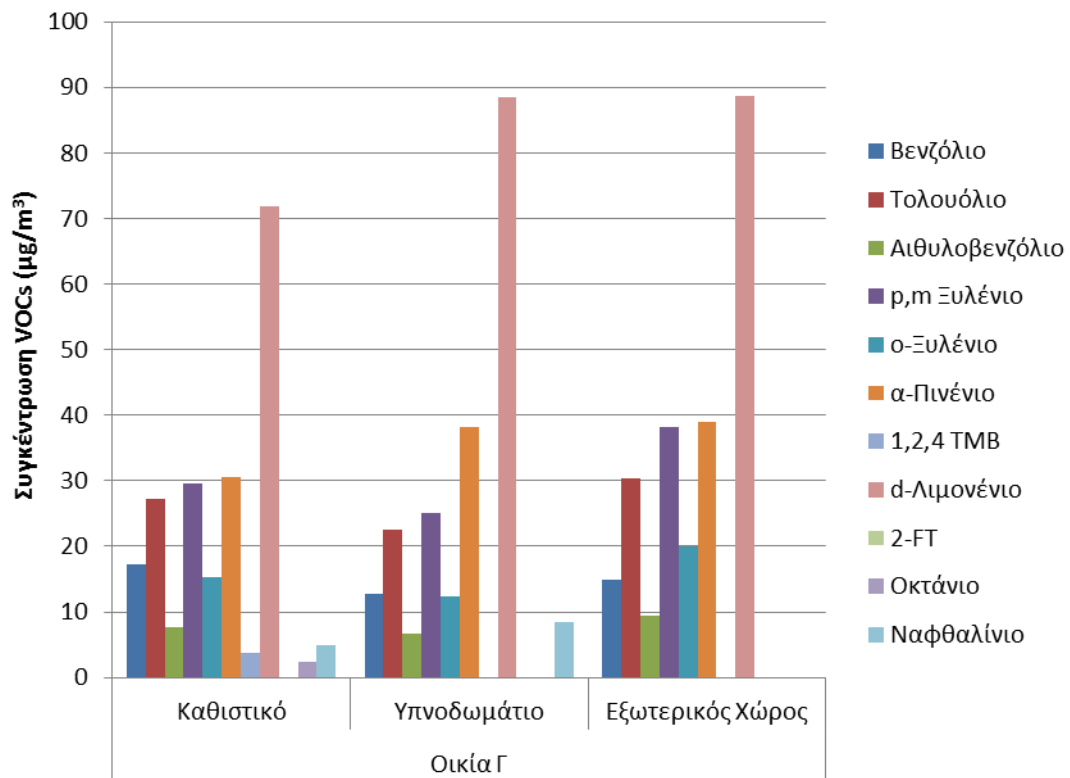
6.4 Μέσες συγκεντρώσεις των VOCs για την οικία Α.

## Οικία Β



6.5Μέσες συγκεντρώσεις των VOCs για την οικία Β.

## Οικία Γ



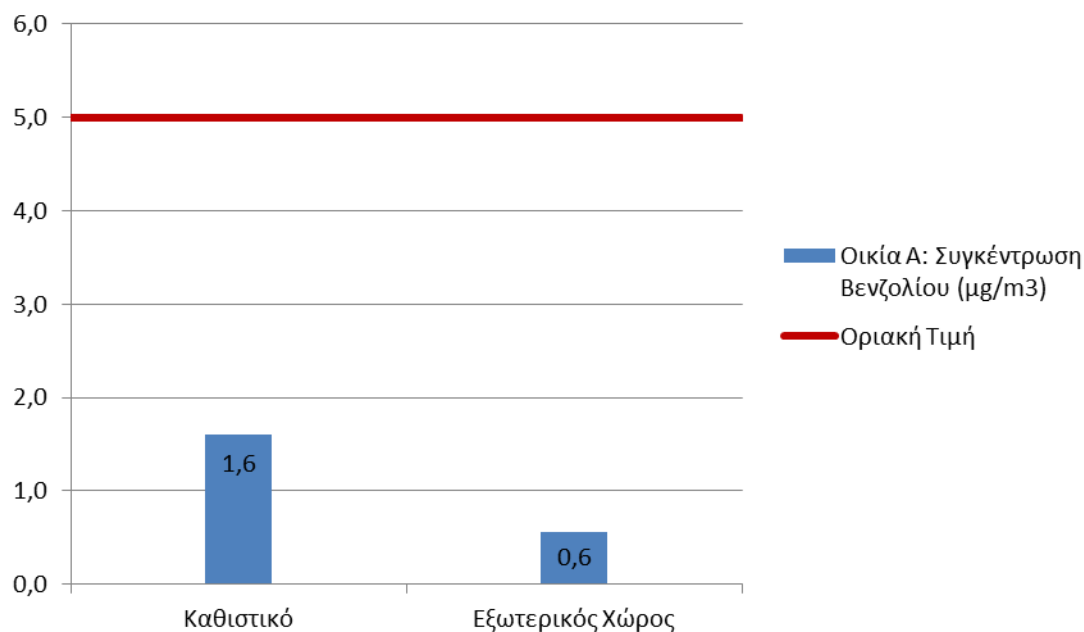
6.6 Μέσες συγκεντρώσεις των VOCs για την οικία Γ.

Στη συνέχεια επεξηγούνται και συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις της κάθε πτητικής οργανικής ένωσης για κάθε κατοικία, ξεχωριστά.

### 6.2.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις βενζολίου

Οι τιμές των συγκεντρώσεων του βενζολίου, αναλυτικά για τις τρεις οικίες παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα και συγκρίνονται με την ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή των 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2008/50/ΕΚ, η οποία αναφέρεται στον εξωτερικό αέρα.

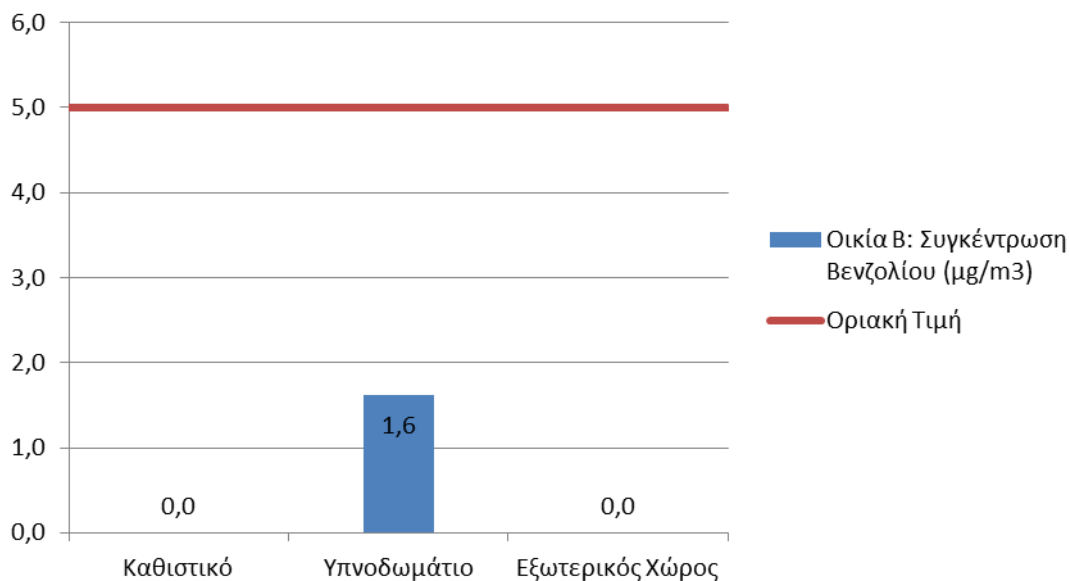
#### Οικία Α: Συγκέντρωση Βενζολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.7 Συγκέντρωση βενζολίου οικία Α

Όπως φαίνεται, η ανώτερη συγκέντρωση βενζολίου στην οικία Α καταγράφηκε στο χώρο του καθιστικού, παραμένοντας όμως αρκετά κάτω από την οριακή τιμή, ενώ στο χώρο του υπνοδωματίου η συγκέντρωση βενζολίου ήταν μηδενική.

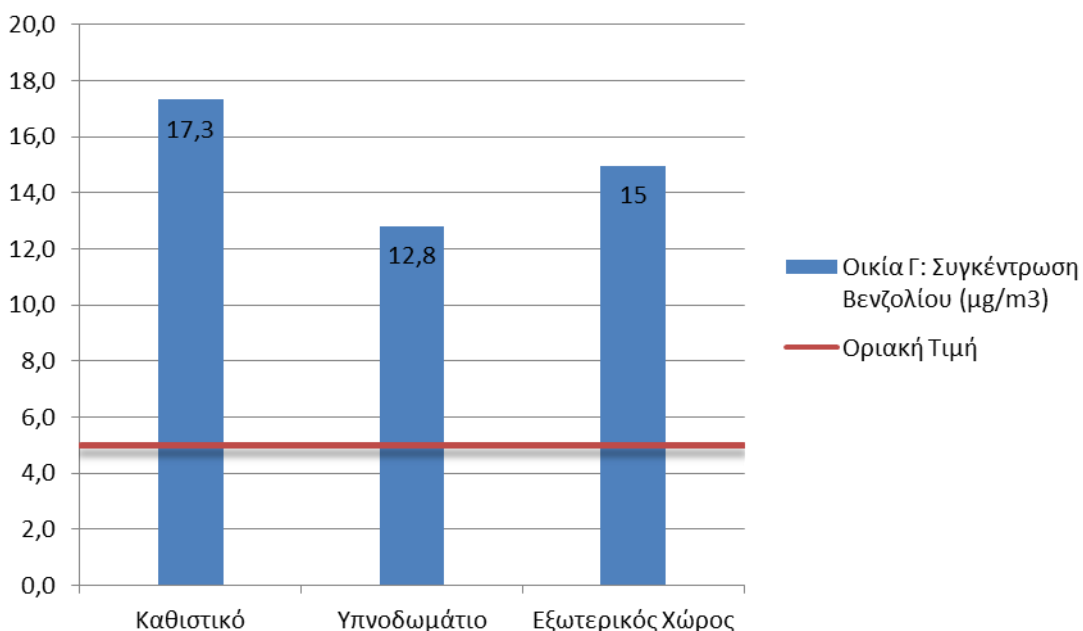
## Οικία Β: Συγκέντρωση Βενζολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.8 Συγκέντρωση βενζολίου οικία Β

Στην οικία Β, οι τιμές βενζολίου για το χώρο του καθιστικού καθώς και τον εξωτερικό χώρο ήταν μηδενικές, παραμένοντας αρκετά κάτω από το όριο των  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στον χώρο του υπνοδωματίου.

## Οικία Γ: Συγκέντρωση Βενζολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

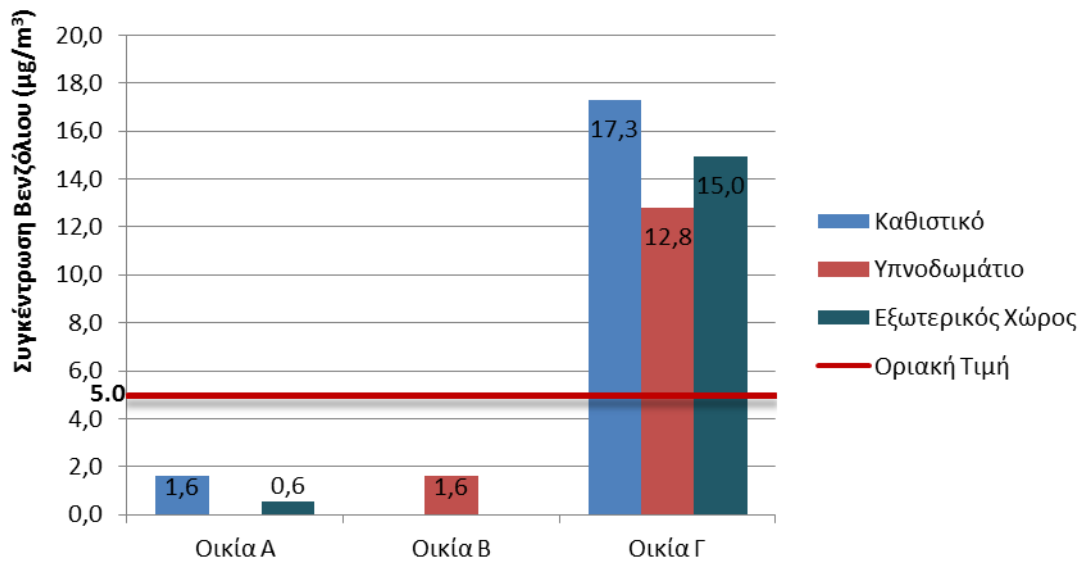


Διάγραμμα 6.9 Συγκέντρωση βενζολίου οικία Γ

Σε αντίθεση με τις δυο προηγούμενες, η οικία Γ παρουσιάζει αυξημένες τιμές σε όλους τους χώρους της, οι οποίοι υπερβαίνουν την οριακή τιμή των  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η μεγαλύτερη τιμή αγγίζει

τα 17.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στο καθιστικό, με τον εξωτερικό χώρο και το υπνοδωμάτιο να ακολουθούν με τιμές 15.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και 12.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα. Οι υψηλές τιμές στους εσωτερικούς χώρους μπορούν να εξηγηθούν από το γεγονός πως πρόκειται για ένα διαμέρισμα με καινούργια έπιπλα, χαλιά και χρώματα στους τοίχους, πηγές από τις οποίες εκλύεται το βενζόλιο. Στον εξωτερικό χώρο, κυρίαρχο ρόλο παίζει η τοποθεσία της οικίας. Ο δειγματολήπτης τοποθετήθηκε στο μπαλκόνι, το οποίο έχει προσανατολισμό προς τον κεντρικότερο δρόμο της Κοζάνης, γεγονός που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις τιμές και τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν.

### Συγκέντρωση Βενζολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες



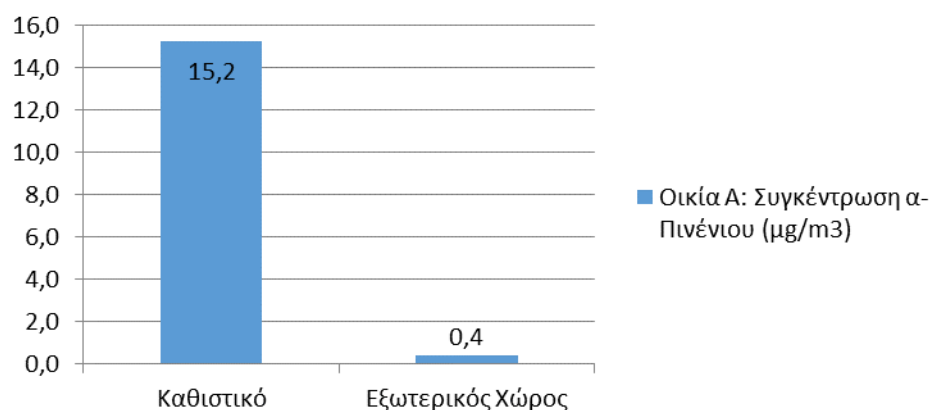
Διάγραμμα 6.10 Συγκέντρωση βενζολίου , συγκριτικά

## 6.1.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις α-πινένιου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τιμές των συγκεντρώσεων α-πινένιου, στις τρεις κατοικίες. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι μέχρι στιγμής δεν έχει θεσπιστεί από την Ε.Ε. ή τον Π.Ο.Υ. ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση για το α-πινένιο.

Στο παρακάτω διάγραμμα, φαίνεται ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση α-πινένιου στην οικία Α ανιχνεύτηκε στο καθιστικό, ενώ δεν καταγράφηκαν τιμές στο υπνοδωμάτιο και τον εξωτερικό χώρο.

### Οικία Α: Συγκέντρωση α-Πινένιου (μg/m<sup>3</sup>)

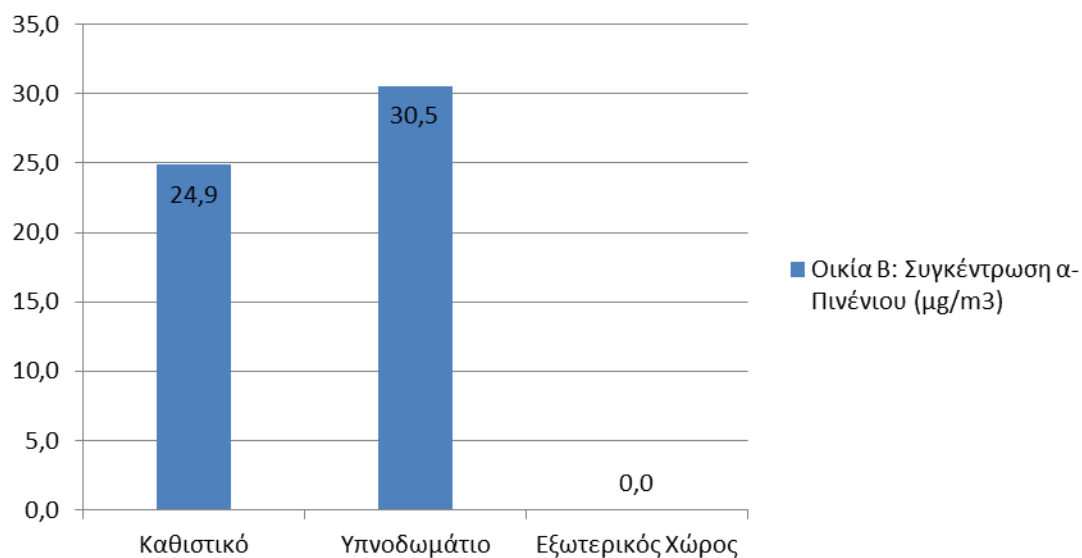


Διάγραμμα 6.11 Συγκέντρωση α-Πινένιου , οικία Α

Στην οικία Β, καταγράφηκαν αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις α-πινένιου σε σχέση με την οικία Α. Στο υπνοδωμάτιο ανιχνεύθηκε η υψηλότερη τιμή, ενώ δεν ανιχνεύθηκε καθόλου α-πινένιο στον εξωτερικό αέρα.



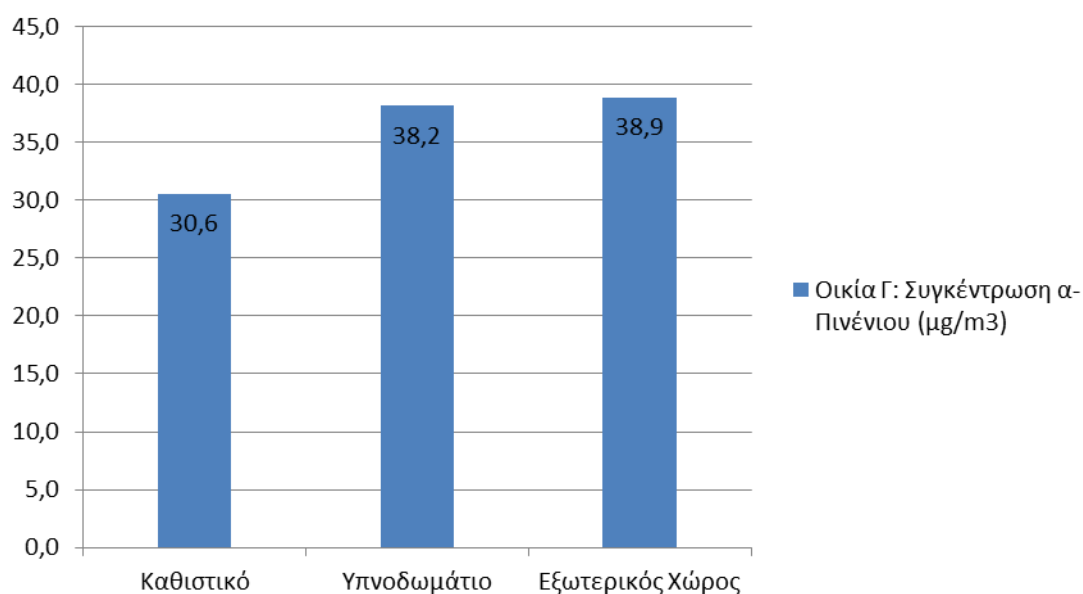
## Οικία Β: Συγκέντρωση α-Πινένιου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.12 Συγκέντρωση α-Πινένιου , οικία Β

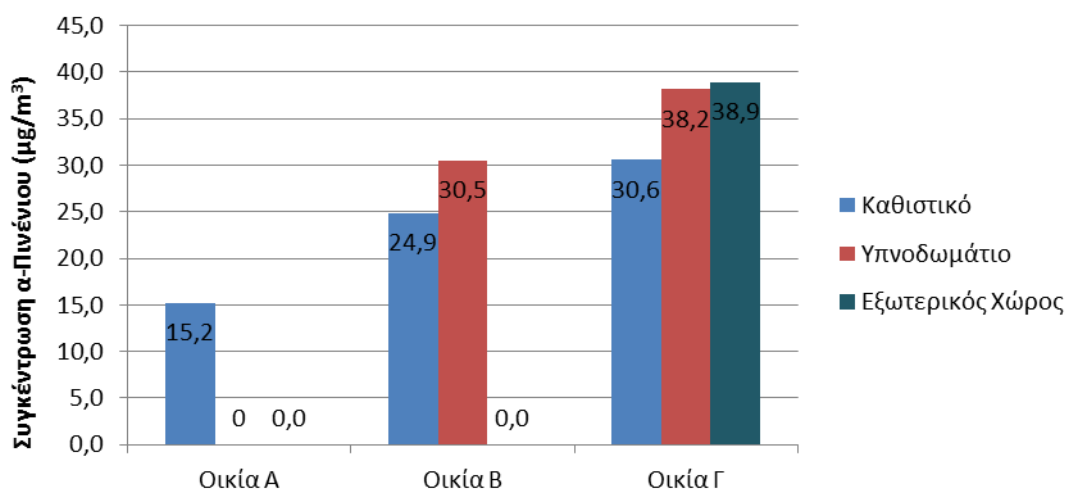
Όσον αφορά στην οικία Γ, οι τιμές που καταγράφηκαν είναι σε παρόμοιο εύρος με της οικίας Β, με την διαφορά πως στην συγκεκριμένη περίπτωση ανιχνεύθηκε α-πινένιο και στον εξωτερικό αέρα, με την τιμή αυτή να είναι η υψηλότερη που καταγράφηκε συνολικά σε όλους τους χώρους στο σύνολο των οικιών.

## Οικία Γ: Συγκέντρωση α-Πινένιου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.13 Συγκέντρωση α-Πινένιου , οικία Γ

## Συγκέντρωση α-Πινένιου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες



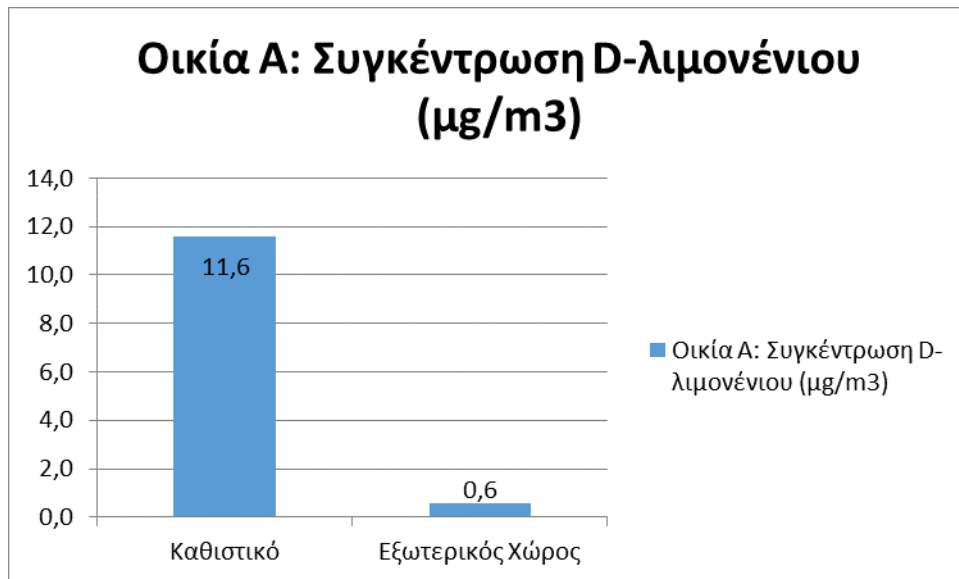
Διάγραμμα 6.14 Συγκέντρωση α-Πινένιου , συγκριτικά

Το α-πινένιο, όπως άλλωστε και το λιμονένιο ανήκουν στην κατηγορία των μονοτερπένιων, τα οποία εκλύονται σε σημαντικές ποσότητες από τη βλάστηση. Η έντονη παρουσία φυτών στο μπαλκόνι της οικίας Γ σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό του μπαλκονιού αποτελούν μια πιθανή εξήγηση για τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν στον εξωτερικό χώρο της. Ο παθητικός δειγματολήπτης τοποθετήθηκε στο μπαλκόνι, όπου ήταν έντονη η παρουσία καλλωπιστικών φυτών. Στις οικίες Α και Β οι δειγματολήπτες δεν είχαν άμεση επαφή με βλάστηση, γεγονός που συμφωνεί με την μη ανίχνευση α-πινένιου στους εξωτερικούς τους χώρους. Όσον αφορά στους εσωτερικούς χώρους, καθαριστικά και αρωματικά χώρου καθώς και καινούργιες ξύλινες επιφάνειες θεωρούνται πως επηρέασαν καθοριστικά τις καταγεγραμμένες συγκεντρώσεις.

### 6.1.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις d-λιμονένιου

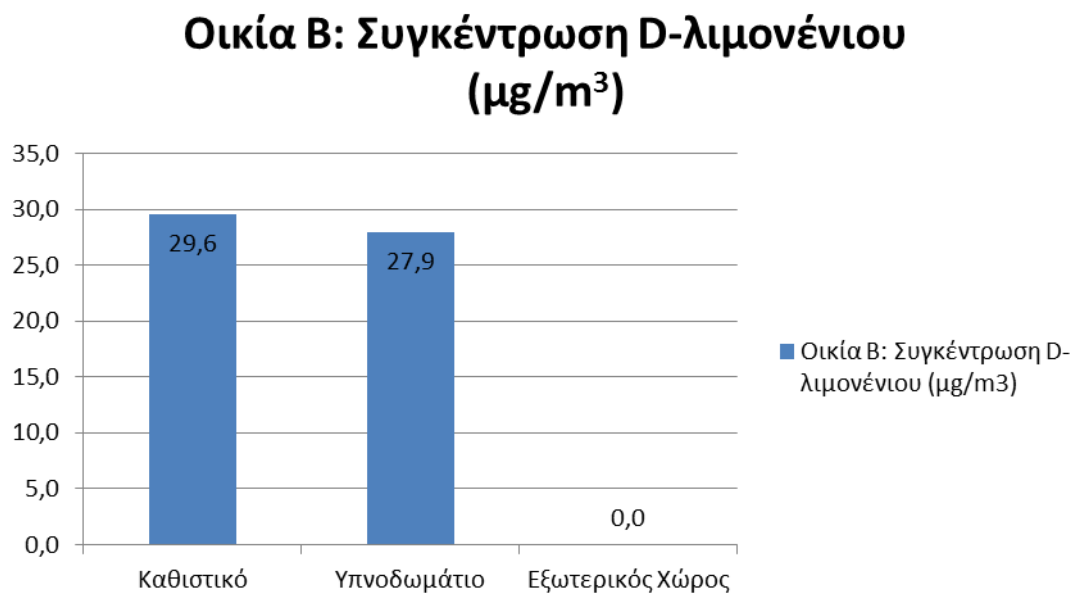
Οι συγκεντρώσεις d-λιμονένιου για τις 3 οικίες, παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο. Όπως και για το α-πινένιο, έτσι και για το d-λιμονένιο δεν έχει θεσπιστεί ανώτατο όριο συγκέντρωσης από την Ε.Ε. ή τον Π.Ο.Υ..

Το d-λιμονένιο, όπως φαίνεται στο σχήμα xxx, καταγράφηκε στην οικία Α μόνο στον χώρο του καθιστικού, με τιμή  $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Διάγραμμα 6.15 Συγκέντρωση d-λιμονένιου , οικία Α**

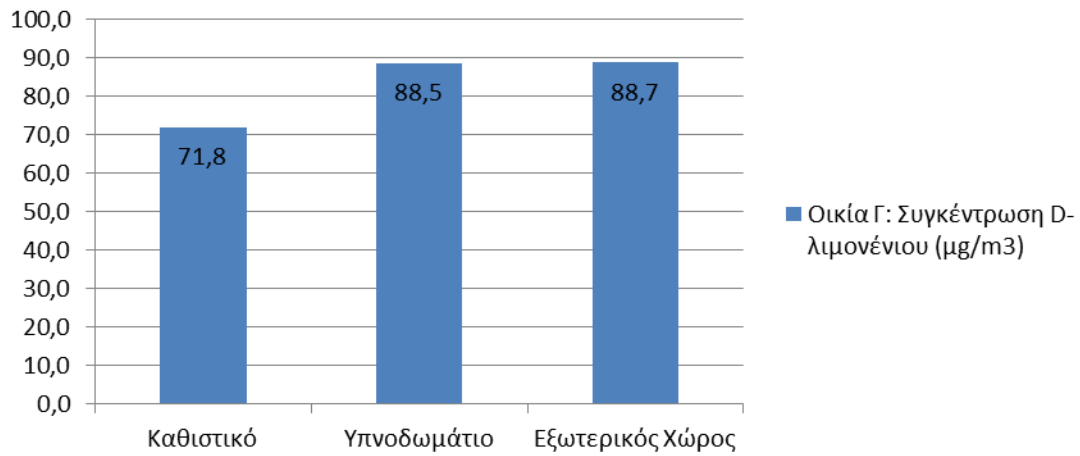
Στην οικία Β οι τιμές του d-λιμονένιου, είναι πιο υψηλές συγκριτικά με την οικία Α. Η ανώτερη τιμή καταγράφηκε στον χώρο του καθιστικού, ενώ η παρουσία d-λιμονένιου στον εξωτερικό αέρα ήταν μηδενική για την περίοδο των εβδομαδιαίων μετρήσεων.



**Διάγραμμα 6.16 Συγκέντρωση d-λιμονένιου , οικία Β**

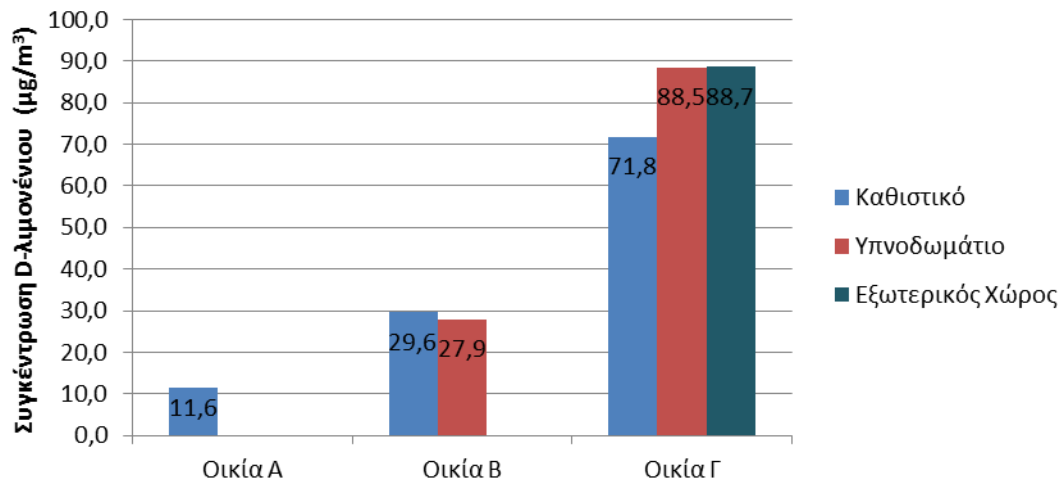
Οι υψηλότερες τιμές του d-λιμονένιου ανιχνεύθηκαν στην οικία Γ. Ο εξωτερικός χώρος έδωσε την ανώτερη τιμή με  $88.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ στο υπνοδωμάτιο και το καθιστικό οι τιμές που καταγράφηκαν είναι  $88.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  και  $71.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  αντίστοιχα.

## Οικία Γ: Συγκέντρωση D-λιμονένιου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.17 Συγκέντρωση d-λιμονένιου , οικία Γ

## Συγκέντρωση D-λιμονένιου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες

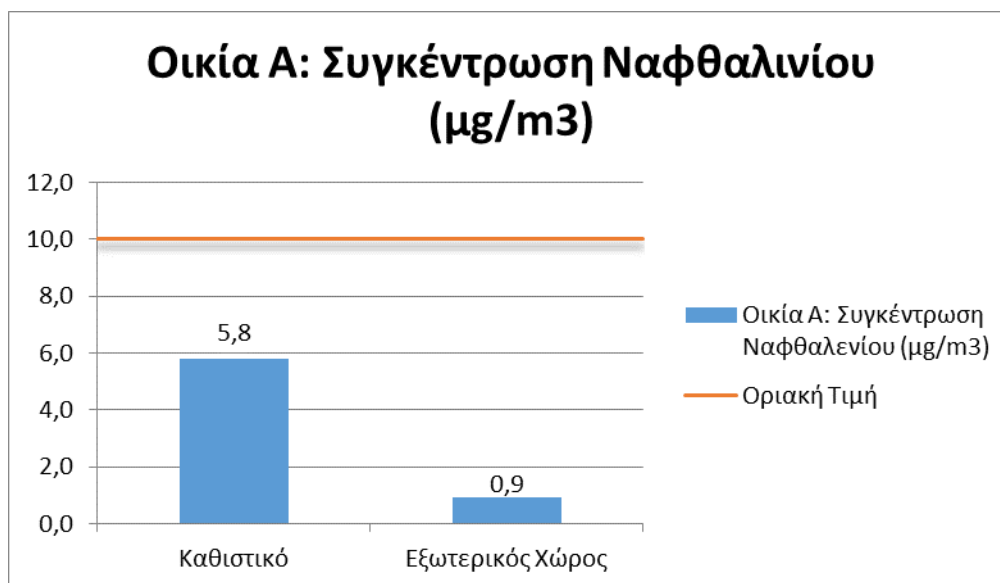


Διάγραμμα 6.18 Συγκέντρωση d-λιμονένιου , Συγκριτικά

Το d-λιμονένιο, όπως και το α-πινένιο ανιχνεύθηκε μόνο στον εξωτερικό χώρο της οικίας Γ. Η ανίχνευση d-λιμονένιου μόνο στον συγκεκριμένο χώρο εξηγείται με το σκεπτικό που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο για το α-πινένιο, την παρουσία δηλαδή, στον χώρο της μέτρησης, καλλωπιστικών φυτών.

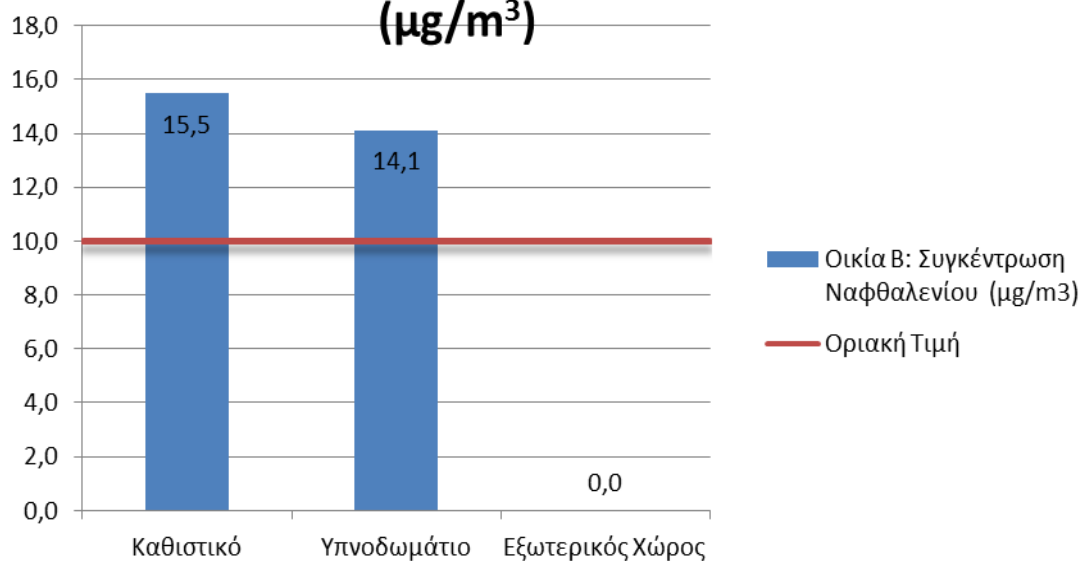
#### 6.1.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις ναφθαλενίου

Στο ακόλουθο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις πειραματικές μετρήσεις ναφθαλενίου και έπειτα ο σχολιασμός τους. Επίσης, οι τιμές που προέκυψαν συγκρίνονται με την ανώτατη συνιστώμενη συγκέντρωση των 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για τον αέρα εσωτερικών χώρων, του Π.Ο.Υ..



Διάγραμμα 6.19 Συγκέντρωση ναφθαλενίου , οικία Α

## Οικία Β: Συγκέντρωση Ναφθαλενίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

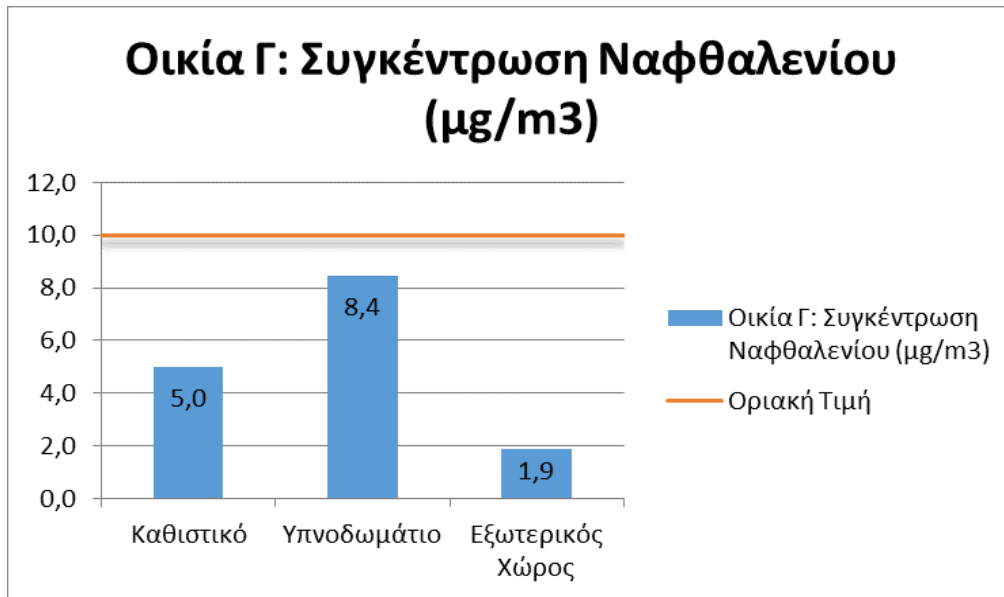


**Διάγραμμα 6.20 Συγκέντρωση ναφθαλενίου , οικία Β**

Στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις ναφθαλενίου στις οικίες Α και Β .

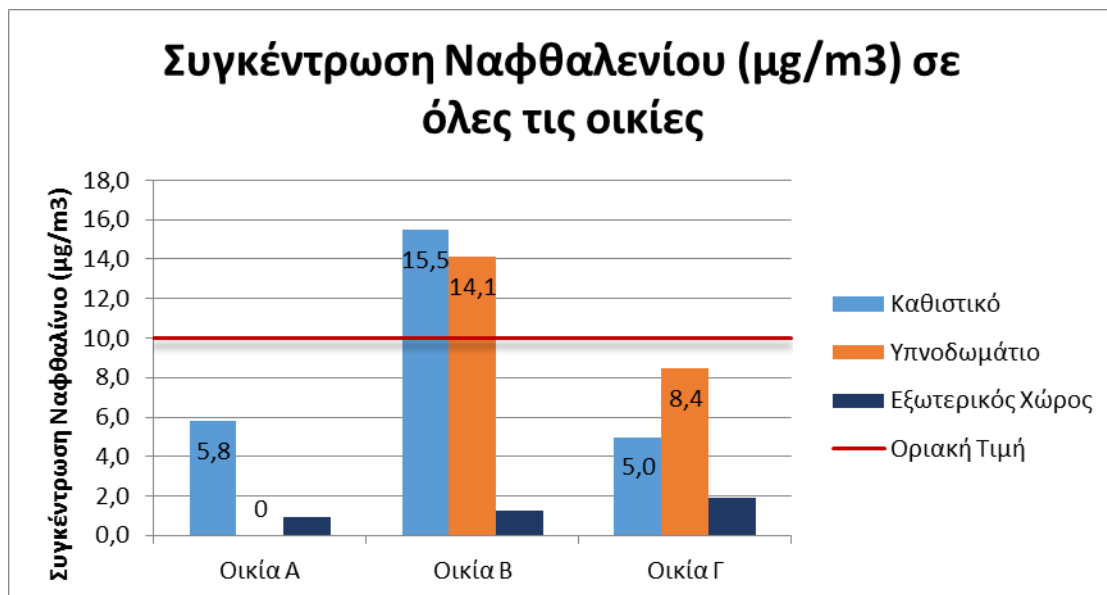
Στο πρώτο σχήμα, φαίνεται πως εκτός από τον χώρο του καθιστικού, σε κανέναν άλλο από τους δυο χώρους της οικίας Α δεν εντοπίστηκε ναφθαλένιο, ενώ η τιμή που ανιχνεύθηκε για το καθιστικό ήταν μικρότερη της οριακής τιμής των  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  .

Στο δεύτερο σχήμα, παρατηρούμε πως στην οικία Β, για τους χώρους του υπνοδωματίου και του καθιστικού, οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν ξεπερνούν αρκετά την οριακή τιμή για το ναφθαλένιο. Επιπλέον, δεν είχαμε καταγραφή ναφθαλενίου από τον δειγματολήπτη στον εξωτερικό χώρο.



Διάγραμμα 6.21 Συγκέντρωση ναφθαλενίου , οικία Γ

Στην οικία Γ, όπως βλέπουμε , οι τιμές ναφθαλενίου στο καθιστικό στο υπνοδωμάτιο της οικίας και στον εξωτερικό χώρο είναι χαμηλότερες της οριακής.



Διάγραμμα 6.22 Συγκέντρωση ναφθαλενίου , Συγκεντρωτικά

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι αμέσως προφανές ότι οι συγκεντρώσεις ναφθαλενίου στους εξωτερικούς χώρους της δειγματοληψίας ήταν πολύ χαμηλές. Αυτό συνέβη παρόλο που το ναφθαλένιο απελευθερώνεται, μεταξύ άλλων και ως προϊόν της καύσης καυσίμων και θα αναμένονταν αυξημένες συγκεντρώσεις ναφθαλενίου στον εξωτερικό χώρο, δεδομένου ότι τα 2 από τα 3 σπίτια της δειγματοληψίας βρίσκονταν δίπλα σε πολυσύχναστους δρόμους . Μπορεί έτσι να εξαχθεί ως συμπέρασμα, ότι η καύση που

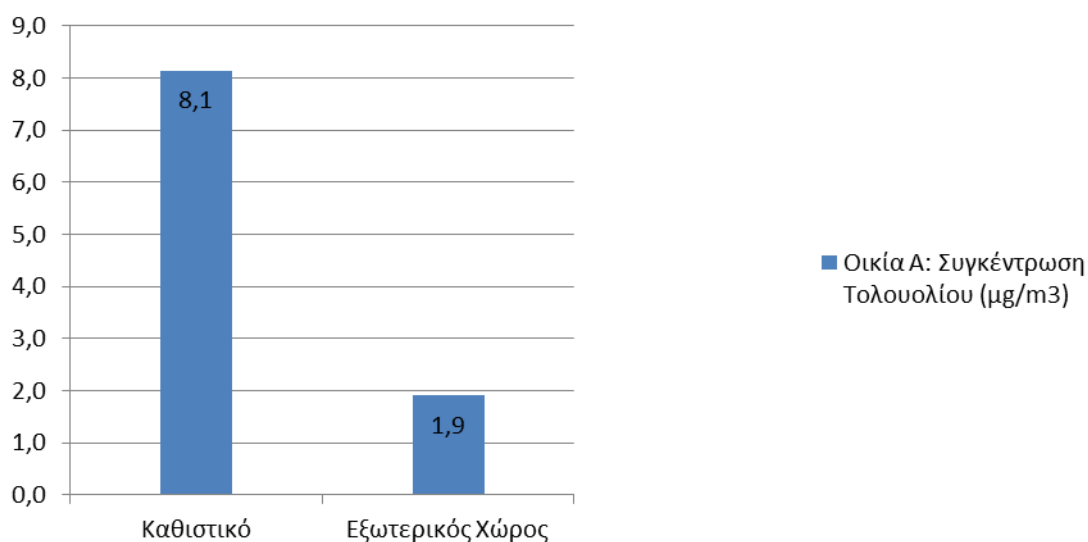
λαμβάνει χώρα στα οχήματα δεν αποτελεί σημαντική πηγή έκλυσης ναφθαλενίου, συνεπώς οι βασικές πηγές έκλυσής του βρίσκονταν στους εσωτερικούς χώρους των κατοικιών.

### 6.1.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις τολουολίου

Στα σχήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων για το τολουόλιο. Το ανώτατο θεσπισμένο όριο έκθεσης του ανθρώπου στο τολουόλιο ανά εβδομάδα ανέρχεται σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ στα 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εβδομαδιαίων μετρήσεων τολουόλιου για τις οικίες Α και Β αντίστοιχα.

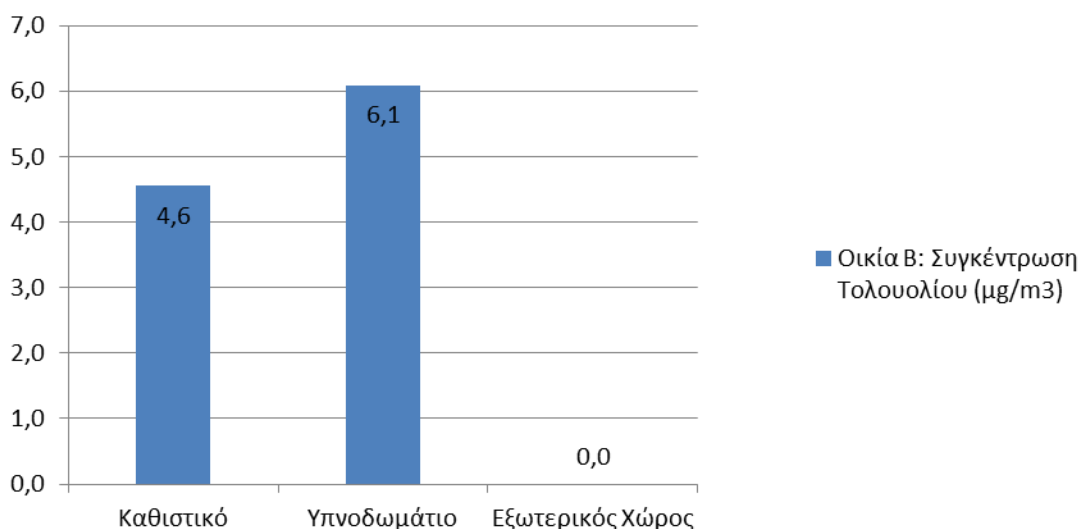
#### Οικία Α: Συγκέντρωση Τολουολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.23 Συγκέντρωση τολουολίου , οικία Α



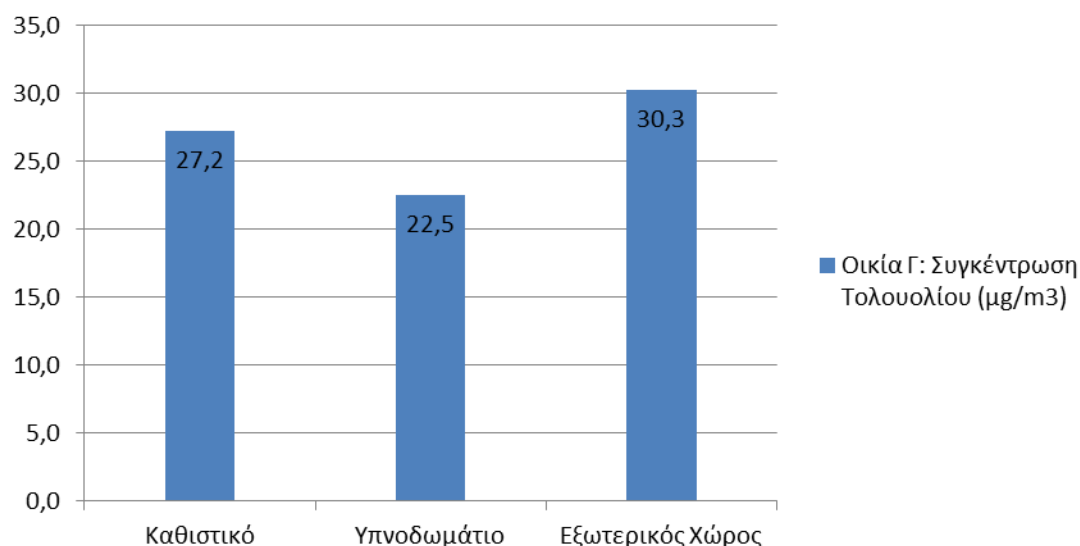
## Οικία Β: Συγκέντρωση Τολουολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.24 Συγκέντρωση τολουολίου , οικία Β

Στην οικία Α ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις Τολουόλιου στον χώρο του καθιστικού, καθώς και στον εξωτερικό χώρο, ενώ στην οικία Β η παρουσία τολουόλιου καταγράφηκε στους χώρους του καθιστικού και του υπνοδωματίου. Και στις δυο περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις απέχουν πολύ από την θεσπισμένη ανώτερη οριακή τιμή.

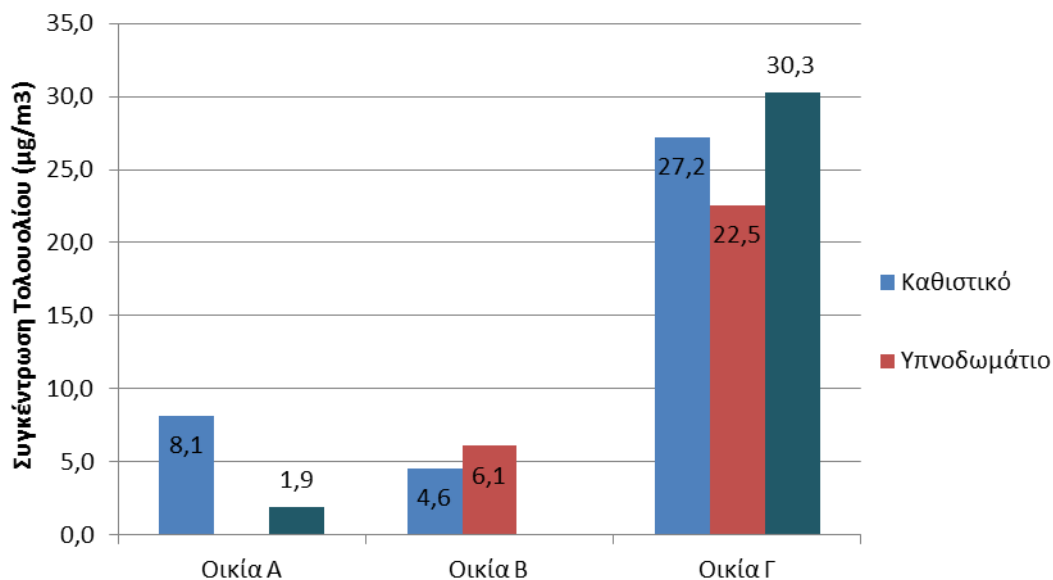
## Οικία Γ: Συγκέντρωση Τολουολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.25 Συγκέντρωση τολουολίου , οικία Γ

Όπως βλέπουμε, καταγράφηκαν συγκεντρώσεις τολουόλιου και στους τρεις χώρους της οικίας Γ. Ο εξωτερικός χώρος παρουσίασε την υψηλότερη συγκέντρωση, ενώ η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στο υπνοδωμάτιο. Όπως και στις οικίες Α και Β, η υψηλότερη τιμή ήταν πολύ χαμηλότερη του ανώτερου θεσπισμένου ορίου.

### Συγκέντρωση Τολουολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6.26 Συγκέντρωση τολουολίου , Συγκριτικά

Οι άνθρωποι είναι πιθανό να εκτεθούν σε τολουόλιο σε εσωτερικούς χώρους από το κάπνισμα ή από τη χρήση καταναλωτικών προϊόντων που περιέχουν τολουόλιο (χρώματα, βερνίκια, βερνίκια νυχιών, προϊόντα καθαρισμού βαφής, προϊόντα αφαίρεσης λεκέδων, κλπ.), ειδικά αν δεν υπάρχει καλός αερισμός. Επειδή το τολουόλιο χρησιμοποιείται σε πολλά καταναλωτικά προϊόντα και βρίσκεται και στον καπνό του τσιγάρου, μπορεί βραχυπρόθεσμα να παρατηρηθούν αυξημένες συγκεντρώσεις οι οποίες να ξεπερνούν την ανώτατη επιτρεπόμενη για την υγεία τιμή. Στην ατμόσφαιρα, το τολουόλιο εκλύεται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων.

Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα για τις συγκεντρώσεις τολουολίου , παρατηρούμε ότι οι τιμές στις οικίες στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις παρουσίασαν αρκετές διακυμάνσεις μεταξύ τους, και ως προς τις ίδιες τις τιμές αλλά και ως προς τους χώρους στους οποίους ανιχνεύθηκε το τολουόλιο, παραμένοντας όμως σε αναμενόμενα επίπεδα για κάθε οικία.

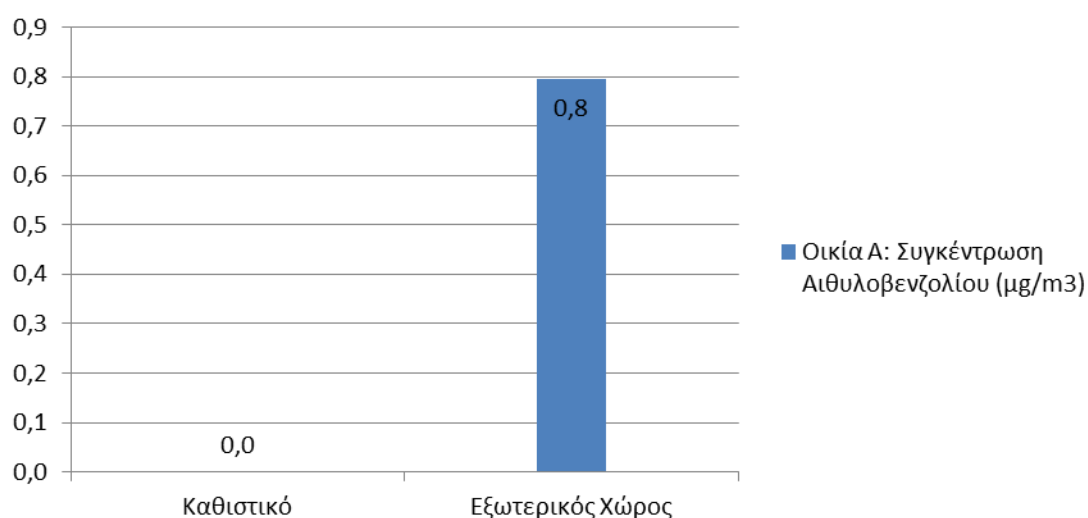
Στις εξωτερικές μετρήσεις, παρατηρούμε ότι η ανώτερη τιμή των  $30.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  που καταγράφηκε στην οικία Γ συμφωνεί με την κεντρική τοποθεσία της οικίας Γ, ενώ στις άλλες δυο περιπτώσεις η συγκέντρωση τολουολίου ήταν πολύ χαμηλή έως και μηδενική, καθώς οι οικίες βρίσκονται περιφερειακά του κέντρου της πόλης και σε μεγαλύτερο υψόμετρο.

### 6.1.6 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Αιθυλοβενζολίου

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία (EC) Νο 1272/2008 το Αιθυλοβενζόλιο θεωρείται επικίνδυνο κατά την εισπνοή σε μεγάλη ποσότητα, αλλά θεωρείται ακίνδυνο σε μικρές συγκεντρώσεις. Ενδεικτικά, αναφέρεται πως μετά από μετρήσεις σε πειραματόζωα, η συγκέντρωση που θεωρείται θανατηφόρα σε ποντίκια εργαστηρίου είναι πάνω από 2000mg ανά κιλό σωματικού βάρους και σε κουνέλια η τιμή ξεπερνάει τα 5000mg.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σχήματα που αναφέρονται στις συγκεντρώσεις Αιθυλοβενζολίου σε κάθε οικία, όπως μετρήθηκαν μέσω της πειραματικής διαδικασίας.

#### Οικία A: Συγκέντρωση Αιθυλοβενζολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

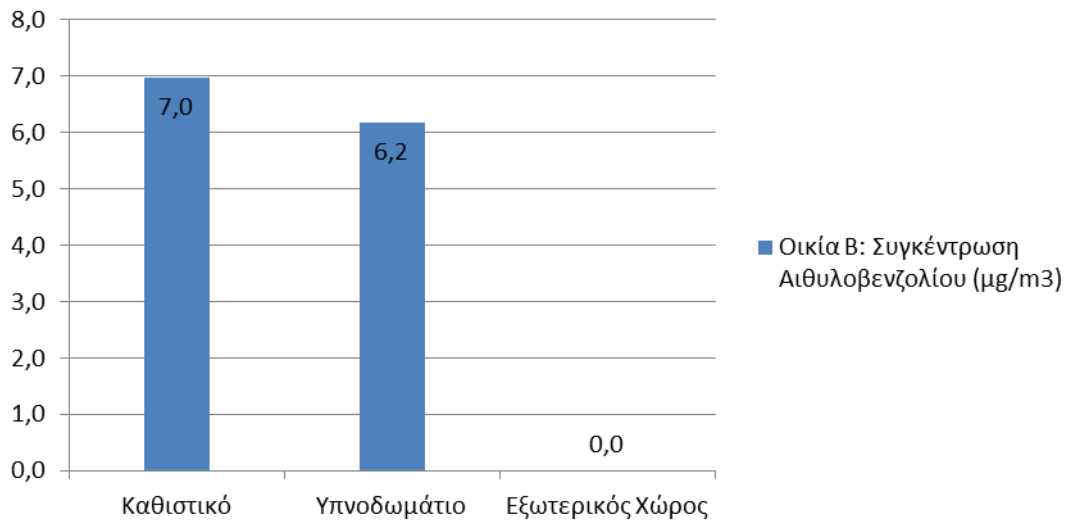


Διάγραμμα 6.27 Συγκέντρωση αιθυλοβενζολίου , οικία A

Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα για την οικία A, συγκέντρωση Αιθυλοβενζολίου ανιχνεύθηκε στον εξωτερικό χώρο, με τις τιμές στους χώρους του υπνοδωματίου και του καθιστικού να είναι μηδενικές.

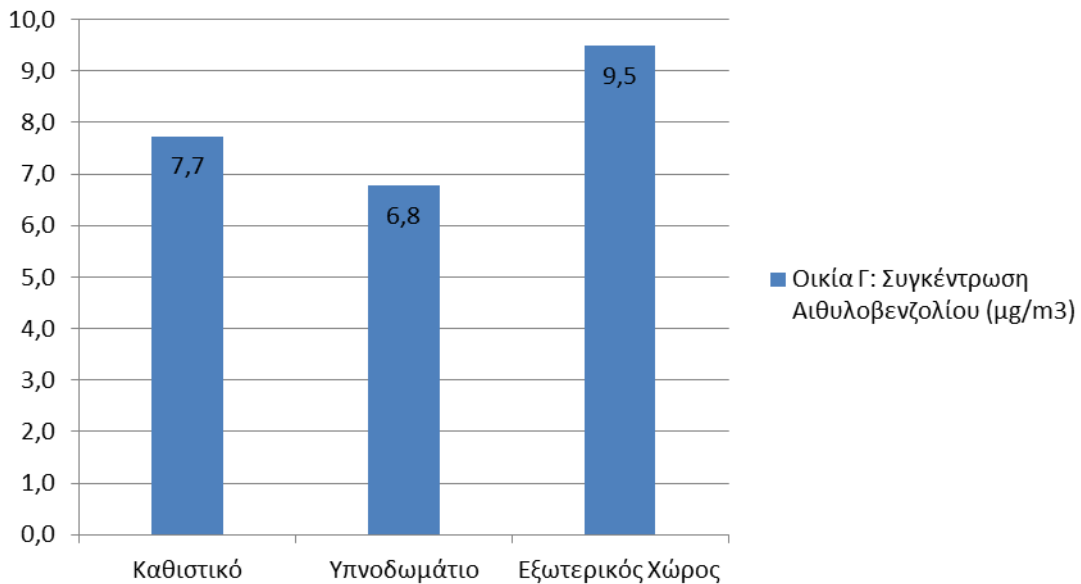
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις οικίες B και Γ

## Οικία Β: Συγκέντρωση Αιθυλοβενζολίου (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 27 Συγκέντρωση αιθυλοβενζολίου , οικία Β

## Οικία Γ: Συγκέντρωση Αιθυλοβενζολίου (μg/m<sup>3</sup>)



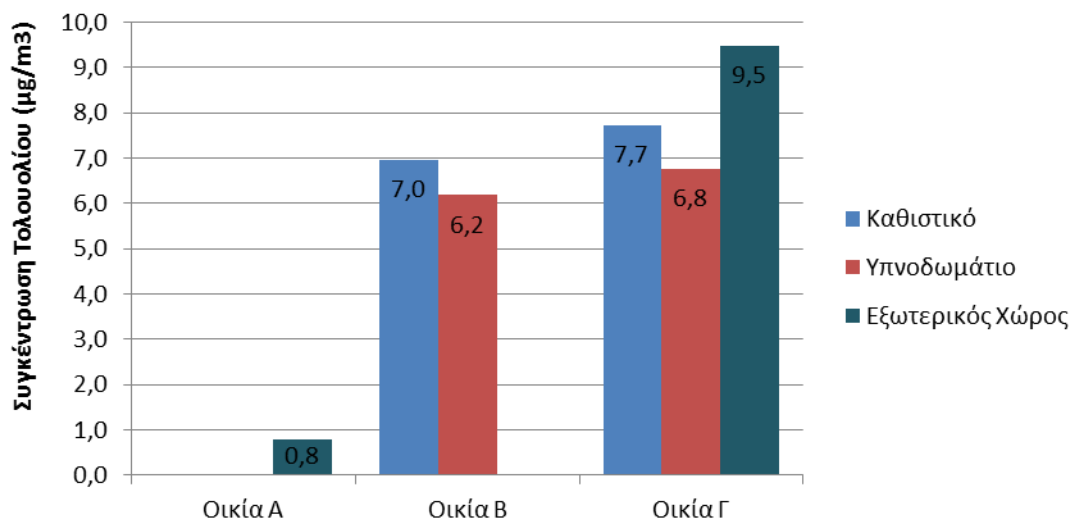
Διάγραμμα 6. 28 Συγκέντρωση αιθυλοβενζολίου , οικία Γ

Σε αντίθεση με την οικία Α, στις οικίες Β και Γ οι συγκεντρώσεις παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές.

Για την οικία Β, η συγκέντρωση αιθυλοβενζολίου ήταν μεγαλύτερη στο χώρο του καθιστικού, ενώ λίγο χαμηλότερη ήταν η τιμή στο υπνοδωμάτιο. Στον εξωτερικό χώρο η τιμή ήταν μηδενική κατά την περίοδο των μετρήσεων.

Όσον αφορά στην οικία Γ, οι τιμές ήταν οι υψηλότερες που μετρήθηκαν, με την τιμή συγκέντρωσης αιθυλοβενζόλιου στον εξωτερικό χώρο της να είναι και η υψηλότερη όλων για όλες τις οικίες.

### Συγκέντρωση Αιθυλοβενζολίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6. 29 Συγκέντρωση αιθυλοβενζολίου , Συγκριτικά

Το αιθυλοβενζόλιο συναντάται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους από καταναλωτικά προϊόντα όπως βαφές, διαλυτικά, κόλλες, επιδιορθωτικά υφασμάτων και δέρματος, καθώς και παρασιτοκτόνα. Συνεπώς, η ανίχνευση ποσότητας του συγκεκριμένου ρύπου στο εσωτερικό των οικιών ήταν αναμενόμενη.

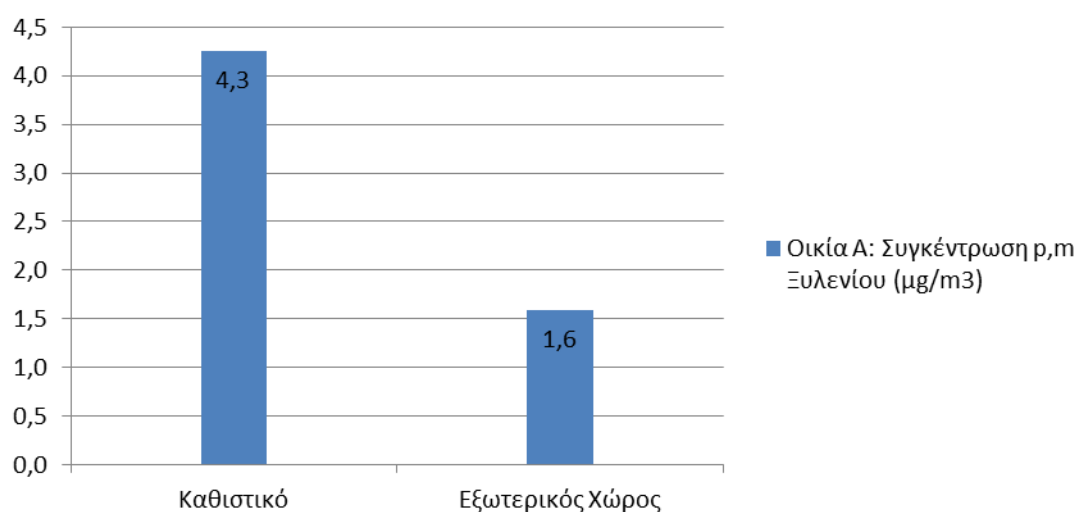
Το αιθυλοβενζόλιο, αποτελεί επίσης σύνηθες συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα, κυρίως ως αποτέλεσμα των βιομηχανικών εκπομπών αλλά και των εκπομπών καυσαερίων των αυτοκινήτων.

Έτσι μπορεί να εξηγηθεί η τιμή στον εξωτερικό χώρο της οικίας Γ, η οποία βρίσκεται στο κέντρο της πόλης, με την παρουσία οχημάτων να είναι αυξημένη όλες τις ώρες της ημέρας και άρα υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων. Σε αστικές περιοχές, συγκεντρώσεις αιθυλοβενζόλιου έχουν μετρηθεί σε εύρος από 0.74 έως 360  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία, η τιμή της υψηλότερης συγκέντρωσης αιθυλοβενζολίου ήταν στα 9.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , οπότε θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα πως στο σύνολό τους τα επίπεδα αιθυλοβενζολίου κατά την περίοδο των μετρήσεων κρίνονται ικανοποιητικά.

### 6.1.7 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις ρ,η και ο-Ξυλένιου

Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ, η μέση συγκέντρωση ξυλένιου στον ατμοσφαιρικό αέρα κατοικημένων περιοχών, κυμαίνεται από 3 έως 390 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουν αναφερθεί και συγκεντρώσεις από 0.6 έως 61 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. Σε εσωτερικούς χώρους, οι συγκεντρώσεις ξυλένιου έχουν εύρος 5.2-29 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] και παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές κατά την παρουσία καπνού τσιγάρου, της τάξεως των 200 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων για το ρ,η και ο-Ξυλένιο.

#### Οικία Α: Συγκέντρωση ρ,η Ξυλένιου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

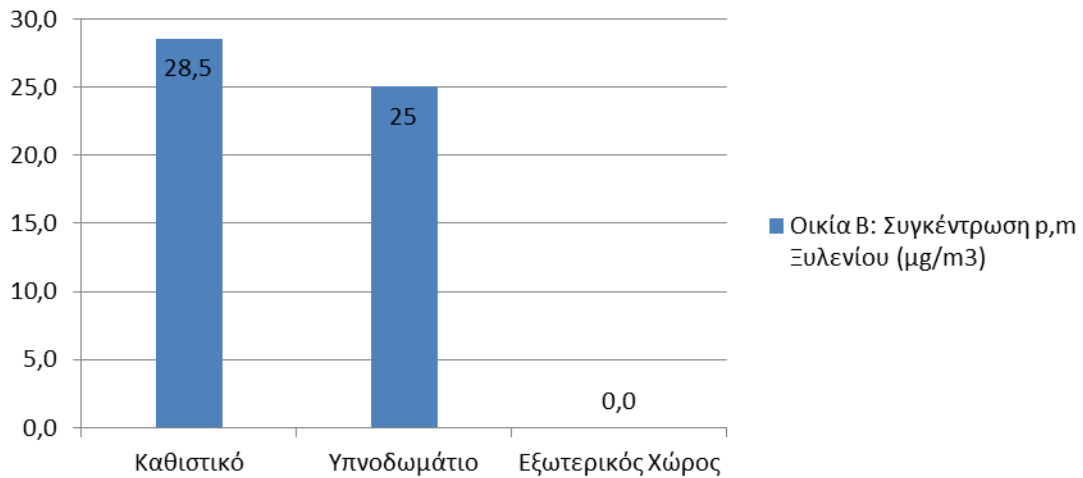


Διάγραμμα 6. 30 Συγκέντρωση ρ,η -Ξυλένιου, οικία Α

Στο παρών διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ρ,η Ξυλένιου για την οικία Α. Την υψηλότερη συγκέντρωση παρουσίασε ο χώρος του καθιστικού, ενώ δεν ανιχνεύθηκε ρ,η ξυλένιο στο υπνοδωμάτιο της οικίας.

Στο ακόλουθο διάγραμμα, που αφορά στην οικία Β, παρατηρούμε αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις. Όπως και στην οικία Α, στο καθιστικό ανιχνεύθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα ρ,η ξυλένιου, ενώ μηδενική ήταν η συγκέντρωση στον εξωτερικό χώρο.

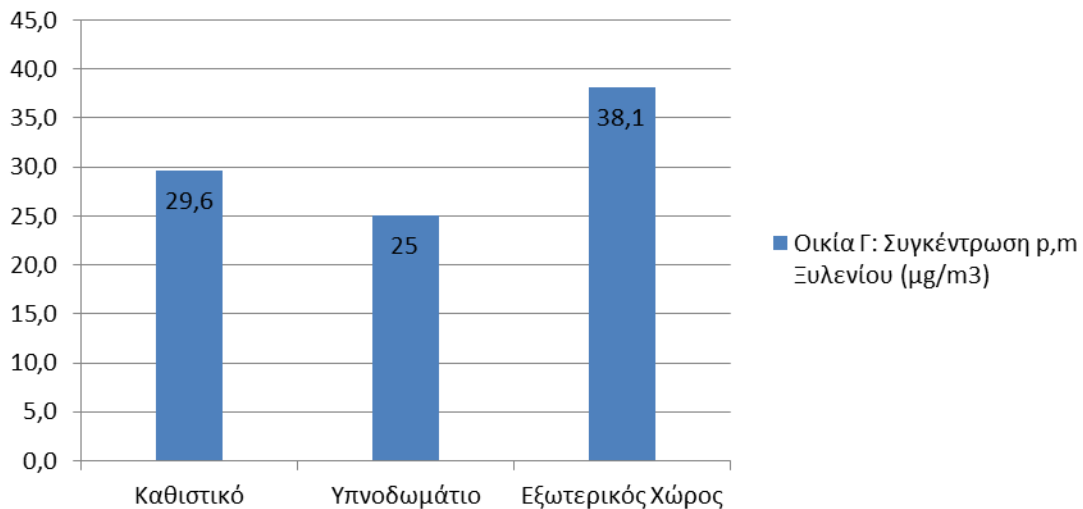
## Οικία Β: Συγκέντρωση ρ,η Ξυλενίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6.31 Συγκέντρωση ρ,η -Ξυλενίου, οικία Β

Σε παρόμοια επίπεδα κυμάνθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το ρ,η ξυλένιο για την οικία Γ, όπως φαίνεται από το διάγραμμα.

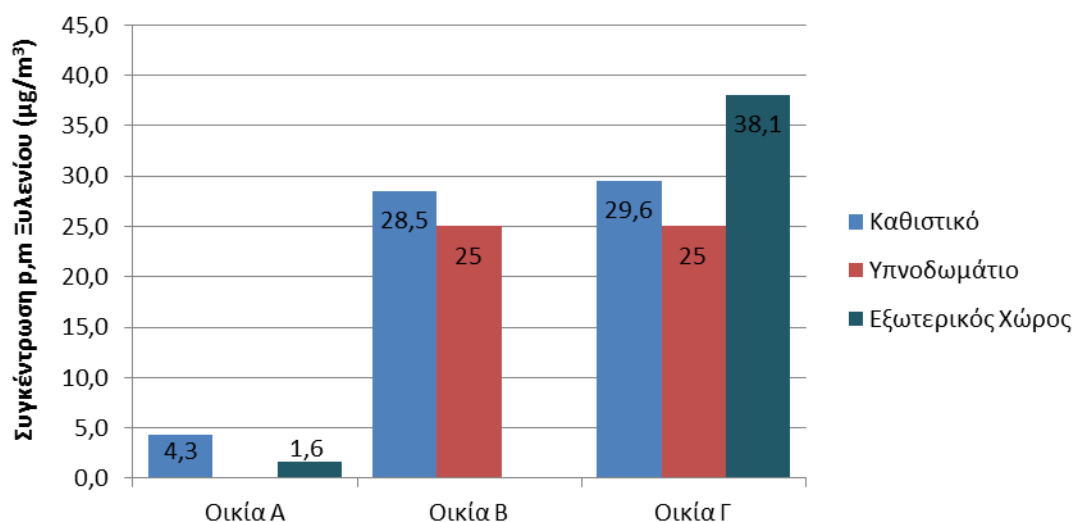
## Οικία Γ: Συγκέντρωση ρ,η Ξυλενίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6. 32 Συγκέντρωση ρ,η -Ξυλενίου, οικία Γ

Μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως η υψηλότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στον εξωτερικό χώρο της οικίας. Παρατηρούμε επίσης, πως η εν λόγω συγκέντρωση είναι και η μεγαλύτερη συγκέντρωση ρ,η ξυλενίου μεταξύ των καταγεγραμμένων αποτελεσμάτων και για τις τρεις οικίες, όπως αυτά παρουσιάζονται παρακάτω.

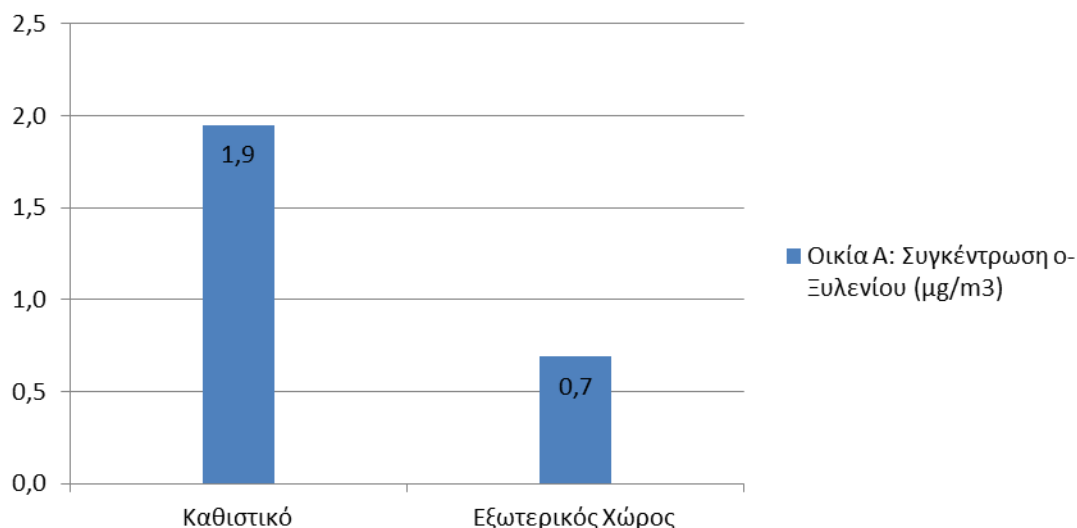
## Συγκέντρωση ρ,η Ξυλενίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6. 33 Συγκέντρωση ρ,η -Ξυλενίου, Συγκριτικά

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εβδομαδιαίων μετρήσεων για το ο-ξυλένιο.

## Οικία Α: Συγκέντρωση ο-Ξυλενίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

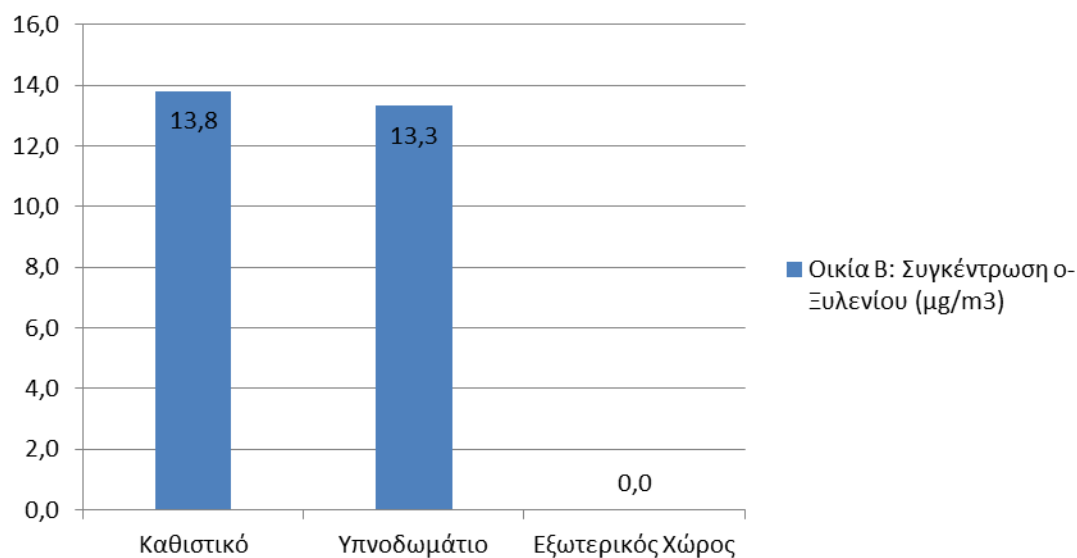


Διάγραμμα 6. 34 Συγκέντρωση ο -Ξυλενίου, οικία Α

Σε αυτό το σχήμα, δίνονται οι συγκεντρώσεις ο-ξυλενίου για την οικία Α. Παρατηρήθηκαν αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις, με υψηλότερη εκείνη του χώρου του καθιστικού. Επιπλέον, η συγκέντρωση στο χώρο του υπνοδωματίου ήταν μηδενική την περίοδο των μετρήσεων.

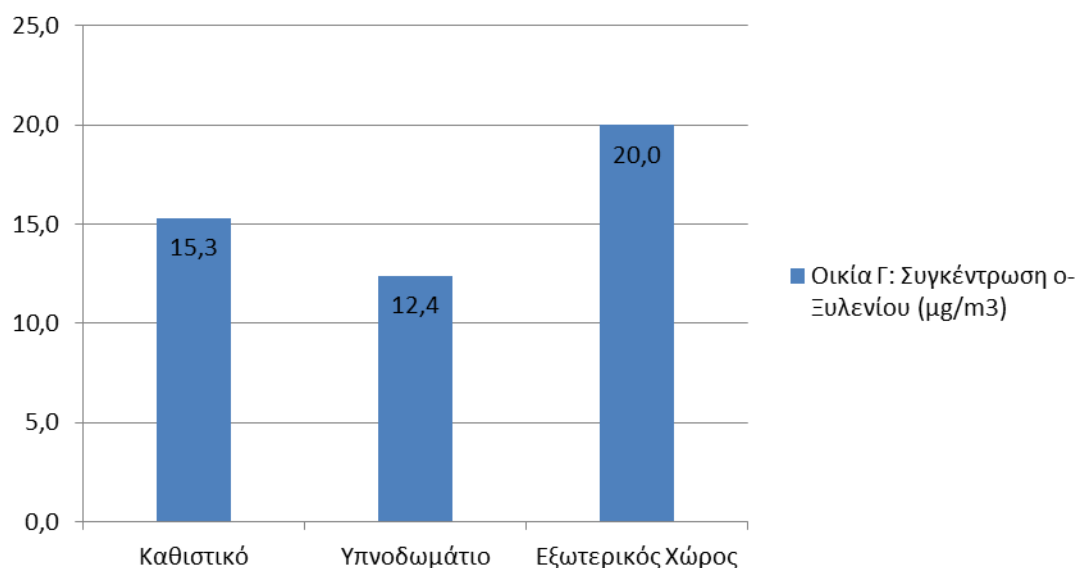


### Οικία Β: Συγκέντρωση ο-Ξυλενίου (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 35 Συγκέντρωση ο -Ξυλενίου, οικία Β

### Οικία Γ: Συγκέντρωση ο-Ξυλενίου (μg/m<sup>3</sup>)

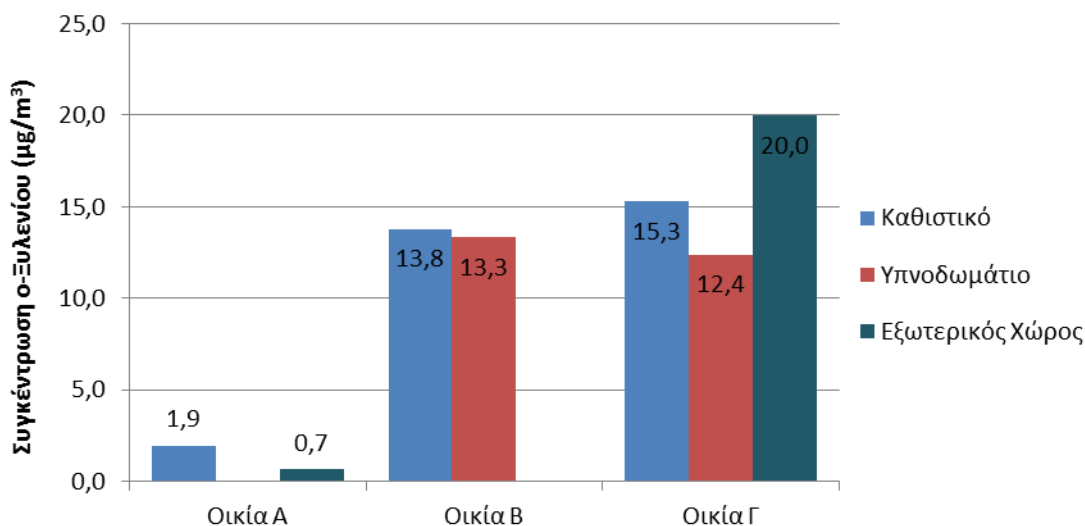


Διάγραμμα 6. 36 Συγκέντρωση ο -Ξυλενίου, οικία Γ

Φαίνεται, από το σχήμα, πως οι συγκεντρώσεις που ανιχνεύθηκαν στην οικία Β ήταν σχεδόν ίσες για τους χώρους του καθιστικού και του υπνοδωματίου. Στον εξωτερικό χώρο, δεν ανιχνεύθηκε ο-ξυλένιο από τον δειγματολήπτη. Αντίθετα, ο εξωτερικός χώρος της οικίας Γ είχε την υψηλότερη σε αυτήν συγκέντρωση ο-ξυλενίου. Επιπρόσθετα, στους εσωτερικούς χώρους, οι συγκεντρώσεις δεν παρουσίασαν σημαντική απόκλιση συγκριτικά με αυτές της οικίας Β.

Στη συνέχεια παρατίθεται το συγκεντρωτικό διάγραμμα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του ο-ξυλενίου, ώστε να αποδοθεί καλύτερα η συνολική εικόνα τους.

### Συγκέντρωση ο-Ξυλενίου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες

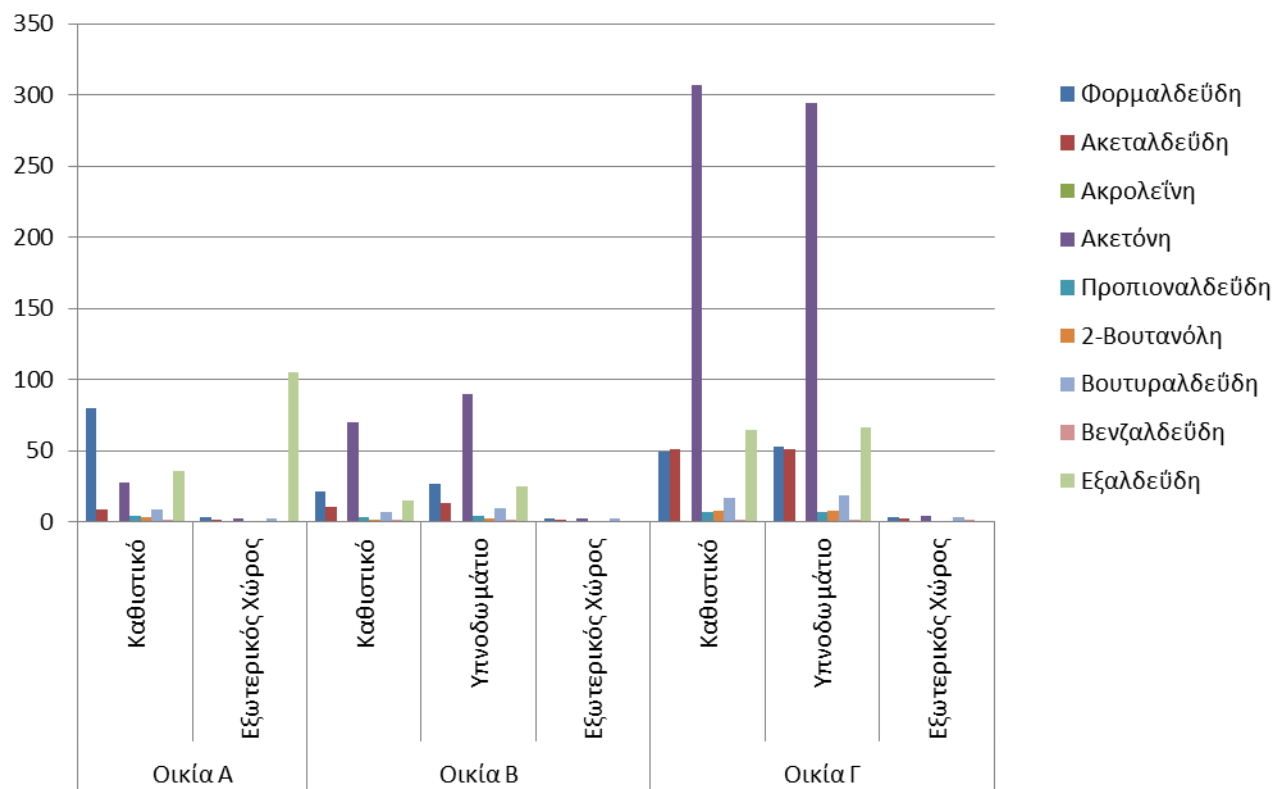


Διάγραμμα 6. 37 Συγκέντρωση ο -Ξυλενίου, Συγκριτικά

Η παρουσία ξυλενίου, ή καλύτερα κάποιου από τα ισομερή του ή και μίξη αυτών, είναι πολύ κοινή στα οικιακά προϊόντα όπως μονωτικά, εντομοκτόνα και μηκυτοκτόνα για αυλές και κήπους, καθαριστικά σκληρών επιφανειών, λιπαντικά έλαια, μπογιές και χρώματα, κόλλες, ρητίνες, καθώς και ξύλινα έπιπλα. Πρόκειται λοιπόν για ενώσεις που απαντώνται πολύ συχνά σε οικιακούς χώρους .

Στους εξωτερικούς χώρους, τα καυσαέρια των αυτοκινήτων καθώς και η καύση ξυλείας στα τζάκια συμβάλλουν στις συγκεντρώσεις ξυλενίου στον ατμοσφαιρικό αέρα. Παρατηρώντας τα συγκεντρωτικά διαγράμματα, οι οικίες Β και Γ φαίνεται πως, για την περίοδο της εβδομαδιαίας δειγματοληψίας, παρουσίασαν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις στους εσωτερικούς τους χώρους. Επιπλέον, η οικία Γ ήταν η μοναδική στην οποία ανιχνεύθηκαν τα δυο ισομερή στον εξωτερικό χώρο, γεγονός που επεξηγείται από την τοποθεσία και τον προσανατολισμό του.

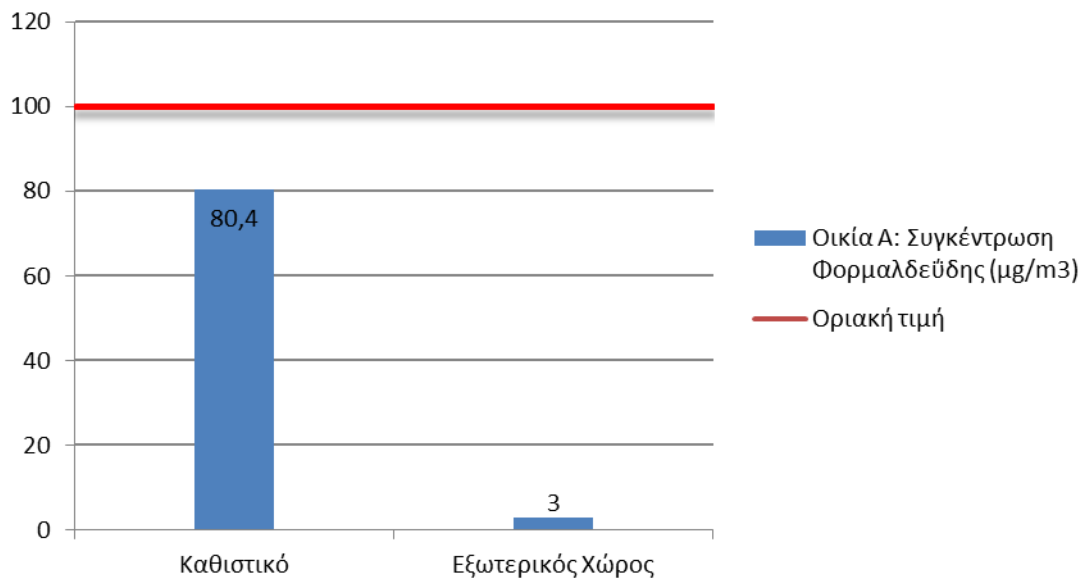
## 6.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις αλδεΐδων.



Διάγραμμα 6. 38 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων αλδεΐδων

### 6.3.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Φορμαλδεΐδης.

Οι τιμές των μέσων εβδομαδιαίων συγκεντρώσεων της φορμαλδεΐδης που προέκυψαν από τις μετρήσεις στις 3 οικίες, κατά τις περιόδους δειγματοληψίας δίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα. Αυτές οι τιμές συγκρίνονται με την ανώτατη συνιστώμενη συγκέντρωση φορμαλδεΐδης των  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , για τον εσωτερικό αέρα, του Π.Ο.Υ.

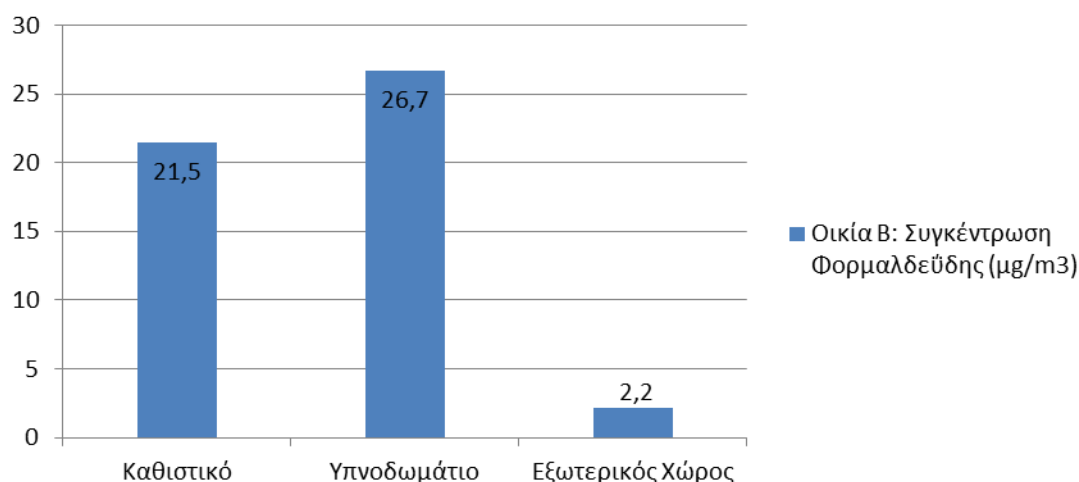


**Διάγραμμα 6. 39 Συγκέντρωση Φορμαλδεΐδης , οικία Α**

Η τιμή της συγκέντρωσης φορμαλδεΐδης που καταγράφηκε ήταν πολύ χαμηλή για τον εξωτερικό χώρο και μηδενική για το υπνοδωμάτιο. Στο καθιστικό, η συγκέντρωση, συγκρινόμενη με την οριακή τιμή των 100µg/m<sup>3</sup> κρίνεται ως αρκετά υψηλή.

Στην οικία Β, όπως παρατηρούμε, ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις και στους τρεις χώρους της. Υψηλότερη συγκέντρωση φορμαλδεΐδης εμφάνισε ο χώρος του υπνοδωματίου, ενώ λίγο χαμηλότερη ήταν η συγκέντρωση στο καθιστικό. Όλες οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν πολύ κάτω από το θεσπισμένο όριο.

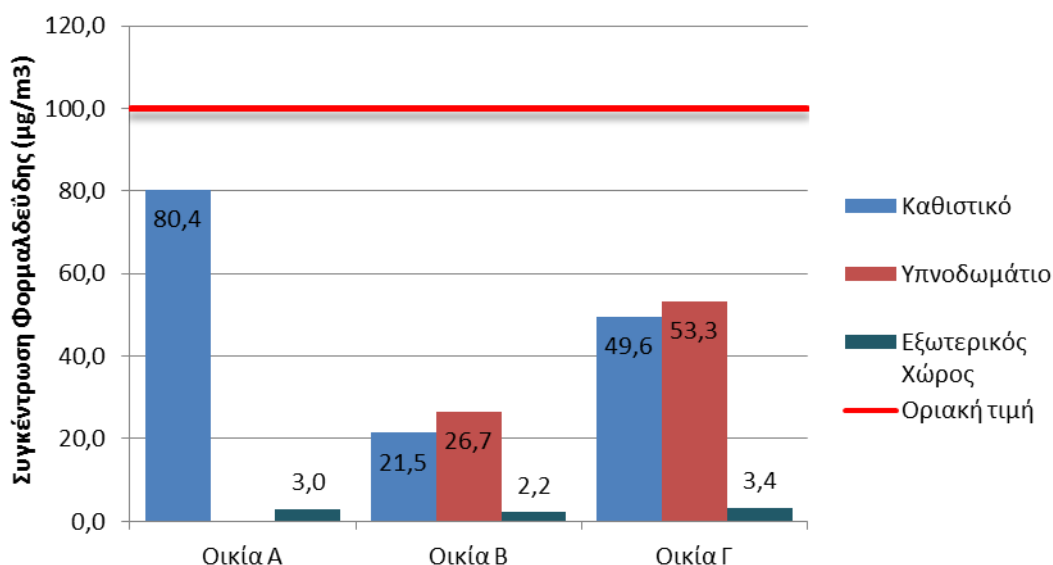
## Οικία Β: Συγκέντρωση Φορμαλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 40 Συγκέντρωση Φορμαλδεΐδης , οικία Β

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις φορμαλδεΐδης για την οικία Γ. Όπως και στην περίπτωση της οικίας Β, το υπνοδωμάτιο ήταν ο χώρος στον οποίο καταγράφηκε η υψηλότερη συγκέντρωση, με τα επίπεδα όμως που καταγράφηκαν να είναι σαφώς αυξημένα. Στο καθιστικό, εντοπίστηκε λίγο χαμηλότερη συγκέντρωση, ενώ στον εξωτερικό χώρο η τιμή που καταγράφηκε ήταν και πάλι αρκετά χαμηλή.

## Συγκέντρωση Φορμαλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6. 41 Συγκέντρωση Φορμαλδεΐδης , οικία Γ

Όπως έχει αναφερθεί, η φορμαλδεΐδη είναι ένα χημικό που εντοπίζεται, κυρίως στον καπνό του τσιγάρου, σε υφάσματα, σε κόλλες και σε επικαλύψεις ξύλινων επιφανειών, συνεπώς συναντάται σε εσωτερικούς αλλά και σε εξωτερικούς χώρους.

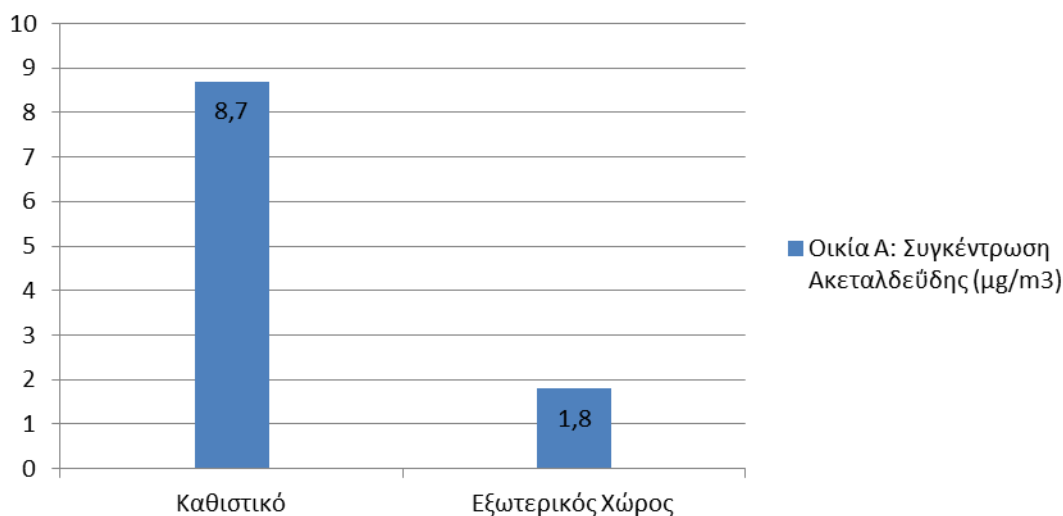
Στο παραπάνω σχήμα, γρήγορα παρατηρεί κανείς την πολύ υψηλότερη συγκέντρωση φορμαλδεΐδης που ανιχνεύθηκε στο καθιστικό της οικίας Α. Ο καπνός του τσιγάρου θα μπορούσε να είναι ο παράγοντας ο οποίος ευθύνεται για την υψηλή αυτή τιμή, σε συνδυασμό με τις ξύλινες επιφάνειες. Επιπρόσθετα, για τους εσωτερικούς χώρους και τις συγκεντρώσεις τους πρέπει να αναφερθεί πως η φορμαλδεΐδη που ανιχνεύθηκε πιθανόν να είναι προϊόν της αντίδρασης του όζοντος με τα τερπένια, όπως το α-πινένιο και το δ-λιμονένιο.

Τέλος, διακρίνεται εύκολα πως στους εξωτερικούς χώρους, σε όλες τις οικίες, η φορμαλδεΐδη κυμάνθηκε σε παρόμοια, χαμηλά επίπεδα, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως οι εξωτερικές συγκεντρώσεις δεν επηρέασαν τις μετρήσεις στους εσωτερικούς χώρους.

### 6.3.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Ακεταλδεΐδης.

Στα επόμενα διαγράμματα δίνονται οι τιμές των εβδομαδιαίων συγκεντρώσεων της Ακεταλδεΐδης στις 3 οικίες. Για την ακεταλδεΐδη δεν έχει θεσπιστεί ανώτατο όριο συγκέντρωσης από την Ε.Ε. ή τον Π.Ο.Υ. -

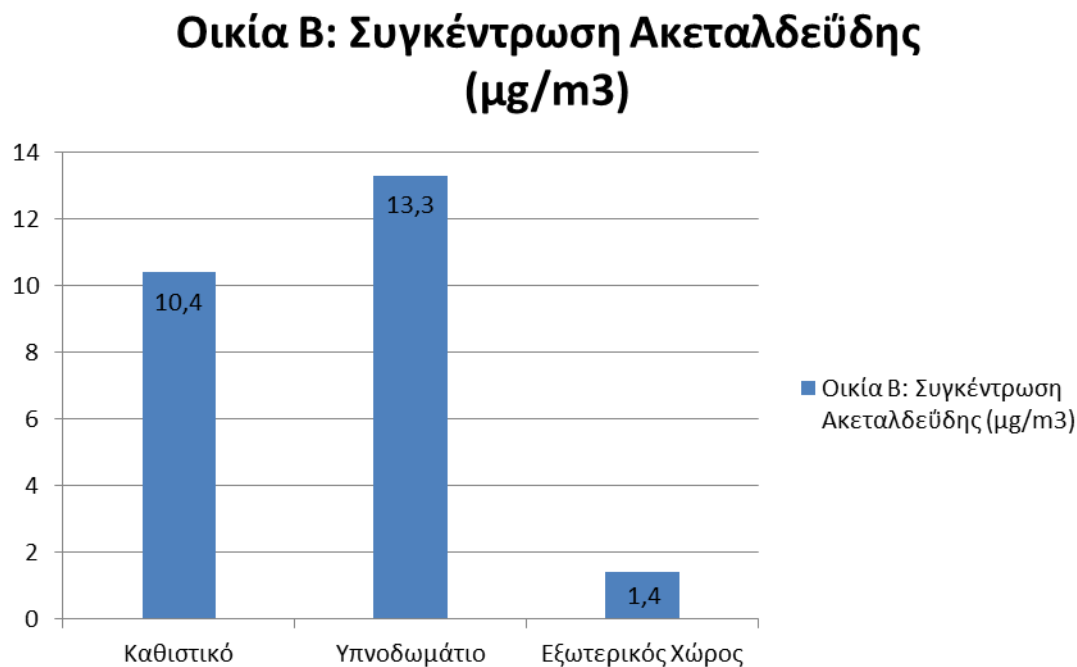
#### Οικία Α: Συγκέντρωση Ακεταλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 42 Συγκέντρωση Ακεταλδεΐδης , οικία Α

Στην οικία A, η παρουσία ακεταλδεΐδης βρέθηκε να είναι εντονότερη στο καθιστικό, αρκετά ασθενέστερη στον εξωτερικό χώρο και μηδενική για το χώρο του υπνοδωματίου.

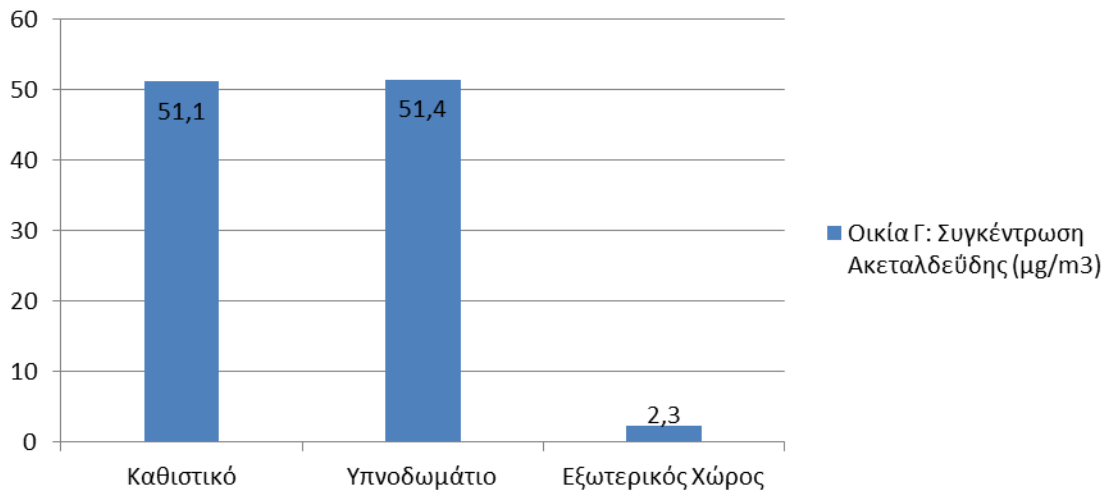
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις ακεταλδεΐδης για την οικία B.



**Διάγραμμα 6. 43 Συγκέντρωση Ακεταλδεΐδης , οικία B**

Συγκεντρώσεις ακεταλδεΐδης ανιχνεύθηκαν σε όλους τους χώρους των μετρήσεων στην οικία B, με την υψηλότερη καταγεγραμμένη τιμή να αντιστοιχεί στον χώρο του υπνοδωματίου. Το καθιστικό παρουσίασε ελαφρώς χαμηλότερη τιμή, ενώ στον εξωτερικό χώρο, η τιμή κινήθηκε σε παρόμοια επίπεδα με τον εξωτερικό χώρο της οικίας A.

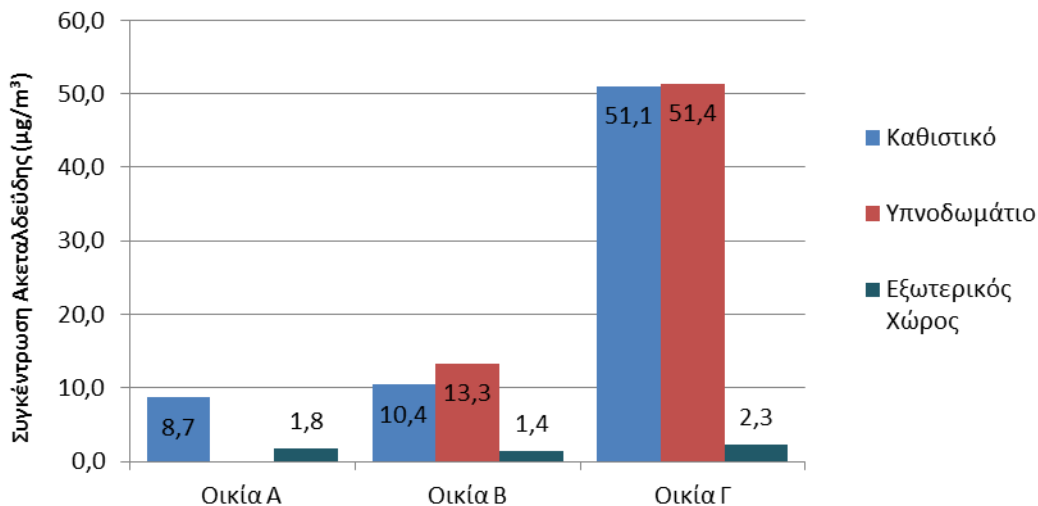
## Οικία Γ: Συγκέντρωση Ακεταλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 44 Συγκέντρωση Ακεταλδεΐδης , οικία Γ

Στους χώρους του καθιστικού και του υπνοδωματίου της οικίας Γ , ανιχνεύθηκαν σχεδόν ίσες συγκεντρώσεις ακεταλδεΐδης. Στον εξωτερικό χώρο, η τιμή της συγκέντρωσης, όπως και στις δυο προηγούμενες οικίες, ήταν χαμηλή.

## Συγκέντρωση Ακεταλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6. 45 Συγκέντρωση Ακεταλδεΐδης , Συγκριτικά

Στο συγκεντρωτικό διάγραμμα, παρατηρούμε πως οι τιμές της συγκέντρωσης ακεταλδεΐδης για τους εσωτερικούς χώρους των οικιών Α και Β κυμάνθηκαν σε αναμενόμενα επίπεδα, εν αντιθέσει με τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την οικία Γ, τα οποία μας έδωσαν πέντε



φορές υψηλότερες συγκεντρώσεις. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, στην οικία Α, μπορούμε να υποθέσουμε πως τα νέα υλικά κατασκευής, τα χρώματα και τα νέα έπιπλα έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στον εξωτερικό της χώρο, η παρουσία ακεταλδεΐδης κινήθηκε στα ίδια επίπεδα με αυτά που παρουσιάστηκαν για τις οικίες Α και Β, γεγονός που ενισχύει την υπόθεσή μας.

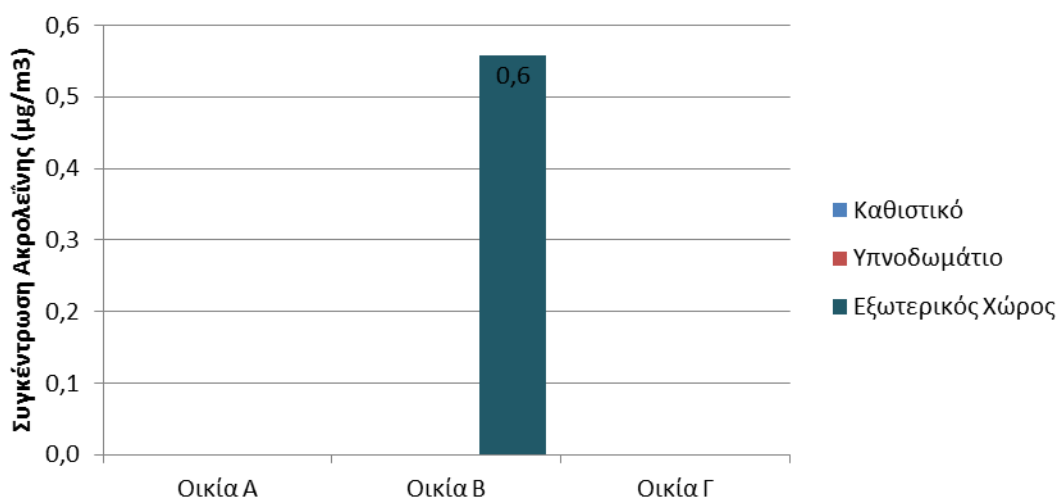
### 6.3.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Ακρολεΐνης.

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εβδομαδιαίων μετρήσεων για την ακρολεΐνη. Δεν υπάρχει θεσπισμένο όριο από τον Π.Ο.Υ ή την Ε.Ε.

Οι συγκεντρώσεις ακρολεΐνης, όπως μπορούμε να δούμε και σε άλλες μελέτες που έχουν εκπονηθεί στο εξωτερικό είναι συνήθως πολύ χαμηλές ή και μηδενικές σε συνηθισμένες κατοικίες, τόσο σε εσωτερικές, όσο και σε εξωτερικές μετρήσεις.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων της παρούσας εργασίας, ακρολεΐνη ανιχνεύθηκε από τους δειγματολήπτες μόνο στον εξωτερικό χώρο της οικίας Β, με τιμή συγκέντρωσης 0.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### Συγκέντρωση Ακρολεΐνης ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες

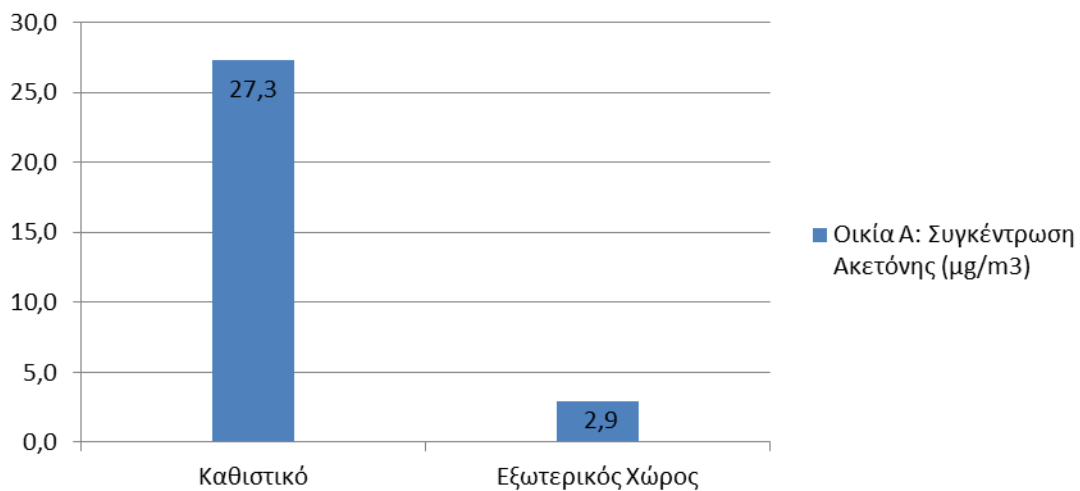


Διάγραμμα 6. 46 Συγκέντρωση Ακρολεΐνης, Συγκριτικά

### 6.3.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Ακετόνης.

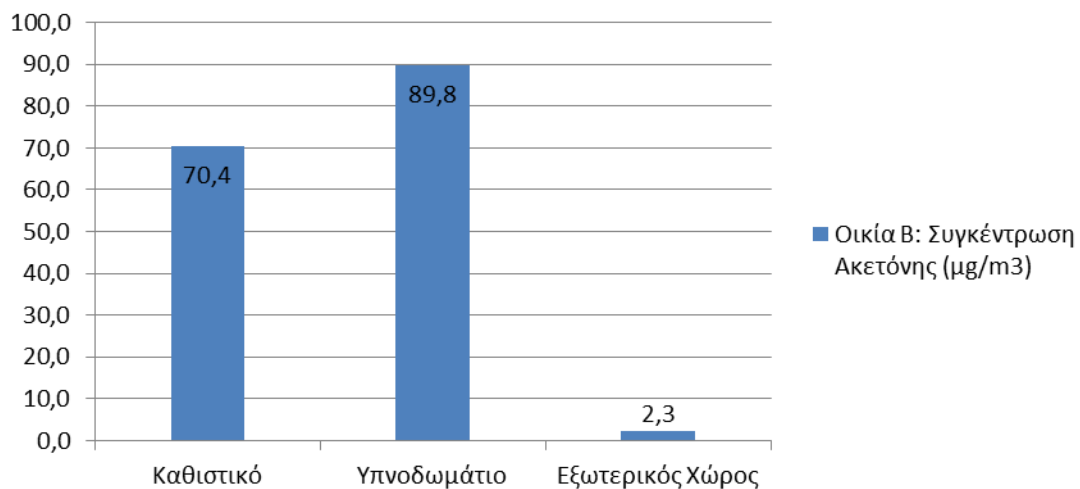
Εδώ παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν από τις εβδομαδιαίες μετρήσεις για την παρουσία ακετόνης στις τρεις οικίες δίνονται. Δεν έχει θεσπιστεί όριο για την ακετόνη από τον Π.Ο.Υ ή την Ε.Ε. .

### Οικία A: Συγκέντρωση Ακετόνης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 46 Συγκέντρωση Ακετόνης , οικία A

### Οικία B: Συγκέντρωση Ακετόνης (μg/m<sup>3</sup>)

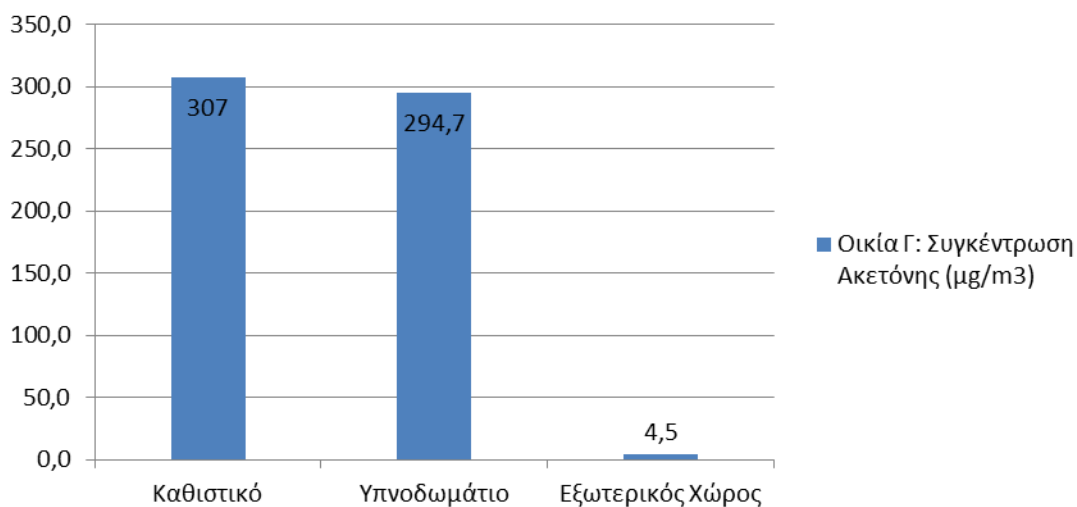


Διάγραμμα 6. 47 Συγκέντρωση Ακετόνης , οικία B

Στην οικία A, φαίνεται πως μεγαλύτερη συγκέντρωση ακετόνης ανιχνεύθηκε στον χώρο του καθιστικού, ενώ στον χώρο του υπνοδωματίου η τιμή της συγκέντρωσης για την περίοδο των μετρήσεων ήταν μηδενική. Το αποτέλεσμα της εξωτερικής μέτρησης επιβεβαίωσε μεν την παρουσία ακετόνης, σε αρκετά χαμηλά όμως επίπεδα.

Στην οικία B, παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης ακετόνης στους εσωτερικούς χώρους σε σχέση με την οικία A. Όπως μπορούμε να δούμε, η υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στον χώρο του υπνοδωματίου, ενώ χαμηλή και σε αυτήν την περίπτωση ήταν η τιμή που μετρήθηκε στον εξωτερικό χώρο της οικίας.

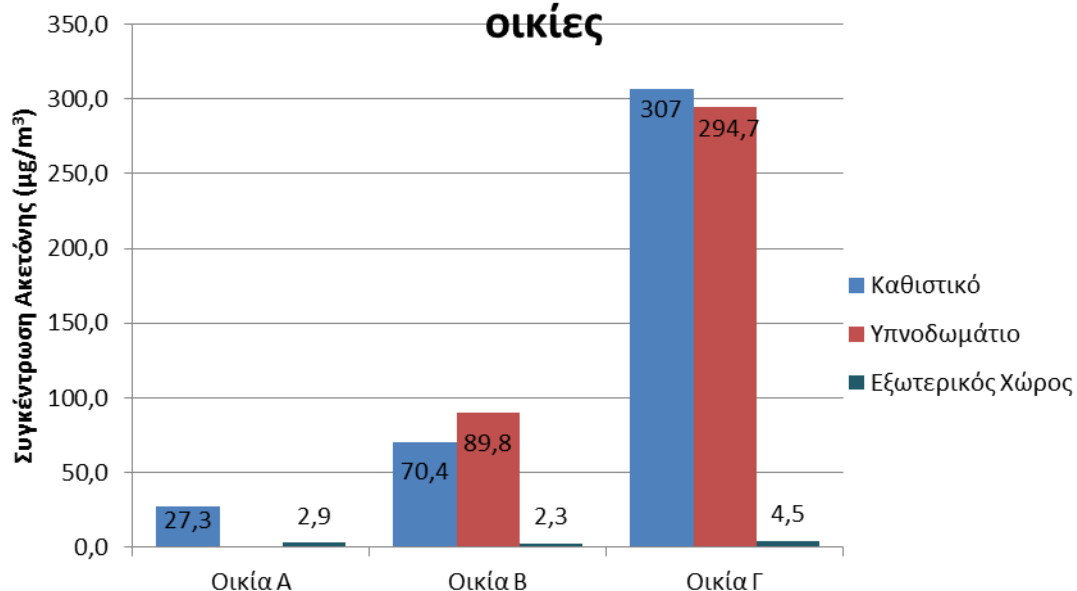
## Οικία Γ: Συγκέντρωση Ακετόνης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 48 Συγκέντρωση Ακετόνης , οικία Γ

Στους εσωτερικούς χώρους της οικίας Γ η παρουσία ακετόνης ήταν πολύ εντονότερη συγκριτικά με τις δυο προηγούμενες, με τις τιμές που παρουσιάζονται να είναι έως και δέκα φορές μεγαλύτερες. Το καθιστικό της οικίας ήταν ο χώρος στον οποίο μετρήθηκε η υψηλότερη συγκέντρωση, ενώ λίγο χαμηλότερη ήταν η συγκέντρωση στο υπνοδωμάτιο. Ο εξωτερικός χώρος, δεν παρουσίασε αυξημένη τιμή συγκέντρωσης και κυμάνθηκε στα επίπεδα των τιμών που μετρήθηκαν στους εξωτερικούς χώρους των οικιών Α και Β.

## Συγκέντρωση Ακετόνης (μg/m<sup>3</sup>) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6. 49 Συγκέντρωση Ακετόνης , Συγκριτικά

Η χρήση οικιακών καθαριστικών, καθαριστικών βαφής νυχιών, και κόλλας είναι οι συνηθέστερες πηγές έκλυσης ακετόνης σε ένα σπίτι.

Από το συγκεντρικό διάγραμμα, αυτό που αμέσως παρατηρεί κανείς είναι οι πολύ αυξημένες –σε σχέση με τις οικίες Α και Β – συγκεντρώσεις της οικίας Γ. Η πιθανότερη πηγή έκλυσης της εν λόγω ποσότητας ακετόνης υποθέτουμε πως είναι κάποιο καθαριστικό που χρησιμοποιήθηκε στην οικία Γ την περίοδο κατά την οποία ήταν τοποθετημένοι οι δειγματολήπτες, με δεδομένο ότι παρόμοιες συγκεντρώσεις ανιχνεύθηκαν και στους δυο εσωτερικούς της χώρους.

### 6.3.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Προπιοναλδεΐδης.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εβδομαδιαίων μετρήσεων προπιοναλδεΐδης. Για την προπιοναλδεΐδη, δεν υπάρχει ανώτατο θεσπισμένο όριο από την Ε.Ε ή τον Π.Ο.Υ.

#### Οικία Α: Συγκέντρωση Προπιοναλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)

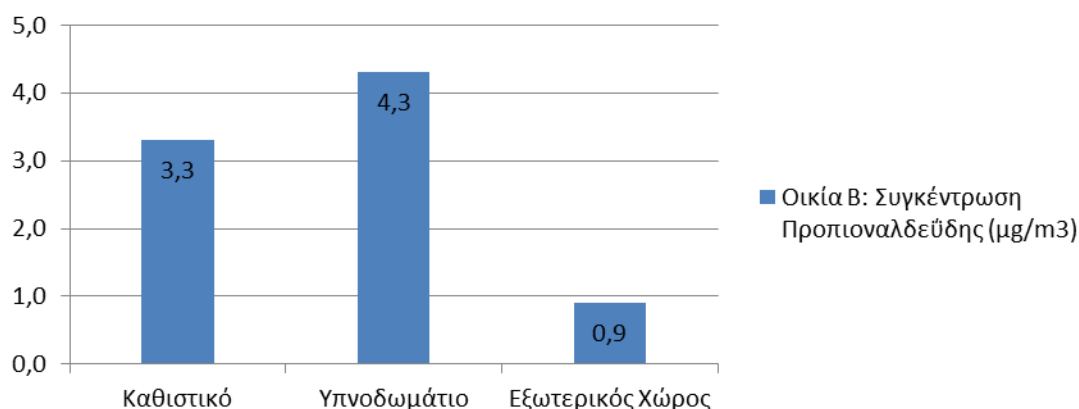


Διάγραμμα 6.50 Συγκέντρωση Προπιοναλδεΐδης , οικία Α

Στην οικία Α, υψηλότερη ήταν η τιμή στο καθιστικό, με τον εξωτερικό χώρο να εμφανίζει αρκετά χαμηλότερη συγκέντρωση. Δεν μετρήθηκε ποσότητα προπιοναλδεΐδης στο χώρο του υπνοδωματίου.

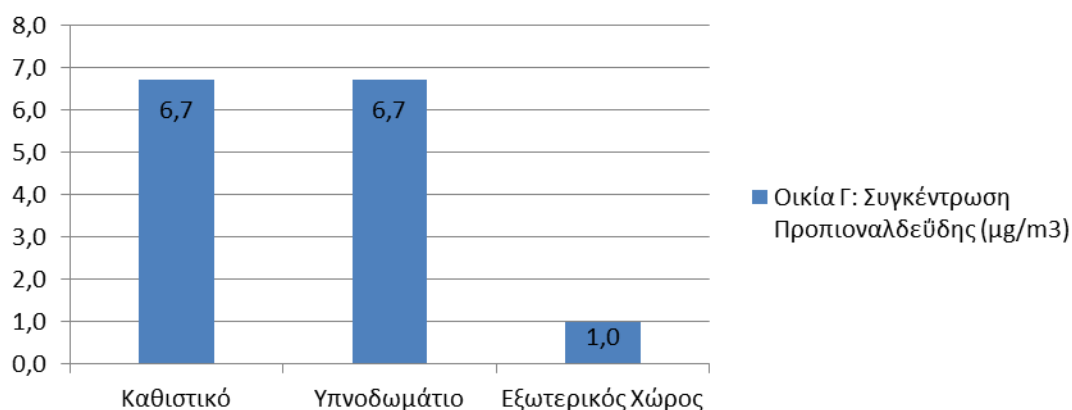
Στο επόμενο σχήμα, παρατηρούμε πως η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης προπιοναλδεΐδης στην οικία Β μετρήθηκε στο χώρο του υπνοδωματίου, στα 4.3 μg/m<sup>3</sup>. Προπιοναλδεΐδη ανιχνεύθηκε και στους άλλους δυο χώρους της οικίας, σε ικανοποιητικά επίπεδα.

## Οικία Β: Συγκέντρωση Προπιοναλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 51 Συγκέντρωση Προπιοναλδεΐδης , οικία Β

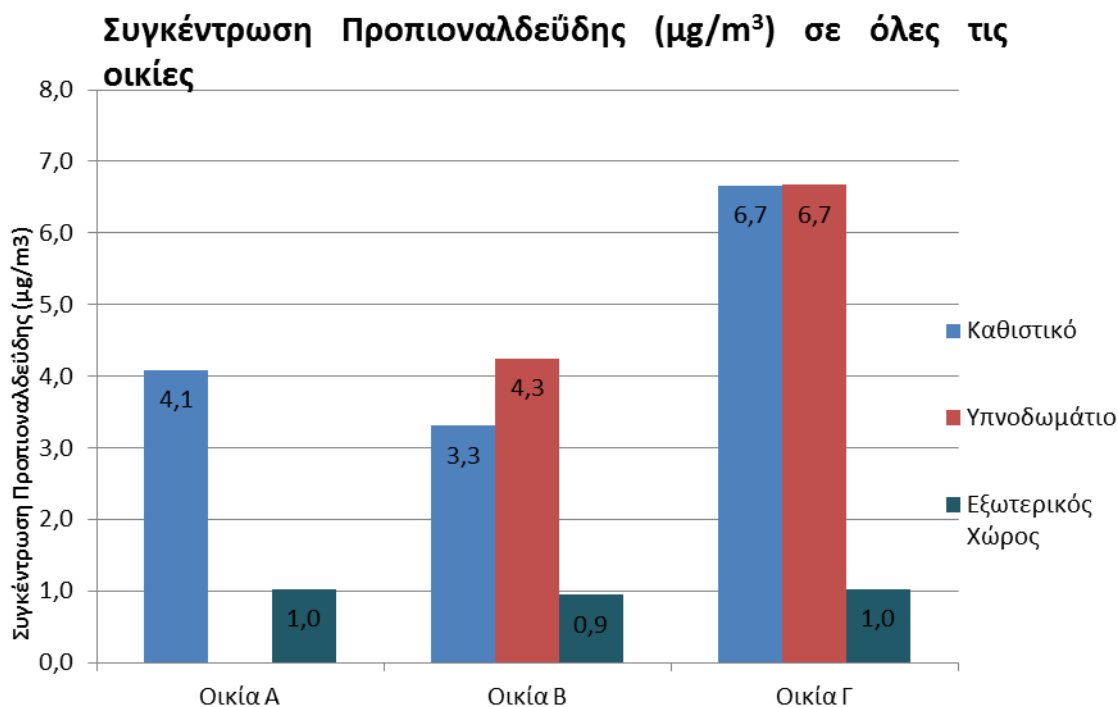
## Οικία Γ: Συγκέντρωση Προπιοναλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6.52 Συγκέντρωση Προπιοναλδεΐδης , οικία Γ

Στους εσωτερικούς χώρους της οικίας Γ, η παρουσία προπιοναλδεΐδης ήταν εντονότερη, και οι τιμές της συγκέντρωσής της ήταν ακριβώς ίσες και για τους δυο χώρους της, στα 6.7 μg/m<sup>3</sup>.

Στον εξωτερικό χώρο, μετρήθηκε συγκέντρωση προπιοναλδεΐδης, τα επίπεδα της οποίας δεν απόκλιναν από αυτά που μετρήθηκαν στις οικίες Α και Β.

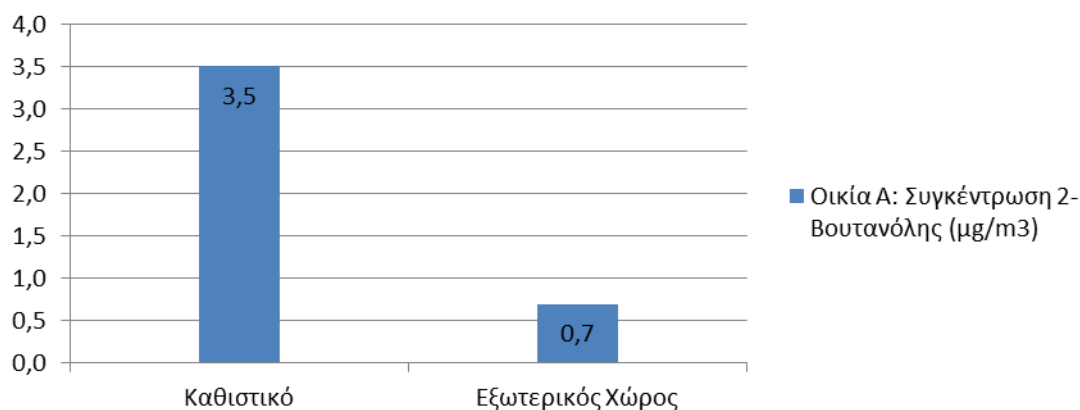


**Διάγραμμα 6. 53 Συγκέντρωση Προπιοναλδεΐδης , Συγκριτικά**

### 6.3.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις για την 2-βουτανόνη

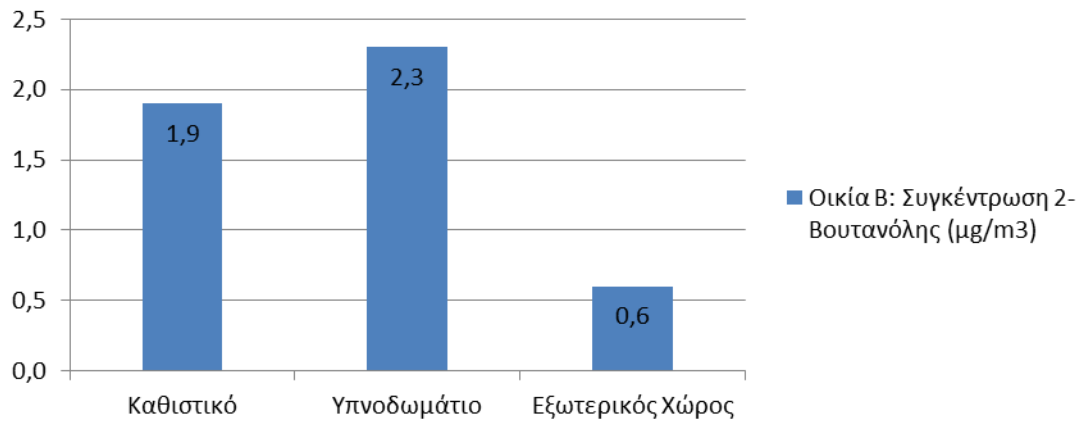
Στα επόμενα σχήματα , παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εβδομαδιαίων μετρήσεων για την 2-βουτανόνη. Το όριο που έχει θεσπιστεί για τις συγκεντρώσεις 2-βουτανόνης είναι  $590 \text{ mg}/\text{m}^3$

### Οικία Α: Συγκέντρωση 2-Βουτανόνης ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



**Διάγραμμα 6. 54 Συγκέντρωση 2-βουτανόνης , οικία Α**

## Οικία Β: Συγκέντρωση 2-Βουτανόνης (μg/m<sup>3</sup>)



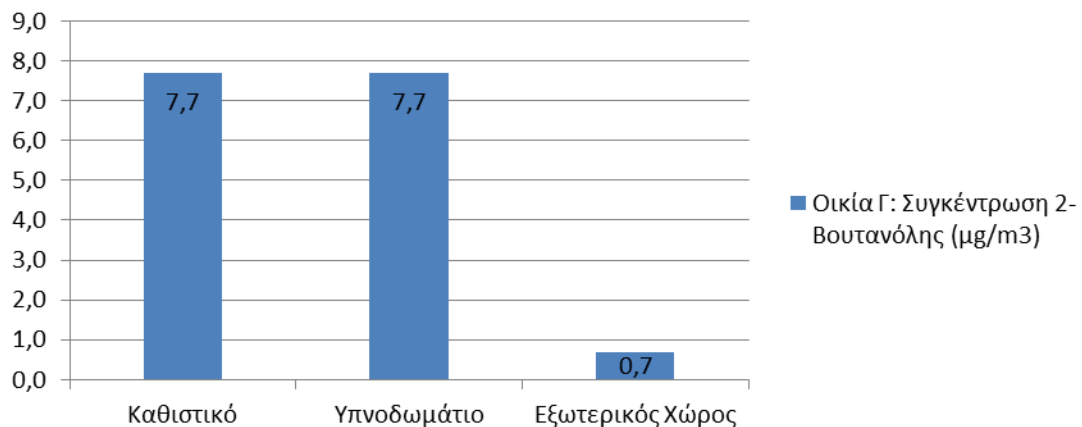
Διάγραμμα 6. 55 Συγκέντρωση 2-βουτανόνης, οικία Β

Στα διαγράμματα, δίνονται οι συγκεντρώσεις 2-βουτανόνης που μετρήθηκαν στις οικίες Α και Β.

Στην οικία Α, ο χώρος του καθιστικού είχε την υψηλότερη συγκέντρωση. Δεν ανιχνεύθηκε 2-βουτανόνη από τον δειγματολήπτη στον χώρο του υπνοδωματίου, ενώ κατά την περίοδο των μετρήσεων, χαμηλή ήταν η συγκέντρωση στον εξωτερικό χώρο.

Στην οικία Β, ανιχνεύθηκε 2-βουτανόνη και στους τρεις χώρους των μετρήσεων. Το υπνοδωμάτιο ήταν ο χώρος με την μεγαλύτερη συγκέντρωση, ενώ χαμηλή ήταν η συγκέντρωση στον εξωτερικό χώρο της οικίας.

## Οικία Γ: Συγκέντρωση 2-Βουτανόνης (μg/m<sup>3</sup>)

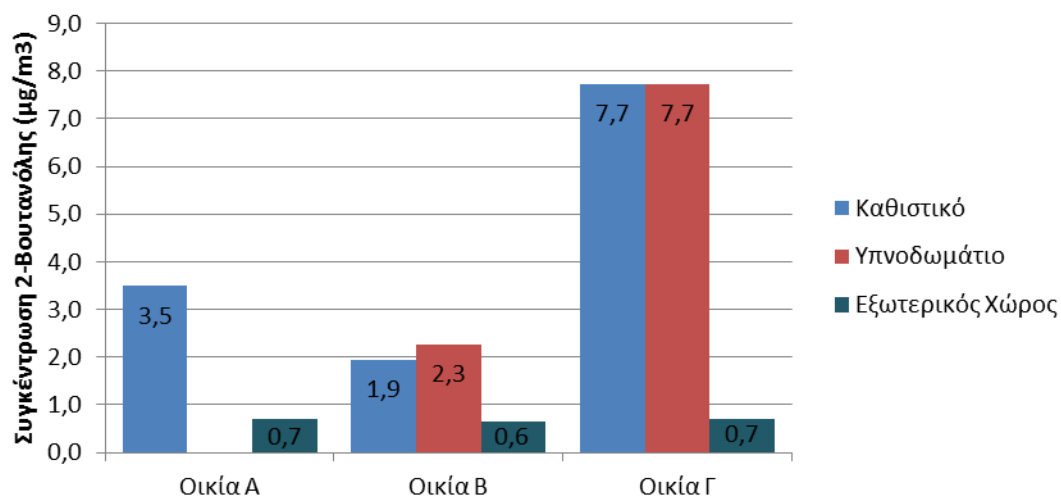


Διάγραμμα 6. 56 Συγκέντρωση 2-βουτανόνης, οικία Γ

Όσον αφορά στην οικία Γ, αυτή παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης 2-βουτανόνης σε εσωτερικούς χώρους. Η συγκέντρωση για την εβδομάδα των μετρήσεων

στο καθιστικό και στο υπνοδωμάτιο ήταν στα 7.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ στον εξωτερικό χώρο, όπως και στις οικίες A και B, ήταν χαμηλή.

### Συγκέντρωση 2-Βουτανόνης ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6. 57 Συγκέντρωση 2-βουτανόνης, Συγκριτικά

Αυτό το διάγραμμα μας δίνει μια συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων συγκέντρωσης 2-βουτανόνης για τις 3 οικίες.

Η 2-βουτανόνη, αποτελεί συστατικό καθαριστικών σπιτιού, εκλύεται από χρώματα και αρώματα και από τον καπνό του τσιγάρου. Στην περίπτωση της οικίας Γ, υποθέτουμε πως ο συνδυασμός των χρωμάτων των τοίχων και κάποιου καθαριστικού ευθύνεται για τις αυξημένες τιμές συγκριτικά με τις οικίες Α και Β.

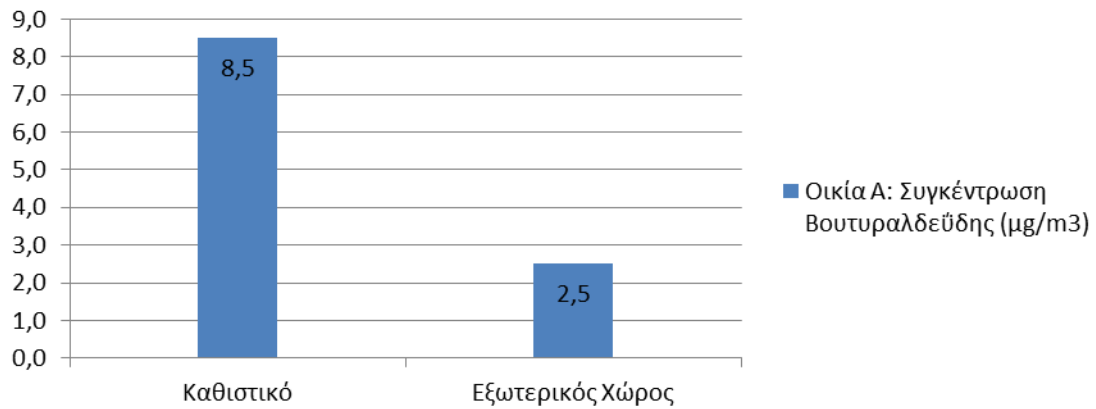
Στον ατμοσφαιρικό αέρα, η 2-βουτανόνη παράγεται από την φωτοξείδωση συγκεκριμένων ρυπαντών του αέρα, όπως το βουτάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι εκλύονται από τις εξαμίσεις των οχημάτων. Οι τιμές ήταν παρεμφερείς και στις τρεις οικίες, παρόλο που αυτές βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία της πόλης.

#### 6.3.7 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Βουτυραλδεΐδης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εβδομαδιαίων μετρήσεων βουτυραλδεΐδης στις τρεις οικίες. Για την βουτυραλδεΐδη, δεν έχει θεσπιστεί ανώτατο όριο από τον Π.Ο.Υ. ή την Ε.Ε. .



## Οικία Α: Συγκέντρωση Βουτυραλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)

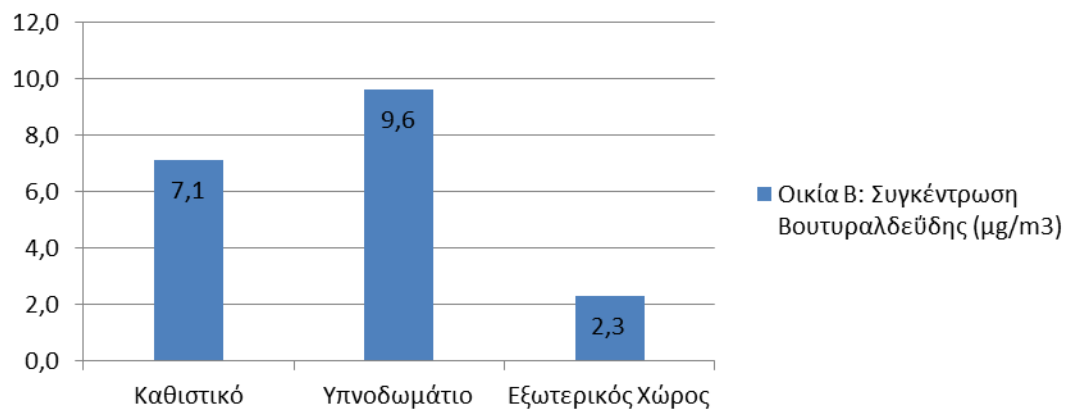


Διάγραμμα 6. 58 Συγκέντρωση βουτυραλδεΐδης , οικία Α

Στην οικία Α, η υψηλότερη συγκέντρωση βουτυραλδεΐδης ανιχνεύθηκε στον χώρο του καθιστικού, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα και στον εξωτερικό χώρο της οικίας. Στο υπνοδωμάτιο, η συγκέντρωση βουτυραλδεΐδης ήταν μηδενική.

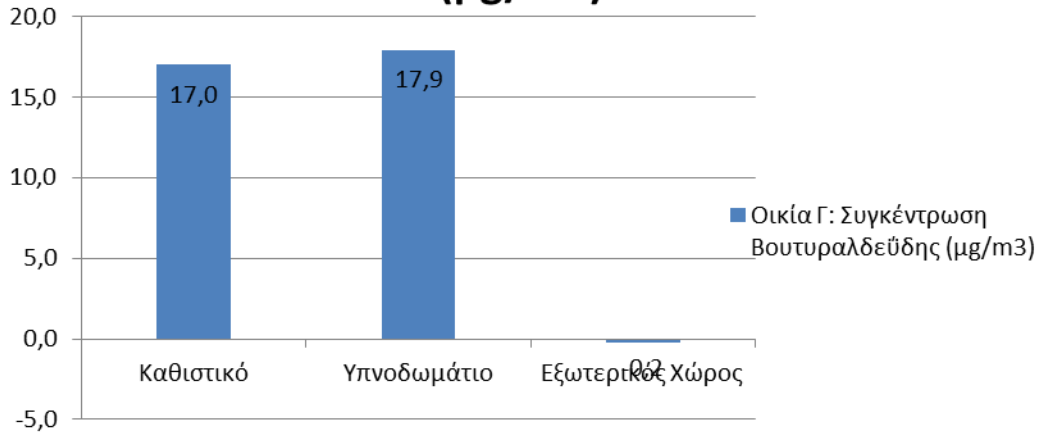
Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε πως στην οικία Β, ανιχνεύθηκε βουτυραλδεΐδη σε όλους τους χώρους, με υψηλότερη τη συγκέντρωση στον χώρο του υπνοδωματίου. Η τιμή που μετρήθηκε στον εξωτερικό χώρο, κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με την τιμή του εξωτερικού χώρου της οικίας Α.

## Οικία Β: Συγκέντρωση Βουτυραλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 59 Συγκέντρωση βουτυραλδεΐδης , οικία Β

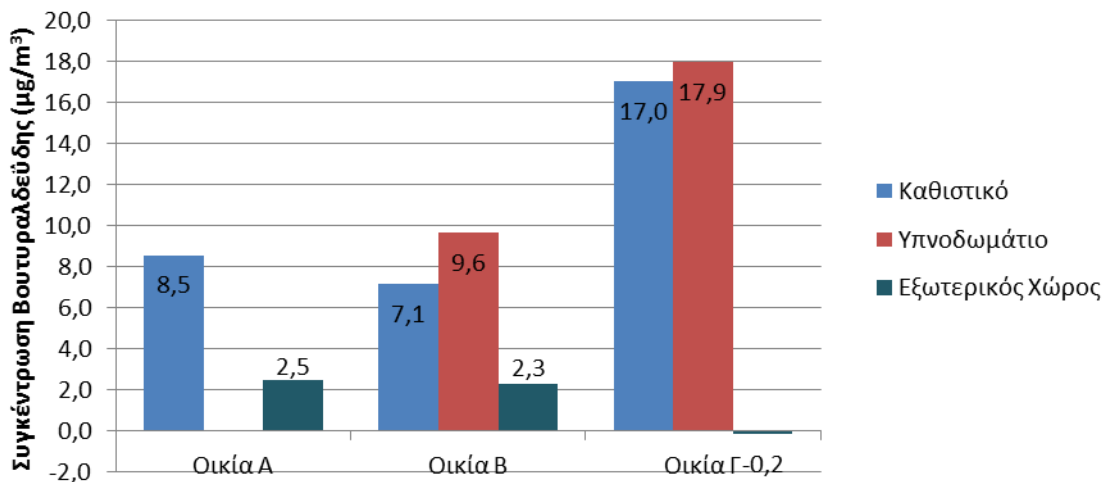
## Οικία Γ: Συγκέντρωση Βουτυραλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 60 Συγκέντρωση βουτυραλδεΐδης , οικία Γ

Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις για την οικία Γ φαίνονται στο παραπάνω σχήμα. Στους χώρους του καθιστικού και του υπνοδωματίου, ανιχνεύθηκαν δυο φορές υψηλότερες συγκεντρώσεις βουτυραλδεΐδης σε σχέση με τις οικίες Α και Β.

## Συγκέντρωση Βουτυραλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>) σε όλες τις οικίες



Διάγραμμα 6.61 Συγκέντρωση βουτυραλδεΐδης , Συγκριτικά

Παρατηρώντας τη συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων όπως αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στο διάγραμμα, εύκολα διακρίνουμε τις υψηλές τιμές συγκέντρωσης που ανιχνεύθηκαν στην οικία Γ.

### 6.3.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Βενζαλδεΐδης

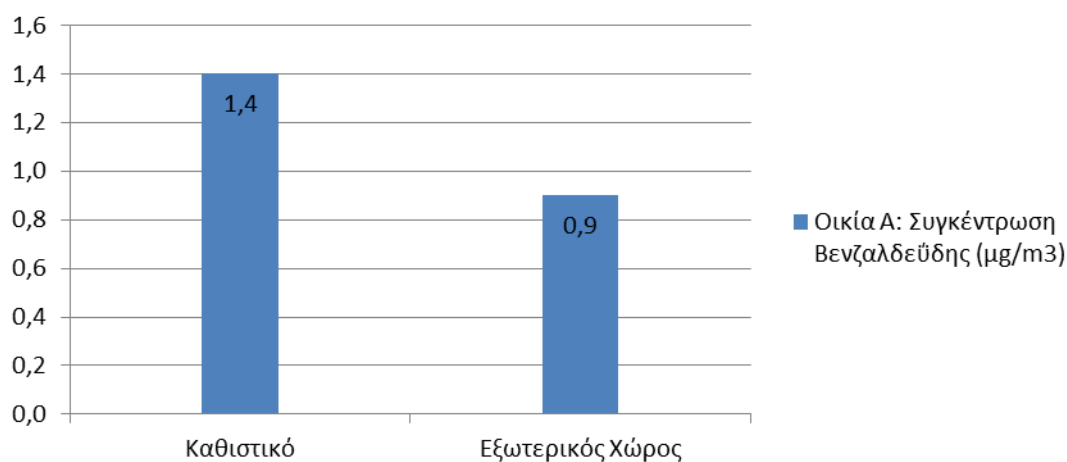
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την βενζαλδεΐδη. Δεν υπάρχει ανώτατο θεσπισμένο όριο από τον Π.Ο.Υ ή την Ε.Ε για την βενζαλδεΐδη.

Στα επόμενα σχήματα, δίνονται τα αποτελέσματα των εβδομαδιαίων μετρήσεων βενζαλδεΐδης για τις οικίες Α και Β.

Αρχικά, μπορούμε να δούμε πως ανιχνεύθηκε βενζαλδεΐδη στους χώρους του καθιστικού και του εξωτερικού χώρου της οικίας Α, με υψηλότερη τη συγκέντρωση στο καθιστικό.

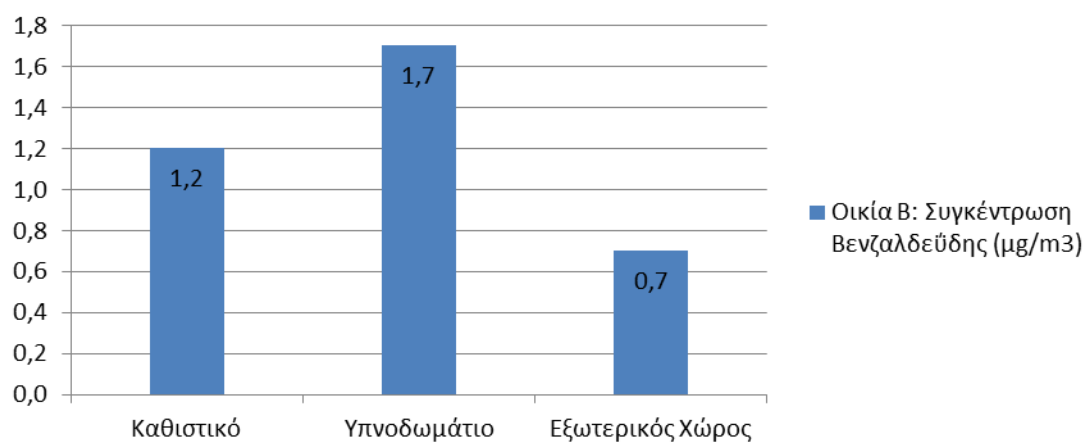
Στην οικία Β, συγκεντρώσεις βενζαλδεΐδης ανιχνεύθηκαν σε όλους του χώρους όπου έλαβε χώρα η παθητική δειγματοληψία. Υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στον χώρο του υπνοδωματίου, ενώ τα αποτελέσματα για το καθιστικό και τον εξωτερικό χώρο μας έδειξαν μικρότερες συγκεντρώσεις της εν λόγω ένωσης.

#### Οικία Α: Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 62 Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης, οικία Α

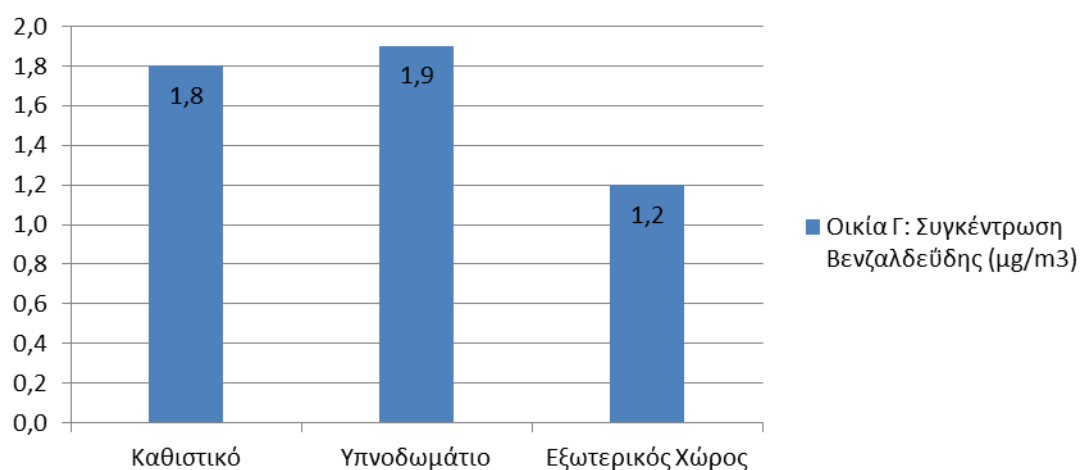
## Οικία Β: Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6. 63 Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης , οικία Β

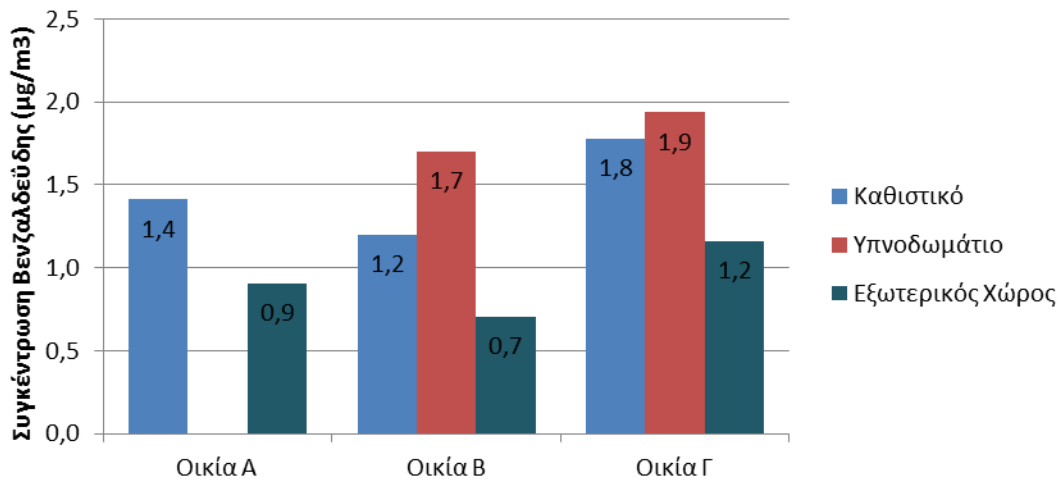
Στην οικία Γ, τα επίπεδα συγκέντρωσης βενζαλδεΐδης δεν διέφεραν πολύ από των άλλων δυο οικιών. Την χαμηλότερη συγκέντρωση παρατηρούμε στον εξωτερικό χώρο, όπως και στις δυο προηγούμενες περιπτώσεις, ενώ η υψηλότερη ήταν εκείνη που μετρήθηκε στον χώρο του υπνοδωματίου.

## Οικία Γ: Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης (μg/m<sup>3</sup>)



Διάγραμμα 6.64 Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης , οικία Γ

## Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε όλες τις οικίες

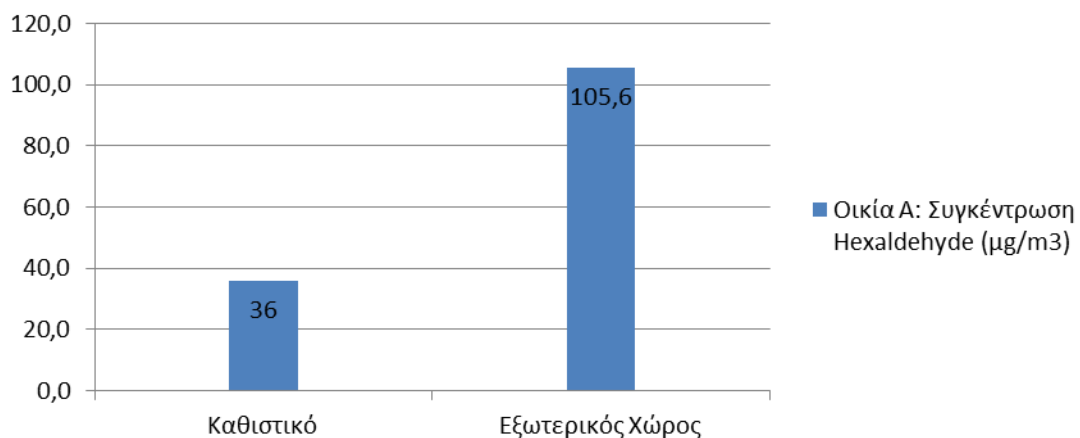


Διάγραμμα 6. 65 Συγκέντρωση Βενζαλδεΐδης , Συγκριτικά

### 6.3.9 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις Εξαλδεΐδης

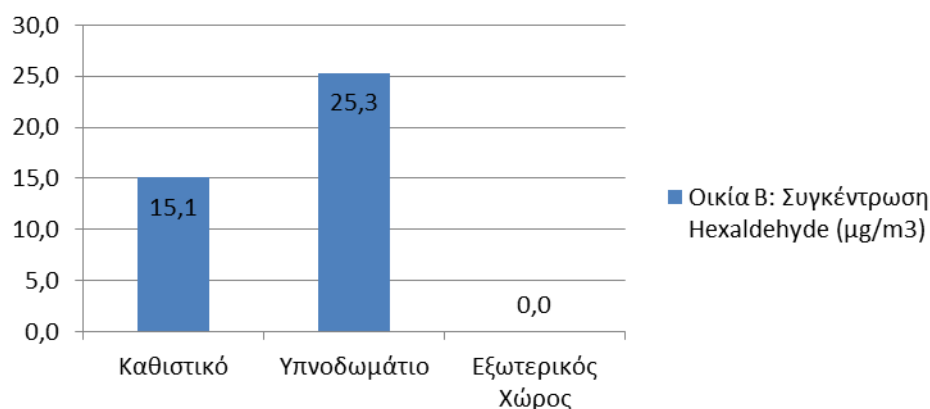
Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξαλδεΐδης κατά την περίοδο των εβδομαδιαίων μετρήσεων. Δεν έχει θεσπιστεί ανώτατο όριο για την εξαλδεΐδη από τον Π.Ο.Υ. ή την Ε.Ε. .

## Οικία Α: Συγκέντρωση Hexaldehyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Διάγραμμα 6. 66 Συγκέντρωση Εξαλδεΐδης , οικία Α

## Οικία Β: Συγκέντρωση Hexaldehyde (μg/m<sup>3</sup>)



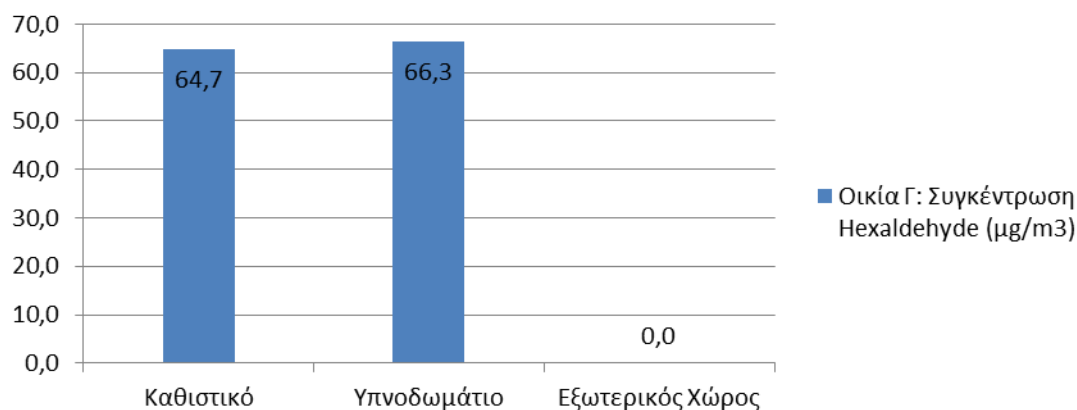
Διάγραμμα 6. 67 Συγκέντρωση Εξαλδεΐδης , οικία Β

Στα παράνω σχήματα, απεικονίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξαλδεΐδης για τις οικίες Α και Β.

Στην οικία Α η υψηλότερη συγκέντρωση εξαλδεΐδης μετρήθηκε στον εξωτερικό χώρο, ενώ σαφώς χαμηλότερη συγκέντρωση ανιχνεύθηκε και στον χώρο του καθιστικού. Η μέτρηση στο υπνοδωμάτιο της οικίας έδειξε μηδενική συγκέντρωση εξαλδεΐδης.

Βλέπουμε πως συγκεντρώσεις εξαλδεΐδης ανιχνεύθηκαν στους χώρους του υπνοδωματίου και του καθιστικού, με υψηλότερη εκείνη του υπνοδωματίου, ενώ δεν ανιχνεύθηκε εξαλδεΐδη από τον δειγματολήπτη που τοποθετήθηκε στον εξωτερικό χώρο της οικίας.

## Οικία Γ: Συγκέντρωση Hexaldehyde (μg/m<sup>3</sup>)

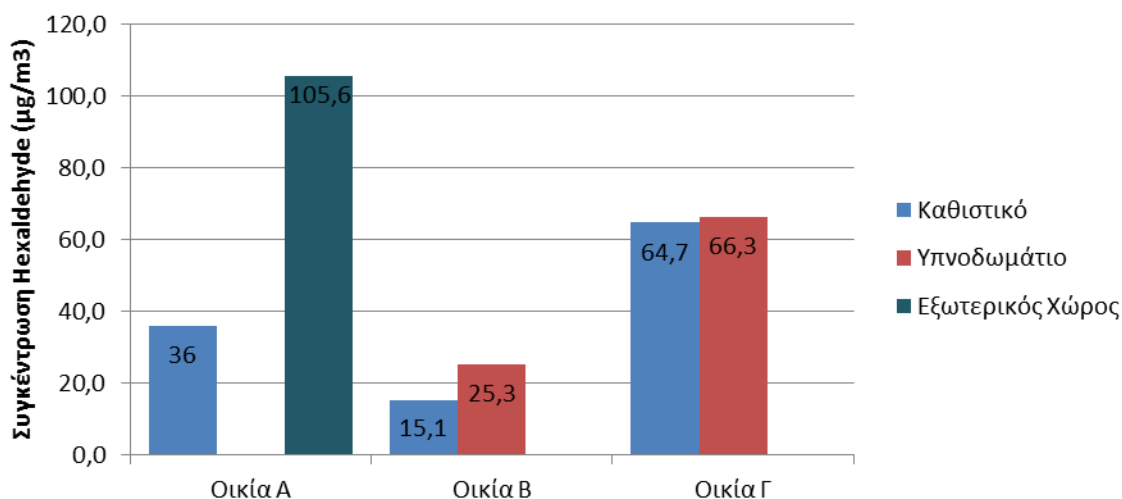


Διάγραμμα 6.68 Συγκέντρωση Εξαλδεΐδης , οικία Γ

Στο παραπάνω σχήμα, δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την οικία Γ. Οι συγκεντρώσεις εξαλδεΐδης που μετρήθηκαν στους εσωτερικούς χώρους, ήταν αρκετά

υψηλότερες συγκριτικά με τις τιμές που παρατηρήθηκαν στις οικίες A και B. Ο χώρος του υπνοδωματίου ήταν αυτός με την υψηλότερη συγκέντρωση, ενώ λίγο χαμηλότερη ήταν η τιμή στο καθιστικό. Τέλος, στον εξωτερικό χώρο δεν είχαμε ανίχνευση εξαλδεΐδης.

### Συγκέντρωση Hexaldehyde (μg/m<sup>3</sup>) σε όλες τις οικίες

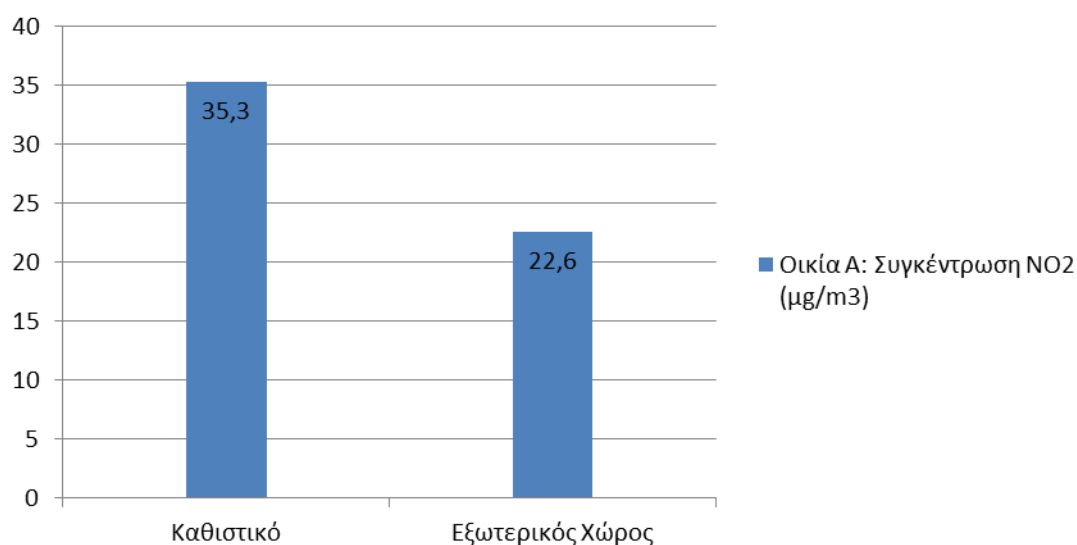


Διάγραμμα 6. 69 Συγκέντρωση Εξαλδεΐδης, Συγκριτικά

### 6.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις διοξειδίου του αζώτου

Στα σχήματα αυτού του κεφαλαίου παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις πειραματικές μετρήσεις NO<sub>2</sub>, και συγκρίνονται με την ανώτατη μέση ετήσια επιτρεπόμενη συγκέντρωση του για τον εξωτερικό αέρα, των 40 μg/m<sup>3</sup>, της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2008/50/ΕΚ.

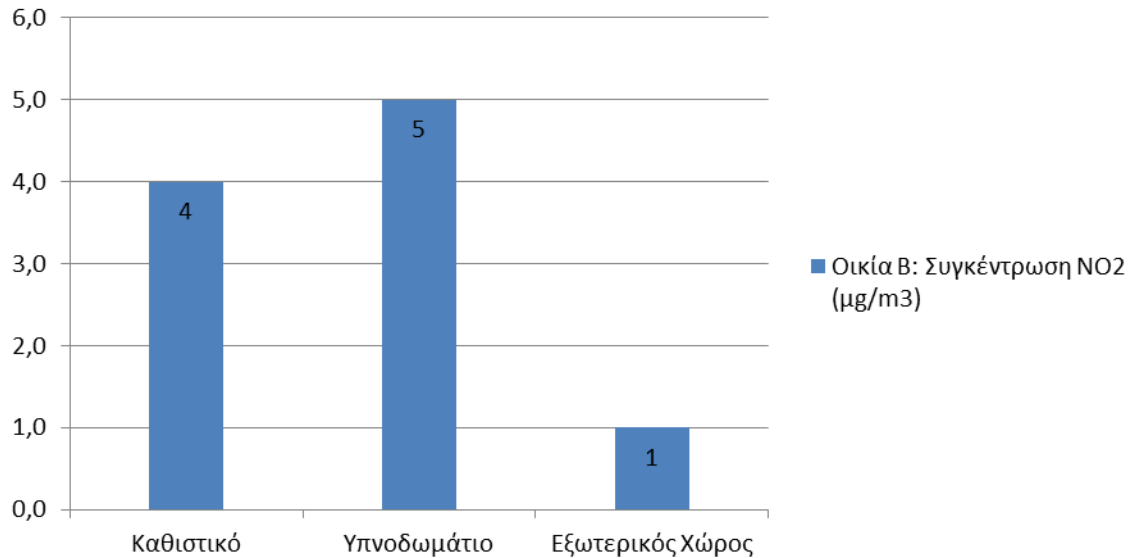
#### Οικία A: Συγκέντρωση NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>)



**Διάγραμμα 6. 70 Μέσες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> στην οικία A**

Παρατηρούμε ότι, κατά τη δειγματοληψία στην οικία A, καταγράφηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου στο εσωτερικό απ' ότι στο εξωτερικό του σπιτιού.

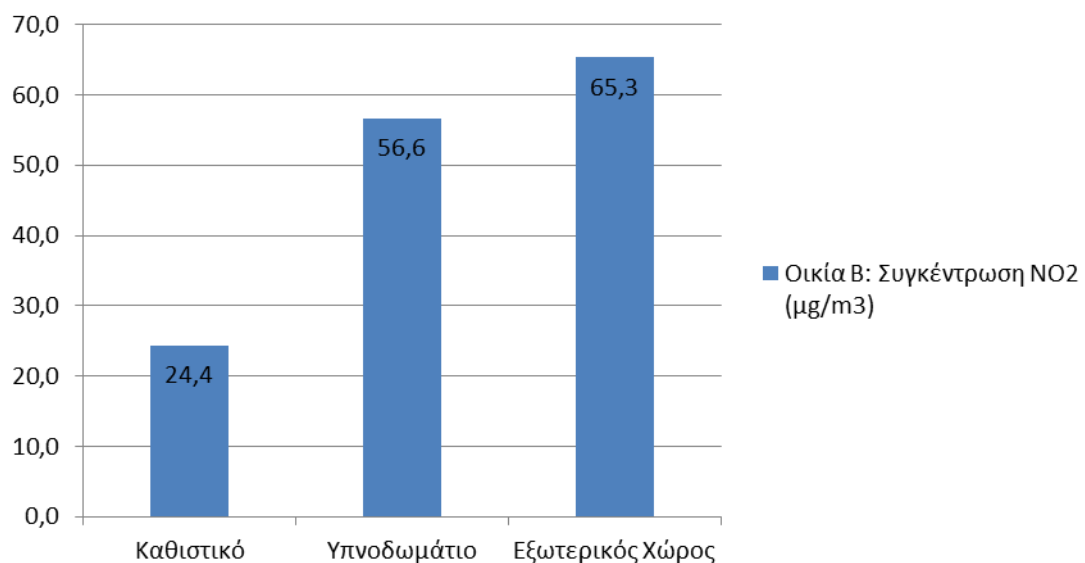
### **Οικία Β: Συγκέντρωση NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>)**



**Διάγραμμα 6. 71 Μέσες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> στους χώρους της οικίας Β**

Η συγκέντρωση NO<sub>2</sub> στην οικία Β είναι πολύ χαμηλότερη από το ανώτατο επιτρεπτό όριο και στους τρεις χώρους όπου ανιχνεύθηκε.

### **Οικία Γ: Συγκέντρωση NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>)**

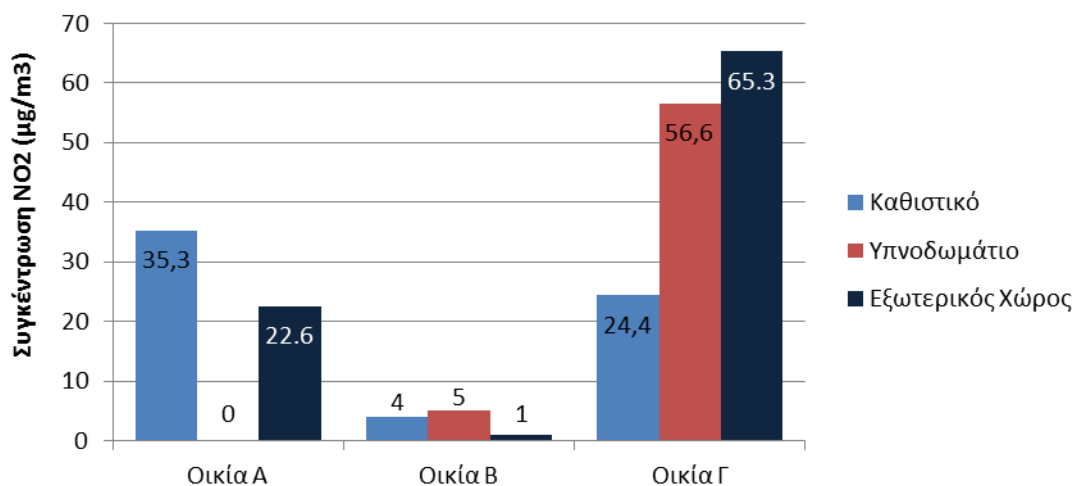


**Διάγραμμα 6.72 Μέσες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> στους χώρους της οικίας Γ**



Στο παραπάνω σχήμα δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων NO<sub>2</sub> για την οικία Γ. Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στον εξωτερικό χώρο στα 65.3 μg/m<sup>3</sup> ενώ στο υπνοδωμάτιο η συγκέντρωση την περίοδο των μετρήσεων ήταν 56.6 μg/m<sup>3</sup>. Και στους δυο αυτούς χώρους, ξεπεράστηκε το ανώτατο θεσπισμένο όριο των 40 μg/m<sup>3</sup>. Στο καθιστικό, σημειώθηκε η μικρότερη τιμή για την οικία Γ, στα 24.4 μg/m<sup>3</sup>.

### Συγκέντρωση NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>) σε όλες τις οικίες



**Διάγραμμα 6. 73 Μέσες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> στους χώρους όλων των σπιτιών**

Η ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση της Ε.Ε. των 40 μg/m<sup>3</sup>, αναφέρεται σε συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> του εξωτερικού αέρα, ωστόσο, η τιμή αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σαν δείκτης για την αξιολόγηση των εσωτερικών συγκεντρώσεων. Το NO<sub>2</sub>, εκλύεται κυρίως από την καύση με ατμοσφαιρικό αέρα, στον οποίο περιέχονται μεγάλες ποσότητες N<sub>2</sub>.

Οι συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub>, κατά την περίοδο των μετρήσεων, ξεπέρασαν την οριακή τιμή της Ε.Ε. μόνο στην οικία Γ. Στο κέντρο της πόλης, στο οποίο βρίσκεται η οικία Γ, ήταν αναμενόμενο τα επίπεδα NO<sub>2</sub> να είναι αυξημένα, λόγω της συνεχούς κίνησης οχημάτων. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός πως η υψηλότερη τιμή NO<sub>2</sub> στο σύνολο των μετρήσεων, εντοπίστηκε στον εξωτερικό χώρο της. Κυρίαρχο λοιπόν ρόλο στις μετρήσεις NO<sub>2</sub> έπαιξε η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται η κάθε οικία. Από τα σχήματα που παρουσιάστηκαν εξάγεται το συμπέρασμα πως, κατά την περίοδο των μετρήσεων, τα επίπεδα συγκέντρωσης NO<sub>2</sub> στους εξωτερικούς χώρους των οικιών επηρέασαν άμεσα τα αποτελέσματα των μετρήσεων στους εσωτερικούς χώρους. Αυτό φαίνεται παρατηρώντας την αναλογία που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα, καθώς, όσο υψηλότερη ήταν η εξωτερική τιμή συγκέντρωσης NO<sub>2</sub>, τόσο υψηλότερη ήταν και η εσωτερική τιμή και αντιστρόφως. Συνεπώς, η εισαγωγή εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό των οικιών ήταν ο παράγοντας που επηρέασε τις εσωτερικές μετρήσεις, καθότι δεν παρατηρήθηκε άλλη πηγή έκλυσης του ρύπου.

## 7. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είχε ως στόχο την μελέτη της ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων σε τρεις οικίες στην πόλη της Κοζάνης. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, τοποθετήθηκαν παθητικοί δειγματολήπτες στις συγκεκριμένες οικίες, προκειμένου να γίνουν μετρήσεις σε 21 φυσικοχημικές παραμέτρους. Η οικία Α, βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της πόλης, αρκετά μακριά από το κέντρο. Γειτνιάζει με το νοσοκομείο της Κοζάνης και έχει όψη σε δρόμο αυξημένης κυκλοφορίας. Η οικία Β βρίσκεται στην νοτιοπλευρά της Κοζάνης σε σχετικά αραιοκατοικημένη περιοχή και χωρίς δρομους υψηλής κυκλοφορίας. Η οικία Γ, βρίσκεται στο κέντρο της Κοζάνης, κοντά στον πιο πολυσύχναστο δρόμο της πόλης.

Αρχικά υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις 11 VOCs (βενζολίου, τολουολίου, αιθυλοβενζολίου, p,m ξυλένιου, ο-ξυλένιου, α-πινένιου, 1,2,4 τριμεθυλοβενζόλιου, d-λιμονένιου, 2-φλουοροτολουόλιου, ναφθαλένιου και οκτάνιου). Από τις συγκεντρώσεις VOCs που ανιχνεύθηκαν στους εξωτερικούς χώρους των τριών οικιών, μεγαλύτερη συγκέντρωση ήταν αυτή του d-λιμονένιου στον εξωτερικό χώρο της οικίας Γ, με τιμή 88.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ η μικρότερη αυτή του βενζολίου στον εξωτερικό χώρο της οικίας Α, με τιμή 0.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στους εσωτερικούς χώρους, υψηλότερη ήταν η συγκέντρωση d-λιμονένιου στον χώρο του υπνοδωματίου της οικίας Γ, με τιμή 88.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Μικρότερη ήταν η συγκέντρωση βενζολίου που εντοπίστηκε στο καθιστικό της οικίας Α και στο υπνοδωμάτιο της οικίας Β, με τιμές 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και στις δυο περιπτώσεις. Δεν ανιχνεύθηκε συγκέντρωση 2-φλουοροτολουόλιου σε κανέναν από τους χώρους στους οποίους πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Στη συνέχεια, μελετήθηκαν τα επίπεδα συγκέντρωσης 9 αλδεϋδών (φορμαλδεΐδης, ακεταλδεΐδης, ακρολεΐνης, ακετόνης, προπιοναλδεΐδης, 2-βουτανόνης, βουτυραλδεΐδης, βενζαλδεΐδης, εξαλδεΐδης). Υψηλότερη συγκέντρωση αλδεϋδών στους εσωτερικούς χώρους ανιχνεύθηκε στο καθιστικό της οικίας Γ για την ακετόνη, με τιμή συγκέντρωσης 307  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ η χαμηλότερη στο καθιστικό της οικίας Β για την βενζαλδεΐδη, με τιμή συγκέντρωσης 1.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Όσον αφορά στις μετρήσεις αλδεϋδών των εξωτερικών χώρων, η υψηλότερη συγκέντρωση που εντοπίστηκε ήταν αυτή της εξαλδεΐδης, με τιμή 105.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , στον εξωτερικό χώρο της οικίας Α, ενώ οι μικρότερες συγκεντρώσεις ανιχνεύθηκαν στον εξωτερικό χώρο της οικίας Β για την ακρολεΐνη και την 2-βουτανόλη, με τιμή 0.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και στις δυο περιπτώσεις. Παρατηρήθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις αλδεϋδών στους εσωτερικούς χώρους από εκείνες των εξωτερικών χώρων. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός πως οι πηγές έκλυσης αλδεϋδών βρίσκονται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους.

Η μελέτη της ποιότητας αέρα στις τρεις οικίες ολοκληρώθηκε με τις μετρήσεις για το  $\text{NO}_2$ . Στις μετρήσεις των εξωτερικών χώρων, η υψηλότερη συγκέντρωση  $\text{NO}_2$  ανιχνεύθηκε στον εξωτερικό χώρο της οικίας Γ στα 65.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και η χαμηλότερη στον εξωτερικό χώρο της οικίας Β με 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στους εσωτερικούς χώρους, η μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης  $\text{NO}_2$  ανιχνεύθηκε στο υπνοδωμάτιο της οικίας Γ στα 56.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και η μικρότερη στον χώρο του καθιστικού της οικίας Β στα 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων  $\text{NO}_2$ , εξήχθει το

συμπέρασμα πως οι εξωτερικές συγκεντρώσεις επηρέασαν τις συγκεντρώσεις στο εσωτερικό των οικιών, καθώς και ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν συνάρτηση της τοποθεσίας κάθε οικίας.

Ο συχνός και σωστά προγραμματισμένος αερισμός των εσωτερικών χώρων αποτελεί την ιδανική λύση για την μείωση των συγκεντρώσεων των ρύπων που παράγονται σε εσωτερικούς χώρους και την βελτίωση τελικά της ποιότητας του αέρα τους. Ο αερισμός, θα πρέπει να αποφεύγεται σε ώρες αυξημένης κυκλοφορίας για κτίρια που βρίσκονται σε κεντρικά σημεία ή σε δρόμους με μεγάλη κίνηση οχημάτων. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> κατά τις ώρες έντονης ηλιοφάνειας, αποτελούν άλλη μια παράμετρο η οποία θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά τον προγραμματισμό. Σε χώρους όπου ο σωστός αερισμός δεν είναι εφικτός, λόγω κακής διαρύθμισης ή μικρού εμβαδού ανοιγμάτων, θα μπορούσε να εγκατασταθεί ένα σύστημα μηχανικού αερισμού, το οποίο θα αναλάμβανε να διατηρήσει τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ρύπων εντός των θεσπισμένων ορίων με τη χρήση φίλτρων για τον εξωτερικό αλλά και τον εσωτερικό αέρα.

Η αποφυγή χρήσης υλικών τα οποία εκλύουν VOCs και αλδεΐδες είναι επίσης μια λύση για την βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα των οικιών. Όσον αφορά στα VOCs, προτείνεται η αντικατάσταση των βαφών τοίχων που τα εμπεριέχουν με άλλες με χαμηλότερη ή και μηδενική περιεκτικότητα σε VOCs. Προτείνεται επίσης η επιλογή επίπλων τα οποία έχουν υποστεί την λιγότερη δυνατή επεξεργασία, χωρίς βερνίκια ή άλλες επικαλύψεις καθώς και η αντικατάσταση των συνθετικών χαλιών των οικιών με οργανικά. Επιπλέον, όπως και στις βαφές, συνίσταται η επιλογή καθαριστικών χώρου με χαμηλή ή μηδενική περιεκτικότητα σε VOCs. Για τον περιορισμό των εκπομπών αλδεϋδών, προτείνεται η αποφυγή του καπνίσματος εντός των οικιών, της χρήσης του κόντρα και των ξύλινων επιφανειών διαφόρων επικαλύψεων, καθώς και της χρήσης κολλών όλων των ειδών.

Όπως γίνεται αντιληπτό, πολλοί από τους ρύπους που μελετήθηκαν σε αυτήν την εργασία μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Η διατήρηση των συγκεντρώσεών τους εντός των ορίων, είναι μια υπόθεση η οποία παρόλο που είναι πολύ σημαντική για την υγεία όλων, αποτελεί ακόμη δευτερεύουσα προτεραιότητα για ένα καθημερινό σπίτι. Η ενημέρωση του κοινού από τους αρμόδιους φορείς και την επιστημονική κοινότητα για τις βασικές αρχές που θα πρέπει να ακολουθούνται θα πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα καθώς μπορεί έμπρακτα να συμβάλλει στην βελτίωση της δημόσιας υγείας.

## 8. Βιβλιογραφία

1. Gunnarsen, L. "Adaptation and ventilation requirements", Proceedings of the Indoor Air '90 Conference, V1, pp 599-604, Toronto, 1990.
2. Commission of the European Communities, "Guideline for the characterization of volatile organic compounds emitted from indoor materials and products using small test chambers", Report EUR 13593 EN, 1991.
3. Commission of the European Communities, "Determination of VOCs emitted from indoor materials and products, Interlaboratory comparison of small chamber measurements", Report EUR 15054 EN, 1993.
4. Gunnarsen, L., Nielsen, P.A. and Wolkoff, P. "Design and characterization of the CLIMPAQ chamber for laboratory investigations of materials, pollution and air quality", Indoor Air, 4, pp 56-62, 1994.
5. Bluysen, P.M. "Air quality evaluated by a trained panel", Ph.D. Thesis, Laboratory of Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark, Lyngby, 1990.
6. Knudsen, H.N, Clausen, G. and Fanger, P.O. "Sensory characterization of emissions from materials", Submitted to Indoor Air, 1995.
7. Nordtest Method, "Building materials: Emission of volatile organic compounds, chamber method", NT Build 358, Esbo, 1990.
8. Wolkoff, P. and Nielsen, P.A. "Indoor climate labelling of building materials: Chemical emission testing, modelling and indoor relevant odour thresholds", National Institute of Occupational Health, Copenhagen, 1993.
9. The Nordic Building Research Cooperation Group, NBS-I, "The development of the PFT-method in the Nordic Countries", Ed. Säteri, J., The Swedish Council for Building Research, Stockholm, 1991.
10. "Control of Volatile Organic Compound Emissions: Conventional and Emerging Technologies", Hardcover, 288 pages.

11. "Volatile Organic Compounds in the Atmosphere", Hardcover, 512 pages.
12. "Indoor Air Quality Handbook", Hardcover, 1,488 pages.
13. Παπαγεωργίου Β.Π., "Εφαρμοσμένη Οργανική Χημεία: Κυκλικές Ενώσεις", Εκδόσεις Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη 1986.
14. Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια "Επιστήμη & Ζωή"
15. Speight J. G., "Chemical and Process Design Handbook", McGraw-Hill, 2002

[http://www.sbi.dk/download/pdf/Air\\_quality.pdf](http://www.sbi.dk/download/pdf/Air_quality.pdf)

[http://www3.interscience.wiley.com/journal/119080724/abstract?CRET  
RY=1&SRETRY=0](http://www3.interscience.wiley.com/journal/119080724/abstract?CRET<br/>RY=1&SRETRY=0)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Varnish>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Wood\\_finishing](http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_finishing)

<http://www.epa.gov/iaq/voc.html>.

<http://www.ilpi.com/msds/ref/voc.html>

[http://toxtown.nlm.nih.gov/text\\_version/chemicals.php?id=31](http://toxtown.nlm.nih.gov/text_version/chemicals.php?id=31)

<http://www.lr.org/Standards/Directives/Construction+Products+Directive.htm>

<http://www.bsria.co.uk/news/1925/>

[http://www.msa.org.mt/rad/construction/Information/FAQs/Constructi  
on%20Product%20Directive.pdf](http://www.msa.org.mt/rad/construction/Information/FAQs/Construction%20Product%20Directive.pdf)

[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52004PC0320:EL:HT  
ML](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52004PC0320:EL:HTML)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Xylene>

<http://en.wikipedia.org/wiki/O-Xylene>

<http://www.floridachemical.com/whatisd-limonene.htm>

<http://www.emulso.com/store.asp?pid=11250>

<http://householdproducts.nlm.nih.gov/cgi-bin/household/brands?tbl=brands&id=19029018>

<http://www.interibeni.gr/guide.php#section4>

[http://www.interibeni.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=14&lang=el](http://www.interibeni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=14&lang=el)

<http://www.ourbrisbane.com/lifestyle/selecting-paint>

[http://www.flexacom.gr/attachments/011\\_1.epiptoseis.pdf](http://www.flexacom.gr/attachments/011_1.epiptoseis.pdf)

<http://chemicallypure.com/a-pinene>

<http://www.herc.org/news/perfume/risks.htm>

<http://www.zhion.com/phytonutrients/Limonene.html>

[http://www.floridachemical.com/301000\\_Technical\\_Grade\\_d-Limonene\\_MSDS.pdf](http://www.floridachemical.com/301000_Technical_Grade_d-Limonene_MSDS.pdf)

<http://healthychild.org/issues/chemical-pop/d-limonene/>

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[http://www.technicalreview.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=518](http://www.technicalreview.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=518)

[http://magodecor.gr/detail.asp?id\\_art=408&id\\_cat=97](http://magodecor.gr/detail.asp?id_art=408&id_cat=97)

[http://www.buildings.gr/greek/eksoplismos/oikologika\\_ilika/ikologikada\\_peda.htm](http://www.buildings.gr/greek/eksoplismos/oikologika_ilika/ikologikada_peda.htm)

[http://www.akasimatis.com.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=78&Itemid=69](http://www.akasimatis.com.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=69)

<http://www.exposurescience.org/pub/manuals/miaq-manual.html>

<http://exposurescience.org/?q=hosted-projects/IAQ-Project/multi-chamber-indoor-air-quality-model>

<http://epb.lbl.gov/comis>

<https://www.ehp.qld.gov.au/management/coal-seam-gas/pdf/btex-report.pdf>

<http://www.environment.gov.au/archive/atmosphere/airquality/publications/sok/toluene.html>

[http://en.wikipedia.org/wiki/CLP\\_Regulation](http://en.wikipedia.org/wiki/CLP_Regulation)

[https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_264250.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_264250.html)

[https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_222300.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_222300.html)

<http://www.environment.gov.au/archive/atmosphere/airquality/publications/sok/xylenes.html>

<http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad43.pdf>

<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/methylet.html>

[https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_223790.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_223790.html)

<http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0403.htm>

[https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_220094.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_220094.html)

<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=240#x125>

<http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=3363>

<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+560>