



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
« ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ »**

Μεταπτυχιακή Διατριβή:

*Μελέτη της ποιότητας του αέρα
στο κτήριο Μηχανικών Περιβάλλοντος
του Πολυτεχνείου Κρήτης*



Γρυδάκη Νικολέττα

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μ. Λαζαρίδης

Εξεταστική επιτροπή:

Δ. Κολοκοτσά

Θ. Τσούτσος

Χανιά, Ιούνιος 2013

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική» του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείου Κρήτης. Η υλοποίηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των ακαδημαϊκών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Μ. Λαζαρίδη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Λαζαρίδη για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε με την ανάθεση του θέματος της διατριβής, καθώς και τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη την πορεία της εκπόνησης της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο Διδάκτορα Η. Κοπαυάκη για τη σημαντική συμβολή του στη διεκπεραίωση του ερευνητικού μέρους της εργασίας και τις πολύτιμες υποδείξεις του, καθώς και τους Διδάκτορα Θ. Γλυτσό και υποψήφια Διδάκτορα Ε. Χαλβατζάκη για τις συμβουλές τους και τη διαμόρφωση ενός γενικότερου ερευνητικού περιβάλλοντος κατά την εκπόνηση της διατριβής.

Ακόμα, θα πρέπει να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς το προσωπικό και τους φοιτητές του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος για την αρωγή τους κατά την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων στους χώρους του κτηρίου και τη συνεισφορά τους στην ολοκλήρωση της εργασίας με τις πληροφορίες που μου προσέφεραν μέσω της συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων.

Θα ήθελα, επιπλέον, να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για τη διάθεση του πολύτιμου χρόνου τους στην αξιολόγηση της παρούσης διατριβής.

Κλείνοντας αυτό το σύντομο πρόλογο αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στην οικογένεια μου και στους φίλους μου για την αγάπη τους και την υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου,

Γρυδάκη Νικολέττα

Χανιά, 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσης διατριβής είναι η μελέτη και η αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ειδικότερα, επιχειρείται μία συστηματική διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα αέρα στο υπό μελέτη κτήριο και την άνετη διαβίωση των ατόμων που εργάζονται μέσα σε αυτό, μέσω της μέτρησης αντιπροσωπευτικών παραμέτρων, υπό πραγματικές συνθήκες και σε πραγματικό χρόνο, σε χώρους εργαστηρίων, γραφείων καθώς και έναν κοινόχρηστο χώρο. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των εξής ρύπων: αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 (μάζα και αριθμός), διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, ραδόνιο και ακτινοβολία γ (δόση), καθώς και των εσωκλιματικών συνθηκών: θερμοκρασία, σχετική υγρασία και φωτεινότητα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις αναλύθηκαν σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τη συμπλήρωση ενός κατάλληλα διαμορφωμένου ερωτηματολογίου που διανεμήθηκε στους χρήστες των χώρων σχετικά με την αίσθηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε ότι δεν υφίσταται πρόβλημα κακής ποιότητας αέρα στο κτήριο και ότι οι εξεταζόμενοι χώροι γενικότερα πληρούν τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης καθώς οι παράμετροι κυμάνθηκαν σε αποδεκτά επίπεδα σύμφωνα με τα όρια που προτείνουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν ειδικές περιπτώσεις καταγραφής υψηλών συγκεντρώσεων μάζας και αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων στον κοινόχρηστο χώρο του κτηρίου λόγω της παρουσίας καπνιστών, καθώς και κατά τη διάρκεια καθαρίσματος των χώρων και συγκεκριμένων πειραματικών διαδικασιών σε χώρους εργαστηρίων.

ABSTRACT

The objective of the present postgraduate dissertation is to study and assess the indoor air quality (IAQ) in the building of Environmental Engineering Department of Technical University of Crete. In order to investigate the factors influencing the quality of air and comfort of the occupants a real-time measurement campaign of representative parameters was conducted in indoor areas of the university building, including labs, offices and a common area. The measurements were performed under real conditions and concerned the following pollutants; particulate matter PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 (mass and number) carbon monoxide, carbon dioxide, radon concentration, gamma radiation (dose) and environmental conditions; temperature, relative humidity and illumination. The results obtained from the experimental data were analysed in conjunction with information collected from a questionnaire survey on the perception of indoor air quality. The results of the study indicated that indoor air quality of the surveyed rooms was good since levels of measured parameters were within the existing IAQ standards and guidelines. However, significantly higher particle concentrations were recorded in the common area due to the presence of smokers and also, during cleaning activities and specific experimental procedures in labs.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Εισαγωγή στην ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους.....	1
1.2 Ανασκόπηση εργασίας.....	3
2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	5
2.1 Πηγές ρύπανσης αέρα σε εσωτερικούς χώρους.....	5
2.2 Επιπτώσεις στην υγεία και την άνεση.....	7
2.3 Διαχείριση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.....	8
2.4 Ο ρόλος των οδηγιών και κανονισμών.....	9
2.5 Ποιότητα αέρα σε εκπαιδευτικά κτήρια.....	10
3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	16
3.1 Περιβαλλοντικές συνθήκες εσωτερικών χώρων.....	16
3.1.1 Η έννοια της θερμικής άνεσης.....	16
3.1.2 Θερμοκρασία αέρα εσωτερικού χώρου.....	18
3.1.3 Σχετική υγρασία αέρα εσωτερικού χώρου.....	23
3.1.4 Πρότυπα θερμικής άνεσης.....	26
3.1.5 Φωτισμός	27
3.2 Ρύποι εσωτερικών χώρων.....	31
3.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα	31
3.2.2 Μονοξείδιο του άνθρακα	36
3.2.3 Ραδόνιο	41
3.2.4 Ακτινοβολία γ	48
3.2.5 Αιωρούμενα σωματίδια	59
4. ΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟ	73
4.1 Γενικά στοιχεία.....	73
4.2 Περιγραφή του υπό μελέτη κτηρίου.....	74
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	79
5.1 Πειραματικές μετρήσεις.....	79
5.1.1 Οργάνωση πειραματικών μετρήσεων.....	79
5.1.2 Περιγραφή Οργάνων.....	83
5.1.3 Περιγραφή των χώρων διεξαγωγής των μετρήσεων.....	95
5.2 Έρευνα με ερωτηματολόγιο.....	97

6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΟΡΓΑΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	99
6.1 Γενικά για μεθόδους προσδιορισμού συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων	99
6.2 Συγκριτικές δειγματοληψίες με το αυτόματο όργανο μέτρησης σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο: FH 62 I-R (Thermo Electron Corporation).....	101
6.2.1 Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: automatic beta radiation attenuation monitor FH 62 I-R.....	102
6.2.2 Σύγκριση του DustTrak με το όργανο καταγραφής σε πραγματικό χρόνο FH 62 I-R.....	104
6.3 Συγκριτικές δειγματοληψίες με το σταθμικό όργανο Andersen Cascade Impactor	108
6.3.1 Όργανο μέτρησης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων με σταθμικό προσδιορισμό: Andersen Cascade Impactor (Thermo Electron Corporation).....	108
6.3.2 Σύγκριση των DustTrak II και DRX με το σταθμικό όργανο Andersen Cascade Impactor.....	111
7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ	115
7.1 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 1.....	115
7.1.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου.....	117
7.1.2 Αποτελέσματα μετρήσεων	118
7.1.2.1 Θερμοκρασία.....	118
7.1.2.2 Σχετική Υγρασία.....	123
7.1.2.3 Φωτεινότητα.....	125
7.1.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	126
7.1.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	128
7.1.2.6 Ραδόνιο	129
7.1.2.7 Ακτινοβολία γ.....	129
7.1.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια	130
7.2 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 2.....	148
7.2.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου.....	150
7.2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων	150
7.2.2.1 Θερμοκρασία.....	150
7.2.2.2 Σχετική Υγρασία.....	154
7.2.2.3 Φωτεινότητα.....	156
7.2.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	157
7.2.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	159
7.2.2.6 Ραδόνιο	160
7.2.2.7 Ακτινοβολία γ.....	160
7.2.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια	161

7.3 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 3	172
7.3.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου.....	173
7.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων	174
7.3.2.1 Θερμοκρασία	174
7.3.2.2 Σχετική Υγρασία.....	176
7.3.2.3 Φωτεινότητα	178
7.3.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	179
7.3.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	180
7.3.2.6 Ραδόνιο	181
7.3.2.7 Ακτινοβολία γ.....	181
7.3.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια	181
7.4 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 4	192
7.4.1 Αποτελέσματα μετρήσεων	193
7.4.1.1 Θερμοκρασία	193
7.4.1.2 Σχετική Υγρασία.....	195
7.4.1.3 Φωτεινότητα	196
7.4.1.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	197
7.4.1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	198
7.4.1.6 Ραδόνιο	199
7.4.1.7 Ακτινοβολία γ.....	200
7.4.1.8 Αιωρούμενα σωματίδια	200
7.5 Υπό μελέτη χώρος: Είσοδος κτηρίου	211
7.5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων	212
7.5.1.1 Θερμοκρασία	212
7.5.1.2 Σχετική Υγρασία.....	214
7.5.1.3 Φωτεινότητα	215
7.5.1.4 Διοξείδιο του άνθρακα	216
7.5.1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα.....	218
7.5.1.6 Ραδόνιο	219
7.5.1.7 Ακτινοβολία γ.....	219
7.5.1.8 Αιωρούμενα σωματίδια	219
7.6 Υπό μελέτη χώρος: Γραφείο 1	232
7.6.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου.....	233
7.6.2 Αποτελέσματα μετρήσεων	234
7.6.2.1 Θερμοκρασία	234
7.6.2.2 Σχετική Υγρασία.....	236
7.6.2.3 Φωτεινότητα	237

7.6.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	238
7.6.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	239
7.6.2.6 Ραδόνιο	239
7.6.2.7 Ακτινοβολία γ.....	240
7.6.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια	240
7.7 Υπό μελέτη χώρος: Γραφείο 2	250
7.7.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου.....	251
7.7.2 Αποτελέσματα μετρήσεων	252
7.7.2.1 Θερμοκρασία	252
7.7.2.2 Σχετική Υγρασία.....	253
7.7.2.3 Φωτεινότητα	254
7.7.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	255
7.7.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	256
7.7.2.6 Ραδόνιο	257
7.7.2.7 Ακτινοβολία γ.....	257
7.7.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια	257
7.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων - συζήτηση	269
7.8.1 Θερμοκρασία	270
7.8.2 Σχετική υγρασία	272
7.8.3 Φωτεινότητα	273
7.8.4 Διοξείδιο του άνθρακα	274
7.8.5 Μονοξείδιο του άνθρακα.....	277
7.8.6 Ραδόνιο	278
7.8.7 Ακτινοβολία γ	281
7.8.8 Αιωρούμενα σωματίδια	282
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	293
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	297
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	

Περιεχόμενα Πινάκων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Πίνακας 2.1 Τα κυριότερα συμπτώματα του συνδρόμου του άρρωστου κτηρίου..... 7

Πίνακας 2.2 Εσωτερικές πηγές εκπομπής ρύπων στα εκπαιδευτικά κτήρια (Παπαδόπουλος & Αυγελής, 2002). 12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πίνακας 3.1 Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση..... 18

Πίνακας 3.2 Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτηρίου 19

Πίνακας 3.3 Θερμοκρασία αέρα άνεσης σε σχέση με το μεταβολισμό και τον τύπο του ρουχισμού. Οι σχετικοί υπολογισμοί έγιναν με βάση το μοντέλο MEMI - Munich Energy Balance Model for Individuals (Hoppe & Martinac, 1998). 20

Πίνακας 3.4 Επίπεδα καρβοξυαιμογλοβίνης ύστερα από έκθεση σε διάφορες συγκεντρώσεις CO (WHO, 1979). 39

Πίνακας 3.5. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ιοντίζουσων ακτινοβολιών α, β, γ και X... 51

Πίνακας 3.6. Μέση ετήσια δόση φυσικών πηγών ακτινοβολίας (UNSCEAR, 2000). 58

Πίνακας 3.7 Τιμές εκπομπών σωματιδίων για διάφορες δραστηριότητες σύμφωνα με αναφορές (Αναπροσαρμοσμένο από Colbeck & Nasir, 2010). 66

Πίνακας 3.8 Βιβλιογραφικά δεδομένα για τιμές συγκέντρωσης PM₁₀ και PM_{2,5} σε εσωτερικούς χώρους (Gemenetzis et al., 2006). 69

Πίνακας 3.9 Όρια ποιότητας αέρα για ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια..... 72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πίνακας 5.1 Μεγέθη και όργανα μέτρησης..... 81

Πίνακας 5.2 Διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων. 82

Πίνακας 5.3 Οι χώροι στους οποίους πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και ο χρόνος διεξαγωγής τους..... 95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Πίνακας 6.1 Μέσες τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} των συγκριτικών δειγματοληψιών (2h) μεταξύ των μετρητικών οργάνων DustTrak και FH 62 I-R. 106

Πίνακας 6.2 Μέσες τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ των συγκριτικών δειγματοληψιών (24h) μεταξύ των μετρητικών οργάνων DustTrak II και Andersen Sampler.	112
Πίνακας 6.3 Μέσες τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM _{2,5} των συγκριτικών δειγματοληψιών (24h) μεταξύ των μετρητικών οργάνων DustTrak DRX και Andersen Sampler.	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
Πίνακας 7.1 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 1.....	125
Πίνακας 7.2 Τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁ , PM _{2,5} και PM ₁₀ , καθώς και των λόγων I/O (PM _{2,5}) και I/O (PM ₁₀), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (1) την 1 ^η εβδομάδα.....	137
Πίνακας 7.3 Τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁ , PM _{2,5} και PM ₁₀ , καθώς και των λόγων I/O (PM _{2,5}) και I/O (PM ₁₀), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (1) τη 2 ^η εβδομάδα.....	143
Πίνακας 7.4 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 2.....	156
Πίνακας 7.5 Τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁ , PM _{2,5} και PM ₁₀ , καθώς και των λόγων I/O (PM _{2,5}) και I/O (PM ₁₀), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (2).	168
Πίνακας 7.6 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 3.....	178
Πίνακας 7.7 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁ , PM _{2,5} και PM ₁₀ , καθώς και των λόγων I/O (PM _{2,5}) και I/O (PM ₁₀) κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (3)	188
Πίνακας 7.8 Τιμές εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα κατά τη διάρκεια των ωρών 08:00 – 20:00 και 20:00 – 08:00 του χώρου (4), τις ημέρες 4 έως 11 Αυγούστου. 195	
Πίνακας 7.9 Τιμές εσωτερικής και εξωτερικής σχετικής υγρασίας αέρα κατά τη διάρκεια των ωρών 08:00 – 20:00 και 20:00 – 08:00 του χώρου (4), τις ημέρες 4 έως 11 Αυγούστου.	196
Πίνακας 7.10 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 4.....	197
Πίνακας 7.11 Συγκέντρωση ραδονίου υπό ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού στον εργαστηριακό χώρο 4.	199

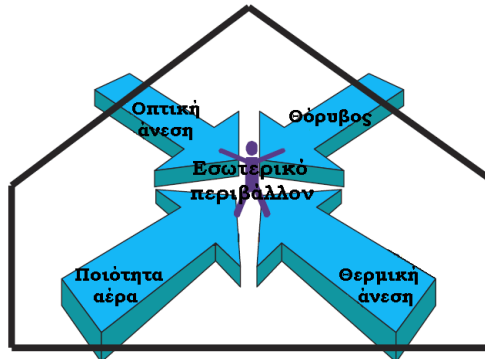
Πίνακας 7.12 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $PM_{2,5}$ και PM_{10} , καθώς και των λόγων και των λόγων I/O ($PM_{2,5}$) και I/O (PM_{10}), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (4).....	206
Πίνακας 7.13 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο χώρο της εισόδου.....	216
Πίνακας 7.14 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο γραφείο 1.....	237
Πίνακας 7.15 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $PM_{2,5}$ και PM_{10} , καθώς και των λόγων I/O ($PM_{2,5}$) και I/O (PM_{10}), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου του γραφείου (1).....	247
Πίνακας 7.16 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο γραφείο 2.....	254
Πίνακας 7.17 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $PM_{2,5}$ και PM_{10} , καθώς και των λόγων I/O ($PM_{2,5}$) και I/O (PM_{10}), κατά τις ώρες χρήσης και μη του γραφείου (2).....	264
Πίνακας 7.18 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων στους εξεταζόμενους χώρους.....	269

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή στην ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, «η υγεία είναι μια κατάσταση πλήρους σωματικής, διανοητικής και κοινωνικής ευεξίας και όχι απλώς η απουσία ασθένειας ή αναπηρίας» (WHO, 1999). Οι συνθήκες που επικρατούν σε έναν εσωτερικό χώρο έχουν άμεσο αντίκτυπο στην υγεία, την ευημερία και την άνετη διαβίωση των ενοίκων. Επιπλέον, ένα ανθυγιεινό εσωτερικό περιβάλλον, εκτός από την αύξηση ασθενειών, οδηγεί σε μείωση της απόδοσης και της παραγωγικότητας των εργαζομένων (Fisk, 2000).

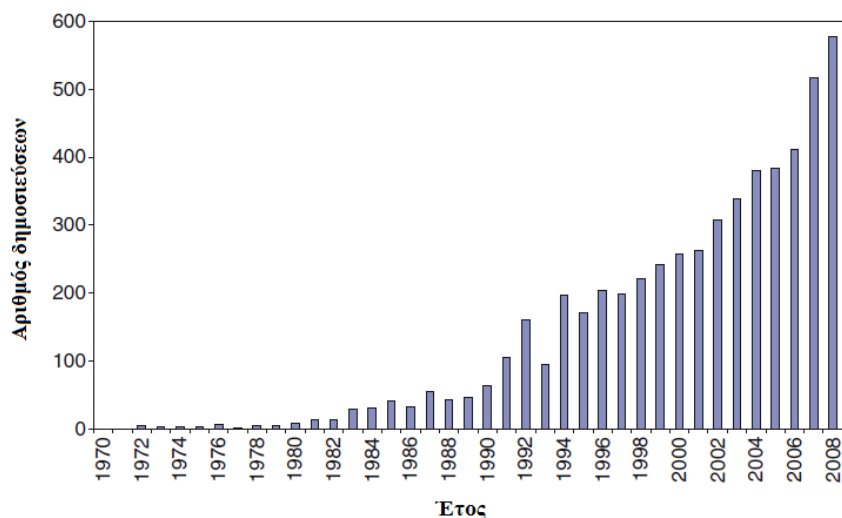
Οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα και οι παράγοντες ανθρώπινης άνεσης (θερμική, οπτική, ακουστική) (Frontczak & Wargocki, 2011). Οι παράγοντες αυτοί προσδιορίζονται από μια σειρά φυσικών και χημικών παραμέτρων και στόχος είναι η επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων τους για τη δημιουργία ενός υγιούς και άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος (Olesen & Seele, 1993).



Σχήμα 1.1 Βασικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν έναν εσωτερικό χώρο.

Η ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους και οι δυσμενείς επιδράσεις της υποβάθμισης της για την υγεία του ανθρώπου έχει επιστήσει ιδιαίτερα την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ, η ρύπανση εσωτερικού αέρα κατατάσσεται ως ένας από τους πέντε σημαντικότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία (U.S. EPA, 1994). Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον φαίνεται από την πληθώρα επιστημονικών ερευνητικών μελετών που έχουν δημοσιευτεί, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2 που παρουσιάζει τον αριθμό των δημοσιεύσεων με θέμα την ποιότητα εσωτερικού αέρα από το 1970 και μετά.

Μέχρι πρόσφατα η μελέτη της ποιότητας του αέρα, αναφερόταν σχεδόν αποκλειστικά στα χαρακτηριστικά του εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα και ο όρος «περιβάλλον» ήταν συνυφασμένος με το εξωτερικό περιβάλλον. Η κοινή γνώμη εξακολουθεί να αντιλαμβάνεται τον κίνδυνο που ενέχει για τη δημόσια υγεία η κακή ποιότητα του εξωτερικού αέρα ως πιο σοβαρό από αυτόν που προέρχεται από τον αέρα των εσωτερικών χώρων (LHEA, 1997), ενώ οι περισσότερες έρευνες που αφορούν τη συσχέτιση της επιβάρυνσης της ανθρώπινης υγείας με τις συγκεντρώσεις ρύπων στηρίζονται σε δεδομένα που έχουν ληφθεί με μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους. Ωστόσο, πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης πολλών ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον είναι συχνά υψηλότερα από αυτά που συνήθως συναντώνται σε εξωτερικούς χώρους (Jones, 1999). Ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία που προέρχεται από την έκθεση σε ρύπους από πηγές εσωτερικών χώρων είναι περίπου 1000 φορές υψηλότερος από τον αντίστοιχο λόγω έκθεσης σε εξωτερικούς ρύπους (Λαζαρίδης, 2008). Αυτό οφείλεται στο μικρό όγκο αέρα που περιέχονται οι ρύποι αυτοί, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 1.2 Αριθμός δημοσιευμένων μελετών ανά έτος από το 1970 έως το 2008, σύμφωνα με βιβλιογραφική αναζήτηση (Web of Science) με θέμα τον αέρα εσωτερικών χώρων (Colbeck & Nasir, 2010).

Επιπλέον, οι άνθρωποι που ζουν και εργάζονται σε μεγάλα αστικά κέντρα εκτιμάται ότι καταναλώνουν περισσότερο από το 85% του χρόνου τους εντός εσωτερικών χώρων: σπίτι, γραφείο, μέσα μαζικής μεταφοράς κλπ. (Schweizer et al., 2007; Eurostat, 2004; Jantunen et al., 1999; Robinson & Nelson, 1995; Jenkins et al., 1992). Συνεπώς, είναι επόμενο η ρύπανση εσωτερικού αέρα να αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία. Επίσης, είναι σημαντικό να αναλογιστούμε ότι το μεγαλύτερο χρόνο εντός των

κτηρίων περνούν οι ευπαθείς ομάδες πληθυσμού, όπως είναι οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά και τα αδύναμα άτομα.

Πέρα από την αύξηση του μέσου χρόνου που ο σύγχρονος άνθρωπος περνά σε κλειστούς χώρους, η αλλαγή στον τρόπο ζωής του τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει και σε μεταβολές στους τρόπους παραγωγής και κατανάλωσης, οι οποίες συμβάλουν στην αύξηση της έκθεσης του σε ρύπους του εσωτερικού αέρα (Guo et al., 2008). Η ευαισθητοποίηση σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής έχει οδηγήσει στην αυξημένη μόνωση των κτηρίων με τη χρήση νέων συνθετικών υλικών, καθώς επίσης και στη μείωση του αερισμού, για τον περιορισμό των απωλειών θερμότητας από το κέλυφος των κτηρίων. Με τον τρόπο αυτό σε πολλά σύγχρονα κτήρια παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις ρυπαντών όπως είναι το ραδόνιο, ο αμίαντος, ο μόλυβδος, η φορμαλδεΐδη, η ακρολεΐνη, οι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις, ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης αυτών στο χώρο (Λαζαρίδης, 2008).

1.2 Ανασκόπηση εργασίας

Σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής είναι να μελετηθεί η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η διατύπωση του προβλήματος που απασχολεί την παρούσα εργασία αποτελεί το αντικείμενο του εισαγωγικού κεφαλαίου. Στο Κεφάλαιο 2 αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο της ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους, εξετάζοντας τις πηγές της εσωτερικής ρύπανσης, τις επιδράσεις στην υγεία, την άνεση και την παραγωγικότητα, τις μεθόδους βελτίωσης και το ρόλο των οδηγιών και των κανονισμών στη διαχείριση των προβλημάτων ρύπανσης του εσωτερικού αέρα. Κατόπιν, γίνεται αναφορά στην ποιότητα αέρα στα εκπαιδευτικά κτήρια και αναλύεται η ιδιαιτερότητα που διέπει το συγκεκριμένο τύπο κτηρίων. Το Κεφάλαιο 3 επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες φυσικές και χημικές παραμέτρους που επηρεάζουν την ποιότητα εσωτερικού αέρα και που θα μας απασχολήσουν στην εργασία. Στην ίδια ενότητα παρουσιάζονται και τα υφιστάμενα όρια ασφαλείας που καθορίζουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα. Η περιγραφή του εκπαιδευτικού κτηρίου που θα αποτελέσει το αντικείμενο μελέτης της παρούσης διατριβής για τη διερεύνηση της ποιότητας αέρα δίνεται στο Κεφάλαιο 4, ενώ στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται αναλυτικά η ερευνητική μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 6,

περιγράφεται μία συμπληρωματική πειραματική διαδικασία που εξασφαλίζει την υψηλή ακρίβεια των μετρήσεων που λαμβάνουν χώρα στα πλαίσια της ερευνητικής μεθόδου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν δίνονται στο επόμενο κεφάλαιο (7), στο οποίο εξετάζονται και αξιολογούνται τα κυμαινόμενα επίπεδα των μετρούμενων παραμέτρων ανά εξεταζόμενο χώρο του υπό μελέτη κτηρίου, με ιδιαίτερη έμφαση στη συνεισφορά των αιωρούμενων σωματιδίων στην επιβάρυνση του εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα κυριότερα συμπεράσματα που εξάγονται συνοψίζονται στο τελευταίο κεφάλαιο (8).



2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Ο όρος «ποιότητα του εσωτερικού αέρα» δηλώνει το βαθμό ρύπανσης ή το περιεχόμενο του αέρα σε ένα κλειστό περιβάλλον που επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Υπό μία ευρύτερη έννοια ο όρος αυτός περιλαμβάνει και τις θερμικές συνθήκες που επικρατούν σε έναν κλειστό χώρο, αν και οι τελευταίες έχουν σχέση με το ζήτημα της άνεσης παρά της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Σύμφωνα με τον Fanger (2006), η ποιότητα του εσωτερικού αέρα ορίζεται ως ο βαθμός ικανοποίησης των απαιτήσεων μας, της επιθυμίας μας δηλαδή να αναπνέουμε έναν αέρα που δεν θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία μας, που θα τον αισθανόμαστε ως αποδεκτό ή και καλύτερο, φρέσκο και ευχάριστο, και που θα επιδρά θετικά στην παραγωγικότητά μας και στη μαθησιακή απόδοση των παιδιών μας.

Ο όρος «εσωτερικός χώρος» ή «εσωτερικό περιβάλλον» αναφέρεται σε διάφορους κλειστούς χώρους παραμονής του ανθρώπου (μικροπεριβάλλοντα). Στους χώρους αυτούς περιλαμβάνονται οι χώροι διαμονής, εργασίας, νοσηλείας, εκπαίδευσης και αναψυχής, καθώς και το εσωτερικό των μέσων μαζικής μεταφοράς ή των αυτοκινήτων. Το εσωτερικό περιβάλλον των κτηρίων διαφέρει από περιοχή σε περιοχή λόγω του τρόπου ζωής και των κλιματικών συνθηκών.

2.1 Πηγές ρύπανσης αέρα σε εσωτερικούς χώρους

Το εσωτερικό περιβάλλον περιλαμβάνει μερικές πολύ σημαντικές πηγές ρύπανσης, οι οποίες αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή πλήθους χημικών ενώσεων, οργανικών και ανόργανων, καθώς και χημικών στοιχείων που βρίσκονται σε αέρια μορφή ή ως αιωρούμενα σωματίδια στον εσωτερικό αέρα των κτηρίων. Αυτές είναι:

- οι πηγές καύσης, όπως είναι οι συσκευές θέρμανσης και μαγειρέματος, καθώς και το κάπνισμα, οι οποίες εκπέμπουν διοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα και μικρά («λεπτά») αιωρούμενα σωματίδια
- τα δομικά και μονωτικά υλικά των τοίχων, του δαπέδου και της οροφής, καθώς και η επίπλωση του χώρου, περιλαμβάνουν εκπομπές από οργανικές ενώσεις, μόλυβδο, αμιάντο, φορμαλδεΐδη

- οι διαλύτες, οι χρωστικές ουσίες, τα εντομοκτόνα, τα χαλιά, τα προϊόντα καθαρισμού για το σπίτι και την προσωπική φροντίδα εκπέμπουν πτητικές και ημιπτητικές οργανικές ενώσεις
- οι επιφάνειες με ύφανση (χαλιά, κουρτίνες, ταπετσαρίες) έχουν την ικανότητα να προσροφούν τους αέριους ρυπαντές ή να αποτελούν «καταβόθρες» για τα καθιζάνοντα αιωρούμενα σωματίδια
- διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές, π.χ. τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα και οι εκτυπωτές laser, εκπέμπουν σωματίδια και όζον
- τα συστήματα κλιματισμού και τα μηχανήματα ύγρανσης λειτουργούν ως πηγές βιοαεροζόλ (ακάρια της οικιακής σκόνης, μύκητες, βακτήρια, ιοί)
- οι ίδιοι οι ένοικοι των χώρων αποτελούν μία συνεχή πηγή διοξειδίου του άνθρακα (δε συγκαταλέγεται στους επικίνδυνους ρύπους αλλά αποτελεί ένδειξη παρουσίας άλλων ρυπαντών) και με τις δραστηριότητες τους παράγουν αιωρούμενα σωματίδια

Σημαντική συνεισφορά στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι ρύποι που βρίσκονται στο εξωτερικό περιβάλλον μπορούν, μέσω της εισροής του εξωτερικού αέρα από τα ανοίγματα του κελύφους του κτηρίου και από τα μηχανικά συστήματα ρύθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, να μεταφερθούν στο εσωτερικό του κτηρίου και να ρυπάνουν τον εσωτερικό αέρα. Επιπλέον, στις πηγές αυτές έρχεται να προστεθεί σε ορισμένες περιοχές η διείσδυση ραδονίου και άλλων αερίων μέσα στο κτήριο από το έδαφος και τα πετρώματα. Το βενζόλιο, το μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα, ο μόλυβδος, τα οξειδία του αζώτου, τα αιωρούμενα σωματίδια, το διοξειδίο του θείου, οι οργανικές πτητικές ενώσεις και το όζον είναι μερικοί από τους κυριότερους εσωτερικούς ρύπους που σχετίζονται με τις πηγές ρύπων του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ρύπων που είτε εισέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον, είτε εκπέμπονται από πηγές εσωτερικών χώρων. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι ο αερισμός και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (Λαζαρίδης, 2008). Ο αερισμός καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο αλλάζει ο αέρας μέσα σε ένα χώρο και κατ' επέκταση την ποσότητα των ρύπων που εξέρχονται και εισέρχονται σε αυτόν. Ο αερισμός μπορεί να γίνεται μέσω συσκευών κλιματισμού (μηχανικός) ή απλά με το άνοιγμα των παραθύρων (φυσικός). Σε μικρότερο βαθμό συνεχής αερισμός πραγματοποιείται ακόμα και όταν ο χώρος είναι κλειστός (ακούσιος), από τα κάθε είδους μικροσκοπικά ανοίγματα της κατασκευής. Επίσης, οι

μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάποια περιοχή επηρεάζουν τη συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον, αλλά παράλληλα επιδρούν και στις τιμές αυτών που παρατηρούνται σε εσωτερικούς χώρους.

2.2 Επιπτώσεις στην υγεία και την άνεση

Η κακή ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων συνδέεται με την εμφάνιση μιας σειράς αλλεργιών και συνδρόμων που έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως είναι το σύνδρομο των αρρώστων κτηρίων (Sick Building Syndrome, SBS), το σύνδρομο ασθενειών που σχετίζονται με το κτήριο (Building Related Illnesses, BRI) και το πιο σπάνιο σύνδρομο πολλαπλής χημικής ευαισθησίας (Multiple Chemical Sensitivity Syndrome, MCSS). Οι διάφορες αλλεργίες και τα ως άνω σύνδρομα εκβάλλουν, ενίοτε, σε παθήσεις του αναπνευστικού, του ανοσοποιητικού, του αναπαραγωγικού, του νευρικού και του καρδιακού συστήματος, καθώς επίσης και σε δερματικές παθήσεις, σε παθήσεις των αισθητηρίων οργάνων και σε καρκινογενέσεις.

Πίνακας 2.1 Τα κυριότερα συμπτώματα του συνδρόμου του άρρωστου κτηρίου.

- | |
|----------------------|
| ✓ Πονοκέφαλος |
| ✓ Ζαλάδες |
| ✓ Ναυτία |
| ✓ Κόπωση |
| ✓ Υπνηλία |
| ✓ Ρινική καταρροή |
| ✓ Ρινική συμφόρηση |
| ✓ Πονόλαιμος |
| ✓ Βήχας |
| ✓ Φτάρνισμα |
| ✓ Ερεθισμός ματιών |
| ✓ Δακρύρροια |
| ✓ Ερεθισμός δέρματος |

Τα τελευταία χρόνια έχουν έρθει στο φως μελέτες που συνδέουν την κακή ποιότητα του εσωτερικού αέρα με την παραγωγικότητα και την απόδοση των χρηστών των κτηρίων. Όταν, λοιπόν, στο χώρο εργασίας δεν επικρατούν ικανοποιητικές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος, είτε αυτές αναφέρονται σε συγκεντρώσεις ρύπων, είτε σε επίπεδα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, θορύβου και φωτισμού, η αποδοτικότητα των εργαζομένων είναι μειωμένη (Wargocki et al., 2002; 1999). Άλλες μελέτες έδειξαν ότι η αύξηση του ρυθμού αερισμού συνδέεται με τη βελτίωση της απόδοσης των εργαζομένων. (Seppanen et al., 2006; Wargocki et al., 2000; EPA, 2000).

Η συγκέντρωση κάθε αέριου ρύπου στο εσωτερικό των κτηρίων εξαρτάται από την πηγή του, την ισχύ του και από το ρυθμό αφαίρεσης ή συσσωρεύσής του στο κτήριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρουσία ρύπων στον εσωτερικό αέρα δεν συνδέεται κατ' ανάγκη με την εμφάνιση διαφόρων παθήσεων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις διάφορες επιπτώσεις από την έκθεση του ανθρώπου σε εσωτερικούς αέριους ρύπους είναι: η φύση του ρύπου (αν πρόκειται δηλαδή για φυσικό, χημικό ή βιολογικό παράγοντα), η διάρκεια έκθεσης του

ανθρώπου στον αέριο ρύπο, η φύση της έκθεσης, διότι η συνεργιστική δράση δύο ή και περισσότερων ρυπογόνων ουσιών αυξάνουν τα δυσμενή αποτελέσματα της έκθεσης, σε σχέση με την έκθεση σε ένα μόνο ρύπο και τέλος, η ομάδα του πληθυσμού στην οποία ανήκει ο άνθρωπος που εκτίθεται σε ρυπογόνες ουσίες, η οποία προσδιορίζει την ευαισθησία του στην παρουσία αέριων ρύπων (Liddament, 1996).

2.3 Διαχείριση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα

Ωστόσο, υπάρχει δυνατότητα διαχείρισης της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων με στόχο τη βελτίωση της και τη μείωση της έκθεσης των ενοίκων σε επιβλαβείς ρυπαντές. Ο έλεγχος της συγκέντρωσης των αέριων ρύπων στο εσωτερικό των κτηρίων επιτυγχάνεται με δύο βασικούς τρόπους, την απομάκρυνση, αντικατάσταση ή μετατροπή των πηγών εκπομπών ρύπων από τον εσωτερικό χώρο και τον αερισμό. Ο πρώτος τρόπος περιλαμβάνει απλές πρακτικές, όπως ο καθαρισμός των εσωτερικών χώρων ή η αποφυγή χρήσης άσκοπων χημικών προϊόντων, συχνό πρόγραμμα συντήρησης συσκευών (π.χ. των κλιματιστικών συστημάτων), καθώς και μέτρα στο επίπεδο σχεδίασης και κατασκευής του κτηρίου (π.χ. αντικατάσταση των υφιστάμενων υλικών του κτιρίου) με σκοπό τη μείωση της ρύπανσης.

Πολλές φορές, η εφαρμογή της πρώτης μεθόδου είναι ανέφικτη, διότι οι πηγές εκπομπών ρύπων είτε δεν μπορούν να απομακρυνθούν είτε δεν είναι σταθερές σε έναν χώρο, όπως για παράδειγμα είναι οι ένοικοι των κτηρίων. Επομένως, ο αερισμός αποτελεί πολύ συχνά το μοναδικό εφαρμόσιμο τρόπο αντιμετώπισης της ρύπανσης του εσωτερικού αέρα. Ο αερισμός είναι αναγκαίος για τη διατήρηση ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα μέσω των μηχανισμών διάλυσης και απομάκρυνσης των ρύπων. Η ποσότητα του αερισμού που απαιτείται για την επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας εσωτερικού αέρα εξαρτάται από την ποσότητα και το είδος των ρύπων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αερισμού, τόσο χαμηλότερη είναι και η συγκέντρωση των ρύπων. Διάφορες μελέτες (Bornehag et al., 2005, Seppanen et al., 2004; Wargocki et al., 2000) συσχετίζουν το ρυθμό αερισμού με την εμφάνιση συμπτωμάτων κακής υγείας. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι σε περίπτωση αυξημένης εξωτερικής συγκέντρωσης ρύπων συνίσταται η μείωση του αερισμού.

Η εφαρμογή των κατάλληλων διορθωτικών μέτρων προϋποθέτει τη διεξαγωγή μίας διαγνωστικής μελέτης για την εκτίμηση της ποιότητας του αέρα και τον εντοπισμό και

προσδιορισμό των ενδεχομένων προβλημάτων ρύπανσης (Λαγούδη, 1996). Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει:

- ✓ συλλογή πληροφοριών μέσω καταγραφής όλων των παραπόνων από τους χρήστες των χώρων σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και των συμπτωμάτων που ενδεχομένως παρουσιάζουν λόγω της κατάστασης του κτηρίου
- ✓ διεξαγωγή μετρήσεων των κυριότερων φυσικών και χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος.

2.4 Ο ρόλος των οδηγιών και κανονισμών

Παρότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα εξακολουθεί να αποτελεί βασική παράμετρο της έρευνας, τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να δίνεται προσοχή στα ζητήματα της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Οι δύο πιο σημαντικοί οργανισμοί που έπαιξαν και συνεχίζουν να παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των οδηγιών ποιότητας εσωτερικού αέρα είναι ο Π.Ο.Υ. και ο ASHRAE. Η Ευρωπαϊκή Ένωση μολονότι μέχρι σήμερα εστίασε στα ζητήματα, κατεξοχήν, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, από το Έκτο Σχέδιο Δράσης για το Περιβάλλον τα ζητήματα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα βρίσκονται στο κέντρο του ενδιαφέροντος (EEC, 2002).

Σε κάθε περίπτωση η σχετική νομοθεσία όταν αναφέρεται στην επίδραση ουσιών και συνθηκών στον ανθρώπινο οργανισμό είναι σημαντικό να ορίζει οριακές τιμές ασφαλούς έκθεσης ως ποσοτικό κριτήριο αξιολόγησης των συνθηκών και κινδύνων του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, καθώς το αντικείμενο της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος βρίσκεται ακόμα σε διαρκή εξέλιξη, δεν είναι καθόλου ασύνηθες να εξάγονται συμπεράσματα με βάση την ισχύουσα νομοθεσία για ατμοσφαιρικούς ή βιομηχανικούς ρύπους.

Στην Ελλάδα, λόγω έλλειψης κατάλληλης νομοθεσίας, τα μεγάλα κτήρια γραφείων και τα εμπορικά κτήρια αξιολογούνται με γνώμονα τη νομοθεσία για την υγεία και την ασφάλεια στην εργασία. Με βάση τις γενικές αρχές του Νόμου 1568/85 «Υγιεινή και Ασφάλεια των εργαζομένων», το Προεδρικό Διάταγμα 90/1999 καθορίζει οριακές τιμές έκθεσης για 600 περίπου χημικές ουσίες. Τα όρια που ορίζονται από αυτή τη νομοθεσία αναφέρονται κυρίως σε βιομηχανικούς χώρους, όπου θα πρέπει να ελέγχεται η έκθεση του εργαζομένου σε συγκεκριμένες, γνωστές πηγές βιομηχανικής ρύπανσης, και επομένως η χρήση τους

προκειμένου να διαγνωστούν προβλήματα σε μη βιομηχανικούς μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα.

Πέρα από τις οδηγίες και τους κανονισμούς ποιότητας εσωτερικού αέρα που έχουν διατυπωθεί από διάφορους οργανισμούς, ιδιαίτερης αναφοράς πρέπει να τύχει το νέο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15251:2007, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί το εργαλείο για την εφαρμογή της οδηγίας 2002/91/EK για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων (Olesen, 2007). Στο πρότυπο αυτό ορίζονται τιμές σχεδιασμού του εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμική άνεση, ποιότητα εσωτερικού αέρα, θόρυβος και φωτισμός) και με βάση αυτό έχουν καθοριστεί τα συνιστώμενα σχετικά όρια της τεχνικής οδηγίας του ΤΕΕ: «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων» (TOTEE 20701-1/2010).

Ωστόσο, θα πρέπει να επισημάνουμε ότι ακόμη και αν πληρούνται οι απαιτήσεις των εν λόγω προτύπων, αυτό δε σημαίνει ότι όλοι οι ένοικοι θα είναι ικανοποιημένοι με το περιβάλλον των εσωτερικών χώρων. Επιπλέον, οι ίδιες επικρατούσες εσωτερικές συνθήκες των χώρων μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετικές υποκειμενικές αποκρίσεις. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι οι άνθρωποι διαφέρουν και ως εκ τούτου δεν μπορούν να είναι όλοι ικανοποιημένοι από τις ίδιες συνθήκες. Επιπλέον, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι υπάρχουν και άλλοι παράγοντες (π.χ. ψυχολογικοί), οι οποίοι δε ρυθμίζονται από τα πρότυπα και οι οποίοι επηρεάζουν την ικανοποίηση των ενοίκων σε σχέση με την αίσθηση άνεσης του περιβάλλοντος (Frontczak & Wargocki, 2011).

2.5 Ποιότητα αέρα σε εκπαιδευτικά κτήρια

Η ποιότητα αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος στα εκπαιδευτικά κτήρια εμφανίζει ιδιαιτερότητα, έναντι των υπόλοιπων κτηρίων, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι κύριοι χρήστες τους (μαθητές, σπουδαστές) αποτελούν άτομα νεαρής ηλικίας που καταναλώνουν ένα μεγάλο ποσοστό του ημερήσιου χρόνου τους μέσα σε αυτά (Cleland et al., 2009; Xue et al., 2004; Leickly, 2003) και γι αυτό απαιτούν ευνοϊκότερες συνθήκες υγιεινής και άνεσης. Επιπλέον, η φτωχή ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και την ικανότητα μάθησης (USEPA, 2003).

Όσον αφορά στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση, αρκεί να αναλογιστούμε ότι υπάρχουν περισσότεροι από 71 εκατομμύρια μαθητές και περίπου 4,5 εκατομμύρια

δάσκαλοι στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αντιπροσωπεύοντας το 20% του συνολικού πληθυσμού, προκειμένου να αντιληφθούμε τη σημασία ενός υγιούς εσωτερικού περιβάλλοντος στα σχολικά κτήρια. Επιπρόσθετα στις μισές χώρες της ΕΕ τα παιδιά βρίσκονται πάνω από 800 ώρες το χρόνο στις αίθουσες, δηλαδή περίπου το ένα τρίτο μιας τυπικής μέρας (EFA, 2001). Η σημασία της ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους των σχολείων έγκειται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που εμφανίζει η ευαίσθητη ομάδα πληθυσμού των μαθητών. Το ανοσοποιητικό σύστημα των μαθητών είναι πιο ευπαθές από των ενηλίκων με αποτέλεσμα να προσβάλλονται πιο εύκολα από χημικούς παράγοντες που εκπέμπονται στους χώρους των σχολείων (Diapouli et al., 2007). Επιπλέον, ο οργανισμός των μαθητών βρίσκεται σε ανάπτυξη και αναπνέει μεγαλύτερο όγκο αέρα ανά μονάδα βάρους που υπολογίζεται σε περίπου 400 ml/min/kg σε αντίθεση με τους ενήλικες που είναι 150 ml/min/kg (WHO, 2005). Η κακή ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος στα εκπαιδευτικά κτήρια επηρεάζει την υγεία και την απόδοση όχι μόνο των μαθητών, αλλά και των δασκάλων και καθηγητών που εργάζονται στο χώρο.

Τα σχολικά κτήρια αποτελούνται από χώρους διαφόρων δραστηριοτήτων, στους οποίους ο μαθητής διδάσκεται, γυμνάζεται, διαλογίζεται, ξεκουράζεται και επομένως είναι εύλογο οι πηγές εκπομπής ρύπων να ποικίλουν από χώρο σε χώρο. Ο Πίνακας 2.2 παρουσιάζει τις εσωτερικές πηγές εκπομπής ρύπων στα εκπαιδευτικά κτήρια και τους ρύπους που συναντώνται σε αυτά για κάθε χώρο δραστηριότητας ξεχωριστά.

Ένας σημαντικός αριθμός επιστημονικών μελετών καταδεικνύουν ότι οι αίθουσες διδασκαλίας και άλλοι εσωτερικοί χώροι στα εκπαιδευτικά κτήρια αντιπροσωπεύουν ορισμένες φορές ένα επικίνδυνο περιβάλλον. Στην ανασκόπησή τους οι Daisey et al. (2003) αναφέρονται σε ένα ευρύ φάσμα ατμοσφαιρικών ρύπων που μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς την υγεία των μαθητών και των εκπαιδευτικών. Άλλες μελέτες επιβεβαιώνουν ότι η ποιότητα εσωτερικού αέρα στα σχολεία απέχει πολύ από τον χαρακτηρισμό του «υγιούς μικροπεριβάλλοντος» (Heudorf et al., 2009; Fromme et al., 2007; Weichenthal et al. 2007; Diapouli et al., 2004; Sahlberg et al., 2002; Siskos et al., 2001; Ahman et al., 2000; Smedje et al., 1997; Norbäck et al., 1990).

Ακόμα μεγαλύτερη ιδιαιτερότητα παρουσιάζουν τα κτήρια της ανωτάτης (τριτοβάθμιας) εκπαίδευσης (Szoboszlai et al., 2011; Branis et al., 2011; 2009; Guo et al., 2010; Lee et al., 2002; Lee and Chang, 2000; Patterson and Eatough, 2000; Janssen et al., 1997) και κυρίως, των πανεπιστημίων με σχολές θετικών επιστημών, καθώς σε αυτά, πέρα από τους

συνηθισμένους χώρους που συναντώνται στα εκπαιδευτικά ιδρύματα: αίθουσες διδασκαλίας, βιβλιοθήκες, γραφεία καθηγητών και κοινόχρηστους χώρους, περιλαμβάνονται και εργαστήρια τα οποία απασχολούν μεγάλο αριθμό φοιτητών και ερευνητών.

Πίνακας 2.2 Εσωτερικές πηγές εκπομπής ρύπων στα εκπαιδευτικά κτήρια (Παπαδόπουλος & Αυγελής, 2002).

Χώρος	Πηγές	Ρύποι
Αίθουσα διδασκαλίας	Πάτωμα	Φορμαλδεύδη, τολουόλιο, ξυλόλια, στυρόλιο, μύκητες
	Οροφή	Ανάπτυξη μικροβίων, βακτήρια, μύκητες
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	CO ₂ , CO
	Προϊόντα καθαρισμού	Τοξικές ουσίες, κρεσόλη, αλισίβα Φορμαλδεύδη
	Νιπτήρας	Βακτήρια, μόλυβδος, εμφάνιση ιών
	Χρώματα ζωγραφικής	Τοξικές ουσίες
	Θερμομονωτικά υλικά	Ίνες, πτητικές οργανικές ενώσεις
	Εδρανα	Φορμαλδεύδη, πτητικές οργανικές ενώσεις, τοξικές ουσίες, βαρέα μέταλλα
	Κουρτίνες	Φορμαλδεύδη, αλδεύδες
	Αρωμα	Τοξικές ουσίες
	Κιμωλία	Ανθρακικό ασβέστιο
Ντύσιμο	Μικρόβια, μύκητες	
Γυμναστήριο	Ανθρώπινη δραστηριότητα	CO ₂ , CO
	Πάτωμα	Φαινόλη, Φορμαλδεύδη
	Συνθετικό γυαλί	Ίνες
	Σύστημα αεραγωγών	Ανάπτυξη μικροβίων, ιοί
	Αποδυτήρια	Τοξικές ουσίες, βακτήρια, ιοί
Βιβλιοθήκη	Μοκέτα	Τοξικές ουσίες, βακτήρια
	Ηλεκτρονικός υπολογιστής	Οξόν, πτητικές οργανικές ενώσεις, φωσφορικό οξύ, τριφένυλοφωσφορικός εστέρας
	Φωτοτυπικό μηχάνημα	Πτητικές οργανικές ενώσεις, όζον, NO, σωματίδια γραφίτη, ατμοί αμμωνίας και οξικού οξέος
	Εκτυπωτής laser	Αλδεύδες, στυρόλιο, υδρογονάνθρακες, όζον, φορμαλδεύδη, σωματίδια γραφίτη
	Ταπετσαρία	Πτητικές οργανικές ενώσεις, Φορμαλδεύδη
	Διαχωριστικά εσωτερικών χώρων	Φορμαλδεύδη, τολουόλιο, βενζόλιο, βακτήρια
	Κουρτίνες	Φορμαλδεύδη, αλδεύδες
	Επιπλα	Πτητικές οργανικές ενώσεις, Φορμαλδεύδη, τοξικές ουσίες
Κυλικείο	Σύστημα αεραγωγών	Ανάπτυξη μικροβίων, ιοί
	Καπνός τσιγάρου	CO, Φορμαλδεύδη, NO _x , βενζόλιο, υδραζίνη
	Πάτωμα	Στυρόλιο, τολουόλιο, Φορμαλδεύδη
	Απορρίμματα	Βακτήρια, μύκητες
	Προϊόντα καθαρισμού, εντομοκτόνα	Τοξικές ουσίες
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	CO ₂ , CO
	Πλαστικά υλικά	DEHP, DINP
	Φούρνος	CO, SO ₂ , NO ₂ , βακτήρια, μύκητες
Νιπτήρας	Βακτήρια, ιοί	
Εργαστήριο	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Χημικές ουσίες πειραμάτων

Οι εργαζόμενοι σε χημικά, βιοχημικά και βιοϊατρικά εργαστήρια εκτίθενται σε αέριους χημικούς ρύπους που εκπέμπονται από τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών, διαλυτών, πτητικών αρωματικών ενώσεων και άλλων επικίνδυνων ουσιών (πυκνά οξέα, ισχυρά

οξειδωτικά κλπ.) κατά τη διάρκεια διαφόρων ερευνητικών δραστηριοτήτων. Η ρύπανση αυτή του αέρα των εργαστηριακών χώρων δε θεωρείται επικίνδυνη για την υγεία των φοιτητών και του ακαδημαϊκού προσωπικού εφόσον λαμβάνονται μέτρα προστασίας (Βαλαβανίδης, 2000). Πολυάριθμες επιδημιολογικές μελέτες με ερευνητές που εργάζονταν σε εργαστήρια πανεπιστημίων και επιστημονικών ιδρυμάτων δείχνουν ότι τα προβλήματα υγείας είναι περιορισμένα με την προϋπόθεση ότι εφαρμόζονται οι κανόνες υγιεινής και ασφάλειας των εργαζομένων (Dement & Crome, 1992).

Σε περιπτώσεις όπου μεγάλος αριθμός φοιτητών διεξάγει πειράματα με τοξικές, πτητικές ουσίες και διαλύτες και δε λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα, π.χ. ο εξαερισμός είναι ελλιπής λόγω κλειστών παραθύρων ή οι πειραματικές διεργασίες δε διεξάγονται εντός των απαγωγών, οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων, ιδιαίτερα των πτητικών οργανικών ενώσεων, μπορούν να αυξηθούν. Γι αυτό λοιπόν και οι χρήστες των εργαστηρίων πρέπει να είναι ενημερωμένοι και να παίρνουν τις κατάλληλες προφυλάξεις.

Διάφορες επιστημονικές μελέτες ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους εκπαιδευτικών κτηρίων της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης έχουν δημοσιευτεί. Οι έρευνες αυτές ποικίλουν ως προς τον τρόπο και το χρόνο διεξαγωγής, τις παραμέτρους που εξετάζονται και τους χώρους που επιλέγονται να μελετηθούν. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένες από αυτές, ανάμεσα στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και οι τέσσερις που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής σε πανεπιστημιακά κτήρια στον ελλαδικό χώρο.

Το 2006 πραγματοποιήθηκε από τους Gemenetzi et al. (2006) μία μελέτη ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου. Συγκεκριμένα, η μελέτη αφορούσε 40 χώρους (γραφεία, εργαστήρια-γραφεία και χώρους φωτοεκτύπωσης), στους οποίους μετρήθηκε η συγκέντρωση μάζας και η στοιχειακή σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ και PM_{10} (σωματίδια με μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο 10 και 2,5 αντίστοιχα). Ανάμεσα στα στοιχεία που εντοπίστηκαν σε μεγαλύτερη αφθονία στη σύσταση των σωματιδίων ήταν το ασβέστιο, το χλώριο, το κάλιο και το θείο, ενώ στα PM_{10} παρουσιάστηκε σε αφθονία και το πυρίτιο. Η έρευνα ανέδειξε επίσης την επίδραση του καπνίσματος στην αύξηση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$, η οποία φτάνει σε ποσοστό 70% συγκριτικά με χώρους μη καπνιστών, όπως επίσης και την επίδραση της ρύπανσης του εξωτερικού αέρα, η οποία είναι μεγαλύτερη στους χώρους που βρίσκονται στο ισόγειο.

Η ισχυρή επίδραση του καπνίσματος στη ρύπανση του εσωτερικού αέρα διαπιστώθηκε επίσης από τους Gaidajis a & Angelakoglou (2009), οι οποίοι διερεύνησαν τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2,5} και PM₁₀) σε 5 αίθουσες διδασκαλίας, ένα γραφείο και έναν κοινόχρηστο χώρο όπου συχνάζουν καπνιστές, στο Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο της Θράκης στην Ξάνθη.

Οι Branis et al. (2005) κατέγραψαν τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων σε μία αίθουσα διαλέξεων, χωρητικότητας 80 ατόμων, του Πανεπιστημίου Charles στην Πράγα. Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαίωσαν τη σημαντική επίδραση της παρουσίας των ατόμων (σκόνη αποτελούμενη από ίνες υφάσματος, θραύσματα από τρίχες, σωματίδια του εδάφους, κύτταρα του δέρματος) (Luoma and Batterman, 2001; Abt et al., 2000; Monn et al., 1997) και του εξωτερικού αέρα (Morawska et al., 2001; Wallace, 2000; Janssen et al., 1997) στη διαμόρφωση της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων.

Το 2002 ο Chan μελέτησε τη διακύμανση της σχέσης της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων και των οξειδίων του αζώτου υπό την επίδραση των εξωτερικών μετεωρολογικών συνθηκών. Οι πειραματικές μετρήσεις διεξήχθησαν εντός και εκτός του γραφείου ενός φοιτητή στο κτήριο του Πανεπιστημίου του Hong Kong. Το πόρισμα της έρευνας έδειξε ότι ο λόγος εσωτερικής/εξωτερικής συγκέντρωσης επηρεάζεται από τις παραμέτρους: θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία.

Οι Lee et al. (2012) στην ερευνά τους εξέτασαν την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος σε 8 κλιματιζόμενες αίθουσες διδασκαλίας στο Πολυτεχνείο του Hong Kong μέσω πειραματικών μετρήσεων διαφόρων παραμέτρων (θερμοκρασία και σχετική υγρασία εσωτερικά και εξωτερικά των χώρων, ταχύτητα αέρα, συγκέντρωση CO₂, φωτεινότητα και επίπεδα θορύβου) αλλά και μέσω έρευνας με ερωτηματολόγιο για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με την αίσθηση του εσωτερικού περιβάλλοντος και την αξιολόγηση της απόδοσης μάθησης από τους ίδιους τους φοιτητές. Η έρευνα κατέληξε σε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων και της υποκειμενικής εκτίμησης της αίσθησης ποιότητας περιβάλλοντος, όπως επίσης και μεταξύ των διατυπωθέντων παραπόνων και της απόδοσης μάθησης.

Το 1996 πραγματοποιήθηκε μία έρευνα στο Πανεπιστήμιο της Modena στη Βόρεια Ιταλία όπου έλαβε χώρα σε 16 βιβλιοθήκες και στα πλαίσια αυτής μελετήθηκαν οι εσωκλιματικές

συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ρυθμός αερισμούς) και τα επίπεδα των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), συμπεριλαμβανομένης της φορμαλδεΐδης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα δε διαπιστώθηκε σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης του εσωτερικού αέρα στους χώρους αυτούς, προτάθηκε όμως περαιτέρω διερεύνηση για τον εντοπισμό των πιθανών πηγών προέλευσης των πτητικών οργανικών ενώσεων (Fantuzzi et al., 1996).

Μία άλλη ερευνητική εργασία, που αφορούσε στον προσδιορισμό αέριων ρύπων (CO, CO₂, NO₂, SO₂, Cl₂, O₃, φορμαλδεΐδης και πτητικών οργανικών ενώσεων) και αιωρούμενων σωματιδίων, όπως επίσης και στη μέτρηση εσωκλιματικών συνθηκών (θερμοκρασίας, σχετική υγρασίας, φωτισμού και θορύβου), πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακούς χώρους του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών (Valavanidis & Vavatis, 2006). Περιορισμένος αριθμός μετρήσεων πραγματοποιήθηκε και σε αίθουσες διδασκαλίας, γραφεία, τη κεντρική βιβλιοθήκη και κοινόχρηστους χώρους του Πανεπιστημίου. Παράλληλα με τις πειραματικές μετρήσεις, διανεμήθηκε και ένα σχετικό ερωτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στους συνολικά 26 εσωτερικούς χώρους δεν ξεπερνούσαν τις τιμές που θεωρούνται ικανοποιητικές για εργασιακούς χώρους, εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, τη φορμαλδεΐδη και τα TVOCs σε ορισμένα εργαστήρια.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε και μία δημοσιευμένη έρευνα που αφορά επίσης στον ελλαδικό χώρο και η οποία πραγματοποιήθηκε σε 42 χώρους (γραφεία, εργαστήρια, αίθουσες) του Πανεπιστημίου των Ιωαννίνων από τους Papachristodoulou et al. (2010). Σκοπός της μελέτης ήταν ο προσδιορισμός των εσωτερικών επιπέδων συγκέντρωσης ραδονίου και της έκθεσης σε γάμμα ακτινοβολία (ρυθμού απορροφούμενης δόσης). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν έδειξαν κάποια υπέρβαση των ορίων ασφαλείας, ενώ κρίθηκαν ιδιαίτερα σημαντικά για την εκτίμηση της κατανομής του ραδονίου και της δόσης γάμμα ακτινοβολίας σε εθνικό επίπεδο.

3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ορισμένες από τις σημαντικότερες παραμέτρους που καθορίζουν την ποιότητα αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος συμπεριλαμβάνοντας και τις εσωκλιματικές συνθήκες που επηρεάζουν την άνεση (θερμική, οπτική) των χρηστών των χώρων καθώς επίσης και την αίσθηση της ποιότητας αέρα.

3.1 Περιβαλλοντικές συνθήκες εσωτερικών χώρων

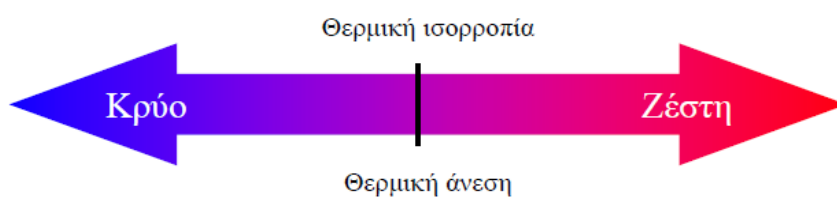
Η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος μέσα σε ένα χώρο δεν κρίνεται μόνο από τους ρυπαντές αλλά και από ένα πλήθος άλλων παραγόντων, ανάμεσα στους οποίους είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία. Το θερμικό περιβάλλον όπως αυτό διαμορφώνεται σύμφωνα με τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα, είναι ένας από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζει στην υγεία, την ευεξία και την απόδοση των ανθρώπων και η επίδραση του έχει διερευνηθεί από πλήθος μελετών (Lan et al., 2011; Wargocki and Wyon, 2007; Kosonen and Tan, 2004).

Επιπλέον, το θερμικό περιβάλλον παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα αέρα στους εσωτερικούς χώρους, την οποία μπορεί να επηρεάσει, άμεσα και έμμεσα. Το παραπάνω συμβαίνει διότι είτε η δυσφορία που σχετίζεται με τη φτωχή ποιότητα εσωτερικού αέρα μπορεί να αντιμετωπισθεί με τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα, είτε η μη αίσθηση θερμικής άνεσης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανοχής σε άλλες οχλήσεις και είτε πάλι ο ρυθμός εκπομπής διαφόρων ρύπων από τα δομικά υλικά, την επίπλωση και τον εξοπλισμό του κτηρίου είναι συχνά υψηλότερος σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Επίσης, η υγρασία, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, διευκολύνει την ανάπτυξη και δημιουργία μικροοργανισμών και μυκήτων μέσα στους χώρους. Τα συμπτώματα υγείας που παρουσιάζονται όταν οι τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας δεν βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα καταδεικνύονται στη συνέχεια.

3.1.1 Η έννοια της θερμικής άνεσης

Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία ένα άτομο αισθάνεται πλήρως ικανοποιημένο με τις θερμικές συνθήκες που επικρατούν και δεν επιθυμεί, ως εκ τούτου, καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος (ASHRAE, 2004).

Για την επίτευξη θερμικής άνεσης είναι απαραίτητη η εξασφάλιση της θερμικής ουδετερότητας του ανθρώπινου σώματος για την εκτέλεση των φυσιολογικών λειτουργιών του. Ο άνθρωπος θεωρεί το περιβάλλον του θερμικά άνετο όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος και η υγρασία του δέρματος είναι σε χαμηλά επίπεδα. Αυτή η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως θερμική ισορροπία (Σχήμα 3.1). Έτσι, σε μια τέτοια κατάσταση ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη (Fanger, 1970).



Σχήμα 3.1 Κατάσταση θερμικής ισορροπίας (ουδετερότητας).

Η θερμική άνεση έχει υποκειμενικό χαρακτήρα, με την έννοια ότι στον ίδιο χώρο μπορεί να συμβεί ένα άτομο να αισθάνεται ικανοποιημένο με τις σχετικές θερμικές συνθήκες, ενώ αντίθετα ένα άλλο να αισθάνεται δυσφορία. Το αίσθημα της άνεσης συνιστά μία νοητική διαδικασία που περιλαμβάνει τη συνεκτίμηση διαφόρων δεδομένων, τα οποία σχετίζονται με φυσικές, φυσιολογικές, ψυχολογικές και άλλες διαδικασίες (ASHRAE, 2005). Αυτός είναι και ο λόγος που δεν έχει ποσοτικοποιηθεί ως τώρα με έναν καθολικά αποδεκτό δείκτη.

Αυτές οι διαδικασίες και το αποτύπωμα τους στη συμπεριφορά των ανθρώπων προς το θερμικό τους περιβάλλον αποτέλεσαν αντικείμενο έντονης επιστημονικής έρευνας για ορισμένες δεκαετίες. Μία από τις πρώτες μελέτες στο πεδίο αυτό διεξήχθη το 1925 από τον οργανισμό ASHVE, που αργότερα μετονομάστηκε σε ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers). Την πιο ευρέως διαδεδομένη βέβαια έρευνα στον τομέα της θερμικής άνεσης αποτελεί το έργο του Fanger, ο οποίος το 1970 ανέπτυξε μία μέθοδο προσδιορισμού των βέλτιστων περιβαλλοντικών συνθηκών για την επίτευξη άνεσης (Schellen, 2013).

Προκειμένου λοιπόν να αξιολογηθεί η θερμική άνεση και επομένως να αποκτήσει και αντικειμενικό χαρακτήρα, ορίστηκαν οι παράμετροι οι οποίες την επηρεάζουν. Ο χαρακτηρισμός μίας κατάστασης ως θερμικά άνετης εμπεριέχει πολλές παραμέτρους εκτός από τις φυσικές (θερμοκρασία αέρα, ταχύτητα αέρα, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική



Σχήμα 3.2 Βασικοί παράγοντες θερμικής άνεσης.

πίεση, μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των επιφανειών του χώρου), όπως βιολογικές (φύλο, ηλικία, φυλετικά χαρακτηριστικά και συνήθειες των ενοίκων) και ψυχολογικές. Το 1962 ο Macpherson όρισε και δύο εξωτερικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση: τη μεταβολική δραστηριότητα και το είδος του ρουχισμού (Djongyang et al., 2010; de Dear & Brager, 2002). Τα παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1. Οι πρώτες παράμετροι (φυσικές ή περιβαλλοντικές) σχετίζονται με το εσωτερικό περιβάλλον των κτηρίων, ενώ οι υπόλοιπες εξαρτώνται από το άτομο. Ασφαλώς, η σημαντικότερη παράμετρος διαμόρφωσης της θερμικής

άνεσης σε ένα χώρο είναι η θερμοκρασία του αέρα, καθώς είναι κυρίως αυτή που καθορίζει τη γενική αίσθηση «κρύου» ή «ζέστης».

Πίνακας 3.1 Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση.

1. Φυσικές παράμετροι

- Θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}\text{C}$)
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών ($^{\circ}\text{C}$)
- Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (%)
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα (m/s)
- Ατμοσφαιρική πίεση

2. Βιολογικές παράμετροι

- Το φύλλο των χρηστών του χώρου
- Η ηλικία των χρηστών του χώρου
- Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου

3. Εξωτερικές παράμετροι

- Το είδος των δραστηριοτήτων του χώρου ($1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$)
- Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$)

3.1.2 Θερμοκρασία αέρα εσωτερικού χώρου

Η θερμοκρασία του αέρα είναι μία καθοριστική παράμετρος, που αφορά στο εσωτερικό περιβάλλον του κτηρίου, καθώς αποτελεί το κλειδί για την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτηρίων μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτηρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού (Πίνακας 3.2).

Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας, υπό μορφή θερμότητας, με το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα οδηγεί στη μείωση των απωλειών θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία, αλλά και στην αύξηση των απωλειών θερμότητας λόγω εφίδρωσης. Σύμφωνα με τα πορίσματα της έρευνας του Horpe (1988), η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει τη μέση θερμοκρασία του δέρματος, η οποία συνιστά ένα φυσικό μέγεθος που έχει εισαχθεί, για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης (Djongyang et al., 2010).

Πίνακας 3.2 Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτηρίου (Αυγελής και Παπαδόπουλος, 2007).

ο Το εξωτερικό περιβάλλον
ο Ο προσανατολισμός του κτηρίου
ο Τα υλικά κατασκευής και τα υλικά θερμομόνωσης του κτηρίου
ο Ο τρόπος αερισμού του κτηρίου (μηχανικός ή φυσικός)
ο Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτηρίου
ο Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτηρίου
ο Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης του κτηρίου
ο Ο αριθμός και ο τύπος των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτήριο και παράγουν θερμότητα (π.χ. οθόνες H/Y)
ο Ο τρόπος λειτουργίας του κτηρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτηρίου

Επίδραση στη θερμική άνεση

Σύμφωνα με τη φυσιολογία, η θερμοκρασία του δέρματος είναι ο κατάλληλος δείκτης για τη θερμική αίσθηση του περιβάλλοντος. Η θερμική άνεση όμως είναι μια ολοκληρωτική μονάδα και απεικονίζει τη συνολική θερμική κατάσταση του σώματος. Συμπληρωματικά, έχει προταθεί η εισαγωγή και άλλων φυσικών παραμέτρων για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης όπως είναι ο ρυθμός εφίδρωσης και η ξηρότητα του δέρματος.

Πέραν των εκάστοτε εσωτερικών θερμικών συνθηκών υπάρχουν και δύο μεγέθη που επηρεάζουν αποφασιστικά τη θερμοκρασία άνεσης: η μεταβολική δραστηριότητα και ο τύπος του ρουχισμού. Η μεταβολική δραστηριότητα εκφράζεται σε Watt ανά εμβαδό επιφάνειας σώματος ή σε met (1 met = 58,15 W/m²). Εάν θεωρήσουμε ότι ένας μέσος άνθρωπος έχει εμβαδόν επιφάνειας σώματος περίπου 1,8 m², τότε ο μεταβολισμός ενός μέσου ενήλικα την ώρα που αναπαύεται ισοδυναμεί με 1 met. Το είδος ενδυμασίας, με την έννοια της θερμικής αντίστασης εκφράζεται σε clo (1 clo = 0,155 m² °C/W), όπου 0 clo αντιστοιχεί σε καθόλου ρουχισμό. Στον πίνακα φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας άνεσης καθώς μεταβάλλονται τα παραπάνω μεγέθη (Horpe & Martinac, 1998).

Πίνακας 3.3 Θερμοκρασία αέρα άνεσης σε σχέση με το μεταβολισμό και τον τύπο του ρουχισμού. Οι σχετικοί υπολογισμοί έγιναν με βάση το μοντέλο MEMI - Munich Energy Balance Model for Individuals (Horpe & Martinac, 1998).

Εργασία	Μεταβολική Δραστηριότητα (W/m ²)	Ρουχισμός (clo)	Θερμοκρασία άνεσης (°C)
Ηρεμία	0	0,5	31
	0	1,0	29
Καθιστική	43	0,5	27
	43	1,0	23
Ελαφριά	100	0,5	22
	100	1,0	16
Έντονη	200	0,5	12

Συνθήκες μετρήσεων: πίεση ατμών= 10 hPa, ταχύτητα αέρα= 0,1 m/s
θερμοκρασία αέρα = μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Η επίδραση στην υγεία

Η θερμοκρασία του αέρα στους εσωτερικούς χώρους έχει μεγάλη επίδραση στην ψυχολογία, την ευημερία και την παραγωγικότητα των ανθρώπων. Η αίσθηση δυσφορίας λόγω των θερμοκρασιακών συνθηκών προκαλεί αδυναμία συγκέντρωσης και νευρικότητα.

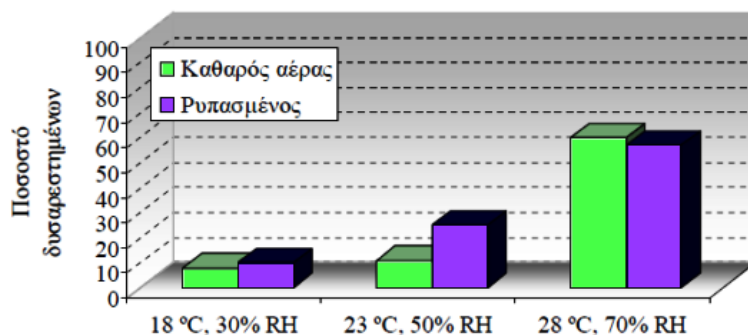
Η θερμοκρασία του αέρα, πέρα από τη θερμική όχληση που μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο, έχει αποδειχθεί ότι, κυμαινόμενη σε μη αποδεκτά επίπεδα, επιτείνει πολλά από τα συμπτώματα του συνδρόμου του άρρωστου κτηρίου – SBS (Wagner et al., 2007). Το αίσθημα ξηρασίας και ο ερεθισμός των ματιών αποτελούν δύο από τα παραπάνω συμπτώματα. Για παράδειγμα, αυξημένη θερμοκρασία αέρα σε συνδυασμό με αυξημένη ταχύτητα αέρα και χαμηλή υγρασία προκαλεί αύξηση της εξάτμισης από την επιφάνεια των ματιών, η οποία με τη σειρά της καθιστά τα μάτια πιο ευαίσθητα στα αιωρούμενα σωματίδια και σε άλλους ρύπους (Reinikainen & Jaakkola, 2003; Wolkoff et al, 2003). Επίσης, το 2002 οι Mendell et al. στην έρευνα τους έδειξαν ότι για το εύρος θερμοκρασίας

από 26 έως 22 °C η μείωση κατά 19% του ερεθισμού των ματιών συνδέεται με μείωση 1 °C της θερμοκρασίας αέρα.

Πέρα από την επιδείνωση των συμπτωμάτων SBS (κόπωση, υπνηλία, πονοκέφαλος κ.ά.), έχει βρεθεί ότι σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας (π.χ. 30 °C) σε χώρους εργασίας, μειώνεται η πνευματική απόδοση των εργαζομένων, σε σύγκριση με συνθήκες θερμικής ουδετερότητας (π.χ. 22 °C) (Lan et al., 2011). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από πληθώρα μελετών (Lan et al., 2009a; Lan and Lian, 2009b; Mendell and Mirer, 2009; Tanabe and Nishihara, 2004; Fang et al., 1998). Το 2011 οι Lan et al. προσπάθησαν να εξηγήσουν τους φυσικούς μηχανισμούς που οδηγούν στην εμφάνιση των αρνητικών επιδράσεων στην υγεία και την απόδοση, καταλήγοντας ότι η πρόκληση τους είναι ανεξάρτητη από την απόσπαση προσοχής λόγω της αίσθησης θερμικής δυσφορίας και ενδέχεται να συμβεί ακόμα και αν τα άτομα έχουν προσαρμοστεί στο θερμικό τους περιβάλλον.

Η επίδραση στην ποιότητα εσωτερικού αέρα

Επιπλέον, έχουν γίνει έρευνες, οι οποίες συσχετίζουν τη θερμοκρασία (και τη σχετική υγρασία) με την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Σημαντικές μελέτες δείχνουν ότι οι μεταβολές σε οποιονδήποτε παράγοντα μπορεί να προκαλέσουν μεταβολές στην αίσθηση των άλλων. Ως εκ τούτου, μεταβολές είτε της ποιότητας του εσωτερικού αέρα είτε του θερμικού περιβάλλοντος επιδρούν στην απόκριση των ανθρώπων. Μεταβολές στη θερμοκρασία (και υγρασία) έχει εξακριβωθεί ότι επηρεάζουν τις αντιδράσεις των ανθρώπων και την αίσθησή τους σε σχέση με το χημικό περιεχόμενο του αέρα. Αντίστοιχα, οι μεταβολές της ποιότητας του εσωτερικού αέρα μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στην αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος από τους ανθρώπους. Οι μελέτες των Fang et al. (1998a; b) καταδεικνύουν τη συσχέτιση της θερμοκρασίας (και της υγρασίας) όχι μόνο σε ό,τι αφορά τη θερμική άνεση, αλλά και την αντίληψη της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη σημαντική μείωση της αποδοχής του αέρα, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται το ποσοστό των δυσαρεστημένων ανθρώπων σε σχέση με την αίσθηση τόσο του καθαρού όσο του ρυπασμένου αέρα για τρεις κλάσεις ζευγών τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Στο διάγραμμα φαίνεται καθαρά ότι το ποσοστό των δυσαρεστημένων μειώνεται, όταν ελαττώνεται η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα.



Σχήμα 3.3 Σύγκριση του ποσοστού των δυσανεσθημένων ανθρώπων σχετικά με την αίσθηση του καθαρού αέρα και του αέρα που εμπεριέχει ρύπους για τρεις κλάσεις ζευγών τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Αναπροσαρμοσμένο από Fang et al., 1998b).

Τέλος, τα επίπεδα της θερμοκρασίας και υγρασίας μπορούν να επιδράσουν αρνητικά και ως προς το ρυθμό εκπομπής ρύπων (π.χ. VOCs) από τις πηγές τους (Cain et al., 2002). Για παράδειγμα, αυξημένη θερμοκρασία οδηγεί σε αυξημένους ρυθμούς εκπομπής φορμαλδεΐδης από τα υλικά, ενώ αντίστροφα ο ρυθμός εκπομπής φορμαλδεΐδης είναι μικρότερος, όταν τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι και αυτά χαμηλότερα (U.S. Consumer Safety Commission, 1997). Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής έρευνας των Haghghat & de Bellis (1998) δείχνουν ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η σχετική υγρασία έχουν σημαντική επίδραση στις εκπομπές αέριων ρύπων από τα χρώματα και το βερνίκι. Οι Fang et al. (1999), επίσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στο εύρος 30-70% σχετικής υγρασίας η αύξηση της τελευταίας αυξάνει σημαντικά τις χημικές εκπομπές από δύο υλικά με βάση το νερό, το ακρυλικό βερνίκι πατωμάτων και τα χρώματα τοίχου. Ωστόσο, στην ίδια έρευνα η μεταβολή της θερμοκρασίας στο εύρος 18-28 °C έχει μόνο μικρή επίδραση στις εκπομπές από 5 κοινά υλικά των κτιρίων. Η επίδραση τόσο της θερμοκρασίας όσο και της σχετικής υγρασίας στις εκπομπές είναι μεγαλύτερη τις πρώτες ώρες τοποθέτησης των υλικών, ενώ μειώνεται σημαντικά ύστερα από κάποιες ώρες.

Επιθυμητά όρια θερμοκρασίας

Τα ισχύοντα πρότυπα (θεσμοθετημένα νομικά πλαίσια) θερμικής άνεσης, καθώς και η ισχύουσα οδηγία στην Ελλάδα, τα οποία καθορίζουν την επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα για ένα χώρο ανάλογα με τη χρήση του αναλύονται στο 3.1.4.

Ωστόσο, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι λόγω του μεγάλου, κυρίως, αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας σ' ένα χώρο, αλλά και λόγω των παραγόντων που επηρεάζουν την καταγραφή αυτής της θερμοκρασίας ως άνετης ή μη για το ανθρώπινο σώμα, μία προδιαγραφή της θερμοκρασίας άνεσης είναι εξαιρετικά

δύσκολη. Συνεπώς, το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μία τιμή της θερμοκρασίας αέρα που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών της ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων (Djongyang et al., 2010).

3.1.3 Σχετική υγρασία αέρα εσωτερικού χώρου

Ο όρος υγρασία αναφέρεται στο ποσό των υδρατμών που περιέχεται στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση του εσωκλίματος και της θερμικής άνεσης, ορίζεται ως ο λόγος της υγρασίας στον αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε αν ήταν κορεσμένος σε ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, και εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό επί τοις εκατό. Η σχετική υγρασία επιδρά στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα και με τον τρόπο αυτό μεταβάλλει τη θερμοκρασία του δέρματος επηρεάζοντας έτσι το θερμικό ισοζύγιο του σώματος.

Η σχετική υγρασία ενός χώρου δε πρέπει να είναι χαμηλότερη από 30%, ενώ οι επιθυμητές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 40% - 50% με ακραία όρια 30% - 70%. Συγκεκριμένα, αν το περιεχόμενο του αέρα είναι υψηλό σε υδρατμούς (σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 60–70%) και η θερμοκρασία του αέρα υψηλή, το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Ωστόσο, η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδρατμών και έτσι ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντάς το, αδυνατώντας έτσι να αποβάλλει θερμότητα που είναι και ο μόνος τρόπος διατήρησης του θερμικού ισοζυγίου σε υψηλές θερμοκρασίες. Η κατάσταση αυτή δημιουργεί την εντύπωση υψηλότερης θερμοκρασίας και αίσθημα δυσαρέσκειας. Αντίθετα, το μικρό περιεχόμενο υδρατμών του αέρα (σχετική υγρασία μικρότερη από 30%) προκαλεί μεγάλη εξάτμιση ιδρώτα, που δημιουργεί την αίσθηση του ψύχους.

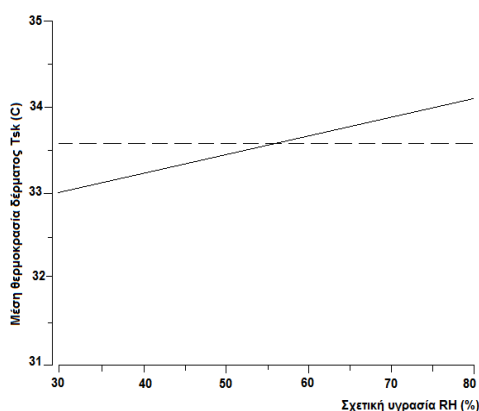
Επίδραση στη θερμική άνεση

Οι έρευνες σχετικά με την επίδραση της σχετικής υγρασίας στη θερμική άνεση στρέφονται στην εξακρίβωση της σχέσης των τιμών της σχετικής υγρασίας με το δέρμα και την αναπνευστική οδό. Σύμφωνα με τον Horpe (1988), η αύξηση της σχετικής υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος με γραμμικό τρόπο. Συγκεκριμένα, 50% μεταβολή σχετικής υγρασίας επιφέρει μεταβολή 1,2 – 1,3 °C της μέσης θερμοκρασίας δέρματος (Σχήμα 3.4). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Fanger et al. (1998a), η κατάσταση του δέρματος προκαλεί περισσότερη δυσφορία όσο αυξάνεται η σχετική υγρασία του.

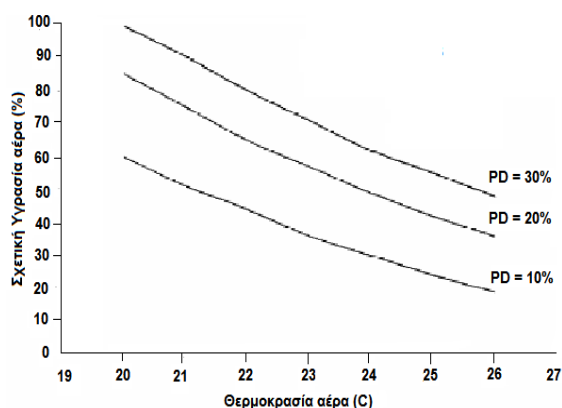
Σε γενικές γραμμές, η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς. Απ' την άλλη μεριά, όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής, εμφανίζεται αίσθημα δυσαρέσκειας και η κατάσταση του δέρματος είναι λιγότερη αποδεκτή.

Οι Fanger et al. (1998b) μελέτησαν επίσης τη σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων από την αίσθηση του αέρα στην αναπνευστική οδό. Σύμφωνα με την έρευνα, διαπιστώθηκε ότι, διατηρώντας τη θερμοκρασία του αέρα σταθερή και αυξάνοντας τη σχετική υγρασία, το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων λόγω της δυσφορίας που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό αυξάνεται. Αν πάλι η σχετική υγρασία παραμένει σταθερή και η θερμοκρασία αυξάνεται, αυξάνεται και το ποσοστό των δυσαρεστημένων ατόμων (Σχήμα 3.5).

Σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία η ικανότητα της αναπνευστικής οδού για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα, η οποία παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος, μειώνεται, και ο αέρας μοιάζει να είναι αποπνικτικός και θερμότερος απ' όσο πραγματικά είναι. Στην περίπτωση πάλι που η υγρασία του αέρα είναι πολύ χαμηλή, υπάρχει ο κίνδυνος να ξηραθούν οι βλεννώδεις μεμβράνες. Η ξηρότητα των μεμβρανών μειώνει την προστατευτική τους ισχύ και ο καθαρισμός του αέρα, μαζί με τον κλιματισμό του πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες, που γίνεται στην αναπνευστική οδό δεν είναι δυνατός.



Σχήμα 3.5 Μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος (συνθήκες μέτρησης: άνδρας 35 ετών, τύπος ρουχισμού 1 clo, μεταβολικός ρυθμός 60 W, $T_a = 20^{\circ}\text{C}$, ταχύτητα αέρα 0,05m/s) (Horpe, 1988).



Σχήμα 3.4 Σχέση που συνδέει τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική του υγρασία και το ποσοστό των δυσαρεστημένων χρηστών (10%, 20% και 30%) που συνδέεται με την αίσθηση του αέρα στην αναπνευστική οδό (Fanger et al., 1998b).

Επίδραση στην υγεία

Ορισμένες από τις επιπτώσεις που απορρέουν από την υψηλή σχετική υγρασία είναι η αίσθηση του μη φρέσκου αέρα, η εντονότερη αίσθηση διαφόρων οσμών και η δυσφορία από την αύξηση των δυνάμεων συνάφειας μεταξύ του δέρματος και των ινών των υφασμάτων των ρούχων (Reinikainen & Jaakkola, 2003). Η χαμηλή σχετική υγρασία (μικρότερη από 30%) θεωρείται υπεύθυνη για την εμφάνιση ξηρότητας του δέρματος που προκαλεί κνησμό, εξανθήματα και αλλεργικές αντιδράσεις, καθώς και για τον ερεθισμό των ματιών (Wolkoff & Kjærgaard, 2007; Sundell & Lindvall, 1993; Reinikainen et al., 1992). Το αίσθημα ξηρασίας και ο ερεθισμός των ματιών αποτελούν δύο από τα πιο κοινά συμπτώματα του συνδρόμου του άρρωστου κτηρίου (Burge, 2004; Hodgson, 2002).

Επίδραση στην ποιότητα εσωτερικού αέρα

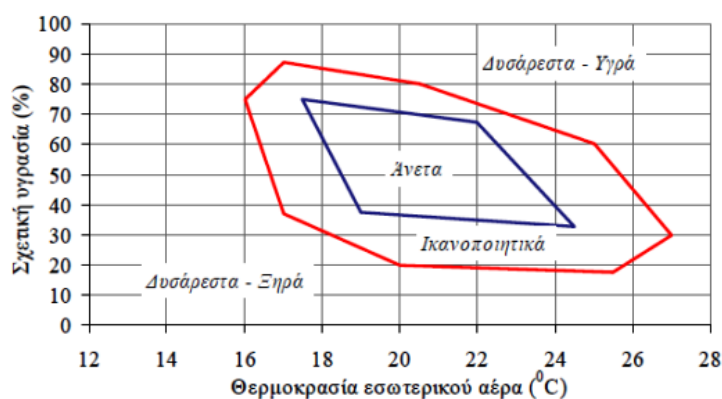
Η σχετική υγρασία συνδέεται στενά με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, διότι το δέρμα και η αναπνευστική οδός έχουν άμεση σχέση με τον αέρα και το ποσό των υδρατμών που περιέχει. Κι αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται, όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς, και αφετέρου στο γεγονός ότι η ψύξη των βλεννωδών μεμβρανών της αναπνευστικής οδού διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος και της ποιότητας του αέρα.

Στο 3.1.2 αναφερθήκαμε στην αλληλεπίδραση της ποιότητας εσωτερικού αέρα με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία, καθώς και στην αρνητική επίδραση τους στο ρυθμό εκπομπής ρύπων (π.χ. VOCs) από τα υλικά. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι, αυξημένη σχετική υγρασία οδηγεί σε αυξημένους ρυθμούς εκπομπής φορμαλδεΐδης από τα υλικά (Salthammer et al., 1995; Van Netten et al., 1989). Επίσης, η σχετική υγρασία επηρεάζει το σχηματισμό και το μέγεθος των δευτερογενών αεροζόλ και συνεπώς και την εναπόθεση τους. Σύμφωνα με τους Litvak et al. (2000), τα χαμηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας ενισχύουν την εναπόθεση των σωματιδίων μικρότερου μεγέθους, ενώ τα υψηλά επίπεδα την περιορίζουν (Fromme et al, 2007; Miguel et al, 2004).

Επιπλέον όμως η σχετική υγρασία είναι ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος για το λόγο ότι είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό και την ανάπτυξη μικροοργανισμών, που απειλούν την υγεία των ανθρώπων (Bornehag et al., 2001). Πιθανή συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα ευνοεί την ανάπτυξη μυκήτων και ακάρεων, προκαλώντας έτσι μικροβιολογική ρύπανση στο χώρο (Janko et al., 1995).

Επιθυμητά όρια σχετικής υγρασίας

Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδο της εξακολουθεί να βρίσκεται υπό διερεύνηση (Wolkoff & Kjærgaard, 2007). Όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας του αέρα, τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη θερμικής άνεσης εξαρτώνται από ένα συνδυασμό πολλών παραμέτρων. Ανάμεσα σε αυτές, ιδιαίτερα κρίσιμη για τον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας είναι η θερμοκρασία του αέρα. Τα σχετικά πορίσματα των ερευνών καταγράφονται στα διαγράμματα θερμικής άνεσης, όπως είναι αυτό της σχετικής υγρασίας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία (Σχήμα 3.6), τα οποία οριοθετούν το πεδίο θερμικής ευεξίας και προσδιορίζουν το κατάλληλο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.



Σχήμα 3.6 Πεδίο θερμικής ευεξίας καθορισμένο από τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα (Αυγελής & Παπαδόπουλος, 2007).

3.1.4 Πρότυπα θερμικής άνεσης

Με βάση τη θεωρία της θερμικής άνεσης πολλοί οργανισμοί (ASHRAE, ISO) έχουν εκδώσει πρότυπα προδιαγραφών για τον προσδιορισμό των συνιστώμενων συνθηκών, στα οποία ένα μεγάλο ποσοστό (80%) των ενοίκων θα εκτιμά το θερμικό περιβάλλον ως αποδεκτό.

Καθώς τα αποτελέσματα των ερευνών στο πεδίο της επιστήμης της θερμικής άνεσης διαρκώς ανανεώνονται, τα πρότυπα ISO 7730 και ASHRAE 55 βρίσκονται διαρκώς υπό αναθεώρηση (ISO 7730:2005, ASHRAE 55-2004) και συγκλίνουν όλο και περισσότερο μεταξύ τους. Σύμφωνα με τους De Dear και Brager (2001) «τα σύγχρονα πρότυπα θερμικής άνεσης και τα μοντέλα που τα διέπουν φιλοδοξούν να μπορούν να εφαρμοστούν εξίσου σε όλους τους τύπους κτηρίων, ανεξαρτήτως συστήματος

εξαερισμού, χωρητικότητας και κλιματικής ζώνης». Τα πρότυπα θερμικής άνεσης που ορίζονται από το ISO 7730 είναι τα πρώτα που έχουν χρησιμοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο (Djongyang et al., 2010).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, στο πλαίσιο της εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων, ένα από τα πρότυπα που τη συνοδεύει είναι το prEn 15251:2007 (CEN, 2007) που αναφέρεται στα κριτήρια για το εσωτερικό περιβάλλον και συνιστά την τελευταία εξέλιξη στο πεδίο.

Η ισχύουσα οδηγία θερμικής άνεσης στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τα ισχύοντα Ευρωπαϊκά και Εθνικά πρότυπα, το 2010, εκδόθηκαν, οι νέες Τεχνικές Οδηγίες ΤΕΕ 20701/2010 για την Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων, οι οποίες εγκρίθηκαν από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με την Αριθ. οικ. 17178/ΦΕΚ Β'1387-2010 Απόφαση και τροποποιήθηκαν το 2012 (Αριθ. οικ. 1192).

Στην τεχνική οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 καθορίζονται οι συνθήκες σχεδιασμού για κάθε κατηγορία κτηρίου και για κάθε ιδιαίτερη χρήση μέσα σε αυτό, προκειμένου να επιτυγχάνεται θερμική άνεση χωρίς σπατάλη ενέργειας. Είναι σαφές ότι, δεδομένης της υποκειμενικότητας του επιπέδου θερμικής άνεσης και των επιλογών του εκάστοτε χρήστη, οι επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων μπορεί να ποικίλλουν (οι παράμετροι ένδυσης και δραστηριότητας των χρηστών, καθώς και οι ταχύτητες εσωτερικών ρευμάτων αέρα θεωρούνται σταθερές). Ωστόσο, «για τις ανάγκες της εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης πρέπει να καθοριστούν σε εθνικό επίπεδο τα επιθυμητά όρια». Με βάση τις συνιστώμενες τιμές στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007 καθορίζονται για όλες τις κατηγορίες κτηρίων οι τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για τη χειμερινή και θερινή περίοδο (βλ. Παράρτημα V). Σε περίπτωση που μια συγκεκριμένη χρήση κτηρίου δεν συμπεριλαμβάνεται στις κατηγορίες της οδηγίας, τότε αναγκαστικά κατατάσσεται στην πλησιέστερη κατηγορία.

3.1.5 Φωτισμός

Ο φωτισμός των χώρων είναι ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το αίσθημα άνεσης και ευεξίας και μπορεί να επηρεάσει τη γενικότερη κατάσταση υγείας του ανθρώπου, είτε αλληλεπιδρώντας με άλλους παράγοντες είτε ως αυτόνομος παράγοντας (Bluyssen, 2008;

Olesen & Seelen, 1993). Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι ο καλός φωτισμός βελτιώνει τη διάθεση των εργαζόμενων και συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας.

Οι προτιμήσεις των χρηστών ενός εσωτερικού χώρου ως προς τα επίπεδα φωτισμού είναι καθαρά υποκειμενικές και εξαρτώνται από την ηλικία, το φύλο, την καταγωγή και τη χρονική στιγμή (εποχή, ώρα). Ωστόσο, κάθε δραστηριότητα απαιτεί κάποια ελάχιστη ποσότητα φωτός για την ασφαλή διενέργεια της και την εξασφάλιση της οπτικής άνεσης.

Η οπτική άνεση στο εσωτερικό ενός κτηρίου εξαρτάται από τις ανάγκες του χώρου σε φωτισμό συνδυασμένες με τη χρήση του κτηρίου και τις λειτουργικές απαιτήσεις του. Ανάλογα με τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός κτηρίου, απαιτείται ο κατάλληλος σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού ώστε να εξασφαλίζονται τα επιθυμητά αποτελέσματα, δηλαδή ένα περιβάλλον με την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα φωτισμού, που να επιτρέπει την ευχάριστη διαμονή και την εκτέλεση εργασιών, χωρίς φαινόμενα που δημιουργούν οπτική δυσφορία και κόπωση.

Φωτεινότητα ή ένταση ή στάθμη φωτισμού (illuminance) ονομάζεται το φωτιστικό αποτέλεσμα που προκαλείται σε μια επιφάνεια, η οποία δέχεται τη φωτεινή ροή μιας πηγής, και αποτελεί μέτρο της ποσότητας του φωτός. Η ένταση φωτισμού εκφράζεται σε Lux ($1 \text{ Lux} = 1 \text{ lm/m}^2$). Τα επίπεδα φωτισμού που απαιτούνται για την επίτευξη οπτικής άνεσης εξαρτώνται από την οπτική δυσκολία της εκάστοτε δραστηριότητας.

Η ποιότητα του φωτισμού εξασφαλίζεται με μια σειρά από παράγοντες όπως είναι η σωστή και ισορροπημένη κατανομή των τιμών λαμπρότητας (luminance) των επιφανειών στο χώρο, η αποφυγή φαινομένων θάμβωσης, η κατάλληλη επιλογή χρωματικής απόδοσης και θερμοκρασίας χρώματος των πηγών φωτισμού, η δημιουργία κατάλληλων αντιθέσεων.

Το ενδεχόμενο δημιουργίας θάμβωσης είναι μία από τις κύριες παραμέτρους που προσδιορίζουν την ποιότητα φωτισμού ενός εσωτερικού χώρου. Ως θάμβωση ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία υπάρχει όγληση ή αδυναμία όρασης λεπτομερειών ή αντικειμένων λόγω κακής κατανομής της φωτεινότητας των εσωτερικών επιφανειών. Θάμβωση εμφανίζεται π.χ. όταν πολύ έντονο φως προσπίπτει σε οθόνες υπολογιστών, οπότε η ανάκλαση του φωτός κάνει σχεδόν αδύνατη την εργασία. Το φαινόμενο της θάμβωσης είναι εξαιρετικά περίπλοκο και σχετίζεται με αρκετά ζητήματα, όπως είναι ο

χρόνος διάρκειας του, η αναλογία λαμπρότητας μεταξύ του αιτίου της θάμβωσης και των περιβαλλουσών επιφανειών του και οι οπτικές ιδιαιτερότητες κάθε ατόμου.

Παράλληλα, σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ενός άνετου, λειτουργικού και ευχάριστου περιβάλλοντος παίζει ο παράγοντας του φυσικού φωτισμού και η διατήρηση επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον (Bluyssen, 2008). Με τον όρο «οπτική άνεση» περιγράφεται μία θετική οπτική εμπειρία, στην οποία, εκτός από την κατανομή και την επάρκεια του φωτός, μπορούν να συντελέσουν παράγοντες όπως η ανεμπόδιστη θέα της γύρω περιοχής. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι οι εργαζόμενοι σε γενικές γραμμές προτιμούν να εργάζονται κάτω από συνθήκες φυσικού φωτισμού ακολουθώντας τις ημερήσιες μετατροπές αυτού, παρά σε σταθερά επίπεδα τεχνητού φωτισμού (Begemann et al., 1997). Η χρήση φυσικού φωτισμού ενδείκνυται, ωστόσο, να γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο, ώστε ο ένοικος να μην εκτίθεται άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων που επιτρέπουν την είσοδο του φυσικού φωτός, ενώ συνίσταται η χρήση κατάλληλων ηλιοπροστατευτικών διατάξεων για τη σκίαση των ανοιγμάτων από την ανεπιθύμητη ηλιακή ακτινοβολία και την αποφυγή της οπτικής δυσφορίας λόγω θάμβωσης.

Επίδραση στην υγεία

Ο ανεπαρκής φωτισμός των χώρων καθιστά δύσκολη την οποιαδήποτε εργασία και συμβάλλει στα ατυχήματα. Ο ακατάλληλος φωτισμός των χώρων και η θάμβωση, έχουν σαν αποτέλεσμα οι μύες των οφθαλμών να καταβάλλουν εντονότερη προσπάθεια προκειμένου να προσαρμοστούν στις συνθήκες που επικρατούν. Η προσπάθεια αυτή κουράζει τα μάτια και πολύ συχνά προκαλεί πονοκεφάλους. Η εμφάνιση των συμπτωμάτων αυτών έχει συσχετιστεί και με τη χρήση λαμπτήρων φθορισμού, λόγω της δημιουργίας φωτοχημικής ρύπανσης που προέρχεται από την αντίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας με τις οργανικές ενώσεις (Wilkins et al., 1989). Επιπλέον, ο κακός φωτισμός μπορεί να προκαλέσει και έμμεσα προβλήματα, καθώς στην προσπάθεια το άτομο να εκτελέσει μία εργασία (π.χ. να διαβάσει) πλησιάζει πιο κοντά στο αντικείμενο υιοθετώντας ασυνήθιστες στάσεις στο σώμα οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν κόπωση. Τέλος, η έλλειψη επαρκή φωτισμού στο εσωτερικό περιβάλλον επιδρά στην ψυχολογία των ενοίκων και μπορεί να προκαλέσει από άγχος, κατάθλιψη έως και κλειστοφοβικές τάσεις και κρίσεις πανικού.

Θα πρέπει, επίσης, να αναφερθεί ότι η χρήση τεχνητού φωτισμού πολύ μεγάλης έντασης, και κυρίως όταν χρησιμοποιούνται λαμπτήρες πυρακτώσεως, επηρεάζει τη θερμική άνεση, αφού προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου.

Επιθυμητά επίπεδα φωτισμού

Σε αρκετές χώρες έχουν θεσμοθετηθεί τα ελάχιστα επίπεδα φωτισμού στον εσωτερικό χώρο, ανάλογα με τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε αυτόν. Όταν ο φωτισμός ενός χώρου βασίζεται κυρίως σε τεχνητά μέσα, τα απαιτούμενα επίπεδα του προσδιορίζονται μέσω της έντασης του φωτός, λόγω της δυνατότητας των φωτιστικών διατάξεων να παρέχουν ομοιόμορφο φυσικό φωτισμό στην επιφάνεια αναφοράς καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αντίθετα, το φυσικό φως μεταβάλλεται τόσο χρονικά όσο και χωρικά, με αποτέλεσμα η ποσοτική του επάρκεια να προσδιορίζεται μόνο μέσω του παράγοντα του φυσικού φωτός. Στις περιπτώσεις χώρων με κύρια πηγή το φυσικό φωτισμό, οι απαιτήσεις στις θέσεις εργασίας είναι όμοιες με τις αντίστοιχες του τεχνητού φωτισμού.

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης το πρότυπο που καθορίζει τις αρχές σχεδιασμού του συστήματος φωτισμού σε εσωτερικούς χώρους είναι το EN 12464-1: 2002. Στο πρότυπο αυτό δίνονται λεπτομερώς τα συνιστώμενα επίπεδα για τη μέση ελάχιστη φωτεινότητα (lx) ανά χρήση χώρου, καθώς και επιπρόσθετες πληροφορίες που σχετίζονται με το σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού (βλ. Παράρτημα V). Οι συνιστώμενες αυτές τιμές ορίζονται και σε εθνικό επίπεδο, καθώς περιλαμβάνονται και στη σχετική τεχνική οδηγία του ΤΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010).

3.2 Ρύποι εσωτερικών χώρων

3.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι ένα άχρωμο, άοσμο αέριο που αποτελεί φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας. Το διοξείδιο του άνθρακα δε θεωρείται σημαντικός σα ρύπος στις συγκεντρώσεις που εμφανίζεται συνήθως στην ατμόσφαιρα, εφόσον στα επίπεδα αυτά δεν είναι επικίνδυνο για την υγεία, αποτελεί όμως μία βασική παράμετρο για την αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και της αποτελεσματικότητας του αερισμού (ASHRAE, 2004). Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί απειλή για την υγεία όταν η συγκέντρωση είναι αρκετά υψηλή ώστε να μειώσει την ποσότητα του παρεχόμενου για την αναπνοή οξυγόνου, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει ακόμα και ασφυξία σε ένα κλειστό χώρο (Jones, 1999).

Πηγές εκπομπής

Η κύρια πηγή εκπομπής CO₂ στους εσωτερικούς χώρους είναι η αναπνοή των ενοίκων. Οι άνθρωποι εκπνέουν διαρκώς CO₂, το οποίο σχηματίζεται στο σώμα κατά τη διάρκεια μεταβολικών διεργασιών (Wanner, 1993). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένας μέσος καθημένοσ άνθρωπος παράγει περίπου 0,005 l/s (18l/h) διοξειδίου του άνθρακα κατά την εκπνοή. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, επίσης, το κύριο προϊόν καύσης υλικών που περιέχουν άνθρακα, όπως είναι το φυσικό αέριο, η κηροζίνη, το ξύλο ή το κάρβουνο, τα οποία αποτελούν καύσιμα διαφόρων οικιακών συσκευών (Moriske et al., 1996). Τέλος, το CO₂ μπορεί να εισέλθει στους εσωτερικούς χώρους και από τις εκπομπές των μηχανοκίνητων οχημάτων είτε από το εξωτερικό περιβάλλον είτε από τα γκαράζ (σε ορισμένα κτήρια ο χώρος στάθμευσης στο υπόγειο επικοινωνεί με τους αγωγούς του αερισμού του κτηρίου). Ουσιαστικά δε θα ήταν λάθος να ισχυριστούμε πως το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται από τις ίδιες πηγές οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις εκπομπές μονοξειδίου στους εσωτερικούς χώρους, με εξαίρεση τις μπογιές για τη βαφή εσωτερικών χώρων.

Η ύπαρξη αυξημένων επιπέδων CO₂ σε ένα χώρο υποδηλώνει ότι ο αερισμός δεν είναι επαρκής για τα άτομα που βρίσκονται στο χώρο (Syazwan et al., 2009; Ooi et al., 1994). Επίσης, η υψηλή συγκέντρωση CO₂ υποδεικνύει την ύπαρξη άλλων ρύπων στο εσωτερικό του κτηρίου ακόμα και σε αυξημένα επίπεδα, δεδομένου ότι δεν υπάρχει αρκετή ποσότητα φρέσκου εξωτερικού αέρα για να διαλυθούν (Erdmann et al., 2002; Huber G. Wanner; 1983).

Δεδομένου ότι το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται σε υψηλές συγκεντρώσεις από τον άνθρωπο, μετριέται εύκολα και δεν απορροφάται ή εκροφάται στις διάφορες επιφάνειες όπως άλλοι ρύποι εσωτερικών χώρων, αποτελεί τον καλύτερο παράγοντα ένδειξης του αριθμού ανθρώπων σε ένα χώρο, του χρόνου που μένουν οι άνθρωποι στο χώρο αυτό και του ρυθμού αερισμού. Βάσει της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα έχουν τεθεί οι περισσότερες οδηγίες για το ρυθμό αερισμού έτσι ώστε οι άνθρωποι να μη νιώθουν δυσφορία και πονοκέφαλο (Salthammer, 2011). Παράλληλα, η συγκέντρωση του CO₂ χρησιμοποιείται ως δείκτης και για τις συγκεντρώσεις των υπόλοιπων μεταβολικών προϊόντων που προέρχονται από τον άνθρωπο, όπως είναι οι οσμές του σώματος στους εσωτερικούς χώρους (Santamouris et al, 2008; Turiel, 1983).

Αποτίμηση έκθεσης

Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην εξωτερική ατμόσφαιρα δεν παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 300 και 400 ppm (0,03%-0,04%). Σε χώρους όπου δεν υπάρχουν εστίες καύσης, η παραγωγή CO₂ από τους ενοίκους έχει ως αποτέλεσμα η συγκέντρωση του στους εσωτερικούς χώρους να υπερβαίνει την εξωτερική. Η αύξηση αυτή εξαρτάται από τον αριθμό των ενοίκων και το βαθμό της μεταβολικής δραστηριότητας που πραγματοποιείται εντός του χώρου, το ρυθμό παροχής εξωτερικού αέρα ανά άτομο, καθώς και από το χρονικό διάστημα που έχει μεσολαβήσει από τη στιγμή που τα άτομα εισήλθαν στο κτήριο (Apte et al., 2000). Οι τυπικές εσωτερικές συγκεντρώσεις CO₂ κυμαίνονται μεταξύ 350 και 2500 ppm (Seppänen et al., 1999), αλλά μπορεί να υπερβούν ακόμα και τα 3000 ppm κατά τη χρήση οικιακών συσκευών χωρίς εξαερισμό (Arashidani et al., 1996). Το τυπικό εύρος διακύμανσης του λόγου εσωτερικής προς εξωτερικής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα για τους περισσότερους χώρους είναι από 1 έως 3 (Jones, 1999).

Επιπτώσεις στην υγεία

Αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ στον αέρα μπορεί να επηρεάσουν τις αναπνευστικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού επειδή εκτοπίζουν ποσότητες οξυγόνου από τον αέρα με αποτέλεσμα να υπάρχει ανεπάρκεια οξυγόνου προκαλώντας δυσφορία ή δύσπνοια. Η επίδραση στην αναπνοή εμφανίζεται έπειτα από έκθεση σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 10.000 ppm και έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συμπτωμάτων όπως πονοκέφαλο, ζαλάδα, υπνηλία, ενοχλήσεις στα μάτια, κόπωση και αδυναμία συγκέντρωσης, συμπτώματα δηλαδή που συνδέονται άμεσα τόσο με την τοξικότητα του

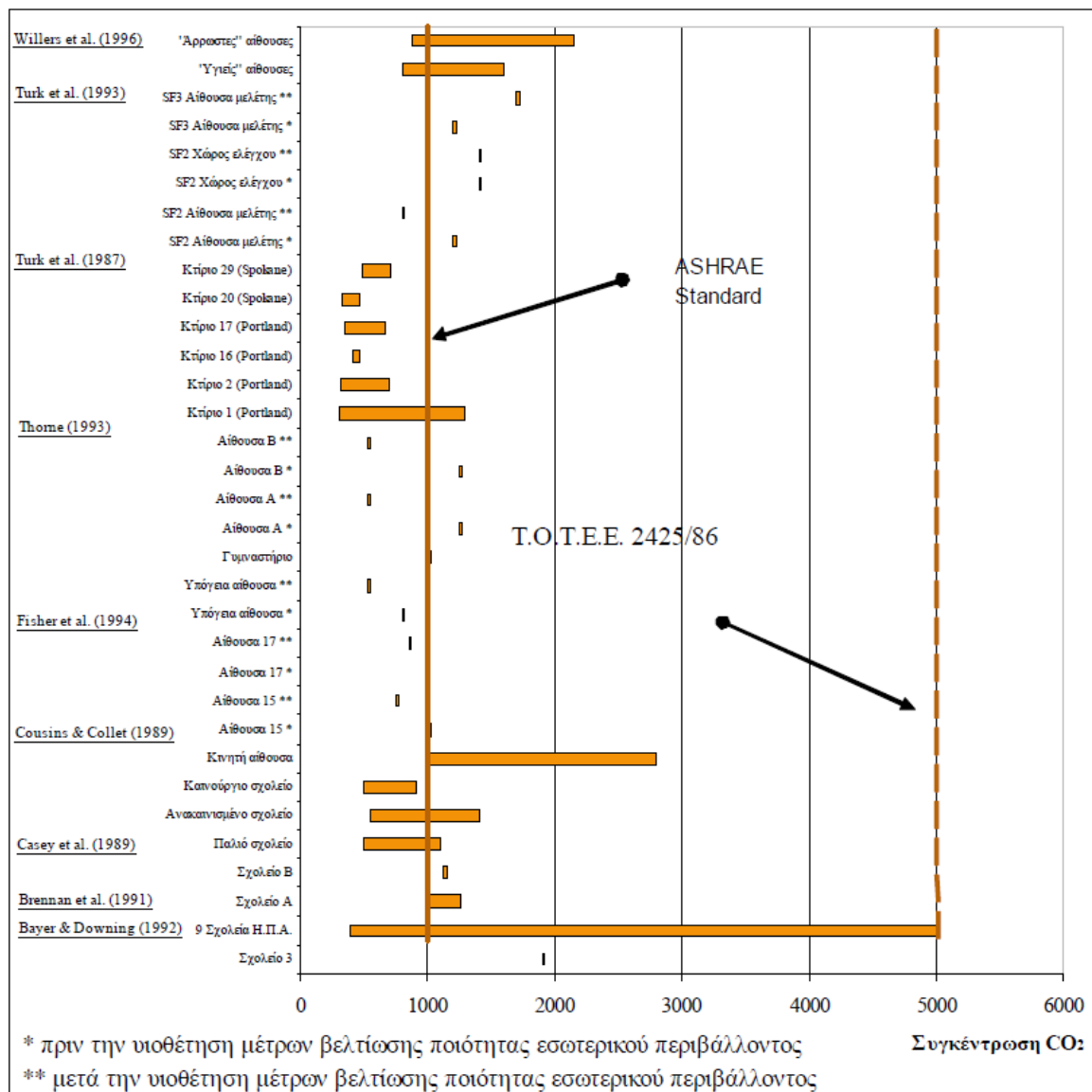
διοξειδίου του άνθρακα όσο και με την ανεπάρκεια οξυγόνου (Jones, 1999). Παρατεταμένη έκθεση σε υψηλότερες συγκεντρώσεις έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συμπτωμάτων όπως ταχυκαρδία, ναυτία, εφίδρωση, περιορισμό όρασης και ακοής, σύγχυση και αποπροσανατολισμό και μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε απώλεια των αισθήσεων. Η έκθεση σε συγκεντρώσεις της τάξης των 30.000 ppm προκαλεί δυσλειτουργίες στο νευρικό σύστημα, σπασμούς και οδηγεί σε θάνατο από ασφυξία (CCOHS, 1997).

Μακροχρόνια ή επαναλαμβανόμενη έκθεση σε μέτριες συγκεντρώσεις του ρύπου μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή καταπόνηση των νεφρών και αφάλατωση των οστών, καθώς η ρύθμιση της αυξημένης συγκέντρωσης του διοξειδίου στο αίμα ρυθμίζεται μέσω του νεφρού και του μεταβολισμού του ασβεστίου των οστών. Η χαμηλότερη συγκέντρωση όπου έχουν παρατηρηθεί προβλήματα υγείας στους ανθρώπους μετά από συνεχή έκθεση είναι περίπου στα 7000 ppm, ενώ ήδη από τα 3500 ppm ξεκινούν διαδικασίες στο ανθρώπινο σώμα που τείνουν να διαταράξουν την ισορροπία οργανικών στοιχείων στο σώμα.

Σύμφωνα με ανασκόπηση μελετών από τη βάση δεδομένων της USEPA (Erdmann et al., 2002; Apte et al., 2000; Seppänen et al., 1999), έπειτα από στατιστική ανάλυση βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ των αυξημένων επιπέδων CO₂ και της εμφάνισης συμπτωμάτων του συνδρόμου του άρρωστου κτηρίου (SBS), ανάμεσα στα οποία: πονοκέφαλος, κόπωση, ξηρότητα στα μάτια, ρινικά συμπτώματα και συμπτώματα του αναπνευστικού. Τα εξεταζόμενα κτήρια αφορούσαν σε εργασιακούς χώρους (γραφεία, εμπορικά καταστήματα) και στην πλειοψηφία αυτών η διακύμανση της συγκέντρωσης CO₂ δεν υπερέβη τα 1000 ppm. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει σχέση που να συνδέει άμεσα την έκθεση σε CO₂ και την εμφάνιση συμπτωμάτων SBS, όμως το CO₂ συσχετίζεται με την παρουσία άλλων ρύπων εσωτερικών χώρων που μπορεί να προκαλέσουν συμπτώματα SBS.

Σύμφωνα με άλλες μελέτες που έχουν ασχοληθεί με την ποιότητα αέρα σε σχολικές αίθουσες, η οποία εμφανίζει ιδιαίτερη σημασία καθώς το ανοσοποιητικό σύστημα των μαθητών είναι πιο ευπαθές από των ενηλίκων, διαπιστώθηκε πως τα υψηλά επίπεδα CO₂ συνδέονται με μειωμένη απόδοση, ικανότητα εκμάθησης και παραγωγικότητα των μαθητών καθώς και με την εμφάνιση των προαναφερθέντων συμπτωμάτων υγείας (Mendell & Heath, 2005; Daisey et al., 2003; Carrer et al., 2002, Smedje & Norback,

2000). Σε έρευνα των Shendell et al. (2004) βρέθηκε ότι μία αύξηση της συγκέντρωσης κατά 1000 ppm αντιστοιχεί σε μείωση 0,5 – 0,9% της μέσης ετήσιας προσέλευσης των μαθητών στις παραδόσεις και σε αύξηση 10 – 20% της απουσίας από τα μαθήματα.



Σχήμα 3.7 Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα σε εκπαιδευτικά κτήρια των ΗΠΑ και Καναδά σύμφωνα με ανάλυση των υπάρχουσών δεδομένων από τους Daisey et al. (2003). Σημειώνεται ότι το όριο των 1000 ppm της ASHRAE δεν ισχύει πλέον καθώς έχει αναθεωρηθεί (Παπαδόπουλος & Αυγελής, 2002).

Στο Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται μέσω ιστογράμματος η συγκέντρωση CO₂ σε εκπαιδευτικά κτήρια των ΗΠΑ και του Καναδά σύμφωνα με σχετικές δημοσιευμένες έρευνες, πολλές από τις οποίες αναφέρουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από την τιμή των 1000 ppm (Παπαδόπουλος & Αυγελής, 2002). Σημειώνεται ότι το όριο των 1000 ppm της ASHRAE που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 δεν ισχύει πλέον καθώς έχει αναθεωρηθεί από το πρότυπο 62-1999 (ASHRAE, 1999).

Όρια ασφαλείας

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τη θέσπιση των ορίων βασίζεται στο ισοζύγιο μάζας (ASHRAE, 1999) :

$$V_0 = N / (C_s - C_o), \text{ όπου}$$

- V_0 = ρυθμός αερισμού ανά άτομο (l/sec)
- N = ρυθμός παραγωγής CO₂ ανά άτομο (l/sec)
- C_s = συγκέντρωση CO₂ στον εσωτερικό αέρα
- C_o = συγκέντρωση CO₂ στον εξωτερικό αέρα

Προηγούμενα πρότυπα της American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers - ASHRAE (62 -1989), θεωρώντας ως ελάχιστο αποδεκτό όριο για το ρυθμό αερισμού την τιμή των 7,5 l/s ανά άτομο και βασιζόμενοι στην υπόθεση ότι η εξωτερική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα είναι 300 ppm, πρότειναν ως μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση για τους εσωτερικούς χώρους την τιμή των 1000 ppm.

Σύμφωνα με τα νεότερα πρότυπα ASHRAE (62-1999, 62-2001, 62-2004 και 62.1-2007), δεν προτείνεται μία οριακή τιμή αλλά συνίσταται η απόκλιση εσωτερικής - εξωτερικής συγκέντρωσης να μην υπερβαίνει τα 700 ppm. Η τροποποίηση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι τα επίπεδα CO₂ στο εξωτερικό περιβάλλον πλησιάζουν συνήθως περισσότερο τα 400 παρά τα 300 ppm. Επομένως με βάση τις υποθέσεις του προτύπου 62-1989 το όριο εσωτερικής συγκέντρωσης θα προέκυπτε 1100 ppm.

Στην Ελλάδα το όριο ασφαλείας είναι αρκετά υψηλότερο καθώς σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86) και το Προεδρικό Διάταγμα Π.Δ. 90/1999 (ΦΕΚ 94/Α/13-5-99), η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση είναι τα 5000 ppm (9000 mg/m³). Δεδομένου ότι τελευταία ενημέρωση επιτρεπτού ορίου συγκέντρωσης CO₂ από το ΤΕΕ έγινε το 1986 (ΤΕΕ 2425/86), κρίνεται αναγκαία η ενημέρωση των ελληνικών προτύπων ώστε να συμφωνούν με τα αποτελέσματα νεότερων ερευνών.

Μέτρα προστασίας

Η δραστική μείωση του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τον αποτελεσματικό αερισμό των χώρων. Η αύξηση του ρυθμού εξαερισμού ανά άτομο είναι απαραίτητη για τη μείωση της εμφάνισης των συμπτωμάτων του συνδρόμου του άρρωστου κτηρίου (SBS) στους ενοίκους αυτών. Το μέγεθος της μείωσης εξαρτάται από το βαθμό αύξησης του ρυθμού αερισμού και τη βελτίωση της απόδοσης εξαερισμού, καθώς

και από τη μείωση εκπομπής των άλλων ρύπων που προκαλούν το SBS. Μία αύξηση του ρυθμού αερισμού ικανή να μειώσει τη συγκέντρωση CO₂ στα επίπεδα του εξωτερικού αέρα, μπορεί να επιφέρει μείωση των συμπτωμάτων υγείας κατά 85% (Erdmann et al., 2002). Σημειώνεται και πάλι ότι δεν υπάρχει σχέση που να συνδέει άμεσα την έκθεση σε CO₂ με την εμφάνιση συμπτωμάτων SBS, όμως το CO₂ συσχετίζεται με την παρουσία άλλων ρυπαντών στην εσωτερική ατμόσφαιρα που μπορεί να προκαλέσουν συμπτώματα SBS.

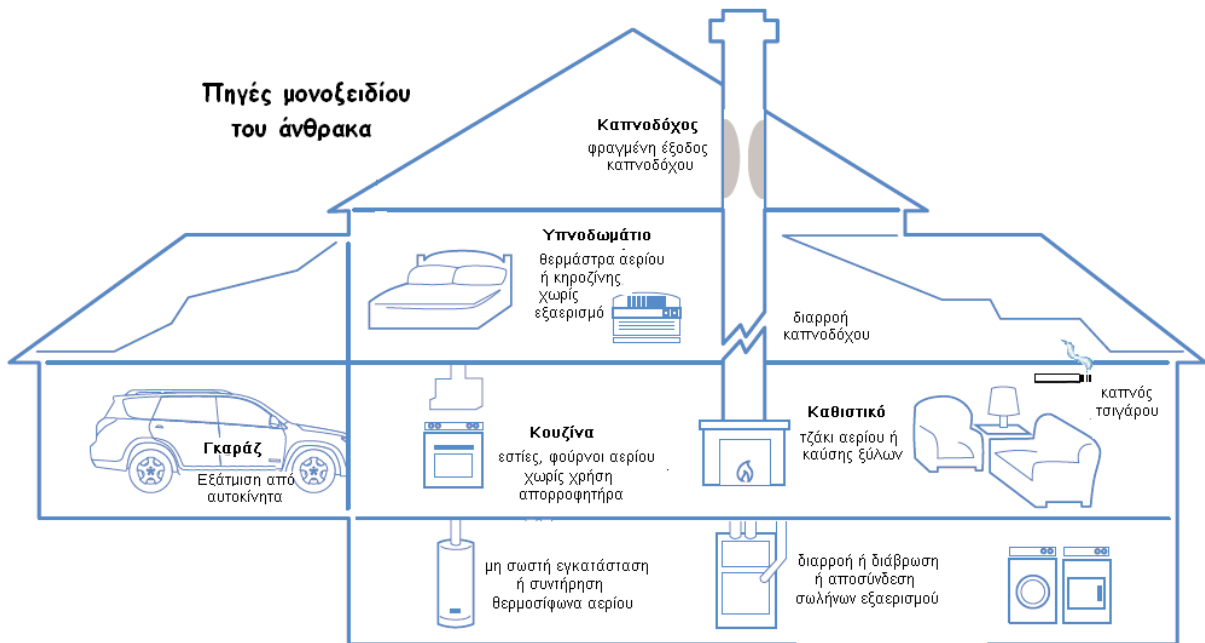
3.2.2 Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα ιδιαίτερα τοξικό μη ανιχνεύσιμο - άοσμο, άχρωμο και άγευστο - αέριο που προέρχεται από την ατελή καύση υλικών που περιέχουν άνθρακα. Λόγω της γενικής χρήσης του άνθρακα ως καύσιμο οικιακής χρήσης (φυσικό αέριο, κηροζίνη, ξύλο, pellets), είναι αυξημένος ο κίνδυνος δηλητηρίασης από το μονοξείδιο του άνθρακα σε εσωτερικούς χώρους (Schwela & Kotzias, 2005; Hoskins, 1999). Οι δηλητηριάσεις με CO μπορούν να αποβούν θανατηφόρες όπως έχει αποδειχτεί συχνά και στο παρελθόν (WHO, 2010; Raub et al, 2000; Cobb and Etzel, 1991), ενώ υπολογίζεται ότι στο CO αποδίδεται ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του συνόλου των θανατηφόρων δηλητηριάσεων που αναφέρονται διεθνώς κάθε χρόνο (Raub et al, 2000).

Πηγές εκπομπής

Στις πηγές μονοξειδίου του άνθρακα σε εσωτερικούς χώρους (Σχήμα 3.8) περιλαμβάνονται οι συσκευές θέρμανσης και μαγειρέματος (θερμάστρες κηροζίνης και αερίου, ξύλινες σόμπες, καυστήρες, καπνοδόχοι, φούρνοι, εστίες και θερμοσίφωνες αερίου) σε περιπτώσεις κακής συντήρησης των απαγωγών των αερίων καύσης ή κάποιων διαρροών, οι εκπομπές μηχανοκίνητων οχημάτων (εξατμίσεις από αυτοκίνητα στα γκαράζ των σπιτιών, διείσδυση εξωτερικής ρύπανσης από καυσαέρια αυτοκινήτων) καθώς και ο καπνός του τσιγάρου (WHO, 2010).

Επίσης μία άλλη σημαντική πηγή του μονοξειδίου είναι το χλωριούχο μεθυλένιο, ουσία που χρησιμοποιείται στα προϊόντα βαφής των εσωτερικών χώρων, ενώ σημαντικές εκπομπές παρατηρούνται και από υλικά κτιρίου πλούσια σε άνθρακα (Gold, 1992).. Τέλος, σημαντική συνεισφορά στην αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα έχει και ο ανθρώπινος μεταβολισμός, σε χώρους όπου παρατηρείται υψηλή πυκνότητα των ατόμων και μη αποτελεσματικός αερισμός.



Σχήμα 3.8 Πηγές μονοξειδίου του άνθρακα σε εσωτερικούς χώρους.



Η καύση στερεών καυσίμων και βιοκαυσίμων χαμηλής ποιότητας σε μια σόμπα ή ένα τζάκι μπορεί να παράγει υψηλά επίπεδα εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα, γεγονός το οποίο ενδέχεται να αποβεί θανατηφόρο για τους ενοίκους, εάν τα καυσαέρια δεν απάγονται μέσω καμινάδας καθ' όλη τη διαδικασία της καύσης. Κατά την έναρξη της καύσης, οι ρύποι που απελευθερώνονται αποτελούνται ως επί το πλείστον από σωματιδιακή ύλη (στοιχειακού και οργανικού άνθρακα), αλλά το μονοξείδιο του άνθρακα κυριαρχεί προς το τέλος. Η καύση καυσίμων υψηλής ποιότητας όπως είναι το φυσικό αέριο, το βουτάνιο ή το προπάνιο, συνήθως παράγει πολύ λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα, υπό την προϋπόθεση ότι παρέχεται επαρκής αέρα για την εξασφάλιση πλήρους καύσης. Ωστόσο, ακόμα και οι συσκευές που χρησιμοποιούν τα καύσιμα αυτά μπορεί να προκαλέσουν θανατηφόρο δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, εάν δε συντηρούνται σωστά ή δεν υπάρχει καλή απαγωγή αερίων ή αν η αναλογία αέρα-καυσίμου δεν έχει ρυθμιστεί σωστά (WHO, 2010).

Αποτίμηση έκθεσης

Στον ατμοσφαιρικό αέρα, οι παγκόσμιες συγκεντρώσεις υποβάθρου μονοξειδίου του άνθρακα κυμαίνονται μεταξύ 0,05 και 0,12 ppm (Λαζαρίδης, 2008). Στα αστικά κέντρα οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση και εξαρτώνται κυρίως από την κίνηση των αυτοκινήτων στην περιοχή και τις καιρικές συνθήκες. Σε πόλεις με κυκλοφοριακό

φόρτο τα επίπεδα της οκτάωρης μέσης συγκέντρωσης είναι συνήθως έως 17 ppm (EC, 1992), με πιθανές αυξήσεις μικρής χρονικής διάρκειας που μπορεί να φτάσουν τα 53 ppm.

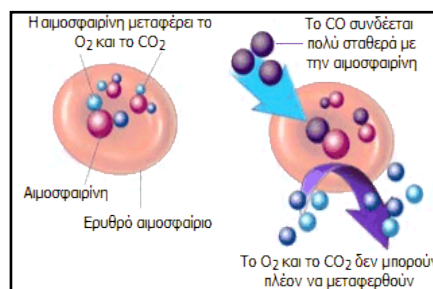
Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα σχετικά αδρανές αέριο και δεν απορροφάται από τα οικοδομικά υλικά ή τα φίλτρα των συστημάτων εξαερισμού. Συνεπώς, σε περίπτωση απουσίας εσωτερικών πηγών μονοξειδίου του άνθρακα, η συγκέντρωση του CO στον αέρα ενός εσωτερικού χώρου είναι ίση με τη συγκέντρωση του στον εξωτερικό αέρα που διεισδύει στο χώρο. Υπό τις συνθήκες αυτές, ο λόγος της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωσης (I/O) θα έπρεπε να ισούται με 1. Ωστόσο, στην πράξη το κλάσμα αυτό διαφέρει καθώς η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα του εσωτερικού αέρα στο σημείο της μέτρησης ενδέχεται να είναι αρκετά υψηλότερη ή χαμηλότερη από τη συγκέντρωση στο σημείο εισαγωγής του εξωτερικού αέρα. Συνεπώς, ακόμη και εν απουσία οποιονδήποτε εσωτερικών πηγών ο λόγος εσωτερικής προς εξωτερικής συγκέντρωσης για 15 λεπτά κυμαίνεται από 0,2 έως 4,1, ενώ ο ημερήσιος λόγος κυμαίνεται από 0,4 έως 1,2 (WHO, 2010). Οι διάφορες εσωτερικές πηγές, όπως οι συσκευές αερίου και το κάπνισμα, αυξάνουν την αναλογία I/O. Επίσης ιδιαίτερα σημαντική επίδραση στη διακύμανση της σχέσης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης έχουν οι μετεωρολογικές συνθήκες, καθώς και το σχέδιο και οι διαστάσεις του κτηρίου (Chaloulakou et al., 2003; Mark et al., 1999).

Σε εσωτερικούς χώρους χωρίς εστίες αερίου, τα μέσα επίπεδα ποικίλουν από 0,5 έως 5 ppm. Στους χώρους που βρίσκονται δίπλα σε εστίες αερίου με καλή ρύθμιση τα μέσα επίπεδα κυμαίνονται από 5 έως 15 ppm, ενώ σε εστίες με κακή ρύθμιση μπορεί να είναι 30 ppm ή υψηλότερα. Σε υπόγεια, πολυώροφα γκαράζ αυτοκινήτων και άλλους κλειστούς χώρους όπου χρησιμοποιούνται οχήματα και ο εξαερισμός δεν είναι επαρκής, τα μέσα επίπεδα ανέρχονται στα 100 ppm (115 mg/m^3) (Chow et al., 1996). Ο καπνός του τσιγάρου σε κατοικίες, γραφεία, εστιατόρια μπορεί να αυξήσει τις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα σε επίπεδα 23 - 46 mg/m^3 (Λαζαρίδης, 2008).

Επιπτώσεις στην υγεία

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι μια πολύ τοξική ουσία που έχει την ιδιότητα να δεσμεύει την αιμογλοβίνη (ή αιμοσφαιρίνη), τη χημική ουσία που εμπεριέχεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και που μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς των οργάνων. Η δέσμευση της αιμοσφαιρίνης οδηγεί στο σχηματισμό μιας περίπλοκης ένωσης, της καρβοξυαιμογλοβίνης (ή καρβοξυαιμοσφαιρίνης, COHb). Η καρβοξυαιμογλοβίνη είναι

πολύ πιο σταθερή από την αντίστοιχη ένωση που σχηματίζεται μεταξύ του οξυγόνου και της αιμογλοβίνης, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα της αιμογλοβίνης να μεταφέρει το οξυγόνο στους ιστούς των οργάνων. Οι κύριοι ιστοί που επηρεάζονται είναι αυτοί που έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη σε οξυγόνο, όπως το μυοκάρδιο και ο εγκέφαλος. Τα άτομα που παρουσιάζουν τα σημαντικότερα προβλήματα είναι οι πάσχοντες από αναπνευστικές και καρδιακές παθήσεις (Raub et al., 2000; Jones, 1999).



Σχήμα 3.9 Η τοξική δράση του CO οφείλεται στο ότι συνδέεται σταθερά με την αιμοσφαιρίνη, με αποτέλεσμα ο οργανισμός να μην μπορεί να προσλάβει οξυγόνο από τον αέρα (http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_carbonmonoxide.htm).

Πίνακας 3.4 Επίπεδα καρβοξυαιμογλοβίνης ύστερα από έκθεση σε διάφορες συγκεντρώσεις CO (WHO, 1979).

Συγκέντρωση CO (ppm)	Χρόνος έκθεσης	Επίπεδα καρβοξυαιμογλοβίνης (%)		
		καθιστή εργασία	ελαφριά εργασία	βαριά εργασία
100	15 λεπτά	1,2	2,0	2,8
50	30 λεπτά	1,1	1,9	2,6
25	1 ώρα	1,1	1,7	2,2
10	8 ώρες	1,5	1,7	1,7

Ο βαθμός δηλητηρίασης ενός οργανισμού από το CO καθορίζεται από το ποσοστό της αιμοσφαιρίνης που έχει μετατραπεί σε καρβοξυαιμοσφαιρίνη. Τα επίπεδα COHb στο αίμα ανθρώπων που δεν καπνίζουν κυμαίνονται στο 1,2 με 1,5%. Σε καπνιστές το ποσοστό αυτό είναι συνήθως περίπου 4% (τυπικό εύρος: 3 έως 8%) και δύναται να ανέρθουν ακόμα και σε 15% σε ορισμένους καπνιστές (Raub et al., 2000) ενώ το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο COHb στον ανθρώπινο οργανισμό είναι 3% (WHO, 1987). Η σχέση ανάμεσα στη συγκέντρωση CO στην ατμόσφαιρα ενός χώρου και τη συγκέντρωση COHb στο αίμα εξαρτάται από τη διάρκεια έκθεσης. Στον Πίνακα 3.4 φαίνονται τα επίπεδα καρβοξυαιμογλοβίνης που παρουσιάζουν οι άνθρωποι ύστερα από έκθεση σε διάφορες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα (WHO, 1979).

Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει χαρακτηριστεί ως σιωπηλός δολοφόνος, επειδή είναι ένα τελείως άοσμο αέριο και τα αρχικά συμπτώματα της δηλητηρίασης που προκαλεί, συχνά συγχέονται με εκείνα ενός απλού κρυολογήματος. Το αρχικό και πιο σύνηθες σύμπτωμα μικρής συγκέντρωσης CO στο αίμα, είναι η δυσλειτουργία των αισθητηρίων οργάνων και

των ψυχολογικών λειτουργιών, γεγονός που οφείλεται στην έλλειψη οξυγόνου. Σε συγκέντρωση 3% COHb εμφανίζονται ήδη ξεκάθαρα συμπτώματα εξασθένησης της όρασης. Συμπτώματα όπως πονοκέφαλος, κούραση και μειωμένη αντοχή, γίνονται φανερά όταν το ποσοστό COHb στο αίμα ξεπεράσει το 10%. Συγκεντρώσεις υψηλότερες του 20% μπορεί να προκαλέσουν ίλιγγο, ναυτία, εξάντληση, ταχυκαρδία, πόνο στο στήθος, δύσπνοια και σύγχυση. Ο συνδυασμός σωματικών και ψυχικών επιδράσεων είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος και μπορεί να αποβεί μοιραίος καθώς ο ασθενής που έχει εκτεθεί σε υψηλές συγκεντρώσεις και πάσχει από σοβαρά συμπτώματα δεν συνειδητοποιεί την κατάστασή του. Σε επίπεδα COHb πάνω από 60% δεν αποκλείονται πλέον σπασμοί, κώμα, ως και θάνατος (US EPA, 1979).

Οι περιπτώσεις προηγούμενης έκθεσης ή δηλητηρίασης με CO συχνά αφήνουν εμφανή τα σημάδια τους στο πέρασμα του χρόνου. Τα αποτελέσματα μακροχρόνιας έκθεσης σε χαμηλές συγκεντρώσεις CO εμφανίζονται με τη μορφή πονοκεφάλων, κούρασης, έλλειψη συγκέντρωσης, ζαλάδας, παραισθήσεων, πόνου στο στήθος, ενοχλήσεων στην όραση, ναυτίας, διάρροιας και γαστρικού πόνου (USEPA, 1991).

Όρια ασφαλείας

Σύμφωνα με τις οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 1987), η καρβοξυαιμογλοβίνη δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2,5 – 3% σε μη καπνιστές. Για τη διατήρηση των επιπέδων αυτών τα όρια έκθεσης που έχουν τεθεί είναι (WHO, 2000):

- 9 ppm (10 mg/m³) για 8 ώρες
- 26 ppm (30 mg/m³) για 1 ώρα
- 52 ppm (60 mg/m³) για 30 λεπτά
- 87 ppm (100 mg/m³) για 15 λεπτά

Το 2010 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας πρότεινε την προσθήκη ενός ακόμη ορίου για την πρόληψη των επιπτώσεων της μακροχρόνιας έκθεσης σε CO, σύμφωνα με το οποίο η συγκέντρωση για έκθεση 24 ωρών δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή των 6 ppm (7 mg/m³) (WHO, 2010).

Το όριο των 9 ppm για οκτάωρη έκθεση προτείνεται και από τα πρότυπα του ASHRAE (62.1-2004), καθώς και από την τεχνική οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86. Επίσης, στην Ελλάδα το Π.Δ. 90/1999 «Καθορισμός οριακών τιμών έκθεσης και ανώτατων οριακών τιμών

έκθεσης των εργαζομένων σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια της εργασίας τους» (ΦΕΚ 94/Α/13-5-99) θέτει ως μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση τα 50 ppm (55 mg/m³).

Μέτρα προστασίας

Για τη μείωση της έκθεσης στο μονοξείδιο του άνθρακα προτείνονται τα εξής μέτρα:

- ✓ Αποφυγή χρήσης πηγών καύσης σε χώρους χωρίς εξαερισμό (π.χ. συστήματα θέρμανσης χωρίς απαγωγό αερίων καύσης, εστίες ή φούρνος κουζίνας χωρίς απορροφητήρα, ψησταριές με κάρβουνα σε κλειστό χώρο).
- ✓ Καλή ρύθμιση, συχνός έλεγχος και σωστή συντήρηση των συσκευών αερίου. Προτείνεται περιοδική επιθεώρηση από ειδικούς και έλεγχος των εγκατεστημένων συσκευών ώστε τα αέρια προϊόντα τους να διοχετεύονται στον εξωτερικό χώρο. Τζάκια και καπνοδόχοι σομπών που λειτουργούν με ξύλα ή κάρβουνα θα πρέπει να καθαρίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και να επιθεωρούνται πριν την έναρξη της περιόδου χρήσης τους.
- ✓ Το αυτοκίνητο μέσα στο γκαράζ δεν πρέπει να παραμένει με τη μηχανή ανοιχτή για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- ✓ Τοποθέτηση ανιχνευτών CO με ηχητικό σήμα προειδοποίησης (Raub et al, 2000). Η



εγκατάσταση ηλεκτρονικών ανιχνευτών μονοξειδίου του άνθρακα στα σπίτια τα οποία θερμαίνονται με τζάκια, σόμπες και αλλά αυτόνομα συστήματα θέρμανσης, που βασίζονται στην καύση οργανικών υλικών μπορεί να σώσει ζωές. Ορισμένοι από αυτούς πέραν από ηχητικό σήμα προειδοποίησης παρέχουν και ενδείξεις της περιεκτικότητας του αέρα σε CO. Η εγκατάσταση των ανιχνευτών CO σε αρκετές χώρες είναι υποχρεωτική.

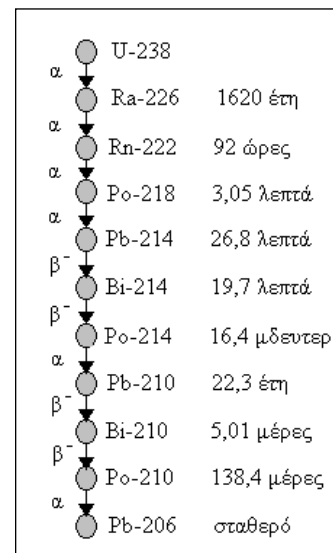
3.2.3 Ραδόνιο



Το ραδόνιο (²²²Rn) είναι ένα φυσικό ραδιενεργό στοιχείο, άγευστο, άοσμο και άχρωμο αδρανές αέριο που εκλύεται από το έδαφος και τα οικοδομικά υλικά στην ατμόσφαιρα ή διαλύεται στο υπόγειο νερό. Στο ραδόνιο και στα ραδιενεργά θυγατρικά του αποδίδεται το μισό της ετήσιας δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ο πληθυσμός του πλανήτη (UNSCEAR, 2006; 2000). Επιδημιολογικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί σε διάφορες χώρες συνδέουν τη χρόνια έκθεση σε ραδόνιο μέσω της αναπνοής, ακόμα και σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, με την

εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα (WHO, 2009), κατατάσσοντας το ραδόνιο ως το δεύτερο πιο σημαντικό ρύπο που μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του πνεύμονα μετά τον καπνό του τσιγάρου (National Academy of Sciences, 1998; ECA, 1988).

Το ραδόνιο (Rn-222) αποτελεί προϊόν της σειράς διάσπασης του ραδιενεργού στοιχείου: ουράνιο (U-238), το οποίο αποτελεί πρωταρχικό στοιχείο του γήινου φλοιού (ο αριθμός είναι η ατομική μάζα που δηλώνει το άθροισμα πρωτονίων και νετρονίων στον πυρήνα). Συγκεκριμένα, το ραδόνιο παράγεται με α διάσπαση του ασταθούς ισοτόπου του ραδίου Ra-226 και δίνει ένα σύνολο ισοτόπων που είναι γνωστά ως θυγατρικά ισότοπα του ραδονίου. Η διάσπαση του ραδονίου και η δευτερεύουσα διάσπαση των θυγατρικών του ολοκληρώνονται με το σχηματισμό σταθερού μολύβδου (βλ. Σχήμα 3.10). Τα διάφορα ισότοπα του ραδονίου είναι παρόντα παντού, άλλοτε σε μικρές και άλλοτε σε μεγάλες συγκεντρώσεις, στα διάφορα περιβαλλοντικά τμήματα όπως στον αέρα, στο νερό και στο χώμα.



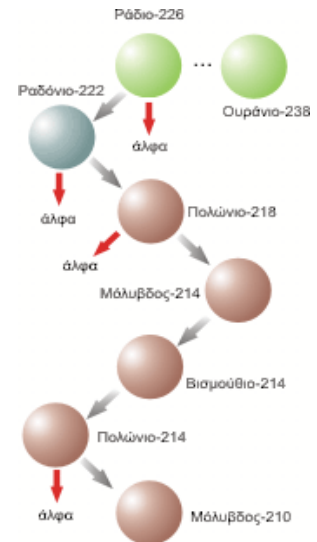
Σχήμα 3.10 Σειρά διάσπασης του ραδιενεργού στοιχείου ουρανίου (U-238), προϊόντα της οποίας αποτελούν ένα σύνολο βραχύβιων και μακρόβιων ισότοπων.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό του ραδονίου σε σχέση με τα άλλα στοιχεία στα οποία διασπάται το ουράνιο είναι το ότι πρόκειται για ένα ευγενές αέριο. Μόλις σχηματιστεί μέσα σε ένα υλικό που περιέχει το στοιχείο ράδιο, το άτομο του ραδονίου κινείται σχετικά ελεύθερα διαμέσου των πόρων του υλικού, διαχεόμενο στο χώρο ή μεταφερόμενο από το έδαφος, και λόγω του σχετικά μεγάλου χρόνου ημιζωής του (3,8 ημέρες) προλαβαίνει να εισέλθει σε εσωτερικούς χώρους καθώς η πίεση στο εσωτερικό του κτιρίου είναι χαμηλότερη από εκείνη στο εξωτερικό του. Θεωρείται ότι ο χρόνος που χρειάζεται για τη μετακίνησή του είναι μικρότερος από το χρόνο που απαιτείται για να διασπαστεί στα θυγατρικά του προϊόντα. Στη συνέχεια, με τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα, το ραδόνιο μεταφέρεται στα υψηλότερα πατώματα. Λόγω λοιπόν της σχετικά μεγάλης διάρκειας ημιζωής και της έλλειψης χημικής δράσης, το ίδιο το ραδόνιο συμπεριφέρεται σαν ένας σταθερός ρύπος, του οποίου η συγκέντρωση καθορίζεται από την ταχύτητα εισόδου και αερισμού. Επιπλέον, το ραδόνιο που προκύπτει από το έδαφος, βγαίνει στην ατμόσφαιρα κάνοντας εφικτή την παρουσία του και έξω από τους κλειστούς χώρους. Βέβαια, λόγω της

έντονης διάχυσής του οι τιμές συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μικρότερες από αυτή στους εσωτερικούς χώρους.

Επιπτώσεις στην υγεία

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του ραδονίου είναι ότι διασπάται σε μικρό χρόνο στα θυγατρικά του ισότοπα τα οποία σε αντίθεση με αυτό είναι χημικά δραστικά και ζουν σχετικά λίγο. Τα πέντε βήματα διάσπασης του Ra-222 μέχρι και τη διάσπαση στο μόλυβδο Pb-210 (Σχήμα 3.11) πραγματοποιούνται σε 50 λεπτά της ώρας και τα προϊόντα που δίνουν είναι αυτά που αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Τα τέσσερα στερεά ραδιενεργά στοιχεία που ακολουθούν το ραδόνιο δεν είναι αδρανή αέρια και λίγο μετά το σχηματισμό τους προσκολλώνται σε σωματίδια αεροζόλ και λόγω του μικρού χρόνου ημιζωής τους (περίπου 30 λεπτά), αν συσσωρευτούν στους πνεύμονες κατά την εισπνοή μαζί με τον αέρα προλαβαίνουν να διασπαστούν προτού απομακρυνθούν με την εκπνοή. Η ακτινοβολία (σωματίδια άλφα και βήτα) που απελευθερώνεται από τη διάσπαση των τεσσάρων αυτών στοιχείων μέσα στους πνεύμονες μπορεί να



Σχήμα 3.11 Διάσπαση ραδονίου στα θυγατρικά του ισότοπα με απελευθέρωση α ή β ακτινοβολίας



προκαλέσει γενετικές βλάβες, καρκινογόνες μεταλλάξεις και καταστροφή στον ιστό των πνευμόνων (Λαζαρίδης, 2008). Μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου προκαλεί καρκίνο του πνεύμονα (Radford, 1985; WHO, 2009). Επίσης έχουν βρεθεί

συνεργιστικά φαινόμενα που σχετίζονται με την ταυτόχρονη έκθεση του ανθρώπου σε ραδόνιο και καπνό τσιγάρου τα οποία δείχνουν ότι, η πιθανότητα ανάπτυξης καρκίνου του πνεύμονα είναι έως 10 φορές μεγαλύτερη για τους καπνιστές (National Academy of Sciences, 1998; Bergman et al, 1986).

Πηγές εκπομπής

Όπως έχει ήδη ειπωθεί ο άνθρωπος εκτίθεται στην ακτινοβολία του ραδονίου και των θυγατρικών του συνεχώς σε όλες τις δραστηριότητες της καθημερινής του ζωής αφού το ραδόνιο εκλύεται από όλα σχεδόν τα υλικά που αποτελούν το στερεό φλοιό της γης. Κύριες λοιπόν πηγές εκπομπής ραδονίου στο εσωτερικό μίας κατοικίας αποτελούν το

έδαφος κάτω από την κατοικία και τα οικοδομικά υλικά αφού αυτά περιέχουν το ισότοπο Ra-226 που παράγει με τη διάσπασή του το ραδόνιο. Το ραδόνιο που εκλύεται από το έδαφος έχει πολλές οδούς εισόδου σε ένα κτήριο: τις μικρορωγμές στα τσιμεντένια δάπεδα, τα κενά ή τις ρωγμές στους τοίχους, τα κενά στα σημεία σύνδεσης τοίχου και δαπέδου, τα διάκενα στα ξύλινα πατώματα, τα κενά στα σημεία εισόδου σωλήνων ύδρευσης και αποχέτευσης, τα διάκενα στις πόρτες και στα παράθυρα. Όσον αφορά τα δομικά υλικά, τα κοινά υλικά όπως το ξύλο, τα τούβλα και το τσιμέντο εκλύουν σχετικά μικρές ποσότητες ραδονίου. Υπάρχουν, ωστόσο, υλικά όπως ο γρανίτης και ορισμένα είδη πέτρας που είναι ιδιαίτερα ραδιενεργά, όπως οι αργιλικοί σχιστόλιθοι. Ο γύψος επίσης που προέρχεται από τη κατεργασία των ορυκτών του φωσφορίτη είναι πολύ περισσότερο ραδιενεργός από το φυσικό γύψο. Δευτερεύουσα σημασίας πηγή ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους αποτελεί και η παροχή του νερού (εξάτμιση από το νερό της βρύσης) το οποίο μεταφέρει το ραδόνιο που απορρέει από τα γύρω πετρώματα του υδροφόρου ορίζοντα μέσω των αγωγών μεταφοράς (Hopke et al, 2000; Cross et al, 1985).



Σχήμα 3.12 Δίοδοι μεταφοράς ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους κτηρίων (http://www.texnikos.gr/blog_image/radon.jpg).

Το έδαφος συνεισφέρει πολύ περισσότερο (56%) στην συγκέντρωση του ραδονίου από ότι τα οικοδομικά υλικά (21%) (UNSCEAR, 1993). Αυτός είναι και ο λόγος που το ραδόνιο αποτελεί μεγαλύτερο παράγοντα επικινδυνότητας σε εσωτερικούς χώρους που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, όπως υπόγεια σπιτιών, σε σχέση με των υψηλότερων ορόφων όπου και παρατηρούνται χαμηλότερες συγκεντρώσεις (Zunic et al., 2007; Bochicchio et al., 2005; Papaefthymiou et al., 2003; Nikolopoulos et al., 2002; Khan, 2000; Ioannides et al., 2000; Kritidis et al., 1994).

Παράγοντες επίδρασης

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωση της συγκέντρωσης του ραδονίου στον εσωτερικό χώρο ενός κτιρίου είναι: η γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής, η συγκέντρωση του ραδίου στο έδαφος και τα οικοδομικά υλικά, η

διαπερατότητα και το πορώδες του εδάφους, ο ρυθμός εκροής ραδονίου από το έδαφος, το είδος θεμελίωσης της οικοδομής, το ύψος της κατοικίας, η εκροή του ραδονίου από τα οικοδομικά υλικά, ο εξαερισμός και η διαφορά πίεσης ανάμεσα στο εσωτερικό του κτιρίου και στο εξωτερικό περιβάλλον λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς (Hámori et al., 2006; Durrani & Ili, 1997; Sundell, 1982). Ιδιαίτερη σημασία στη διαμόρφωση της συγκέντρωσης ραδονίου έχει και η παλαιότητα του κτηρίου (Galleli et al., 1998). Το γεγονός συνδέεται με τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν και αποδίδεται στην κατασκευή κτηρίων μεγαλύτερης αεροστεγανότητας και στη χρήση διαφορετικών δομικών υλικών (σκυρόδεμα αντί για ξύλο) που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαπερατότητας στα σύγχρονα κτήρια

Σε μια ορισμένη τοποθεσία, η διακύμανση (ημερήσια, εποχιακή) της συγκέντρωσης του ραδονίου εξαρτάται από τους μετεωρολογικούς παράγοντες (βαρομετρική πίεση, βροχόπτωση, θερμοκρασία, αέρας), που επηρεάζουν το ρυθμό εκπομπής των αερίων από το χώμα και το ρυθμό διάλυσής τους στην ατμόσφαιρα (ο ρυθμός εκπομπής του ραδονίου από το έδαφος αυξάνεται στη διάρκεια περιόδων χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης και μειώνεται όταν η υγρασία του εδάφους είναι υψηλή), και την ανθρώπινη δραστηριότητα (άνοιγμα παραθύρων και πόρτας) που καθορίζει το ρυθμό εξαερισμού (Clouvas et al., 2011; Hámori et al., 2006; Rydock et al., 2001; Riley et al., 1999).

Η κύρια τάση που παρατηρείται στις χώρες της Μεσογείου, καθώς και σε άλλες χώρες, είναι να επικρατούν μέγιστες τιμές συγκέντρωσης ραδονίου το χειμώνα και ελάχιστες το καλοκαίρι (Udovicic et al., 2009; Zunic et al., 2007; Papaefthymiou et al., 2003; Ramola et al., 1998; Papastefanou et al., 1994). Στην χειμερινή περίοδο, γενικά, ισχύει ότι οι πόρτες και τα παράθυρα των κατοικιών παραμένουν συνήθως κλειστά με αποτέλεσμα ο ρυθμός εναλλαγής αέρα να είναι ανεπαρκής και οι συγκεντρώσεις ραδονίου να είναι υψηλότερες σε σχέση με τις άλλες εποχές. Ένας άλλος λόγος θα μπορούσε να είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ των εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην χειμερινή περίοδο, το ραδόνιο διαφεύγοντας από το έδαφος εισέρχεται στο εσωτερικό περιβάλλον, λόγω της χαμηλότερης πίεσης που επικρατεί σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον, ως αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής διαφοράς. Για τους αντίστοιχους λόγους η συγκέντρωση του ραδονίου κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα τη θερινή περίοδο.

Αποτίμηση έκθεσης

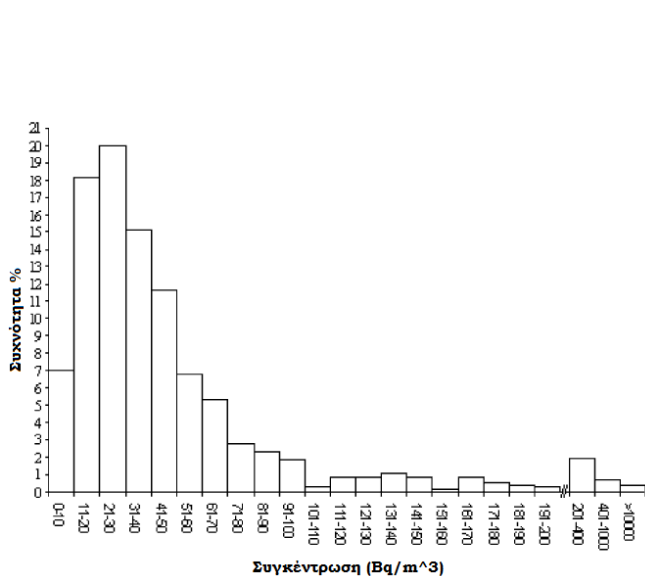
Ο προσδιορισμός της έκθεσης ενός ανθρώπου σε ραδόνιο μπορεί να γίνει με τη μέτρηση της ραδιενέργειας στον αέρα. Η μονάδα που χρησιμοποιείται συνήθως στην Ευρώπη είναι το Becquerel (Bq), που είναι η ειδική ονομασία της μονάδας ραδιενέργειας στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI), και η συγκέντρωση ραδονίου εκφράζεται σε Bq/m³. Μία άλλη μονάδα που χρησιμοποιείται ευρέως, κυρίως στις Η.Π.Α. και τον Καναδά, είναι το Curie (Ci), που ορίζεται ως ο αριθμός ραδιενεργών διασπάσεων στη μονάδα του χρόνου και ισούται με $3,7 \times 10^{10}$ διασπάσεις το δευτερόλεπτο ($1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$). Μία πρακτική μονάδα μέτρησης είναι το 1 pCi που ισούται με 10^{-12} Ci . Η συγκέντρωση του ραδονίου εκφράζεται σε pCi/l.

Η μέση συγκέντρωση ραδονίου, εκφρασμένη σε pCi/l, μέσα σε εσωτερικούς χώρους είναι περίπου 1 pCi/l και σε εξωτερικούς χώρους 0,2 pCi/l (εύρος 5 έως 15 Bq/m³), ενώ οι τυπικές τιμές εκπομπής στο εσωτερικό σπιτιών κυμαίνονται από 0,01 έως 10 pCi/(l h) (Λαζαρίδης, 2008). Για την μέτρηση των επιπέδων ραδονίου στους εσωτερικούς χώρους έχουν διεξαχθεί έρευνες σε διάφορες χώρες (Bochicchio et al., 2005; Sarrou and Pashalidis, 2003; WHO, 2001; UNSCEAR, 2000; Marcinowski et al., 1994; Langroo et al., 1991). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες ο αριθμητικός μέσος της κατανομής συγκέντρωσης ραδονίου ανέρχεται στα 46 Bq/m³, στην Ιαπωνία στα 16 Bq/m³ και στη Γαλλία στα 62 Bq/m³. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υψηλών συγκεντρώσεων αποτελούν η Σουηδία (108 Bq/m³), όπου επί πολλές δεκαετίες οι εξαιρετικά ραδιενεργοί αργιλικοί σχιστόλιθοι αποτελούσαν την πρώτη ύλη για τσιμέντο, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζεται στην Τσεχία (140 Bq/m³) λόγω της φυσικής ραδιενέργειας των πετρωμάτων. Σύμφωνα με την έκθεση της UNSCEAR (2000) η μέση τιμή για την παγκόσμια συγκέντρωση ραδονίου είναι 40 Bq/m³, ενώ η μέση ετήσια απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας για το ραδόνιο και τα θυγατρικά του βρέθηκε 1 mSv.

Στην Ελλάδα επίσης έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες αποτίμησης των επιπέδων διακύμανσης ραδονίου (Clouvas et al., 2011; 2009; 2007, Papaefthymiou and Georgiou, 2007; Papastefanou et al., 1994). Η σχετικά μεγαλύτερη έρευνα πραγματοποιήθηκε το διάστημα από 1995 έως 1998 σε 1277 κατοικίες από τους Nikolopoulos et al. (2002), τα αποτελέσματα της οποίας συνοψίζονται στο ιστόγραμμα (βλ. Σχήμα 4). Στην έρευνα αυτή η μέση συγκέντρωση ραδονίου βρέθηκε ίση με 55 Bq/m³, ενώ σύμφωνα με την έκθεση της UNSCEAR (2000), η μέση τιμή για την Ελλάδα είναι 73 Bq/m³. Παρότι η συγκέντρωση

για την Ελλάδα και στις δύο έρευνες βρέθηκε υψηλότερη του παγκόσμιου μέσου όρου, η μέση ετήσια απορροφούμενη δόση (0,8 mSv) βρέθηκε μικρότερη από τη μέση παγκόσμια σύμφωνα με τους Νικολοπουλος et al. (2002).

Τέλος, σε τοπικό επίπεδο αναφέρεται ότι, για το νομό Χανίων συγκεκριμένα, η τιμή συγκέντρωσης βρέθηκε 56 Bq/m³ (αριθμητικός μέσος όρος), ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι, όπως φαίνεται και στο χάρτη (Σχήμα 3.14), οι Βρύσσες Αποκορώνου Χανίων είναι μία από τις δύο πιο επιρρεπείς περιοχές σε υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου (Nikolopoulos et al., 2002).



Σχήμα 3.13 Κατανομή συχνότητας των συγκεντρώσεων ραδονίου σε ελληνικές κατοικίες (1277 δείγματα) σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Νικολοπουλος et al. (2002).



Σχήμα 3.14 Χάρτης της Ελλάδος με σημειωμένες τις περιοχές δειγματοληψίας της έρευνας των Νικολοπουλος et al. (2002), καθώς και τις τοποθεσίες όπου έχουν σημειωθεί υψηλές τιμές συγκέντρωσης ραδονίου. Οι πιο «επιρρεπείς» περιοχές είναι η Αρναία Χαλκιδικής και οι Βρύσσες Αποκορώνου Χανίων.

Όρια ασφαλείας

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, λαμβάνοντας υπόψη τις προτάσεις της Διεθνούς Επιτροπής Ακτινοπροστασίας (ICRP), εξέδωσε το 1990 την σύσταση «Προστασία του πληθυσμού από την έκθεση στο ραδόνιο μέσα στα κτήρια» (90/143/Euratom), η οποία αποσκοπεί στην καθιέρωση από τα κράτη-μέλη ενός κατάλληλου συστήματος για τον περιορισμό της έκθεσης λόγω συγκέντρωσης ραδονίου μέσα στα κτήρια. Σύμφωνα με την Ε.Ε., τα επίπεδα δράσης για τη λήψη μέτρων όσον αφορά στη συγκέντρωση ραδονίου στον εσωτερικό αέρα των κατοικιών είναι: 400 Bq/m³ για τις υπάρχουσες κατοικίες (πριν το 1990) και 200

Bq/m³ για τις καινούριες κατοικίες (μετά το 1990) (EC, 1990). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, τα επίπεδα ραδονίου δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 100 Bq/m³ σε καινούριες κατοικίες (WHO, 2009), ενώ σύμφωνα με την Αμερικάνικη Επιτροπή Περιβάλλοντος, ασφαλής συγκέντρωση ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους για έκθεση στον άνθρωπο στη διάρκεια της ζωής του (70 χρόνια) θεωρούνται τα 4 pCi/l (ή 148 Bq/m³) (EPA, 2003).

Μέτρα προστασίας

Η μείωση της έκθεσης του ανθρώπου σε ραδόνιο στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να επιτευχθεί με τον κατάλληλο σχεδιασμό και κατασκευή μονωμένων – αεροστεγών κτιρίων στο επίπεδο επαφής τους με το έδαφος. Επίσης συνίσταται η μη χρήση οικοδομικών υλικών πλουσίων σε ράδιο. Όσον αφορά τα νεόδμητα ή υπό κατασκευή κτίρια υπάρχουν δύο βασικοί κατασκευαστικοί τρόποι περιορισμού του ραδονίου, η αεριζόμενη θεμελίωση, η οποία συνίσταται στη δημιουργία ενός δεύτερου δαπέδου πάνω από το δάπεδο του υπογείου (με ενδιάμεσο κενό), και η χρήση στεγανοποιητικών μεμβρανών που δημιουργεί ένα φράγμα που εμποδίζει την είσοδο ραδονίου από το έδαφος. Αποτελεσματική είναι επίσης η εγκατάσταση ενός δικτύου φρεατίων και αεραγωγών στους θεμέλιους χώρους, με σκοπό τη διοχέτευση του ραδονίου από το έδαφος στην ατμόσφαιρα (Bjørn, 2012; US EPA, 2009; WHO, 2009). Ωστόσο για τα ήδη υπάρχοντα κτίσματα η σφράγιση των ρωγμών στη βάση του κτιρίου και η εγκατάσταση συστήματος αερισμού σε υπόγεια και ισόγεια μπορεί να πετύχει σημαντική μείωση των επιπέδων ραδονίου στον εσωτερικό χώρο (Λαζαρίδης, 2008). Ο απλούστερος τρόπος βέβαια, που μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και σε κτήρια χωρίς μηχανικό εξαερισμό και έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικός, είναι ο φυσικός αερισμός των εσωτερικών χώρων, όποτε αυτό είναι δυνατό (Thomas & Yu, 2000).

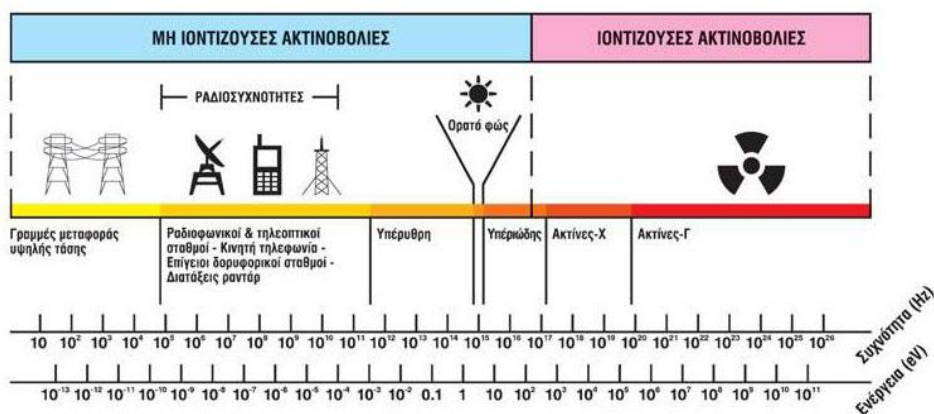
3.2.4 Ακτινοβολία γ

Η ανάγκη για τον καθορισμό του επιπέδου γ ακτινοβολίας προερχόμενης από φυσικές πηγές είναι ιδιαίτερα σημαντική για την προστασία της δημόσιας υγείας, καθώς στη φυσική ακτινοβολία αποδίδεται το μεγαλύτερο ποσοστό της ετήσιας δόσης ραδιενέργειας που δέχεται ο άνθρωπος. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας γ προέρχεται από τα ραδιονουκλίδια του εδάφους (UNSCEAR, 2000).

Γενικά για τις ακτινοβολίες

Η ακτινοβολία είναι ενέργεια σε μορφή κυμάτων ή κινούμενων υποατομικών σωματιδίων. Όλοι δεχόμαστε ακτινοβολία από ένα μεγάλο σύνολο φυσικών και τεχνητών πηγών που βρίσκονται παντού γύρω μας. Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την ύπαρξη μόνο μιας πολύ μικρής περιοχής του φάσματος των ακτινοβολιών (Σχήμα 3.15): το ορατό φως μέσω της όρασης και τις υπέρυθρες ακτινοβολίες μέσω της θερμότητας. Οι υπόλοιπες ακτινοβολίες ήταν μέχρι πρότινος άγνωστες για τον άνθρωπο. Ο κόσμος τους άρχισε να γίνεται αντιληπτός τον τελευταίο αιώνα, λόγω της ανάπτυξης τεχνητών μέσων ανίχνευσής τους.

Η ακτινοβολία επιδρά στον οργανισμό κατά τρόπο πολύπλοκο, άλλοτε ευεργετικά και άλλοτε βλαβερά, ανάλογα με το είδος, την έντασή της και την ενέργεια που μεταφέρει (ICRP, 1992). Διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την ενέργεια και την επίδρασή της στην ύλη: την ιοντίζουσα και τη μη ιοντίζουσα.



Σχήμα 3.13 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (<http://www.eeae.gr>).

- Ιοντίζουσες είναι οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι γνωστότερες ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτίνες Χ που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική, καθώς και οι ακτινοβολίες α, β, και γ που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων.
- Μη ιοντίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες σε συχνότητες που μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, μη ικανή να προκαλέσει ιοντισμό, ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό, που μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία του. Στις ακτινοβολίες αυτές εντάσσονται: τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον

διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών (π.χ. σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας), κεραίες ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, συστημάτων ραντάρ κ.ά., η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία.

Ιοντίζουσες ακτινοβολίες

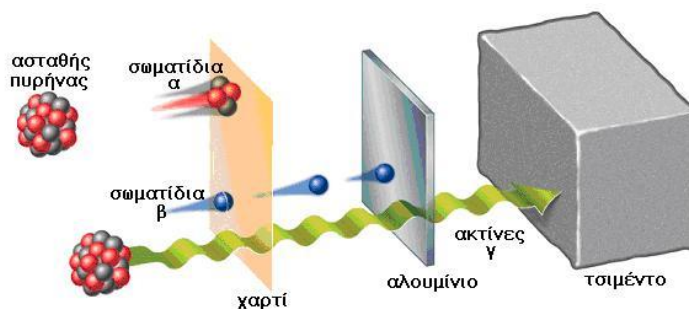
Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο του ιονισμού αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των ιονίζουσων ακτινοβολιών και οφείλεται στην μεγάλη ενέργεια την οποία μεταφέρουν. Ιοντισμός ενός ουδέτερου ατόμου είναι η βίαιη απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από τις ηλεκτρονικές ατομικές στοιβάδες του, λόγω κάποιου εξωτερικού αιτίου, με αποτέλεσμα την παραγωγή δυο αντίθετα φορτισμένων ιόντων, του θετικού ατόμου και του αρνητικού ηλεκτρονίου. Η ιονίζουσα ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια μεγαλύτερη από 10 eV. Ως 1 eV ορίζεται η ενέργεια εκείνη, η οποία προσδίδεται σε ένα σωματίδιο φορτίου e , όταν αυτό κινηθεί μέσα σε διαφορά δυναμικού ενός Volt.

Ιονίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες είναι οι ακτινοβολίες X και γ και ιονίζουσες σωματιδιακές ακτινοβολίες είναι η α και β . Η διαφορά μεταξύ ηλεκτρομαγνητικής και σωματιδιακής ακτινοβολίας έγκειται στο ότι η πρώτη μεταφέρεται υπό μορφή κύματος, ενώ η δεύτερη αποτελείται από σωματίδια, το είδος των οποίων καθορίζει και το είδος της σωματιδιακής ακτινοβολίας. Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι διεισδυτικές. Η διεισδυτικότητά τους στην ύλη εξαρτάται από το είδος τους και την ενέργεια που μεταφέρουν, ενώ η διεισδυτικότητα ενός είδους ακτινοβολίας μέσα σε δεδομένο υλικό είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η μάζα και το φορτίο της ακτινοβολίας. Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των ακτινοβολιών α , β , γ και X, ενώ στο Σχήμα 3.16 παρουσιάζεται η διεισδυτική τους ικανότητα, καθώς και τα υλικά από τα οποία αποκόπτονται.

Η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία στην ύλη ανά χιλιόγραμμο μάζας καλείται δόση ακτινοβολίας. Η πιθανότητα βλάβης της υγείας σχετίζεται άμεσα με τη δόση και το είδος της ακτινοβολίας, καθώς και το είδος του ιστού.

Πίνακας 3.5. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ιοντίζουσων ακτινοβολιών α, β, γ και X.

<p>ακτινοβολία α</p>	<p>Σωματιδιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες υπό τη μορφή των σωματιδίων α, τα οποία είναι όμοια με τον πυρήνα του ηλίου (^4He) και αποτελούνται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Έχει μικρή διεισδυτικότητα και μπορεί να αποκοπεί από ένα φύλλο χαρτί. Είναι δύσκολα ανιχνεύσιμη και αποτελεί σημαντικό κίνδυνο εσωτερικής έκθεσης.</p>
<p>ακτινοβολία β</p>	<p>Σωματιδιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες υπό τη μορφή αρνητικών φορτισμένων ηλεκτρονίων (e^-). Είναι πιο διεισδυτική από την ακτινοβολία α, αλλά μπορεί να αποκοπεί από φύλλα πλαστικού ή λεπτά μεταλλικά φύλλα. Αποτελεί κίνδυνο εξωτερικής έκθεσης ματιών και δέρματος και κίνδυνο εσωτερικής έκθεσης. Ο βαθμός ανίχνευσης εξαρτάται από την ενέργεια των β σωματιδίων.</p>
<p>ακτινοβολία X ή γ</p>	<p>Ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες υψηλής ενέργειας, της ίδιας φύσης αλλά διαφορετικής προέλευσης. Η X παράγεται στις ηλεκτρονικές στιβάδες των ατόμων, ενώ η γ παράγεται στους πυρήνες των ατόμων. Για θωράκιση χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί χάλυβας, μόλυβδος ή σκυρόδεμα (ή ένας συνδυασμός). Είναι πολύ πιο διεισδυτικές από την β ακτινοβολία και αποτελούν κίνδυνο εξωτερικής και εσωτερικής έκθεσης. Μπορούν να ανιχνευθούν εύκολα.</p>



Σχήμα 3.14 Διείσδυση ακτινοβολίας στην ύλη.

Ακτινοβολία γ

Η ακτινοβολία γ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, που συνοδεύει τις ραδιενεργές διασπάσεις των ασταθών πυρήνων (η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασταθών πυρήνων να αποβάλλουν μάζα και ενέργεια καλείται ραδιενέργεια). Εάν ο αριθμός των νουκλεονίων, δηλαδή των πρωτονίων και νετρονίων, βρίσκεται σε τέτοια αναλογία που επιστούν το άτομο σταθερό, αλλά η ενέργεια του πυρήνα είναι πολύ μεγάλη, τότε η πλεονάζουσα ενέργεια αποβάλλεται με την μετάβαση ισομερούς (isomeric transition). Η μετάβαση ισομερούς είναι μία διαδικασία ραδιενεργούς μεταστοιχείωσης (radioactive decay process) που προκύπτει σε ένα άτομο όταν έχει προηγηθεί μία δραστηριότητα πχ εκπομπή α ή β σωματιδίων και η περίσσια ενέργειας των νουκλεονίων αποβάλλεται υπό μορφή ακτινοβολίας. Η ενέργεια η οποία ακτινοβολείται ονομάζεται

ακτινοβολία γάμμα και είναι ουσιαστικά φωτόνιο το οποίο εκπέμπεται από τον πυρήνα που βρίσκεται σε διέγερση.

Το φωτόνιο δεν έχει μάζα και δεν μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι η διέλευσή της ακτινοβολίας γ μέσα από τα πλέγματα των ατόμων της ύλης, δεν εμποδίζεται, ενώ η πιθανότητά της να αλληλεπιδράσει με τα ηλεκτρόνια ή τους πυρήνες των ατόμων είναι σχετικά μικρή. Συνεπώς είναι διεισδυτική ακτινοβολία χαμηλού συντελεστή γραμμικής μεταφοράς της ενέργειας LET (Linear Energy Transfer) - ως LET ορίζεται το φυσικό εκείνο μέγεθος που χαρακτηρίζει τον τρόπο εναπόθεσης της ενέργειας στην ύλη και αποτελεί μέτρο της βλαπτικότητας μιας ακτινοβολίας - και αποκόπτεται δύσκολα. Συνήθως για την προστασία μας από αυτήν κατά τις ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές, χρησιμοποιείται μόλυβδος ή σκυρόδεμα, το πάχος των οποίων εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας.

Η ακτινοβολία γ έχει ακτίνα δράσης αρκετές φορές μεγαλύτερη από αυτήν των βήτα σωματιδίων και μπορεί να διαπεράσει αρκετά εκατοστά μολυβδου. Η ακτινοβολία γ δεν έχει φορτίο, και ως εκ τούτου δεν μπορεί να προκαλέσει εύκολα ιονισμό της ύλης. Αντίθετα, τα σωματίδια άλφα και βήτα, κατά τη διέλευσή τους μέσα από την ύλη, προκαλούν τον σχηματισμό πολλών ιόντων. Αυτός ο ιονισμός είναι ιδιαίτερα εύκολο να παρατηρηθεί όταν η ύλη είναι σε αέρια μορφή. Η ακτινοβολία β παράγει το 1/100 έως το 1/200 του ιονισμού που παράγεται από την ακτινοβολία α ανά εκατοστόμετρο της διαδρομής της στον αέρα. Η ακτινοβολία γ παράγει περίπου το 1/100 του ιονισμού της ακτινοβολίας β .

Η ακτινοβολία γ εμφανίζεται συνήθως σε συνδυασμό με τις ακτινοβολίες α και β . Επειδή η ακτινοβολία γ δεν φέρει κανένα φορτίο ή μάζα, η εκπομπή της από έναν πυρήνα δεν οδηγεί σε καμιά αλλαγή στις χημικές του ιδιότητες, αλλά μόνο στην απώλεια ενός ορισμένου ποσού ενέργειας που ακτινοβολείται. Η εκπομπή της ακτινοβολίας γ οφείλεται σε μια αποδιέγερση του πυρήνα που βρισκόταν σε μια ασταθή κατάσταση.

Ωστόσο, είναι δυνατή η εκπομπή αποκλειστικά γάμμα ακτινοβολίας από ορισμένα ισότοπα. Αυτής της μορφής η εκπομπή ακτινοβολίας γάμμα εμφανίζεται όταν υπάρχει ένα ισότοπο με δύο διαφορετικές μορφές, οι οποίες αποκαλούνται πυρηνικά ισομερή και έχουν τους ίδιους ατομικούς και μαζικούς αριθμούς, αλλά διαφέρουν στην ενέργεια. Η εκπομπή

της ακτινοβολίας γ συνοδεύει τη μετάβαση του υψηλού-ενεργειακού ισομερούς στην χαμηλή-ενεργειακή μορφή.

Επιπτώσεις στην υγεία

Όπως προαναφέρθηκε, όταν η ιονίζουσα ακτινοβολία προσπίπτει σε ανθρώπινους ιστούς αλληλεπιδρά με τα μόρια των κυττάρων, εναποθέτει ενέργεια σε αυτά, διασπά χημικούς δεσμούς και προκαλεί βίαιες χημικές αντιδράσεις και βιολογικές μεταβολές (ICRP, 1992; 1990). Ωστόσο, η έκθεση ενός ανθρώπου σε ακτινοβολία α , β ή γ , δεν σημαίνει αυτόματα θάνατο ή καρκίνο. Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει μηχανισμούς επιδιόρθωσης της ζημιάς, η οποία προκαλείται από την έκθεση, αρκεί να υπάρχει ο κατάλληλος χρόνος.

Τα δυσμενή αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας στους ιστούς έχουν άμεση σχέση με το ποσό και τη χωρική κατανομή της ενέργειας που εναποτίθεται σε αυτούς. Τα φυσικά δοσιμετρικά μεγέθη, των οποίων οι ορισμοί ακολουθούν, αποσκοπούν στο να συνδέσουν το είδος και την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με την πιθανότητα δημιουργίας βλάβης στον προσβαλλόμενο ιστό και γενικότερα την πιθανότητα βλάβης της υγείας του προσβαλλόμενου ατόμου (WHO, 2011).

Μεγέθη και μονάδες δοσιμετρίας των ακτινοβολιών

❖ Απορροφούμενη δόση

Ως απορροφούμενη δόση ορίζεται το δοσιμετρικό μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια που εναποτίθεται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ανά μονάδα μάζας της προσβαλλόμενης ύλης (ιστού ή οργάνου). Το μέγεθος είναι ανεξάρτητο από τον τύπο της ακτινοβολίας και από το δείγμα που ακτινοβολείται. Μονάδα απορροφούμενης δόσεως στο διεθνές σύστημα SI είναι το Gray (Gy) και αντιστοιχεί σε απορροφούμενη ενέργεια 1 Joule/ Kg προσβαλλόμενης ύλης. Συχνά, είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς πόσο γρήγορα (με τι ρυθμό) απορροφάται κάποια δόση, για τον λόγο αυτό ορίζεται ως ρυθμός απορροφημένης δόσης η δόση στην μονάδα του χρόνου, με μονάδες το Gy/h.

❖ Ισοδύναμη δόση

Το ερώτημα το οποίο παραμένει, είναι πόση από την απορροφημένη δόση επιφέρει βιολογική επίδραση. Η βλάβη που θα προκληθεί σε έναν ιστό από δεδομένο ποσό απορροφούμενης δόσης, εξαρτάται άμεσα από το είδος της ακτινοβολίας που τον προσβάλλει. Συνεπώς για να αποτιμηθεί η βιολογική βλάβη σε έναν ιστό δεν αρκεί να προσδιοριστεί μόνον το ποσό της απορροφούμενης δόσης, αλλά και το είδος αυτής.

Ως ισοδύναμη δόση ορίζεται το δοσιμετρικό μέγεθος που σχετίζεται με τη βλάβη που μπορεί να προκαλέσει σε έναν ιστό η απορροφούμενη δόση ενός συγκεκριμένου είδους ακτινοβολίας. Ορίζεται ως το γινόμενο της απορροφημένης δόσης μ' ένα συντελεστή ποιότητας που χαρακτηρίζει την ικανότητα της ακτινοβολίας να προξενεί βιολογικές βλάβες. Η μονάδα της ισοδύναμης δόσης είναι το Sievert (Sv), που συσχετίζει την απορροφούμενη δόση στον προσβαλλόμενο ιστό με τη βιολογική επίδραση, αφού κάθε τύπος ακτινοβολίας προκαλεί διαφορετική βιολογική απόκριση ακόμα και αν η απορροφούμενη δόση είναι ίση ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ Joule ενέργειας} / 1 \text{ Kg μάζας}$). Για την περιοχή των δόσεων που αφορούν την ακτινοβόληση του ανθρώπου από φυσικές και τις συνθήκες τεχνητές πηγές που μας περιβάλλουν, χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Sv, όπως το millisievert (mSv) και το microsievert (μSv).

❖ **Ενεργός δόση**

Για δεδομένη ισοδύναμη δόση, κάθε ανθρώπινος ιστός συμβάλλει με διαφορετική βαρύτητα στο συνολικό κίνδυνο που διατρέχει από την ακτινοβόλησή του η υγεία του ανθρώπου. Αν λοιπόν στην ισοδύναμη δόση σε ένα όργανο ληφθεί υπόψη και η ευαισθησία του οργάνου, προκύπτει ένα νέο μέγεθος που συμβάλλει στην αποτίμηση του συνολικού κινδύνου που διατρέχει η υγεία από την ακτινοβόληση του συγκεκριμένου οργάνου.

Το μέγεθος αυτό καλείται ενεργός δόση και αντιστοιχεί αριθμητικά στην ολοσωματική ισοδύναμη δόση που πρέπει να δεχθεί το προσβληθέν άτομο ώστε να διατρέξει τον ίδιο κίνδυνο βλάβης της υγείας του με αυτόν που διατρέχει από την τοπική ακτινοβόληση του οργάνου. Είναι ανεξάρτητο από το είδος της προσβάλλουσας ακτινοβολίας, τις συνθήκες ακτινοβόλησης και την ακτινοβολούμενη περιοχή του ανθρωπίνου σώματος. Μονάδα ενεργού δόσεως είναι το Sievert (Sv).

Πηγές ιοντιζουσών ακτινοβολιών

Η ακτινοβόληση του ανθρώπου οφείλεται στις διάφορες πηγές που μας περιβάλλουν. Οι πηγές αυτές διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες με βάση την προέλευσή τους:

- ✓ τις φυσικές πηγές, που συνυπάρχουν με τον άνθρωπο στο φυσικό περιβάλλον από την στιγμή της δημιουργίας της Γης, και στις οποίες περιλαμβάνονται τα πετρώματα του εδάφους, το ραδόνιο και η κοσμική ακτινοβολία και
- ✓ τις τεχνητές ή τις λεγόμενες ανθρωπογενείς πηγές, που είναι προϊόν της σύγχρονης τεχνολογίας, περιλαμβάνονται οι ιατρικές, και στις οποίες περιλαμβάνονται οι

ιατρικές εφαρμογές, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες καθώς και μέρος των οπλικών συστημάτων.

Οι πηγές ακτινοβολίας του ανθρώπου, σε σχέση με τη θέση τους ως προς τον άνθρωπο, μπορούν ακόμη να διακριθούν σε άλλες δύο κατηγορίες τις εξωτερικές και τις εσωτερικές. Οι εξωτερικές πηγές ακτινοβολίας είναι οι πηγές που εκπέμπουν ακτινοβολία από το εξωτερικό περιβάλλον προς τον άνθρωπο (έδαφος, νερό, ατμοσφαιρικός αέρας, διάστημα, οικοδομικά υλικά, μηχανήματα παραγωγής ακτινοβολιών, τεχνητά ραδιοϊσότοπα από διάφορες χρήσεις). Οι εσωτερικές πηγές ακτινοβολίας είναι τα ραδιενεργά στοιχεία, φυσικά ή τεχνητά, που πέρασαν από το περιβάλλον στο ανθρώπινο σώμα μέσω των οδών της τροφικής αλυσίδας, του δέρματος ή της αναπνοής και καθηλώθηκαν ή κυκλοφορούν στους ιστούς μας και από την εκάστοτε θέση τους μας ακτινοβολούν (WHO, 2011).

❖ **Φυσικές πηγές ιοντιζουσών ακτινοβολιών**

Ακτινοβολία του εδάφους

Η ακτινοβολία από το έδαφος οφείλεται στο φαινόμενο της φυσικής ραδιενέργειας, της αυθόρμητης δηλαδή διάσπασης των ασταθών πυρήνων κάποιων ραδιενεργών στοιχείων, τα οποία αποτελούν συστατικά του φλοιού της Γης. Πρόκειται για τα ραδιενεργά στοιχεία ράδιο, ουράνιο, θόριο, κάλιο, ραδόνιο κ.α., τα οποία απαντώνται στο έδαφος, στο νερό, στον αέρα, στους ζώντες οργανισμούς, στις τροφές και στα οικοδομικά υλικά. Η φυσική αυτή ακτινοβολία είναι πιο έντονη σε υπόγειους χώρους όπως είναι τα σπήλαια, τα ορυχεία, αλλά και τα υπόγεια των κτιρίων.

Η ακτινοβολία του εδάφους σε δεδομένη θέση εξαρτάται άμεσα από τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής. Από τα πλέον ραδιενεργά πετρώματα είναι τα γρανιτικά λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε ουράνιο και ράδιο. Λόγω του ότι τα κτίρια κατασκευάζονται από υλικά τα οποία έχουν εξορυχθεί από την γη, αυτή η ακτινοβολία λαμβάνει χώρα τόσο στο περιβάλλον όσο και στο εσωτερικό των κτιρίων. Παρότι δηλαδή τα περισσότερα υλικά θωρακίζουν τα κτήρια από τη διείσδυση της εξωτερικής γάμμα ακτινοβολίας, ταυτόχρονα αποτελούν και τα ίδια πηγή (Sivakumar et al., 2002; Saito et al., 1997; Mjones, 1986). Επομένως η δόση εξαρτάται τόσο από την σύσταση των πετρωμάτων μίας περιοχής όσο και από την σύσταση των δομικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των κτιρίων.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι το ραδιενεργό στοιχείο ραδόνιο (Ra-222), το οποίο είναι ένα από τα παράγωγα της διάσπασης του ουρανίου (βλ. 3.2.3). Το ραδόνιο είναι ευγενές αέριο που εκλύεται από το έδαφος και τα οικοδομικά υλικά και στο οποίο αποδίδεται το μεγαλύτερο μέρος της ετήσιας δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ο οργανισμός μας. Το αέριο αυτό περνάει από το περιβάλλον στο ανθρώπινο σώμα μέσω της αναπνευστικής οδού, γι αυτό και αποτελεί εσωτερική πηγή ακτινοβολίας (σωματίδια α και β).

Τα ραδιονουκλίδια του εδάφους παράγουν γάμμα ακτινοβολία στην οποία οι άνθρωποι εκτίθενται. Ο μέσος όρος της ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ η οποία προέρχεται από φυσική ακτινοβολία σε παγκόσμιο επίπεδο, ισούται με 0,48 mSv ανά έτος (UNSCEAR, 2000). Ωστόσο, οι πραγματικές δόσεις ποικίλουν. Κάποιοι άνθρωποι εκτίθενται σε ακτινοβολία γάμμα ισοδύναμης δόσης κοντά στο μέσο όρο, ενώ σε κάποιες περιοχές του πλανήτη στις οποίες η συγκέντρωση των πετρωμάτων σε ραδιονουκλίδια είναι πολύ μεγάλη, η ισοδύναμη δόση είναι μέχρι και 20 φορές μεγαλύτερη του παγκόσμιου μέσου όρου.

Κοσμική ακτινοβολία

Η επιφάνεια της γης δέχεται συνεχώς και κοσμική ακτινοβολία, η οποία προέρχεται από το εξωτερικό διάστημα, δηλαδή από τον ήλιο, καθώς και άλλες αστρικές πηγές. Αύξηση της κοσμικής ακτινοβολίας έχουμε κατά τις εξάρσεις της ηλιακής δραστηριότητας. Η κοσμική ακτινοβολία κατά τη διέλευσή της μέσα από τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας απορροφάται μερικώς και η έντασή της μειώνεται σταδιακά με αποτέλεσμα να είναι σχετικά εξασθενημένη στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας, όπου η μέση ετήσια δόση υπολογίζεται στα 0,4 mSv. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, η τυπική μέση ετήσια δόση στη διάρκεια μίας δεκάωρης πτήσης αεροπορικού ταξιδιού σε υψόμετρο περίπου 15 χλμ. είναι 0,03 mSv (UNSCEAR, 2000).

❖ Τεχνητές πηγές ιοντιζουσών ακτινοβολιών

Ο άνθρωπος ανακάλυψε τις τεχνητές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών κατά τα τέλη του 19ου αιώνα. Συγκεκριμένα, το 1895 ο Γερμανός νομπελίστας φυσικός Wilhelm Roentgen ανακάλυψε την ακτινοβολία X, μία επαναστατική ανακάλυψη για τον τομέα της ιατρικής που έκτοτε έτυχε ευρύτατης αξιοποίησης λόγω της διαφορετικής απορρόφησής της από τους ιστούς ή τα οστά. Πλέον, οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες παράγονται και χρησιμοποιούνται καθημερινά σε διάφορους τομείς:

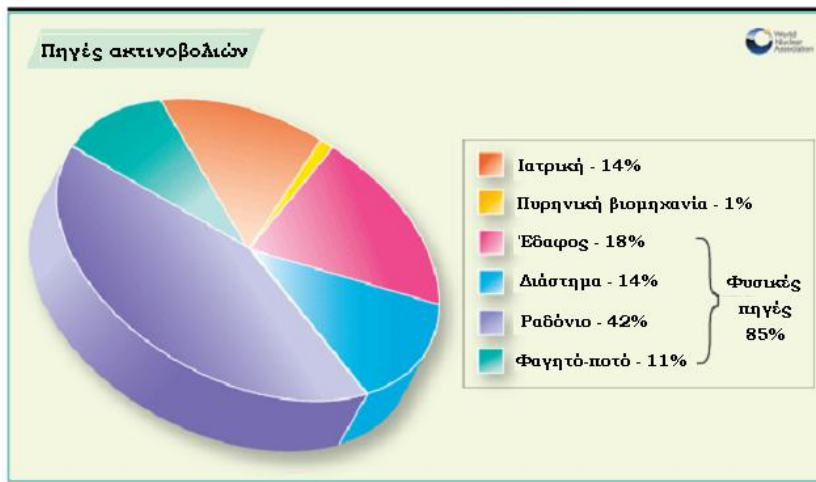
- στην ιατρική - διάγνωση και θεραπεία: διαγνωστική ακτινολογία, θεραπευτική ακτινολογία
- στη βιομηχανία: ραδιογραφήσεις, ακτινοβολητές για αποστείρωση υλικών, συσκευές για έλεγχο ποιοτικών παραμέτρων, κ.ά.
- στην παραγωγή ενέργειας: πυρηνικά εργοστάσια
- στη γεωργία, την έρευνα και την εκπαίδευση

Αποτίμηση έκθεσης

Στο Σχήμα 3.17 παρουσιάζονται οι διάφορες πηγές ακτινοβολίας, εκφρασμένες σε εκατοστιαίο ποσοστό επί της συνολικής ακτινοβόλησης του ανθρώπου. Όπως φαίνεται οι φυσικές πηγές αντιστοιχούν στο 85% της μέσης ετήσιας δόσης, ενώ οι τεχνητές αντιστοιχούν στο 15% (WNA, 2012). Σύμφωνα με την έκθεση της UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) το 2000 ο μέσος παγκόσμιος όρος της ετήσιας ενεργού δόσης ακτινοβολίας, όπως προέκυψε από τα δεδομένα 36 χωρών (τα διαθέσιμα δεδομένα αντιπροσωπεύουν το 45% του παγκόσμιου πληθυσμού), υπολογίζεται σε 2,8 mSv. Στην τιμή αυτή περιλαμβάνονται όλες οι πηγές ακτινοβόλησης (φυσικές και τεχνητές).

Επίσης στην τιμή αυτή αντιστοιχούν 1,26 mSv ανά έτος στην ακτινοβόληση των παραγώγων διάσπασης του ραδονίου, 0,48 mSv ανά έτος σε φυσική εκπομπή γ ακτινοβολίας από το έδαφος 0,39 mSv ανά έτος στην κοσμική ακτινοβολία, 0,29 mSv ανά έτος στην εσωτερική ακτινοβόληση του ανθρώπου (τροφή, κτλ), και 0,4 mSv ανά έτος σε τεχνητές πηγές. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.6, ο παγκόσμιος μέσος όρος ενεργού δόσης ακτινοβολίας προερχόμενης από φυσικές πηγές ακτινοβόλησης ισούται με 2,4 mSv ανά έτος, εκ των οποίων τα 0,48 mSv ανά έτος οφείλονται σε φυσική εκπομπή γ ακτινοβολίας από το έδαφος. Από την τιμή αυτή τα 0,41 mSv αντιστοιχούν στην έκθεση σε εσωτερικούς χώρους, η οποία γενικά είναι κατά 40% περίπου υψηλότερη από την έκθεση στο εξωτερικό περιβάλλον. Ο λόγος της έκθεσης σε ακτινοβολία γ προερχόμενη από το έδαφος στο εσωτερικό περιβάλλον προς την έκθεση στο εξωτερικό κυμαίνεται παγκοσμίως από 0,6 έως 2,3 με μέση τιμή 1,4 (UNSCEAR, 2000).

Για τον προσδιορισμό των επιπέδων γ ακτινοβολίας σε εσωτερικούς χώρους έχουν γίνει διάφορες μελέτες διεθνώς (Almgren et al., 2008; Billon et al., 2005; Sundal and Strand, 2004; Sivakumar et al., 2002; Saito et al., 1997; Mjones, 1986), καθώς και στην Ελλάδα (Papachristodoulou et al., 2010; Clouvas et al., 2001; Sakellariou et al., 1995).



Σχήμα 3.15 Συνεισφορά των διαφόρων πηγών ακτινοβολήσης στη μέση ετήσια δόση (2,8 mSv) (<http://www.world-nuclear.org/info/inf05.html>).

Πίνακας 3.6. Μέση ετήσια δόση φυσικών πηγών ακτινοβολήσης (UNSCEAR, 2000).

Φυσικές πηγές ακτινοβολήσης	Μέση ετήσια δόση (mSv)	Τυπικό εύρος μέσης ετήσιας δόσης
Ραδόνιο (εσωτερική)	1,26	0,2 - 10
Έδαφος (εξωτερική)	0,48	0,3 - 1
Τροφή (εσωτερική)	0,29	0,2 - 1
Κοσμική ακτινοβολία (εξωτερική)	0,39	0,3 - 1
Σύνολο φυσικών πηγών	2,4	1 - 13

Σύμφωνα με την έκθεση της UNSCEAR (2000), ο μέσος ρυθμός απορροφούμενης δόσης για την Ελλάδα από έκθεση σε εσωτερικούς χώρους είναι 67 nGy/h. Προκειμένου να υπολογίσουμε τη μέση ενεργό δόση ανά έτος κατά την UNSCEAR, θα χρησιμοποιηθεί ο συντελεστής μετατροπής 0,7 Sv/Gy και ο συντελεστής παραμονής σε εσωτερικούς χώρους που είναι 0,8 (υποθέτοντας ότι το 80% του χρόνου οι άνθρωποι το ξοδεύουν στο εσωτερικό κτηρίων):

$$\text{Ενεργός δόση ανά έτος} = 67 \text{ nGy/h} \times 8760 \text{ h} \times 0,8 \times 0,7 \text{ Sv/Gy} = 0,33 \text{ mSv}$$

Η τιμή που προκύπτει είναι μικρότερη από τη μέση παγκόσμια, η οποία αντιστοιχεί σε 0,41 mSv (84 nGy/h), είναι όμως υψηλότερη σε σχέση με την τιμή που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το μέσο ρυθμό απορροφούμενης δόσης (36 nGy/h) για τον ελλαδικό χώρο που αναφέρεται στην εκτενή έρευνα των Clouvas et al. (2001). Σύμφωνα με την

παραπάνω σχέση, η μέση ενεργός δόση γ ακτινοβολίας ανά έτος σε εσωτερικούς χώρους για την Ελλάδα αντιστοιχεί σε 0,18 mSv. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, τα υψηλότερα επίπεδα γ ακτινοβολίας συναντώνται στη Βόρεια Ελλάδα (Clouvas et al., 2001; Sakellariou et al, 1995).

Όρια ασφαλείας

Σύμφωνα με τη την Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (IAEA, 1996) και την ICRP (1990), το όριο ετήσιας έκθεσης (ενεργού δόσεως) σε ακτινοβολία για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους είναι 20 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους, και 100 mSv κατά τη διάρκεια 5 συνεχόμενων ετών, ενώ για το γενικό πληθυσμό είναι 1 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Προστασία από τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Η έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να έχει άμεσα ή μακροπρόθεσμα βλαπτικά αποτελέσματα για την υγεία. Κάθε εφαρμογή που ενέχει έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία, πρέπει να αποφέρει ικανοποιητικό όφελος στα εκτιθέμενα άτομα ή στο κοινωνικό σύνολο, έτσι ώστε να αντισταθμίζεται η πιθανή βλάβη την οποία αυτή μπορεί να προκαλέσει. Όλες οι πηγές και τα μηχανήματα παραγωγής ακτινοβολιών πρέπει να προσφέρουν κάτω από τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας τους, την καλύτερη δυνατή προστασία και ασφάλεια. Οι βασικές αρχές ακτινοπροστασίας από τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία: απόσταση, θωράκιση, χρόνος, τα οποία συνοψίζονται σε τρεις βασικούς κανόνες (ICRP, 1992; 1990):

- Η ένταση της ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή.
- Κατάλληλη θωράκιση ανάλογα με το είδος της ακτινοβολίας, π.χ. κατάλληλο πάχος μπετόν ή μολύβδου για προστασία από τη διεισδυτική ακτινοβολία γ.
- Όσο το δυνατό μικρότερος χρόνος εργασίας ή παραμονής σε χώρους με ακτινοβολία.

3.2.5 Αιωρούμενα σωματίδια

Ο όρος αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter – PM) αναφέρεται σε σωματίδια στερεής ή υγρής φάσης που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα και έχουν διαμέτρους από 2 nm έως 200 μm. Ο ρύπος αυτός δεν αντιπροσωπεύει μία απλή χημική ένωση, όπως ένα αέριο, αλλά αποτελεί ένα σύνθετο μείγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών με πιθανές τοξικές, καρκινογόνες, φλεγμονώδεις, αλλεργιογόνες και άλλες βλαβερές ιδιότητες (Seinfeld and Pandis, 2006;

Hinds, 1999; Jones, 1999). Η έκθεση των ανθρώπων σε αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για τη δημόσια υγεία καθώς σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες τα σωματίδια σχετίζονται με αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα (Polichetti et al., 2009; Neuberger et al., 2004; Anderson et al., 2001; Pope et al., 1999; 1995; Schlesinger 1995).

Συχνά ο όρος των αιωρούμενων σωματιδίων ταυτίζεται στη βιβλιογραφία με την έννοια του αεροζόλ. Ο ορισμός αεροζόλ αναφέρεται στο συνδυασμό όλων των συμπυκνωμένων συστατικών που είναι παρόντα στην ατμόσφαιρα, όπως επίσης και στον αέρα στον οποίο περιέχονται τα αιωρούμενα σωματίδια (Λαζαρίδης, 2008).

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η συγκέντρωση μάζας, που αντιστοιχεί στο πηλίκο της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στη μονάδα του όγκου του μίγματος (g/m^3 , mg/m^3 ή $\mu\text{g/m}^3$). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο η συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων που αναφέρεται στον αριθμό σωματιδίων στη μονάδα του όγκου (αριθμός/m^3 ή αριθμός/cm^3). Η χρήση της βρίσκει μεγαλύτερη εφαρμογή στην περίπτωση των μικρών σωματιδίων, καθώς αυτά παρόλο που αντιπροσωπεύουν πολύ μικρό κομμάτι της συνολικής μάζας, εμφανίζονται σε μεγάλους αριθμούς, ιδιαίτερα κοντά στις πηγές εκπομπής (Colbeck & Nasir, 2010).

Με βάση την προέλευση τους και τους μηχανισμούς σχηματισμού, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να ταξινομηθούν είτε σαν πρωτογενή ή σαν δευτερογενή. Πρωτογενή ονομάζονται τα σωματίδια όπου παράγονται μέσα στην πηγή και εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Δευτερογενή ονομάζονται τα σωματίδια που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων. Μπορούν να παραχθούν από μεγάλη ποικιλία χημικών και φυσικών μετασχηματισμών στην ατμόσφαιρα. Οι διεργασίες αυτές οδηγούν είτε στο σχηματισμό νέων σωματιδίων είτε στην προσθήκη σωματιδιακής ύλης σε προϋπάρχοντα σωματίδια. Τέτοιες διεργασίες είναι η συμπύκνωση πρόδρομων αερίων, η πυρηνοποίηση αερίων χαμηλής πτητικότητας και η συσσωμάτωση, εκ των οποίων την ευθύνη για την παραγωγή νέων σωματιδίων έχει η πυρηνοποίηση.

Η συγκέντρωση των πρωτογενών σωματιδίων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το ρυθμό εκπομπής τους από την πηγή, αλλά εξαρτάται επίσης από το ρυθμό εναπόθεσης τους και τις διεργασίες διασποράς και μεταφοράς στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση των δευτερογενών σωματιδίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η συγκέντρωση των

πρόδρομων αερίων, η συγκέντρωση δραστικών αέριων ενώσεων, όπως το όζον και η ρίζα του υδροξυλίου, η ηλιακή ακτινοβολία, η υγρασία και η συγκέντρωση των υπολοίπων σωματιδίων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μέγεθος, η χημική σύσταση και η φάση στην οποία βρίσκονται (υγρή η αέρια). Στη συνέχεια περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων και ο διαχωρισμός τους σε κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά.

❖ Μέγεθος

Το μέγεθος αποτελεί το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό, λόγω της καθοριστικής του σημασίας για τη χημική σύσταση, τις οπτικές ιδιότητες και τους μηχανισμούς εναπόθεσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Είναι κατανοητό, ότι το μέγεθος ενός ομογενούς δείγματος αιωρούμενων σωματιδίων περιγράφεται μόνο από τη διάμετρο του (Λαζαρίδης, 2005). Το μέγεθος των σωματιδίων συνήθως εκφράζεται με την ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρο που αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο με πυκνότητα 1g/cm^3 και ίδια ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο. Το εύρος του μεγέθους των σωματιδίων είναι πολύ μεγάλο και μπορεί να κυμαίνεται από μερικά νανόμετρα (nm) έως αρκετές δεκάδες μικρόμετρα (μm).

Τα σωματίδια τα οποία κατά κύριο λόγο συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι αυτά που η διάμετρός τους είναι μικρότερη από $10\ \mu\text{m}$ και συμβολίζονται με PM_{10} . Για την εκτίμηση της έκθεσης του πληθυσμού στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων, η συνηθέστερη κατηγοριοποίηση είναι σε PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$, όπου ο δείκτης αναφέρεται στη μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο (μm) των σωματιδίων (US EPA, 1996). Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη σημασία στα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των $2,5\ \mu\text{m}$ και $1\ \mu\text{m}$, ή αλλιώς τα σωματίδια $\text{PM}_{2,5}$ και PM_1 , αντίστοιχα, λόγω της δυνατότητας τους να διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα (Schwella et al., 2002).

Γενικότερα έχουν προταθεί διάφορες κατηγοριοποιήσεις σχετικά με το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων. Ο συνηθέστερος διαχωρισμός, ο οποίος εδραιώθηκε από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA, 1996), είναι σε:

- Χονδρά σωματίδια (coarse particles), στα οποία περιλαμβάνονται τα σωματίδια διαμέτρου μεγαλύτερης από $2,5\ \mu\text{m}$, και συνεπώς καλύπτουν το εύρος της διαφοράς $\text{PM}_{2,5}$ - PM_{10}

- Λεπτά σωματίδια (fine particles), στα οποία περιλαμβάνονται τα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης από 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$).

Ο διαχωρισμός αυτός είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος, καθώς τα σωματίδια των δύο αυτών κατηγοριών διαφέρουν ως προς την προέλευση, τη χημική σύσταση, τις οπτικές ιδιότητες, τους μηχανισμούς απομάκρυνσης από την ατμόσφαιρα αλλά και τις επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία (Seinfeld και Pandis, 2006). Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί και άλλες τιμές διαμέτρου για το διαχωρισμό των λεπτών και των χονδρών σωματιδίων που κυμαίνονται από 1-3 μm .

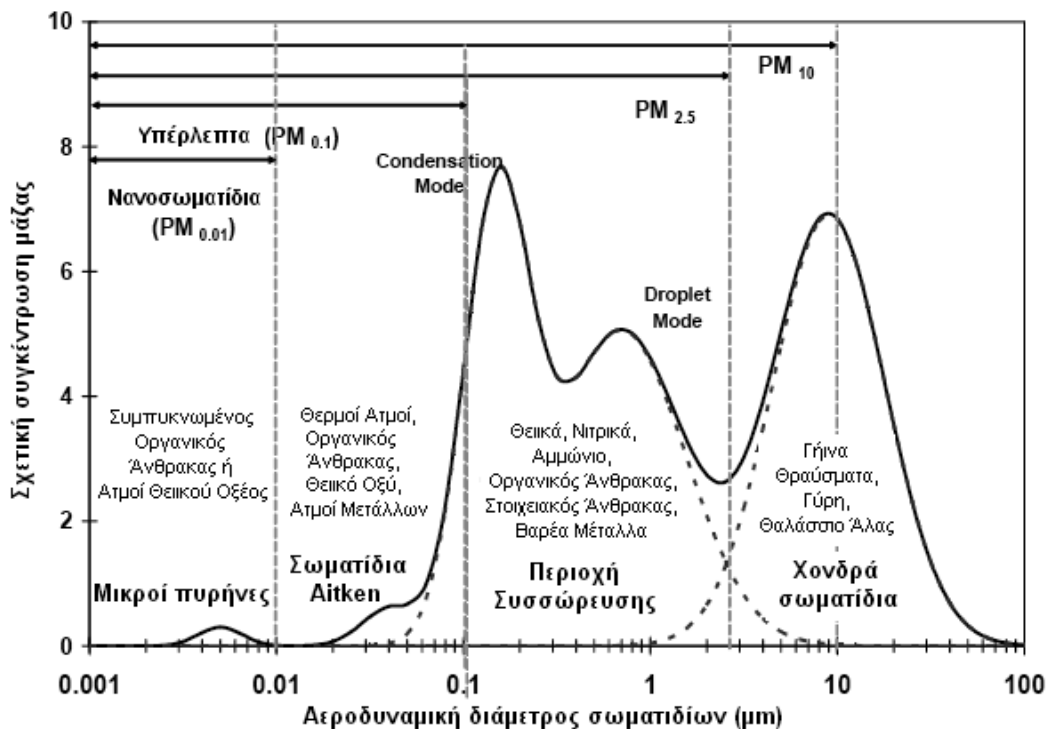
Τα λεπτά σωματίδια χωρίζονται σε τρεις ακόμα κατηγορίες: i) τα σωματίδια συσσώρευσης (accumulation particles), με διάμετρο από 2,5 έως 0,1 μm , ii) τους πυρήνες συμπύκνωσης Aitken, με διάμετρο από 0,1 έως 0,02 μm και iii) τα υπέρλεπτα ή υπόμικρα σωματίδια (ultrafine particles), με διάμετρο από 0,02 έως 0,003 μm . Συχνά βέβαια στη βιβλιογραφία ως υπέρλεπτα (UFP) ορίζονται τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0,1 μm .

Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων, στο Σχήμα 3.18 φαίνεται η σύγκριση των διαμέτρων για κάθε κατηγορία σωματιδίων. Επίσης, στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των σωματιδίων ως προς το μέγεθος με βάση τις παρατηρούμενες κατανομές.



Σχήμα 3.16 Συγκριτική απεικόνιση του μεγέθους των PM με τη διάμετρο του κόκκου της άμμου και της τρίχας ανθρώπου (αναπροσαρμοσμένο από: <http://www.epa.gov/airscience/air-particulate-matter-image.htm>).

Τα λεπτά σωματίδια υπερισχύουν αριθμητικά έναντι των χονδρών. Συγκεκριμένα, τα λεπτά σωματίδια έχουν συγκεντρώσεις από 10 έως 10.000/ cm^3 , ενώ τα χονδρά σωματίδια βρίσκονται σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1/ cm^3 (Λαζαρίδης, 2008). Λόγω όμως της πολύ μικρής μάζας τους, αντιστοιχούν σε πολύ μικρό ποσοστό της ολικής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων, σε αντίθεση με τα χονδρά σωματίδια που αντιπροσωπεύουν την πλειονότητα της επιφάνειας και της μάζας των αεροζόλ.



Σχήμα 3.17 Κατανομή της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθος (αναπροσαρμοσμένο από Theophanides et al., 2011).

❖ Χημική σύσταση

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλει σημαντικά και, γενικά, αντανακλά την πηγή από την οποία προέρχονται. Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να περιέχουν διαφορετικούς συνδυασμούς εκατοντάδων χημικών ενώσεων ποικίλων προελεύσεων. Συγκεκριμένα, η σύστασή τους μπορεί να αποτελείται από ανόργανα ιόντα (SO_4^{-2} , NO_3^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+), μέταλλα (V, Cr, Νί, Cu, Ζη, Pb, Cd, Mn), ανόργανες χημικές ενώσεις από το έδαφος (CaCO_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 και Al_2O_3) στοιχειακό άνθρακα και οργανικές ενώσεις (πτητικές οργανικές ενώσεις – VOCs, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες - PAHs κ.α.). Τα αιωρούμενα σωματίδια της τροπόσφαιρας περιέχουν θειικά, νιτρικά, αμμωνιακά, νάτριο, χλώριο, ιχνοστοιχεία, ανθρακούχες ενώσεις, γήινα θραύσματα και νερό.

Η χημική σύσταση των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων είναι συνάρτηση της περιοχής (αστική, υπαίθρια, θαλάσσια) από την οποία έχουν προέλθει. Για παράδειγμα, περιβάλλοντα επηρεαζόμενα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες χαρακτηρίζονται από αυξημένες συγκεντρώσεις θειικών και νιτρικών αεροζόλ, ιόντων αμμωνίου και οργανικών ενώσεων. Ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται ενδεικτικός παράγοντας ρύπανσης αστικής προελεύσεως. Επίσης, αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων χλωριούχου νατρίου (NaCl) δηλώνει προέλευση από θαλάσσιες και παραθαλάσσιες περιοχές (Λαζαρίδης, 2008).

Επομένως, η περιοχή που βρίσκεται ένα κτήριο καθορίζει και το είδος των εξωτερικά προερχόμενων αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους.

Η σύσταση των σωματιδίων είναι εξαιρετικά ευμετάβλητη και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η χημική σύσταση μπορεί να διαφοροποιηθεί σημαντικά μέσω χημικών αντιδράσεων διαφόρων συστατικών ή μέσω διεργασιών, όπως η εξάτμιση, η συμπύκνωση και η συσσωμάτωση. Επίσης η χημική σύσταση μπορεί να αλλάξει λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως για παράδειγμα κατά τη διείδυση των σωματιδίων από το εξωτερικό στο εσωτερικό περιβάλλον (Smolik et al., 2008).

Γενικά, στους εσωτερικούς χώρους, στα χονδρά σωματίδια περιέχονται μέταλλα (Ca, Fe, Al, Ti κ.ά.), θραύσματα του γήινου φλοιού, οργανική ύλη (τμήματα φυτών, γύρη, κύτταρα του δέρματος και τρίχες), χλωριούχο νάτριο, νιτρικά που σχηματίζονται από την αντίδραση νιτρικού οξέος με το χλωριούχο νάτριο, θειικά που παράγονται από την αντίδραση θειικού οξέος με βασικά σωματίδια, πυριτικά άλατα και μεγάλα συσσωματώματα αιθάλης. Τα λεπτά σωματίδια σχηματίζονται κυρίως κατά την καύση διαφόρων υλικών ή από χημικές αντιδράσεις αερίων και διαφέρουν αρκετά ως προς τη σύσταση σε σύγκριση με τα χονδρά. Συγκεκριμένα αποτελούνται από ενώσεις μετάλλων (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe κ.ά.), στοιχειακό και μαύρο άνθρακα, πρωτογενείς και δευτερογενείς οργανικές ενώσεις, θειικά, νιτρικά, αμμώνιο και ιόντα υδρογόνου (Gemenetzis et al., 2006; US EPA, 2004).

Πηγές εκπομπής

Τα αιωρούμενα σωματίδια σε εσωτερικούς χώρους προέρχονται είτε από εσωτερικές πηγές είτε διείδουν από το εξωτερικό περιβάλλον (Hussein et al., 2006; Jones, 1999; Raunemaa et al., 1989). Ωστόσο, η συνεισφορά εξωτερικών και εσωτερικών πηγών στις εσωτερικές συγκεντρώσεις εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες όπως είναι ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, η εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση και ο βαθμός διείδυσης των σωματιδίων, το μέγεθος των σωματιδίων που εκπέμπονται (τα λεπτά σωματίδια έχουν μεγαλύτερη ικανότητα διείδυσης στους εσωτερικούς χώρους, απ' ότι τα χονδρά), το είδος και η ισχύς (ρυθμός εκπομπής) των εσωτερικών δραστηριοτήτων (Lazaridis et al., 2008; Branis et al., 2005; Morawska et al., 2001; Wallace, 1996; Thatcher and Layton, 1995; Owen et al., 1992).

❖ Πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον

Όσον αφορά το εξωτερικό περιβάλλον, οι πηγές των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να είναι φυσικές (το έδαφος, τα ηφαίστεια, οι ωκεανοί και η καύση βιομάζας) ή ανθρωπογενείς (βιομηχανικές διεργασίες, εκπομπές μηχανοκίνητων οχημάτων και φθορά ελαστικών τους, πυρκαγιές, αγροτικές δραστηριότητες, κατασκευές). Οι φυσικές εκπομπές υπερβαίνουν τις ανθρωπογενείς και επηρεάζουν τις ολικές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε παγκόσμια κλίμακα (Λαζαρίδης, 2008). Όταν πρόκειται όμως για μεγάλα αστικά κέντρα ή για περιοχές όπου υπάρχει συσσώρευση ανθρώπινων δραστηριοτήτων (π.χ. βιομηχανίες) η συνεισφορά των ανθρωπογενών πηγών στις εκπομπές των αεροζόλ κυριαρχεί και ξεπερνάει κατά πολύ αυτές των φυσικών πηγών.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ανθρωπογενούς συμμετοχής στην εμφάνιση αιωρούμενων σωματιδίων σχετίζεται με δευτερογενή παραγωγή (καύση πετρελαιοειδών στα μηχανοκίνητα οχήματα και τις βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας). Παρόλα αυτά, η παραγωγή σωματιδίων είναι δυνατό να οφείλεται και σε φυσικές εκπομπές (οξειδωση φυσικά εκπεμπόμενων θειούχων ενώσεων, μεθυλικές μερκαπτάνες κ.α.).

❖ Πηγές από το εσωτερικό περιβάλλον

Στο εσωτερικό περιβάλλον υπάρχουν εκπομπές σωματιδίων από διάφορες πηγές, μερικές από τις οποίες εκπέμπουν ρύπους ουσιαστικά μονίμως, ενώ άλλες σχετίζονται με συγκεκριμένες δραστηριότητες των ενοίκων (Colbeck & Nasir, 2010). Στις εσωτερικές πηγές περιλαμβάνονται οι διάφορες εργασίες στην κουζίνα (L'Orange et al., 2012; Wallace et al., 2004; Dennekamp et al. 2001; Siegmann and Sattler 1996), η καύση καυσίμων από συσκευές θέρμανσης (Wallace, 2000; Long et al. 2000; Raunemaa et al. 1989), το κάπνισμα (Slezakova, 2009; Paoletti et al., 2006; Miller and Nazaroff, 2001; Morawska et al., 1997; Anderson et al., 1989), η επαναιώρηση σωματιδίων από την κίνηση των ανθρώπων, όπως το περπάτημα και οι εργασίες καθαριότητας π.χ. σκούπισμα, ξεσκόνισμα κλπ. (σκόνη αποτελούμενη από ίνες υφάσματος, θραύσματα από τρίχες, σωματίδια του εδάφους, κύτταρα του δέρματος), μέσα στο χώρο (Waring et al. 2008; Luoma and Batterman, 2001; Abt et al., 2000a, b; Monn et al., 1997; Liouy et al., 1999; Rodes et al., 1991), αλλά και οι εκπομπές σωματιδίων από τον εξοπλισμό γραφείου (εκτυπωτές, φωτοτυπικά μηχανήματα κ.α.) (Wolkoff, 2012; Koivisto et al., 2010; Destailats et al., 2008; Kagi et al., 2007), το άναμμα κεριών (Wasson et al., 2002; Fine et al., 1999), η χρήση διάφορων σπρέι (για τα μαλλιά, αποσμητικά κ.α.) (Glytsos et al., 2010; Hussein et al., 2006) καθώς και η χρήση μιας ευρείας ποικιλίας καταναλωτικών προϊόντων και

συσκευών (Salthammer et al., 2012; Wallace, 2005). Στον Πίνακα 3.7 αναφέρονται οι τιμές εκπομπών σωματιδίων για διάφορες δραστηριότητες.

Από τις πηγές που προέρχονται από το εσωτερικό περιβάλλον, το περπάτημα των ενοίκων παράγει αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 μm (Luoma and Batterman, 2001), ενώ πηγές όπως το μαγείρεμα, οι συσκευές θέρμανσης και το κάπνισμα παράγουν λεπτά σωματίδια (Miller and Nazaroff, 2001; Abt et al., 2000a,b; Long et al., 2000). Επίσης η καύση κεριών αποτελεί πηγή σωματιδίων μεγέθους 0,03 – 3 μm (Fine et al., 1999).

Είναι εμφανές από τα παραπάνω ότι οι πηγές και τα επίπεδα της σωματιδιακής ρύπανσης στους εσωτερικούς χώρους εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις δραστηριότητες και τον τρόπο ζωής των ενοίκων. Επίσης το είδος των πηγών εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων σαφέστατα συνδέεται με τον σκοπό του κτηρίου και τον τρόπο χρήσης των εσωτερικών του χώρων (π.χ. σχολείο, εστιατόρια, γραφεία, κατοικίες, μέσα μεταφοράς κ.α.) (Colbeck & Nasir, 2010).

Πίνακας 3.7 Τιμές εκπομπών σωματιδίων για διάφορες δραστηριότητες σύμφωνα με αναφορές (Αναπροσαρμοσμένο από Colbeck & Nasir, 2010).

Δραστηριότητα	He et al. (2004a)	Afshari et al. (2005)	Gehin et al. (2008)	Wallace et al. (2008)	Glytsos et al. (2010)
	Ρυθμός εκπομπής σωματιδίων ανά λεπτό (particles/min)				
Θερμαινόμενες εστίες ηλεκτρικής κουζίνας	$7,33 \times 10^{11}$	$6,8 \times 10^{11}$	$4,2 \times 10^{11}$	$6 \times 10^{11} - 11 \times 10^{12}$	
Ψήσιμο στα κάρβουνα (grill)	$7,34 \times 10^{11}$				
Τηγάνισμα	$4,75 \times 10^{11}$	$8,27 \times 10^{11}$	$5,4 \times 10^{12}$		$8,02 \times 10^{11}$
Μαγείρεμα στο φούρνο	$1,27 \times 10^{11}$		$4,2 \times 10^{11}$	$4 \times 10^{11} - 1,1 \times 10^{12}$	
Καύση κεριού		$3,65 \times 10^{11}$	$7,2 \times 10^{10}$		$23,4 \times 10^{11}$
Ψεκασμός με σπρέι		$2,34 \times 10^{11}$	$1,8 \times 10^{12}$		
Σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα	$9,7 \times 10^{10}$	$3,5 \times 10^{11}$	$1,2 \times 10^{12}$		
Κάπνισμα	$1,91 \times 10^{11}$	$3,76 \times 10^{11}$			$8,83 \times 10^{11}$

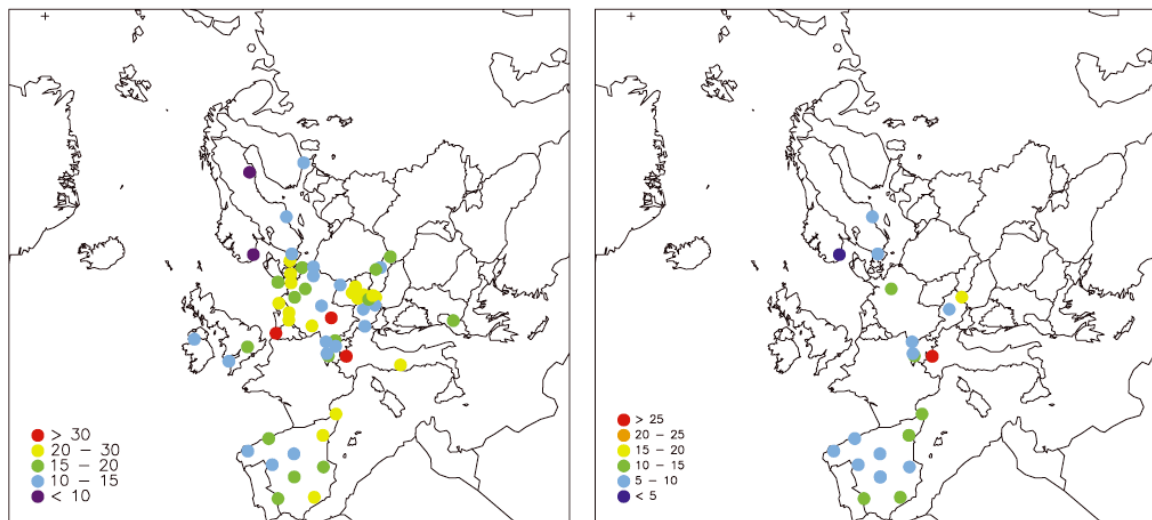
Αποτίμηση έκθεσης

❖ Επίπεδα ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης:

Οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στην Ευρώπη έχουν μέσες ετήσιες τιμές μικρότερες των 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, με μόνο μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών (Λαζαρίδης, 2005). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.20, τα επίπεδα είναι υψηλότερα στην Κεντρική Ευρώπη και στο ηπειρωτικό

κομμάτι της Δυτικής Ευρώπης. Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM_{10} για το 2004 κυμάνθηκαν από $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Νορβηγία) έως $32,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Βέλγιο). Υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} συναντώνται και στη Νότια Ευρώπη, καθώς πέρα από τις ανθρωπογενείς εκπομπές (βιομηχανία, κυκλοφορία οχημάτων), λόγω της διασυνοριακής μεταφοράς ρύπων δέχεται και μεγάλες ποσότητες σωματιδίων από την Αφρική (Sahara dust events). Οσον αφορά στη συγκέντρωση $PM_{2,5}$, οι υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στην Ιταλία ($28,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και στην Αυστρία ($19,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Lazaridis & Colbeck, 2010).

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν στο σταθμό Ακρωτηρίου στην πόλη των Χανίων για τα έτη από 2003 έως 2009, στα πλαίσια του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης, τα μέσα επίπεδα συγκέντρωσης για τα PM_{10} ήταν $36,1 \pm 9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ για τα $PM_{2,5}$ ήταν $23,6 \pm 5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Korpanakis et al., 2012).



Σχήμα 3.18 Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις για τα PM_{10} (αριστερά) και τα $PM_{2,5}$ (δεξιά) σύμφωνα με τους σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων που συμμετείχαν στο Πρόγραμμα Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης του δικτύου EMEP το 2004 (EMEP/CCC 2006).

❖ Επίπεδα συγκέντρωσης σε εσωτερικούς χώρους:

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους είναι μία συνάρτηση πολλών παραγόντων (Morawska et al., 2001; Thatcher and Layton, 1995). Μετά την εκπομπή τους, το σχηματισμό τους ή τη διείδυση τους σε κάποιο εσωτερικό χώρο, τα αιωρούμενα σωματίδια υπόκεινται σε φυσικές και χημικές διεργασίες, οι οποίες μπορούν να μεταβάλλουν τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους, αλλά και τη συγκέντρωσή τους στον αέρα. Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα εσωτερικών χώρων εξαρτάται και από παραμέτρους όπως οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, η εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον, εκπομπές από εσωτερικές πηγές, οι χημικές αντιδράσεις, η

συμπύκνωση, εξάτμιση, συσσωμάτωση, πυρηνοποίηση, η βαρυτική καθίζηση, εναπόθεση και επαναιώρηση (Λαζαρίδης, 2008). Στον Πίνακα 3.8 αναφέρονται σύμφωνα με βιβλιογραφική ανασκόπηση των Gemenetzi et al. (2006) οι τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$ από έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε διάφορους εσωτερικούς χώρους.

Λόγος εσωτερικής συγκέντρωσης προς την εξωτερική συγκέντρωση (I/O)

Σε περίπτωση απουσίας εσωτερικών πηγών οι εσωτερικές συγκεντρώσεις σωματιδίων εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με τις εξωτερικές, και ο λόγος της εσωτερικής συγκέντρωσης προς την εξωτερική (I/O – Indoor/Outdoor) προσεγγίζει την μονάδα, κυμαινόμενο σε ένα ευρύ φάσμα από 0,2 έως 2,5 (Morawska et al., 2001). Σε περίπτωση παρουσίας εσωτερικών δραστηριοτήτων οι εσωτερικές πηγές υπερισχύουν έναντι της διείσδυσης από το εξωτερικό περιβάλλον και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επίδραση της σχέσης σωματιδίων μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων.

Ο λόγος I/O χρησιμοποιείται ως δείκτης ένδειξης της ύπαρξης εσωτερικών πηγών εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων και έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών (Chen & Zao, 2011; Hoek et al., 2008; Lazaridis et al., 2008; 2006; Branis et al., 2005; Blondeau et al., 2005; Chan, 2002; Abt et al., 2000; Jones et al., 2000; Koronen et al., 1999; Janssen et al., 1998; Monn et al., 1997; Wallace, 1996; Quackenboss et al., 1989; Spengler et al., 1981). Ο λόγος αυτός εξαρτάται από το είδος των σωματιδίων που εξετάζονται, τα χαρακτηριστικά των κτηρίων, την εξωτερική συγκέντρωση, τις μετεωρολογικές συνθήκες και την ισχύ των εσωτερικών πηγών (Weichenthal et al., 2007; Branis et al., 2005; Liu et al., 2004). Καθώς οι περισσότερες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη μάζα των σωματιδίων, οι πληροφορίες σχετικά με τη σχέση του αριθμού σωματιδίων μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων είναι ελάχιστες. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες κατέδειξαν ότι ο αριθμός σωματιδίων (particle number - PN) αποτελεί καλύτερος δείκτη της επικινδυνότητας για την υγεία από ότι η μάζα των σωματιδίων (Oberdorster et al., 1995).

Πίνακας 3.8 Βιβλιογραφικά δεδομένα για τιμές συγκέντρωσης PM₁₀ και PM_{2,5} σε εσωτερικούς χώρους (Gemenetzis et al., 2006).

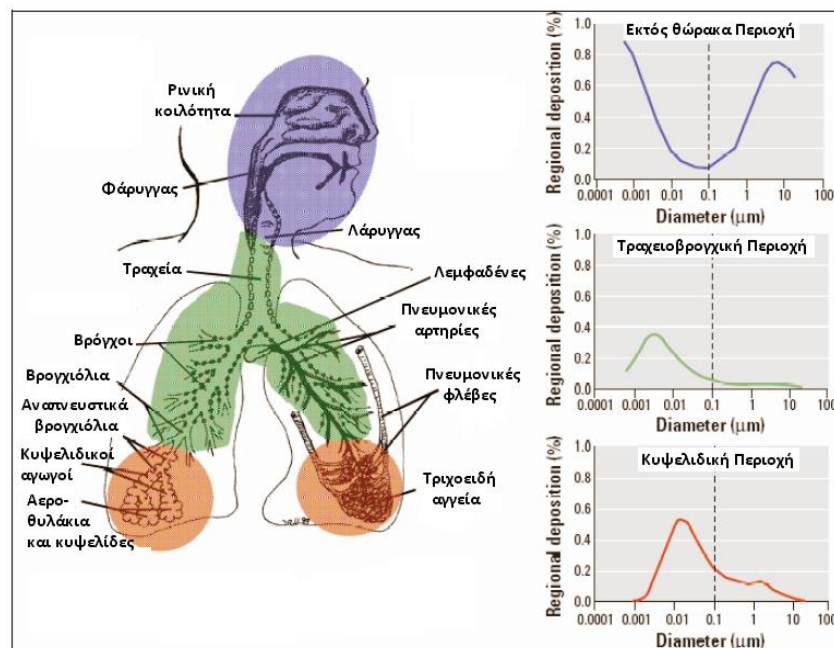
Τοποθεσία	PM _{2,5} (μg m ⁻³)	PM ₁₀ (μg m ⁻³)	Παραπομπές
Helsinki, Finland (κατοικίες)	9.5 ± 6.1 (καπνιστές)	—	Götschi et al. (2002)
Athens, Greece (κατοικίες)	35.6 ± 29.4 (καπνιστές)	—	Götschi et al. (2002)
Athens, Greece (a: σχολ. αίθουσες, b: χώρος καπνιστών για καθηγητές)	22–86 ^a 199 ^b	75–203 ^a 281 ^b	Diapouli et al. (2004)
Hagfors, Sweden (κατοικίες)	14.8 ± 14.5 (καύση ξύλων)	—	Mölnar et al. (2005)
Osaka City, Japan (κατοικίες)	20	34	Funasaka et al. (2000)
Guatemala, USA (κατοικίες)	56.2 (υποβάθρου) 56.8 (σόμπα αερίου) 527.9 (ανοιχτή φωτιά)	183.9 (υποβάθρου) 210.2 (σόμπα αερίου) 186.3 (ανοιχτή φωτιά)	Naeher et al. (2000)
Guangzhou, China (νοσοκομεία)	40–214.9	61.8–250	Wang et al. (2005)
Spokane, USA (κατοικίες)	10.8	23.8	Haller et al. (1999)
Birmingham, UK (κατοικίες)	7.9	16.5	Jones et al. (2000)
Seoul, Korea	—	100 ± 58 (12 κατοικίες - 7 καπνιστών) 99 ± 68 (12 γραφεία - 8 καπνιστών) 171 ± 101 (12 εστιατόρια - 12 καπνιστών)	Baek et al. (1997)
Beijing, China (a: γραφεία, b: σχολ. αίθουσες c: εστιατόρια)	28.1 ^a 66.2 ^b 133.6 ^c	63 ^a 199.4 ^b 373.8 ^c	Yangsheng et al. (2004)
New Jersey, USA (a: γραφεία, b: κατοικίες)	—	30.3 ± 17.6 (μη καπνιστές) ^a 67.1 ± 44.3 (καπνιστές) ^a 27.6 ± 19.8 (μη καπνιστές) ^b 88.8 ± 147.5 (καπνιστές) ^b	Heavner et al. (1996)
Suffolk, New York (κατοικίες)	17.3 ± 1.7 (μη καπνιστές) 49.3 ± 1.8 (καπνιστές)	—	Leaderer et al. (1994)
California, USA (κατοικίες)	15.4	21	Geller et al. (2002)
Netherlands (σχολ. αίθουσες)	23 ± 6.3	—	Janssen et al. (2001)
Hong-Kong, China (σχολ. αίθουσες)	—	21–617	Lee and Chang (2000)
Paris, France (γραφεία) (προσωπική έκθεση)	—	53 (μη καπνιστές) 71 (καπνιστές)	Phillips et al. (1998)
Hong Kong (κατοικίες)	42.7 (μη καπνιστές) 50.6 (καπνιστές)	60 (μη καπνιστές) 71.5 (καπνιστές)	Chao and Wong (2002)
(καμπίνα αεροπλάνου)	68 ± 57 (μη καπνιστές) 155 ± 61 (καπνιστές)	—	Eatough et al. (1992)
California (εστιατόριο)	26 ± 17 (μη καπνιστές) 83 ± 52 (καπνιστές)	—	Ott et al. (1996)
Riverside County, California (κατοικίες)	33.2 (μη καπνιστές) 86.1 (καπνιστές)	—	Na et al. (2004)
Thessaloniki, Greece (κατοικίες)	74 ± 18 (μη καπνιστές) 146 ± 15 (καπνιστές) 408 ± 242 (τηγάνισμα)	—	Dermentzoglou et al. (2003)
Thessaloniki, Greece (αρχαιολογικό μουσείο)	40.5 ± 19.1	—	Mouratidou and Samara (2004)
Thessaloniki, Greece (γραφεία)	67 ± 32 (μη καπνιστές) 111 ± 65 (καπνιστές)	93 ± 43 (μη καπνιστές) 139 ± 78 (καπνιστές)	Gemenetzis et al. (2006)

Επιπτώσεις στην υγεία

Τα στοιχεία από τις επιδημιολογικές μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα καταδεικνύουν σημαντική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών σωματιδίων και της αυξημένης νοσηρότητας και θνησιμότητας, ενώ τα δεδομένα από τις τοξικολογικές μελέτες έχουν αρχίσει να ερμηνεύουν βιολογικώς τις παρατηρούμενες αυτές συσχετίσεις (Neuberger et al., 2004; Brunekreef and Holgate, 2002; Harrison and Yin, 2000; Pope et

al., 1995; Schlesinger, 1995; Schwartz, 1994). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, υπολογίζεται ότι, περίπου 800.000 θάνατοι ετησίως προκαλούνται από την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια (WHO, 2002).

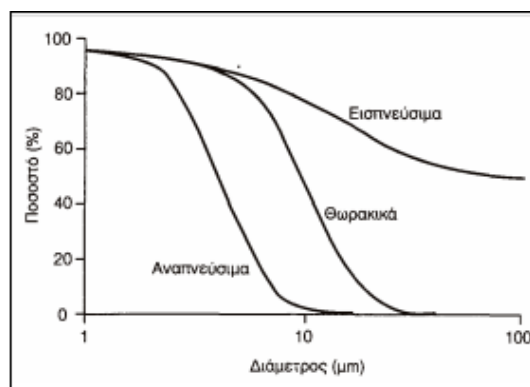
Σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες, η τοξικότητα των σωματιδίων αποδίδεται στην περιεκτικότητά τους σε διαλυτά συστατικά, ραδιενεργά μέταλλα και οργανικές ενώσεις, ενώ τα αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία συνδέονται με την απόθεση των σωματιδίων στην περιοχή της αναπνευστικής οδού, στη θωρακική περιοχή και στους πνεύμονες. Το μέγεθος του σωματιδίου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο αναφορικά με τα προβλήματα της υγείας, καθώς καθορίζει την θέση εναπόθεσης του στην αναπνευστική οδό. Τα χονδρά σωματίδια ($>2,5 \mu\text{m}$) έχουν την τάση να εναποτίθενται στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα (εκτός θώρακα περιοχή), ενώ τα λεπτά ($<2,5 \mu\text{m}$) τείνουν να εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες (κυψελιδική περιοχή). Στο Σχήμα 3.21 φαίνεται η διείσδυση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα και η αντιστοιχία της διαμέτρου των σωματιδίων με τη διείσδυση και εναπόθεση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου.



Σχήμα 3.19 Αναπαράσταση του αναπνευστικού συστήματος και αντιστοιχία απόθεσης σωματιδίων στις περιοχές του βάσει μεγέθους σωματιδίων (αναπροσαρμοσμένο από Wilson & Karpukhin, 2008).

Βάσει της ικανότητας τους να διεισδύσουν στις περιοχές του αναπνευστικού συστήματος τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα. Αναλυτικότερα, εισπνεύσιμα χαρακτηρίζονται τα σωματίδια που μπορούν να εισέλθουν και αποθέτονται στο τμήμα του αναπνευστικού συστήματος της περιοχής του κεφαλιού.

Θωρακικά είναι τα σωματίδια που διασχίζουν τον λάρυγγα και τους πνεύμονες. Τέλος τα αναπνεύσιμα σωματίδια είναι το μέρος των θωρακικών που φθάνει και εναποτίθεται στην περιοχή των πνευμόνων. Οι ορισμοί αυτοί χρησιμοποιούνται για πρακτικούς σκοπούς και η αντιστοίχιση τους σε διαμέτρους σωματιδίων, όπως υιοθετήθηκε από τον διεθνή οργανισμό πιστοποίησης ISO (EPA, 2002), δίνεται στο Σχήμα 3.22.

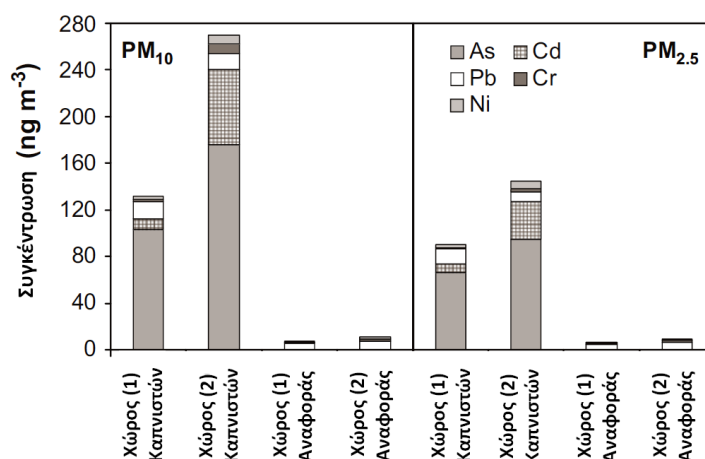


Σχήμα 3.20. Ταξινόμηση των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα βάσει της διαμέτρου τους. Για σωματίδια διαμέτρου PM_{10} το 80% της μάζας τους είναι εσπνεύσιμο, το 50% θωρακικό ενώ το ελάχιστο ποσό είναι αναπνεύσιμο. Αντίθετα, το 90% της μάζας των $PM_{2,5}$ είναι αναπνεύσιμο (Hinds, 1999).

Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν σημαντικές άμεσες και χρόνιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, οι οποίες εξαρτώνται από το μέγεθος, τη χημική σύσταση αλλά και από το χρόνο έκθεσης των ανθρώπων σε αυτά (EPA, 2002; Schwella et al., 2002; Monn, 2001; Burnett et al., 1997). Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν ερεθισμό των ματιών και αλλεργίες, αλλά εστιάζονται κυρίως σε επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα και την καρδιά. (Nelin et al., 2012; Polichetti et al., 2009; Leung et al., 2002; Simoni et al., 2002; Ormstad, 2000). Συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} προκαλούν επιπτώσεις όπως πνευμονικές παθήσεις, καρδιακά προβλήματα και νόσους του αναπνευστικού, ενώ τα $PM_{2,5}$ σχετίζονται με καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνο των πνευμόνων και αυξημένη θνησιμότητα (Kaiser, 2000; Berico et al., 1997).

Ωστόσο, οι εκτιμήσεις για την έκθεση και τον κίνδυνο που αυτή ενέχει για την υγεία, βασίζονται σε δεδομένα από έρευνες που έχουν γίνει για τον εξωτερικό αέρα. Γενικότερα, οι επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε εισπνεόμενα σωματίδια στο εξωτερικό περιβάλλον έχουν μελετηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την έκθεση σε εσωτερικούς χώρους (Ostro and Chestnut, 1998). Επομένως, ένα σημαντικό ζήτημα που τίθεται στις περισσότερες αναλύσεις είναι κατά πόσο αντιπροσωπευτικά είναι τα δεδομένα αυτά της πραγματική έκθεσης του ανθρώπου. Οι άνθρωποι ξοδεύουν περίπου το 85% του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους και συνεπώς εκτίθενται σε αιωρούμενα σωματίδια και από τις εξωτερικές πηγές (μέσω της διείσδυσης του εξωτερικού αέρα) και από τις εσωτερικές πηγές (μαγειρέμα, χρήση συσκευών θέρμανσης, καπνός του τσιγάρου κ.α.), που πιθανόν έχουν διαφορετική σύσταση και τοξικότητα.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, σε σωματίδια που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος (λόγω του είδους του καυσίμου που χρησιμοποιείται) ή της καύσης κεριών περιέχονται καρκινογόνες ουσίες, όπως οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs) (To et al., 2007, Zhu & Wang, 2003). Επίσης, στο Σχήμα 3.23 παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις (ng/m^3) των καρκινογόνων στοιχείων Cr, Ni, As, Cd και Pb (Smith et al., 1997; Landsberger and Wu, 1995) στη σύσταση των PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ σε 2 χώρους καπνιστών και 2 χώρους αναφοράς, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης των Slezakova et al. (2009). Η ισχυρή επίδραση του καπνού του τσιγάρου στη χημική σύσταση των σωματιδίων του εσωτερικού αέρα αντιστοιχεί σε αύξηση 1100 – 2400% και 840-2200% της συνολικής συγκέντρωσης των 5 καρκινογόνων στοιχείων στα PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ αντίστοιχα.



Σχήμα 3.21 Μέση συγκέντρωση (ng/m^3) των καρκινογόνων στοιχείων Cr, Ni, As, Cd και Pb στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ σε δύο χώρους καπνιστών -γραφείο (1), καφετέρια (2)- και δύο χώρους μη καπνιστών (αναφοράς) (αναπροσαρμοσμένο από Slezakova et al., 2009).

Όρια ασφαλείας

Για τους εσωτερικούς χώρους δεν έχουν θεσμοθετηθεί όρια συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων. Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζονται οι ετήσιες και ημερήσιες οριακές τιμές για τα ατμοσφαιρικά επίπεδα συγκέντρωσης PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$.

Πίνακας 3.9 Όρια ποιότητας αέρα για ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια.

Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Οργανισμός		PM_{10}	$\text{PM}_{2,5}$
Ευρωπαϊκή Ένωση – Ε.Ε. (2008/50/EC)	Μέση ετήσια	20	25
	Μέση ημερήσια	50	-
Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ – EPA (US EPA, 2006)	Μέση ετήσια	-	15
	Μέση ημερήσια	150	35
Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας – Π.Ο.Υ (WHO, 2005)	Μέση ετήσια	20	10
	Μέση ημερήσια	50	25

4. ΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟ



4.1 Γενικά στοιχεία

Στην παρούσα εργασία μελετάται η ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων στο κτήριο του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, το οποίο ανήκει στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Το Πολυτεχνείο Κρήτης (Συντεταγμένες: 35°31'58"N 24°4'6"E) βρίσκεται στο Δήμο Ακρωτηρίου του Νομού Χανίων σε οικόπεδο συνολικής έκτασης 3000 στρεμμάτων, 7 χιλ. Β.Α. της πόλης των Χανίων και σε υψόμετρο 137μ. (Σχήμα 4.1).

Το Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος ιδρύθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης με Προεδρικό Διάταγμα το 1995 (Π.Δ. 232/1995, ΦΕΚ 134/ 22-6-1995/τ.Α') με αποστολή αφενός μεν τη διδασκαλία και έρευνα των αντικειμένων της περιβαλλοντικής επιστήμης και μηχανικής και αφετέρου δε την κατάρτιση επιστημόνων μηχανικών ικανών να συμβάλλουν στη μέτρηση, παρακολούθηση, αξιολόγηση και αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργεί η ανθρώπινη επέμβαση στο περιβάλλον. Το Τμήμα δέχτηκε τους πρώτους φοιτητές το 1997.



Σχήμα 4.1 Δορυφορικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Χανίων, όπου φαίνεται η τοποθεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα από ©2012 Digital Globe, Cnes/Spot Image, GeoEye, © WikiMapia.org).

Το Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος διαθέτει δύο κτήρια, η ανέγερση των οποίων υλοποιήθηκε το 2003. Για την ολοκλήρωση του κτηριακού συγκροτήματος του Τμήματος αναμένεται να κατασκευαστούν τρία νέα κτίρια, που θα πλαισιώσουν τα ήδη υφιστάμενα. Η τοποθεσία των υφιστάμενων κτηρίων του Τμήματος στην Πολυτεχνειούπολη παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2. Τα κτήρια απέχουν περίπου 800μ. από τον κεντρικό οδικό άξονα της περιοχής, ο οποίος βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης.

Κυρίαρχο στοιχείο της αρχιτεκτονικής του βασικού υφιστάμενου κτηρίου, το οποίο αποτέλεσε το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας (Σχήμα 4.3), είναι ότι, χωρίζεται σε 2 όμοια τμήματα, τα οποία ενώνονται με ενδιάμεσο τμήμα με μία θολωτή κατασκευή πάνω στην οροφή, κατασκευασμένο, κυρίως, από γυαλί και αλουμίνιο, ώστε να επιτυγχάνεται φυσικός φωτισμός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (Εικόνα 1). Το

δεύτερο υφιστάμενο κτήριο αποτελείται από ένα μόνο τμήμα, έχοντας όμως προβλεφθεί η κατασκευή και του δεύτερου συμμετρικού τμήματος.



Σχήμα 4.2 Δορυφορικός χάρτης Google της Πολυτεχνειούπολης, με σημειωμένη τη θέση των κτηρίων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος.



Σχήμα 4.3 Δορυφορική φωτογραφία (Google Earth) όπου φαίνεται η πανοραμική άποψη των κτηρίων Μηχανικών Περιβάλλοντος.



Εικόνα 4.1 Γενική άποψη (βορειοδυτική πρόσοψη) του υπό μελέτη κτηρίου.

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής βρίσκονταν σε εξέλιξη οι εργασίες για την οικοδόμηση του δεύτερου τμήματος αυτού, το οποίο, όπως και στο υπό μελέτη κτήριο, θα ενωθεί με το πρώτο με μια κατασκευή από γυαλί και αλουμίνιο. Επίσης υπό εξέλιξη βρισκόταν και η υλοποίηση ανέγερσης των δύο νέων κτηριακών μονάδων, σε γραμμική και παράλληλη διάταξη νοτιοανατολικά των δύο υπάρχοντων, σκοπός της οποίας είναι να στεγάσει άμεσες ανάγκες του τμήματος. Στην τρισδιάστατη απεικόνιση (Σχήμα 4.4) παρουσιάζεται η τοποθέτηση στο χώρο των υφιστάμενων και υπό ανέγερση κτηριακών εγκαταστάσεων στην ολοκληρωμένη τους μορφή (Νταουκάκη, 2010).

4.2 Περιγραφή του υπό μελέτη κτηρίου

❖ Γεωμετρία – οργάνωση

Το υπό μελέτη κτήριο, η κατασκευή του οποίου ολοκληρώθηκε το 2003, είναι τοποθετημένο στην Πολυτεχνειούπολη στο Δήμο Ακρωτηρίου, Ν. Χανίων (συντεταγμένες: $35^{\circ}31'58.16''\text{B}$ και $24^{\circ}04'06.05''\text{A}$). Το κτήριο είναι προσανατολισμένο

κατά 315° Βόρεια, 45° ανατολικά, 105° νότια και 225° δυτικά Η συνολική έκταση του οικοδομήματος είναι περίπου 1756 m², από τα οποία το κτήριο καλύπτει τα 1228 m². Οι δύο κύριες προσόψεις του, η βορειοδυτική και η νοτιοανατολική έχουν προσανατολισμό προς τη θάλασσα και το βουνό αντίστοιχα.

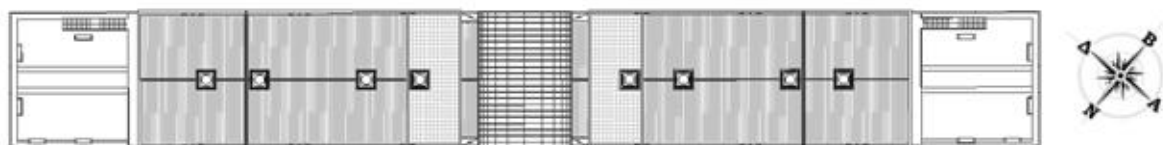


Σχήμα 4.4 Πανοραμική άποψη των υφιστάμενων κτηριακών εγκαταστάσεων, η κατασκευή των οποίων ολοκληρώθηκε το 2003, και των υπό ανέγερση κτηριακών μονάδων. Η τρισδιάστατη απεικόνιση έγινε το 2010 σε λογισμικό Autocad στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας (Νταουκάκη, 2010).



Εικόνα4.2. Γενική άποψη (νοτιοανατολική πρόσοψη) υφιστάμενων κτηριακών εγκαταστάσεων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος πριν και κατά τη διάρκεια των οικοδομικών εργασιών κατασκευής των νέων κτηρίων.

Το κτήριο χωρίζεται σε 2 όμοια τμήματα, όπως φαίνεται και από την κάτοψη (Σχήμα 4.5), τα οποία ενώνονται με ενδιάμεσο τμήμα, κατασκευασμένο, κυρίως, από γυαλί και αλουμίνιο, ώστε να επιτυγχάνεται φυσικός φωτισμός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Το κτήριο, αποτελείται από ένα ισόγειο και δύο ορόφους. Ο πρώτος όροφος και το ισόγειο περιλαμβάνουν γραφεία, εργαστήρια, δύο κλιμακοστάσια, 4 τουαλέτες και 4 αποθηκευτικούς χώρους, ενώ ο δεύτερος όροφος αποτελεί μηχανολογικό χώρο. Το ύψος των τοίχων στο ισόγειο και τον πρώτο όροφο είναι 3 m προσθέτοντας το πάχος της πλάκας της οροφής ή ψευδοροφής, η οποία είναι 30 cm, ενώ ο μηχανολογικός όροφος έχει ύψος 190 cm.



Σχήμα 4.5 Σκαρίφημα υπό μελέτη κτηρίου.



Εικόνα 4.3 Εσωτερικός διάδρομος ορόφου του κτηρίου του Τμήματος Μηχανικών Περιβ/ντος.

Η εσωτερική οργάνωση και στα δύο επίπεδα του κτηρίου είναι γραμμική με κεντρικό διάδρομο (Εικόνα 4.3), εκατέρωθεν του οποίου βρίσκονται οι εργαστηριακοί και γραφειακοί χώροι. Γενικότερα στο κτήριο Μηχανικών Περιβάλλοντος, στο ισόγειο οργανώνονται οι εργαστηριακοί χώροι ενώ στον όροφο οι γραφειακοί. Στην κεντρική ζώνη του ισογείου βρίσκεται η είσοδος του κτηρίου, ενώ στην κεντρική ζώνη του ορόφου βρίσκονται επίσης η γραμματεία και ο χώρος συνεδριάσεων του τμήματος.



Εικόνα 4.4 Η οροφή του διαδρόμου διακόπτεται ανά διαστήματα από τετράγωνες οπές, μέσα από τις οποίες εισέρχεται φυσικό φως.

Η οροφή του διαδρόμου του ισογείου φέρει ανά διαστήματα τετράγωνη οπή 2x2 μέτρα μέσα από την οποία μεταφέρεται το φυσικό φως από το δώμα στο ισόγειο. Το ίδιο συμβαίνει και με την οροφή του διαδρόμου του ορόφου, η οποία διακόπτεται στα ίδια σημεία με τις παραπάνω αντίστοιχων διατομών οπές (Εικόνα 4.4). Στο επάνω μέρος οι οπές αυτές καλύπτονται με κρύσταλλα τρίπλεξ ασφαλείας ενώ στο κάτω μέρος στο επίπεδο της ψευδοροφής φέρουν στοιχεία σκίασης.

Στον όροφο και στην κεντρική ζώνη του κτηρίου σχηματίζεται πυκνή καφασωτή μπετονένια ή αλουμινένια κατασκευή η οποία περνά στην οροφή ενώ κατεβαίνει μερικώς και στο ισόγειο. Στα κενά που δημιουργούνται είναι τοποθετημένοι διπλοί υαλοπίνακες. Το υαλοστάσιο αυτό φέρει, στην οροφή και νότια πλευρά, ηλιοπροστατευτικές περσίδες που ανοιγοκλείνουν με τηλεχειρισμό. Πάνω στην καφασωτή οροφή έχει τοποθετηθεί καμπυλωτή θολωτή κατασκευή που επικαλύπτεται από διάφανες πολυκαρβονικό άκαυστο υλικό (Νταουκάκη, 2010).



Εικόνα 4.5 Υαλοστάσιο με ηλιοπροστατευτικές περσίδες στην κεντρική ζώνη του κτηρίου.

Τέλος, πλευρικά του κτηρίου και στη συνέχεια του εξωτερικού τοίχου του ισογείου, οργανώνονται αίθρια (αυλές) με κήπους, η περίμετρος των οποίων περιφράσσεται με



Εικόνα 4.6 Νοτιοανατολική άποψη του κτηρίου όπου φαίνεται ο περιβάλλοντων χώρος.

ντόπια πέτρα, μέσω των οποίων γίνεται η μετάβαση από τον κτισμένο στον περιβάλλοντα χώρο. Στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου, δεν υπάρχουν εμπόδια, φυσικά ή τεχνητά που να διακόπτουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο, εκτός από παρακαείμενο κτήριο, το οποίο εμποδίζει την άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας κυρίως στην νοτιοανατολική πλευρά του κτηρίου (Εικόνα 4.6).

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι, στην παρούσα εργασία οι μεταβλητές που σχετίζονται με τη γεωμετρία του κτηρίου έχουν υπολογιστεί με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια, τα οποία έχουν προμηθευτεί από την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης.

❖ **Θερμομόνωση – δομικά στοιχεία**

Το κτήριο που μελετάται είναι θερμικά μονωμένο. Οι τοίχοι αποτελούνται εσωτερικά προς εξωτερικά, από διπλή γυψοσανίδα πάχους 18 mm η μία, μόνωση πάχους 5 cm (πετροβάμβακας, πυκνότητας 80 kg/m³) και τσιμεντοσανίδα πάχους 12 mm. Η οροφή του ισογείου και του πρώτου ορόφου αποτελείται από ανεπίχριστο σκυρόδεμα πάχους 2 cm, μόνωση πάχους 5 cm (πετροβάμβακας πυκνότητας 80 kg/m³), διάκενο 20 cm και κεραμικά πλακάκια 10 mm. Η οροφή του δεύτερου ορόφου, που βρίσκεται ο μη θερμαινόμενος χώρος αποτελείται από ανεπίχριστο σκυρόδεμα πάχους 2 cm, μόνωση πάχους 10 cm και ασφαλόπανο πάχους 10 mm. Τα δάπεδα σε όλους του χώρους καλύπτονται από κεραμικά πλακάκια πάχους 10mm. Τέλος, στο κτήριο όλα τα παράθυρα αποτελούνται από διπλούς υαλοπίνακες με πλαίσιο αλουμινίου και εσωτερικές περσίδες (Παυλίδου, 2008).

❖ **Σύστημα θέρμανσης και ψύξης**

Το υπό μελέτη κτήριο είναι εξοπλισμένο με αντλίες θερμότητας τύπου VRV για θέρμανση και ψύξη, οι οποίες είναι εγκατεστημένες στο μηχανολογικό χώρο, στον δεύτερο όροφο του κτηρίου. Ο θερμός και ψυχρός αέρας διανέμεται στους χώρους μέσω μονωμένων σωλήνων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην ψευδοροφή, και εκπέμπεται από κλιματιστικά τύπου κασέτας 4 κατευθύνσεων, τα οποία επίσης είναι εγκατεστημένα στην ψευδοροφή (Παυλίδου, 2008). Τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης διαχειρίζονται αυτόνομα, με θερμοστάτη που ελέγχεται από το χρήστη. Σε γενικές γραμμές η μέση θερμοκρασία θέρμανσης συνήθως ορίζεται στους 20°C και η μέση θερμοκρασία ψύξης στους 25°C.

❖ **Αερισμός**

Ο αερισμός του κτηρίου πραγματοποιείται με φυσικό αερισμό μέσω ανοίγματος των παραθύρων και με μηχανικό αερισμό μέσω της Κεντρικής Κλιματιστικής Μονάδας (ΚΚΜ).

❖ **Φωτισμός**

Η κατασκευή του κτηρίου επιτρέπει τον φυσικό φωτισμό ολόκληρου του κτηρίου από φεγγίτες, οι οποίοι βρίσκονται στην οροφή του ισόγειου και του πρώτου ορόφου, καθώς επίσης και από τα παράθυρα που βρίσκονται σε όλους τους χώρους του. Ως επί το πλείστον το κτήριο φωτίζεται τεχνητά όλη την ημέρα, ακόμη και τις ώρες που ο φυσικός φωτισμός επαρκεί. Οι ανάγκες φωτισμού των εσωτερικών χώρων καλύπτονται από λάμπες φθορίου των 16 W (Παυλίδου, 2008). Επιπλέον υπάρχει φωτισμός ασφαλείας τις νυχτερινές ώρες. Όλοι οι διακόπτες ελέγχονται από το χρήστη.

❖ **Λειτουργία**

Σε γενικές γραμμές τα γραφεία λειτουργούν καθημερινά από τις 9 π.μ. μέχρι τις 5 μ.μ., 5 ημέρες/εβδομάδα, όλο το έτος και τα εργαστήρια λειτουργούν από τις 9 π.μ. μέχρι τις 9 μ.μ., 5 ημέρες/εβδομάδα. Δεδομένου ότι το κτήριο είναι πανεπιστημιακό, στα γραφεία και τα εργαστήρια υφίστανται συχνές επισκέψεις φοιτητών, πέρα από όσους εργάζονται σε αυτά. Το ωράριο χρήσης διαφοροποιείται στον κάθε χώρο ανάλογα με τις εργασίες και υποχρεώσεις του ακαδημαϊκού προσωπικού και των φοιτητών (προπτυχιακών, μεταπτυχιακών και διδακτορικών) και συνήθως υπερβαίνει κατά πολύ τις προαναφερθείσες ώρες. Το κτήριο χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις και τις μη εργάσιμες ημέρες (Σάββατο – Κυριακή), κατά τη διάρκεια των οποίων η προσέλευση στο κτήριο είναι αρκετά περιορισμένη σε σχέση με την υπόλοιπη εβδομάδα.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία που παραθέσαμε, συμπεραίνεται ότι, οι συνθήκες του εσωκλίματος προσδιορίζονται κυρίως από τους χρήστες του κάθε χώρου του κτηρίου σύμφωνα με την προσωπική τους απαίτηση για το περιβάλλον, δηλαδή ανοίγοντας τα παράθυρα και κλείνοντας τα θερμαντικά σώματα κατά την περίοδο θέρμανσης ή θέτοντας σε λειτουργία τις κλιματιστικές μονάδες κατά την περίοδο δροσισμού, καθώς και ανάβοντας και σβήνοντας τα φώτα.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Σκοπός

Αντικείμενο της παρούσης διατριβής είναι η μελέτη και η αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Σκοπός της εργασίας είναι να παρατηρηθούν οι διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών και των συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ρύπων και να διερευνηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Μεθοδολογία

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος στο κτήριο του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος ακολουθήθηκε η παρακάτω ερευνητική μέθοδος συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, η οποία έλαβε χώρα σε επιλεγμένους χώρους.

- **Πειραματικές μετρήσεις:** μετρήθηκαν αντιπροσωπευτικές παράμετροι (φυσικοί και χημικοί παράγοντες) που προσδιορίζουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος.
- **Έρευνα με ερωτηματολόγιο:** ένα ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε στους χρήστες των υπό μελέτη χώρων του κτηρίου με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών σε σχέση με τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα, την αίσθηση της ποιότητας αέρα και τα πιθανά συμπτώματα υγείας που παρουσιάζουν.
- **Επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων:** τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις αξιολογήθηκαν σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τα ερωτηματολόγια.

5.1 Πειραματικές μετρήσεις

5.1.1 Οργάνωση πειραματικών μετρήσεων

Οι επικρατούσες εσωκλιματικές συνθήκες στο κτήριο αξιολογήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων σημαντικών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν σε επιλεγμένους χώρους του κτηρίου οι εξής παράμετροι:

- **Φυσικές παράμετροι:** θερμοκρασία, σχετική υγρασία, φωτεινότητα (ορατή ακτινοβολία), συγκέντρωση ραδονίου, δόση ακτινοβολίας γ , συγκέντρωση μάζας αιωρούμενων σωματιδίων και συγκέντρωση αριθμού των υπόμικρων σωματιδίων.
- **Χημικές παράμετροι:** συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα και συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα.

Αναφορικά με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος ελήφθησαν τα δεδομένα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας του αέρα από το μετεωρολογικό σταθμό Χανίων του Πολυτεχνείου Κρήτης, ώστε να καταγραφούν οι συνθήκες του εξωτερικού μικροκλίματος. Επίσης, παράλληλα με τις εσωτερικές δειγματοληψίες, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων και για το άμεσο εξωτερικό περιβάλλον, με μετρητικό όργανο που τοποθετήθηκε κοντά στο παράθυρο και λάμβανε τιμές μέσω σωλήνα (μήκους 90 cm), προκειμένου να εξετασθεί η συμβολή των εξωτερικών πηγών στις εσωτερικές συγκεντρώσεις.

Για το εσωτερικό περιβάλλον οι μετρήσεις της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και της σχετικής υγρασίας (% RH) του αέρα πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση των μετρητικών οργάνων Tinytag Ultra 2 Loggers της εταιρίας Gemini Data Loggers, ενώ η μέτρηση της φωτεινότητας (Lux) πραγματοποιήθηκε με το 764 Environmental Monitor της ELSEC. Οι μετρήσεις του διοξειδίου και του μονοξειδίου του άνθρακα (ppm) διεξήχθησαν με το όργανο IAQ-CALC 8762 της TSI, το οποίο μετρά συγχρόνως και τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα. Η μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) του εσωτερικού περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε με 2 διαφορετικά μοντέλα του μετρητικού οργάνου DustTrak της εταιρίας TSI: DustTrak 8520 και DustTrak DRX 8534, ενώ η εκτίμηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) του άμεσου εξωτερικού περιβάλλοντος έγινε με το DustTrak II 8532. Τα όργανα αυτά έχουν τη δυνατότητα με αλλαγή της κεφαλής δειγματοληψίας να μετρούν αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ και PM_1 (σωματίδια με μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο 10, 2,5 και 1 μm αντίστοιχα). Επιπλέον, με τη χρήση του οργάνου P-Trak 8525 της TSI έγινε μέτρηση του αριθμού ανά κυβικό εκατοστόμετρο ($\text{particles}/\text{cm}^3$) των μικρών σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, με διάμετρο μικρότερη του 1 μm . Τέλος, η πραγματοποίηση των μετρήσεων της συγκέντρωσης ραδονίου (Bq/m^3) και της (ισοδύναμης) δόσης ακτινοβολίας γ (nSv/h) έγινε με τη χρήση των οργάνων DOSEman PRO της εταιρίας Sarad και FH 40 G της Thermo Scientific αντίστοιχα. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζουμε τα

μεγέθη που μετρήθηκαν και τα όργανα μέτρησης (Εικόνα 5.1) που χρησιμοποιήθηκαν με τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά τους σε συνοπτική μορφή, ενώ η αναλυτική περιγραφή τους γίνεται στο 5.1.2.

Πίνακας 5.1 Μεγέθη και όργανα μέτρησης.

Παράμετρος	Όργανο μέτρησης	Εύρος λειτουργίας	Ακρίβεια οργάνου
Θερμοκρασία	Tinytag Ultra 2 Logger/ IAQ-CALC 8762	-25 - 85°C/ 0 - 60°C	± 0.6°C
Σχετική υγρασία	Tinytag Ultra 2 Logger/ IAQ-CALC 8762	0 - 95% RH/ 5 - 95% RH	±3.0% RH στους 25°C/ ±3.0% RH στους 25°C
Μονοξείδιο του άνθρακα	IAQ-CALC 8762	0 - 500 ppm	±3%
Διοξείδιο του άνθρακα	IAQ-CALC 8762	0 - 5000 ppm	±3% στους 25°C
Συγκέντρωση μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εσωτερικού περ/ντος (PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀)	DustTrak DRX 8534/ DustTrak 8520	0,001 - 150 mg/m ³ / 0,001 - 100 mg/m ³	± 0,01% ή 0,001 mg/m ³
Συγκέντρωση μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εξωτερικού περ/ντος (PM _{2.5} , PM ₁₀)	DustTrak II 8532	0,001 - 150 mg/m ³	± 0,01% ή 0,001 mg/m ³
Συγκέντρωση αριθμού υπόμικρων αιωρούμενων σωματιδίων (0,02 - 1 μm)	P-Trak 8525	0 - 500.000 pt/cm ³	
Φωτεινότητα (ορατή ακτινοβολία)	ELSEC 764	0.1 - 200.000 Lux	5% ±1 displayed digit
Ραδόνιο	DOSEman PRO	0,1 Bq/m ³ - 4 MBq/m ³ 0 - 10000 μSv	
Ακτινοβολία γ	FH 40 G	10 nSv/h - 1 Sv/h,	



Εικόνα 5.1 Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές μετρήσεις της παρούσης εργασίας.

Η διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων στον κάθε χώρο πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση είχε διάρκεια μίας εβδομάδας (σε ορισμένες περιπτώσεις και

περισσότερο) και περιελάμβανε μετρήσεις όλων των προαναφερθέντων παραμέτρων, με μοναδική εξαίρεση τη συγκέντρωση αριθμού των υπόμικρων αιωρούμενων σωματιδίων. Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε κατά τη δεύτερη φάση, σε συνδυασμό με ταυτόχρονη μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} . Τα παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 5.2. Όσον αφορά στις θέσεις των οργάνων μέτρησης, όλα τα όργανα τοποθετήθηκαν σε μέσο ύψος περίπου 1,5 μέτρο (κοντά στη ζώνη αναπνοής) πάνω από το έδαφος του πατώματος του εσωτερικού χώρου και σε θέσεις ώστε να μην εμποδίζουν το χρήστη του χώρου στην εκτέλεση της τυπικής εργασίας του.

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος ήταν συνεχείς και κάλυπταν χρονικά όλη τη διάρκεια της πρώτης φάσης. Η μέτρηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου και του διοξειδίου του άνθρακα περιορίστηκε στο ένα με δύο εικοσιτετράωρα (σε ορισμένες περιπτώσεις διήρκεσε μία εβδομάδα), διάστημα αρκετό για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ποιότητα αέρα στον εκάστοτε χώρο. Η δειγματοληψία των παραπάνω παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με βήμα 5 λεπτών της ώρας. Το βήμα μέτρησης των δεδομένων που ελήφθησαν από το μετεωρολογικό σταθμό ήταν 10 λεπτά.

Πίνακας 5.2 Διαξαγωγή πειραματικών μετρήσεων.

Φάση	Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης
Α	Θερμοκρασία	°C
	Σχετική υγρασία	% RH
	Μονοξείδιο του άνθρακα	ppm
	Διοξείδιο του άνθρακα	ppm
	Συγκέντρωση μάζας $PM_{10} - PM_{2,5} - PM_{10}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Συγκέντρωση μάζας $PM_{2,5} - PM_{10}$ εξωτερικού περιβάλλοντος	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Φωτεινότητα (ορατή ακτινοβολία)	Lux
	Ραδόνιο	Bq/m^3
	Ακτινοβολία γ	nSv/h
Β	Συγκέντρωση μάζας PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Συγκέντρωση αριθμού PM_{10} (0,02– 1 μm)	pt/cm ³

Συνεχείς ήταν και οι ταυτόχρονες μετρήσεις συγκέντρωσης αριθμού και μάζας αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της δεύτερης φάσης. Ο χρόνος δειγματοληψίας όμως στη φάση αυτή περιορίστηκε στις τρεις ώρες ανά ημέρα (το βήμα μέτρησης και εδώ ήταν 5 λεπτά) λόγω της ανάγκης εφοδιασμού με

ισοπροπυλική αλκοόλη που έχει ανά μερικές ώρες για τη λειτουργία του ο μετρητής του πλήθους των υπόμικρων σωματιδίων, P-Trak 8525.

Οι μετρήσεις των υπόλοιπων παραμέτρων ήταν μη συνεχείς. Η φωτεινότητα (ορατή ακτινοβολία) των υπό μελέτη χώρων μετρήθηκε για ένα μικρό χρονικό διάστημα (10 – 20 sec) σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές (11:00, 14:00, 17:00) κατά τη διάρκεια μίας ημέρας στα πλαίσια της πρώτης φάσης. Η μέτρηση της φωτεινότητας δεν κρίθηκε απαραίτητο να επαναληφθεί και δεύτερη μέρα, καθώς η ένταση της ορατής ακτινοβολίας δε μεταβάλλεται σημαντικά όταν επικρατούν παρόμοιες εξωτερικές μετεωρολογικές συνθήκες. Για την ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας γ πραγματοποιήθηκαν σε κάθε έναν από τους χώρους τρεις επιμέρους μετρήσεις (Α, Β και Γ) διάρκειας μερικών λεπτών. Την τιμή μέτρησης κάθε μετρούμενου χώρου αποτέλεσε ο μέσος όρος των τριών επιμέρους μετρήσεων που εκτελέστηκαν στον εν λόγω χώρο. Τέλος, η δειγματοληψία για την εξαγωγή μίας μέσης τιμής συγκέντρωσης ραδονίου από το μετρητικό όργανο στον κάθε εξεταζόμενο χώρο είχε διάρκεια 1 ώρα.

Ειδικά για τα όργανα μέτρησης συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων (DustTrak, TSI), πραγματοποιήθηκε επιπροσθέτως και μία σειρά συγκριτικών μετρήσεων με όργανα αναφοράς που χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια και τα οποία παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6, προκειμένου να εκτιμηθεί η αξιοπιστία τους.

5.1.2 Περιγραφή Οργάνων

Τα προσδοκώμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων για μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους είναι η δυνατότητα εύκολης μεταφοράς, η συμβατή μέθοδος δειγματοληψίας στο χώρο μέτρησης (ροή αντλίας, εύρος μέτρησης) και η εύκολη βαθμονόμηση (Λαζαρίδης, 2008). Πρέπει να τονιστεί ότι νομοθετικές ρυθμίσεις υπάρχουν κυρίως για την ποιότητα του αέρα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και χώρους εργασίας αλλά γενικά υπάρχει απουσία νομοθετικών ρυθμίσεων για την ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους.

Στη συνέχεια γίνεται μία συνοπτική περιγραφή των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν.

5.1.2.1 Όργανα μέτρησης συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων

Για την εκτίμηση του επιπέδου των αιωρούμενων σωματιδίων έγινε χρήση οργάνων που λαμβάνουν συνεχείς μετρήσεις που αφορούν στη συγκέντρωση των σωματιδίων και οι οποίες είναι διαθέσιμες σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να μπορεί να εξετασθεί η πιθανή συσχέτιση του επιπέδου των σωματιδίων με διεργασίες που συντελούνται στο συγκεκριμένο χώρο.

Γενικά οι κατηγορίες εργασιών στις οποίες μπορεί να φανούν χρήσιμα τα όργανα αυτά είναι:

- Έλεγχος ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων
- Έλεγχος χώρων εργασίας σε βιομηχανίες
- Περιβαλλοντικές μετρήσεις-Μετρήσεις ποιότητας αέρα σε απομακρυσμένες περιοχές.

Λόγω της ανάγκης ταυτόχρονης μέτρησης της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων στον εκάστοτε εσωτερικό χώρο και στο άμεσο εξωτερικό του περιβάλλον, έγινε χρήση περισσοτέρων του ενός οργάνων προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες δειγματοληψίας σε όλους τους χώρους. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές εκδόσεις του οργάνου DustTrak της εταιρείας TSI, το «8520» και το «II 8532» (Εικόνα 2) που είναι η νεότερη έκδοση, καθώς και ένα πιο προηγμένο μοντέλο, το DustTrak «DRX 8534», η αρχή λειτουργίας των οποίων στηρίζεται στη διάχυση του φωτός από τα εισερχόμενα σωματίδια στο εσωτερικό του οργάνου.

Για να ελεγχθεί η συμφωνία των οργάνων όσον αφορά τις καταγραφόμενες τιμές, τα τρία όργανα μετρούσαν για 5 ημέρες ταυτόχρονα συγκέντρωση μάζας σωματιδίων PM_{10} (σύνολο 1167 τιμών) και για 5 ημέρες συγκέντρωση μάζας $PM_{2,5}$ (σύνολο 1151 τιμών). Τα τρία όργανα κατέγραφαν τιμές ανά 5 λεπτά. Η συμφωνία των τριών οργάνων κρίθηκε ικανοποιητική, καθώς ο συντελεστής συσχέτισης ανά κάθε δύο όργανα είχε τιμή μεγαλύτερη από 0,9 (Παράρτημα Ι).

❖ DustTrak Aerosol Monitor 8520 και DustTrak II Aerosol Monitor 8532 (TSI)

Το όργανο DustTrak της εταιρείας TSI έχει τη δυνατότητα με αλλαγή της κεφαλής δειγματοληψίας να μετράει αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , $PM_{2,5}$ και PM_1 (σωματίδια με μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο 10, 2,5 και 1 μ m αντίστοιχα). Το όργανο διαθέτει μία ψηφιακή οθόνη που δείχνει σε πραγματικό χρόνο τις συγκεντρώσεις σε mg/m^3 και ταυτόχρονα καταγράφει τα δεδομένα στην μνήμη. Επίσης, με το λογισμικό ανάλυσης



Εικόνα 5.2 Με τη σειρά όπως φαίνονται: όργανο DustTrak Aerosol Monitor 8520 (διαστάσεις: 40,6 x 33 x 19,1cm) και όργανο DustTrak II Aerosol Monitor 8532 (διαστάσεις: 12,5 x 12,1 x 31,6 cm) της TSI.

δεδομένων που συνοδεύει το όργανο δίνεται η δυνατότητα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή να κάνουμε τον προγραμματισμό για την δειγματοληψία (Software TrackPro Data Analysis). Η αρχή λειτουργίας του οργάνου στηρίζεται στη μέτρηση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από τα αιωρούμενα σωματίδια.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του οργάνου είναι ότι είναι φορητό και μικρό σε μέγεθος. Έτσι παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης (με χρήση μπαταριών) σε οποιονδήποτε χώρο και σημείο. Επίσης, έχει περίβλημα ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες του περιβάλλοντος για την πραγματοποίηση μετρήσεων με ακρίβεια στους εξωτερικούς χώρους. Στις εικόνες (5.2, 5.3) απεικονίζονται τα δύο μοντέλα του DustTrak που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, το DustTrak 8520 και το μεταγενέστερο DustTrak II 8532, καθώς και οι κεφαλές δειγματοληψίας.

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων μετράται σε mg/m^3 και η ακρίβεια της μετρούμενης μάζας είναι $\pm 0,01\%$ ή $0,001 \text{ mg}/\text{m}^3$ (παροχή αέρα $1,7 \text{ l}/\text{min}$). Το εύρος της μετρούμενης συγκέντρωσης κυμαίνεται από $0,001$ έως $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ για το μοντέλο «8520» (TSI, 2003) και από $0,001$ έως $150 \text{ mg}/\text{m}^3$ για το μοντέλο «II 8532» (TSI, 2008).



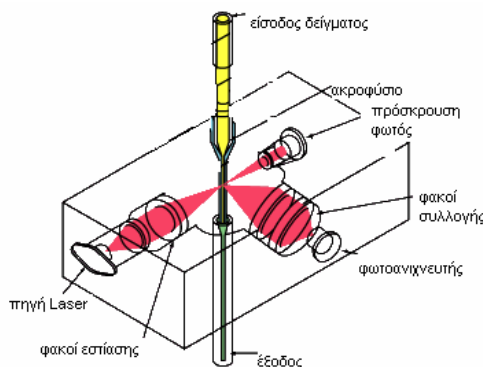
Εικόνα 5.3 Κεφαλές δειγματοληψίας για το όργανο DustTrak 8520 (TSI).

Αρχή λειτουργίας οργάνου

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται στην διάχυση του φωτός. Καθώς μια «μάζα» αέρα οδηγείται στο εσωτερικό του οργάνου αυτή «βομβαρδίζεται» από φωτεινά κύματα laser. Τα σωματίδια της αέριας μάζας διαχέουν το φως αυτό προς όλες τις κατευθύνσεις. Ένας φακός που είναι τοποθετημένος κάθετα στο επίπεδο που σχηματίζουν οι διευθύνσεις της ροής σωματιδίων και των ακτινών laser, συλλέγει κάποιο μέρος από το σκεδαζόμενο φως και το προωθεί προς έναν φωτοανιχνευτή (Σχήμα 5.1). Το σήμα του φωτοπολλαπλασιαστή μετατρέπεται σε τάση ηλεκτρικού

ρεύματος (volts) που θα είναι ανάλογη του ποσού του σκεδαζόμενου φωτός, άρα και ανάλογη της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη «μάζα» αέρα.

Η διάχυση του φωτός καθορίζεται κύρια από τη συγκέντρωση των σωματιδίων, ενώ εξαρτάται επίσης και από το βαθμό διάθλασης και τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων ως προς την ικανότητά τους να απορροφούν φωτεινά κύματα. Η σκέδαση του φωτός μπορεί να θεωρηθεί ότι μεταβάλλεται γραμμικά ως προς την συγκέντρωση των σωματιδίων για σωματίδια μέχρι 0,1μm. Στην ενδιάμεση περιοχή από 0,1 μέχρι 0,25μm φαίνεται ότι όσο μειώνεται η συγκέντρωση η σκέδαση μειώνεται με την έκτη δύναμη της διαμέτρου D^6 . Η δίοδος παραγωγής ακτινών Laser παράγει κύματα με μήκος κύματος 780 nm (= 0,78 μm) (Λαζαρίδης, 2008). Είναι ευνόητο ότι με τη μέθοδο σκεδασμού του φωτός γίνεται απλώς μέτρηση του σωματιδιακού φορτίου, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω ανάλυσης της χημικής του σύστασης.



Σχήμα 5.1 Αρχή λειτουργίας οργάνου DustTrak (Λαζαρίδης, 2008).

Παρά τα πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων που προκύπτουν από το όργανο αυτό δεν είναι πραγματικές βαρομετρικές (σταθμικές) καθώς δε γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου για το κάθε ένα αεροζόλ που μελετάται. Συνεπώς το DustTrak δεν μπορεί να μετρήσει την ακριβή συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων, εκτός εάν έχει βαθμονομηθεί για τις συγκεκριμένες μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων (He et al, 2004; Jeff et al, 2002; Morawska et al, 2001). Αυτό βέβαια στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι δυνατό, δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων από τις διάφορες πηγές εκπέμπονται σωματίδια με διαφορετικά χαρακτηριστικά (σχήμα και πυκνότητα) (Glytsos et al., 2010; Marsik et al, 2008). Για το λόγο αυτό, συνήθως κρίνεται απαραίτητη η εξαγωγή μίας εξίσωσης διόρθωσης των «προσεγγιστικών» τιμών του DustTrak, η οποία μπορεί να προκύψει έπειτα από παράλληλη μέτρηση με κάποιο όργανο αναφοράς και

συσχέτιση των τιμών (Park et al, 2009; Yanosky et al., 2002). Περαιτέρω πληροφορίες για τη διόρθωση των τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων της παρούσης εργασίας παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6.



Εικόνα 5.4 Μοντέλο DustTrak DRX Aerosol Monitor 8534 της TSI (διαστάσεις: 12,5x 12,1 x 31,6 cm).

❖ **DustTrak DRX Aerosol Monitor 8534 (TSI)**

Το όργανο αυτό (Εικόνα 5.4) έχει τη δυνατότητα να μετρά ταυτόχρονα και τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων και την κατανομή τους ανάλογα με το μέγεθος τους. Το DustTrak DRX είναι ένα φορητό όργανο που λειτουργεί με μπαταρίες και καταγράφει σε πραγματικό χρόνο τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 1, 2,5 και 10 μm σε ένα ευρύ φάσμα συγκέντρωσης (0,001 - 150 mg/m^3).

Δεδομένου ότι η μέτρηση και για τα τρία μεγέθη σωματιδίων γίνεται ταυτόχρονα (παροχή αέρα 3 l/min), δε χρειάζεται αλλαγή της κεφαλής δειγματοληψίας. Είναι κατάλληλο για χρήση τόσο σε «καθαρό» περιβάλλον γραφείου όσο και σε βιομηχανικούς χώρους εργασίας, καθώς και σε υπαίθριες εφαρμογές.

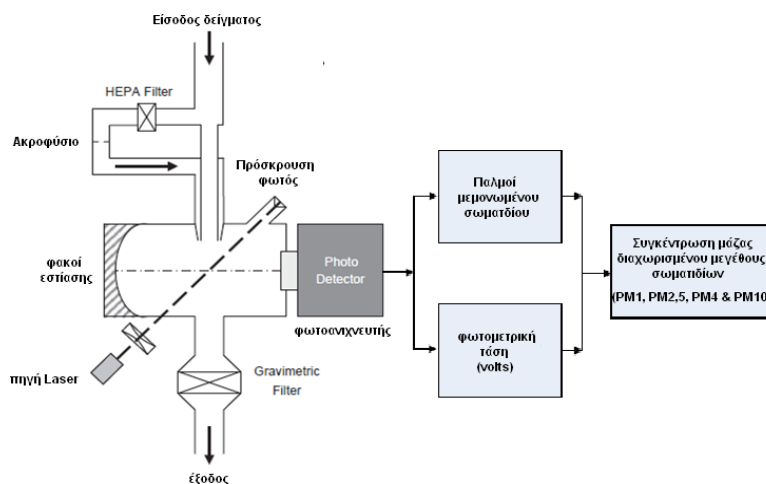
Αρχή λειτουργίας οργάνου

Η βασική διαφορά μεταξύ του βασικού μοντέλου DustTrak και του προηγμένου μοντέλου DRX, είναι η ικανότητα μέτρησης της κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους, πέρα από τη βασική φωτομετρική μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας. Συγκεκριμένα το όργανο χρησιμοποιεί μια κατοχυρωμένη μέθοδο που συνδυάζει τη φωτομετρική μέτρηση για την κάλυψη του εύρους μάζας συγκέντρωσης και τη μέτρηση ανίχνευσης για κάθε ένα σωματίδιο και τον προσδιορισμό έτσι του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων του δείγματος αεροζόλ (TSI, 2008).

Η επεξεργασία του σήματος είναι ωστόσο πολύ διαφορετική από ένα τυπικό φωτόμετρο. Αν και η τάση στα άκρα του φωτοανιχνευτή, η οποία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη μάζα του αέρα, χρησιμοποιείται για να προσδιορισθεί η συγκέντρωση του αεροζόλ, οι επιμέρους παλμοί από το φωτόμετρο, χρησιμοποιούνται επίσης για να κάνουν μετρήσεις για κάθε ένα σωματίδιο.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2, το σήμα στη συνέχεια του φωτοπολλαπλασιαστή διαχωρίζεται σε δύο συνιστώσες: το φωτομετρικό σήμα και τους παλμούς του κάθε σωματιδίου. Η τάση στα άκρα του φωτοανιχνευτή είναι ανάλογη του κλάσματος $\text{PM}_{2,5}$ του

συνολικού δείγματος αεροζόλ. Η τάση αυτή στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με μια σταθερά βαθμονόμησης που προσδιορίζεται από την αναλογία μίας γνωστής τιμής συγκέντρωση μάζας $PM_{2,5}$ του τεστ δειγματοληψίας προς την τάση απόκρισης του DustTrak DRX. Τυπικά το τεστ αεροζόλ είναι το Arizona Test Dust (or ISO 12103-1, A1 test Dust) και οι παλμοί του κάθε μεμονωμένου σωματιδίου υπολογίζονται για τη μέτρηση της αεροδυναμικής διαμέτρου του A1 test Dust. Η συγκέντρωση των σωματιδίων υπολογίζεται και καταγράφεται σε ένα από τα τέσσερα κλάσματα μάζας (PM_1 , $PM_{2,5}$, Εισπνεύσιμα / PM_4 , PM_{10} / Θωρακικά και TPM). Η συγκέντρωση μάζας κάθε μεγέθους προκύπτει ως εξής (TSI, 2008):



Σχήμα 5.2 Σχηματικό διάγραμμα του DustTrak DRX (Αναπροσαρμοσμένο από TSI, 2008).



Εικόνα 5.5 Μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων με το όργανο DustTrak DRX 8534 σε εσωτερικό χώρο του κτηρίου και μέτρηση στο άμεσο εξωτερικό περιβάλλον, μέσω σωλήνα, με το DustTrak II 8532.

$$PM_1 = PM_{2,5} - PM_{1-2,5}$$

$$PM_{2,5} = (\text{φωτομετρικό σήμα}) \times (\text{συντελεστή βαθμονόμησης})$$

$$\text{Εισπνεύσιμα} / PM_4 = PM_{2,5} + PM_{2,5-4}$$

$$PM_{10} / \text{Θωρακικά} = PM_4 + PM_{4-10}$$

$$TPM = PM_{10} + PM_{>10}$$

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι, όπως ισχύει και με τα άλλα μοντέλα που βασίζονται στην ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να προκαλούν σκεδασμό του φωτός, έτσι και το DustTrak DRX δεν αποσκοπεί στην υψηλή ακρίβεια μετρήσεων που αφορούν στη συγκέντρωση των σωματιδίων, αλλά παρέχει σε πραγματικό χρόνο μία προσεγγιστική εκτίμηση του μεγέθους των σωματιδίων και της συγκέντρωσης μάζας ανά μέγεθος σωματιδίων (Szymanski et al., 2009).

5.1.2.2 Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης αριθμού υπόμικρων αιωρούμενων σωματιδίων

❖ P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525 (TSI)



Εικόνα 5.6 Όργανο P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525 της TSI (διαστάσεις: 27 x 14 x 14cm).

Το φορητό αυτό όργανο της εταιρείας TSI (Εικόνα 5.6) μετρά τον αριθμό ανά κυβικό εκατοστόμετρο ($\text{particles}/\text{cm}^3$) των μικρών σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, με διάμετρο μικρότερη του $1 \mu\text{m}$ ($0,02 - 1 \mu\text{m}$). Το εύρος μέτρησης του οργάνου είναι από 0 έως 500.000 υπόμικρα σωματίδια ανά cm^3 . Αποτελεί μία ιδανική συσκευή μέτρησης των επιπέδων υπέρλεπτων σωματιδίων καθώς είναι ικανό να εντοπίζει εκτός από τις προφανείς πηγές εκπομπής τους (λέβητες, καυστήρες, οχήματα) και άλλες λιγότερο προφανείς, όπως είναι τα φωτοτυπικά μηχανήματα και οι εκτυπωτές (Morawska et al., 2009; Wensing et al., 2008; Kagi et al., 2007; He et al., 2007). Επίσης υπάρχει η δυνατότητα μέσω μιας ειδικής επέκτασης που διαθέτει το όργανο η μέτρηση να γίνει πλησίον πηγών εκπομπής σωματιδίων όπως πχ. κοντά σε κλιματιστικά συστήματα.

Η λειτουργία του οργάνου μπορεί να γίνει είτε στην απλή μορφή όπου λαμβάνονται τιμές ανά δευτερόλεπτο, χωρίς όμως να αποθηκεύονται στη μνήμη του οργάνου, είτε στη σύνθετη μορφή, όπου οι μετρούμενες τιμές αποθηκεύονται και στη συνέχεια μπορούν να ανακτηθούν και να επεξεργασθούν κατάλληλα μέσω του software (TrackPro Data Analysis) που συνοδεύει το όργανο για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

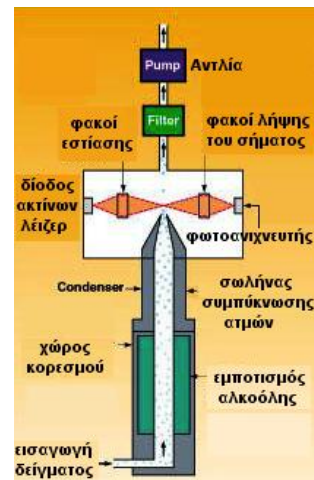
Για τη μέτρηση το όργανο κάνει χρήση ισοπροπυλικής αλκοόλης ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OHCH}_3$). Η αλκοόλη που χρησιμοποιείται είναι υψηλής καθαρότητας (99,5%) ώστε να περιέχει μικρό ποσοστό υγρασίας ή άλλων ακαθαρσιών. Η αλκοόλη χρησιμοποιείται ώστε τα αιωρούμενα μικροσωματίδια της ατμόσφαιρας να μετατραπούν σε μεγαλύτερου μεγέθους σταγονίδια και έτσι να είναι ευκολότερη η ανίχνευση και η μέτρηση τους. Πιο συγκεκριμένα, η αλκοόλη εξατμίζεται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία σε ειδικό κελί όπου εισέρχονται τα σωματίδια. Εκεί ενώνονται με τους υπερκορεσμένους ατμούς και αυξάνουν το μέγεθος τους, οπότε με μία «οπτική τεχνική» καθίσταται εφικτή η μέτρηση του πλήθους των υπόμικρων σωματιδίων (Λαζαρίδης, 2008).

Το όργανο συνοδεύεται από μικρό ειδικό κυλινδρικό δοχείο εντός του οποίου γίνεται η πλήρωση του φυσιγγίου λειτουργίας με αλκοόλη. Το δοχείο αυτό πρέπει να γεμίζεται με

αλκοόλη κάθε 8 ώρες περίπου, γεγονός που καθιστά αδύνατη τη συνεχή δειγματοληψία για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 8 ωρών. Το όργανο κατά τη μέτρηση θα πρέπει να παραμένει στην οριζόντια θέση ώστε οι φακοί εντός αυτού να μην υπερχειλίσουν με αλκοόλη (TSI, 2004).

Αρχή λειτουργίας του οργάνου

Όπως και στην περίπτωση του DustTrak, έτσι και το P-Trak για τη μέτρηση των σωματιδίων κάνει χρήση της αρχής βάσης της οποίας όταν μια δέσμη φωτός προσπέσει πάνω σε σωματίο, τότε το φως σκεδάζεται και το σήμα στην αρχική διεύθυνση εξασθενεί (Σχήμα 5.3). Η εξασθένιση αυτή είναι ανάλογη της ποσότητας της ύλης πάνω στην οποία προσπίπτει το φως.



Σχήμα 5.3 Αρχή λειτουργίας του P-Trak για τη μέτρηση του πλήθους των υπόμικρων σωματιδίων (αναπροσαρμοσμένο από TSI, 2004).

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε ότι σημαντικότερο μειονέκτημα του οργάνου αποτελεί η μη ικανότητα διάκρισης του μεγέθους των υπόμικρων αιωρούμενων σωματιδίων.

5.1.2.3 Όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας

❖ Tinytag Ultra 2 data loggers (Gemini)

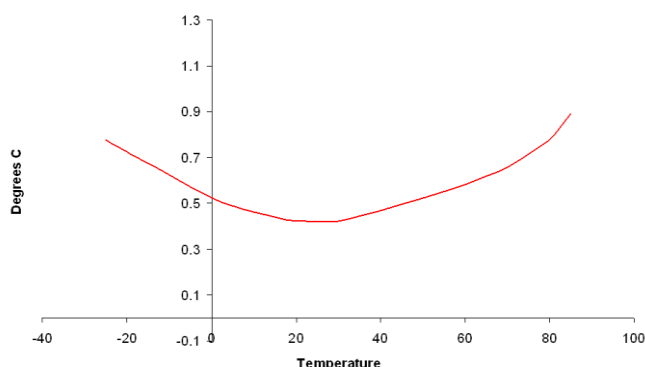
Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας καθ' όλη τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου χρησιμοποιήθηκαν τα Tinytag Ultra 2 data loggers (TGU-4500) της εταιρείας Gemini (Εικόνα 5.7). Το Tinytag είναι ένας καταγραφέας δεδομένων της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας που λειτουργεί με ενσωματωμένο αισθητήρα. Λειτουργεί με μπαταρίες και οι πολύ μικρές του διαστάσεις (72 x 60 x 33 mm) και το χαμηλό του βάρος (55 g) το καθιστούν ιδιαίτερα φορητό, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα μέτρησης σε οποιοδήποτε χώρο και σημείο.

Το όργανο χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια και χωρητικότητα δεδομένων (32.000 αναγνώσεις) καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος τιμών. Συγκεκριμένα, το εύρος τιμών της θερμοκρασίας είναι από -25°C έως +85°C με ακρίβεια που παρουσιάζεται στο γράφημα (Σχήμα 5.4), ενώ το εύρος τιμών της σχετικής υγρασίας είναι από 0% έως 95%, με ακρίβεια $\pm 3.0\%$ RH στους 25°C. Μέσω του συνοδευτικού λογισμικού υπάρχει η δυνατότητα προγραμματισμού για την καταγραφή των δεδομένων θερμοκρασίας και

υγρασίας. Έτσι, μπορεί να καθορισθεί η αρχή και το τέλος της λήψης μετρήσεων, καθώς και το βήμα χρόνου που θα λαμβάνει μετρήσεις (Gemini, 2011).



Εικόνα 5.7 Tinytag Ultra 2 data loggers (TGU-4500) της εταιρείας Gemini.



Σχήμα 5.4 Ακρίβεια οργάνου Tinytag για τη μέτρηση της θερμοκρασίας (www.tinytag.info).

5.1.2.4 Όργανο μέτρησης της ορατής ακτινοβολίας

❖ 764 Environmental Monitor (ELSEC)



Εικόνα 5.8 ELSEC Environmental Monitor 764.

Η μέτρηση της φωτεινότητας (ορατής ακτινοβολίας) στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με το 764 Environmental Monitor της εταιρείας ELSEC (Εικόνα 5,8). Το όργανο αυτό αποτελεί μία φορητή συσκευή, μικρή (150 x 65 x 25 mm) και ιδιαίτερα ελαφριά (165 g) που έχει τη δυνατότητα να μετράει ταυτόχρονα την ορατή (Lux ή Foot-candles) και υπέρυθη ακτινοβολία ($\mu\text{W}/\text{lumen}$ ή mW/m^2), όπως επίσης και τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία. Μία από τις κύριες εφαρμογές του 764 είναι σε χώρους μουσείων, καθώς αποτελεί ένα

ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την προστασία των εκθεμάτων από την επίδραση του φωτός και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και σε οποιονδήποτε άλλο εσωτερικό χώρο, εργασιακό ή μη, για την αξιολόγηση της οπτικής άνεσης.

Το εύρος μέτρησης του οργάνου για την ορατή ακτινοβολία που εξετάστηκε στους χώρους του υπό μελέτη κτηρίου είναι από 0,1 έως 200.000 Lux με ακρίβεια $5\% \pm 1$ επί του αναγραφόμενου ψηφίου. Το 764 διαθέτει τη δυνατότητα καταγραφής των δεδομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα και επεξεργασίας τους μέσω ειδικού λογισμικού. Επίσης, το

όργανο αυτό περιέχει ειδικά φίλτρα τα οποία φθείρονται με το πέρασμα του χρόνου, για αυτό είναι απαραίτητο να ελέγχονται τακτικά (ELSEC, 2007).

5.1.2.5 Όργανο μέτρησης του μονοξειδίου και του διοξειδίου του άνθρακα



Εικόνα 5.9 Όργανο IAQ-CALQ 8762 της εταιρείας TSI.

❖ IAQ-CALC Model 8762 (TSI)

Το όργανο IAQ-CALQ 8762 της εταιρείας TSI (Εικόνα 5.9) είναι μία φορητή συσκευή ταυτόχρονης μέτρησης του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα, της θερμοκρασίας και της υγρασίας και αποτελεί ένα εξαιρετικό μέσο για την μελέτη της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων. Επίσης έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει το σημείο δρόσου και το ποσοστό του εξωτερικού αέρα. Η συσκευή, η οποία διαθέτει αισθητήρα μέτρησης, είναι μικρή (100 x 168 x 38 mm), ελαφριά (0,53 kg) και χρησιμοποιείται για πλήθος εφαρμογών.

Το όργανο διαθέτει μεγάλη χωρητικότητα δεδομένων (14.000 δείγματα), ενώ όλες οι μετρούμενες τιμές αποθηκεύονται και στη συνέχεια μπορούν να ανακτηθούν και να επεξεργασθούν κατάλληλα μέσω του λογισμικού (LogDat) που συνοδεύει το όργανο για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Το IAQ-CALQ χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια ενώ το εύρος μέτρησης καλύπτει τις τιμές 0 έως 5000 ppm ($\pm 3\%$ στους 25°C) για τη συγκέντρωση CO_2 , 0 έως 500 ppm ($\pm 3\%$) για τη συγκέντρωση CO, 0 έως 60°C ($\pm 0.6^{\circ}\text{C}$) για τη θερμοκρασία και 5% έως 95% RH ($\pm 3\%$ RH στους 25°C) για τη σχετική υγρασία (TSI, 2006).

Αρχή λειτουργίας

Η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα γίνεται μέσω αισθητήρα (Dual wavelength NDIR) που η λειτουργία του βασίζεται στην απορρόφηση μη σκεδαζόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας, ενώ η μέτρηση του μονοξειδίου γίνεται μέσω ηλεκτροχημικού αισθητήρα. Σύμφωνα με την αρχή της μη σκεδαζουσας υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NDIR), η απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας από το CO_2 σε ένα δειγματοληπτικό κελί συγκρίνεται με την απορρόφηση στο κελί αναφοράς (απαλλαγμένο από CO_2), ενώ σύμφωνα με την ηλεκτροχημική τεχνολογία, το αέριο δείγμα περνά μέσω ενός κελιού όπου η μείωση του CO παράγει ένα σήμα που είναι αναλογικό της συγκέντρωσης (Λαζαρίδης, 2008).

5.1.2.6 Όργανο μέτρησης ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας

❖ FH 40 G (Thermo Electron Corporation)

Για την μελέτη του επιπέδου ραδιενέργειας από γ ακτινοβολία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ισοδύναμης δόσης με το όργανο FH 40 G της εταιρίας Thermo Electron Corporation. Για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε επιπλέον εξωτερικός αισθητήρας, ο FHZ 512 (Εικόνα 5.10), ο οποίος δίνει την δυνατότητα ανίχνευσης πηγών γ ακτινοβολίας σε μη



Εικόνα 5.10 Όργανο FH 40 G της εταιρίας Thermo Electron Corporation.

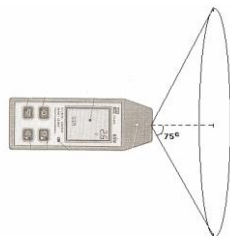
προσβάσιμες περιοχές, καθώς μεταβάλλει την κλίμακα μέτρησης του οργάνου, επιτρέποντας την ακριβέστερη μέτρηση ασθενέστερων πηγών. Συγκεκριμένα, η κλίμακα του οργάνου, χωρίς την χρήση του εξωτερικού αισθητήρα FHZ 512, είναι από 100nSv/h μέχρι 1 Sv/h. Η σύνδεση όμως του εξωτερικού αισθητήρα FHZ 512, έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της κλίμακας του οργάνου. Έτσι σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ο εξωτερικός αισθητήρας FHZ 512, η κλίμακα του οργάνου είναι από 10nSv/h μέχρι 1 Sv/h, επιτρέποντας έτσι την μέτρηση ασθενέστερων από 100 nSv/h πηγών γ ακτινοβολίας.

Αρχή λειτουργίας

Στη φορητή αυτή συσκευή η ανίχνευση της γ ακτινοβολίας και η μέτρηση της ισοδύναμης δόσης γίνεται μέσω της αναλογικής λυχνίας μέτρησης που διαθέτει. Η λυχνία βρίσκεται στο κέντρο και επάνω μέρος του οργάνου και μπορεί να ανιχνεύσει ακτινοβολία η οποία βρίσκεται εντός κώνου 75° από το κέντρο της λυχνίας (Σχήμα 5.5). Οι διαστάσεις της λυχνίας είναι 25 mm μήκος και 25.8 mm διάμετρος. Η ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας υπολογίζεται βάση των παλμών οι οποίοι πυροδοτούνται από την αναλογική λυχνία μέτρησης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μίας μέτρησης, καθώς ο ρυθμός πυροδότησης των παλμών εξαρτάται από τον ρυθμό μεταβολής της μετρούμενης ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας γ (Thermo Electron Corporation, 2003).

Κατά την εκτέλεση των επιμέρους μετρήσεων, η σχετική θέση του εξωτερικού αισθητήρα και της αναλογικής λυχνίας μέτρησης του οργάνου ως προς το κάθετο στο έδαφος επίπεδο, ήταν με φορά προς το έδαφος και με σχετική γωνία περίπου 45° . Η τοποθέτηση αυτή του οργάνου έγινε με σκοπό την μέτρηση της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας η οποία προέρχεται από την φυσική ακτινοβολία του υπεδάφους και την ελαχιστοποίηση της

επίδρασης άλλων πηγών ακτινοβολίας πέραν του υπεδάφους. Η θέση του εξωτερικού αισθητήρα και της αναλογικής λυχνίας μέτρησης του οργάνου στο παράλληλο στο έδαφος επίπεδο, μεταβάλλονται σε κάθε επιμέρους μέτρηση του ίδιου κύκλου, με σκοπό την κάλυψη περιοχής 360°. Δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων του ίδιου κύκλου, η θέση του οργάνου μεταβαλλόταν κατά 120° (Κατσή, 2007).



Σχήμα 5.5 Δυνατότητα ανίχνευσης ακτινοβολίας γ εντός κώνου 75° από το κέντρο της λυχνίας (Thermo Electron Corporation, 2003).

5.1.2.7 Όργανο μέτρησης ισοδύναμης συγκέντρωσης ραδονίου

❖ DOSEman-PRO (SARAD)

Το DOSEman-PRO της εταιρείας SARAD (Εικόνα 5.11) είναι ένα όργανο μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας (ραδόνιο και θυγατρικά του) που μετρά την ισοδύναμη συγκέντρωση ραδονίου σε μονάδες Bq/m^3 και υπολογίζει τη δυνητική ενέργεια των σωματιδίων α στη μονάδα του χρόνου (nJh/m^3), καθώς και τη δόση ακτινοβολίας σε μονάδες μSv .

Λόγω του μικρού μεγέθους (137 x 60 x 35 mm) και του χαμηλού του βάρους (300 g), το όργανο είναι ιδανικό για φορητή χρήση και προσφέρεται για διάφορες εφαρμογές



Εικόνα 5.11 Όργανο DOSE man-PRO της εταιρείας SARAD.

μέτρησης της ραδιενέργειας σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης των αποτελεσμάτων και μεταφοράς τους σε υπολογιστή μέσω υπερύθρων (IrDA). Το εύρος μέτρησης της ισοδύναμης συγκέντρωσης καλύπτει το εύρος από 0,1 Bq/m^3 έως 4 MBq/m^3 , ενώ η μέτρηση της δόσης ακτινοβολίας είναι από 0 έως 10.000 μSv .

Αρχή λειτουργίας

Κατά τη λειτουργία του οργάνου, ο όγκος του δείγματος αέρα (παροχή αέρα 0,14 l/min) απορροφάται μέσω ενός φίλτρου που αναλύεται συνεχώς από έναν ανιχνευτή. Τα δείγματα των ραδιονουκλεϊδίων στην επιφάνεια των φίλτρων αναλύονται σε σχέση με την ενέργεια

διάσπασης άλφα με φασματοσκοπία άλφα. Αυτό επιτρέπει τον προσδιορισμό των προϊόντων διάσπασης άλφα του ραδονίου (Po-218 και Po-214), καθώς και των μακρόβιων ραδιενεργών ισότοπων του ουρανίου (Po-210), και τον υπολογισμό της ισοδύναμης συγκέντρωσης ραδονίου (ERC - equivalent radon concentration), της δυναμικής ενέργειας των σωματιδίων α (PAEC - Potential Alpha Energy Concentration) και της δυναμικής έκθεσης σε ενέργεια α (PAEE - Potential Alpha Energy Exposure). Για τον υπολογισμό της δόσης ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ένας ρυθμιζόμενος συντελεστής δόσης (SARAD, 2003).

5.1.3 Περιγραφή των χώρων διεξαγωγής των μετρήσεων

Η μελέτη της ποιότητας του αέρα στο κτήριο έλαβε χώρα σε επιλεγμένους εργαστηριακούς χώρους και γραφεία του Τμήματος, καθώς και σε έναν κοινόχρηστο χώρο, την είσοδο του κτηρίου. Στους χώρους αυτούς, κατά τη διάρκεια της ημέρας, εκτελούνται διάφορες εργασίες και διέρχονται πολλά άτομα. Οι χώροι στους οποίους πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις καθώς και η συνολική διάρκεια των μετρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

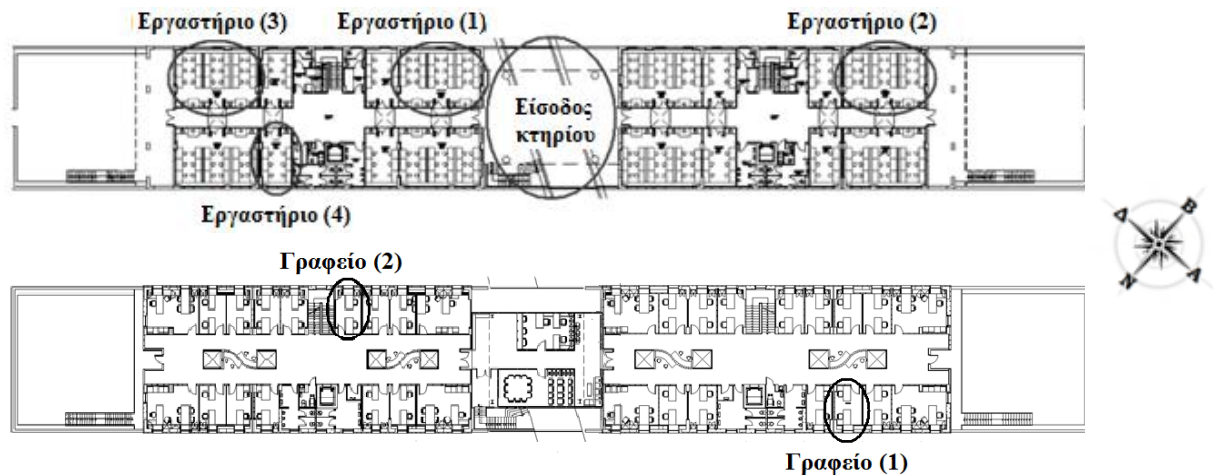
Πίνακας 5.3 Οι χώροι στους οποίους πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και ο χρόνος διεξαγωγής τους.

Χώροι	Όροφος	Εμβαδό	Προσανατολισμός	Χρόνος διεξαγωγής	
				Φάση Α	Φάση Β
Εργαστήριο (1)	Ισόγειο	54 m ²	ΒΔ	24/06 – 08/07/2011	14–15-16/12/2011
Εργαστήριο (2)	ισόγειο	54 m ²	ΒΔ	18 – 26/07/2011	17–18-19/01/2012
Εργαστήριο (3)	ισόγειο	54 m ²	ΒΔ	27/07 – 04/08/2011	24-25-26/01/2012
Εργαστήριο (4)	ισόγειο	22 m ²	ΝΑ	04 – 28/08/2011	07-08-09/02/2012
Γραφείο (1)	1 ^{ος}	13 m ²	ΝΑ	14 – 25/11/2011	23–24-25/02/2012
Γραφείο (2)	1 ^{ος}	13 m ²	ΒΔ	02 – 09/12/2011	13–14-15/02/2012
Είσοδος κτηρίου	ισόγειο	213 m ²		12 – 19/07/2011	31/01–01-02/02/2012

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων επιλέχθηκαν χώροι και στο ισόγειο και στον πρώτο όροφο του κτηρίου, ώστε να διασφαλισθεί ότι στις μετρήσεις μας αποτυπώνονται οι τυπικές εσωκλιματικές συνθήκες που αφορούν σε όλο το κτήριο. Επίσης, μας δίνεται η δυνατότητα να καταγράψουμε πιθανές μεταβολές, που μπορεί να παρατηρούνται λόγω της υψομετρικής διαφοράς.

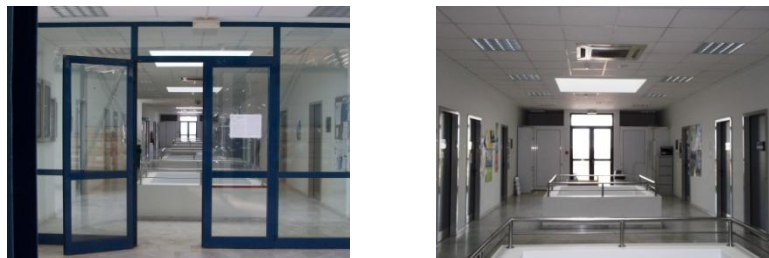
Όπως φαίνεται από τα σκαριφήματα (Σχήμα 5.6), οι χώροι του κτηρίου έχουν ορθογώνιο σχήμα και αν εξαιρέσουμε το χώρο της εισόδου του κτηρίου, έχουν και παραπλήσιο εμβαδόν. Συγκεκριμένα, τα Εργαστήρια 1, 2 και 3 διαθέτουν το ίδιο εμβαδόν, όπως επίσης και κοινή διαρρύθμιση χώρου. Δεν ισχύει το ίδιο για το Εργαστήριο 4, καθώς είναι

μικρότερο από τα άλλα. Επίσης, και τα Γραφεία 1 και 2 έχουν ίση επιφάνεια χώρου μεταξύ τους. Είναι εμφανές, λοιπόν, ότι οι υπό μελέτη χώροι έχουν τέτοια ομοιότητα, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων μεταξύ τους.



Σχήμα 5.6 Κάτοψη ισογείου και ορόφου, όπου είναι σημειωμένοι οι χώροι διεξαγωγής των μετρήσεων.

Όλοι οι χώροι διαθέτουν ένα ή και περισσότερα παράθυρα (μήκους 1 m και ύψους 1,7 m), δια των οποίων επικοινωνούν με την εξωτερική ατμόσφαιρα. Επίσης, όλοι οι χώροι επικοινωνούν με το υπόλοιπο κτήριο με πόρτα (μήκους 1,25 m), η οποία οδηγεί σε έναν εσωτερικό διάδρομο (Εικόνα 5.12).



Εικόνα 5.12 Εσωτερικός διάδρομος ορόφου μέσω του οποίου επικοινωνούν όλοι οι χώροι του κτηρίου.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε ότι όλοι οι χώροι διαθέτουν την τυπική επίπλωση που συναντάται σε γραφεία και εργαστήρια, : εργαστηριακούς πάγκους, γραφεία, και ράφια, αποτελούμενη ως επί το πλείστον από ξύλο. Επίσης, οι χώροι είναι εξοπλισμένοι με μεγάλο αριθμό Η/Υ και ειδικών εργαστηριακών μηχανημάτων μεγάλης ισχύος, ενώ κλιματίζονται από το κεντρικό σύστημα θέρμανσης/ψύξης, η περιγραφή της λειτουργίας του οποίου έγινε στο 4.2

5.2 Έρευνα με ερωτηματολόγιο

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων, στο βαθμό που αυτό ήταν δυνατό, καταγράφονταν οι επικρατούσες συνθήκες και μεταβολές στους χώρους οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Ωστόσο, κρίθηκε απαραίτητη η συλλογή περαιτέρω πληροφοριών προκειμένου να είναι πλήρως κατανοητά τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό οι χρήστες των υπό μελέτη χώρων κλήθηκαν να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο τους διανεμήθηκε κατά τη διάρκεια της Α Φάσης. Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν από το ερωτηματολόγιο, οι οποίες ήταν αντιπροσωπευτικές της περιόδου των πειραματικών μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν για την πληρέστερη ανάλυση των αποτελεσμάτων.



Περιγραφή ερωτηματολογίου

Για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του κτηρίου σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση των συνθηκών ποιότητας εσωτερικού αέρα είναι απαραίτητη η καταγραφή της αίσθησης των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος των ενόικων και της συμπεριφοράς τους σχετικά με τον τρόπο αερισμού των χώρων και με τις ενέργειες επηρεασμού της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Η αξιολόγηση του εσωτερικού περιβάλλοντος από τους ίδιους τους χρήστες του κτηρίου έγινε με τη βοήθεια ενός κατάλληλα διαμορφωμένου ερωτηματολογίου, το οποίο διανεμήθηκε στους χρήστες των χώρων στους οποίους διεξήχθησαν οι πειραματικές μετρήσεις. Το ερωτηματολόγιο αυτό περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές ενότητες.

Η πρώτη ενότητα αφορά σε στοιχεία του ερωτηθέντος και του χώρου εργασίας του: χρήση χώρου, χρόνος εργασίας, χρήση εξοπλισμού, κάπνισμα καθώς και συνήθειες επικρατούσες συνθήκες κλιματισμού και αερισμού. Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν κρίσιμα δεδομένα

που μας βοηθούν να αναλύσουμε τα πειραματικά δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του εσωτερικού αέρα στον εκάστοτε χώρο. Έτσι, το είδος της εργασίας που εκτελείται στον κάθε χώρο καθορίζει και το είδος των εσωτερικών ρύπων, ο αριθμός των ατόμων που εργάζονται στον ίδιο χώρο καθορίζει την ισχύ των πηγών εκπομπής εσωτερικών ρύπων (ο άνθρωπος αποτελεί αυτός καθεαυτόν πηγή ρύπων), ενώ ο χρόνος εργασίας συνδέεται άμεσα με το χρόνο έκθεσης στις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό περιβάλλον. Οι συνθήκες αερισμού και λειτουργίας του κλιματιστικού σχετίζονται με την αίσθηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, η οποία έχει και υποκειμενικό χαρακτήρα. Η χρήση του εξοπλισμού συνδέεται επίσης με τις πηγές εκπομπής ρύπων (για παράδειγμα τα φωτοτυπικά μηχανήματα και οι εκτυπωτές μελάνης και λέιζερ παράγουν όζον, αιωρούμενα σωματίδια και πτητικές οργανικές ενώσεις. Τέλος, το κάπνισμα (ο αριθμός συγκεκριμένα των τσιγάρων κατά τη διάρκεια της εργασίας) συνδέεται επίσης άμεσα με τις πηγές αέριων ρύπων.

Η δεύτερη ενότητα του ερωτηματολογίου αφορά στην αξιολόγηση των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος στο οποίο εργάζονται οι ερωτηθέντες. Στους χρήστες των χώρων τέθηκαν ερωτήματα σχετικά με τον αν έχουν αισθανθεί δυσφορία σε ό,τι αφορά τη θερμοκρασία του αέρα, την έλλειψη φρέσκου αέρα, την ξηρότητα της ατμόσφαιρας, την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με σκόνη και δυσάρεστες οσμές και τέλος την επάρκεια φωτισμού.

Τέλος, η τρίτη ενότητα του ερωτηματολογίου περιλαμβάνει ερωτήσεις αναφορικά με συμπτώματα υγείας που έχουν εμφανίσει οι χρήστες και που μπορεί να οφείλονται στην κακή ποιότητα του αέρα. Συγκεκριμένα εξετάζεται το είδος αυτών και η συχνότητα εμφάνισης τους κατά τη διάρκεια παραμονής του χρήστη στο χώρο, καθώς και παρατηρήσεις σχετικά με μεταβολές στο χώρο που μπορεί να σχετίζονται με την εμφάνιση των συμπτωμάτων αυτών.

Η ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από τα ερωτηματολόγια θα γίνει σε συνδυασμό με την ανάλυση των αποτελεσμάτων από τις πειραματικές μετρήσεις. Το σχετικό ερωτηματολόγιο στην πλήρη μορφή του παρουσιάζεται στο Παράρτημα II.

6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΟΡΓΑΝΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

6.1 Γενικά για μεθόδους προσδιορισμού συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων

Όπως αναφέρθηκε στην οργάνωση των πειραματικών μετρήσεων (5.1.1), η μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων έγινε με τη χρήση τριών οργάνων DustTrak (TSI), η αρχή λειτουργίας των οποίων στηρίζεται στη διάχυση του φωτός από τα εισερχόμενα σωματίδια στο εσωτερικό του οργάνου. Τα όργανα αυτά ανήκουν στην κατηγορία των αυτόματων οργάνων προσδιορισμού των αιωρούμενων σωματιδίων.

Τα όργανα μέτρησης σωματιδίων που βασίζονται στη διάχυση του φωτός, τα λεγόμενα φωτόμετρα, όπως είναι το DustTrak, η αρχή λειτουργίας των οποίων περιγράφηκε στο 5.1.2.1, μετρούν μία μόνο παράμετρο η οποία εξαρτάται από πολλές μεταβλητές, όπως είναι η κατανομή μεγέθους σωματιδίων, η συσσωμάτωση των σωματιδίων και ο δείκτης διάθλασης. Οι τιμές αυτές μεταβάλλονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας κ.ά.) και σε διαφορετικά περιβάλλοντα, γι αυτό και διάφορες μελέτες πεδίου έχουν δείξει ότι οι συγκεντρώσεις από τα φωτόμετρα συστηματικά παρεκκλίνουν από τις πραγματικές (σταθμικές) συγκεντρώσεις (Watson et al., 2011; Ramachandran et al., 2000; Gorner et al., 1995).

Λόγω αυτών των προβλημάτων, θα πρέπει να γίνεται βαθμονόμηση των οργάνων σύμφωνα με μεθόδους αναφοράς (Branis 2006; Wu et al. 2005b; Jenkins et al. 2004; Ramachandran et al. 2003; Yanoski et al. 2002). Οι ενδείξεις των φωτόμετρων μπορούν να υπολογιστούν εκ νέου σύμφωνα με μία εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης (Wu et al. 2005a; Ramachandran et al, 2003) ή ακόμη και από μία απλή αναλογία μεταξύ του οργάνου αναφοράς και των ενδείξεων του φωτόμετρου (Jenkins et al., 2004).

Τα φωτόμετρα βαθμονομούνται επίσης και στο εργοστάσιο σύμφωνα με συγκεκριμένα πρότυπα (το όργανο DustTrak της TSI βαθμονομείται σύμφωνα με το ISO 12103-1, A1 test dust - Arizona Test Dust). Η εργοστασιακή βαθμονόμηση είναι κυρίως απαραίτητη για να εξασφαλίσει ότι το όργανο λειτουργεί σωστά και όμοια με άλλα όργανα αυτού του

τύπου. Δεν εξασφαλίζει όμως ότι το φωτόμετρο θα ανταποκριθεί με ακρίβεια σε ένα διαφορετικό αεροζόλ. Γι αυτό και είναι απαραίτητη η διόρθωση των αναγνώσεων του οργάνου σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους μέτρησης.

Η σταθμική μέθοδος προσδιορισμού των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελεί την πρότυπη τεχνική μέτρησης των σωματιδίων βάση της Ευρωπαϊκής (2008/50/EC) και της Αμερικάνικης νομοθεσίας (US Government, 1991). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ο αέρας διέρχεται μέσω ενός δειγματολήπτη για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, κατά τη διάρκεια του οποίου, ο ρύπος συλλέγεται σε ένα μέσο (συνήθως ένα φίλτρο), ενώ μετά το τέλος της δειγματοληψίας το μέσο αυτό αναλύεται σε εργαστήριο. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς βάρους ενός φίλτρου πριν και μετά τη διοχέτευση συγκεκριμένου όγκου αέρα μέσα από το φίλτρο, ενώ η συγκέντρωση των σωματιδίων υπολογίζεται από το επιπλέον βάρος του φίλτρου και τον όγκο αέρα που έχει ληφθεί.

Συγκεκριμένα, οι μέθοδοι αναφοράς για τη δειγματοληψία και τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} περιγράφονται στο πρότυπο EN 12341:1998 «Ποιότητα του αέρα - Προσδιορισμός του κλάσματος PM_{10} των αιωρούμενων σωματιδίων - Μέθοδος αναφοράς και διαδικασία ελέγχου στο πεδίο για την απόδειξη της ισοδυναμίας αναφοράς των μεθόδων μέτρησης», ενώ για τα $PM_{2,5}$ περιγράφεται στο πρότυπο EN 14907:2005 «Πρότυπη σταθμική μέθοδος για τον προσδιορισμό του κλάσματος μάζας των $PM_{2,5}$ των αιωρούμενων σωματιδίων» (EC, 2005; 2002). Η Ε.Ε. ενθαρρύνει γενικά τη διεξαγωγή συγκριτικών δειγματοληψιών μεταξύ αυτόματων οργάνων που βασίζονται σε οπτικές μεθόδους και πρότυπων οργάνων που βασίζονται σε σταθμικές μεθόδους για τον υπολογισμό των κατάλληλων συντελεστών διόρθωσης (EC, 2010). Οι τιμές συγκέντρωσης που προσδιορίζονται από όργανα καταγραφής σε πραγματικό χρόνο πρέπει να ανάγονται στις τιμές που προκύπτουν από την σταθμική μέθοδο.

Στο σημείο αυτό θα ήταν σωστό να επισημάνουμε ότι, παρά τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν για τα φωτόμετρα, τα όργανα αυτά διαθέτουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι, παρέχουν πολύ καλές συνεχείς σχετικές μετρήσεις, διαθέσιμες σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και σε ραγδαίες μεταβολές της συγκέντρωσης σωματιδίων λόγω της επίδρασης των πηγών εκπομπής (Braniš, 2010). Οι σταθμικές μέθοδοι μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων παρέχουν μία μέση τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων σε κάποιο χρονικό διάστημα, η γνώση της οποίας όμως δεν επαρκεί σε περιπτώσεις όπου εξετάζεται πιθανή συσχέτιση του επιπέδου των σωματιδίων με διεργασίες που συντελούνται στο

συγκεκριμένο χώρο. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εκτίμηση των παραγόντων που επιδρούν στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης (αριθμός ατόμων εντός χώρου, δραστηριότητες, αερισμός κ.ά.) είναι αναγκαία η χρήση αυτόματων οργάνων για την καταγραφή δεδομένων ανά μικρά χρονικά διαστήματα.

Επιπλέον, το αυτόματο όργανο DustTrak (TSI) που χρησιμοποιήθηκε κατά τις πειραματικές μετρήσεις της παρούσης εργασίας αποτελεί μία κατάλληλη επιλογή για μελέτες ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους καθώς εκτός από τη δυνατότητα παροχής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, λειτουργεί με χαμηλούς ρυθμούς παροχής αέρα, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζει τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων και επιπλέον, λόγω του μικρού του μεγέθους και της σιωπηλής του λειτουργίας δεν προκαλεί ενόχληση στους ενοίκους (Morawska et al, 2003). Το όργανο DustTrak έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθώρα μελετών για την εκτίμηση των επιπέδων συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους (Buonanno et al., 2010; Glytsos et al., 2010; Guo et al., 2010; Paul et al., 2010; He et al., 2010; 2005; 2004, Gaidajis & Angelakoglou, 2009; Marsik & Johnson, 2008; Lee & Hsu, 2007; Morawska et al., 2009a; b; 2003; 2001, Lee & Chang, 1999).

Προκειμένου λοιπόν να εξετασθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη με τα όργανα DustTrak (Model «8520», «II 8532» και «DRX 8534») ανταποκρίνονται στις πραγματικές συγκεντρώσεις, πραγματοποιήθηκαν συγκριτικές δειγματοληψίες με (i) ένα αυτόματο όργανο μέτρησης σε πραγματικό χρόνο που χαρακτηρίζεται από υψηλή ακρίβεια και (ii) με ένα σταθμικό δειγματολήπτη.

6.2 Συγκριτικές δειγματοληψίες με το αυτόματο όργανο μέτρησης σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο: FH 62 I-R (Thermo Electron Corporation)

Ο μετρητής συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων με απορρόφηση β ακτινοβολίας «FH 62 I-R» (automatic beta radiation attenuation monitor, Thermo Electron Corporation), αποτέλεσε το όργανο αναφοράς για τη διεξαγωγή συγκριτικών μετρήσεων με το DustTrak. Πρόκειται για αυτόματο όργανο υψηλής ακρίβειας το οποίο αντιπροσωπεύει μεθοδολογία μέτρησης σε πραγματικό χρόνο και είναι σχεδιασμένο για συνεχείς μετρήσεις εκπομπών σε δίκτυα παρακολούθησης αέρα (Εικόνα 6.1). Το εν λόγω όργανο χρησιμοποιείται για τη

μέτρηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων από το μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 6.2).



Εικόνα 6.1 Automatic beta attenuation monitor FH 62 I-R.

6.2.1 Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: automatic beta radiation attenuation monitor FH 62 I-R

Το όργανο “automatic beta radiation attenuation monitor FH 62 I-R” (Thermo Electron Corporation, Erlangen, Germany) δίνει σε πραγματικό χρόνο τη συγκέντρωση σωματιδίων στο περιβάλλον όπου γίνεται η μέτρηση. Συγκεκριμένα, έχει τη δυνατότητα μέτρησης της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{2,5}, PM₁₀ και TSP ανάλογα με την κεφαλή που επιλέγουμε (παροχή αέρα 1m³/h). Το εύρος μέτρησης είναι από 0 έως 5000 µg/m³.

Το σύστημα δειγματοληψίας περιλαμβάνει και ένα αυτόματο σύστημα για τη θέρμανση του σωλήνα δειγματοληψίας σε θερμοκρασία μερικών βαθμών παραπάνω από την ατμοσφαιρική ώστε να αποτρέπεται η συμπύκνωση νερού (Lazaridis et al., 2008). Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται το πάνω μέρος του σταθμού όπου στεγάζεται το FH 62 I-R και συγκεκριμένα φαίνεται ο συλλέκτης του οργάνου μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων.

Αρχή λειτουργίας οργάνου

Η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων μετράται μέσω της εξασθένισης της δέσμης της ακτινοβολίας β η οποία προσπίπτει στο δείγμα. Το όργανο χρησιμοποιεί τη ραδιομετρική αρχή



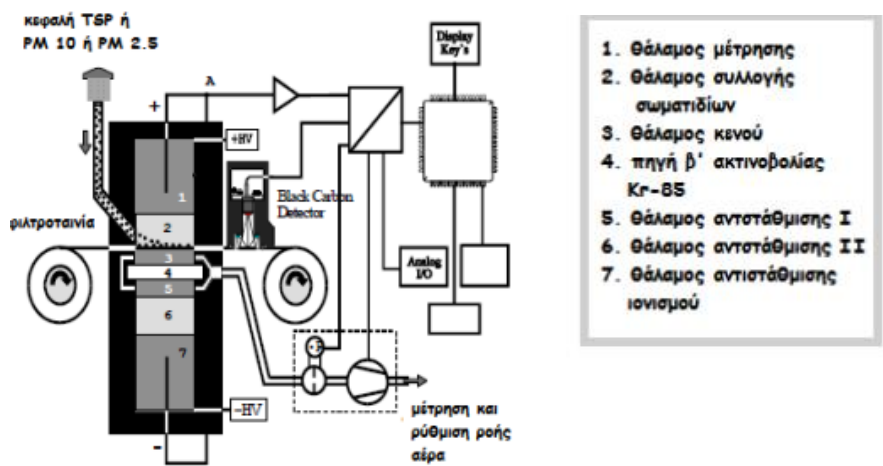
Εικόνα 6.2 Ο μετεωρολογικός σταθμός του Πολυτεχνείου Κρήτης δημιουργήθηκε το 2002 και ανήκει στο Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων, του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος. Βρίσκεται στην περιοχή Ακρωτηρίου, εντός της Πολυτεχνειούπολης, 5km βορειοανατολικά της πόλης των Χανίων και σε υψόμετρο 137m (35°31' 48" N, 24°03' 36" E).

εξασθένισης της ακτινοβολίας β με τη μέθοδο αντιστάθμισης διπλής δέσμης ακτινοβολίας για το συνεχή προσδιορισμό της μάζας της σκόνης που συλλέγεται σε ένα φίλτρο. Ταυτόχρονα με τη συλλογή της σκόνης μετράται και καταγράφεται η συσσωρευμένη μάζα σωματιδίων στο φίλτρο. Με αυτή τη διεργασία επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια της μέτρησης καθώς για κάθε μετρούμενη τιμή ορίζεται μια τιμή αναφοράς σε διαφορετικό τμήμα μέτρησης του οργάνου. Αυτό το τμήμα αναφοράς συνδέεται με φυσικό τρόπο με το τμήμα μέτρησης, οπότε υπάρχει και στα δύο συστήματα η ίδια επίδραση από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της πίεσης του περιβάλλοντος. Αυτή είναι και η



βασική συνθήκη για την ακρίβεια και τη σταθερότητα της αντιστάθμισης (Οικονομόπουλος, 2003). Στο Σχήμα 6.1 απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας του FH 62 I-R. Σημειώνεται ότι τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες είναι κατασκευασμένα από υαλονήματα (“glass fiber” GF 3516, 40 mm/42 m, Schleicher and Schuell, Germany).

Εικόνα 6.3 Συλλέκτης δειγματοληψίας του αυτόματου οργάνου μέτρησης συγκέντρωσης FH 62 I-R, που ανήκει στο μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 6.1 Αρχή λειτουργίας FH 62 I-R (αναδιαμόρφωση από Μαμμή-Γαλάνη, 2010).

Διαδικασία μέτρησης

Η διαδικασία μέτρησης είναι η ακόλουθη: Ένα καθαρό τμήμα της ταινίας φίλτρου μετακινείται στη θέση μέτρησης (2). Ο αέρας του περιβάλλοντος αναρροφάται από το σύστημα δειγματοληψίας. Οι επιλεκτικοί ως προς το μέγεθος συλλέκτες καθορίζουν το μέγεθος των σωματιδίων που θα ληφθούν κατά τη δειγματοληψία. Πριν εκτεθεί το φίλτρο στο ρεύμα αέρα εισέρχεται αέρας μέσω των συλλεκτών αυτών, ο οποίος απομακρύνει όλα

τα σωματίδια που η αεροδυναμική τους διάμετρος είναι μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη τιμή. Τα σωματίδια σκόνης που περιέχονται στον αέρα εναποτίθενται στο φίλτρο. Για τη δειγματοληψία των σωματιδίων χρησιμοποιείται η αρχή της μοναδικής κηλίδας στο φίλτρο. Ένα κομμάτι φίλτρου παραμένει για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα στο θάλαμο συλλογής και μέτρησης των σωματιδίων (2) μέχρι να αποκτήσει το μέγιστο φορτίο που έχουμε ορίσει ή να ξεπεραστεί κάποια από τις παραμέτρους αλλαγής του φίλτρου (χρόνος ημέρας, προεπιλεγμένος χρόνος δειγματοληψίας, παροχή αέρα). Έπειτα το γεμάτο τμήμα του φίλτρου μετακινείται και το αντικαθιστά ένα καθαρό τμήμα στο σημείο μέτρησης.

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας στο φίλτρο στο τμήμα (2) ο αριθμός των σωματιδίων που κατακάθονται στο φίλτρο αυξάνεται. Το στρώμα των σωματιδίων με αυξανόμενο πάχος, εξασθενίζει την ένταση της ακτινοβολίας β στο τμήμα (4-2-1). Το ηλεκτρικό σήμα στην έξοδο A αυξάνεται. Αυτό το σήμα εξόδου δίνει ανά πάσα στιγμή τη μάζα σωματιδίων που έχει συλλεχθεί στην κηλίδα του φίλτρου. Αυτό το σύστημα είναι λοιπόν ένας άμεσος παρατηρητής της μάζας της σκόνης στο σημείο 2. Με τη μάζα στην κηλίδα του φίλτρου γνωστή ανά πάσα στιγμή μπορεί κανείς να υπολογίσει την ταχύτητα της δειγματοληψίας σωματιδίων.

Το σήμα μέτρησης στην έξοδο A ενισχύεται και φτάνει μέσω ενός αναλογικού/ ψηφιακού μετατροπέα στην κεντρική υπολογιστική μονάδα. Από τη χρονική αύξηση της μάζας της σκόνης υπολογίζεται και δίνεται στην οθόνη μέτρησης η συγκέντρωση.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης της σκόνης μετράται με ακρίβεια η παροχή του ρεύματος αέρα. Έτσι η συγκέντρωση υπολογίζεται κάθε στιγμή με ακρίβεια, παρόλο που η παροχή του αέρα μπορεί να παρουσιάζει διακυμάνσεις (Οικονομόπουλος 2003).

6.2.2 Σύγκριση του DustTrak με το όργανο καταγραφής σε πραγματικό χρόνο FH 62 I-R

Λόγω τεχνικού προβλήματος του αυτόματου οργάνου καταγραφής FH 62 I-R, χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερα δεδομένα από αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια μελετών του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων.

Συγκεκριμένα, για τα $PM_{2,5}$ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από πειραματική διαδικασία σύγκρισης που πραγματοποιήθηκε το 2005. Οι παράλληλες μετρήσεις έλαβαν χώρα στον

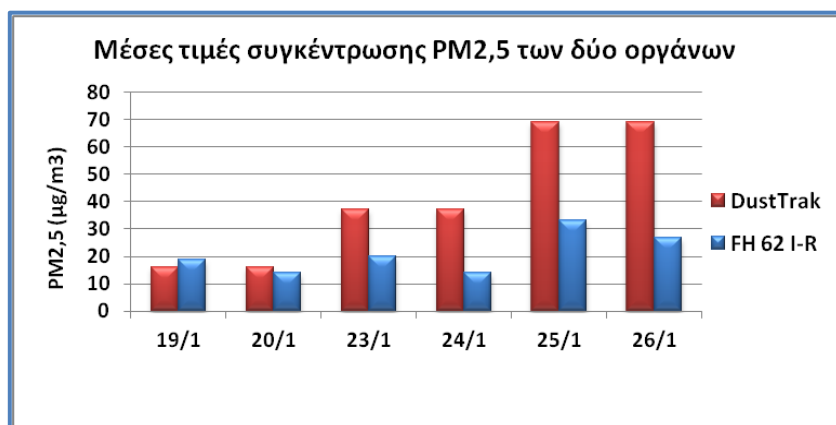
εξωτερικό χώρο του μετεωρολογικού σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 2) από τις 19 έως τις 26/01/2005, ενώ συνολικά πραγματοποιήθηκαν 6 δειγματοληψίες, διάρκειας δύο ωρών ή καθεμία. Για τη σύγκριση ανάμεσα στα όργανα FH 62 I-R και DustTrak, ελήφθησαν οι μέσες τιμές, οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 6.1.

Για τα PM_{10} παρατίθεται απευθείας η συσχέτιση που προέκυψε από αντίστοιχη πειραματική διαδικασία, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί στη μελέτη των Chalvatzaki et al. (2010) για τη διόρθωση των μετρούμενων δεδομένων του οργάνου DustTrak .

Αποτελέσματα μετρήσεων

❖ Αποτελέσματα για αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται αυτό που προαναφέραμε, ότι δηλ. οι μετρούμενες τιμές των φωτόμετρων παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με όργανα αναφοράς. Αν εξαιρέσουμε τη δεύτερη δειγματοληψία, παρατηρείται ότι, οι τιμές των συγκεντρώσεων που έχουν προκύψει από το DustTrak είναι υψηλότερες από αυτές του FH62 I-R (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2 Σύγκριση μέσων τιμών συγκέντρωσης από τα όργανα DustTrak και FH 62 I-R.

Από την ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών συγκέντρωσης των δύο οργάνων (Σχήμα 6.3) προέκυψε μία αρκετά ικανοποιητική συσχέτιση ($R^2 = 0,7069$).

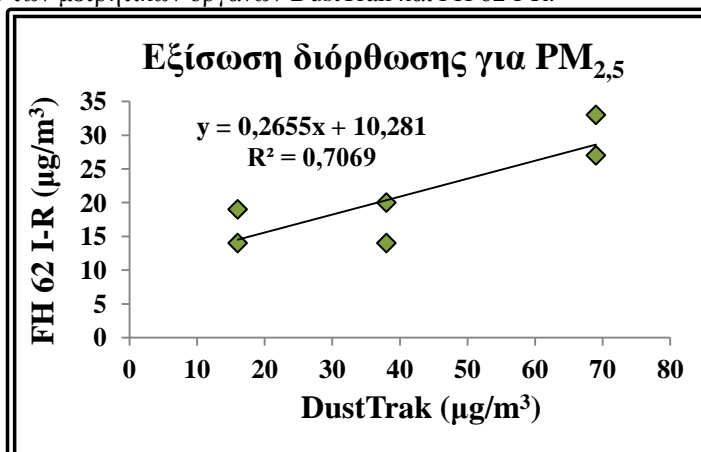
Προκειμένου να επιτευχθεί μία καλύτερη εκτίμηση των επιπέδων $PM_{2,5}$ που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τα όργανα DustTrak στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι για τα σωματίδια μικρότερου μεγέθους έχουν αναφερθεί σημαντικές αποκλίσεις μέτρησης σε σχέση με τις πραγματικές τιμές (Ramachandran et al., 2000), επιλέξαμε να γίνει η διόρθωση των προσεγγιστικών αυτών τιμών σύμφωνα με την εξίσωση συσχέτισης που

προέκυψε από τις συγκριτικές μετρήσεις μεταξύ των δύο οργάνων (DustTrak και FH 62 I-R):

$$PM_{2,5} (FH62I-R) = 0,27 PM_{2,5} (DustTrak) + 10,3$$

Πίνακας 6.1 Μέσες τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ των συγκριτικών δειγματοληψιών (2h) μεταξύ των μετρητικών οργάνων DustTrak και FH 62 I-R.

	Συγκέντρωση $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	
	DustTrak	FH 62 I-R
1 ^η	19	16
2 ^η	14	16
3 ^η	20	38
4 ^η	14	38
5 ^η	33	69
6 ^η	27	69



Σχήμα 6.3 Γραμμική συσχέτιση τιμών συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ μεταξύ των οργάνων DustTrak και FH 62 IR.

Εκτός από την καλή συσχέτιση που προέκυψε, βασικό λόγο για την επιλογή αυτή αποτέλεσε το γεγονός ότι το FH 62 I-R αποτελεί αυτόματο όργανο μέτρησης σε πραγματικό χρόνο, όπως και το DustTrak. Υπενθυμίζουμε ότι οι σταθμικές μέθοδοι μέτρησης, με τις οποίες γίνεται κανονικά η σύγκριση για τη διαδικασία απόδοσης ισοδυναμίας μεταξύ μεθόδων μέτρησης PM (EC, 2010), παρέχουν μία μέση τιμή της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων σε κάποιο χρονικό διάστημα και όχι συνεχείς τιμές. Επιπλέον, το FH 62 I-R θεωρείται όργανο με μεγάλη ακρίβεια, γεγονός που βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του, επομένως αποτελεί μία πιο αξιόπιστη μέθοδο μέτρησης. Επισημαίνεται όμως ότι, οι τιμές συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ που προκύπτουν από τη χρήση της εξίσωσης αυτής, εξακολουθούν να είναι προσεγγιστικές των ακριβέστερων τιμών που παρέχει το FH 62 I-R. Αναμένεται όμως οι τιμές αυτές να μη διαφέρουν περισσότερο από 29% σε σχέση με τις τιμές του FH 62 I-R.

❖ Αποτελέσματα για αιωρούμενα σωματίδια PM_{10}

Αντίστοιχα για τα PM_{10} , από συγκριτικές μετρήσεις που έλαβαν χώρα το 2010, στα πλαίσια του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης ανάμεσα στα όργανα DustTrak και FH 62 I-R, προέκυψε η εξής εξίσωση (Chalvatzaki et al., 2010):

$$PM_{10} (FH62I-R) = 0,80 PM_{10} (DustTrak) + 10,4$$

Με βάση τη σχέση αυτή έγινε η διόρθωση των μετρούμενων τιμών συγκέντρωσης μάζας του οργάνου DustTrak στα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας, δεδομένου ότι ο FH 62 I-R αποτελεί πιο αξιόπιστο και ακριβές αυτόματο όργανο.

Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η παραπάνω πειραματική σύγκριση δεν αποτελεί διαδικασία σύγκρισης για την απόδειξη ισοδυναμίας των μεθόδων μέτρησης των PM ως προς πρότυπες μεθόδους, όπως περιγράφεται στις οδηγίες της E.E (EC, 2005; 2002), οι οποίες πήραν την τελική τους μορφή το 2010 (Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods, EC working group 2010). Υπενθυμίζουμε ότι, το FH 62 I-R αποτελεί αυτόματο όργανο μέτρησης σε πραγματικό χρόνο που βασίζεται σε οπτική μέθοδο (απορρόφηση της β ακτινοβολίας) και όχι σταθμική, γι αυτό και πρέπει να εξετάζεται ως προς την ισοδυναμία των μετρήσεων του με όργανα που βασίζονται σε σταθμικές μεθόδους (Gehrig et al., 2005; Salminen & Karlsson, 2003).

Διάφορες μελέτες, στα πλαίσια των οποίων έχουν διεξαχθεί συγκριτικές μετρήσεις για την απόδοση ισοδυναμίας αναφοράς, επιβεβαιώνουν ότι, οι τιμές του FH 62 I-R αποτελούν καλές προσεγγίσεις των πραγματικών (σταθμικών) τιμών. Μία εκτενής σειρά συγκριτικών δειγματοληψιών σωματιδίων PM₁₀ μεταξύ του FH 62 I-R και μεθόδου μέτρησης με σταθμικό προσδιορισμό, σύμφωνη με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12341:1998 (CEN, 1998), πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια έρευνας του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης το διάστημα από το 2006 έως το 2008. Από τη συσχέτιση των μετρήσεων μεταξύ των οργάνων υπολογίστηκε ο συντελεστής διόρθωσης: $1,21 \pm 0,13$ (Korpanakis et al., 2012). Σύμφωνα με τους Gehrig et al. (2005), από ανάλογες συγκριτικές δειγματοληψίες μεταξύ οργάνου βασιζόμενου στην απορρόφηση της β ακτινοβολίας και σταθμικού οργάνου αναφοράς, προέκυψε συντελεστής στο εύρος 0,8 έως 1,05, ενώ σύμφωνα με αποτελέσματα μετρήσεων των Takahashi et al. (2008), οι τιμές προκύπτουν με ακόμη μεγαλύτερη ισοδυναμία.

Γενικότερα όμως τα αυτόματα όργανα όπως ο FH 62 I-R είναι γνωστό ότι, παρέχουν υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης από τα σταθμικά όργανα αναφοράς λόγω της απορρόφησης νερού (θερμαινόμενος σωλήνας δειγματοληψίας) από τα σωματίδια και της συμπύκνωσης των απολεσθέντων σωματιδίων που έχουν εξατμιστεί από τα φίλτρα του οργάνου. Επίσης, τα φίλτρα του FH 62 I-R αναλύονται κατευθείαν από το όργανο, ενώ κατά τις σταθμικές μεθόδους τα φίλτρα συνήθως ζυγίζονται αφού έχουν εξισορροπηθεί στο εργαστήριο για 24 ώρες και έτσι μπορεί να έχουν εξατμιστεί πτητικές ενώσεις. Τέλος, στα

αποτελέσματα δειγματοληπτικών τεχνικών μέτρησης με σταθμικό τρόπο παίζει σημαντικό ρόλο και ο ανθρώπινος παράγοντας, ο οποίος εμπεριέχει την πιθανότητα είτε κάποιου σφάλματος κατά τη ζύγιση, είτε της απώλειας σωματιδίων κατά τη μεταφορά των φίλτρων (Lazaridis et al., 2008).

6.3 Συγκριτικές δειγματοληψίες με το σταθμικό όργανο Andersen Cascade Impactor

Στη δεύτερη σειρά συγκριτικών δειγματοληψιών με το DustTrak, ως όργανο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το Andersen Cascade Impactor (Non-viable impactor, Model 20-800, Thermo Electron Corporation). Το όργανο αυτό (Εικόνα 4A) αντιπροσωπεύει μεθοδολογία μέτρησης με σταθμικό προσδιορισμό.

6.3.1 Όργανο μέτρησης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων με σταθμικό προσδιορισμό: Andersen Cascade Impactor (Thermo Electron Corporation)

Ο προσκρουστής (δειγματολήπτης) σωματιδίων Andersen Cascade Impactor (Non-viable impactor, Model 20-800, Thermo Electron Corporation) χρησιμοποιείται για την μέτρηση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων που συλλέγονται πάνω σε φίλτρα. Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στην αρχή της πρόσκρουσης.



Εικόνα 6.4 A) Andersen Ambient Sampler B) Εύρος τιμών κάθε σταδίου.

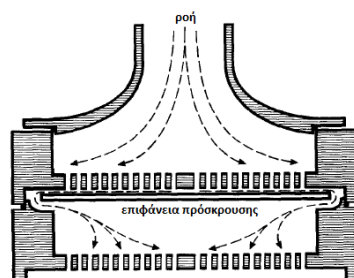
Η συλλογή του αερολύματος (ρυθμός ροής 28,3 L/min) γίνεται κατά 9 στάδια, επομένως και από 9 φίλτρα, με βάση την αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων, το τελευταίο από τα οποία είναι το back up (για σωματίδια < 0,4 μm). Όσο μικρότερο είναι το σωματίδιο τόσο βαθύτερα εισέρχεται στον δειγματολήπτη (κατά αντιστοιχία με τον ανθρώπινο πνεύμονα). Στην εικόνα 6.4B φαίνεται το εύρος τιμών του κάθε σταδίου. Το άθροισμα των συγκεντρώσεων των τεσσάρων κατώτερων σταδίων δίνει την συγκέντρωση των PM_{2,1} ενώ

τα άθροισμα και των οκτώ σταδίων δίνει την συγκέντρωση των PM₁₀ (Thermo Electron Corporation, 2003).

Αρχή λειτουργίας

Η πρόσκρουση είναι μία ειδική δειγματοληπτική τεχνική μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων με σταθμικό προσδιορισμό. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τα αιωρούμενα σωματίδια περνούν από μια οπή με ροή που οδηγεί προς μία επίπεδη επιφάνεια. Η ύπαρξη της επιφάνειας πρόσκρουσης μετατοπίζει τη ροή κατά 90°. Τα σωματίδια που έχουν εσωτερική ενέργεια μεγαλύτερη από μία οριακή τιμή δεν ακολουθούν τις γραμμές ροής και συγκρούονται με την επίπεδη επιφάνεια. Υποθέτουμε ότι τα σωματίδια κολλάνε στην επιφάνεια με την πρόσκρουση.

Τα μικρότερα σωματίδια ακολουθούν τη ροή και δε συγκρούονται με την επιφάνεια πρόσκρουσης παραμένοντας αιωρούμενα και τελικά βγαίνουν έξω. Επομένως ένας προσκρουστής διαχωρίζει τα αιωρούμενα σωματίδια σε δύο μεγέθη. Τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από ένα συγκεκριμένο αεροδυναμικό μέγεθος συλλέγονται στην επιφάνεια πρόσκρουσης, ενώ τα μικρότερα παραμένουν αιωρούμενα και βγαίνουν έξω από τον προσκρουστή.



Σχήμα 6.4 Διατομή ενός προσκρουστή διαχωρισμού.

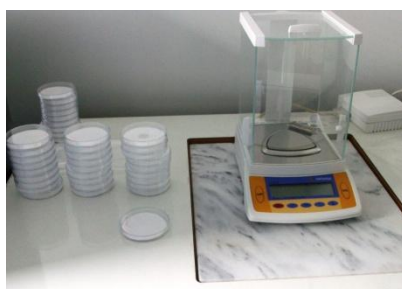
Προσθέτοντας ένα φίλτρο στην έξοδο του προσκρουστή (μετά την επιφάνεια πρόσκρουσης) μπορούμε να μελετήσουμε τα σωματίδια που εναποτέθηκαν στον προσκρουστή. Επομένως με τη ζύγιση των σωματιδίων στην επιφάνεια πρόσκρουσης και στο φίλτρο που έχουμε τοποθετήσει στην έξοδο θα έχουμε σημαντική πληροφορία για την κατανομή μάζας σε διάφορα μεγέθη σωματιδίων (Λαζαρίδης, 2008).

Διαδικασία μέτρησης

Η μέθοδος στηρίζεται στη ζύγιση του μέσου συλλογής των σωματιδίων (φίλτρου ή δοχείου) πριν και μετά τη δειγματοληψία χρονικής διάρκειας 24 ωρών. Πριν από τη ζύγιση

η συλλεγμένη σωματιδιακή ύλη φυλάσσεται σε περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας και υγρασίας. Συγκεκριμένα, η διαδικασία μέτρησης που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Εννέα φίλτρα τα οποία πρόκειται να τοποθετηθούν στο όργανο και άλλο ένα φίλτρο αναφοράς (blank), τοποθετούνται σε τριβλία (petri discs) και παραμένουν στο εργαστήριο, όπου θεωρούμε ότι η θερμοκρασία και η υγρασία είναι σταθερή, για 24 ώρες ώστε να εξισορροπηθούν.
- Μετά το διάστημα των 24 ωρών τα φίλτρα ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας.
- Τα φίλτρα των 9 σταδίων μεταφέρονται στο σταθμό και τοποθετούνται στο όργανο ενώ το «τυφλό» φίλτρο (blank) παραμένει στο εργαστήριο.
- Μετά τη διάρκεια των 24 ωρών, τα φίλτρα με τα δείγματα αφαιρούνται με ιδιαίτερη προσοχή από τα 9 στάδια του οργάνου και τοποθετούνται σε τριβλία.
- Τα φίλτρα με τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο όπου παραμένουν για 24 ώρες για να ρυθμιστεί η θερμοκρασία και η υγρασία τους .
- Μετά από 24 ώρες ζυγίζονται στο ζυγό ακριβείας.
- Σημειώνεται κάθε μέρα πριν την αλλαγή των φίλτρων ο όγκος αέρα που έχει περάσει από το όργανο.



Εικόνα 6.5 Ζυγός ακριβείας Sartorius CP 225D.

Σε οποιαδήποτε επαφή με τα φίλτρα χρησιμοποιούνται γάντια χωρίς πούδρα και λαβίδα για να μην αλλοιώνονται τα αποτελέσματα. Σημειώνεται ότι τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες ήταν από ίνες χαλαζία (“quartz fiber”). Η ζύγιση των φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν για τις σταθμικές μετρήσεις της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2.5}$ πραγματοποιήθηκε στο ζυγό ακριβείας Sartorius CP 225D (Sartorius AG, Goettingen, Germany). Ο ζυγός έχει ακρίβεια 0,01mg (Εικόνα 6.5).

6.3.2 Σύγκριση των DustTrak II και DRX με το σταθμικό όργανο Andersen Cascade Impactor

Οι συγκριτικές μετρήσεις ανάμεσα στα όργανα DustTrak και Andersen Cascade Impactor πραγματοποιήθηκαν στον εξωτερικό χώρο του μετεωρολογικού σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης από τις 28/07 έως τις 04/08/2012. Συγκεκριμένα, τα όργανα τοποθετήθηκαν στην οροφή του μετεωρολογικού σταθμού και η διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν εικοσιτετράωρη. Για τη μέτρηση των PM_{10} χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο DustTrak II ενώ για τα $PM_{2,5}$ το DustTrak DRX. Για την πραγματοποίηση της σύγκρισης υπολογίστηκαν οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις μάζας, καθώς τα όργανα DustTrak λαμβάνουν συνεχείς μετρήσεις (μεθοδολογία μέτρησης σε πραγματικό χρόνο), ενώ το όργανο Andersen (μεθοδολογία μέτρησης με σταθμικό τρόπο) παρέχει μία μόνο μέση τιμή για την εικοσιτετράωρη διάρκεια της κάθε δειγματοληψίας.

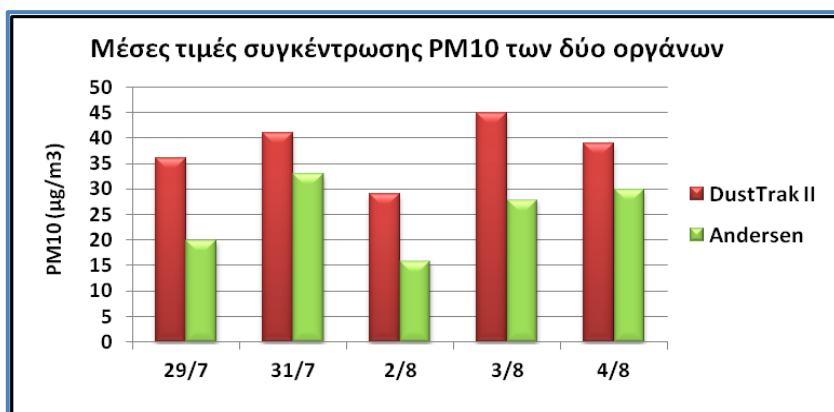
Μετά την ολοκλήρωση των δειγματοληψιών επιχειρήθηκε συσχέτιση μεταξύ των οργάνων. Η μελέτη των γραμμικών συσχετίσεων μεταξύ των οργάνων έγινε με τη βοήθεια γραφικών παραστάσεων και την προσθήκη γραμμών τάσης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Αποτελέσματα μετρήσεων

❖ Αποτελέσματα για αιωρούμενα σωματίδια PM_{10}

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Πίνακας 6.2), οι μετρήσεις του Andersen Sampler κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις του DustTrak II (Σχήμα 6.5).

Πιθανόν σε αυτό συνέβαλε και το γεγονός ότι τα φίλτρα του δειγματολήπτη Andersen ζυγίζονται αφού έχουν εξισορροπηθεί στο εργαστήριο για 24 ώρες και έτσι ενδέχεται να έχουν εξατμιστεί πτητικές ενώσεις ή να έχουν απομακρυνθεί σωματίδια κατά τη μεταφορά των φίλτρων, όπως επίσης υπάρχει και το ενδεχόμενο της απώλειας σωματιδίων κατά τη μεταφορά τους από το ένα στάδιο στο άλλο. Το γεγονός της απώλειας, που σύμφωνα με τους Park et al. (2009) μπορεί να φτάσει το 18% της συνολικής μάζας των σωματιδίων, έχει παρατηρηθεί και σε άλλες έρευνες, σύμφωνα με τις οποίες διαπιστώθηκε ότι μετά το τέλος της δειγματοληψίας είχαν παραμείνει σωματίδια στα τοιχώματα και στις οπές του κάθε σταδίου του προσκρουστή Andersen (Horton et al., 1992; Vaughan, 1989).

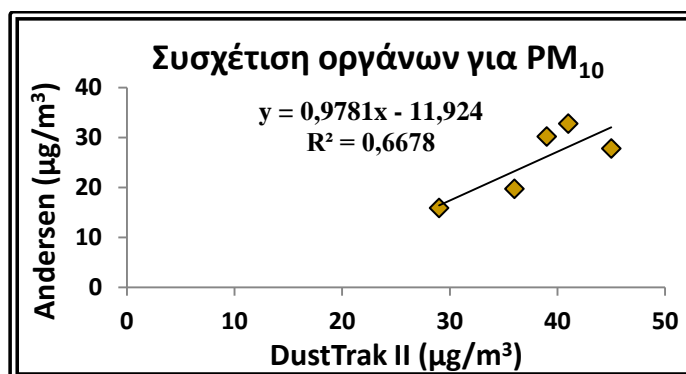


Σχήμα 6.5 Σύγκριση μέσων τιμών συγκέντρωσης από τα όργανα DustTrak II και Andersen.

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (Σχήμα 6.6), προέκυψε καλή συσχέτιση μεταξύ των μετρούμενων τιμών συγκέντρωσης μάζας ανάμεσα στα δύο όργανα, καθώς το R^2 θεωρείται ικανοποιητικό (0,6678).

Πίνακας 6.2. Μέσες τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} των συγκριτικών δειγματοληψιών (24h) μεταξύ των μετρητικών οργάνων DustTrak II και Andersen Sampler.

	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	DustTrak II	Andersen
1 ^η	36	20
2 ^η	41	33
3 ^η	29	16
4 ^η	45	28
5 ^η	39	30

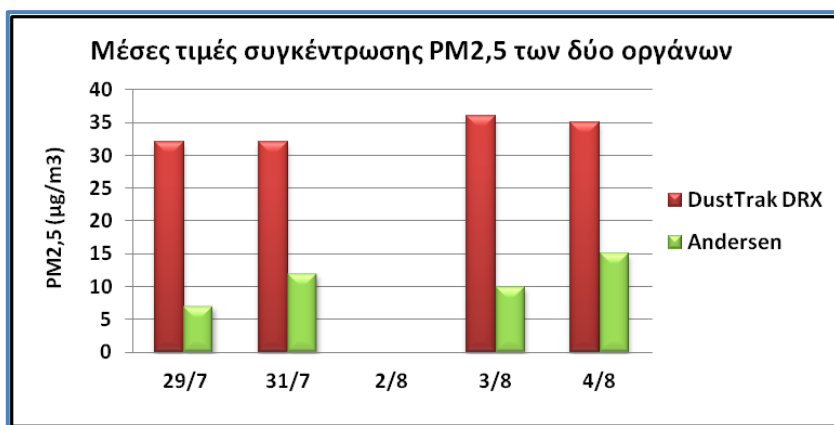


Σχήμα 6.6 Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης PM_{10} μεταξύ των οργάνων DustTrak II και Andersen.

Θα πρέπει να επισημάνουμε όμως ότι οι ταυτόχρονες μετρήσεις που διεξήχθησαν μεταξύ του DustTrak II και της σταθμικής μεθόδου αναφοράς δε θεωρούνται επαρκείς για την εξαγωγή ενός συντελεστή διόρθωσης για τις τιμές συγκέντρωσης PM_{10} (EC, 2005).

❖ Αποτελέσματα για αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$

Και σε αυτή τη σύγκριση, οι συγκεντρώσεις $PM_{2,5}$ που μετρήθηκαν από τον προσκρουστή Andersen κυμάνθηκαν σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα από τις τιμές του DustTrak (Σχήμα 6.7) για τους λόγους που σχολιάσαμε και στα αποτελέσματα για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} . Σημειώνεται ότι στις παράλληλες δειγματοληψίες για τα $PM_{2,5}$ χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο «DRX».



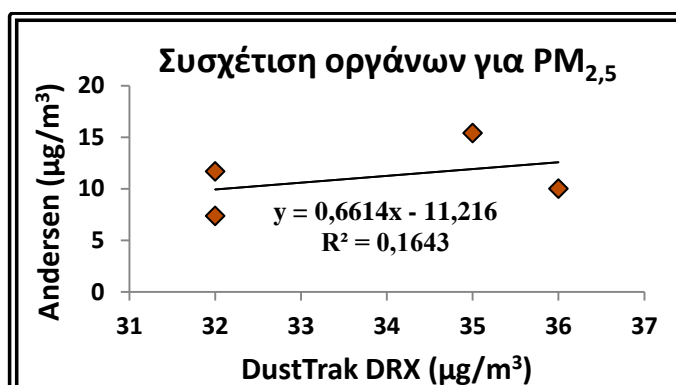
Σχήμα 6.7 Σύγκριση μέσων τιμών συγκέντρωσης από τα όργανα DustTrak DRX και Andersen.

Για τις μετρήσεις συγκέντρωσης PM_{2,5} από τα δύο όργανα δεν προέκυψε καλή συσχέτιση, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού ($R^2 = 0,1643$) προέκυψε ιδιαίτερα χαμηλός (Σχήμα 6.8).

Στο αποτέλεσμα αυτό πιθανόν συνετέλεσε ο μικρός αριθμός δειγματοληψιών (Πίνακας 6.3). Σημειώνεται ότι ο λόγος που δεν συμπεριελάβαμε το αποτέλεσμα της δειγματοληψίας στις 2/8 οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα κατά τη σταθμική μέτρηση της συγκέντρωσης με τον δειγματολήπτη Andersen. Ενδεχόμενο σφάλμα κατά τη ζύγιση είχε ως συνέπεια η τιμή της συγκέντρωσης να βγει αρνητική. Γενικά, στα αποτελέσματα από τα φίλτρα παίζει σημαντικό ρόλο και ο ανθρώπινος παράγοντας γιατί μπορεί είτε να γίνει κάποιο λάθος κατά τη ζύγιση τους, είτε μπορεί κατά τη μεταφορά των φίλτρων από το τριβλίο στο ζυγό να απομακρυνθούν κάποια σωματίδια.

Πίνακας 6.3. Μέσες τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} των συγκριτικών δειγματοληψιών (24h) μεταξύ των μετρητικών οργάνων DustTrak DRX και Andersen Sampler.

	Συγκέντρωση PM _{2,5} (µg/m ³)	
	DustTrak DRX	Andersen
1 ^η	32	7
2 ^η	32	12
3 ^η	-	-
4 ^η	36	10
5 ^η	35	15



Σχήμα 6.8 Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης PM_{2,5} μεταξύ των οργάνων DustTrak DRX και Andersen.

Επιπλέον, πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη το γεγονός ότι το όργανο DustTrak λαμβάνει συνεχείς μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο καθ' όλη τη διάρκεια της εικοσιτετράωρης

δειγματοληψίας, επομένως είναι αναμενόμενη μία μεγάλη απόκλιση της μέσης τιμής των αποτελεσμάτων του με την τιμή που προκύπτει από τη σταθμική μέτρηση με το Andersen Impactor.

Ένα παράδειγμα καλής συσχέτισης που προκύπτει από μελέτη σύγκρισης με σταθμικό όργανο, δίνεται από τους Yanosky et al. (2002). Οι συγκριτικές μετρήσεις συγκέντρωσης $PM_{2,5}$, οι οποίες έλαβαν χώρα σε ελεγχόμενο εσωτερικό περιβάλλον, ήταν ανάμεσα στο όργανο DustTrak και ένα πρότυπο δειγματολήπτη με σταθμικό προσδιορισμό (BGI, Inc. PQ200). Τα αποτελέσματα έδειξαν συσχέτιση $R^2 = 0,859$ των μέσων 24ωρων τιμών του DustTrak με τις τιμές του οργάνου αναφοράς, ενώ η εξίσωση διόρθωσης που εξήχθη ήταν:

$$PM_{2,5 (BGI)} = 0,33 PM_{2,5 (DustTrak)} + 2,25.$$

Επομένως, λόγω της μη ισχυρής συσχέτισης που προέκυψε μεταξύ των οργάνων, δε θα ήταν σωστό να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης που προέκυψαν από τις συγκριτικές δειγματοληψίες με τον προσκρουστή Andersen για τη διόρθωση των τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων των οργάνων DustTrak.

Σημειώνεται επίσης ότι η παραπάνω πειραματική σύγκριση δεν αποτελεί διαδικασία σύγκρισης για την απόδοση ισοδυναμίας μεταξύ των μεθόδων μέτρησης των PM, καθώς, λόγω κυρίως του μικρού αριθμού μετρήσεων, δεν πληρούνται τα κριτήρια που ορίζονται στο σχετικό οδηγό του 2010 για την απόδειξη της ισοδυναμίας μεταξύ των διαφόρων μεθόδων καταγραφής των ατμοσφαιρικών ρύπων (Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods, EC working group 2010).

Συνοψίζοντας, οι συγκριτικές δειγματοληψίες (6.3) έδειξαν ότι, οι τιμές του αυτόματου οργάνου DustTrak υπερβαίνουν σε μεγάλο βαθμό τις πραγματικές σταθμικές τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων, όπως έχει διαπιστωθεί και σε διάφορες σχετικές μελέτες (Branisˇ et al., 2005; Ramachandran et al., 2000; Gorner et al., 1995). Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε συμφωνία με τη μεγάλη απόκλιση που παρατηρείται και στις συγκριτικές μετρήσεις (6.2) με το υψηλής ακρίβειας αυτόματο μετρητή συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων με απορρόφηση β ακτινοβολίας «FH 62 I-R».

7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

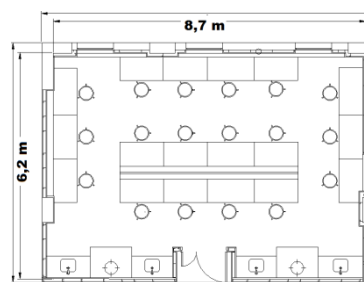
7.1 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 1

Γενικά στοιχεία

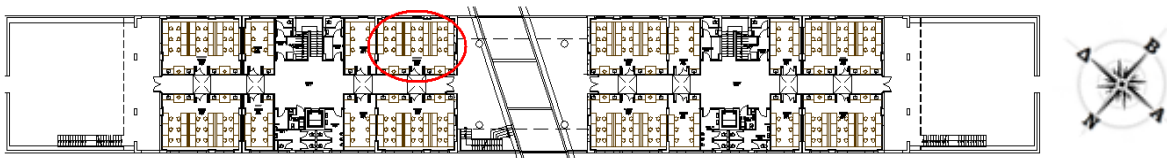
Οι ερευνητικές δραστηριότητες του Εργαστηρίου (1) καλύπτουν θέματα που αφορούν κυρίως στο σχεδιασμό, ανάλυση, ανάπτυξη και βελτιστοποίηση διεργασιών σχετικών με την επεξεργασία, διάθεση και ελαχιστοποίηση παραγωγής υγρών αποβλήτων, όπως η επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων με προχωρημένες διεργασίες οξείδωσης (αντιδραστήριο Fenton, οζονισμός, φωτοκατάλυση, χημεία υπερήχων), η ολοκληρωμένη επεξεργασία αποβλήτων με συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, η περιβαλλοντική κατάλυση κ.ά. Στο χώρο αυτό διαθέτουν πρόσβαση και άλλες ερευνητικές μονάδες για την κάλυψη των αναγκών τους, οι οποίες εξειδικεύονται σε καινοτόμες διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού (βιολογικές διεργασίες σταθεροποιημένης βιομάζας, απομάκρυνση αζώτου με την διεργασία αναμμοκ κ.α.), όπως επίσης ασχολούνται με θέματα που αφορούν στην εκτίμηση μικροβιολογικής ποιότητας του περιβάλλοντος.

Περιγραφή και λειτουργία χώρου

Ο υπό μελέτη εργαστηριακός χώρος (Σχήμα 7.1) βρίσκεται στο ισόγειο, πλησίον της κεντρικής ζώνης του υπό μελέτη κτηρίου (Σχήμα 7.2). Έχει εμβαδό 54 m^2 ($8,7 \text{ m} \times 6,2 \text{ m}$) και συνεκτιμώντας το ύψος των τοίχων που είναι 3 m , ο όγκος υπολογίζεται στα 162 m^3 . Όπως φαίνεται και στην κάτοψη, ο χώρος διαθέτει 4 παράθυρα, τα τρία από τα οποία έχουν βορειοδυτικό προσανατολισμό (κύρια πρόσοψη), ενώ το τέταρτο επικοινωνεί με το χώρο της είσοδο του κτηρίου, που βρίσκεται στην κεντρική ζώνη (Εικόνες 7.1, 7.2).



Σχήμα 7.1 Κάτοψη εργαστηριακού χώρου 1



Σχήμα 7.2 Τοποθεσία του εργαστηριακού χώρου 1 στο ισόγειο του υπό μελέτη κτηρίου.



Εικόνα 7.1 Βορειοδυτική πρόσοψη του εργαστηριακού χώρου (1).

Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στον υπό μελέτη χώρο, το τελευταίο παράθυρο (Εικόνα 7.2) καθώς και το αμέσως πλησίον του από τα τρία της κύριας όψης του χώρου, παρέμεναν μονίμως ανοιχτά με ανάκλιση, ακόμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η πόρτα του χώρου, η οποία οδηγεί στον κεντρικό διάδρομο (Εικόνα 7.3) παρέμενε και αυτή ανοιχτή τις περισσότερες από τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου.

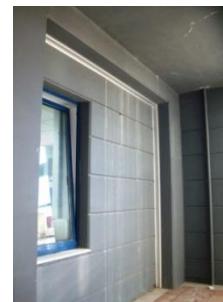
Σημειώνεται ότι τα παράθυρα της βορειοδυτικής πρόσοψης είχαν μονίμως κατεβασμένες τις ηλιοπροστατευτικές εσωτερικές περσίδες για την αποφυγή της υπερθέρμανσης και της οπτικής δυσφορίας λόγω θάμβωσης. Ο κλιματισμός του χώρου, όπως επίσης και ο τεχνητός φωτισμός (12 λάμπες φθορίου), ήταν διαρκώς σε λειτουργία.

Στο συγκεκριμένο χώρο κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας εργάζονταν 8 άτομα για τη διεκπεραίωση πειραματικών εργασιών, κατά διαστήματα όμως έκαναν χρήση του χώρου και άτομα από γειτονικά εργαστήρια. Γενικότερα δεν υπήρχε ένα σταθερό πρόγραμμα παρουσίας χρηστών στο χώρο, καθώς οι ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου κυμαίνονταν από τις 07:30 το πρωί έως και τις 21:00 το βράδυ, ενώ ο χρόνος παραμονής των χρηστών κυμαινόταν από 1 έως 8 ώρες και από 2 έως 5 ημέρες, ανάλογα με τις ανάγκες των πειραματικών εργασιών. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο χώρος χρησιμοποιείτο και το Σαββατοκύριακο.



Εικόνα 7.4 Εσωτερικός χώρος εργαστηρίου.

Οι εργαστηριακές δραστηριότητες των χρηστών του χώρου (1) περιελάμβαναν χρήση διαφόρων χημικών ουσιών όπως υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), αιθανόλη (CH_3CH_2OH), κυανούν του μεθυλενίου, διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2), υδροξείδιο του αμμωνίου (NH_4OH), νιτρώδες νάτριο ($NaNO_2$) κ.ά. Όσον αφορά στην εργαστηριακή υποδομή του χώρου, αυτή αποτελείται από πειραματικές συσκευές: γεννήτριες υπερήχων, γεννήτρια όζοντος, βιοαντιδραστήρες, θάλαμο φυγοκέντρησης κ.α., καθώς και διάφορα



Εικόνα 7.2 Ανοιχτό παράθυρο (ανάκλιση) του υπό μελέτη χώρου (1) που «βλέπει» στην είσοδο του κτηρίου (BA προσανατολισμός).



Εικόνα 7.3 Εσωτερικός διάδρομος μέσω του οποίου επικοινωνούν οι χώροι ισογείου.

αναλυτικά όργανα (αυτοματοποιημένο σύστημα υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης HPLC, αέριο χρωματογράφο με φασματογράφο μάζας GC-MS, φασματοφωτόμετρα, αναλυτές για BOD, COD κ.ά.). Επίσης το εργαστήριο διαθέτει απαγωγό αερίων για την προστασία του προσωπικού και των φοιτητών από την έκθεση σε επικίνδυνες χημικές πτητικές ενώσεις.

Τα περισσότερα άτομα έκαναν χρήση φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά τη διάρκεια παραμονής τους στο χώρο. Η χρήση των Η/Υ σε συνδυασμό με αυτή των μηχανημάτων του εργαστηρίου ενδεχομένως επιβαρύνει το εσωκλίμα με υψηλά εσωτερικά θερμικά φορτία και ρύπους.

Τα στοιχεία που αναφέρθηκαν διαπιστώθηκαν ύστερα από παρατήρηση, αλλά επιβεβαιώνονται και από τους ίδιους τους χρήστες του χώρου σύμφωνα με τα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν.



Εικόνα 7.5 Εργαστηριακός εξοπλισμός υπό μελέτη χώρου 1.

7.1.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου

Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε με το ερωτηματολόγιο, η ποιότητα αέρα του χώρου κρίθηκε μέτρια έως καλή. Παρά το γεγονός ότι η μελέτη στο χώρο πραγματοποιήθηκε σε περίοδο δροσισμού και παρά τη δυνατότητα ελέγχου του κλιματισμού από τους χρήστες, υπήρξε μία μικρή συχνότητα εμφάνισης παραπόνων σε σχέση με την επικρατούσα θερμοκρασία του αέρα, η οποία χαρακτηρίστηκε ως χαμηλή. Σχετικά με τις συνθήκες ξηρής ατμόσφαιρας δεν υπήρξε διατύπωση παραπόνων. Ωστόσο, δύο από τους εργαζόμενους στο χώρο δήλωσαν ότι μερικές φορές αισθάνονται δυσφορία λόγω υγρασίας. Ενδεχομένως, η δυσφορία αυτή οφείλεται στην επίδραση που δέχεται ο χώρος από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, δεδομένου ότι δύο από τα παράθυρα του χώρου, από τα οποία το ένα επικοινωνεί με την εξωτερική ατμόσφαιρα, παρέμειναν διαρκώς ανοιχτά. Η διατύπωση παραπόνων σχετικά με την επιβάρυνση του εσωτερικού αέρα με οσμές ήταν ομόφωνη από όλους τους χρήστες. Το αυξημένο ποσοστό δυσφορίας

λόγω οσμών δικαιολογείται από τη χρήση των χημικών κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών δραστηριοτήτων. Θα περίμενε κανείς ότι η δυσφορία λόγω οσμών θα αντικατοπτριζόταν στο αίσθημα έλλειψης φρέσκου αέρα. Ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει, καθώς στο χώρο συντελούνται διαρκώς φυσικός αερισμός μέσω των παραθύρων και της πόρτας, γεγονός που μας οδηγεί στην υπόθεση ότι είτε ότι οι χρήστες του χώρου έχουν υψηλότερες απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τις εσωκλιματικές συνθήκες, είτε ότι υπήρξε επιβάρυνση του χώρου με επιπλέον οσμές (π.χ. από καπνό τσιγάρου) από το χώρο της εισόδου, ο οποίος επικοινωνεί άμεσα με το εργαστήριο μέσω του ενός παραθύρου. Τέλος, όσον αφορά στις συνθήκες φωτισμού, υπήρξαν ορισμένες ενοχλήσεις λόγω μεγάλης έντασης του τεχνητού φωτισμού.

Αναφορικά με τα συμπτώματα υγείας που έχουν εμφανίσει οι χρήστες και που μπορεί να οφείλονται στην κακή ποιότητα του αέρα, δύο από τα άτομα συμφώνησαν ότι έχουν εμφανίσει πονοκέφαλο, ενώ ένα άτομο δήλωσε ότι του παρουσιάστηκε ενόχληση στα μάτια σχετιζόμενη με τους φακούς επαφής. Αναφέρθηκε επίσης ότι, τα συμπτώματα εμφανίζονται συνήθως τη στιγμή που βρίσκεται σε εξέλιξη κάποιο πείραμα με χημικές ουσίες.

7.1.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

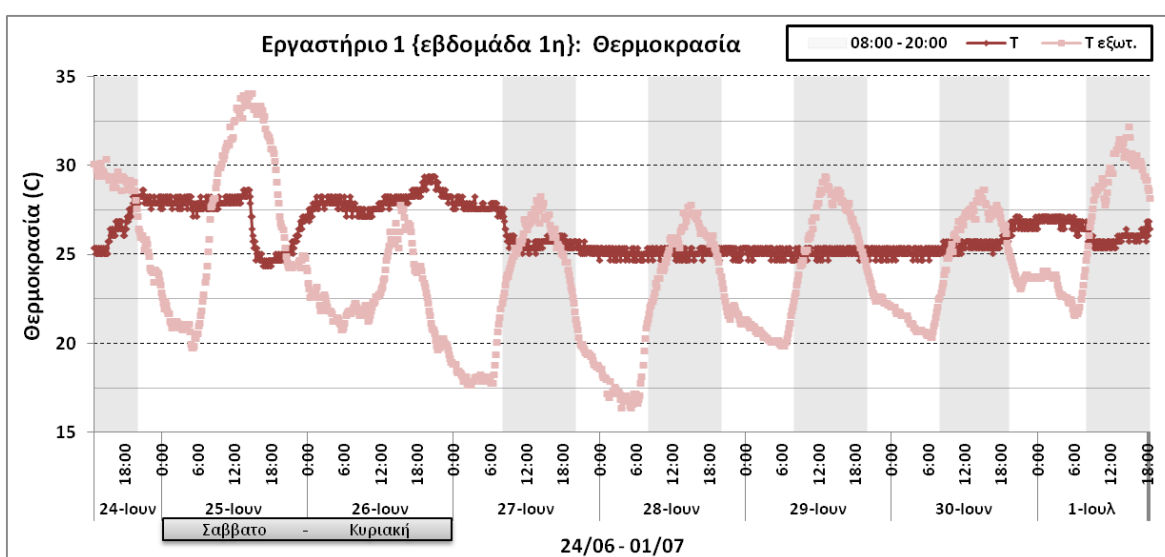
Στον υπό μελέτη χώρο (1) οι πειραματικές μετρήσεις της πρώτης φάσης για την αξιολόγηση της ποιότητας των εσωκλιματικών συνθηκών έγιναν σε διάστημα δύο εβδομάδων, ενώ η δεύτερη φάση είχε διάρκεια τριών ημερών. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την κάθε μετρούμενη παράμετρο.

7.1.2.1 Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε με το όργανο Tinytag Ultra 2 data logger (TGU-4500) της εταιρείας Gemini κατά τη διάρκεια των εβδομάδων: 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου και 1 έως 8 Ιουλίου. Η συνήθης ρύθμιση της θερμοκρασίας του κλιματισμού ήταν στους 24 με 25°C (περίοδος δροσισμού).

Την πρώτη εβδομάδα (24/06 – 01/07), κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και κατά τις ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία του αέρα στο εργαστήριο (1) κυμάνθηκε από 24,7 έως 28,3°C, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.3. Σημειώνεται ότι στο συγκεκριμένο χώρο δεδομένου ότι δεν υπήρχε ένα σταθερό πρόγραμμα παρουσίας χρηστών, ως ώρες λειτουργίας θα ορίσουμε το

διάστημα 08:00 με 20:00, το οποίο παρουσιάζεται στο διάγραμμα μέσω της σκιαγραφημένης επιφάνειας. Στο διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών (Σχήμα 7.3) αποτυπώνεται και η διακύμανση της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία κατά τις ίδιες ώρες καλύπτει ένα εύρος ελαφρώς μεγαλύτερο καθώς οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 21,1 ως 30,4°C. Οι υψηλότερες τιμές, οι οποίες υπερβαίνουν σαφώς τις επικρατούσες θερμοκρασίες εντός του κλιματιζόμενου χώρου (1), σημειώνονται τις μεσημβρινές ώρες. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, όμως, η εξωτερική θερμοκρασία σημειώνει χαμηλότερες τιμές από αυτές του εσωτερικού χώρου, με τη μικρότερη (16,4°C) να παρατηρείται τα ξημερώματα (05:10) στις 28/06.



Σχήμα 7.3 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (1) την 1^η εβδομάδα των μετρήσεων (24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου).

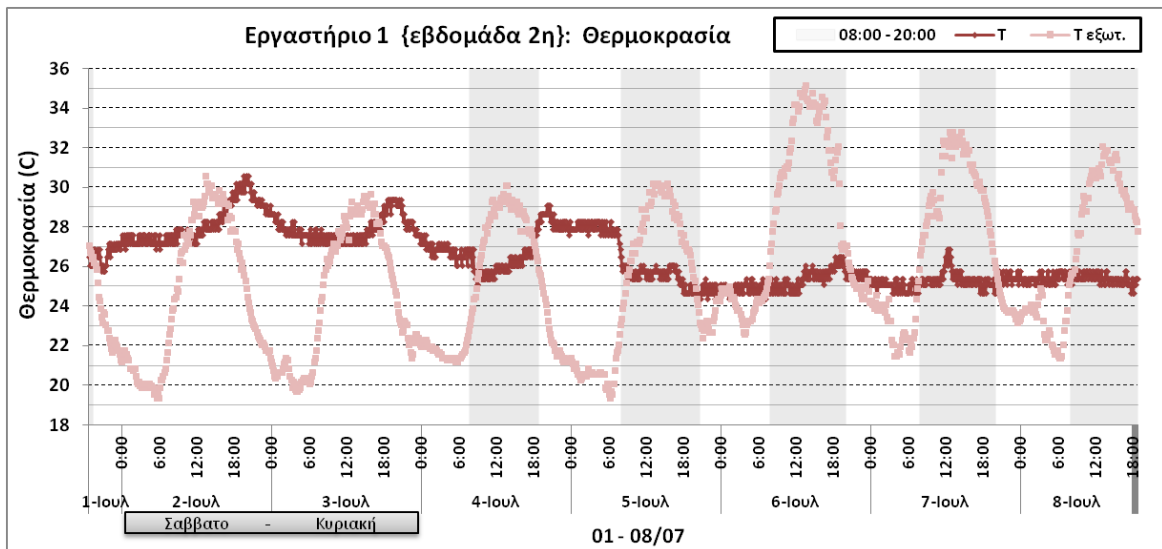
Τα παραπάνω πορίσματα διαφοροποιούνται σημαντικά όταν περάσουμε στη διερεύνηση των στιγμιαίων τιμών της θερμοκρασίας τις ημέρες του Σαββατοκύριακου (25 – 26/06), κατά τις οποίες ο υπό μελέτη χώρος παρέμεινε κλειστός. Το εύρος της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα τις αντίστοιχες ώρες (08:00 – 20:00) διευρύνεται, καθώς κυμαίνεται από 24,4 έως 29,4°C (κατά 0,3 και 1,1 μονάδες αντίστοιχα). Η παύση λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού λόγω της μη ή περιορισμένης χρήσης του χώρου κατά το διήμερο αυτό έχει ως συνέπεια να δεχτεί ο χώρος την επίδραση της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία τις ημέρες αυτές κυμαίνεται από 21,3 έως 34,1°C. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι την Κυριακή (26/06), έπειτα από διάστημα μίας ολόκληρης ημέρας χωρίς χρήση κλιματισμού, ο εξεταζόμενος χώρος θερμαίνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε η εσωτερική θερμοκρασία να υπερβαίνει την εξωτερική καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, ακόμα και κατά τις μεσημβρινές ώρες.

Επίσης, πολύ σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι η σταθερότητα που παρατηρείται στη θερμοκρασία του χώρου (1) από το βράδυ της 27^{ης} Ιουνίου έως το πρωί της 30^{ης} Ιουνίου οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα κλιματισμού παρέμεινε για αδιευκρίνιστους λόγους σε διαρκή λειτουργία. Επιπλέον, στις 28 και 29/06 η πόρτα του χώρου κατά τη χρήση του εργαστηρίου ήταν σχεδόν μονίμως κλειστή, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εργάσιμες ημέρες, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη ρύθμιση των συνθηκών του χώρου από το σύστημα κλιματισμού.

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να παραθέσουμε την τιμή της θερμοκρασίας που προτείνει η οδηγία TOTEE 20701-1/2010 με στόχο την επίτευξη θερμικής άνεσης χωρίς σπατάλη ενέργειας. Η τεχνική οδηγία καθορίζει για τη θερινή περίοδο ως θερμοκρασία σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους σε εκπαιδευτικά κτήρια τριτοβάθμιας εκπαίδευσης τους 26°C. Σημειώνεται ότι η ιδιαίτερη χρήση του χώρου ως εργαστήριο δεν περιλαμβάνεται στις κατηγορίες της οδηγίας, γι αυτό και κατατάσσεται στην γενικότερη κατηγορία του εκπαιδευτικού κτηρίου τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Οι καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας της κατηγορίας αυτής είναι κοινές με αυτές που ορίζονται για τους χώρους γραφείων. Όπως γίνεται αντιληπτό, οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο χώρο ως επί το πλείστον προσεγγίζουν το όριο θερμικής άνεσης, με εξαίρεση τις συνθήκες το Σαββατοκύριακο που οι τιμές στο χώρο κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα από τα αποδεκτά. Οι τιμές που αποκλίνουν σημαντικά από το όριο παρατηρούνται κατά την έναρξη χρήσης του χώρου και λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού και κατά τα διαστήματα παύσης του, συνήθως λίγο πριν την αποχώρηση των ατόμων από το χώρο.

Ανάλογα συμπεράσματα εξάγονται και κατά τη δεύτερη εβδομάδα των μετρήσεων (01 – 08/07) με τα εσωτερικά κυμαινόμενα επίπεδα θερμοκρασίας κατά τις συνήθεις ώρες λειτουργίας του χώρου (1) να διαφοροποιούνται ελάχιστα, με αύξηση του εύρους μεταβολής κατά 0,4 μονάδες (24,7 - 28,7°C). Η μικρή αυτή αύξηση ενδεχομένως οφείλεται και στις υψηλότερες εξωτερικές επικρατούσες θερμοκρασίες (23,1 - 35,2°C).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.4, το Σαββατοκύριακο (02 – 03/07), κατά το οποίο ο χώρος είναι κενός και η πόρτα του εργαστηρίου κλειστή, η θερμοκρασία αέρα του υπό μελέτη χώρου δέχεται την επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας, λόγω της μη λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού, φτάνοντας σε επίπεδα υψηλότερα του ορίου θερμικής άνεσης.



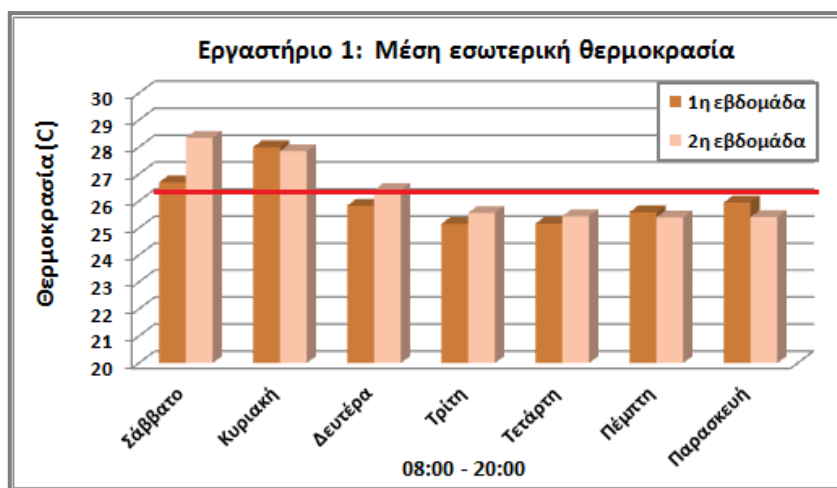
Σχήμα 7.4 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (1) την 2^η εβδομάδα των μετρήσεων (1 έως 8 Ιουλίου).

Κατά τις ημέρες και ώρες χρήσης του εργαστηρίου (1), με βάση τις στιγμιαίες τιμές (Σχήμα 7.4) και συγκρίνοντας με το όριο-τιμή της TOTEE 20701-1/2010, διαπιστώνεται ότι η θερμοκρασία αέρα του χώρου κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα. Εξαιρέση αποτελεί το χρονικό διάστημα από τις 5 το απόγευμα και μετά, τη Δευτέρα 04/07. Το διάστημα αυτό, λόγω της απενεργοποίησης του συστήματος κλιματισμού από τους χρήστες του χώρου, προκαλείται σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία φτάνει τους 28,7°C (19:00) και παραμένει σε υψηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας. Στο Παράρτημα III (Σχήμα Π III-1) παρατίθεται διάγραμμα της ημερήσιας διακύμανσης για τις 4 Ιουλίου.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων και για τις δύο εβδομάδες φαίνονται στο ραβδόγραμμα (Σχήμα 7.5), στο οποίο παρουσιάζονται οι μέσες τιμές θερμοκρασίας κατά τις εργάσιμες ώρες σε σύγκριση με το όριο των 26°C που προτείνεται από την τεχνική οδηγία του TEE (TOTEE 20701-1/2010). Το διάγραμμα αυτό υποδεικνύει την ευεργετική επίδραση της λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού κατά τις εργάσιμες ημέρες για τη ρύθμιση των επιπέδων θερμοκρασίας στο χώρο.

Σύμφωνα λοιπόν με τη μελέτη των καμπυλών θερμοκρασίας, κατά τη διάρκεια της ημέρας (08:00 - 20:00) η θερμοκρασία στο χώρο (1) κρίνεται ως ικανοποιητική καθώς δεν υπάρχουν μεγάλες χρονικές περιόδους κατά τις οποίες η θερμοκρασία του αέρα να είναι υψηλότερη από αυτήν που ορίζει η οδηγία θερμικής άνεσης της TOTEE. Σε αυτό συντελεί η ρύθμιση του συστήματος κλιματισμού στους 24 με 25°C, η οποία κατορθώνει να

αντισταθμίσει τα υψηλά εσωτερικά ψυκτικά φορτία από τον ηλεκτρονικό εργαστηριακό εξοπλισμό και την επίδραση από τις υψηλές επικρατούσες εξωτερικές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα κατά τις μεσημβρινές ώρες όπου ο χώρος είναι εκτεθειμένος σε ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία. Πρέπει να τονίσουμε ότι ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων ενός κτηρίου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διάρκεια του ηλιασμού και για την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτήριο και ο υπό μελέτη χώρος λόγω του βορειοδυτικού προσανατολισμού των ανοιγμάτων του δέχεται μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι. Σημειώνεται επίσης ότι η παροχή ηλιοπροστασίας από τις εσωτερικές περσίδες των παραθύρων που είναι μονίμως κατεβασμένες προσφέρει μεν μείωση της θάμβωσης από το έντονο ηλιακό φως, δεν απαλλάσσει όμως το χώρο από την υπερθέρμανση. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο για τη διατήρηση ευνοϊκών θερμοκρασιών έχει και ο νυχτερινός αερισμός που υφίσταται στο εργαστήριο. Ο φυσικός αερισμός κατά τις νυχτερινές ώρες συμβάλει στο δροσισμό του χώρου και των δομικών του στοιχείων, προκειμένου την επόμενη ημέρα να έχουν την δυνατότητα αποθήκευσης της θερμότητας για πολλές ώρες. Τέλος, η λειτουργία του συστήματος κλιματισμού σε συνδυασμό με το φυσικό τρόπο αερισμού, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο οποίος συντελείται μέσω δύο μονίμως ανοιχτών παραθύρων (με ανάκλιση) και της διαρκώς ανοιχτής πόρτας, συντελεί στο να μην παρατηρούνται απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας.



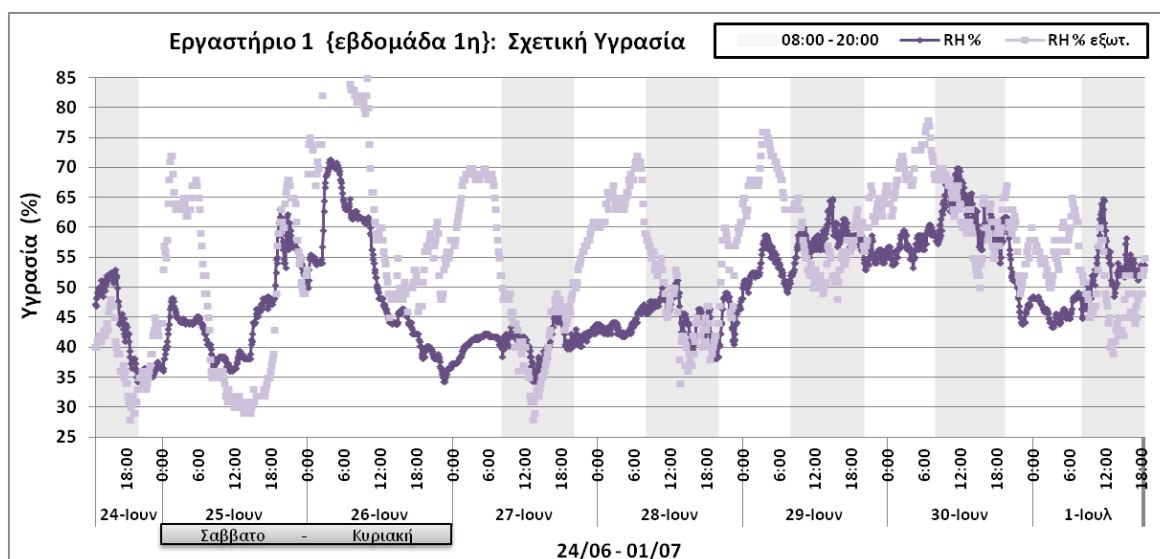
Σχήμα 7.5 Διάγραμμα μέσω τιμών θερμοκρασίας αέρα στο εργαστήριο (1) κατά τις ώρες 08:00 – 20:00 για τις εβδομάδες 25/06 – 01/07 και 02 - 08/07. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη συνιστώμενη τιμή οριοθετούν το εύρος θερμικής άνεσης σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2010.

Ωστόσο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το ερωτηματολόγιο υπήρξε διατύπωση παραπόνων έστω και μικρής συχνότητας σχετικά με χαμηλές επικρατούσες θερμοκρασίες

στο εργαστήριο (1), την οποία όμως θα πρέπει να αποδώσουμε στις ατομικές διαφορές σε σχέση με το αίσθημα της θερμικής άνεσης σε χώρους όπου στεγάζονται περισσότερα από ένα άτομα. Επιπλέον, στα ερωτηματολόγια που διατυπώθηκαν παράπονα σχετικά με την ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών στο χώρο, η ποιότητα αέρα αξιολογήθηκε ως μέτρια, όπως προκύπτει και στα μοντέλα των Fang et al. (2000).

7.1.2.2 Σχετική Υγρασία

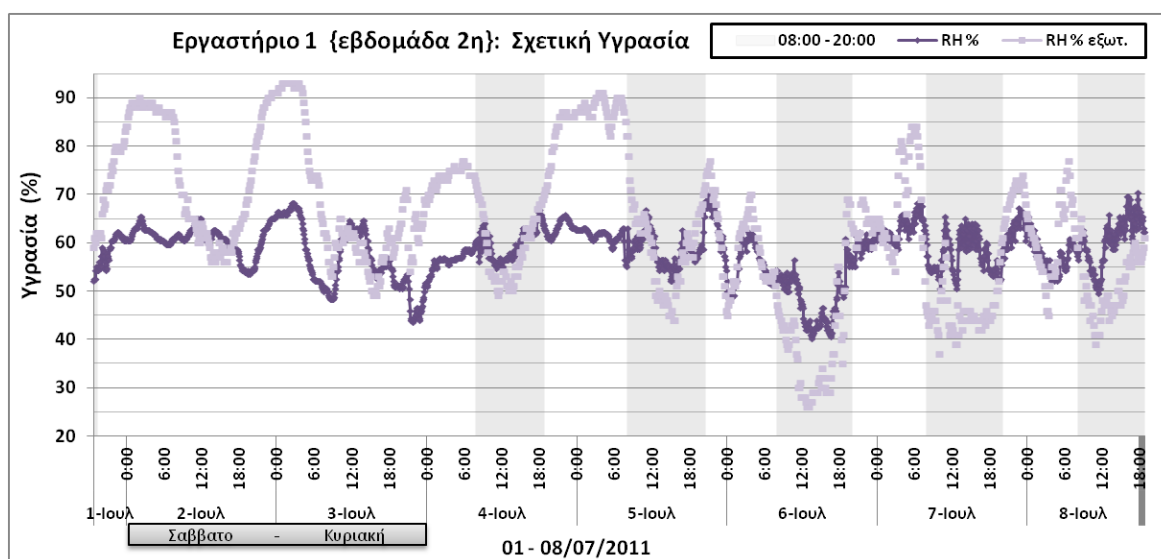
Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας πραγματοποιήθηκε με τον καταγραφέα Tinytag Ultra 2 data logger (TGU-4500) της εταιρείας Gemini και έλαβε χώρα, ομοίως με τη μέτρηση της θερμοκρασίας, κατά τη διάρκεια των εβδομάδων: 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου και 1 έως 8 Ιουλίου.



Σχήμα 7.6 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο (1) την 1^η εβδομάδα των μετρήσεων (24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου).

Η στιγμιαία σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας των μετρήσεων (24/06 – 01/07) και κατά τη χρονική διάρκεια χρήσης του χώρου (08:00 – 20:00) κυμάνθηκε μεταξύ 34,4% και 70%. Αντίστοιχα, η σχετική υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, για τις ίδιες ώρες, κυμάνθηκε μεταξύ 28 και 70%. Στο διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών (Σχήμα 7.6) παρατηρούμε ότι στις 27 και 28/07 τα επίπεδα υγρασίας κατά το μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου λειτουργίας του εργαστηριακού χώρου (1) βρίσκονται κάτω από το όριο της τεχνικής οδηγίας TOTEE 20701-1/2010 (45%), λόγω της επίδρασης των χαμηλών εξωτερικών επιπέδων, καθιστώντας τον αέρα ξηρό. Ωστόσο, όλες τις υπόλοιπες μέρες, συμπεριλαμβανομένου και του Σαββατοκύριακου, η παράμετρος

ήταν σχεδόν πάντα υψηλότερη από το σχετικό όριο, ακολουθώντας τις διακυμάνσεις της εξωτερικής υγρασίας.

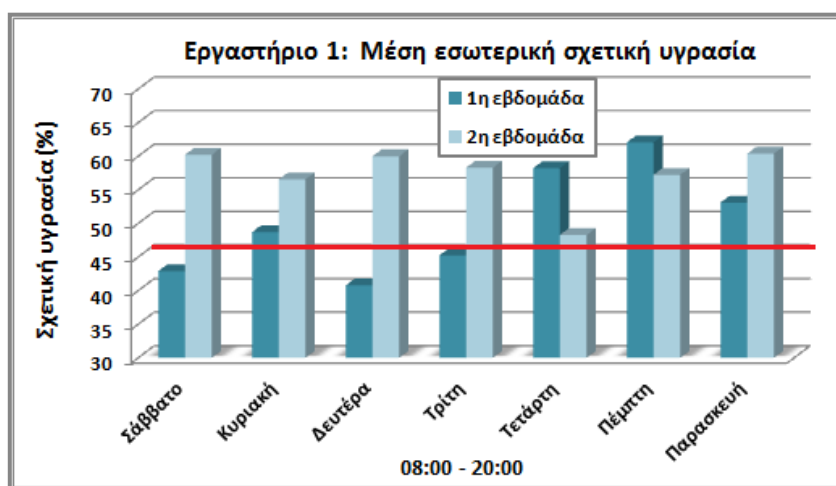


Σχήμα 7.7 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο (1) την 2^η εβδομάδα των μετρήσεων (1 έως 8 Ιουλίου).

Τα παραπάνω πορίσματα δεν διαφοροποιούνται σημαντικά όταν περάσουμε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων της δεύτερης εβδομάδας (01 – 08/07). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.7, η σχετική υγρασία του αέρα κατά τη χρονική διάρκεια χρήσης του χώρου (1) υπερβαίνει σχεδόν μονίμως το σχετικό όριο θερμικής άνεσης (45%), σημειώνοντας μέγιστη τιμή 70,4% στις 08/07 (17:45). Εξάιρεση αποτελεί η ημέρα της 6^{ης} Ιουλίου, κατά την οποία τα επίπεδα υγρασίας από τις 12:00 και μετά, ακολουθώντας τα πολύ χαμηλά κυμαινόμενα εξωτερικά, πέφτουν κάτω από την τιμή-όριο 45%, σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή (40,2%) στις 13:40 (βλ. Παράρτημα III: Σχήμα Π III-2). Γενικότερα, η μεταβολή της εξωτερικής υγρασίας για όλες τις ημέρες της 2^{ης} εβδομάδας καλύπτει το εύρος 40,2% έως 70,4% κατά τις τυπικές εργάσιμες ώρες εντός του χώρου, ενώ τις νυχτερινές ώρες η σχετική υγρασία φτάνει έως και 93%.

Γενικότερα διαπιστώνεται ότι λόγω του διαρκή αερισμού που συντελείται στο χώρο η σχετική υγρασία δέχεται την έντονη επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη διακύμανση της σε σχετικά υψηλά επίπεδα δεδομένου ότι ο φρέσκος αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος έχει υψηλότερη σχετική υγρασία. Οι χαμηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας παρατηρούνται κατά τις μεσημβρινές ώρες, κατά τις οποίες ο χώρος δέχεται έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Ωστόσο, η μείωση της σχετικής υγρασίας τις περισσότερες ημέρες δεν έφτασε τα επιθυμητά επίπεδα στον υπό μελέτη χώρο. Η

παρατήρηση αυτή έρχεται σύμφωνη με το αίσθημα δυσφορίας λόγω υγρασίας που δήλωσαν ορισμένοι χρήστες του χώρου κατά τη συμπλήρωση του σχετικού ερωτηματολογίου. Υπήρξαν βέβαια και ορισμένες ημέρες (25, 27 και 28/07) που τα επίπεδα κυμάνθηκαν σε πολύ χαμηλές τιμές λόγω της χαμηλής σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων και για τις δύο εβδομάδες φαίνονται στο ραβδόγραμμα (Σχήμα 7.8), στο οποίο παρουσιάζονται οι μέσες τιμές σχετικής υγρασίας κατά τις ώρες χρήσης του εργαστηρίου (1) σε σχέση με το όριο (45%) που προτείνεται από την τεχνική οδηγία του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010).



Σχήμα 7.8 Διάγραμμα μέσων τιμών σχετικής υγρασίας αέρα στο εργαστήριο (1) κατά τις ώρες 08:00 – 20:00 για τις εβδομάδες 25/06 – 01/07 και 02 – 08/07. Οι δύο οριζόντιες γραμμές οριοθετούν το εύρος θερμικής άνεσης σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 2425/86.

7.1.2.3 Φωτεινότητα

Η μέτρηση της φωτεινότητας του χώρου πραγματοποιήθηκε με το όργανο 764 Environmental Monitor της ELSEC στις 8 Ιουλίου. Συγκεκριμένα η μέτρηση κάλυψε τις ώρες 11:00, 14:00 και 17:00 και έλαβε χώρα σε διάφορα σημεία του εργαστηρίου (1) προκειμένου να υπολογιστεί μία μέση τιμή.

Πίνακας 7.1 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 1.

Στατιστικά δεδομένα	Στάθμη φωτισμού (Lux)		
	11:00	14:00	17:00
Min	390	420	450
Max	450	560	700
Mean	413	464	560

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Πίνακας 7.1), τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο κυμάνθηκαν μεταξύ 390 (11:00) και 700 lx (17:00). Οι υψηλότερες τιμές όπως ήταν αναμενόμενο καταγράφηκαν σε θέσεις κοντά στα παράθυρα λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο χώρος, η οποία όπως διαπιστώθηκε ήταν πιο έντονη τις απογευματινές ώρες (17:00). Από το σύνολο των μετρήσεων η μέση τιμή υπολογίστηκε ίση με 479 lx.

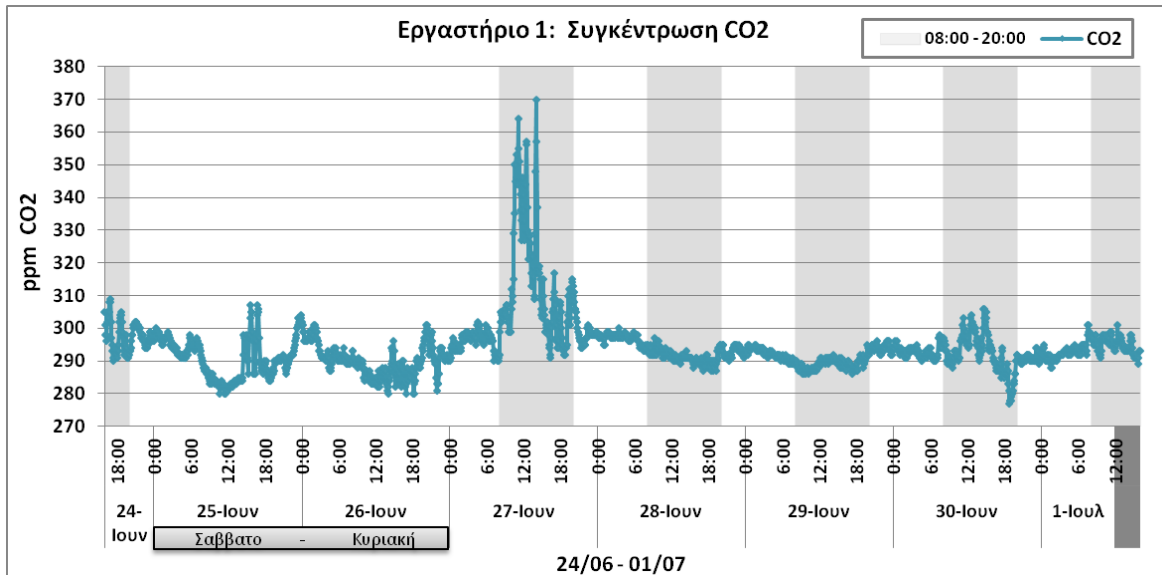
Σύμφωνα με πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464.1:2002 και την οδηγία TOTE 20701-1/2010, ως προτεινόμενη τιμή για τη μέση ελάχιστη στάθμη φωτισμού ορίζονται τα 500 lux. Η τιμή αυτή αφορά σε χώρους τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (αίθουσες διδασκαλίας) καθώς η ιδιαίτερη χρήση του χώρου ως εργαστήριο εκπαιδευτικού κτηρίου δεν περιλαμβάνεται στις κατηγορίες της οδηγίας. Η τιμή αυτή συνιστάται και για χώρους γραφείων. Με βάση λοιπόν την οριακή αυτή τιμή, διαπιστώνεται ότι τα μέσα επίπεδα φωτεινότητας που υπολογίστηκαν για τον υπό μελέτη χώρο προσεγγίζουν αρκετά το όριο αυτό. Ωστόσο, στα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου υπήρξε διατύπωση ορισμένων ενοχλήσεων λόγω υψηλής έντασης φωτισμού. Δεδομένης της χρήσης εσωτερικών περσίδων στα παράθυρα για την αποφυγή θάμβωσης, θα πρέπει να αποκλείσουμε το ενδεχόμενο πρόσπτωσης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο εργασίας. Συνεπώς, θα αποδώσουμε την αίσθηση δυσφορίας στον τεχνητό φωτισμό του χώρου (π.χ. πιθανόν προκαλεί ανακλάσεις στις οθόνες των Η/Υ), ο οποίος ήταν σε διαρκή λειτουργία, ανεξαρτήτως της έντασης φυσικού φωτισμού.

7.1.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI κατά τη διάρκεια της εβδομάδας από 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στους εσωτερικούς χώρους δεν αποτελεί μόνον δείκτη ισχύος της παρουσίας ενός ρύπου αλλά και δείκτη αποτελεσματικότητας του αερισμού.

Από τις συνεχείς μετρήσεις που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο (1) παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις CO₂ παρουσιάζουν κατά το μεγαλύτερο μέρος της εβδομάδας μικρές διακυμάνσεις μεταξύ 277 και 309 ppm (Σχήμα 7.9). Οι υψηλότερες τιμές εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια των μεσημβρινών ωρών τη Δευτέρα 27 Ιουνίου φτάνοντας τα 370 ppm. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή (5000 ppm) που ορίζει το Προεδρικό Διάταγμα Π.Δ. 90/1999. Επίσης, τα κυμαινόμενα επίπεδα

είναι χαμηλά και σε σχέση με το πρότυπο του ASHRAE (62.1-2007), σύμφωνα με το οποίο, θεωρώντας ως τιμή εξωτερικής συγκέντρωσης τα 350 ppm εξασφαλίζεται ότι η απόκλιση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης είναι κατά πολύ μικρότερη των 700 ppm.



Σχήμα 7.9 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO₂ στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (1) από τις 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα σε έναν εσωτερικό χώρο είναι ο αριθμός ατόμων (εκπνοή) που υπάρχουν στο χώρο και ο ρυθμός αερισμού του χώρου. Ως εκ τούτου, οι αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας οφείλονται στη μεταβολή του αριθμού ατόμων που βρίσκονται στο χώρο αυτό, δεδομένου ότι όλα τα άτομα δεν εργάζονται στο εργαστήριο τις ίδιες ώρες. Στον υπό μελέτη χώρο ο αριθμός των χρηστών είναι 8. Ωστόσο, τα άτομα αυτά σπανίως εργάζονται στο χώρο ταυτοχρόνως και ο αριθμός αυτός παρουσιάζει συνεχώς μεταβολές λόγω της ύπαρξης συνεργασίας με τα γειτονικά εργαστήρια. Επιπλέον, ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εισέρχονται στο χώρο και από το διάδρομο μέσω της ανοιχτής πόρτας.

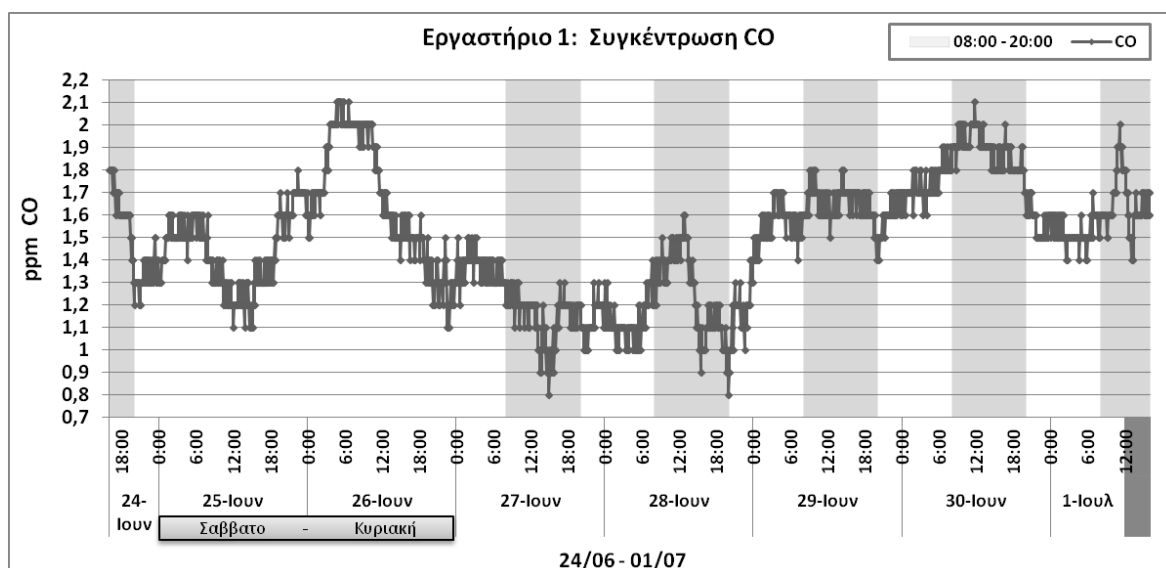
Γενικότερα όμως, με εξαίρεση τις υψηλότερες τιμές που παρουσιάστηκαν στις 27/06 μεταξύ 10:30 και 14:30, οι οποίες αποδίδονται στην αυξημένη παρουσία ατόμων, δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά στα κυμαινόμενα επίπεδα μεταξύ ημέρας και νύχτας. Από αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο διαρκής αερισμός που συντελείται στο χώρο καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου είναι επαρκής, καθώς συντελεί στην αποτελεσματική μείωση της συγκέντρωσης CO₂ στο χώρο. Το γεγονός ότι ο αερισμός ήταν ικανοποιητικός σε σχέση με τα άτομα που βρίσκονταν στο χώρο έγινε αντιληπτό και στα αποτελέσματα

του ερωτηματολογίου, καθώς δεν υπήρξε διατύπωση παραπόνων αναφορικά με ανεπάρκεια πρόσληψης φρέσκου αέρα.

Σημειώνεται ότι ο αερισμός είναι λιγότερο έντονος τις νυχτερινές ώρες, κατά τις οποίες το σύστημα κλιματισμού είναι απενεργοποιημένο και η πόρτα του χώρου κλειστή. Ωστόσο τα δύο από τα τέσσερα παράθυρα του χώρου (το ένα δεν επικοινωνεί με την εξωτερική ατμόσφαιρα) παραμένουν μονίμως ανοιχτά. Συνεπώς, είναι πιθανό κάποιες από τις αυξήσεις που παρατηρούνται κατά τα διαστήματα μη χρήσης του χώρου να οφείλονται σε εξωτερικές πηγές (π.χ. διέλευση οχημάτων).

7.1.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις του CO₂ διεξήχθησαν μετρήσεις και για το μονοξείδιο του άνθρακα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.10.



Σχήμα 7.10 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO στον υπό μελέτη χώρο (1) από τις 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου.

Η συγκέντρωση CO στο εργαστήριο (1) κυμάνθηκε μεταξύ 0,8 και 2,1 ppm. Τα επίπεδα αυτά είναι εξαιρετικά χαμηλά σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των διεθνών και εθνικών προδιαγραφών: 9 ppm για 8 ώρες σύμφωνα με τους Π.Ο.Υ, ASHRAE και TOTEE 2425/86. Επίσης, το όριο στην ΕΕ και στην Ελλάδα για το εργασιακό περιβάλλον συγκεκριμένα είναι 50 ppm (Π.Δ. 90/1999). Τα χαμηλά αυτά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα είναι αναμενόμενα λόγω της απουσίας καύσεων στο εργαστήριο και της περιορισμένης εξωτερικής ρύπανσης από καυσαέρια αυτοκινήτων στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Χανίων.

7.1.2.6 Ραδόνιο

Η μέτρηση της ισοδύναμης συγκέντρωσης ραδονίου έλαβε χώρα στα πλαίσια της πρώτης φάσης με χρήση του οργάνου DOSEman – Pro της εταιρείας SARAD. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε την 1^η Ιουλίου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση στον εργαστηριακό χώρο (1) βρέθηκε ίση με 3,95 Bq/m³ (ή 0,11 pCi/l¹), η οποία είναι κατά πολύ χαμηλότερη από το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 200 Bq/m³ που θέτει η Ε.Ε., καθώς και της οριακής τιμής των 148 Bq/m³ (ή 4 pCi/l) που θέτει η US EPA, όπως επίσης και της συνιστώμενης τιμής των 100 Bq/m³ που προτείνει ο Π.Ο.Υ. Το όργανο υπολογίζει και τη δόση ακτινοβολίας του ραδονίου, η οποία ανέρχεται στα 0,03 μSv. Αναφέρουμε ότι για το γενικό πληθυσμό το όριο έκθεσης σε ακτινοβολία είναι 1 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους.

7.1.2.7 Ακτινοβολία γ

Η μέτρηση της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h) πραγματοποιήθηκε με χρήση του ανιχνευτή και μετρητή ακτινοβολίας Dose Rate Measuring Unit FH 40 G στις 11 Ιουλίου.

Η μέση τιμή για τον εργαστηριακό χώρο (1), η οποία προέκυψε από την πραγματοποίηση τριών διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων με τον τρόπο που περιγράφηκε στο 5.1.2.6, ήταν ίση με 76,6 nSv/h. Αναλυτικά τα αποτελέσματα των επιμέρους μετρήσεων παρατίθενται στο Παράρτημα IV. Προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός επικινδυνότητας θα πρέπει να συγκρίνουμε την τιμή αυτή με το όριο έκθεσης σε ακτινοβολία για το γενικό πληθυσμό (1 mSv/έτος).

Τονίζεται ότι το όριο έκθεσης της ICRP (1990) αναφέρεται σε ενεργό δόση. Η ενεργός δόση είναι η ισοδύναμη δόση σταθμισμένη για τη βιολογική επίπτωση της ακτινοβολίας στους διάφορους ιστούς. Ο συντελεστής στάθμισης ιστού (W_T) για ολόσωμη δόση (ο άνθρωπος είναι συνεχώς εκτεθειμένος σε ακτινοβολία γ από το περιβάλλον και η ακτινοβολία αυτή προσπίπτει ομοιογενώς σε όλα τα όργανα του σώματος) είναι 1. Συνεπώς, η ενεργός δόση είναι ίση με την ισοδύναμη δόση.

¹ Για τη μετατροπή των [Bq/m³] σε [pCi/l] γνωρίζουμε ότι: 1 pCi/l = 37 Bq/m³ (1 Ci = 3,7 x 10¹⁰ Bq), Επομένως, τα 3,95 Bq/m³ = 3,95 Bq/m³ x (1 pCi / 37 Bq/m³) = 0,11 pCi/l

Θεωρώντας ότι η έκθεση είναι εικοσιτετράωρη και ανάγοντας την ισοδύναμη δόση στο έτος, προκύπτει ότι η τιμή των 76,6 nSv/h που μετρήθηκε για τον εξεταζόμενο χώρο (1) ισούται με 0,67 mSv/έτος (< 1 mSv/έτος) και επομένως, η δόση θεωρείται ασφαλής.

7.1.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια

7.1.2.8.1 Συγκέντρωση μάζας

Η μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀ πραγματοποιήθηκε, στα πλαίσια της Α Φάσης, στο χώρο (1) με το όργανο DustTrak DRX 8534 για το χρονικό διάστημα από 24 Ιουνίου έως 8 Ιουλίου, με ταυτόχρονη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης μέσω σωλήνα με το DustTrak II 8532. Λόγω της απαίτησης αλλαγής της κεφαλής δειγματοληψίας στο DustTrak II, η μέτρηση για τα εξωτερικά PM₁₀ έλαβε χώρα την πρώτη εβδομάδα (24/06 – 01/07), ενώ για τα PM_{2,5} τη δεύτερη εβδομάδα (01/07 – 08/07). Τα δύο όργανα κατέγραφαν ταυτόχρονα τις μετρήσεις ανά 5 λεπτά. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων, τα δύο όργανα βαθμονομήθηκαν με τη διαδικασία που προτείνεται από την εταιρεία παραγωγής τους, TSI.

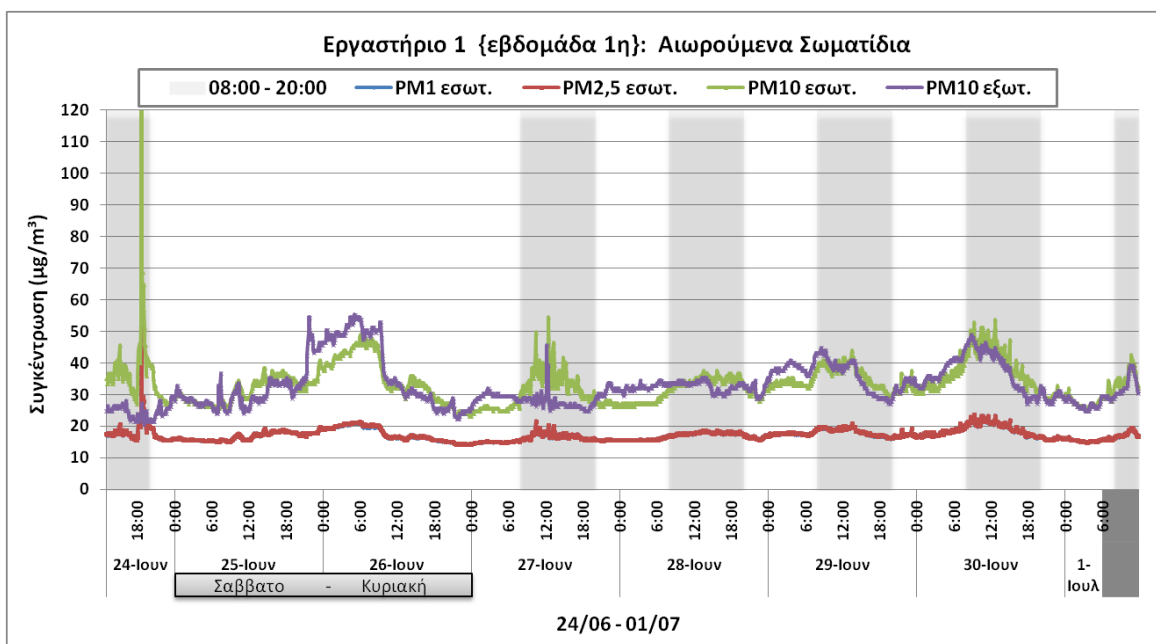
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων τα επίπεδα συγκέντρωσης στον εργαστηριακό χώρο (1) κυμάνθηκαν στο εύρος από 21 έως 230 μg/m³ (μέση τιμή: 32 μg/m³) για τα PM₁₀, από 13 έως 83 μg/m³ (μέση τιμή: 17 μg/m³) για τα PM_{2,5} και από 13 έως 82 μg/m³ (μέση τιμή: 17 μg/m³) για τα PM₁. Τα αντίστοιχα εύρη διακύμανσης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για το εξωτερικό περιβάλλον ήταν από 21 έως 55 μg/m³ (μέση τιμή: 33 μg/m³) για τα PM₁₀ και από 12 έως 28 μg/m³ (μέση τιμή: 18 μg/m³) για τα PM_{2,5}.

❖ Εβδομάδα: 24/06 – 01/07

Δεδομένου ότι δεν έχουν θεσμοθετηθεί οριακές τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια στους εσωτερικούς χώρους, θα γίνει μία αξιολόγηση των τιμών σε σχέση με τα ισχύοντα όρια ποιότητας για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια (PM₁₀ και PM_{2,5}). Συγκρίνοντας τα μέσα επίπεδα της εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας στον υπό μελέτη χώρο για την πρώτη εβδομάδα (33 και 17 μg/m³ για τα PM₁₀ και PM_{2,5} αντίστοιχα) με τις ημερήσιες οριακές τιμές (βλ. 3.2.5: Πίνακας 3.9) δεν παρατηρείται καμία υπέρβαση. Συγκρίνοντας όμως τις τιμές αυτές με τα ετήσια επιτρεπτά όρια, διαπιστώνεται ότι η μέση τιμή των 33 μg/m³ για τα PM₁₀ είναι υψηλότερη σε σχέση με το ετήσιο όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (20 μg/m³), ενώ η μέση τιμή των 17 μg/m³ για τα PM_{2,5}

υπερβαίνει το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency – EPA) των ΗΠΑ ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όσον αφορά στη συγκέντρωση των σωματιδίων PM_{10} του εξωτερικού περιβάλλοντος, η μέτρηση των οποίων έγινε τη συγκεκριμένη εβδομάδα (24/06 – 01/07), παρατηρείται ότι η μέση τιμή ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) είναι υψηλότερη του μέσου ετήσιου ορίου ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που προτείνεται από την Ε.Ε. και τον Π.Ο.Υ.

Στο διάγραμμα (Σχήμα 7.11) παρουσιάζεται η διακύμανση της εσωτερικής και της εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας για όλα τα κλάσματα μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου των μετρήσεων, από 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου. Παρότι οι μέγιστες τιμές υπερβαίνουν το εύρος συγκέντρωσης που καλύπτει το διάγραμμα (στο γράφημα θα έπρεπε κανονικά η συγκέντρωση να φτάνει έως την τιμή $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$), δεν απεικονίζονται για λόγους μεγαλύτερης ευκρίνειας.



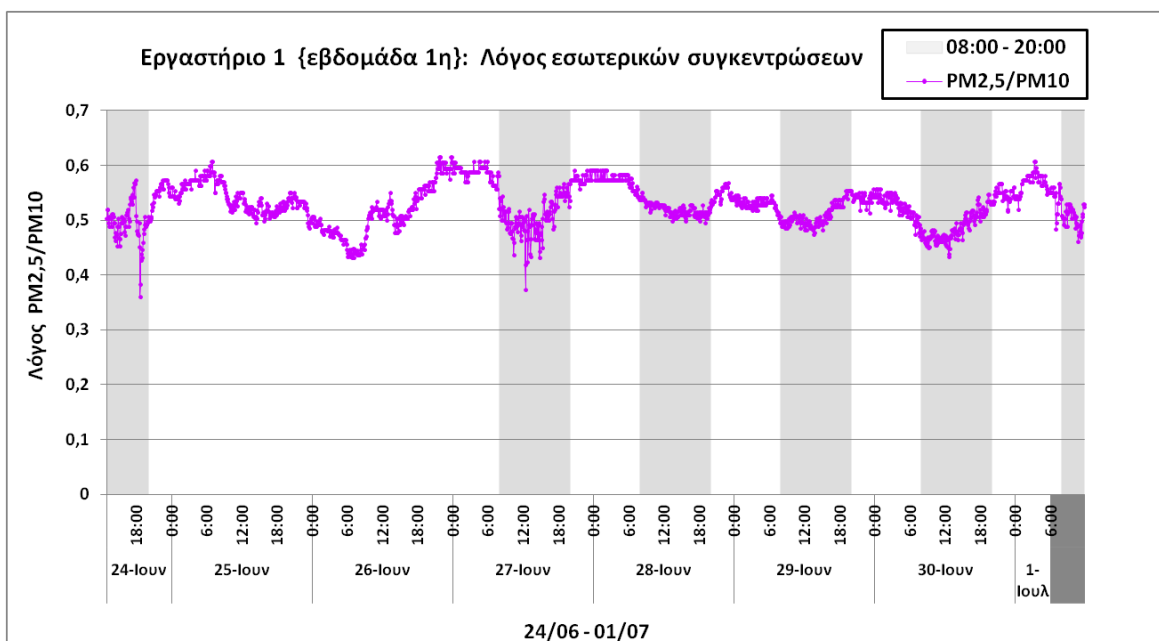
Σχήμα 7.11 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη χώρο (1) την 1^η εβδομάδα μετρήσεων (24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου).

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της παρουσίας ή της απουσίας ατόμων στη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων του χώρου, χωρίσαμε το διάστημα δειγματοληψίας σε 2 περιόδους: (i) τις συνήθεις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου κατά τις εργάσιμες ημέρες (08:00 – 20:00) και (ii) τις υπόλοιπες, κυρίως, νυχτερινές, ώρες (20:00 – 08:00) και ημέρες (Σάββατο – Κυριακή), κατά τις οποίες ο χώρος τυπικά παρέμεινε κλειστός. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται αντιληπτός μέσω της σκιαγραφημένης επιφάνειας του γραφήματος που καλύπτει τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία γινόταν

χρήση του εργαστηρίου (08:00 – 20:00). Τα διαστήματα αυτά η πόρτα του χώρου παρέμενε ανοιχτή και το σύστημα κλιματισμού, όπως αναφέρθηκε και στο ??, ήταν ενεργό.

Σε γενικές γραμμές από το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών παρατηρείται ότι η εσωτερική συγκέντρωση των σωματιδίων ακολουθεί τις διακυμάνσεις της εξωτερικής, με κάποια χρονική διαφορά, κάτι που δείχνει πως υπάρχει σημαντική εισροή σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον. Σε αυτό συμβάλει ο διαρκής φυσικός αερισμός που υφίσταται στο χώρο, καθώς ένα από τα παράθυρα του χώρου, το οποίο επικοινωνεί με την εξωτερική ατμόσφαιρα, παραμένει μονίμως ανοιχτό, όπως επίσης ανοιχτό παραμένει και το παράθυρο που επικοινωνεί με την είσοδο του κτηρίου (σημειώνεται ότι τα παράθυρα παραμένουν ανοιχτά με ανάκλιση). Σε περιόδους χωρίς δραστηριότητες, η εξωτερική συγκέντρωση ήταν στα μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα μεγαλύτερη από την εσωτερική. Παράδειγμα αποτελούν οι υψηλές τιμές εσωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} (έως $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που παρατηρούνται τις νυχτερινές ώρες μεταξύ Σαββάτου (25/06) και Κυριακής (26/06), οι οποίες ακολουθούν την αύξηση των εξωτερικών επιπέδων (έως $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Οι περιπτώσεις που η εσωτερική συγκέντρωση υπερέβη την εξωτερική ήταν εντός των ωρών λειτουργίας του εργαστηρίου, όπως τη Δευτέρα 27/06 στις 12:30 οπότε η μέγιστη τιμή των $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που σημειώθηκε για τα PM_{10} ήταν υψηλότερη της αντίστοιχης εξωτερικής ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Η μεγαλύτερη αύξηση της εσωτερικής συγκέντρωσης παρατηρήθηκε την Παρασκευή 24/06 στις 18:40 που η συγκέντρωση μάζας παρουσίασε τη μέγιστη τιμή της για όλα τα μετρούμενα μεγέθη σωματιδίων (PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10}), ενώ την ίδια στιγμή τα εξωτερικά σωματίδια (PM_{10}) κυμαίνονταν περίπου στα $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι αυξήσεις στις εσωτερικές συγκεντρώσεις οφείλονται σε εσωτερικές πηγές, όπως είναι οι περισσότερες κινήσεις λόγω αυξημένης παρουσίας ανθρώπων στο χώρο και η πραγματοποίηση εργαστηριακών δραστηριοτήτων.

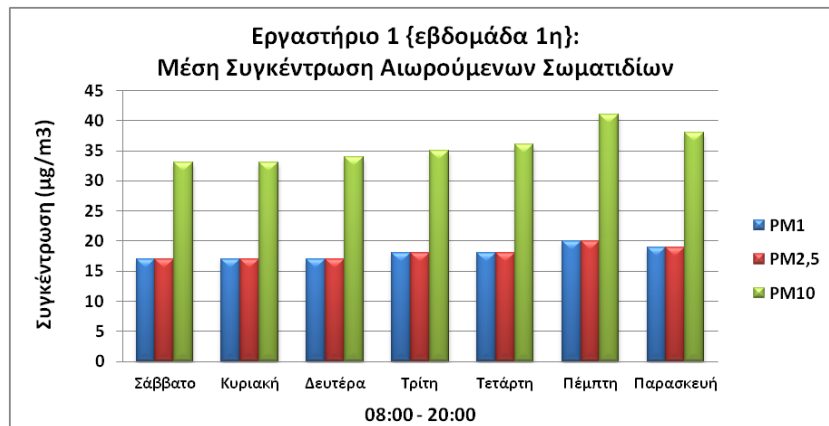
Επίσης, από το Σχήμα 7.11 παρατηρείται ότι η συγκέντρωση μάζας PM_1 σχεδόν ταυτίζεται με τη συγκέντρωση των σωματιδίων $PM_{2,5}$, γεγονός που φανερώνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της συγκέντρωσης μάζας των $PM_{2,5}$ στο χώρο (1) αποτελείται από σωματίδια PM_1 . Προκειμένου να μελετηθεί η σχέση μεταξύ των δύο κλασμάτων μεγέθους, υπολογίστηκε ο λόγος $PM_1/PM_{2,5}$ και διαπιστώθηκε ότι κυμαίνεται στο εύρος μεταξύ 0,96 και 1, υποδεικνύοντας ότι τα σωματίδια PM_1 αποτελούν σχεδόν το 100% της μάζας των λεπτών σωματιδίων.



Σχήμα 7.12 Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου $PM_{2.5} / PM_{10}$ για τον εργαστηριακό χώρο (1) από τις 24 Ιουνίου έως τις 1 Ιουλίου (1^η εβδομάδα μετρήσεων).

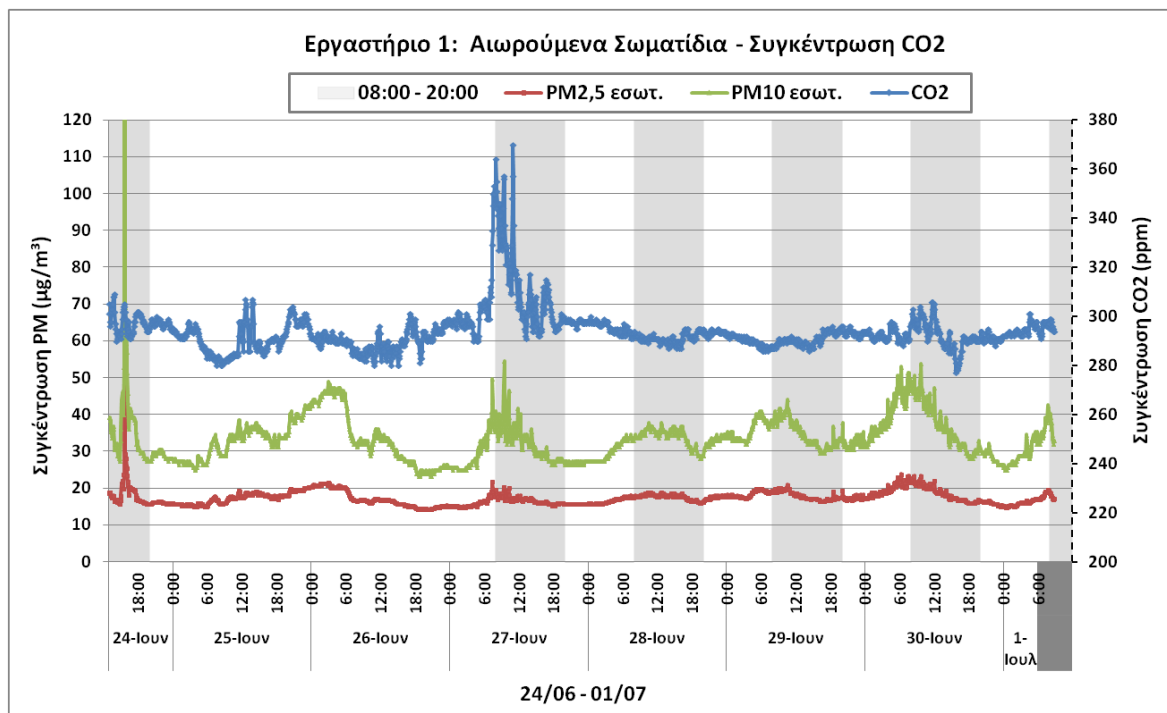
Για το ίδιο χρονικό διάστημα, ο λόγος των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}/PM_{10}$ για το εσωτερικό περιβάλλον κυμάνθηκε από 0,36 έως 0,61 (Σχήμα 7.12), ενώ η μέση τιμή του λόγου ήταν 0,53, δείχνοντας ότι τα λεπτά σωματίδια αντιπροσωπεύουν κατά μέσο όρο ένα ποσοστό 53% της μάζας των PM_{10} . Το γεγονός ότι οι χαμηλότερες τιμές του λόγου (μικρότερο ποσοστό λεπτών σωματιδίων) παρουσιάζονται κατά τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου ενισχύει την υπόθεση ότι ένα μεγάλο μέρος της συνολικής συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων προέρχεται από την κινητικότητα των χρηστών του εργαστηρίου (1), οι οποίοι φαίνεται ότι ανασηκώνουν σωματίδια από τις επιφάνειες του χώρου. Η επαναιώρηση των σωματιδίων κατά τη διάρκεια εσωτερικών δραστηριοτήτων έχει βρεθεί ότι είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τις εσωτερικές συγκεντρώσεις, κυρίως των χονδρών σωματιδίων (Thatcher and Layton, 1995).

Επιπλέον, τα δύο κλάσματα μεγέθους παρουσίασαν μία σχεδόν πλήρη συσχέτιση, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2), όπως προκύπτει από το διάγραμμα γραμμικής συσχέτισης (Παράρτημα III: Σχήμα Π III-3), παίρνει την τιμή 0,9757. Από αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα $PM_{2.5}$ και τα PM_{10} προέρχονται από κοινές πηγές εκπομπής στο χώρο (1). Η ισχυρότερη συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ των PM_1 και $PM_{2.5}$ ($R^2 = 0,997$), ενώ και μεταξύ PM_1 και PM_{10} ήταν πολύ ικανοποιητική ($R^2 = 0,8622$). Το γεγονός ότι όλοι οι συντελεστές συσχέτισης υπερέβησαν την τιμή 0,8, υποδηλώνει ότι οι συγκεντρώσεις για τα όλα τα κλάσματα επηρεάζονται από τις ίδιες πηγές.



Σχήμα 7.13 Διάγραμμα μέσων τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων ανά ημέρα και κατά τις ώρες χρήσης του εργαστηριακού χώρου 1 για το διάστημα 25/06 – 01/07.

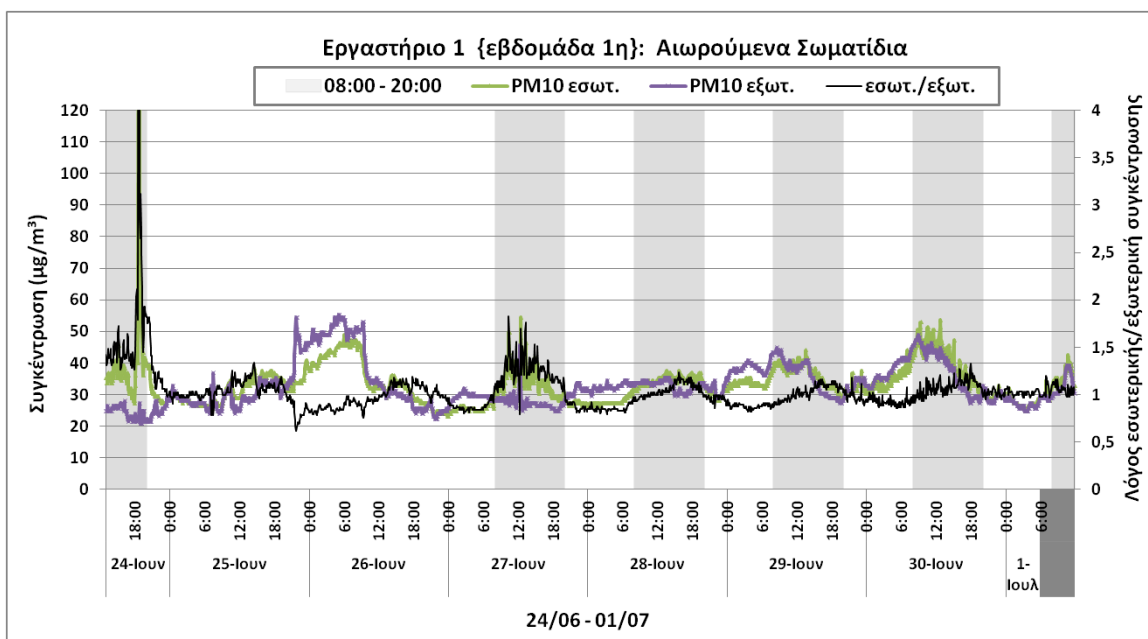
Στο ραβδόγραμμα (Σχήμα 7.13), παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση και για τα τρία κλάσματα μεγέθους (PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10}) κατά τις ώρες λειτουργίας (08:00 – 20:00) του υπό μελέτη χώρου για κάθε μία από τις ημέρες της εβδομάδας δειγματοληψίας. Τα μέσα επίπεδα της Παρασκευής προέκυψαν συνυπολογίζοντας τα δεδομένα της 24^{ης} Ιουνίου (13:00 – 20:00) και της 1^{ης} Ιουλίου (08:00 – 11:50). Οι χαμηλότερες τιμές, όπως είναι αναμενόμενο, παρατηρούνται το Σάββατο (25/06) και την Κυριακή (26/06), καθώς δεν υπήρξε καμία είσοδος στο χώρο. Η διαφορά τους με τις υπόλοιπες ημέρες δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω της επίδρασης που δέχεται ο χώρος, μέσω διαρκούς φυσικού αερισμού, από τις υψηλές εξωτερικές συγκεντρώσεις.



Σχήμα 7.14 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$, PM_{10} και της συγκέντρωσης CO_2 στον υπό μελέτη χώρο (1) από 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου.

Εύκολα διαπιστώνεται ότι οι υψηλές εσωτερικές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων συμπίπτουν χρονικά με τις υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ (Σχήμα 7.14). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση που κάναμε, ότι, δηλαδή, οι υψηλές συγκεντρώσεις PM οφείλονται στην παρουσία ατόμων στο χώρο και στη διεξαγωγή δραστηριοτήτων από αυτά. Μεταξύ όμως των συγκεντρώσεων των δύο αυτών παραμέτρων (PM και CO₂) δεν προκύπτει κάποια σημαντική σχέση ($R^2 = 0,0014$ για PM_{2,5} και PM₁₀ αντίστοιχα), υποδηλώνοντας ότι δε μπορούν να βγουν συμπεράσματα για τη διακύμανση της μίας με βάση τη μέτρηση της άλλης.

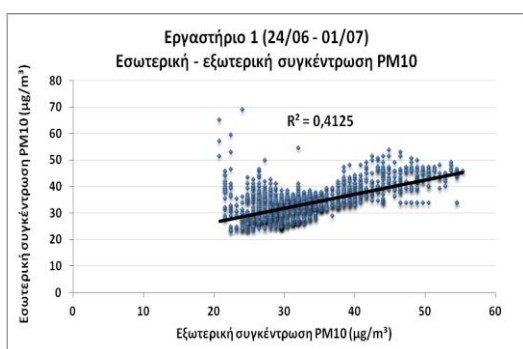
Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά και των εσωτερικών πηγών στη συγκέντρωση στον εσωτερικό χώρο έγινε υπολογισμός του λόγου της εσωτερικής συγκέντρωσης προς την εξωτερική συγκέντρωση (I/O) για τα PM₁₀, η διακύμανση του οποίου αποτυπώνεται στο Σχήμα 7.15. Ο λόγος I/O χρησιμοποιείται ως δείκτης ένδειξης της ύπαρξης εσωτερικών πηγών εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων. Συγκεκριμένα όταν ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος της μονάδας, υποδηλώνεται η παρουσία εσωτερικών πηγών, ενώ όταν είναι μικρότερος της μονάδας αυτό σημαίνει ότι υφίσταται διείσδυση σωματιδίων από τον εξωτερικό αέρα. Η πραγματοποίηση ταυτόχρονων μετρήσεων της συγκέντρωσης PM για το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον κρίνεται απαραίτητη για τον ακριβή υπολογισμό του λόγου I/O.



Σχήμα 7.15 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (1) και του λόγου I/O από 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου.

Οι αιχμές του λόγου I/O που παρατηρούνται στο γράφημα είναι ενδεικτικές της συνδυασμένης επίδρασης των αυξημένων εσωτερικών δραστηριοτήτων και της μειωμένης εξωτερικής κυκλοφορίας οχημάτων κατά τις εργάσιμες ώρες, ενώ τα ελάχιστα αντιπροσωπεύουν την σχετικά αυξημένη κυκλοφορία κατά τις μεσημεριανές - απογευματινές ώρες, όπου αρκετά άτομα αποχωρούν από το κτήριο, και την απουσία δραστηριοτήτων κατά τις ώρες αυτές.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το εύρος διακύμανσης του λόγου I/O για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ είναι από 0,62 έως 10,23, με μέση τιμή: 1,04 (Σχήμα 7.15). Ο λόγος I/O παίρνει την τιμή 10,23 τη στιγμή που σημειώνεται η μέγιστη εσωτερική συγκέντρωση για τα PM₁₀ (230 μg/m³) υποδηλώνοντας την ύπαρξη ισχυρής εσωτερικής πηγής. Προκειμένου να εξετάσουμε την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο χώρο (1) θα συγκρίνουμε το λόγο I/O μεταξύ των συνήθων ωρών λειτουργίας του εργαστηρίου και των ωρών που ο χώρος παραμένει κλειστός. Τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου η μέση τιμή του λόγου είναι 1,20, ενώ η μέση τιμή κατά τις ώρες απουσίας ατόμων στο χώρο είναι 0,97. Η σχετικά μικρή αυτή διαφορά οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας το ένα από τα παράθυρα του χώρου παρέμενε ανοιχτό, με αποτέλεσμα να προκαλείται επαναιώρηση των χονδρών σωματιδίων λόγω ρευμάτων αέρα.



Σχήμα 7.16 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στον εργαστηριακό χώρο 1.

Όπως και σε προηγούμενες μελέτες που έχουν ασχοληθεί με τη σχέση μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων PM (π.χ. Ho et al., 2004; Clayton et al, 1993; Colome et al, 1992), η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) μεταξύ των δεδομένων εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος έχει χρησιμοποιηθεί ως ένας δείκτης του βαθμού στον οποίο η μετρούμενη εσωτερική συγκέντρωση PM μπορεί να αποδοθεί στη διείσδυση από το εξωτερικό περιβάλλον.

Όπως προκύπτει από την ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης (Σχήμα 7.16), μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής συγκέντρωσης PM₁₀ βρέθηκε μία μέτρια συσχέτιση ($R^2 = 0,4125$), δείχνοντας ότι ανεξάρτητα από την επίδραση των εσωτερικών πηγών τα επίπεδα

συγκέντρωσης στο χώρο (1) επηρεάζονται και από τις εξωτερικές πηγές. Σημειώνεται ότι στο διάγραμμα διασποράς δεν ελήφθησαν υπόψη τα δύο σημεία που αντιστοιχούν στις μέγιστες εσωτερικές τιμές συγκέντρωσης μάζας (230 και 122 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Η συσχέτιση αυτή γίνεται πιο ασθενής ($R^2 = 0,2794$) κατά το χρονικό διάστημα χρήσης του εργαστηρίου, λόγω της σημαντικότερης επίδρασης των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός αυτού, και πιο ισχυρή ($R^2 = 0,6948$) απουσία ατόμων στο χώρο, λόγω της καθοριστικής συμβολής του διαρκή φυσικού αερισμού υπό τη μορφή εισόδου σωματιδίων PM_{10} από το εξωτερικό περιβάλλον (Παράρτημα ΙΙΙ: Σχήμα Π ΙΙΙ-4).

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους κατά τις ώρες χρήσης (08:00 – 20:00) και μη (20:00 – 08:00) του χώρου. Συγκρίνοντας τα στατιστικά δεδομένα μεταξύ των ωρών παρουσίας και απουσίας χρηστών στο χώρο, διαπιστώνεται ότι η μεγαλύτερη διαφορά συγκέντρωσης παρατηρείται στα σωματίδια PM_{10} , η οποία οφείλεται κυρίως στις κινήσεις των χρηστών και των διαφόρων επισκεπτών στο χώρο, όπως επίσης και των διερχομένων από το διάδρομο, καθώς η πόρτα του χώρου (1) παρέμενε μονίμως ανοιχτή τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου. Η αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα συντελεί στη σημαντική επαναφορά στο εσωτερικό σωματιδίων που έχουν επικαθίσει στις εσωτερικές επιφάνειες του κτηρίου. Η παρουσία χονδρών σωματιδίων κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία οφείλεται σε επαναιώρηση λόγω ρευμάτων αέρα ή σε εισροή σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον, έχει ως αποτέλεσμα να είναι ελαφρά αυξημένες οι τιμές του λόγου I/O (PM_{10}) και κατά τη διάρκεια της νύχτας (απουσία ατόμων).

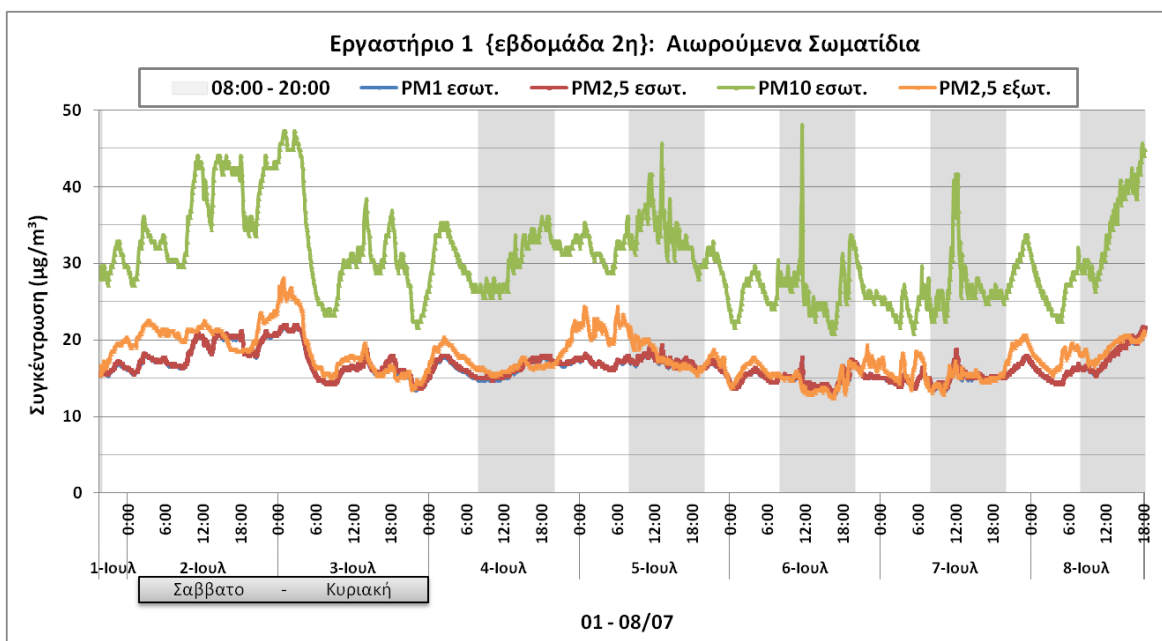
Πίνακας 7.2 Τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} , καθώς και των λόγων I/O ($\text{PM}_{2,5}$) και I/O (PM_{10}), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (1) την 1^η εβδομάδα.

Μέγεθος σωματιδίων	Στατιστικά δεδομένα	Παρουσία ατόμων		Απουσία ατόμων	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/O	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/O
PM_1	Min	16	-	14	-
	Max	82	-	21	-
	Mean	18	-	17	-
$\text{PM}_{2,5}$	Min	16	-	14	-
	Max	83	-	21	-
	Mean	18	-	17	-
PM_{10}	Min	27	0,79	23	0,62
	Max	230	10,23	49	1,82
	Mean	37	1,20	31	0,97

Για τις μέσες συγκεντρώσεις $PM_{2,5}$ παρατηρείται πολύ μικρή διαφορά ανάμεσα στις ώρες παρουσίας και απουσίας ατόμων στο χώρο. Το κατά πόσο αυτό οφείλεται στην επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον ή σε δραστηριότητες των ατόμων κατά τις απογευματινές ώρες, οι οποίες συνεισφέρουν στη διατήρηση αυξημένων τιμών κατά τις νυχτερινές ώρες, θα εξετασθεί στην ανάλυση των αποτελεσμάτων της δεύτερης εβδομάδας, κατά τη διάρκεια της οποίας μετρήθηκαν αυτή τη φορά τα εξωτερικά επίπεδα $PM_{2,5}$.

❖ Εβδομάδα: 01/07 – 08/07

Ομοίως, τη δεύτερη εβδομάδα τα αποτελέσματα δε διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς τη σύγκριση με τα θεσμοθετημένα όρια για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια, καθώς οι μέσες τιμές συγκέντρωσης στο χώρο (1) κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα (31 και $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} και $PM_{2,5}$ αντίστοιχα) με την πρώτη εβδομάδα. Αναφορικά με τη μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στο εξωτερικό περιβάλλον ($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$), η μέτρηση των οποίων έλαβε χώρα τη συγκεκριμένη εβδομάδα, παρατηρείται ότι είναι υψηλότερη σε σχέση με τη μέση τιμή που προτείνεται από την οδηγία του Π.Ο.Υ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), καθώς και με το ετήσιο όριο της Αμερικάνικης Επιτροπής Περιβάλλοντος ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



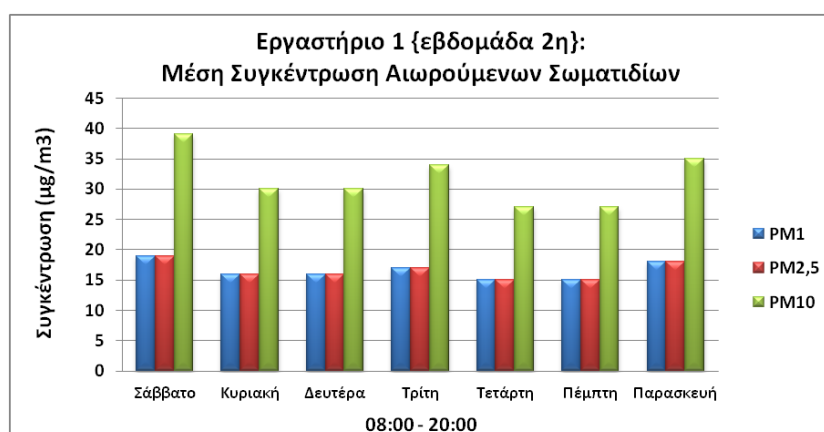
Σχήμα 7.17 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη χώρο (1) την 2^η εβδομάδα μετρήσεων (1 έως 8 Ιουλίου).

Στις μετρήσεις της 2^{ης} περιόδου (01 – 08/07) από το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών (Σχήμα 7.17) γίνεται αντιληπτό ότι κατά τις ώρες χρήσης του εργαστηρίου (1) η

εσωτερική συγκέντρωση $PM_{2,5}$ είχε τιμές πολύ κοντά στην εξωτερική και στα μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα η εξωτερική συγκέντρωση ήταν μεγαλύτερη από την εσωτερική.

Αναφορικά με τη σχέση μεταξύ των διαφόρων μεγεθών σωματιδίων προκύπτουν όμοια συμπεράσματα με την 1^η εβδομάδα. Ο μέσος λόγος $PM_{2,5}/PM_{10}$ (Σχήμα Π III-5) για το εσωτερικό περιβάλλον ανέρχεται σε 0,55 (εύρος διακύμανσης: 0,37 – 0,66), ενώ η μέση αναλογία $PM_1/ PM_{2,5}$ αντιστοιχεί σε 0,99. Υπολογίζεται επίσης ότι, κατά μέσο όρο, το 54% της συγκέντρωσης μάζας των PM_{10} οφείλεται σε σωματίδια με μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο 1 μm .

Ομοίως, όλοι οι συντελεστές συσχέτισης (R^2) ήταν μεγαλύτεροι του 0,8 (0,9646 μεταξύ $PM_{2,5}$ και PM_{10} , 0,9951 μεταξύ PM_1 και $PM_{2,5}$ και 0,8622 μεταξύ PM_1 και PM_{10}) υποδηλώνοντας την κοινή προέλευση των σωματιδίων (Σχήμα Π III-6).

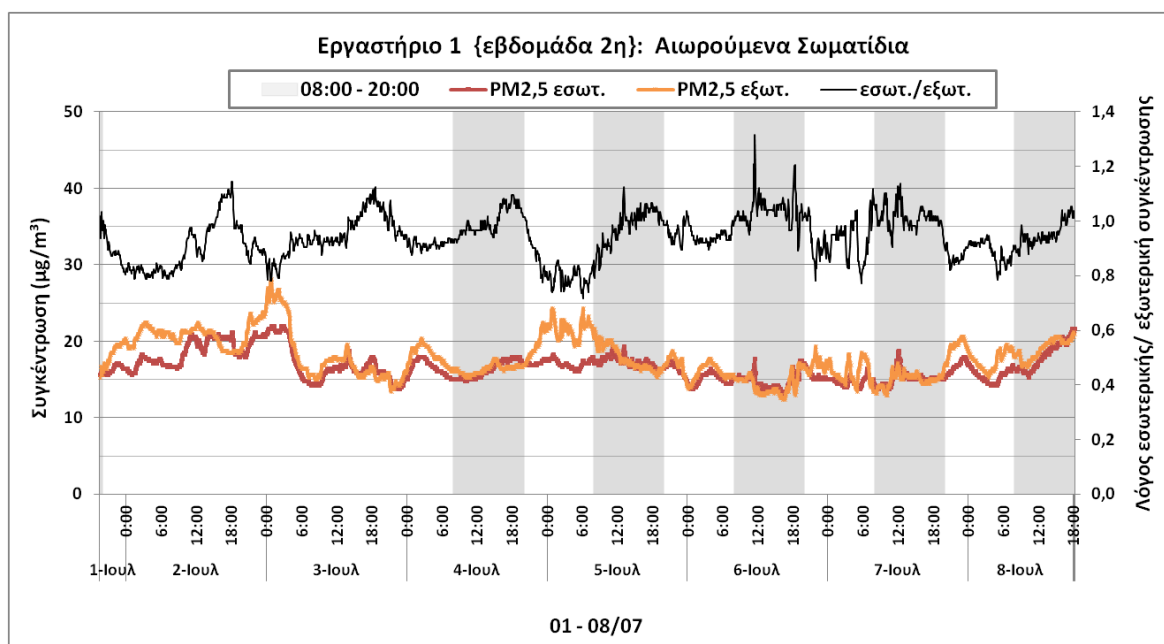


Σχήμα 7.18 Διάγραμμα μέσων τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων ανά ημέρα και κατά τις ώρες χρήσης του εργαστηριακού χώρου 1 για το διάστημα 01 – 08/07.

Εξετάζοντας τα μέσα εσωτερικά επίπεδα τις ώρες χρήσης του χώρου (ο υπολογισμός των μέσω τιμών της Παρασκευής για τη 2^η εβδομάδα έγινε κατά τον ίδιο τρόπο με την 1^η εβδομάδα) διαπιστώνεται ένα διαφορετικό εβδομαδιαίο προφίλ (Σχήμα 7.18) συγκριτικά με αυτό της πρώτης εβδομάδας. Ενδιαφέρον προκαλούν οι υψηλότερες τιμές που παρατηρούνται το Σάββατο (02/07) παρά το γεγονός ότι σύμφωνα με το ημερολόγιο που κρατήθηκε δεν υπήρξε καμία επίσκεψη στο χώρο. Από τη χρονοσειρά όμως των στιγμιαίων συγκεντρώσεων (Σχήμα 7.17) διαπιστώνεται ότι οι υψηλές αυτές εσωτερικές τιμές των σωματιδίων $PM_{2,5}$ οφείλονται στις εξωτερικές συγκεντρώσεις. Παρότι για την εβδομάδα αυτή δεν πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} , θα πρέπει να αποδώσουμε και τα υψηλά εσωτερικά επίπεδα PM_{10} στην εισροή σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω του μονίμως ανοιχτού

παραθύρου του υπό μελέτη χώρου (1). Ανάλογα συμπεράσματα εξάγουμε και από τις υψηλές μέσες τιμές που παρατηρούνται την Κυριακή (03/07) συγκριτικά με άλλες ημέρες της εβδομάδας.

Στο διάγραμμα (Σχήμα 7.19) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχετικά με τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων με μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο 2,5 μm στον εξεταζόμενο χώρο (1) και στο εξωτερικό περιβάλλον.

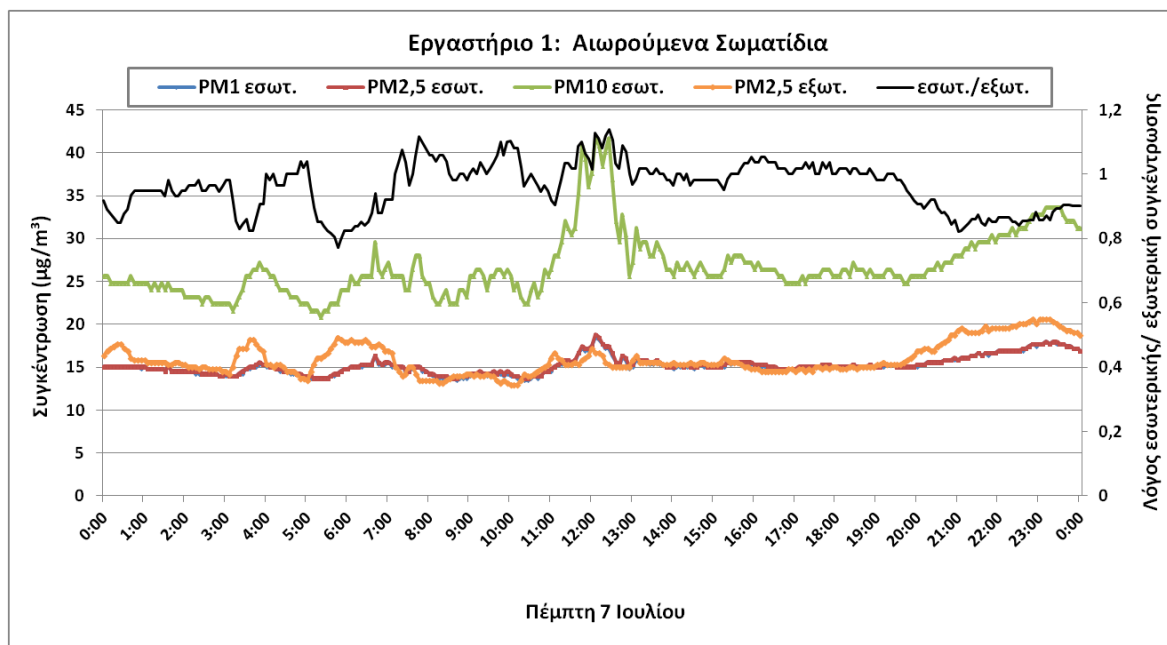


Σχήμα 7.19 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (1) και του λόγου I/O από 1 έως 8 Ιουλίου.

Όπως προαναφέρθηκε οι δύο συγκεντρώσεις παρουσιάζουν σχετικά μικρή διαφορά, με αποτέλεσμα ο λόγος I/O (PM_{2,5}) να εμφανίζει τιμές κοντά στη μονάδα, κυμαινόμενος στο εύρος από 0,72 έως 1,31 (μέση τιμή: 0,94). Η παρουσία ατόμων στον εργαστηριακό χώρο (08:00 – 20:00) έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του λόγου. Η αύξηση οφείλεται στις εκπομπές λόγω των διαφόρων πειραματικών εργασιών, οι οποίες αυξάνουν την εσωτερική συγκέντρωση με αποτέλεσμα ο λόγος να κυμαίνεται από 0,79 έως 1,31 (μέση τιμή: 1). Απουσία των χρηστών του χώρου ο λόγος δεν εμφανίζει μεγάλη διαφοροποίηση (μέση τιμή: 0,92) καθώς ο χώρος αερίζεται και κατά τη διάρκεια της νύχτας, ευνοώντας έτσι την εμφάνιση υψηλότερων συγκεντρώσεων στον εσωτερικό χώρο.

Συγκριτικά με τα αποτελέσματα της πρώτης εβδομάδας, διαπιστώνεται ότι το πηλίκο της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση για τα PM_{2,5} κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από το λόγο για τα PM₁₀. Το γεγονός ότι το πηλίκο I/O είναι μεγαλύτερο για τα

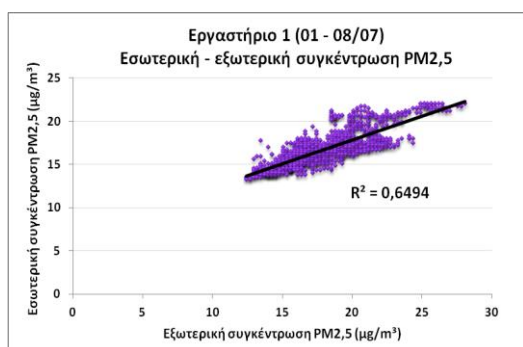
PM₁₀ οφείλεται στο γεγονός ότι η εναπόθεση σωματιδίων είναι σημαντικότερη για τα σωματίδια μεγάλης διαμέτρου λόγω του βάρους τους και συνεπώς είναι μεγαλύτερη η επαναφορά των επικαθημένων σωματιδίων στον αέρα λόγω της κίνησης των ατόμων στο χώρο .



Σχήμα 7.20 Διάγραμμα της ημερήσιας διακύμανσης συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη χώρο (1) και του λόγου I/O (PM_{2,5}) για τις 7 Ιουλίου

Στο Σχήμα 7.20 παρουσιάζεται μία τυπική διακύμανση εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης, καθώς και του λόγου I/O (PM_{2,5}), στη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου (07/07). Η είσοδος του πρώτου ατόμου στο χώρο και το άνοιγμα της πόρτας σε συνδυασμό με την ενεργοποίηση του κλιματισμού στις 07:30 το πρωί οδηγεί σε εξίσωση της εσωτερικής με την εξωτερική συγκέντρωση PM_{2,5}. Όσο περνάει η ώρα εισέρχονται στο χώρο ολοένα και περισσότερα άτομα, είτε χρήστες του χώρου για τη διεξαγωγή εργαστηριακών δραστηριοτήτων είτε προσωρινοί επισκέπτες. Η αύξηση του λόγου που καταγράφεται στις 12:30 οφείλεται σε αύξηση της εσωτερικής συγκέντρωσης PM_{2,5} που συνοδεύεται από ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης PM₁₀. Τη στιγμή αυτή τελούνται στο χώρο δραστηριότητες από τέσσερα άτομα, γεγονός που δικαιολογεί την αύξηση των τιμών. Μετά το μεσημέρι, λόγω της μικρότερης προσέλευσης στο χώρο παρατηρείται μία ελαφρά μείωση του λόγου I/O, ως αποτέλεσμα της μειωμένης επίδρασης των εσωτερικών πηγών. Με την αποχώρηση και του τελευταίου χρήστη από το χώρο και το κλείσιμο της πόρτας λίγο πριν τις 20:00, καθώς και την απενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού,

οι δύο συγκεντρώσεις διαχωρίζονται και ο λόγος κυμαίνεται σε τιμές μικρότερες της μονάδας, λόγω της επίδρασης που δέχεται από την εξωτερική συγκέντρωση.



Σχήμα 7.21 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στον εργαστηριακό χώρο 1.

Προκειμένου να εξεταστεί κατά πόσο τα επίπεδα των εσωτερικών συγκεντρώσεων $PM_{2,5}$ οφείλονται στη διείσδυση των εξωτερικών σωματιδίων, έγινε διερεύνηση της σχέσης μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών σωματιδίων με ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης. Όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα διασποράς, μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής συγκέντρωσης

$PM_{2,5}$ (Σχήμα 7.21) προκύπτει μία καλή συσχέτιση ($R^2 = 0,6494$), η οποία είναι ακόμα πιο ισχυρή ($R^2 = 0,7637$) τα διαστήματα χρήσης του χώρου και λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού (Σχήμα Π III-7). Η σημαντική συσχέτιση που βρέθηκε μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ υποδηλώνει ότι τα λεπτά σωματίδια προέρχονται σε μεγαλύτερο βαθμό από το εξωτερικό περιβάλλον και δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις εσωτερικές πηγές. Οι Chao και Wong (2002) στη μελέτη τους βρήκαν ότι για τα λεπτά σωματίδια καλή συσχέτιση προκύπτει σε εσωτερικούς χώρους όπου υφίσταται συχνή εναλλαγή αέρα μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Ο εξεταζόμενος χώρος φαίνεται ότι είχε καλή διείσδυση και συχνή εναλλαγή αέρα (διαρκής φυσικός αερισμός και μηχανικός εξαερισμός τα διαστήματα λειτουργίας του κλιματισμού). Επίσης, τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με άλλες μελέτες (Morawska et al., 2001; Wallace, 2000; Chao et al., 1998; Janssen et al., 1997) που έδειξαν ότι σε συνθήκες φυσικού αερισμού οι συγκεντρώσεις των εξωτερικών σωματιδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των εσωτερικών επιπέδων κυρίως για τα σωματίδια μικρότερου μεγέθους και όχι τόσο για τα PM_{10} .

Συγκρίνοντας τα στατιστικά δεδομένα μεταξύ των ωρών παρουσίας και απουσίας ατόμων στο χώρο για τη 2^η εβδομάδα (Πίνακας 7.3), διαπιστώνεται ότι κατά μέσο όρο οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα, επιβεβαιώνοντας ότι, ανεξάρτητα από τις ισχυρές επιδράσεις των εσωτερικών πηγών, οι εσωτερικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων επηρεάζονται κυρίως από τα εξωτερικά επίπεδα (Σχήμα 7.21). Επιπλέον, οι νυχτερινές συγκεντρώσεις (απουσία ατόμων)

επηρεάζονται σε ένα μικρότερο βαθμό και από τις δραστηριότητες ατόμων κατά τις απογευματινές ώρες. Ο λόγος είναι ότι η αποχώρηση των ατόμων από το χώρο (κλείσιμο πόρτας και συστήματος κλιματισμού) έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού εναλλαγής αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον και συνεπώς τη μείωση της απομάκρυνσης των παραγόμενων κατά τις απογευματινές δραστηριότητες σωματιδίων.

Πίνακας 7.3 Τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀, καθώς και των λόγων I/O (PM_{2,5}) και I/O (PM₁₀), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (1) τη 2^η εβδομάδα.

Μέγεθος σωματιδίων	Στατιστικά δεδομένα	Παρουσία ατόμων		Απουσία ατόμων	
		μg/m ³	I/O	μg/m ³	I/O
PM ₁	Min	13	-	13	-
	Max	22	-	22	-
	Mean	16	-	17	-
PM _{2,5}	Min	13	0,79	14	0,72
	Max	22	1,31	22	1,14
	Mean	16	1,00	17	0,91
PM ₁₀	Min	21	-	21	-
	Max	48	-	47	-
	Mean	31	-	31	-

Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων (εσωτερική / εξωτερική θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ταχύτητα εξωτερικού αέρα) στην εσωτερική συγκέντρωση PM και το λόγο I/O. Οι διαφορές στη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων μεταξύ του διαρκώς μεταβαλλόμενου εξωτερικού και του ελεγχόμενου εσωτερικού περιβάλλοντος μπορεί να μεταβάλλει το ρυθμό διείσδυσης του εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον (Chan, 2002). Τα δεδομένα για τις παραμέτρους του εξωτερικού περιβάλλοντος παρέιχε ο μετεωρολογικός σταθμός του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Εξετάζοντας τις σχέσεις μεταξύ των δεδομένων για ολόκληρο το διάστημα των δύο εβδομάδων με ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης βρέθηκε μία μέτρια συσχέτιση ($R^2 = 0,4817$) μεταξύ του λόγου I/O για τα PM_{2,5} και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Η επίδραση που έχει η θερμοκρασία στη διαμόρφωση του λόγου I/O οφείλεται στην ώθηση από τη θερμική διάχυση. Λόγω της υψηλότερης εξωτερικής θερμοκρασίας, οι αέριοι ρύποι ωθούνται στους εσωτερικούς χώρους, διεισδύοντας μέσα από πόρτες, παράθυρα και σχισμές, με αποτέλεσμα να αυξάνει η τιμή του λόγου I/O, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όταν επικρατεί χαμηλότερη εξωτερική θερμοκρασία. Επίσης, καλή συσχέτιση προέκυψε

και μεταξύ του λόγου I/O για τα $PM_{2,5}$ και της εξωτερικής σχετικής υγρασίας ($R^2 = 0,5088$), όπως επίσης και της εξωτερικής συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ με την εξωτερική σχετική υγρασία ($R^2 = 0,5401$). Η υψηλή υγρασία μειώνει τα εξωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων, καθώς ευνοεί την εναπόθεση τους στο εξωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα να αυξάνει επίσης την αναλογία I/O. Η αύξηση του λόγου I/O είναι ακόμα μεγαλύτερη τις ημέρες που δεν υπάρχουν εσωτερικές πηγές σωματιδίων. Η μείωση της συγκέντρωσης λόγω της επίδρασης της υγρασίας πραγματοποιήθηκε σε μικρότερο βαθμό και για τα PM_{10} ($R^2 = 0,4$). Τα σχετικά διαγράμματα διασποράς (Σχήματα Π III-8 έως 15) παρατίθενται στο Παράρτημα III.

7.1.2.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

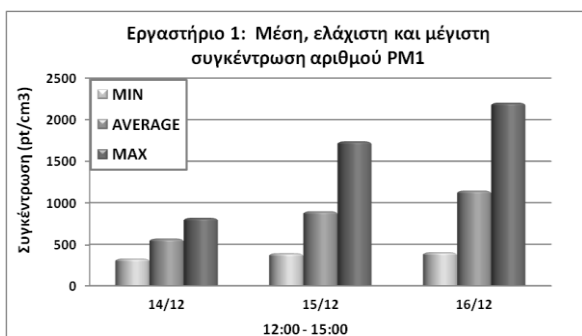
Κατά τη Β Φάση, η οποία είναι ανεξάρτητη από την Α και εντάσσεται χρονικά στη χειμερινή περίοδο, μετρήθηκε μία προσεγγιστική τιμή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων PM_1 ($0,02 - 1 \mu m$) με τον αναλυτή P-Trak Ultrafine Particle Counter (TSI, μοντέλο 8525, ρυθμός ροής αέρα $0,8 \text{ l/min}$) και ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε και μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων PM_1 με τον αναλυτή μάζας DustTrak Aerosol Monitor (TSI, μοντέλο DRX 8534, ρυθμός ροής αέρα 3 l/min).

Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από $1 \mu m$, τα οποία εκπέμπονται σε μεγάλες ποσότητες, περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις τοξινών και εναποτίθενται βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα (Jaques & Kim, 2000). Επομένως, η συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων αυτών αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα που επηρεάζει το βαθμό βλάβης στους πνεύμονες (Asgharian and Price, 2007; Weichenthal et al., 2007; Oberdörster et al., 2005; 1995; Penttinen et al., 2001; Chen et al., 1995; Cohen et al., 1990).

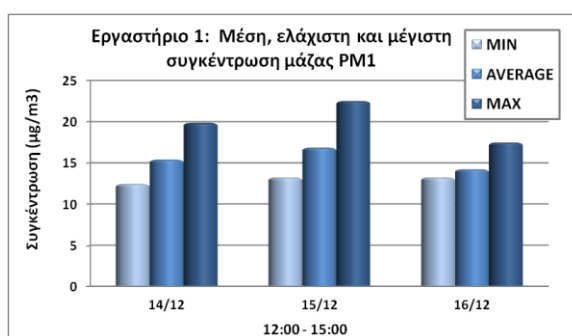
Οι ταυτόχρονες μετρήσεις, διάρκειας τριών ημερών, πραγματοποιήθηκαν για τον εργαστηριακό χώρο (1) κατά τις μεσημβρινές ώρες 12:00 – 15:00 στο διάστημα από 14 έως 16 Δεκεμβρίου. Τα δύο όργανα κατέγραφαν ταυτόχρονα τις μετρήσεις ανά 5 λεπτά.

Κατά τη διάρκεια των ταυτόχρονων μετρήσεων τα παράθυρα του χώρου ήταν κλειστά με εξαίρεση το παράθυρο που επικοινωνεί με το χώρο της εισόδου, το οποίο ομοίως με την Α Φάση παρέμενε ανοιχτό (άνοιγμα με ανάκλιση). Η πόρτα του εργαστηριακού χώρου ήταν

κατά το μεγαλύτερο διάστημα ανοιχτή και έκλεινε μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ το σύστημα κλιματισμού ήταν εκτός λειτουργίας.



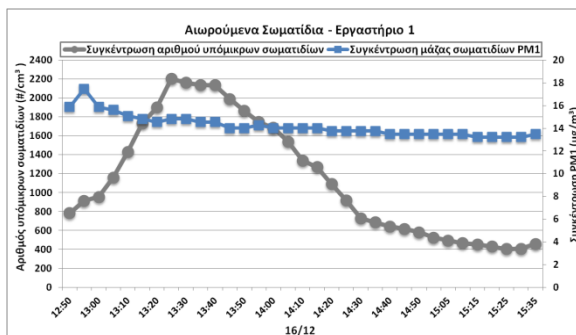
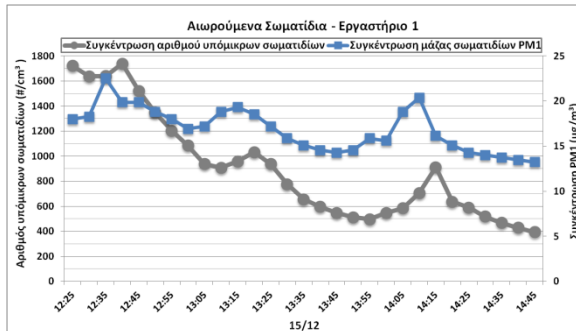
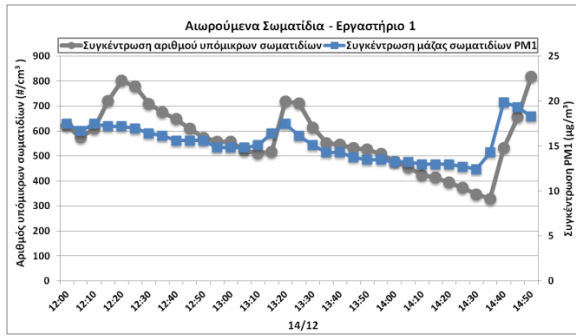
Σχήμα 7.22 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού PM₁ (0,02 – 1 μm) στον εργαστηριακό χώρο 1 (14 – 16/12).



Σχήμα 7.23 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης μάζας PM₁ στον εργαστηριακό χώρο 1 (14 – 16/12).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων για τον εξεταζόμενο χώρο, η συγκέντρωση αριθμού των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁ κυμάνθηκε στο εύρος από 329 έως 2205 pt/cm³ (μέση τιμή: 864 pt/cm³), ενώ το αντίστοιχο εύρος διακύμανσης για τη συγκέντρωση μάζας ήταν από 12 έως 23 μg/m³ (μέση τιμή: 15 μg/m³). Τα σημαντικότερα αποτελέσματα όπως προέκυψαν ανά ημέρα για τα δύο μετρούμενα μεγέθη παρουσιάζονται στα αντίστοιχα ραβδογράμματα (Σχήματα 7.22 και 7.23).

Στα διαγράμματα του Σχήματος 7.24 φαίνονται οι διακυμάνσεις των δύο μετρούμενων παραμέτρων. Γενικότερα διαπιστώθηκε ότι οι αυξήσεις των συγκεντρώσεων σημειώνονται κατά τα διαστήματα πραγματοποίησης εργαστηριακών δραστηριοτήτων ανεξαρτήτως του αριθμού των ατόμων που παρευρίσκονται στο χώρο. Ακόμη, κατά τις ημέρες 14 και 15/12 παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωση αριθμού ακολουθεί την τάση της συγκέντρωσης μάζας PM₁ με μία διαφορά φάσης περίπου 10 λεπτών. Επιπλέον, από την ανάλυση των ζευγών τιμών συγκέντρωσης αριθμού και μάζας για τη διερεύνηση ύπαρξης γραμμικών συσχετίσεων προέκυψαν ικανοποιητικοί συντελεστές προσδιορισμού ($R^2 = 0,5419$ και $R^2 = 0,5792$ για τις 14 και 15/12 αντίστοιχα) για τις ημέρες αυτές (Σχήματα Π III-16, 17). Ωστόσο, για τη δειγματοληψία της τρίτης ημέρας (16/12) δεν προέκυψε καλή συσχέτιση ($R^2 = 0,1378$), γεγονός που δείχνει ότι διαφορετικές πηγές συνεισφέρουν στην αύξηση του αριθμού και διαφορετικές στην αύξηση της μάζας, καθώς από κάθε εκπομπή εκπέμπονται διαφορετικού μεγέθους σωματίδια (Σχήμα Π III-18). Υπενθυμίζεται ότι ο αναλυτής P-Trak δεν καταμετρά σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 20 nm.



Σχήμα 7.24 Διαγράμματα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM_1 ($0,02 - 1 \mu m$) και μάζας PM_1 για τις 14, 15 και 16/12 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 1.

14:50 και $20 \mu g/m^3$ στις 14:40) κατά την ίδια ημέρα, παρουσία ενός ατόμου που διεξάγει πειραματική διαδικασία. Ομοίως, είναι χαμηλότερες συγκριτικά με τις μέγιστες τιμές στις 15/12 ($1739 \text{ pt}/\text{cm}^3$ στις 12:40 και $23 \mu g/m^3$ στις 12:35) που σημειώθηκαν κατά την πραγματοποίηση εργαστηριακών δραστηριοτήτων παρουσία δύο ατόμων, καθώς και με τις μέγιστες συγκεντρώσεις στις 16/12 ($2205 \text{ pt}/\text{cm}^3$ στις 13:25 και $17 \mu g/m^3$ στις 12:55) που σημειώθηκαν απουσία χρηστών από το χώρο. Η μεγάλη χρονική διαφορά εμφάνισης των μέγιστων τιμών συγκέντρωσης αριθμού και μάζας στις 16/12 φανερώνει ότι οι αυξήσεις αυτές οφείλονται σε διαφορετική πηγή.

Συμπερασματικά, καταλήγουμε ότι οι αυξήσεις των εκπομπών των σωματιδίων δεν οφείλονται στην παρουσία ατόμων στο εργαστήριο, υποδεικνύοντας ότι πιθανή

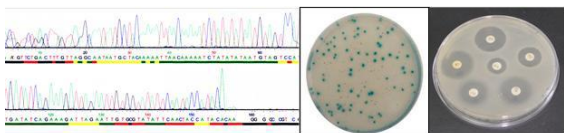
Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η παρουσία των ατόμων δεν οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας των σωματιδίων PM_1 που καταγράφονται από το όργανο. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνεται συγκρίνοντας τα επίπεδα συγκέντρωσης ενός διαστήματος παρουσίας πολλών ατόμων στο χώρο με τις μέγιστες τιμές που παρατηρήθηκαν στον υπό μελέτη χώρο ανά ημέρα. Συγκεκριμένα για τη σύγκριση επιλέχθηκε το διάστημα στις 14/12 μεταξύ 12:00 και 13:10, κατά τη διάρκεια του οποίου βρισκόταν σε εξέλιξη παράδοση μαθήματος σε 6 προπτυχιακούς φοιτητές, ενώ παράλληλα εκτελούνταν εργασίες 2 ατόμων για τη διεκπεραίωση των πειραμάτων τους. Τα επίπεδα αριθμού και μάζας κατά το διάστημα αυτό κυμανθήκαν στο εύρος $510 - 801 \text{ pt}/\text{cm}^3$ και $15 - 17 \mu g/m^3$. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι χαμηλότερες σε σχέση με τις μέγιστες τιμές που παρατηρήθηκαν ($818 \text{ pt}/\text{cm}^3$ στις

επαναιώρηση σωματιδίων λόγω της παρουσίας των χρηστών συμβαίνει για μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια. Δεδομένου ότι δε μετρήθηκαν ταυτόχρονα τα εξωτερικά επίπεδα, θα αποδώσουμε σε ένα βαθμό την άνοδο των συγκεντρώσεων αριθμού και μάζας σωματιδίων PM_{10} στις πειραματικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός του εργαστηρίου (1). Τέλος, είναι πιθανό να έχει συμβάλει στις αυξήσεις αυτές και η διαφυγή καπνού από το χώρο της εισόδου όπου γενικότερα λαμβάνει χώρα περιστασιακό κάπνισμα. Τα υπόμικρα σωματίδια ($<1 \mu m$) προκύπτουν ως επί το πλείστον από διαδικασίες καύσης (Chow, 1995) όπως το κάπνισμα (Owen et al., 1992) και δε συνδέονται με την παρουσία ατόμων και δραστηριότητες όπως το περπάτημα ή το κάθισμα (Thatcher and Layton, 1995).

7.2 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 2

Γενικά στοιχεία

Η κύρια ερευνητική δραστηριότητα του Εργαστηρίου 2, σύμφωνα με τον οδηγό σπουδών του Τμήματος, είναι η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνικών μικροεκχύλισης για την ποσοτικοποίηση οργανικών μικρο-ρύπων σε περιβαλλοντικά δείγματα. Έμφαση επίσης



δίνεται και στην περιβαλλοντική παρακολούθηση και τύχη οργανικών μικρορυπαντών στο περιβάλλον.

Περιγραφή και λειτουργία χώρου

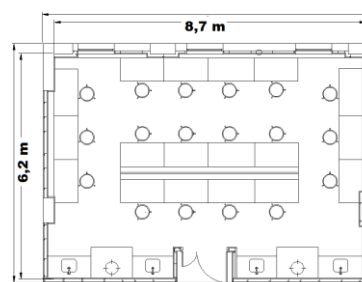
Ο υπό μελέτη εργαστηριακός χώρος βρίσκεται στο ισόγειο και έχει εμβαδό 54 m² (8,7 m x 6,2 m).

Λαμβάνοντας υπόψη το ύψος των τοίχων που είναι 3 m, ο όγκος υπολογίζεται στα 162 m³. Όπως φαίνεται και στην

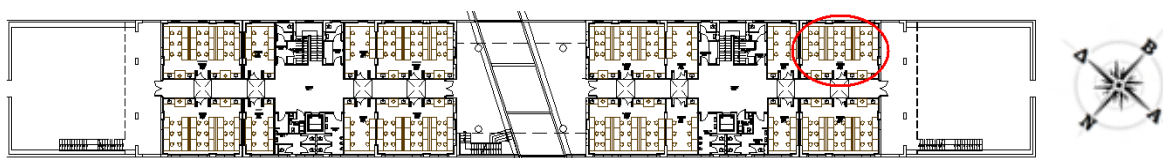
κάτοψη (Σχήμα 7.25), ο χώρος διαθέτει 4 παράθυρα, τα τρία από τα οποία έχουν βορειοδυτικό προσανατολισμό (κύρια όψη), ενώ το τέταρτο έχει βορειοανατολικό

(Εικόνες 1, 2 και 3). Εξωτερικά της βορειοδυτικής πρόσοψης του χώρου αναπτύσσονται φυλλοβόλα δέντρα

τα οποία παρέχουν σκίαση το καλοκαίρι και ήλιο το χειμώνα (Εικόνα 3). Στο Σχήμα 7.26 παρουσιάζεται η θέση του εργαστηρίου στο κτήριο.



Σχήμα 7.25 Κάτοψη εργαστηριακού χώρου 2.



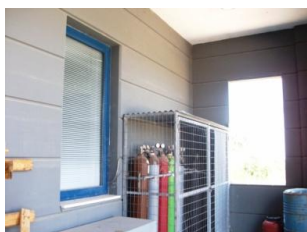
Σχήμα 7.26 Τοποθεσία του εργαστηριακού χώρου 2 στο ισόγειο του υπό μελέτη κτηρίου.

Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στον υπό μελέτη χώρο (2), η πόρτα του χώρου, η οποία οδηγεί στον κεντρικό διάδρομο, παρέμενε ανοιχτή καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του εργαστηρίου, σε αντίθεση με τα παράθυρα του χώρου, τα οποία ήταν μονίμως κλειστά.

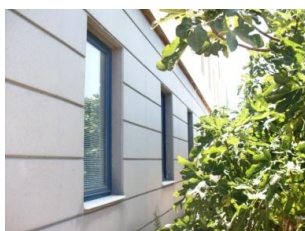
Από τα τέσσερα παράθυρα, μόνο το βορειοανατολικό είχε κατεβασμένες τις εσωτερικές περσίδες για παροχή ηλιοπροστασίας (Εικόνα 2). Ο κλιματισμός του χώρου, όπως επίσης και ο τεχνητός φωτισμός (12 λάμπες φθορίου), ήταν διαρκώς σε λειτουργία.



Εικόνα 7.6 Άμεσο εξωτερικό περιβάλλον του εργαστηρίου 2 (βορειο-ανατολική πρόσοψη).



Εικόνα 7.7 Παράθυρο του υπό μελέτη χώρου (2) με κατεβασμένες τις ηλιοπροστατευτικές περσίδες.



Εικόνα 7.8 Βορειοδυτική πρόσοψη του εργαστηριακού χώρου (2).

Στο συγκεκριμένο χώρο κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας εργάζονταν 4 άτομα, τα οποία κατά δήλωση τους βρίσκονταν στο εργαστήριο περίπου 8 ώρες την ημέρα. Για τις ανάγκες όμως διεξαγωγής πειραματικής εργασίας, το ένα από τα άτομα παρέμεινε την Παρασκευή 22/07 μέχρι τις 12 τα μεσάνυχτα στο εργαστήριο, όπως επίσης και το Σαββατοκύριακο, παραβρέθηκε στο χώρο από τις 6 το απόγευμα έως τις 12 τα μεσάνυχτα.

Οι εργαστηριακές δραστηριότητες των χρηστών του εργαστηρίου περιελάμβαναν χρήση χημικών οργανικών ουσιών (ακετόνη, μεθανόλη, οκτανόλη κ.ά.), κάποιες από τις οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή οσμών. Επίσης όλα τα άτομα έκαναν χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών (ένας υπολογιστής ανά άτομο) καθημερινά, σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια εργασίας τους, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις γινόταν χρήση και εκτυπωτή. Όσον αφορά στον ειδικό εξοπλισμό του εργαστηρίου που χειρίζονται οι χρήστες του χώρου, αυτός αποτελείται από διάφορα αναλυτικά όργανα (αυτοματοποιημένο σύστημα υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης HPLC, αέριο χρωματογράφο με φασματογράφο μάζας GC-MS, Υγρός Χρωματογράφος LC-MS κ.ά.). Η χρήση των μηχανημάτων αυτών ενδεχομένως επιβαρύνει τις εσωτερικές

μετεωρολογικές συνθήκες με υψηλά εσωτερικά θερμικά φορτία και ρύπους. Επίσης το εργαστήριο διαθέτει απαγωγό αερίων για την προστασία του προσωπικού και των φοιτητών από την έκθεση σε επικίνδυνες χημικές πτητικές ενώσεις. Τα στοιχεία αυτά διαπιστώθηκαν ύστερα από παρατήρηση, αλλά επιβεβαιώνονται και από τους ίδιους τους χρήστες του χώρου σύμφωνα με τα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν.



Εικόνα 7.9 Εργαστηριακός εξοπλισμός υπό μελέτη χώρου 2.

7.2.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου

Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε με το ερωτηματολόγιο, τα άτομα έκριναν την ποιότητα αέρα του χώρου ως μέτρια. Παρά το γεγονός ότι η μελέτη στο χώρο πραγματοποιήθηκε σε περίοδο δροσισμού και παρά τη δυνατότητα ελέγχου του κλιματισμού από τους χρήστες, είχαμε διατύπωση παραπόνων σχετικά με τις υψηλές επικρατούσες θερμοκρασίες στο χώρο. Επίσης, δύο από τους εργαζόμενους στο χώρο δήλωσαν ότι αισθάνονται δυσφορία συχνά λόγω της αποπνικτικής ατμόσφαιρας, ενώ και οι τέσσερις έκριναν ότι είναι ξηρή η ατμόσφαιρα που επικρατεί στο χώρο. Η ξηρότητα της ατμόσφαιρας προκαλείται συνήθως από τη χρήση του συστήματος κλιματισμού, καθώς τα κλιματιστικά αποβάλουν υγρασία από τον χώρο όταν λειτουργούν σε κύκλο ψύξεως το καλοκαίρι. Τέλος, έγινε διατύπωση παραπόνων εκ μέρους όλων των χρηστών σχετικά με την επιβάρυνση του εσωτερικού αέρα με οσμές, γεγονός που δικαιολογείται από τη χρήση των χημικών κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών δραστηριοτήτων. Το αυξημένο ποσοστό δυσφορίας λόγω οσμών οφείλεται πιθανόν και στη μειωμένη πρόσληψη φρέσκου αέρα καθώς οι χρήστες του συγκεκριμένου χώρου δεν άνοιγαν τα παράθυρα προκειμένου να αποφευχθεί η εισροή εντόμων. Όσον αφορά στις συνθήκες φωτισμού δεν διατυπώθηκαν προβλήματα.

Αναφορικά με τα συμπτώματα υγείας που έχουν εμφανίσει οι χρήστες του χώρου και που συνδέονται με την εργασία τους στο εργαστήριο, δύο άτομα δήλωσαν ότι η κακή ποιότητα αέρα τους προκαλεί καθημερινά σχεδόν ζαλάδες. Άλλα συμπτώματα που επέλεξαν να έχουν εμφανίσει ήταν η ναυτία, ο ξηρός/ερεθισμένος λαιμός, ο ερεθισμός στα μάτια και στο δέρμα. Ο ερεθισμός των ματιών αποτελεί ένα σύμπτωμα που, σε συνδυασμό με το αίσθημα ξηρασίας, προκαλείται συνήθως σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας και χαμηλής σχετικής υγρασίας. Τέλος, τα συμπτώματα αυτά κρίθηκαν από τους χρήστες ως υπεύθυνα και για τη μείωση της ικανότητας τους να εργαστούν στο χώρο.

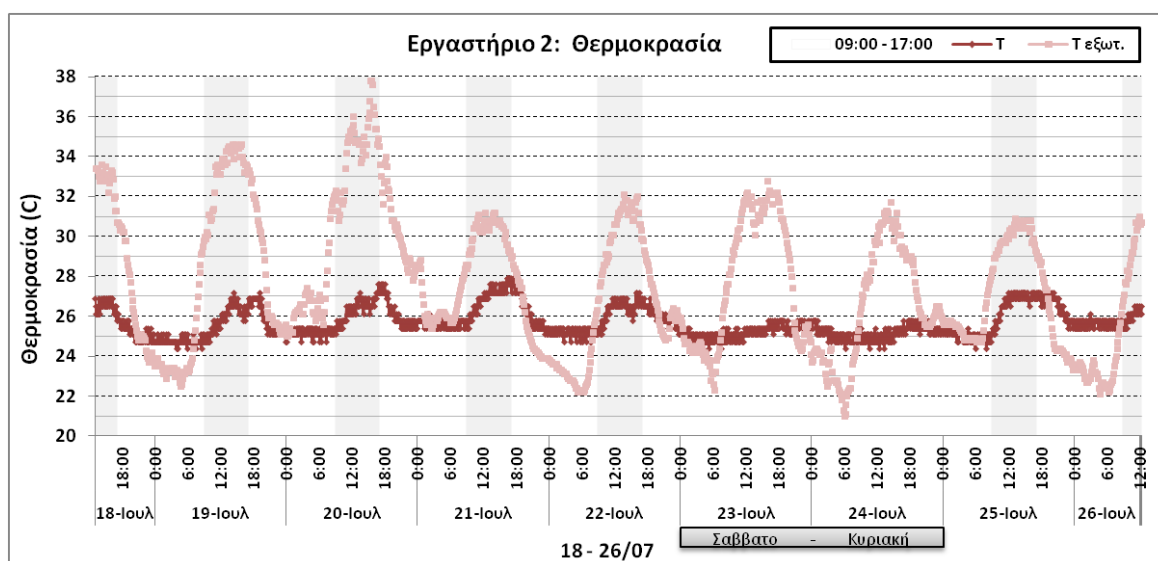
7.2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις που έλαβαν χώρα στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (2).

7.2.2.1 Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε με το όργανο Tinytag Ultra 2 data logger (TGU-4500) της εταιρείας Gemini και έλαβε χώρα σε περίοδο δροσισμού, συγκεκριμένα

από τις 18 έως τις 26 Ιουλίου, κατά τη διάρκεια της οποίας η συνήθης ρύθμιση της θερμοκρασίας ψύξης ήταν στους 25 με 26°C.

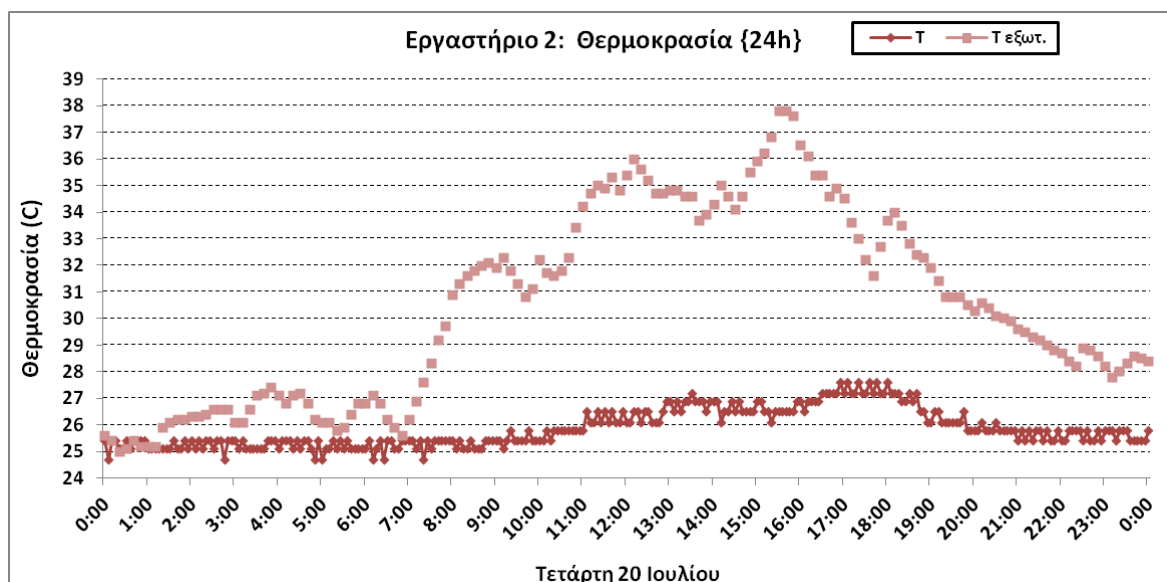


Σχήμα 7.27 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (2) την εβδομάδα των μετρήσεων (18 έως 26 Ιουλίου).

Η θερμοκρασία του αέρα στο εργαστήριο (2) κατά τις συνήθεις ώρες λειτουργίας (09:00 έως 17:00) κυμάνθηκε από 25,1 έως 27,9°C (μέση τιμή: 26,4°C). Το εύρος μεταβολής της θερμοκρασίας στο χώρο είναι ίσο με 2,8. Αν εξετάσουμε το εύρος μεταβολής κατά τις ίδιες ώρες το Σαββατοκύριακο (23 – 24/07), όπου ο χώρος είναι κενός, το σύστημα κλιματισμού εκτός λειτουργίας και η πόρτα του εργαστηρίου κλειστή, το εύρος είναι μικρότερο αφού οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 24,4 έως 25,4°C. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα είναι ελαφρώς μεγαλύτερη αν εξετάσουμε το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου (Σχήμα 7.27). Έτσι στον υπό μελέτη χώρο (2) κυμαίνεται από 24,4 έως 27,9°C. Αν λάβουμε ως όριο-τιμή την προτεινόμενη θερμοκρασία της TOTEE 20701-1/2010 για κλιματιζόμενους χώρους σε εκπαιδευτικά κτήρια (26°C), γίνεται αντιληπτό ότι, πολλές φορές, οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο χώρο αποκλίνουν από τη συνιστώμενη.

Στο ίδιο διάγραμμα αποτυπώνεται και η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία είναι σαφώς αρκετά υψηλότερη από τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ημέρας, σημειώνοντας τη μέγιστη τιμή στις 20/07 (15:50) που έφτασε στους 38°C. Το γεγονός ότι την ημέρα αυτή δεν είχαμε και την υψηλότερη θερμοκρασία εσωτερικά, υποδεικνύει την ισχυρή επίδραση του συστήματος κλιματισμού

στο χώρο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σημειώνει χαμηλότερες τιμές από αυτές του εσωτερικού χώρου. Η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στις 24/07 στις 06:00 που έφτασε στους 21°C.



Σχήμα 7.28 . Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη χώρο (2) στις 20 Ιουλίου.

Γενικά το ημερήσιο προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι αρκετά ομοιόμορφο τις καθημερινές λόγω της χρήσης συστήματος κλιματισμού. Η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας την Τετάρτη 20/07 στο εργαστήριο, απεικονίζεται στο Σχήμα 7.28. Την ημέρα αυτή σημειώθηκαν οι υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες για το διάστημα που διήρκησαν οι πειραματικές μετρήσεις (18 – 26/07). Στις 09:00 περίπου το πρωί, οπότε και ανοίγει η πόρτα του εργαστηρίου και αρχίζουν να εισέρχονται τα άτομα στο χώρο, παρατηρούμε τη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία ακολουθεί τη μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας μέχρι τις 16:00, καθώς ο χώρος κατά τις μεσημεριανές ώρες είναι εκτεθειμένος σε ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία. Μετά την ώρα αυτή η εξωτερική θερμοκρασία αρχίζει και μειώνεται, χωρίς να συμβαίνει όμως το ίδιο και στον εσωτερικό χώρο που συνεχίζει να διατηρεί τα ίδια επίπεδα, καθώς το εργαστήριο συνεχίζει και λειτουργεί μέχρι τις 17:00. Στη συνέχεια ακολουθεί ομαλή μείωση της θερμοκρασίας του χώρου μέχρι τους 25°C που είναι η θερμοκρασία ρύθμισης του κλιματισμού. Τα ίδια συμπεράσματα εξάγονται για όλες τις ημέρες κατά τις οποίες διεξήχθησαν οι μετρήσεις στο χώρο, που για λόγους συντομίας δεν παρουσιάζουμε. Εξαιρέση αποτελούν οι τιμές του Σαββατοκύριακου (23 – 24/07) που όπως προαναφέραμε παρουσιάζουν μικρότερη διακύμανση θερμοκρασίας και χαμηλότερες τιμές (Σχήμα 7.27).

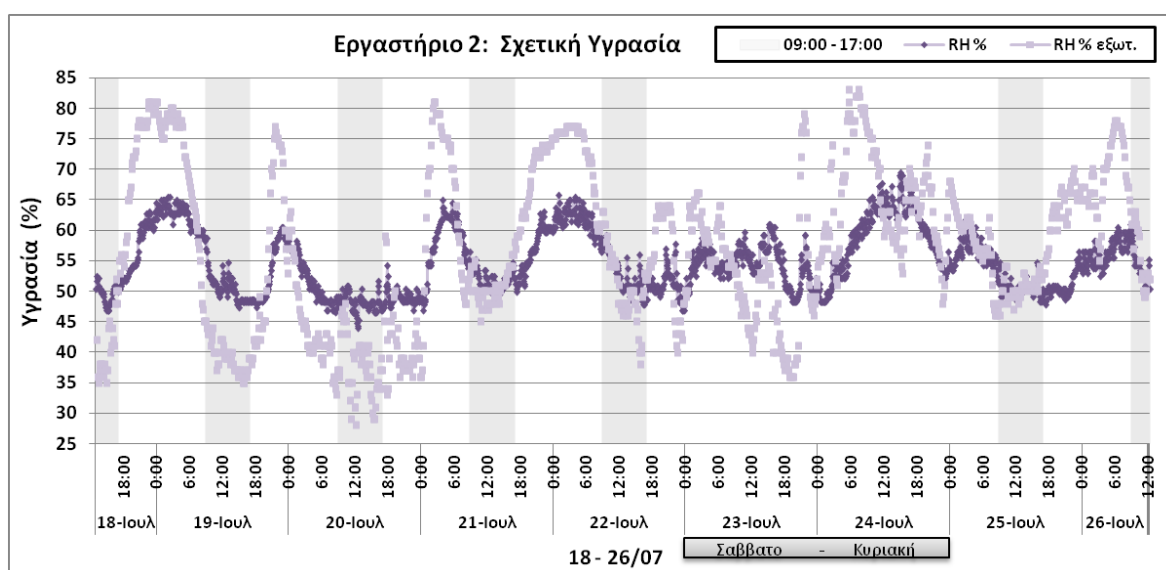
Σύμφωνα λοιπόν με τη μελέτη των καμπυλών θερμοκρασίας, κατά τη διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία στο χώρο (2) κρίνεται ως υψηλή, καθώς υπάρχουν μεγάλες χρονικές περίοδοι κατά τη διάρκεια λειτουργίας του εργαστηρίου που η θερμοκρασία αέρα είναι υψηλότερη από αυτήν που ορίζουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί θερμικής άνεσης, με αποτέλεσμα να προκαλείται δυσφορία στους χρήστες του χώρου. Συμπεραίνεται επομένως ότι είναι σημαντική η θερμική συνεισφορά της δραστηριότητας των ατόμων που δουλεύουν στο χώρο καθώς και της λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών (H/Y και εργαστηριακού εξοπλισμού) στην αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου. Θα πρέπει βέβαια να λάβουμε σοβαρά υπόψη ότι σε αυτό συμβάλει αρκετά η θέση του εργαστηριακού χώρου, η οποία είναι κοντά σε μία από τις εισόδους του κτηρίου. Συνυπολογίζοντας το γεγονός ότι στο χώρο συντελείται αερισμός μέσω της πόρτας, συμπεραίνεται ότι μεταφέρεται αέρας από τον εσωτερικό διάδρομο, η θερμοκρασία του οποίου είναι υψηλότερη δεδομένου ότι οι πόρτες εισόδου του κτηρίου ανοιγοκλείνουν συχνά λόγω της προσέλευσης ατόμων. Πέρα από τον αερισμό, σημαντικό ρόλο παίζει και το ότι ο χώρος εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία τις ώρες της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, διότι η κύρια πρόσοψη του εργαστηρίου (2) έχει βορειοδυτικό προσανατολισμό. Αν συνεκτιμήσουμε και τον βορειοανατολικό προσανατολισμό της πλαϊνής πρόσοψης του χώρου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο χώρος υπερθερμαίνεται λόγω των υψηλότερων φορτίων που έχουν οι ανατολικοί χώροι εξαιτίας της εντονότερης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (το υπό μελέτη εργαστήριο (2) βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο του κτηρίου που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία).

Λαμβάνοντας υπόψη και τα αποτελέσματα της έρευνας με ερωτηματολόγιο φαίνεται ότι, οι εσωτερικές πηγές θερμότητας (άνθρωποι και εργαστηριακός εξοπλισμός) είναι σημαντικές. Ωστόσο, πρέπει να σημειώσουμε ότι στην αίσθηση υψηλής θερμοκρασίας ενδεχομένως συμβάλλει η θέση των γραφείων του εργαστηρίου δίπλα σε παράθυρα χωρίς κατεβασμένες περσίδες, στα οποία οι χρήστες κάνουν χρήση των υπολογιστών αρκετές ώρες την ημέρα, θέση η οποία δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Ενδεχομένως η σκίαση που παρέχουν τα φυλλοβόλα δέντρα που βρίσκονται εξωτερικά των παραθύρων συνεισφέρει μεν σημαντικά στην παροχή ηλιοπροστασίας (κυρίως λόγω του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής), αλλά δεν είναι επαρκής για τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα και τη βελτίωση του μικροκλίματος εντός του χώρου. Επίσης, κατά ένα μεγάλο μέρος, η διατύπωση παραπόνων αναφορικά με τις συνθήκες υπερβολικής ζέστης θα πρέπει να

αποδοθεί και στις ατομικές διαφορές σε σχέση με το αίσθημα της θερμικής άνεσης σε χώρους όπου στεγάζονται περισσότερα από ένα άτομα.

7.2.2.2 Σχετική Υγρασία

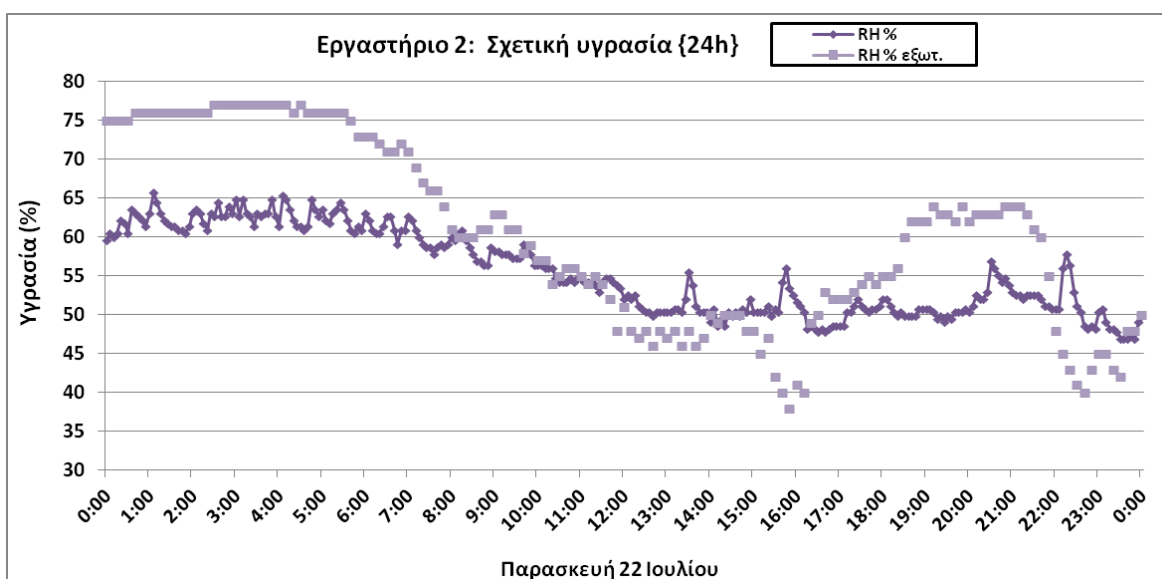
Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας πραγματοποιήθηκε με τον καταγραφέα Tinytag Ultra 2 data logger (TGU-4500) της εταιρείας Gemini και έλαβε χώρα τη θερινή περίοδο, συγκεκριμένα από τις 18 έως τις 26 Ιουλίου.



Σχήμα 7.29 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο (2) την εβδομάδα των μετρήσεων (18 έως 26 Ιουλίου).

Η στιγμιαία σχετική υγρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος στον εργαστηριακό χώρο (2), κατά τη διάρκεια της εβδομάδας των μετρήσεων και κατά τη χρονική διάρκεια χρήσης του χώρου (09:00 – 17:00), κυμάνθηκε μεταξύ 50,4% και 60% (μέση τιμή: 50,9%), όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.29. Όσον αφορά στη σχετική υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, το εύρος τιμών κυμάνθηκε για τις ίδιες ώρες μεταξύ 28% και 76% (μέση τιμή: 46,3%). Κατά τη διάρκεια κατά την οποία το κτήριο δεν λειτουργούσε παρατηρήθηκαν πιο ακραίες τιμές της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας από τις παραπάνω. Συγκεκριμένα, αν εξετάσουμε το εύρος μεταβολής τις ίδιες ώρες το Σαββατοκύριακο (23 – 24/07), κατά τις οποίες ο χώρος παρέμεινε κλειστός, αυτό κυμάνθηκε από 47,8% έως 69,5%, ενώ οι πιο ακραίες τιμές που καταγράφηκαν συνολικά για όλες τις ημέρες των μετρήσεων, ανεξαρτήτως χρήσης ή μη του χώρου, ήταν 43,9% και 69,5%. Αν πάρουμε ως βάση την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 παρατηρούμε ότι ο χώρος τις ώρες χρήσης του παρουσιάζει σχετική υγρασία υψηλότερη από το όριο της τεχνικής οδηγίας για κλιματιζόμενους χώρους σε εκπαιδευτικά κτήρια (45%).

Εξετάζοντας την ημερήσια διακύμανση της σχετικής υγρασίας παρατηρούμε ότι οι μικρότερες τιμές έχουν καταγραφεί τις μεσημεριανές ώρες και οι υψηλότερες τις πρωινές και νυχτερινές. Ο υπό μελέτη χώρος (2), ο οποίος υπενθυμίζουμε ότι δεν αερίζεται ανοίγοντας το παράθυρο, αλλά την πόρτα (ο αερισμός μέσω του ανοίγματος της πόρτας δεν είναι τόσο έντονος όσο μέσω του παραθύρου), δεν παρουσιάζει μεγάλες απότομες μεταβολές της σχετικής υγρασίας. Το γεγονός αυτό απεικονίζεται στην καμπύλη της σχετικής υγρασίας την Παρασκευή 22/07 (Σχήμα 7.30). Σύμφωνα με το διάγραμμα, η σχετική υγρασία του χώρου μειώνεται σταδιακά από τις 8:00 έως τις 17:00 κατά 12,2 μονάδες (από 60% σε 47,8%), ακολουθώντας τη μείωση της σχετικής υγρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος που έχει ήδη ξεκινήσει από τις 6:00, και στη συνέχεια αυξάνεται με αργό ρυθμό (παρά το γεγονός ότι τα παράθυρα παραμένουν κλειστά, μία μικρή ποσότητα από τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος εισέρχεται στο χώρο και επηρεάζει τη σχετική υγρασία του αέρα).



Σχήμα 7.30 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο (2) στις 22 Ιουλίου.

Η μείωση της σχετικής υγρασίας κατά τις μεσημεριανές ώρες, η οποία οφείλεται στην έντονη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο χώρος, δε φτάνει στα επιθυμητά αποδεκτά επίπεδα για την επίτευξη θερμικής άνεσης (45%). Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι ο αερισμός του χώρου μόνο μέσω του ανοίγματος της πόρτας, και όχι μέσω των παραθύρων, δεν επαρκεί για να επιφέρει την επιθυμητή μείωση των επιπέδων της σχετικής υγρασίας εντός του χώρου τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου, καθώς ο εσωτερικός αέρας του διαδρόμου έχει υψηλότερη σχετική υγρασία από τον φρέσκο αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η υπέρβαση των ορίων θερμικής άνεσης δεν ήταν τόσο μεγάλη ώστε να προκαλέσει δυσφορία στους χρήστες καθώς, σύμφωνα με την έρευνα με το ερωτηματολόγιο, δεν υπήρξε καμία διατύπωση παραπόνων για υγρασία στο χώρο. Αντιθέτως, υπήρξε ομόφωνη δήλωση από τους χρήστες για αίσθηση ξηρότητας στην ατμόσφαιρα του χώρου. Η ύπαρξη ξηρής ατμόσφαιρας θα μπορούσε να δικαιολογηθεί από τη χρήση του συστήματος κλιματισμού, κάτι τέτοιο δεν συνάδει όμως με τα αποτελέσματα από τις πειραματικές μετρήσεις. Επομένως η διατύπωση παραπόνων θα πρέπει να αποδοθεί στον υποκειμενικό χαρακτήρα που έχει το αίσθημα της θερμικής άνεσης.

7.2.2.3 Φωτεινότητα

Η φωτεινότητα (ορατή ακτινοβολία) του υπό μελέτη χώρου μετρήθηκε για ένα μικρό χρονικό διάστημα (10 – 20 sec) σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές (11:00, 14:00, 17:00) κατά τη διάρκεια της 19^{ης} Ιουλίου. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε το όργανο 764 Environmental Monitor της ELSEC.

Πίνακας 7.4 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 2.

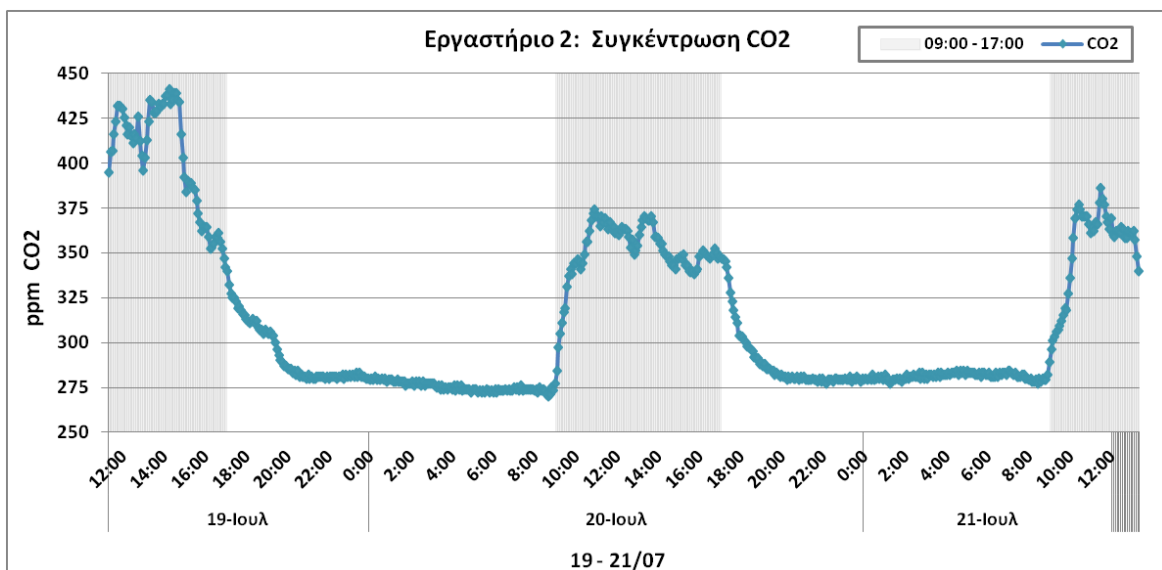
Στατιστικά δεδομένα	Στάθμη φωτισμού (Lux)		
	11:00	14:00	17:00
Min	250	260	270
Max	447	530	850
Mean	364	415	556

Τα μέσα επίπεδα φωτισμού από τις μετρήσεις που έλαβαν χώρα σε διάφορες θέσεις του εργαστηρίου (2) υπολογίστηκαν στα 445 lx. Στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές όπως προέκυψαν για την κάθε ώρα. Είναι εμφανές ότι τη δεδομένη χρονική περίοδο ο χώρος εκτίθεται στην πιο ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία κατά τις απογευματινές ώρες (17:00). Γενικά διαπιστώθηκε ότι η μέση φωτεινότητα του χώρου βρίσκεται αρκετά κοντά στα συνιστώμενα επίπεδα της TOTEE 20701-1/2010 (500 lx) για την εξασφάλιση οπτικής άνεσης. Επιπλέον, ο λόγος που δεν διατυπώθηκαν προβλήματα από τους χρήστες όσον αφορά στις συνθήκες φωτισμού, παρά τη μη χρήση ηλιοπροστατευτικών περσίδων στα βορειοδυτικά παράθυρα, αποδίδεται στην ύπαρξη δέντρων εξωτερικά του χώρου. Η φύτευση εξωτερικά του χώρου συμβάλλει στη διάχυση και μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και στον έλεγχο της αντανάκλασης της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος.

7.2.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI και διήρκησε δύο εικοσιτετράωρα (19 – 21/07).

Η στιγμιαία συγκέντρωση του CO₂ στον εξεταζόμενο χώρο (2) καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων κυμάνθηκε μεταξύ 270 και 441 ppm (Σχήμα 1). Οι τιμές αυτές είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με τη σύσταση της TOTEE 2425/86 (5000 ppm), όπως επίσης και σε σχέση με τα πρότυπα του ASHRAE που ορίζουν ότι η απόκλιση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 700 ppm. Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 7.31, όταν ο χώρος (2) βρίσκεται σε χρήση, δηλαδή κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, η συγκέντρωση του CO₂ αυξάνεται, ενώ μετά το απόγευμα μειώνεται. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται από τις 18:00 το απόγευμα έως τις 09:00 το πρωί, τις ώρες δηλ. που το εργαστήριο παραμένει κλειστό, και τα κυμαινόμενα επίπεδα CO₂ είναι σχετικά σταθερά.

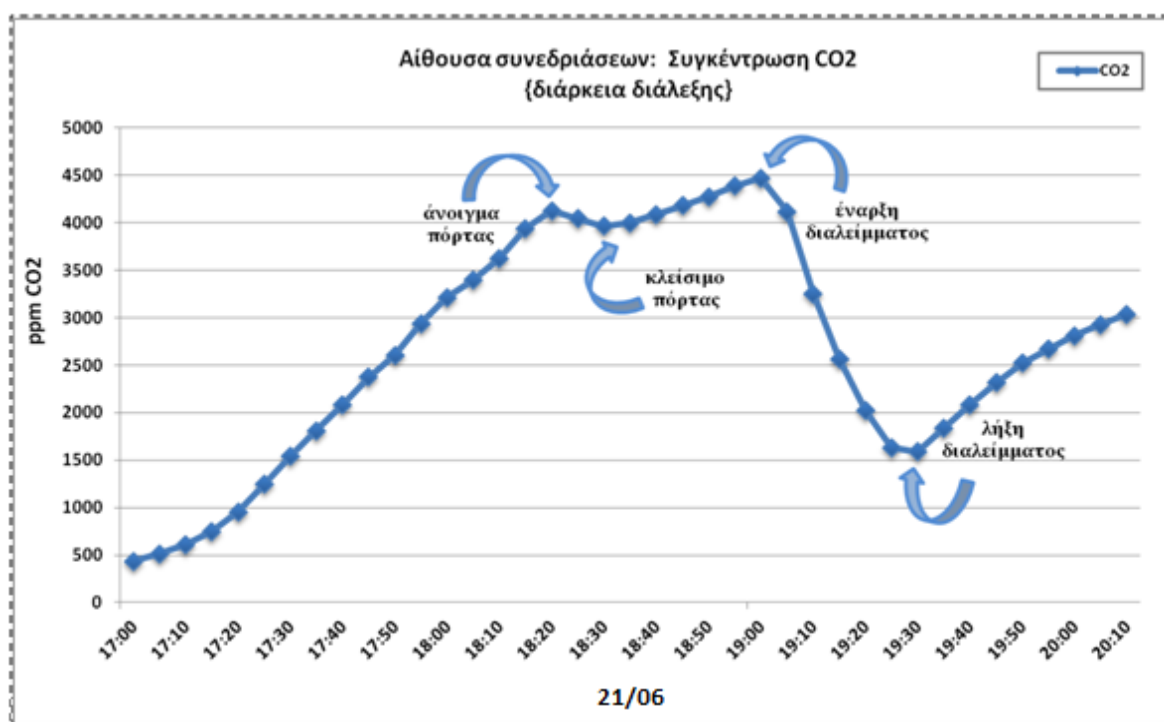


Σχήμα 7.31 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO₂ στον υπό μελέτη χώρο (2) από τις 19 έως τις 21 Ιουλίου.

Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται τις ώρες χρήσης, κατά τις οποίες παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης CO₂, οφείλονται κυρίως στις εσωτερικές πηγές εκπομπής, δεδομένου ότι ο φυσικός αερισμός του χώρου συντελείται μόνο μέσω της πόρτας και επομένως δεν έχουμε σημαντική επίδραση από τον εξωτερικό αέρα στη ρύθμιση των επιπέδων CO₂. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δεν είχαμε διεξαγωγή πειράματος με εστία καύσης, επομένως βασική πηγή διοξειδίου του άνθρακα αποτελούν οι χρήστες του χώρου. Στο συγκεκριμένο χώρο, παρότι οι μόνιμοι χρήστες είναι μόνον τέσσερις, κατά

διαστήματα εισέρχονται διάφοροι επισκέπτες με αποτέλεσμα να αυξομειώνεται και η εκπομπή CO₂ μέσω της ανθρώπινης αναπνοής. Τα χαμηλά όμως κυμαινόμενα επίπεδα συγκέντρωσης υποδηλώνουν ότι η παρουσία των ατόμων στο χώρο, ο οποίος έχει εμβαδόν περίπου ίσο με 54 m², δεν αποτελεί ισχυρή πηγή εκπομπής CO₂, όπως επίσης, ότι ο αερισμός είναι επαρκής για τα άτομα που βρίσκονται στο χώρο.

Προκειμένου να εξετάσουμε το βαθμό της επίδρασης του αριθμού των ατόμων στην αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ σε ένα χώρο, πραγματοποιήσαμε μία πειραματική μέτρηση κατά τη διάρκεια τρίωρης διάλεξης που έλαβε χώρα σε έναν άλλο χώρο του υπό μελέτη κτηρίου, την αίθουσα συνεδριάσεων. Η αίθουσα βρίσκεται στην κεντρική ζώνη του ορόφου. Τη διάλεξη παρακολούθησαν 29 άτομα. Κατά τη διάρκεια αυτής τα παράθυρα του χώρου παρέμειναν κλειστά και ήταν σε λειτουργία ο κλιματισμός (24 °C). Η προσέλευση των φοιτητών στο χώρο ολοκληρώθηκε στις 17:20 και τη στιγμή εκείνη η πόρτα του χώρου έκλεισε. Στο διάγραμμα (Σχήμα 7.32) φαίνεται η σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ κατά τη διάρκεια της διάλεξης, ως αποτέλεσμα της μεταβολικής δραστηριότητας των ατόμων.



Σχήμα 7.32 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO₂ κατά τη διάρκεια τρίωρης διάλεξης στην αίθουσα συνεδριάσεων.

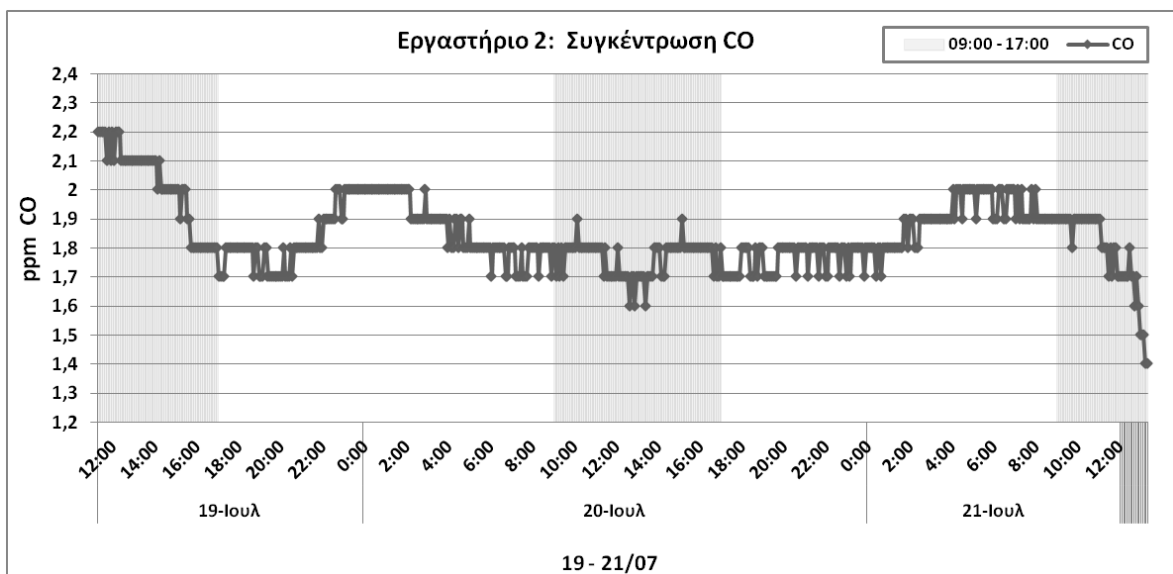
Ωστόσο, κατά τις 18:20 που ανοίγει η πόρτα της αίθουσας για μικρό χρονικό διάστημα, λόγω της εισροής αέρα από το διάδρομο, παρατηρείται μία τάση μείωσης της

συγκέντρωσης. Με το κλείσιμο της πόρτας στις 18:35 η συγκέντρωση αποκτά και πάλι ανοδική πορεία, φτάνοντας στα 4500 ppm. Τα επίπεδα αυτά μειώνονται στη διάρκεια του διαλείμματος, κατά την οποία η πόρτα ανοίγει και εντός του χώρου παραμένουν 3 άτομα. Το εύρος της μείωσης φτάνει τα 3000 ppm μέσα σε χρόνο 25 λεπτών. Με τη λήξη του διαλείμματος (επιστροφή των φοιτητών στην αίθουσα) και το κλείσιμο της πόρτας είναι εμφανής η επίδραση του αερισμού που έχει συντελεστεί στο χώρο, καθώς η συγκέντρωση CO₂ δεν κατορθώνει μέσα στα 40 λεπτά που απομένουν για τη λήξη της διάλεξης να επανέλθει στα προηγούμενα επίπεδα (4500 ppm).

Φαίνεται λοιπόν ότι η παρουσία τόσων ατόμων σε έναν χώρο, ο οποίος πρέπει να σημειωθεί ότι έχει περίπου τα μισά τετραγωνικά σε σχέση με το Εργαστήριο 2, έχει ως αποτέλεσμα την υπέρβαση της απόκλισης των 700 ppm που προτείνεται από τον ASHRAE, γεγονός που καταδεικνύει ότι ο αερισμός του χώρου δεν είναι επαρκής για τα άτομα που βρίσκονται στο χώρο.

7.2.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα μετρήθηκε ταυτόχρονα με τη συγκέντρωση CO₂ με το όργανο IAQ-CALC 8762 (TSI).



Σχήμα 7.33 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO στον υπό μελέτη χώρο (2) από τις 19 έως τις 21 Ιουλίου.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη μέτρηση του μονοξειδίου του άνθρακα στο εργαστήριο κυμάνθησαν σε αποδεκτά επίπεδα. Απουσία εσωτερικών πηγών, η συγκέντρωση CO κυμάνθηκε στο εύρος από 1,4 έως 2,2 ppm, η οποία αποδίδεται στη

συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον. Δεδομένου ότι το κτήριο βρίσκεται μακριά από πολυσύχναστους δρόμους, τα επίπεδα CO ήταν ιδιαίτερα χαμηλά και μικρότερα από το συνιστώμενο όριο των Π.Ο.Υ και ASHRAE, το οποίο ανέρχεται και στις δύο περιπτώσεις στα 9 ppm, ώστε να μην απαιτείται κάποια ενδεδειγμένη ανάλυση.

7.2.2.6 Ραδόνιο

Η μέτρηση της ισοδύναμης συγκέντρωσης ραδονίου πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου SARAD DOSEman – Pro στις 19 Ιουλίου.

Σύμφωνα με την ένδειξη του οργάνου η μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση στο χώρο (2) ήταν ίση με $3,25 \text{ Bq/m}^3$ (ή $0,09 \text{ pCi/l}$), η οποία είναι κατά πολύ χαμηλότερη από το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 100 Bq/m^3 που συνιστά ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, 2009). Επίσης, σύμφωνα με υπολογισμό του οργάνου η δόση ακτινοβολίας του ραδονίου βρέθηκε ίση με $0,025 \text{ μSv}$. Το όριο έκθεσης για το γενικό πληθυσμό σε ακτινοβολία είναι 1 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους.

7.2.2.7 Ακτινοβολία γ

Για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το όργανο Dose Rate Measuring Unit FH 40 G, με το οποίο υπολογίζεται ο ρυθμός ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h). Οι μετρήσεις για το εργαστήριο (2) πραγματοποιήθηκαν στις 19 Ιουλίου.

Η μέση τιμή για το χώρο (2), όπως προέκυψε από την πραγματοποίηση τριών διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων μεταξύ των οποίων η θέση του οργάνου μεταβαλλόταν κατά 120° για την κάλυψη περιοχής 360° , βρέθηκε ίση με $78,2 \text{ nSv/h}$. Προκειμένου να συγκριθεί η τιμή αυτή με το όριο έκθεσης σε ακτινοβολία για το γενικό πληθυσμό, το οποίο είναι 1 mSv/έτος , θα γίνει αναγωγή της ισοδύναμης δόσης στο έτος (mSv/έτος). Από την αναγωγή προκύπτει ότι η δόση ανά ώρα ισοδυναμεί με $0,68 \text{ mSv/έτος}$ (θεωρούμε ότι η έκθεση είναι εικοσιτετράωρη), η οποία είναι μικρότερη του ορίου έκθεσης σε ακτινοβολία (1 mSv) κατά τη διάρκεια ενός έτους.

7.2.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια

7.2.2.8.1 Συγκέντρωση μάζας

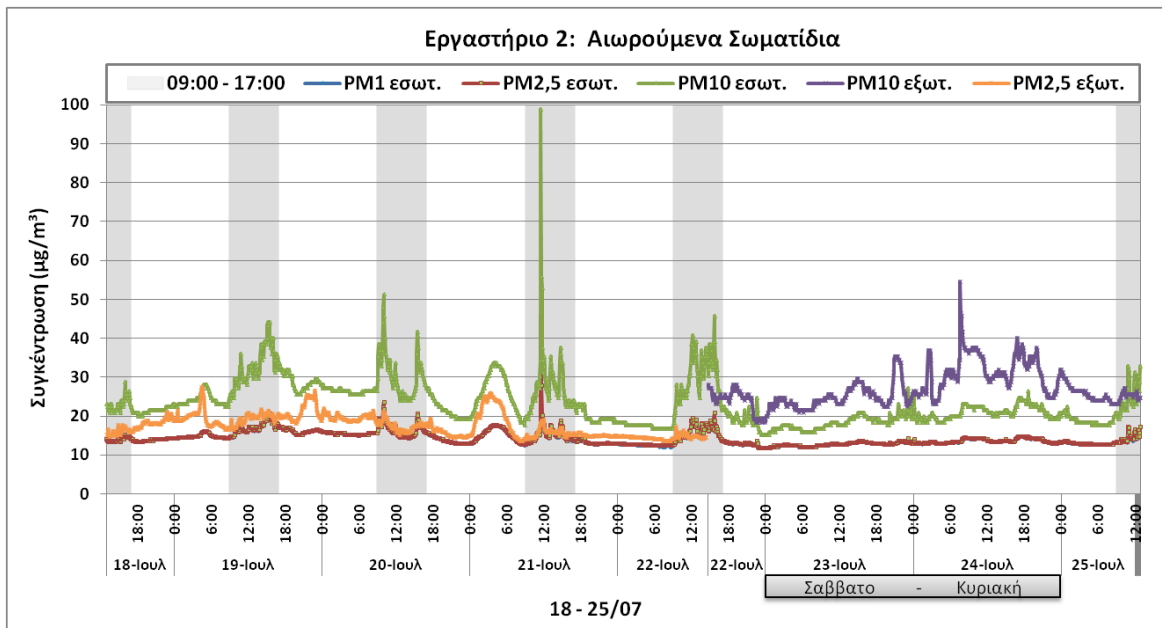
Η μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $PM_{2,5}$ και PM_{10} πραγματοποιήθηκε στο χώρο (2) για το χρονικό διάστημα από 18 έως 25 Ιουλίου, με ταυτόχρονη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης μέσω σωλήνα (Εικόνα 7.10). Η εσωτερική συγκέντρωση μετρήθηκε με το DustTrak DRX 8534, ενώ η εξωτερική με το DustTrak II 8532. Λόγω της απαίτησης αλλαγής της κεφαλής δειγματοληψίας που έχει ο αναλυτής μάζας DustTrak II, η μέτρηση για τα εξωτερικά $PM_{2,5}$ έλαβε χώρα από τις 18 έως τις 22 Ιουλίου, ενώ για τα PM_{10} από τις 22 το μεσημέρι έως τις 25 του ίδιου μήνα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων η διακύμανση της συγκέντρωσης στον εργαστηριακό χώρο (2) ήταν από 16 έως 99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} , από 12 έως 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $PM_{2,5}$ και από 12 έως 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_1 . Οι αντίστοιχες τιμές αναφορικά με τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο εξωτερικό περιβάλλον κυμάνθηκαν στο εύρος από 18 έως 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} και από 14 έως 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $PM_{2,5}$. Στο διάγραμμα (Σχήμα 7.34) παρουσιάζεται η διακύμανση των συγκεντρώσεων καθ' όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας και για όλα τα κλάσματα μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων που μετρήθηκαν.

Συγκρίνοντας τα μέσα επίπεδα της εσωτερικής συγκέντρωσης του χώρου (2) με τις θεσμοθετημένες οριακές τιμές για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια δεν παρατηρείται καμία υπέρβαση των ημερήσιων ορίων. Ωστόσο, διαπιστώνεται ότι η μέση τιμή των 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} είναι υψηλότερη σε σχέση με το ετήσιο όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Π.Ο.Υ (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ η μέση τιμή των 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2,5}$ υπερβαίνει μόνο το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Όσον αφορά στις εξωτερικές συγκεντρώσεις, επίσης η μέση συγκέντρωση PM_{10} (27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) είναι υψηλότερη του μέσου ετήσιου ορίου (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) που έχει θεσπιστεί από την Ε.Ε. και τον Π.Ο.Υ, ενώ η τιμή των 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2,5}$ υπερβαίνει εκτός από το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ και αυτό της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Εικόνα 7.10 Μέτρηση συγκέντρωσης του άμεσου εξωτερικού περιβάλλοντος μέσω σωλήνα με το όργανο DustTrak II 8532.



Σχήμα 7.34 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη χώρο (2) από τις 18 έως τις 25 Ιουλίου.

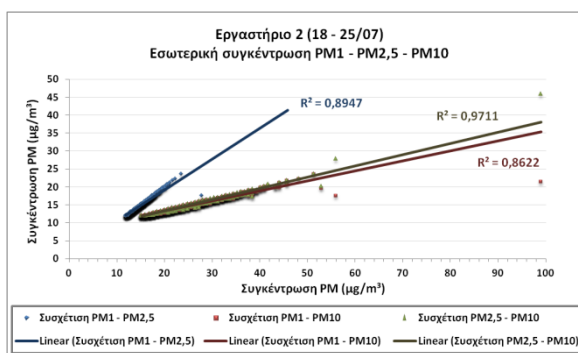
Εξετάζοντας το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών διαπιστώνουμε ότι οι υψηλότερες τιμές εσωτερικής συγκέντρωσης στο χώρο (2) παρατηρούνται κατά τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου (09:00 -17:00), ενώ οι χαμηλότερες παρατηρούνται τις νυχτερινές ώρες και το Σαββατοκύριακο (23 – 24/07) λόγω της μη χρήσης του χώρου και της απουσίας δραστηριοτήτων. Γενικότερα, λόγω του μικρού σχετικά αριθμού μόνιμων χρηστών του χώρου (4), οι εσωτερικές συγκεντρώσεις δεν κυμαίνονται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα. Στα διαστήματα μη λειτουργίας του χώρου οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα τις καθημερινές (εργάσιμες) και το Σαββατοκύριακο. Επίσης, όπως είναι εμφανές από το Σχήμα 7.34, η εσωτερική συγκέντρωση είναι γενικά χαμηλότερη από την εξωτερική. Σε αυτό συμβάλει και το γεγονός ότι τα παράθυρα του χώρου είναι μονίμως κλειστά.

Οι αιχμές που παρατηρούνται στη χρονοσειρά κατά τις μεσημεριανές ώρες ενδεχομένως οφείλονται στην κίνηση είτε των χρηστών του χώρου κατά τη διεξαγωγή εργαστηριακών δραστηριοτήτων είτε προσωρινών επισκεπτών. Επίσης, σημαντικό ρόλο στην αύξηση των εσωτερικών συγκεντρώσεων παίζει το γεγονός ότι η πόρτα του χώρου είναι μονίμως ανοιχτή. Κατά συνέπεια, οι συγκεντρώσεις επηρεάζονται και από τις εργασίες στα γειτονικά εργαστήρια, καθώς και από τη διέλευση ατόμων από τον κεντρικό διάδρομο με τον οποίο επικοινωνεί η πόρτα. Σημειώνεται ότι η διέλευση εξωτερικά του χώρου είναι συχνή καθώς ο χώρος βρίσκεται πλησίον της βορειοανατολικής εξόδου του κτηρίου (Εικόνα 7.6).



Σχήμα 7.35 Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου $PM_{2,5}/PM_{10}$ για τον εργαστηριακό χώρο (2) από τις 18 έως τις 25 Ιουλίου.

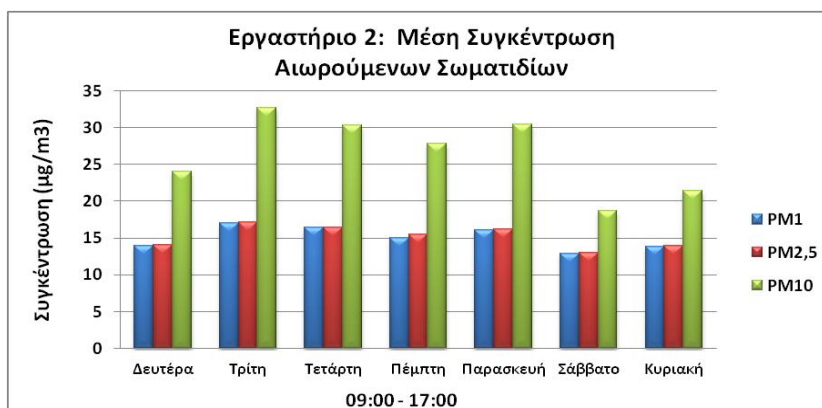
Ο λόγος των συγκεντρώσεων $PM_{2,5}/PM_{10}$ για το εσωτερικό περιβάλλον κυμάνθηκε από 0,38 έως 0,78 (Σχήμα 7.35), ενώ η μέση τιμή του λόγου υπολογίστηκε ίση με 0,63, υποδεικνύοντας ότι τα λεπτά σωματίδια αντιπροσωπεύουν κατά μέσο όρο ένα ποσοστό 63% της μάζας των PM_{10} . Οι χαμηλότερες τιμές που παίρνει ο λόγος κατά τις ώρες χρήσης του χώρου (09:00 – 17:00) φανερώνουν ότι η παρουσία ατόμων είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερου ποσοστού χονδρών σωματιδίων ($>PM_{2,5}$). Αντίστοιχα, ο μέσος λόγος $PM_1/PM_{2,5}$ ήταν ίσος με 0,99, γεγονός που γίνεται αντιληπτό και από την ταύτιση των δύο συγκεντρώσεων στο Σχήμα 7.34.



Σχήμα 7.36 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των τιμών εσωτερικής συγκέντρωσης PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10} για τον εργαστηριακό χώρο (2) την εβδομάδα των μετρήσεων

Επιπλέον, τα κλάσματα μεγέθους $PM_{2,5}$ και PM_{10} παρουσίασαν μία σχεδόν πλήρη συσχέτιση, καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2), όπως φαίνεται και στο διάγραμμα γραμμικής συσχέτισης (Σχήμα 7.36), παίρνει την τιμή 0,9711. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι συγκεντρώσεις $PM_{2,5}$ και PM_{10} επηρεάζονται από τις ίδιες πηγές εκπομπής στο χώρο (2). Λίγο ισχυρότερες συσχετίσεις βρέθηκαν μεταξύ των PM_1 και

$PM_{2,5}$ ($R^2 = 0,8947$), καθώς και μεταξύ των PM_1 και PM_{10} ($R^2 = 0,8622$). Ωστόσο, όλοι οι συντελεστές συσχέτισης υπερέβησαν την τιμή 0,8, υποδηλώνοντας την ύπαρξη κοινής πηγής προέλευσης και για τα PM_1 .



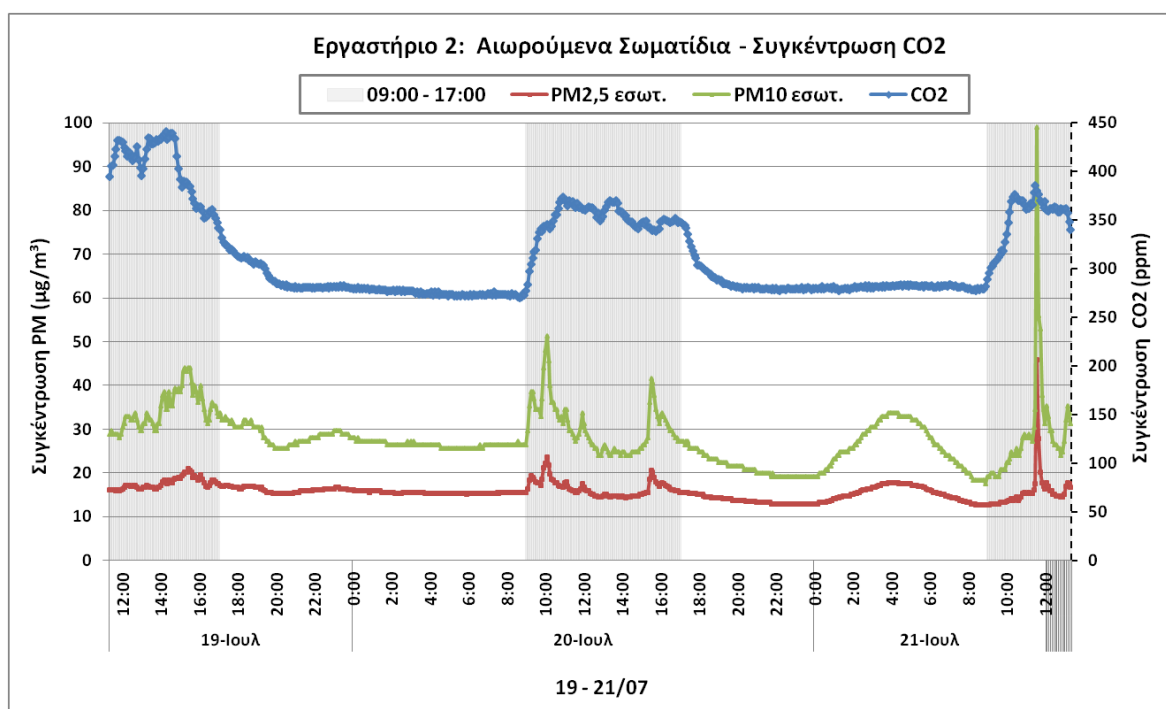
Σχήμα 7.37 Διάγραμμα μέσων τιμών συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ανά ημέρα και κατά τις ώρες χρήσης του εργαστηριακού χώρου 2 για το διάστημα 18 - 25/07.

Στο ραβδόγραμμα (Σχήμα 7.37) παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση και για τα τρία κλάσματα μεγέθους (PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10}) κατά τις ώρες λειτουργίας του χώρου (2) για κάθε μία από τις ημέρες της εβδομάδας δειγματοληψίας. Ο υπολογισμός για τη μέση τιμή της Δευτέρας έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των ημερών 18/07 (13:00 - 17:00) και 25/07 (09:00 - 12:50). Οι χαμηλότερες τιμές όπως είναι αναμενόμενο παρατηρούνται τις μη εργάσιμες ημέρες, Σάββατο 23/07 και Κυριακή 24/07. Επίσης, στις 18 και 25/07 οι μέσες συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες ημέρες λόγω ίσως και του μικρότερου χρόνου δειγματοληψίας τις δύο συγκεκριμένες ημέρες.

Εύκολα διαπιστώνεται ότι οι υψηλές εσωτερικές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων συμπίπτουν χρονικά με τις υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 , όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.38. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση που κάναμε, ότι, δηλαδή, οι υψηλές συγκεντρώσεις PM οφείλονται στην παρουσία ατόμων στο χώρο και στη διεξαγωγή δραστηριοτήτων από αυτά.

Η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά και των εσωτερικών πηγών στη συγκέντρωση στον εσωτερικό χώρο μπορεί να εκτιμηθεί από το λόγο της εσωτερικής συγκέντρωσης προς την εξωτερική συγκέντρωση (I/O). Η αναλογία μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων (I/O) των PM μας παρέχει μια ένδειξη για το αν τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στους εσωτερικούς χώρους είναι το αποτέλεσμα παραγωγής εντός του εσωτερικού περιβάλλοντος ή προέρχονται από το εξωτερικό

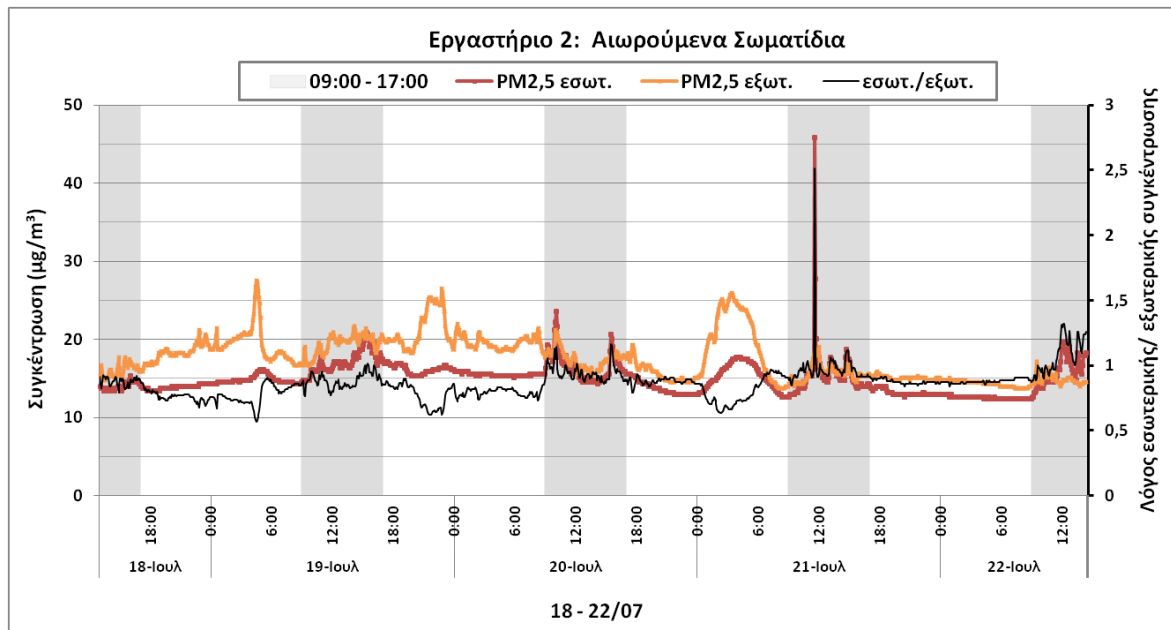
περιβάλλον. Σε περίπτωση απουσίας εσωτερικών πηγών, ο λόγος I/O θα είναι μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα.



Σχήμα 7.38 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$, PM_{10} και της συγκέντρωσης CO_2 στον υπό μελέτη χώρο (2) από τις 19 έως τις 21 Ιουλίου.

Στο Σχήμα 7.39 αποτυπώνεται η διακύμανση της εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ για το διάστημα 18 – 22/07, σε συνδυασμό με το λόγο I/O. Όπως προαναφέραμε, σε γενικές γραμμές οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες εντός του χώρου σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον καθ' όλη την ημέρα. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις των εσωτερικών ρύπων είναι μικρότερες και πιο σταδιακές σε σύγκριση με τα εξωτερικά PM, μία τάση που έχει παρατηρηθεί και σε άλλες σχετικές εργασίες (Koronen et al., 2001).

Για τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm ($PM_{2,5}$), τα οποία μετρήθηκαν ταυτόχρονα εσωτερικά και εξωτερικά του χώρου (2), το εύρος διακύμανσης του λόγου I/O παίρνει τιμές από 0,57 έως 2,51, με μέση τιμή 0,86 (Σχήμα). Τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου η ελάχιστη τιμή του λόγου είναι 0,8. Το πηλίκιο παίρνει τη μέγιστη τιμή του (2,51) τη στιγμή που σημειώνεται η μέγιστη εσωτερική τιμή για τα $PM_{2,5}$ ($46 \mu g/m^3$ στις 21/07, 11:35), φανερώνοντας την ύπαρξη ισχυρής εσωτερικής πηγής. Τη στιγμή αυτή σημειώνεται και η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης για τα PM_{10} ($99 \mu g/m^3$), όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.34. Τα διαστήματα μη χρήσης του χώρου ο λόγος κυμάνθηκε στο εύρος από 0,57 έως 0,96 (μέση τιμή: 0,82).

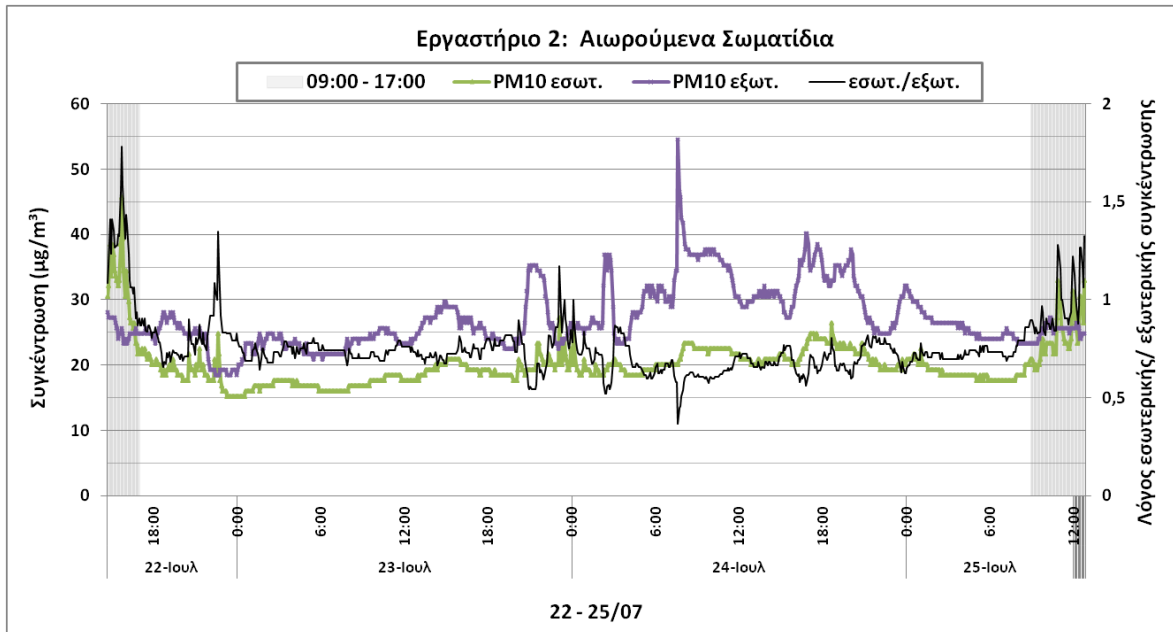


Σχήμα 7.39 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (2) και του λόγου I/O από τις 18 έως τις 25 Ιουλίου.

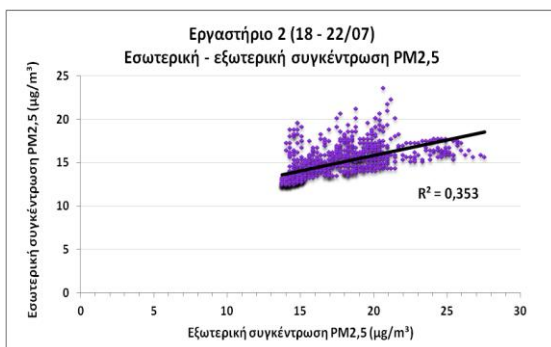
Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της δεύτερης φάσης ταυτόχρονων μετρήσεων που έγιναν με κεφαλή PM₁₀ για το εργαστήριο 2 και το άμεσο εξωτερικό του περιβάλλον (22 – 25/07), παρατηρείται ότι το εύρος διακύμανσης του λόγου I/O είναι από 0,37 έως 1,78, με μέση τιμή 0,75 (Σχήμα 7.40). Ο λόγος παίρνει την ελάχιστη τιμή του, 0,37 (εσωτερική συγκέντρωση: 12 µg/m³, εξωτερική: 55 µg/m³), στις 07:40 το πρωί της Κυριακής (24/07). Τις ώρες χρήσης του χώρου (2) το εύρος κυμαίνεται από 0,7 έως 1,78, ενώ τις ώρες απουσίας ατόμων από 0,37 έως 0,7. Ο υψηλότερος μέσος λόγος I/O για τα PM_{2,5} (0,86) που παρατηρήθηκε σε σχέση με τα PM₁₀ (0,75) φανερώνει ότι, οι εσωτερικές πηγές (εργαστηριακές δραστηριότητες) είναι ισχυρότερες για τα PM_{2,5}.

Η σύγκριση των τιμών της εξωτερικής συγκέντρωσης με την εσωτερική έδωσε χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα διασποράς (Σχήμα 7.41), μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{2,5} δε βρέθηκε κάποια σημαντική συσχέτιση ($R^2 = 0,353$). Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) δεν ελήφθησαν υπόψη οι δύο μέγιστες τιμές εσωτερικής συγκέντρωσης. Επομένως, τα εσωτερικά επίπεδα PM_{2,5} αποδίδονται ως επί το πλείστον σε εσωτερικές πηγές του εργαστηρίου. Εξετάζοντας όμως ξεχωριστά τα διαστήματα χρήσης και μη του χώρου, προκύπτει ότι απουσία ατόμων η συσχέτιση είναι αρκετά ισχυρή ($R^2 = 0,7275$), υποδεικνύοντας ότι στο χώρο υφίσταται σημαντική διείσδυση λεπτών σωματιδίων ακόμα και τα διαστήματα μη λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού (Σχήμα Π III-19). Όπως και για τα PM_{2,5}, ομοίως και για τα PM₁₀ δε βρέθηκε

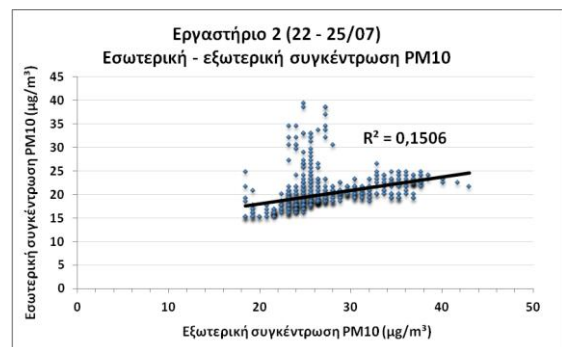
κάποια σημαντική συσχέτιση ($R^2 = 0,1506$) μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης για το σύνολο των μετρήσεων (Σχήμα 7.42). Ωστόσο, τις ώρες που ο χώρος είναι κενός και ο κλιματισμός ανενεργός, η συσχέτιση είναι σημαντική ($R^2 = 0,5739$) (Σχήμα Π III-20). Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η απόδοση φιλτραρίσματος του συστήματος κλιματισμού όσον αφορά στα χονδρά σωματίδια (PM_{10}) είναι ικανοποιητική.



Σχήμα 7.40 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (2) και του λόγου I/O από τις 22 έως τις 25 Ιουλίου.



Σχήμα 7.42 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στον εργαστηριακό χώρο 2.



Σχήμα 7.41 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στον εργαστηριακό χώρο 2.

Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται οι στατιστικές τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων, καθώς και των λόγων I/O, ανάλογα με το μέγεθος τους. Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές μεταξύ των ωρών χρήσης και μη του χώρου (2), διαπιστώνεται ότι η μεγαλύτερη διαφορά συγκέντρωσης παρατηρείται στα σωματίδια PM_{10} . Η εναπόθεση σωματιδίων είναι

σημαντικότερη για τα σωματίδια μεγάλης διαμέτρου λόγω του βάρους τους και συνεπώς είναι μεγαλύτερη η επαναφορά τους στον αέρα λόγω της κίνησης των χρηστών και των διαφόρων επισκεπτών στο χώρο. Υπενθυμίζουμε όμως ότι οι χρήστες αποχωρούσαν από το χώρο συνήθως γύρω στις 5 το απόγευμα, γεγονός που σημαίνει ότι ο χώρος συνέχιζε να δέχεται την επίδραση από τις δραστηριότητες γειτονικών εργαστηρίων, σε ορισμένα από τα οποία εξακολουθούσαν να τελούνται εργασίες έως τις 8 το βράδυ με αποτέλεσμα τα επίπεδα σωματιδίων των ωρών αυτών να παραμένουν σχετικά αυξημένα. Το γεγονός αυτό συνέβαλε στην εμφάνιση μικρής διαφοροποίησης στα μέσα επίπεδα των λεπτών σωματιδίων μεταξύ των ωρών παρουσίας (09:00 – 17:00 τις καθημερινές) και απουσίας ατόμων (Σαββατοκύριακο και 17:00 – 09:00 τις καθημερινές).

Πίνακας 7.5 Τιμές συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀, καθώς και των λόγων I/O (PM_{2,5}) και I/O (PM₁₀), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (2).

Μέγεθος σωματιδίων	Στατιστικά δεδομένα	Παρουσία ατόμων		Απουσία ατόμων	
		µg/m ³	I/O	µg/m ³	I/O
PM ₁	Min	12	-	12	-
	Max	46	-	17	-
	Mean	15	-	14	-
PM _{2,5}	Min	12	0,76	12	0,57
	Max	46	2,51	18	0,96
	Mean	16	0,95	14	0,82
PM ₁₀	Min	17	0,82	15	0,37
	Max	99	1,78	34	1,35
	Mean	28	1,11	21	0,72

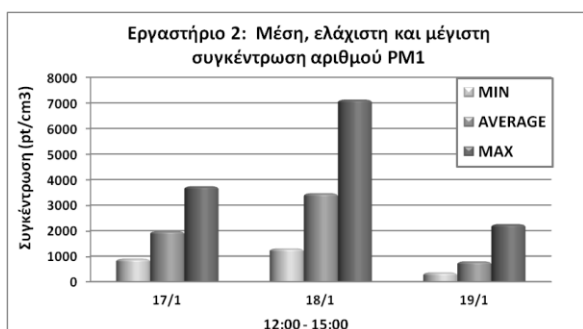
Τέλος, διερευνήθηκε η ύπαρξη κάποιας σύνδεσης της διακύμανσης των συγκεντρώσεων με τις μετεωρολογικές παραμέτρους. Ο έλεγχος των καιρικών συνθηκών πραγματοποιήθηκε με στοιχεία που καταγράφονταν στον τοπικό μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και η ταχύτητα εξωτερικού αέρα (Παράρτημα III: Σχήματα Π III-21 έως 28). Ωστόσο, δε βρέθηκε κάποια ισχυρή συσχέτιση με τις εσωτερικές συγκεντρώσεις ($R^2 < 0,4$). Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων επισκιάζεται από την επίδραση των εσωτερικών πηγών. Εξετάζοντας και τη συσχέτιση των μετεωρολογικών συνθηκών με την εξωτερική συγκέντρωση PM, βρέθηκε ότι τα εξωτερικά επίπεδα PM₁₀ δέχονται την επίδραση της σχετικής υγρασίας ($R^2 = 0,4966$) (Σχήμα Π III-26). Οι συνθήκες υψηλής υγρασίας ευνοούν τη διάλυση (εναπόθεση) των

σωματιδίων στο εξωτερικό περιβάλλον με συνέπεια να αυξάνεται και ο αντίστοιχος λόγος μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης ($R^2 = 0,3557$) (Σχήμα Π III-24).

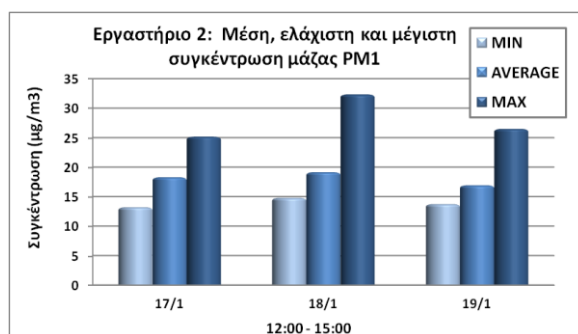
7.2.2.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

Στα πλαίσια της Β Φάσης πραγματοποιήθηκε μέτρηση της συγκέντρωσης αριθμού (pt/cm^3) με το όργανο P-Trak 8525, σε συνδυασμό με ταυτόχρονη μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) με το DustTrak DRX 8534, των σωματιδίων PM_{10} για το χρονικό διάστημα από 17 έως 19 Ιανουαρίου. Η διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν τριώρη (12:00 – 15:00) και τα δύο όργανα κατέγραφαν ταυτόχρονα τις μετρήσεις ανά 5 λεπτά.

Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στον εξεταζόμενο χώρο τα παράθυρα ήταν μονίμως κλειστά, ενώ η πόρτα του χώρου παρέμενε ανοιχτή κατά τις εργάσιμες ώρες. Το σύστημα κλιματισμού ήταν ανενεργό.



Σχήμα 7.43 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} ($0,02 - 1 \mu\text{m}$) στον εργαστηριακό χώρο 2 (17 – 19/01).

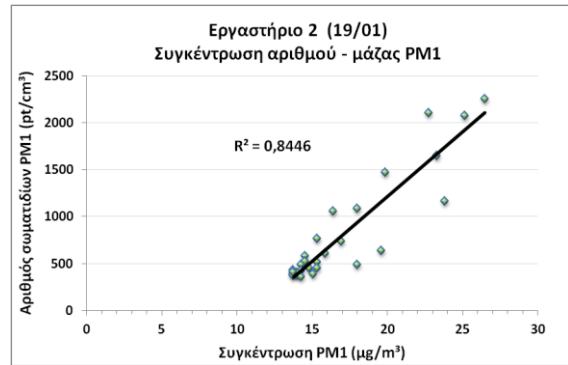


Σχήμα 7.44 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης μάζας PM_{10} στον εργαστηριακό χώρο 2 (17 – 19/01).

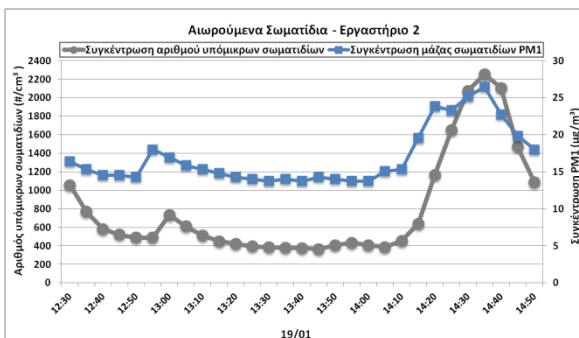
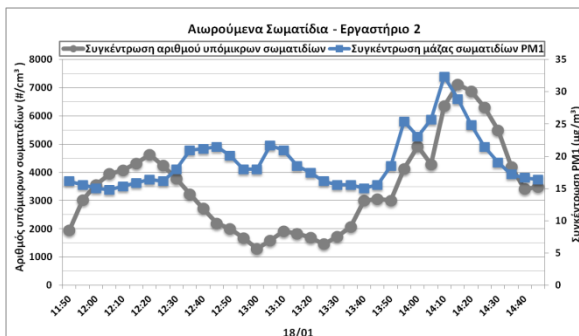
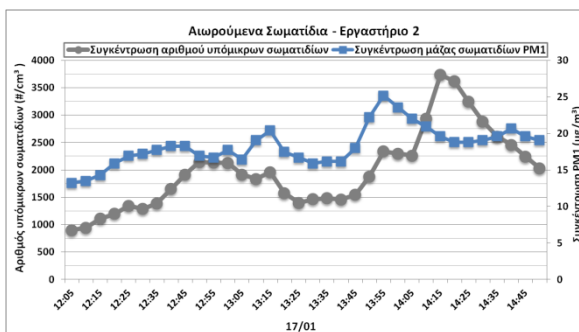
Οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι σε συνθήκες λειτουργίας του εργαστηρίου (2) τα κυμαινόμενα επίπεδα αριθμού σωματιδίων PM_{10} ανά κυβικό εκατοστόμετρο ήταν στο εύρος από 363 έως $7127 \text{ pt}/\text{cm}^3$, με μέση συγκέντρωση $2172 \text{ pt}/\text{cm}^3$, ενώ η συγκέντρωση μάζας κυμάνθηκε από 13 έως $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, με μέση τιμή $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά ημέρα μετρήσεων παρουσιάζονται στα Σχήματα 7.43 και 7.44.

Από τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της συγκέντρωσης αριθμού και της συγκέντρωσης μάζας PM_{10} με ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης προέκυψε ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση ($R^2 = 0,8446$) μόνο για τη δειγματοληψία στις 19/01 (Σχήμα 7.45). Από την ισχυρή αυτή συσχέτιση εξάγεται το συμπέρασμα ότι για το διάστημα των μετρήσεων οι αυξήσεις της συγκέντρωσης αριθμού και της συγκέντρωσης μάζας οφείλονται στην

εκπομπή σωματιδίων ίδιου μεγέθους από κάθε πηγή. Ωστόσο, οι χαμηλοί συντελεστές που προέκυψαν για τις 17/01 ($R^2 = 0,3409$) και 18/01 ($R^2 = 0,2716$) υποδηλώνουν ότι δε μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη διακύμανση της συγκέντρωσης είτε αριθμού είτε μάζας με βάση τη μέτρηση της άλλης (Σχήματα Π III 29, 30).



Σχήμα 7.45 Διάγραμμα γραμμικής συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁.



Σχήμα 7.46 Διαγράμματα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM₁ (0,02 – 1 μm) και μάζας PM₁ για τις 17, 18 και 19/01 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 2.

μέγιστη τιμή του (7127 pt/cm³) με καθυστέρηση 5 λεπτών από την αντίστοιχη μέγιστη

Γενικότερα, προέκυψε ότι ο αριθμός και η μάζα σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 1 μm δεν παρουσιάζει κάποια σύνδεση με δραστηριότητες όπως οι κινήσεις των ατόμων καθώς οι διακυμάνσεις συγκέντρωσης παρουσιάστηκαν παρουσία των ίδιων ατόμων και συνθηκών στο χώρο. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι στις 17/02 καθ' όλη τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων εντός του υπό μελέτη χώρου βρίσκονταν 2 χρήστες μόνο. Επομένως, οι αυξήσεις που παρατηρήθηκαν (Σχήμα 7.46A) φανερώνουν την ύπαρξη ενεργών διαδικασιών παραγωγής σωματιδίων, οι οποίες αποδίδονται στις εργαστηριακές δραστηριότητες.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι υψηλές συγκεντρώσεις που παρατηρούνται στα αποτελέσματα της 18^{ης} Ιανουαρίου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.46B, ο αριθμός σωματιδίων στις 14:15 σημειώνει τη

τιμή για τη συγκέντρωση μάζας ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) έπειτα από αύξηση που συντελέστηκε σε διάστημα 25 λεπτών τιμών της τάξης των $4113 \text{ pt}/\text{cm}^3$ και $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Η άνοδος αυτή των τιμών σημειώθηκε παρουσία 3 ατόμων στο χώρο και συμπίπτει με την εκτέλεση πειράματος με χρήση φλόγας που πραγματοποιείται στον απαγωγό αερίων του εργαστηρίου. Συνεπώς η αύξηση αυτή αποδίδεται στη διαδικασία καύσης η οποία αποτελεί μία από τις κύριες εσωτερικές πηγές εκπομπής υπόμικρων σωματιδίων (Morawska and Zhang, 2002).

Στις 19/01 (Σχήμα 7.46Γ) διαπιστώνεται ότι απουσία εργαστηριακών δραστηριοτήτων οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα ($363 - 768 \text{ pt}/\text{cm}^3$ και $14 - 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Από την έναρξη των πειραματικών μετρήσεων έως τις 14:10 δεν τελείται καμία πειραματική διαδικασία και οι δραστηριότητες των 3 ατόμων που βρίσκονται εντός του χώρου αφορούν σε εργασία σε Η/Υ. Ωστόσο, από τις 14:15 έως τις 14:40 σημειώνεται ταυτόχρονη άνοδος των τιμών αριθμού και μάζας, η οποία αποδίδεται σε εργαστηριακό πείραμα που πραγματοποιείται κατά το διάστημα αυτό.

Εν κατακλείδι, η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι υπάρχει σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων υποβάθρου λόγω των εκπομπών σωματιδίων PM_{10} από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός του εργαστηριακού χώρου (2).

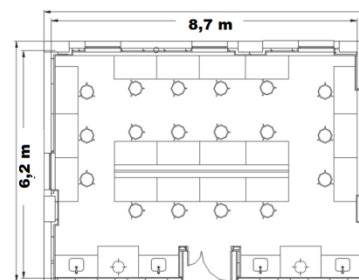
7.3 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 3

Γενικά στοιχεία

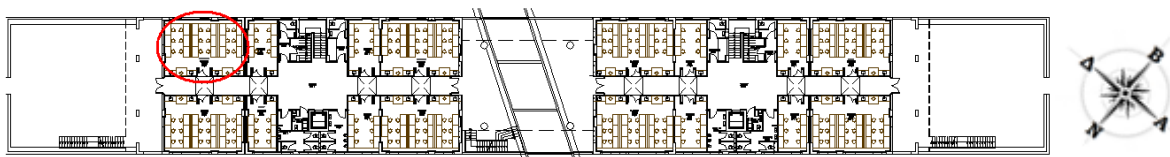
Η ερευνητική μονάδα που στεγάζεται στο χώρο 3 δραστηριοποιείται στο γνωστικό αντικείμενο του Τομέα Περιβαλλοντικής Υδραυλικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Περιγραφή και λειτουργία χώρου

Ο υπό μελέτη εργαστηριακός χώρος (3) βρίσκεται στο ισόγειο, πλησίον της νοτιοδυτικής εισόδου του κτηρίου, και έχει εμβαδό 54 m^2 ($8,7 \text{ m} \times 6,2 \text{ m}$) και όγκο 162 m^3 . Στο Σχήμα 7.48 παρουσιάζεται η θέση του χώρου στο κτήριο. Όπως φαίνεται και στην κάτοψη (Σχήμα 7.47), ο χώρος διαθέτει 4 παράθυρα, τα τρία από τα οποία έχουν βορειοδυτικό προσανατολισμό (κύρια όψη), ενώ το τέταρτο έχει νοτιοδυτικό (Εικόνες 7.11, 7.12).



Σχήμα 7.47. Κάτοψη εργαστηριακού χώρου 3.



Σχήμα 7.48. Τοποθεσία του εργαστηριακού χώρου 3 στο ισόγειο του υπό μελέτη κτηρίου.

Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στον υπό μελέτη χώρο (3) η πόρτα του χώρου παρέμενε ανοιχτή το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου λειτουργίας του εργαστηρίου, ενώ από τα παράθυρα μόνο το νοτιοδυτικό παρέμενε διαρκώς ανοιχτό με ανάκλιση.

Επίσης, δύο από τα παράθυρα της κύριας όψης είχαν μονίμως κατεβασμένες τις ηλιοπροστατευτικές περσίδες, ενώ το τρίτο στη σειρά μαζί με το αμέσως πλησίον του της πλαϊνής όψης (νοτιοδυτικός προσανατολισμός) τις είχαν ανεβασμένες. Ο κλιματισμός του χώρου ήταν ρυθμισμένος στους 25°C , κατά διαστήματα όμως για τις ανάγκες διεξαγωγής διαφόρων εργαστηριακών εργασιών (π.χ. ζύγιση ακριβείας) ετίθετο εκτός λειτουργίας. Το ίδιο συνέβαινε και με τα φώτα του χώρου, τα οποία την περισσότερη ώρα λόγω διαφόρων πειραματικών δραστηριοτήτων παρέμεναν κλειστά και επομένως, ως επί το πλείστον, ο χώρος φωτιζόταν με φυσικό τρόπο.



Εικόνα 7.11 Βορειοδυτική πρόσοψη του εργαστηριακού χώρου (3).



Εικόνα 7.12 Άμεσο εξωτερικό περιβάλλον του εργαστηρίου 3 (νοτιοδυτική πρόσοψη).

Στο συγκεκριμένο χώρο κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας εργάζονταν 4 άτομα, τα οποία κατά δήλωσή τους βρίσκονταν στο εργαστήριο από τις 9 το πρωί. Το εργαστήριο έκλεινε την πόρτα του συνήθως στις 7 το απόγευμα. Οι εργαστηριακές δραστηριότητες των ατόμων αφορούσαν στην επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή σκόνης, ενώ περιελάμβαναν χρήση διαφόρων χημικών ουσιών, κυρίως καδμίου (σε μορφή σκόνης) και υδράργυρου, καθώς και οξέων όπως νιτρικό (HNO_3), θειικό (H_2SO_4) κ.α. που είχαν ως συνέπεια την παραγωγή οσμών. Όσον αφορά στον ειδικό εξοπλισμό του εργαστηρίου που χειρίζονταν οι χρήστες του χώρου τη συγκεκριμένη περίοδο, αναφέρθηκαν το φασματοφωτόμετρο

υπεριώδους/ ορατού, η συσκευή PCR (αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης) και ο ζυγός ακριβείας. Επίσης, δύο από τα τέσσερα άτομα δήλωσαν ότι κάνουν χρήση φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών καθημερινά. Η χρήση των μηχανημάτων αυτών ενδεχομένως επιβαρύνει το εσωκλίμα με υψηλά εσωτερικά θερμικά φορτία και ρύπους.



Εικόνα 7.13 Εργαστηριακός εξοπλισμός

Τα στοιχεία αυτά διαπιστώθηκαν ύστερα από παρατήρηση, αλλά επιβεβαιώνονται και από τους ίδιους τους χρήστες του χώρου (3) σύμφωνα με τα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν.

7.3.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου

Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε με το ερωτηματολόγιο, όλα τα άτομα έκριναν την ποιότητα αέρα του χώρου από καλή έως μέτρια. Λόγω των αναγκών των εκπονούντων πειραμάτων που επέβαλαν την κατά διαστήματα παύση του κλιματιστικού, υπήρξε διατύπωση παραπόνων σχετικά με υψηλές θερμοκρασίες στο χώρο. Η δυσφορία λόγω αιωρούμενης σκόνης, καθώς και η όχληση από διάφορες οσμές, είναι κάτι στο οποίο συμφώνησαν όλοι οι χρήστες του χώρου, είναι όμως και αναμενόμενη λόγω της φύσης των εργαστηριακών δραστηριοτήτων. Επίσης, δύο άτομα δήλωσαν ότι μερικές φορές έχουν αισθανθεί δυσφορία λόγω ξηρής ατμόσφαιρας. Όσον αφορά στις συνθήκες

φωτισμού, έγινε διατύπωση παραπόνων από δύο άτομα για χαμηλό φωτισμό, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο φυσικός φωτισμός δεν ήταν επαρκής καθ' όλη τη διάρκεια της παρουσίας τους στο χώρο.

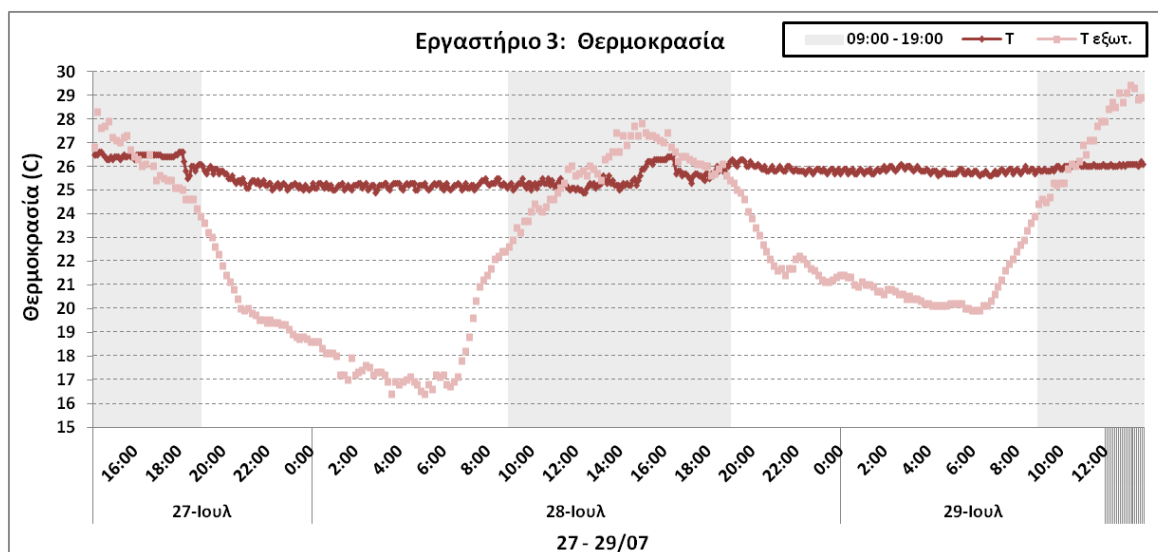
Αναφορικά με τα συμπτώματα υγείας που έχουν εμφανίσει οι χρήστες και που μπορεί να οφείλονται στην κακή ποιότητα του αέρα, δύο από τα άτομα συμφώνησαν ότι έχουν εμφανίσει πονοκέφαλο, ζαλάδα και ξηρολαιμία. Άλλα συμπτώματα που επέλεξαν ότι έχουν εμφανίσει ήταν η ρινική συμφόρηση και το φτάρνισμα, τα οποία ενδεχομένως συνδέονται με την παραγωγή σκόνης κατά τις πειραματικές δραστηριότητες. Τα συμπτώματα που αναφέρθηκαν εμφανίζονται κυρίως τις πρωινές ώρες, ενώ κρίθηκαν από τους χρήστες ικανά να μειώσουν την απόδοσή τους στην εργασία.

7.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για την κάθε μετρούμενη παράμετρο, όπως αυτά προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις που έλαβαν χώρα στον υπό μελέτη χώρο.

7.3.2.1 Θερμοκρασία

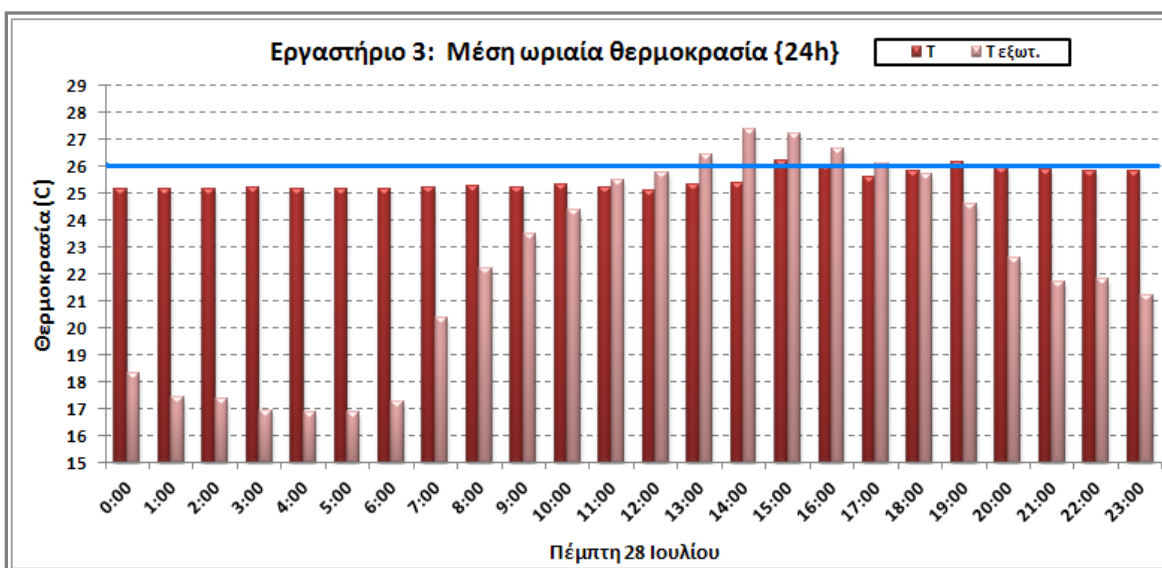
Η μέτρηση της θερμοκρασίας αέρα του εργαστηριακού χώρου (3) πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI στο διάστημα από 27 έως 29 Ιουλίου. Η συνήθης ρύθμιση της θερμοκρασίας του κλιματισμού ήταν στους 25°C (περίοδος δροσισμού).



Σχήμα 7.49 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στο εργαστήριο (3) από τις 27 έως τις 29 Ιουλίου.

Σύμφωνα με το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών (Σχήμα 7.49), η στιγμιαία θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων (27 - 29/07) και κατά τη χρονική διάρκεια χρήσης του χώρου (09:00 – 19:00) κυμάνθηκε μεταξύ 24,9 και 26,6°C (μέση τιμή: 26°C). Αντίστοιχα, για τις ίδιες ώρες, η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος κυμάνθηκε μεταξύ 22,6 και 29,4°C (μέση τιμή: 26,3°C).

Στο διάγραμμα των μέσων ωριαίων τιμών (Σχήμα 7.50) παρουσιάζεται η ημερήσια διακύμανση εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας για την Πέμπτη 28/07. Η θερμοκρασία αέρα κατά τις ώρες χρήσης του χώρου και λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού ποικίλει ανάλογα με το ημερήσιο προφίλ διακύμανσης της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα, το οποίο εμφανίζει τυπικά το μέγιστο τις μεσημβρινές ώρες (14:00). Υπενθυμίζεται ότι το νοτιοδυτικό παράθυρο παραμένει ανοιχτό με ανάκλιση με αποτέλεσμα ο χώρος να δέχεται την έντονη επίδραση από την εξωτερική θερμοκρασία. Μετά την αποχώρηση των ατόμων από το χώρο και κατά τη διάρκεια της νύχτας οπότε ο κλιματισμός είναι απενεργοποιημένος τα επίπεδα παραμένουν σχεδόν σταθερά παρά τη μεγάλη μεταβολή (εύρος διακύμανσης: 16,4 – 25,3°C) που παρατηρείται στο εξωτερικό περιβάλλον κατά τις νυχτερινές ώρες. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι το βράδυ της 27^{ης} Ιουλίου το παράθυρο παρέμεινε κλειστό σε αντίθεση με το επόμενο βράδυ που ήταν ανοιχτό και τα επίπεδα ήταν κατά περίπου 1 °C υψηλότερα.



Σχήμα 7.50 Διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας στο εργαστήριο 3 για τις 28/07. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο συνιστώμενο όριο της TOTEE 20701-1/2010.

Αν λάβουμε ως όριο-τιμή την προτεινόμενη θερμοκρασία της TOTEE 20701-1/2010 (26°C), το οποίο απεικονίζεται στο γράφημα με τη μπλε γραμμή, το χρονικό διάστημα

κατά το οποίο η μέση ωριαία θερμοκρασία είναι υψηλότερη από το όριο είναι περιορισμένο. Συγκεκριμένα, μικρή υπέρβαση του ορίου σημειώνεται από τη μέση ωριαία τιμή των 15:00 λόγω των υψηλών εξωτερικών θερμοκρασιών και των 19:00 λόγω της παύσης του συστήματος κλιματισμού. Ωστόσο το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη ή ίση του ορίου, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών και άλλωστε, η μέση θερμοκρασία για όλες τις ημέρες και τις ώρες των μετρήσεων προκύπτει ίση με 26°C.

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα, η θερμοκρασία του χώρου κρίνεται ικανοποιητική. Σε αυτό συντελεί η ρύθμιση του συστήματος κλιματισμού στους 25°C, σε συνδυασμό με το διαρκή φυσικό αερισμό που υφίσταται στο χώρο, κατά τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου, μέσω του ανοιχτού παραθύρου (με ανάκλιση) και της ανοιχτής πόρτας. Αυτός ο τρόπος αερισμού συντελεί στο να μην παρατηρούνται απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας.

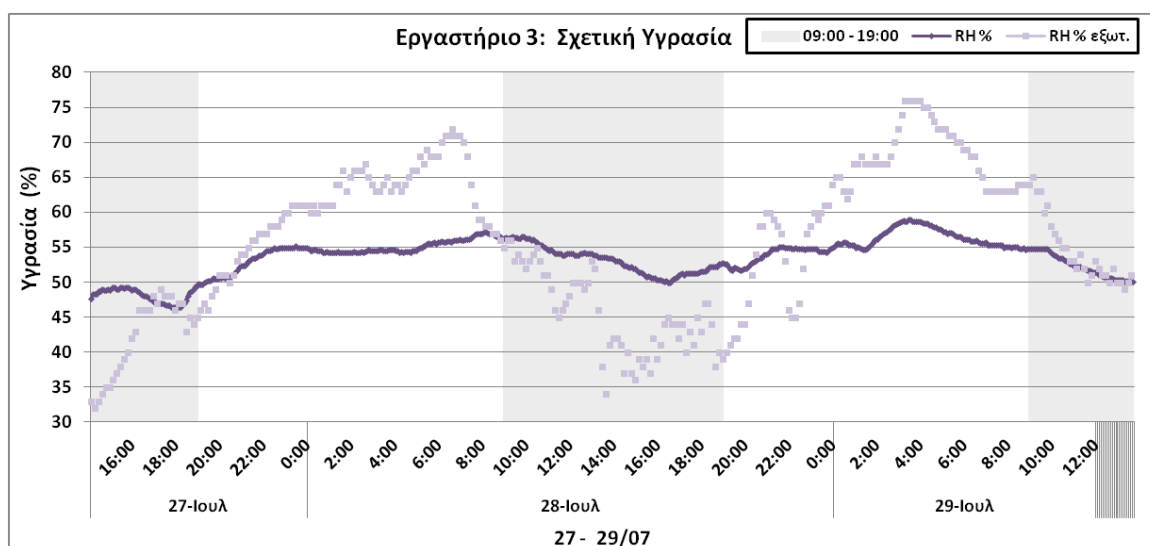
Ωστόσο, οι πειραματικές μετρήσεις δεν επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου. Συγκεκριμένα, υπήρξε διατύπωση παραπόνων σχετικά με αίσθηση υψηλής θερμοκρασίας στο χώρο ορισμένες φορές, η οποία δεν αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το μικρή σχετικά διάρκεια των μετρήσεων, κατά την οποία δεν έτυχε περιστατικό παύσης του συστήματος κλιματισμού το οποίο θα είχε ως αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας. Η κατά διαστήματα απενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού στο υπό μελέτη εργαστήριο (3) ήταν συχνή λόγω των αναγκών ορισμένων εργαστηριακών δραστηριοτήτων.

7.3.2.2 Σχετική Υγρασία

Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας πραγματοποιήθηκε με το όργανο IAQ-CALC 8762 της TSI και έλαβε χώρα, ομοίως με τη μέτρηση της θερμοκρασίας, στο διάστημα από 27 έως 29 Ιουλίου.

Το εύρος των τιμών της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον εργαστηριακό χώρο (3) κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν από 46,4 έως 59%. Αντίστοιχα, η στιγμιαία σχετική υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος κυμάνθηκε μεταξύ 32 και 76%. Τα επίπεδα εσωτερικής σχετικής υγρασίας δε διαφοροποιούνται σημαντικά κατά τις ώρες χρήσης του χώρου (09:00 - 19:00), καθώς κυμαίνονται από 46,4 έως 56,6% (μέση τιμή: 51,2%).

Ωστόσο, οι τιμές του εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τις ίδιες ώρες κυμαίνονται σε ένα πιο περιορισμένο εύρος μεταξύ 32 και 65% (μέση τιμή: 47,4%). Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 7.51, η σχετική υγρασία παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις και γενικότερα μεταβάλλεται ανάλογα με τη σχετική υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Υπενθυμίζεται ότι το νοτιοδυτικό παράθυρο παραμένει ανοιχτό με ανάκλιση με αποτέλεσμα ο χώρος να δέχεται την έντονη επίδραση από την εξωτερική σχετική υγρασία.

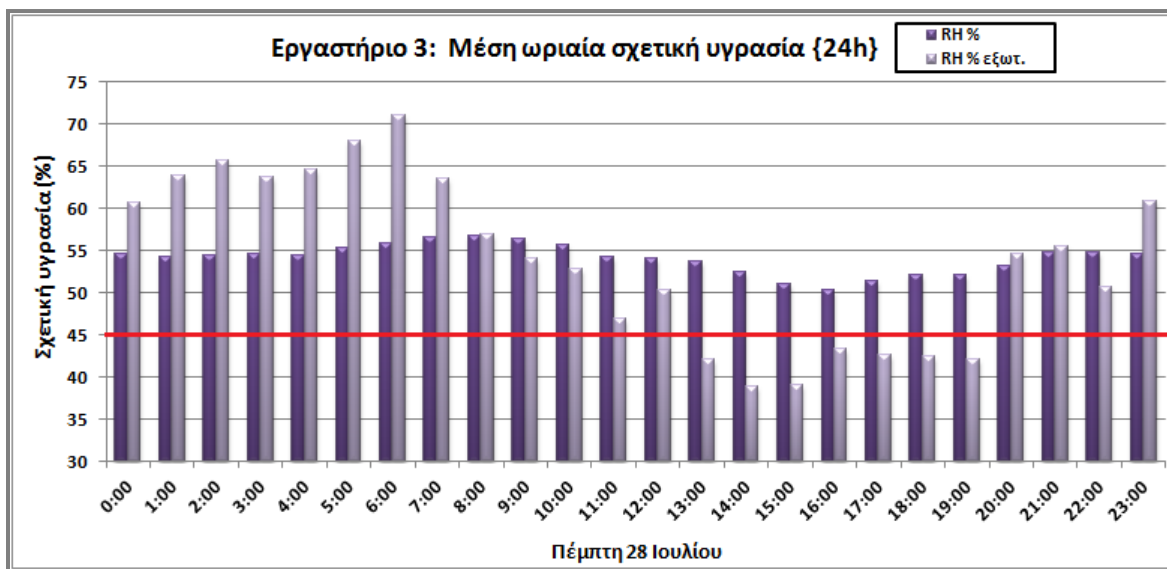


Σχήμα 7.51 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στο εργαστήριο (3) από τις 27 έως τις 29 Ιουλίου.

Στο Σχήμα 7.52 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της 28^{ης} Ιουλίου υπό μορφή μέσων ωριαίων τιμών. Όπως φαίνεται, η σχετική υγρασία ακολουθεί την πτωτική πορεία των υψηλότερων εξωτερικών επιπέδων, η οποία έχει ξεκινήσει από τις 06:00 το πρωί, και συνεχίζεται κατά τη χρονική διάρκεια χρήσης του χώρου έως και τις 16:00 το απόγευμα. Συγκεκριμένα, στο διάστημα λειτουργίας του εργαστηρίου η μέση ωριαία σχετική υγρασία μειώνεται σταδιακά από τις 09:00 έως τις 16:00 κατά 6,1 μονάδες μόνο (από 56,4 σε 50,3%), παρά τη σημαντική μείωση από 54 σε 38,8% που παρατηρείται στο εξωτερικό περιβάλλον έως τις 14:00. Ο λόγος που η σχετική υγρασία δεν παρουσιάζει απότομες μεταβολές έγκειται στο γεγονός ότι στο χώρο εφαρμόζεται συνεχής και χαμηλού ρυθμού αερισμός μέσω του παραθύρου (ανάκλιση), καθώς και της πόρτας που επικοινωνεί με το διάδρομο.

Γενικότερα τα επίπεδα σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο κρίνονται υψηλά, καθώς τα συνολικά αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν ότι η σχετική υγρασία βρίσκεται μονίμως σε υψηλότερες τιμές από τη συνιστώμενη (45%) που ορίζει η σχετική οδηγία TOTEE 20701-1/2010. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν συνάδουν με αυτά

του ερωτηματολογίου καθώς υπήρξε διατύπωση παραπόνων για αίσθηση ξηρής ατμόσφαιρας. Πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη ότι πειράματα έχουν δείξει ότι η αίσθηση της ξηρότητας του αέρα δε φαίνεται να συσχετίζεται με τη μετρούμενη σχετική υγρασία και ότι η ικανότητα του ανθρώπου να εκτιμήσει αντικειμενικά την υγρασία δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη (Sundell & Lindvall, 1993).



Σχήμα 7.52 Διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης μέσω ωριαίων τιμών σχετικής υγρασίας στο εργαστήριο 3 για τις 28/07. Η κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στο συνιστώμενο όριο της TOTEE 20701-1/2010.

7.3.2.3 Φωτεινότητα

Η μέτρηση της φωτεινότητας του χώρου πραγματοποιήθηκε με το όργανο 764 Environmental Monitor της ELSEC στις 29 Ιουλίου (11:00, 14:00 και 17:00) και έλαβε χώρα σε διάφορα σημεία του εργαστηρίου (3) προκειμένου να υπολογιστεί μία μέση τιμή.

Πίνακας 7.6 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 3.

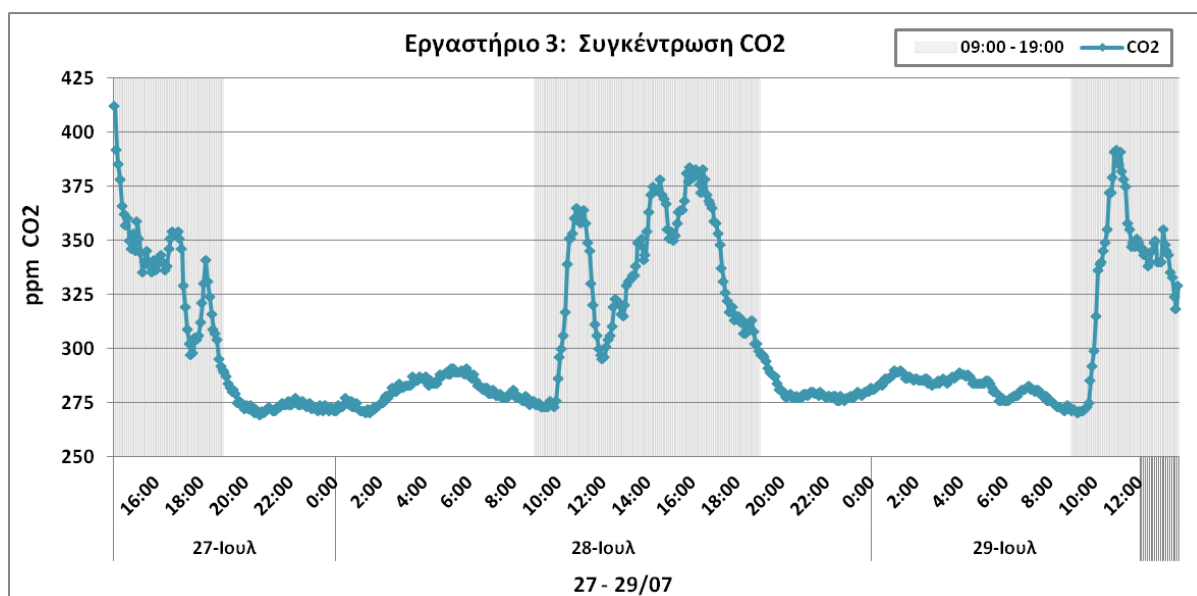
Στατιστικά δεδομένα	Στάθμη φωτισμού (Lux)		
	11:00	14:00	17:00
Min	61	90	110
Max	215	350	650
Mean	108	204	315

Στο υπό μελέτη εργαστήριο είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι οι πειραματικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα επιβάλλουν την απουσία τεχνητού φωτισμού, συνεπώς κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας οι ανάγκες φωτισμού καλύπτονται από το φυσικό φως. Σημειώνεται επίσης ότι σε δύο από τα ανοίγματα του χώρου δε γίνεται χρήση των

ηλιοπροστατευτικών περσίδων προκειμένου να μην παρεμποδίζεται η παροχή φυσικού φωτισμού στο χώρο. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι μετρήσεις έδειξαν ότι τα επίπεδα ήταν πιο χαμηλά σε σχέση με τους χώρους που φωτίζονταν τεχνητά. Η μέση τιμή φωτεινότητας ανέρχεται σε 209 lx, τιμή που σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2010 δεν εξασφαλίζει στους χρήστες την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα φωτισμού για την άσκηση των δραστηριοτήτων τους στο χώρο. Η ανεπάρκεια φωτισμού αντικατοπτρίζεται και στη συμπλήρωση του σχετικού ερωτηματολογίου καθώς υπήρξε διατύπωση παραπόνων για συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Ωστόσο, δεν υπήρξε ομοφωνία από όλους τους χρήστες, γεγονός που υποδηλώνει την εξοικείωση τους με τις συνθήκες εργασίας.

7.3.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η συγκέντρωση CO₂ μετρήθηκε στο εργαστήριο (3) με το όργανο IAQ-CALC 8762 της εταιρείας TSI. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε από τις 27 έως τις 29 Ιουλίου.



Σχήμα 7.53 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO₂ στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (3) από τις 27 έως τις 29 Ιουλίου.

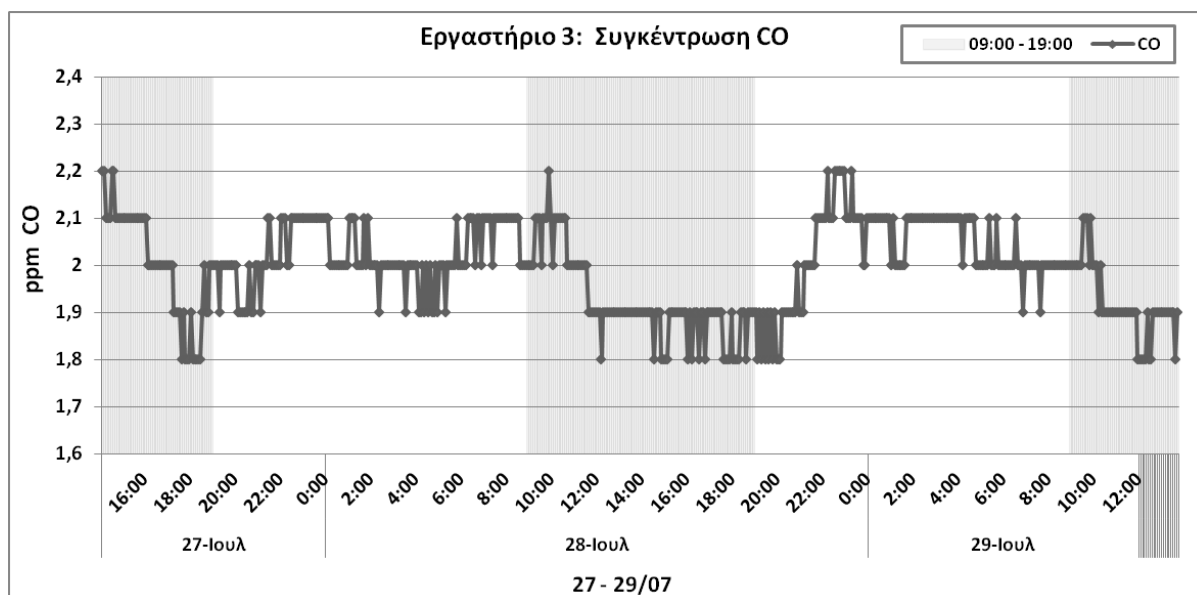
Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων η στιγμιαία συγκέντρωση του CO₂ κυμάνθηκε από 269 ppm έως 412 ppm. Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα (Σχήμα 7.53), όταν ο χώρος βρίσκεται σε χρήση, η συγκέντρωση του CO₂ αυξάνεται, ενώ από το απόγευμα μέχρι και τις πρώτες πρωινές ώρες μειώνεται. Η τάση αυτή είναι αντιπροσωπευτικής όλης της εβδομάδας. Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται κατά τις ώρες χρήσης οφείλονται στην παρουσία των χρηστών (εκπομπή CO₂ μέσω της ανθρώπινης αναπνοής) στο χώρο

καθώς και διαφόρων επισκεπτών. Τα άτομα στο χώρο αυτό αποχωρούν αργά το απόγευμα με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές μέχρι τις 19:00 το απόγευμα.

Ωστόσο, τα κυμαινόμενα επίπεδα είναι αρκετά χαμηλά συγκριτικά με τα ισχύοντα εθνικά και διεθνή όρια συγκέντρωσης CO₂. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι ο διαρκής αερισμός που υφίσταται στο χώρο διαδραματίζει ενεργό ρόλο όσον αφορά στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα καθώς μειώνει σημαντικά τα επίπεδα συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα.

7.3.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Η μέτρηση της συγκέντρωσης CO πραγματοποιήθηκε με το όργανο IAQ-CALC 8762 ταυτοχρόνως με τη μέτρηση της συγκέντρωσης CO₂.



Σχήμα 7.54 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO στον υπό μελέτη χώρο (3) από τις 27 έως τις 29 Ιουλίου.

Ομοίως με τα προαναφερθέντα αποτελέσματα των υπολοίπων εξεταζόμενων εργαστηριακών χώρων, οι μετρήσεις της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα έδειξαν ότι τα κυμαινόμενα επίπεδα CO (από 1,8 έως 2,2 ppm) στο χώρο (3) είναι χαμηλότερα από αυτά που προτείνουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα (9 ppm).

7.3.2.6 Ραδόνιο

Η ισοδύναμη συγκέντρωση ραδονίου μετρήθηκε στα πλαίσια της πρώτης φάσης με χρήση του οργάνου DOSEman – Pro της εταιρείας SARAD. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 29 Ιουλίου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση στον εργαστηριακό χώρο (3) ήταν ίση με $7,05 \text{ Bq/m}^3$ (ή $0,19 \text{ pCi/l}$). Τα επίπεδα αυτά είναι εξαιρετικά χαμηλά σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των διεθνών και εθνικών προδιαγραφών. Το όργανο υπολογίζει και τη δόση ακτινοβολίας του ραδονίου, η οποία ανήλθε στα $0,06 \text{ μSv}$. Αναφέρουμε ότι για το γενικό πληθυσμό το όριο έκθεσης σε ακτινοβολία είναι 1 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους.

7.3.2.7 Ακτινοβολία γ

Η μέτρηση του ρυθμού ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h) πραγματοποιήθηκε με χρήση του ανιχνευτή και μετρητή ακτινοβολίας Dose Rate Measuring Unit FH 40 G την 1^η Αυγούστου.

Η μέση τιμή ισοδύναμης δόσης για τον εργαστηριακό χώρο (3), όπως προέκυψε έπειτα από εκτέλεση τριών διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων (Παράρτημα IV), ανήλθε σε $67,1 \text{ nSv/h}$. Η τιμή αυτή ισοδυναμεί με $0,59 \text{ mSv/έτος}$. Δεδομένου ότι η ισοδύναμη δόση είναι ίση με την ενεργό ($W_T = 1$) και ότι το όριο ενεργού δόσης κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι 1 mSv (ICRP, 1990), η τιμή αυτή κρίνεται ασφαλής.

7.3.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια

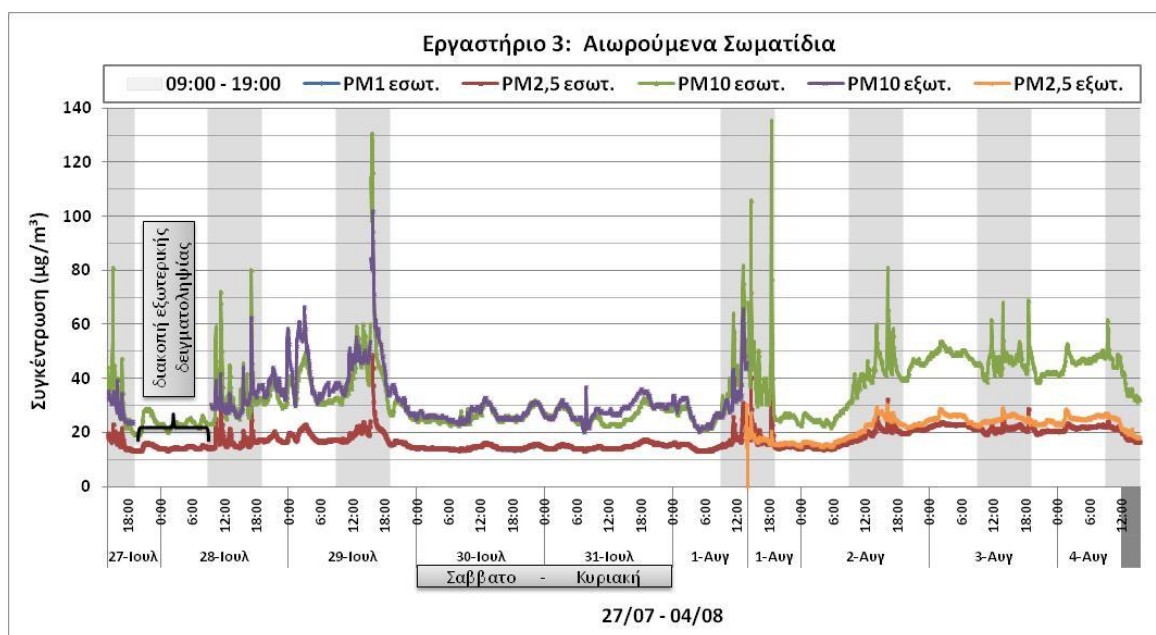
7.3.2.8.1 Συγκέντρωση μάζας

Η μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} πραγματοποιήθηκε στο χώρο (3) με το όργανο DustTrak DRX 8534 για το χρονικό διάστημα από 27 Ιουλίου έως 4 Αυγούστου. Ταυτόχρονα, στο διάστημα από 27 Ιουλίου έως 1 Αυγούστου έλαβε χώρα μέτρηση της συγκέντρωσης των εξωτερικών σωματιδίων PM_{10} , ενώ από 1 έως 4 Αυγούστου μετρήθηκαν τα εξωτερικά επίπεδα $\text{PM}_{2,5}$. Η μέτρηση στο άμεσο εξωτερικό περιβάλλον πραγματοποιήθηκε μέσω σωλήνα με το DustTrak II 8532. Τα δύο όργανα κατέγραφαν ταυτόχρονα τις μετρήσεις ανά 5 λεπτά. Σημειώνεται ότι, λόγω τεχνικών προβλημάτων, υπήρξε μία παύση της μέτρησης της εξωτερικής

συγκέντρωσης για περίπου 14 ώρες, στις 27/07, στο διάστημα από 19:00 έως 09:30 της επόμενης (28/07). Τα συνολικά αποτελέσματα για όλα τα κλάσματα μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων που μετρήθηκαν απεικονίζονται στο Σχήμα 7.55.

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια της εβδομάδας των μετρήσεων κυμάνθηκε στο εύρος από 19 έως 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} , από 13 έως 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $\text{PM}_{2,5}$ και από 13 έως 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_1 . Οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρήθηκαν τις μεσημεριανές ώρες, κατά τις οποίες διεξάγονταν εργαστηριακές δραστηριότητες εντός του χώρου (τα χρονικά διαστήματα χρήσης του χώρου παρουσιάζονται με τη μορφή της σκιαγραφημένης επιφάνειας).

Τα αντίστοιχα εύρη διακύμανσης για το εξωτερικό περιβάλλον ήταν από 20 έως 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} και από 15 έως 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $\text{PM}_{2,5}$. Οι εξωτερικές συγκεντρώσεις σε σχέση με την επίδραση τους στα εσωτερικά επίπεδα σωματιδίων θα αναλυθούν παρακάτω.

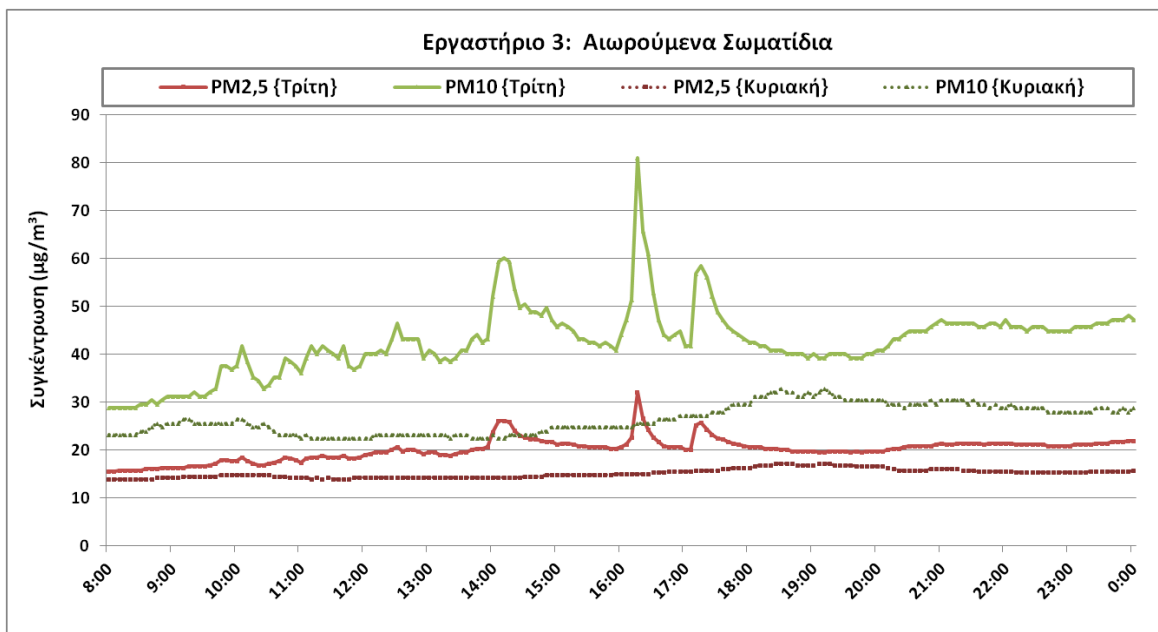


Σχήμα 7.55 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (3) την εβδομάδα των μετρήσεων (27 Ιουλίου έως 4 Αυγούστου).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα ισχύοντα όρια για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια, διαπιστώνουμε ότι οι μέσες συγκεντρώσεις PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ στο εργαστήριο (3) κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα από τα ημερήσια όρια. Λαμβάνοντας όμως υπόψη τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις σε ετήσια βάση που προτείνονται από την Ε.Ε. και

τον Π.Ο.Υ, διαπιστώνουμε ότι η μέση τιμή των $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} είναι υψηλότερη σε σχέση με το ετήσιο όριο της Ε.Ε. και του Π.Ο.Υ ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ η μέση τιμή των $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ υπερβαίνει το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και της EPA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όμοια συμπεράσματα εξάγονται και για τις εξωτερικές μέσες συγκεντρώσεις ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$).

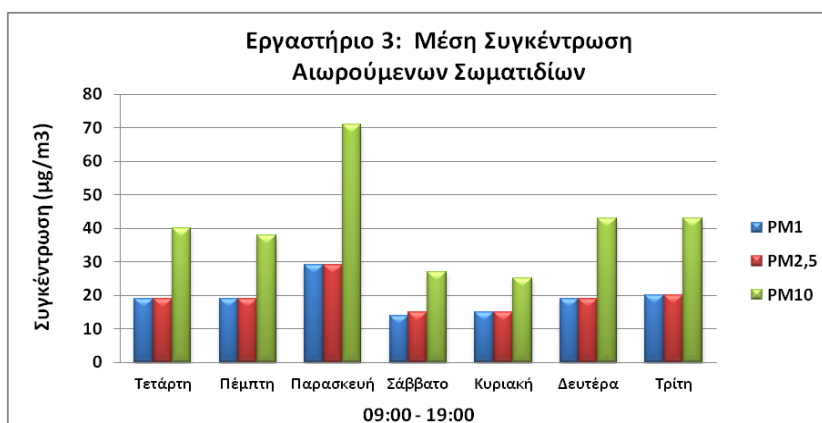
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αιχμές που παρατηρούνται στη χρονοσειρά, στις 29/07 και 01/08, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης μάζας. Οι έντονες αυτές αυξήσεις, οι οποίες σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των μεσημβρινών ωρών, οφείλονται σύμφωνα με αναφορές των χρηστών του εργαστηρίου στη διεξαγωγή ζύγισης εδαφικών δειγμάτων σε ζυγό ακριβείας. Μικρότερες αυξήσεις σημειώθηκαν και τις υπόλοιπες ημέρες και ώρες χρήσης του εργαστηρίου, οι οποίες αποδίδονται και αυτές σε πειραματικές εργασίες επεξεργασίας εδαφικών δειγμάτων που είχαν ως αποτέλεσμα την παραγωγή σκόνης. Ωστόσο, στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι στις 29/07, συγκεκριμένα στις 15:25, υπήρξε καταγραφή μίας κατά πολύ υψηλότερης τιμής συγκέντρωσης, της τάξης των $3133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} , $1040 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ και $1038 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_1 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές, λόγω της πολύ μεγάλης τους απόκλισης από το σύνολο των υπολοίπων, αφαιρέθηκαν καθώς δε μπόρεσε να επιβεβαιωθεί το αν οφείλονται σε εργαστηριακή δραστηριότητα, όπως οι αυξήσεις που προαναφέρθηκαν, και να αποκλειστεί το ενδεχόμενο σφάλματος του οργάνου (επηρεασμού της μέτρησης από εξωτερικό παράγοντα).



Σχήμα 7.56 Σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης μάζας μεταξύ μίας αργίας (Κυριακή) και μίας εργάσιμης ημέρας στον εργαστηριακό χώρο 3.

Επιπλέον, οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι η συγκέντρωση μάζας τόσο των σωματιδίων PM_{2,5}, όσο και των σωματιδίων PM₁₀, παρουσιάζει αυξημένες τιμές κατά τις εργάσιμες ημέρες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για το Σαββατοκύριακο, λόγω των εκπομπών σωματιδίων από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός του εργαστηρίου. Η αύξηση αυτή φαίνεται και στο Σχήμα 7.56, όπου παρουσιάζεται η τυπική συγκέντρωση σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5} κατά τη διάρκεια μίας εργάσιμης ημέρας (Τρίτη 02/08) σε σύγκριση με τη συγκέντρωση κατά τη διάρκεια αργίας (Κυριακή 31/07). Οι μετρήσεις αφορούν στο χρονικό διάστημα από τις 8 το πρωί έως τις 12 τα μεσάνυχτα.

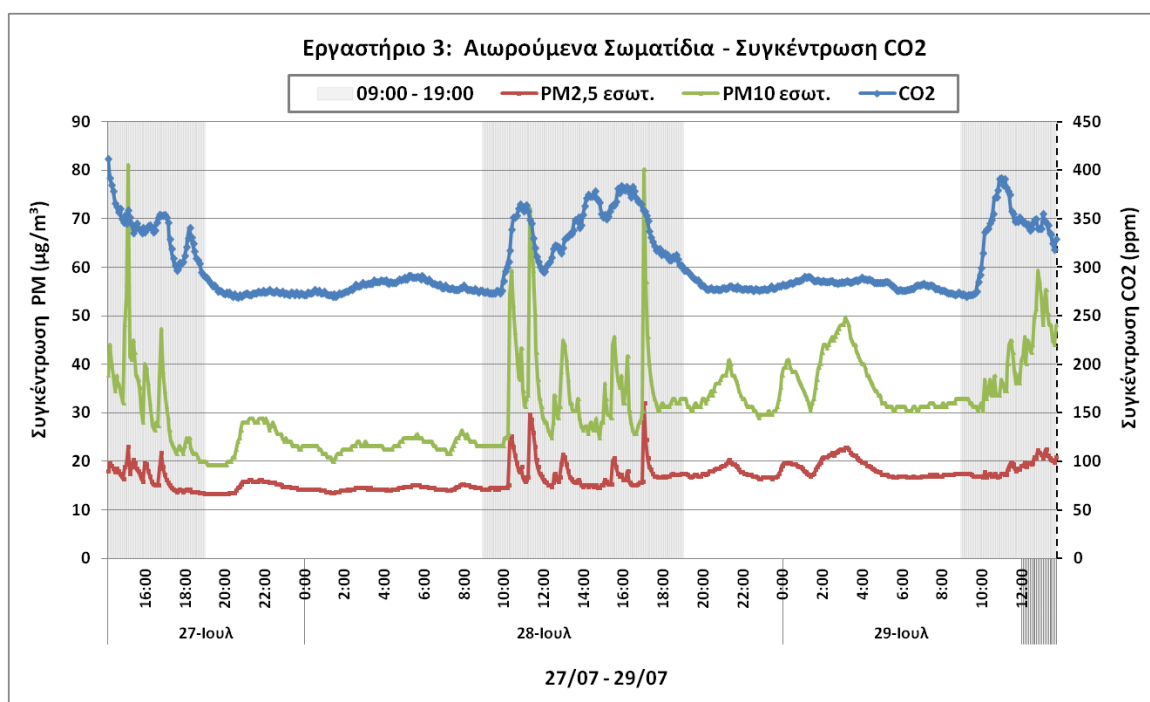
Η παραπάνω διαπίστωση γίνεται επίσης αντιληπτή και από το Σχήμα 7.57, στο οποίο παρουσιάζονται τα μέσα επίπεδα συγκέντρωσης για τα τρία μεγέθη σωματιδίων που μετρήθηκαν κατά τις ώρες χρήσης (09:00 – 19:00) του υπό μελέτη εργαστηριακού χώρου (3) για το διάστημα 27/07 έως 4/08. Η μέση τιμή της Τετάρτης έχει υπολογιστεί με βάση τα δεδομένα της 27^{ης} Ιουλίου και 3^{ης} Αυγούστου, ενώ για την τιμή της Πέμπτης έχουν συνυπολογιστεί οι συγκεντρώσεις 29^{ης} Ιουλίου και 4^{ης} Αυγούστου. Κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου (30-31/07) ο χώρος παρέμεινε κλειστός και δεν έλαβε χώρα καμία δραστηριότητα, κάτι το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την αισθητά μειωμένη διακύμανση των συγκεντρώσεων σε σχέση με τις ημέρες που το εργαστήριο (3) λειτουργούσε. Οι μέγιστες μέσες συγκεντρώσεις σημειώνονται την Παρασκευή, κατά την οποία ημέρα παρατηρήθηκαν και οι μέγιστες στιγμιαίες τιμές (Σχήμα 7.55).



Σχήμα 7.57 Διάγραμμα μέσων τιμών συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ανά ημέρα και κατά τις ώρες χρήσης του εργαστηριακού χώρου 3 για το διάστημα 27/07 - 04/08.

Στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 7.58) αποτυπώνεται η διακύμανση των επιπέδων συγκέντρωσης της μάζας αιωρούμενων σωματιδίων ταυτόχρονα με του διοξειδίου του άνθρακα στο χώρο (27 - 29/07). Από το διάγραμμα διαπιστώνεται η επίδραση που έχει η

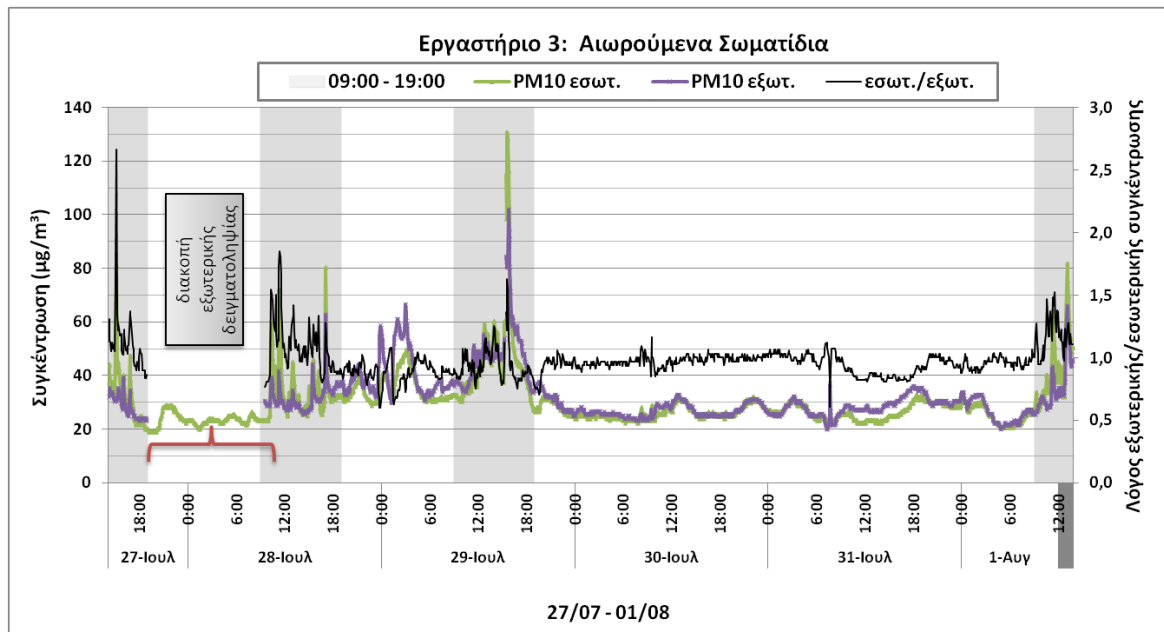
παρουσία ατόμων στον εξεταζόμενο χώρο (09:00 – 19:00) στη διαμόρφωση των επιπέδων PM, καθώς ακολουθούν ανάλογες μεταβολές με τη συγκέντρωση CO₂. Η συγκέντρωση του CO₂ μεταβάλλεται ανάλογα με τα άτομα που βρίσκονται κάθε στιγμή εντός του εργαστηρίου, δεδομένου ότι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα σε έναν εσωτερικό χώρο είναι ο αριθμός ατόμων που υπάρχουν στο χώρο.



Σχήμα 7.58 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5}, PM₁₀ και της συγκέντρωσης CO₂ στον υπό μελέτη χώρο (3) από 27 Ιουλίου έως 4 Αυγούστου.

Εξετάζοντας τις σχέσεις μεταξύ των μετρούμενων μεγεθών σωματιδίων στο εσωτερικό περιβάλλον, βρέθηκε ότι τα PM_{2,5} αποτελούν κατά μέσο όρο το 53% των σωματιδίων PM₁₀ (εύρος διακύμανσης: 28 – 69%), με το ποσοστό να παίρνει τις χαμηλότερες τιμές τις ώρες παρουσίας χρηστών στο χώρο (Σχήμα Π III-31). Το γεγονός αυτό μας δείχνει ότι η παρουσία ατόμων στο εργαστήριο και η διεξαγωγή εργασιών από αυτά είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή περισσότερων σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 2,5 µm. Τα σωματίδια αυτά παράγονται κυρίως λόγω επαναιώρησης σκόνης που έχει εναποτεθεί στις διάφορες επιφάνειες. Υπολογίστηκε επίσης ότι τα σωματίδια PM₁ αποτελούν το 99% της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{2,5}. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις όλων των κλασμάτων μεγέθους παρουσίασαν μεταξύ τους ισχυρότατες συσχετίσεις ($R^2 > 0,85$, Σχήμα Π III-32). Κατά συνέπεια εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα σωματίδια προέρχονται από κοινές πηγές.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε την επίδραση που δέχονται οι εσωτερικές συγκεντρώσεις από το εξωτερικό περιβάλλον. Από τις 27/07 έως την 1/08 παράλληλα με τις εσωτερικές συγκεντρώσεις μετρήθηκε και η εξωτερική για τα σωματίδια PM_{10} (Σχήμα 7.59). Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι οι εσωτερικές συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από τις ελαφρώς υψηλότερες εξωτερικές, με εξαίρεση τα διαστήματα λειτουργίας του εργαστηρίου κατά τα οποία ορισμένες πειραματικές δραστηριότητες είχαν ως αποτέλεσμα οι εσωτερικές τιμές να υπερβαίνουν τις συγκεντρώσεις των εξωτερικών PM_{10} . Υπενθυμίζεται ότι ο κύριος τρόπος αερισμού του υπό μελέτη χώρου ήταν μέσω ενός μονίμως ανοιχτού (με ανάκλιση) παραθύρου, καθώς το σύστημα κλιματισμού τις περισσότερες από τις ώρες χρήσης του εργαστηρίου ήταν εκτός λειτουργίας. Το ανοιχτό παράθυρο ευνοούσε την εμφάνιση υψηλότερων τιμών συγκέντρωσης στον εσωτερικό χώρο και κατά τη διάρκεια της νύχτας (βλ. νυχτερινές ώρες 28 προς 29/07).



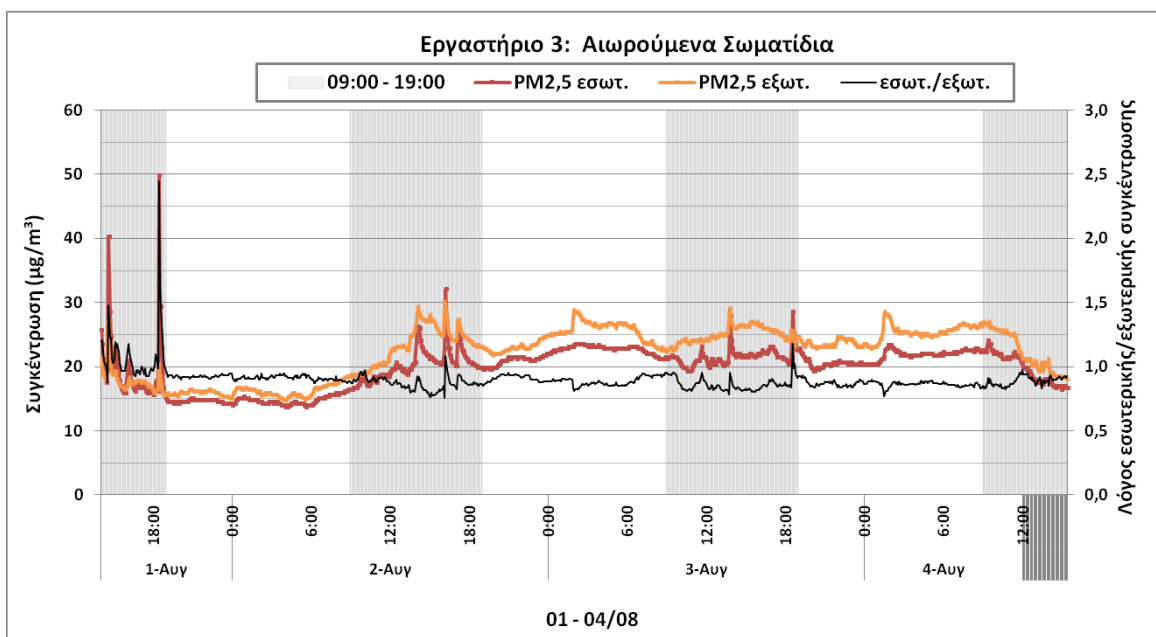
Σχήμα 7.59 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (3) και του λόγου I/O από 27 Ιουλίου έως 1 Αυγούστου.

Η αναλογία μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων (I/O) των PM μας παρέχει μια ένδειξη για το αν τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στους εσωτερικούς χώρους είναι το αποτέλεσμα παραγωγής εντός του εσωτερικού περιβάλλοντος ή προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον. Σε περίπτωση απουσίας εσωτερικών πηγών ο λόγος I/O θα είναι μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα. Το κυμαινόμενο εύρος που παρουσιάστηκε για τα σωματίδια PM_{10} ήταν από 0,60 έως 2,66, τιμή που υπολογίστηκε για τη στιγμή (27/07, 15:10) που η εσωτερική συγκέντρωση σημείωσε την υψηλή τιμή των $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ την ίδια στιγμή η εξωτερική ήταν $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Λόγω της

μικρής διαφοράς που εμφάνισαν το μεγαλύτερο διάστημα οι δύο συγκεντρώσεις, η μέση τιμή του λόγου εμφανίζει τιμή κοντά στη μονάδα (0,97). Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει περισσότερο τις συνθήκες απουσίας ατόμων, καθώς αυτές κάλυπταν το μεγαλύτερο μέρος του διαστήματος δειγματοληψίας συμπεριλαμβανομένων και των ημερών του Σαββατοκύριακου. Εξετάζοντας ξεχωριστά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου, διαπιστώθηκε ότι παρουσία ατόμων η μέση τιμή του λόγου ανέρχεται σε 1,08, ενώ απουσία ατόμων ήταν μικρότερη της μονάδας (0,94).

Μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση καθώς ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) για το σύνολο των μετρήσεων προέκυψε ίσος με 0,7335. Η συσχέτιση είναι ελαφρώς χαμηλότερη ($R^2 = 0,6586$) τα διαστήματα χρήσης του χώρου λόγω της επίδρασης των εσωτερικών πηγών και υψηλότερη ($R^2 = 0,8141$) τα διαστήματα πλήρους απουσίας δραστηριοτήτων. Όμοια συμπεράσματα εξάγονται και για τα $PM_{2,5}$, η εξωτερική συγκέντρωση των οποίων μετρήθηκε από 1 έως 4/08. Οι ακόμα πιο ισχυρές συσχετίσεις που προέκυψαν ($R^2 = 0,8544$ για το σύνολο των μετρήσεων έχοντας εξαιρέσει δύο τιμές) υποδηλώνουν ότι τα λεπτά σωματίδια προέρχονται σε μεγαλύτερο βαθμό από το εξωτερικό περιβάλλον. Τα σχετικά διαγράμματα διασποράς παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙΙ (Σχήματα ΙΙ ΙΙΙ-33 έως 36).

Το γεγονός ότι ο παράγοντας του αερισμού υπό μορφή εισόδου σωματιδίων $PM_{2,5}$ από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό είναι σημαντικός στο χώρο (3) φαίνεται στο Σχήμα 7.60, από το οποίο διαπιστώνεται ότι κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα η συγκέντρωση των σωματιδίων στο εξωτερικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση στον εσωτερικό χώρο. Συγκεκριμένα το πηλίκο της συγκέντρωσης των σωματιδίων εντός και εκτός του χώρου κυμαίνεται στο εύρος από 0,75 έως 2,45, ενώ η μέση τιμή ανέρχεται σε 0,90. Πιο αναλυτικά στα χρονικά διαστήματα που γίνεται χρήση του χώρου ο μέσος λόγος διαμορφώνεται στην τιμή 0,92, ενώ σε συνθήκες απουσίας ατόμων παρουσιάζει πολύ μικρή διαφορά και ισούται με 0,89. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών ο μέσος λόγος I/O εμφανίζει ελαφρώς μεγαλύτερη (στις 2/08 μεταξύ 09:00 και 19:00 προκύπτει 0,87, ενώ από τις 19:00 έως τις 09:00 της επομένης υπολογίζεται σε 0,89) ή και ίση τιμή (π.χ. στις 3/08) σε σχέση με τις ώρες χρήσης του χώρου. Αυτό ενισχύει το συμπέρασμα ότι οι εσωτερικές συγκεντρώσεις $PM_{2,5}$ εντός του χώρου επηρεάζονται κυρίως από τις εξωτερικές συγκεντρώσεις.



Σχήμα 7.60 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (3) και του λόγου I/O από 1 έως 4 Αυγούστου.

Τα κυριότερα αποτελέσματα μέτρησης συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων για τον εργαστηριακό χώρο (3) συνοψίζονται στον Πίνακα 7.7. Οι εργαστηριακές δραστηριότητες του χώρου συνέβαλαν σημαντικά στην αύξηση των εσωτερικών επιπέδων. Επίσης οι χαμηλότερες τιμές του λόγου I/O που παρατηρήθηκαν για τα PM_{2,5} σε σχέση με τα PM₁₀ φανερώνουν ότι οι εσωτερικές πηγές εκπέμπουν κυρίως σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους, ως αποτέλεσμα των εργαστηριακών αναλύσεων που αφορούσαν στην επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων. Τα σωματίδια που εκπέμπονται από την επαναιώρηση του εδάφους αποτελούνται κυρίως από χονδρά σωματίδια.

Πίνακας 7.7 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀, καθώς και των λόγων I/O (PM_{2,5}) και I/O (PM₁₀), κατά τις ώρες χρήσης και μη του χώρου (3).

Μέγεθος σωματιδίων	Στατιστικά δεδομένα	Παρουσία ατόμων		Απουσία ατόμων	
		μg/m ³	I/O	μg/m ³	I/O
PM ₁	Min	13	-	13	-
	Max	50	-	24	-
	Mean	19	-	16	-
PM _{2,5}	Min	13	0,75	13	0,77
	Max	50	2,45	24	0,92
	Mean	19	0,92	16	0,89
PM ₁₀	Min	20	0,75	19	0,60
	Max	136	2,66	54	1,16
	Mean	41	1,08	31	0,94

Επιπλέον οι υψηλές συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM_{10} , ιδιαίτερα κατά τα διαστήματα παρουσίας ατόμων στο χώρο, πιθανόν δικαιολογούν την εμφάνιση των συμπτωμάτων που αναφέρθηκαν από τους χρήστες στο σχετικό ερωτηματολόγιο, όπως η ρινική συμφόρηση και το φτάρνισμα, καθώς επίσης δικαιολογούν και την αίσθηση αποπνικτικής ατμόσφαιρας τις στιγμές που λαμβάνουν χώρα πειραματικές διεργασίες με παραγωγή σκόνης. Η αίσθηση αποπνικτικής ατμόσφαιρας έχει να κάνει με το γεγονός ότι, όπως έχει αποδειχτεί, η θερμοκρασία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν το αίσθημα φρεσκάδας του αέρα. Σε υψηλές θερμοκρασίες απαιτείται υψηλή ταχύτητα αέρα για να χαρακτηριστεί ο αέρας φρέσκος. Για τον υπό μελέτη χώρο (3) υπήρξε διατύπωση παραπόνων σχετικά με υψηλές επικρατούσες θερμοκρασίες στο χώρο, καθώς λόγω των αναγκών των εκπονούντων πειραμάτων (π.χ. διεξαγωγή ζύγισης ακριβείας) επιβαλλόταν η παύση λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού.

Τέλος, εξετάστηκαν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τις εσωκλιματικές και εξωτερικές μετεωρολογικές παραμέτρους αλλά δε βρέθηκε καμία σημαντική συσχέτιση (Σχήματα Π III-37 έως 44). Σημειώνεται ότι η ανάλυση των δεδομένων αφορά στο περιορισμένο χρονικό διάστημα 27 – 29/07, κατά το οποίο μετρήθηκαν εντός του χώρου η εσωτερική θερμοκρασία και σχετική υγρασία.

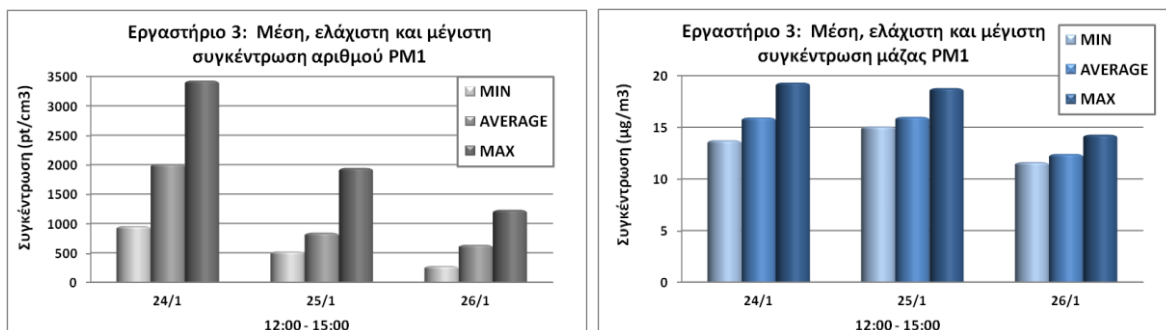
7.3.2.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

Η μέτρηση του αριθμού ανά κυβικό εκατοστόμετρο ($particles/cm^3$) των μικρών σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, με διάμετρο μικρότερη του 1 μm , έγινε με τη χρήση του οργάνου P-Trak 8525 της TSI. Ταυτόχρονα, μετρήθηκε και η συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων με τον αναλυτή μάζας DustTrak DRX 8534. Οι μετρήσεις ήταν διάρκειας 3 ωρών και πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα από 24 έως 26 Ιανουαρίου.

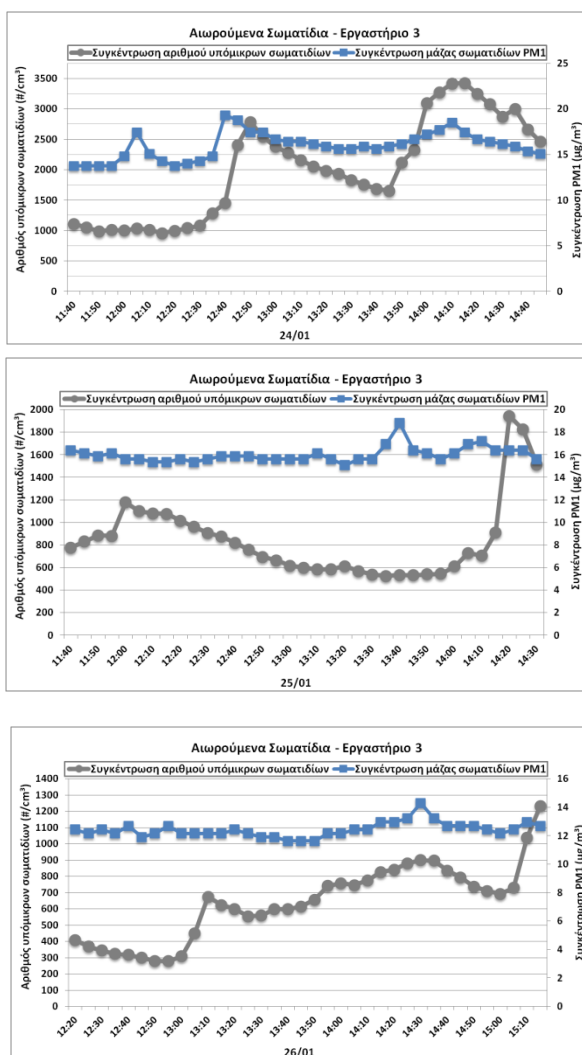
Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στον εξεταζόμενο χώρο τα παράθυρα ήταν μονίμως κλειστά και το σύστημα κλιματισμού ήταν απενεργοποιημένο. Η πόρτα του χώρου παρέμενε ανοιχτή ως επί το πλείστον με εξαίρεση μικρά χρονικά διαστήματα κατά τα οποία έκλεινε.

Τα κυμαινόμενα επίπεδα για τον υπό μελέτη χώρο (3) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών αυτής της φάσης (B) που έλαβαν χώρα σε ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου (12:00 – 15:00) ήταν από 279 έως 3430 pt/cm^3 (μέση τιμή: 1184 pt/cm^3) για

τη συγκέντρωση αριθμού και από 12 έως 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τη συγκέντρωση μάζας σωματιδίων PM_{10} . Τα αποτελέσματα ανά ημέρα παρουσιάζονται στα Σχήματα 7.61 και 7.62.



Σχήμα 7.62 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης Σχήμα 7.61 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} ($0,02 - 1 \mu\text{m}$) στον εργαστηριακό χώρο μάζας PM_{10} στον εργαστηριακό χώρο 3 (24 – 26/01). 3 (24 – 26/01).



Σχήμα 7.63 Διαγράμματα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} ($0,02 - 1 \mu\text{m}$) και μάζας PM_{10} για τις 24, 25 και 26/01 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 3.

Γενικότερα δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης μάζας και συγκέντρωσης αριθμού καθώς οι συντελεστές προσδιορισμού ($R^2 = 0,0103 - 0,4331$) παρουσίασαν μεγάλη μεταβλητότητα ανά ημέρα (Σχήματα Π III-45 έως 47). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι δε μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη διακύμανση της συγκέντρωσης είτε αριθμού είτε μάζας με βάση τη μέτρηση της άλλης.

Τα προφίλ διακύμανσης των συγκεντρώσεων ανά δειγματοληψία παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.63. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής εργαστηριακών δραστηριοτήτων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η μέγιστη τιμή αριθμού

σωματιδίων PM_1 (3430 pt/cm^3) που σημειώθηκε στις 24/01 (14:15) συμπίπτει χρονικά με τη διεξαγωγή πειράματος κατά το οποίο χρησιμοποιείται φλόγα για αποστείρωση. Συγκεκριμένα, η άνοδος των τιμών της συγκέντρωσης αριθμού συντελέστηκε παρουσία ενός ατόμου σε χρονικό διάστημα 30 λεπτών και ήταν της τάξης των 1776 pt/cm^3 . Για τη συγκέντρωση μάζας παρατηρήθηκε μία μικρότερη αύξηση της τάξης των 3 μg/m^3 , ενώ η εμφάνιση της μέγιστης τιμής της (19 μg/m^3) προηγήθηκε χρονικά κατά 5 λεπτά (Σχήμα 7.63A). Οι διαδικασίες καύσης αποτελούν βασικές εσωτερικές πηγές εκπομπής μικρών σωματιδίων, γι αυτό και επηρεάζουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις (Morawska and Zhang, 2002; Chow, 1995).

Στην ίδια πηγή (διαδικασία αποστείρωσης με φλόγα) αποδίδεται και η μέγιστη τιμή (1944 pt/cm^3) που παρουσιάστηκε στις 25/01 (14:20), παρουσία 2 ατόμων, η οποία βέβαια δε φτάνει τα επίπεδα της 24^{15} Ιανουαρίου. Συγκεκριμένα ο αριθμός σωματιδίων μέσα σε ίσης διάρκειας χρονικό διάστημα (30 λεπτά) αυξήθηκε κατά 1403 pt/cm^3 , ενώ για τη συγκέντρωση μάζας παρατηρήθηκε μία μικρή αύξηση (1 μg/m^3) 10 λεπτά νωρίτερα (Σχήμα 7.63B). Η διαφορά στο βαθμό αύξησης πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι στις 24/01 η πόρτα ήταν κλειστή κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, σε αντίθεση με τις 25/01 που ήταν ανοιχτή, δεδομένου ότι ο αερισμός του χώρου συμβάλει στην ταχύτερη απομάκρυνση των λεπτών σωματιδίων (Schneider et al., 1990).

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι η διαδικασία καύσης που συντελέστηκε επηρέασε σε μεγαλύτερο βαθμό τον αριθμό των σωματιδίων από ότι τη μάζα. Οι διαφορές στην αύξηση της συγκέντρωσης μάζας και στην αύξηση της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων οφείλονται στα διαφορετικού μεγέθους σωματίδια (με διάμετρο μικρότερη από 1 μm) που εκπέμπονται από κάθε πηγή. Οι εκπομπές μικρού μεγέθους σωματιδίων συντελούν στη αύξηση του αριθμού τους, ενώ οι εκπομπές μεγαλύτερων σωματιδίων αυξάνουν σημαντικά τη συνολική μάζα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η διαδικασία κοσκινίσματος που έλαβε χώρα στο διάστημα 13:20 – 13:40 προκάλεσε άνοδο της τάξης των 4 μg/m^3 στη συγκέντρωση μάζας, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία αύξηση στον αριθμό των υπόμικρων σωματιδίων. Από αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι διαφορετικές πηγές συνεισφέρουν στην αύξηση του αριθμού και διαφορετικές στην αύξηση της μάζας.

Αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι όλες οι μεταβολές της διακύμανσης των συγκεντρώσεων δε συνδέονται με δραστηριότητες των ατόμων όπως κινήσεις κλπ., γεγονός που δείχνει ότι δε συμβαίνει επαναιώρηση σωματιδίων λόγω της παρουσίας των ατόμων για αυτού του

μεγέθους σωματίδια. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι οι συγκεντρώσεις αριθμού και μάζας επηρεάζονται κυρίως από τις εργαστηριακές δραστηριότητες των ατόμων (χρήση χημικών ουσιών και ειδικού εξοπλισμού).

7.4 Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 4

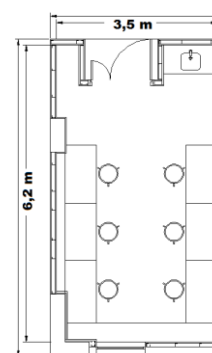
Γενικά στοιχεία

Το εργαστήριο (4), στα πλαίσια του οποίου έγινε και η υλοποίηση της παρούσας διατριβής, δραστηριοποιείται στις παρακάτω ερευνητικές περιοχές:

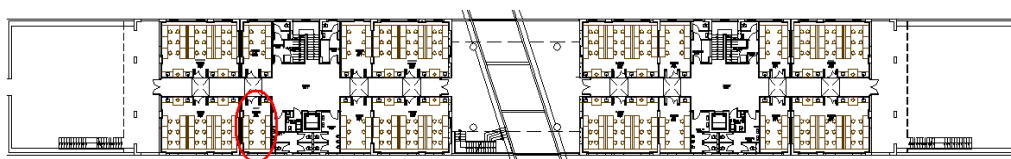
- ✓ Εφαρμοσμένη έρευνα στην μελέτη δυναμικής αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας και των ετερογενών χημικών αντιδράσεων στην επιφάνεια των σωματιδίων αυτών.
- ✓ Ανάπτυξη και εφαρμογή τρισδιάστατων μοντέλων αέριας ρύπανσης.
- ✓ Εφαρμογή μοντέλων ποιότητας αέρα στη μελέτη της διασποράς και φυσικοχημικών διεργασιών ατμοσφαιρικών ρύπων στην τροπόσφαιρα.
- ✓ Μετρήσεις αερίων ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στην ατμόσφαιρα.
- ✓ Μοντελοποίηση και μετρήσεις διεργασιών αερίων ρύπων σε εσωτερικούς χώρους, καθώς και στο ανθρώπινο σώμα.
- ✓ Μετρήσεις της φυσικής ραδιενέργειας ραδονίου και της δόσης ακτινοβολίας σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.
- ✓ Ανάλυση φίλτρων συλλογής αιωρούμενων σωματιδίων. Ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος των οργανικών ενώσεων.

Περιγραφή και λειτουργία χώρου

Ο υπό μελέτη εργαστηριακός χώρος βρίσκεται στο ισόγειο και έχει εμβαδό περίπου 22 m^2 ($6,2 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$). Λαμβάνοντας υπόψη το ύψος των τοίχων που είναι 3 m , ο όγκος υπολογίζεται στα 66 m^3 . Στο Σχήμα 7.65 παρουσιάζεται η θέση του εργαστηρίου στο κτήριο. Όπως φαίνεται και στην κάτοψη (Σχήμα 7.64), ο χώρος διαθέτει ένα παράθυρο με νοτιοανατολικό προσανατολισμό, το οποίο είχε διαρκώς κατεβασμένες τις ηλιοπροστατευτικές περσίδες.



Σχήμα 7.64 Κάτοψη εργαστηριακού χώρου 4.

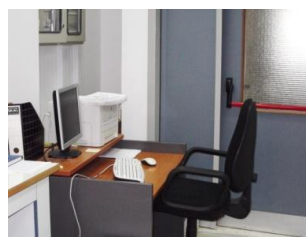
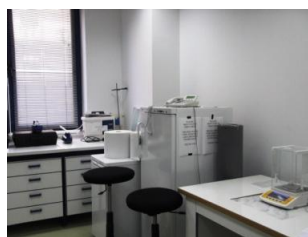


Σχήμα 7.65 Τοποθεσία του εργαστηριακού χώρου 4 στο ισόγειο του υπό μελέτη κτηρίου.

Κατά την είσοδο κάποιου ατόμου στο χώρο η πόρτα, η οποία επικοινωνεί με τον κεντρικό διάδρομο, παρέμενε συνήθως ανοιχτή, σε αντίθεση με το παράθυρο του χώρου, το οποίο ήταν μονίμως κλειστό. Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο τεχνητός φωτισμός σπανίως ετίθετο σε λειτουργία, ενώ ο κλιματισμός λειτουργούσε εφόσον το επέτρεπε η εκάστοτε πειραματική δραστηριότητα.

Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στον υπό μελέτη χώρο (4), η χρήση του εργαστηρίου ήταν αρκετά περιορισμένη. Συγκεκριμένα πρόσβαση στο χώρο είχαν μόνο 2 άτομα για την κάλυψη των πειραματικών τους αναγκών, η παρουσία των οποίων ήταν περιστασιακή χωρίς κάποιο σταθερό πρόγραμμα.

Οι εργαστηριακές δραστηριότητες των χρηστών περιελάμβαναν τη συντήρηση φορητών μετρητικών οργάνων αέριων ρύπων και την ανάλυση φίλτρων συλλογής αιωρούμενων σωματιδίων. Επίσης, ο χώρος διαθέτει έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος ήταν μονίμως σε λειτουργία, καθώς επίσης και έναν εκτυπωτή Laser (Εικόνα 1).



Εικόνα 7.14 Εσωτερικός χώρος του υπό μελέτη εργαστηρίου (4).

Η μελέτη της ποιότητας του εσωτερικού αέρα του χώρου (4) παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον δεδομένου ότι κατά την Α Φάση της διεξαγωγής των πειραματικών μετρήσεων υπήρξαν αρκετές μέρες που το εργαστήριο παρέμεινε κλειστό, χωρίς την παρουσία κανενός χρήστη. Ο λόγος είναι ότι δίνεται η ευκαιρία να εξετασθούν τα κυμαινόμενα επίπεδα τιμών των μετρούμενων παραμέτρων σε σταθερές συνθήκες.

7.4.1 Αποτελέσματα μετρήσεων

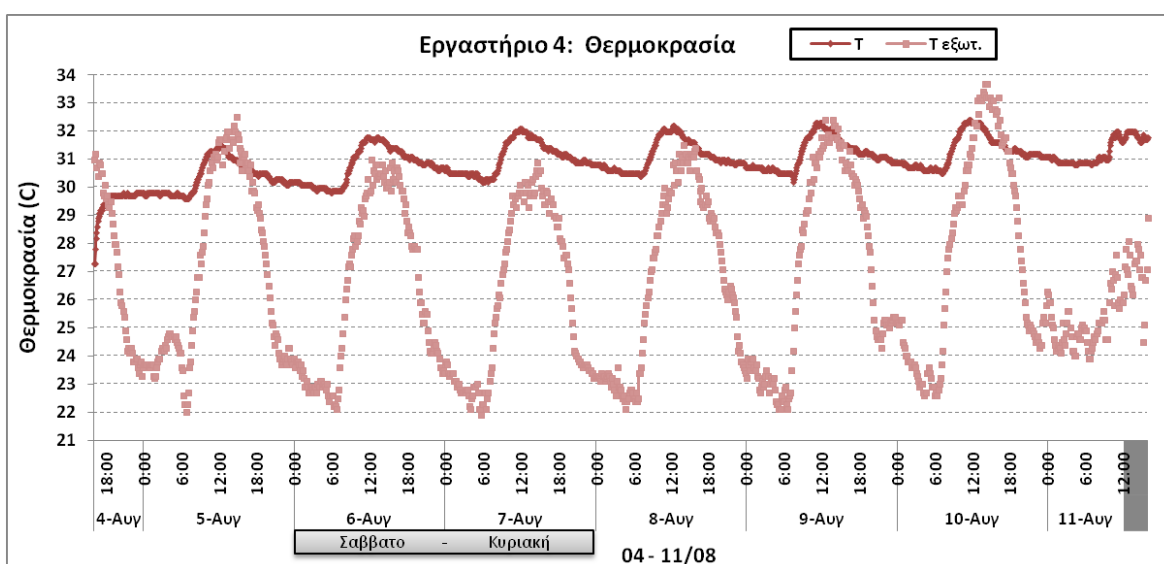
Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων για τον υπό μελέτη χώρο.

7.4.1.1 Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας αέρα του εργαστηριακού χώρου (4) πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI στο διάστημα από 4 έως 11 Αυγούστου. Η

μελέτη των εσωκλιματικών συνθηκών του συγκεκριμένου χώρου διαφοροποιείται σε σχέση με τους άλλους χώρους λόγω της απουσίας κλιματισμού, αερισμού, ατόμων και δραστηριοτήτων, με εξαίρεση 2 σύντομα χρονικά διαστήματα χρήσης του χώρου (12:00-13:00 στις 07/08 και 07:00-7:20 στις 09/08) κατά τη διάρκεια των οποίων η πόρτα του χώρου παρέμεινε ανοιχτή.

Δεδομένου λοιπόν ότι η χρήση του εργαστηρίου (4) ήταν περιορισμένη, προκειμένου να διερευνηθεί η διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας, έγινε ο διαχωρισμός του διαστήματος των μετρήσεων σε 2 περιόδους: (i) τις ώρες «ημέρας» (08:00 – 20:00) που αντιπροσωπεύουν τις συνηθισμένες εργάσιμες ώρες στο υπό μελέτη κτήριο και (ii) τις υπόλοιπες, κυρίως, νυχτερινές ώρες (20:00 – 08:00).



Σχήμα 7.66 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στο εργαστήριο (4) από τις 4 έως τις 11 Αυγούστου.

Σύμφωνα με το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών (Σχήμα 7.66) από τα συνολικά αποτελέσματα προκύπτει ένα ιδιαίτερα ομοιόμορφο εβδομαδιαίο προφίλ διακύμανσης θερμοκρασίας λόγω των σταθερών συνθηκών στο χώρο. Οι αυξομειώσεις που παρατηρούνται είναι ομαλές και ακολουθούν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα κυμαίνεται στο μεγαλύτερο διάστημα σε υψηλότερα επίπεδα, με εξαίρεση τις μεσημβρινές ώρες των ημερών 4, 5, 9 και 10/08, κατά τη διάρκεια των οποίων η εξωτερική θερμοκρασία υπερβαίνει τις εσωτερικές τιμές. Πιο αναλυτικά, η θερμοκρασία του αέρα στο εργαστήριο (4) κατά τις ώρες 08:00 με 20:00 κυμάνθηκε από 27,3 έως 32,4°C (εύρος μεταβολής: 5,1°C), ενώ αντίστοιχα για το εξωτερικό περιβάλλον το εύρος διακύμανσης ήταν πιο διευρυμένο, κυμαινόμενο από 24,5 έως 33,7°C (εύρος μεταβολής: 9,2°C). Τα

αντίστοιχα εύρη μεταβολής κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών ήταν πιο περιορισμένα και ανέρχονται σε 1,6 και 5,5°C για τον εσωτερικό και εξωτερικό αέρα (Πίνακας 7.8).

Πίνακας 7.8 Τιμές εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα κατά τη διάρκεια των ωρών 08:00 – 20:00 και 20:00 – 08:00 του εργαστηριακού χώρου (4), τις ημέρες 4 έως 11 Αυγούστου.

Στατιστικά δεδομένα	08:00 – 20:00		20:00 – 08:00	
	T	T εξωτ.	T	T εξωτ.
Min	27,3 °C	24,5 °C	29,6 °C	21,9 °C
Max	32,4 °C	33,7 °C	31,2 °C	27,4 °C
Mean	31,2 °C	29,3 °C	30,5 °C	23,9 °C

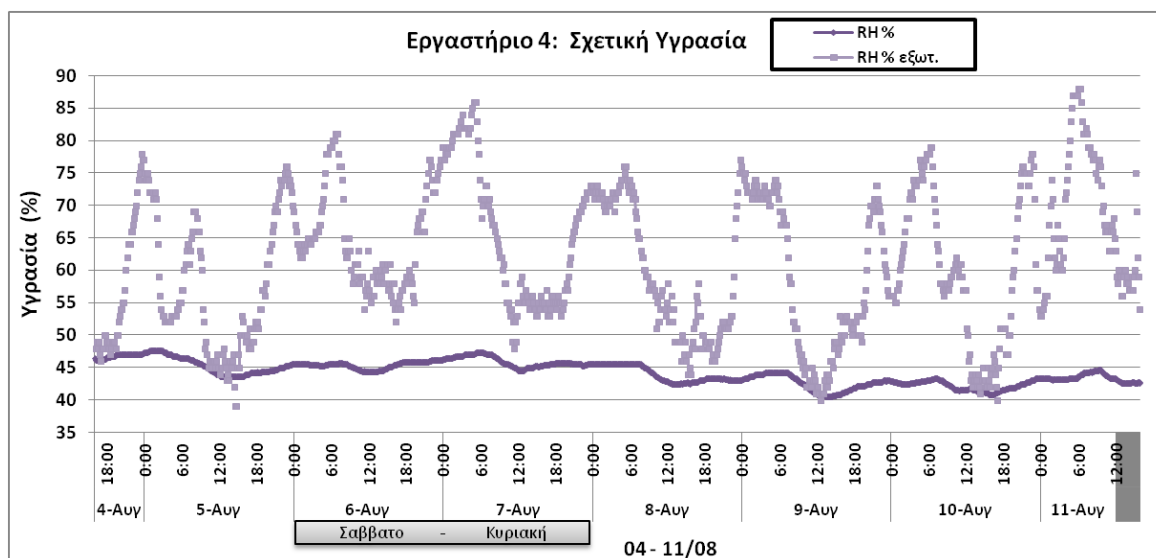
Διαπιστώνεται λοιπόν επομένως ότι η θερμοκρασία στο χώρο, η μέση τιμή της οποίας ισούται με 31,2°C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 30,5°C κατά τις νυχτερινές ώρες, είναι αρκετά υψηλή δεδομένου ότι υπερβαίνει τις εξωτερικές θερινές θερμοκρασίες και είναι μονίμως υψηλότερη του ανώτατου προτεινόμενου ορίου τιμής της TOTEE (26°C). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι στη διαμόρφωση υψηλών εσωτερικών θερμοκρασιών είναι ιδιαίτερα σημαντική και η θερμική συνεισφορά της λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών στο χώρο, καθώς στον εξοπλισμό του χώρου εκτός από ένα Η/Υ που βρίσκεται σε μόνιμη λειτουργία συγκαταλέγονται και δύο ψυγεία εργαστηρίου. Συμπεραίνεται επομένως ότι υπό συνθήκες απουσίας κλιματισμού και αερισμού ο χώρος αδυνατεί να αντεπεξέλθει και να καλύψει τα υψηλά εσωτερικά ψυκτικά φορτία. Επιπλέον, αν λάβουμε υπόψη ότι παρουσία ατόμων η θερμική συνεισφορά θα ήταν ακόμα πιο σημαντική λόγω της δραστηριότητάς τους, συμπεραίνεται ότι η λειτουργία του συστήματος κλιματισμού κρίνεται απαραίτητη για τη επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης.

7.4.1.2 Σχετική Υγρασία

Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας αέρα του εργαστηριακού χώρου (4) πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI στο διάστημα από 4 έως 11 Αυγούστου, υπό τις ίδιες συνθήκες με τη μέτρηση της θερμοκρασίας.

Στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο τυπικά πραγματοποιούνται εργασίες εντός του υπό μελέτη κτηρίου (08:00 – 20:00) και για το σύνολο των ημερών που διεξήχθησαν οι μετρήσεις η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 40,6 έως 47% (μέση τιμή: 43,9%) και από 39 έως 78% (53,8%) στο εσωτερικό περιβάλλον του εργαστηριακού χώρου (4) και το εξωτερικό αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών (20:00 – 08:00) τα εύρος διακύμανσης εντός του χώρου διαφοροποιείται ελάχιστα (42 – 47,6%) αυξάνοντας τη

μέση τιμή σχετικής υγρασίας κατά 1 μονάδα σε σχέση με τα επίπεδα της ημέρας. Ωστόσο, τα νυχτερινά επίπεδα του ατμοσφαιρικού αέρα, κυμαινόμενα στο εύρος από 48 έως 88%, αυξάνουν την εξωτερική μέση τιμή κατά 15,5 μονάδες.



Σχήμα 7.67 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στο εργαστήριο (4) από τις 4 έως τις 11 Αυγούστου.

Πίνακας 7.9 Τιμές εσωτερικής και εξωτερικής σχετικής υγρασίας αέρα κατά τη διάρκεια των ωρών 08:00 – 20:00 και 20:00 – 08:00 του χώρου (4), τις ημέρες 4 έως 11 Αυγούστου.

Στατιστικά δεδομένα	08:00 – 20:00		20:00 – 08:00	
	RH	RH εξωτ.	RH	RH εξωτ.
Min	40,6%	39,0%	42,0%	48,0%
Max	47,0%	78,0%	47,6%	88,0%
Mean	43,9%	53,8%	44,9%	69,3%

Διαπιστώνεται επομένως ότι απουσία οποιουδήποτε αερισμού στο χώρο η σχετική υγρασία του χώρου δέχεται πολύ μικρή επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον, καθώς, παρά τις μεγάλες αυξομειώσεις των εξωτερικών επιπέδων, η διακύμανση των εσωτερικών τιμών είναι περιορισμένη. Επίσης, παρότι ο χώρος δεν είναι κλιματιζόμενος, οι τιμές κυμαίνονται στα επιθυμητά αποδεκτά επίπεδα για την επίτευξη θερμικής άνεσης (45%) σύμφωνα με την προτεινόμενη τιμή σχεδιασμού της TOTEE 20701-1/2010.

7.4.1.3 Φωτεινότητα

Η μέτρηση της φωτεινότητας του χώρου πραγματοποιήθηκε με το όργανο 764 Environmental Monitor της ELSEC στις 11 Αυγούστου (11:00, 14:00 και 17:00) σε διάφορες θέσεις του εργαστηρίου (4) προκειμένου να υπολογιστεί μία μέση τιμή.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν υπό συνθήκες φυσικού φωτισμού. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα ο χώρος δέχεται μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας τις μεσημβρινές ώρες, κατά τις οποίες μετρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές (Πίνακας 7.10). Όλες οι μέγιστες τιμές καταγράφηκαν στον εργαστηριακό πάγκο που βρίσκεται μπροστά από το παράθυρο του χώρου, γεγονός που δείχνει ότι παρά τη χρήση εσωτερικών περσίδων υφίσταται πρόσπτωση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο εργασίας με αποτέλεσμα την πρόκληση δυσφορίας λόγω θάμβωσης, όπως διαπιστώθηκε κατά τη διαδικασία μέτρησης. Οι ελάχιστες τιμές σημειώθηκαν στη θέση που βρίσκεται το γραφείο του εργαστηρίου, κοντά στην είσοδο ακριβώς απέναντι από το παράθυρο. Από αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι δεν είναι ομοιόμορφη η κατανομή φωτός στον υπό μελέτη χώρο.

Πίνακας 7.10 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο εργαστήριο 4.

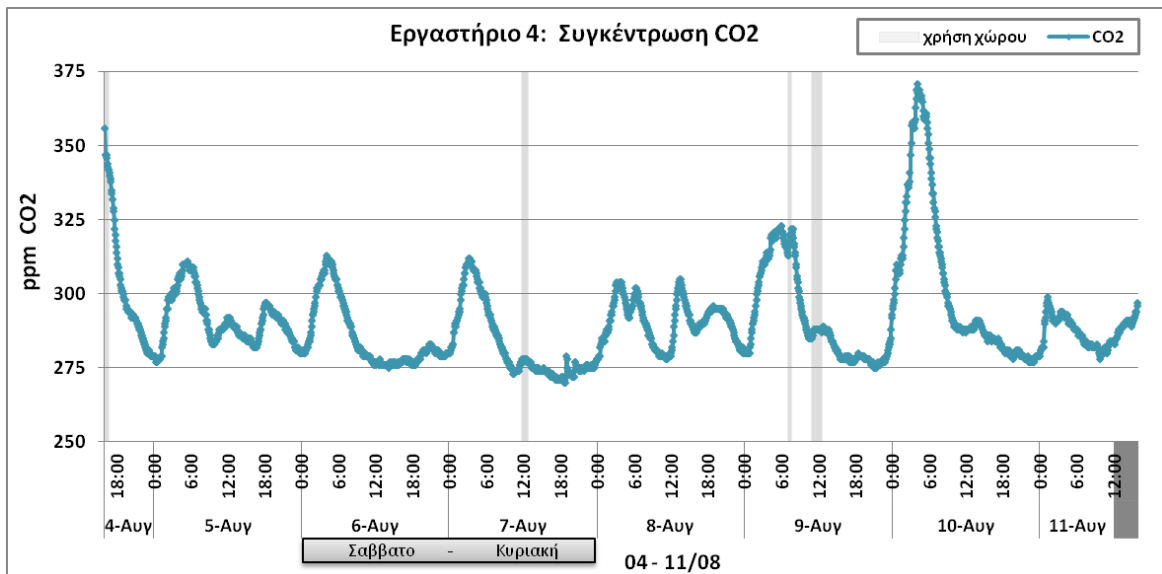
Στατιστικά δεδομένα	Στάθμη φωτισμού (Lux)		
	11:00	14:00	17:00
Min	80	90	60
Max	645	850	670
Mean	304	560	326

Από το σύνολο των μετρήσεων προκύπτει ότι τα μέσα επίπεδα φωτεινότητας στο χώρο ανέρχονται σε 397 lx. Με βάση λοιπόν τη σύσταση της TOTEE 20701-1/2010 (500 lx) κρίνεται ότι είναι αναγκαία η χρήση τεχνητού φωτισμού για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ποιότητας και ποσότητας φωτισμού στο χώρο.

7.4.1.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI κατά τη διάρκεια της εβδομάδας από 4 έως 11 Αυγούστου.

Τα επίπεδα συγκέντρωσης, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.68, κυμάνθηκαν στο εύρος μεταξύ και 270 και 371 ppm. Το εύρος διακύμανσης τιμών του υπό μελέτη χώρου (4) διαπιστώνουμε ότι είναι συγκρίσιμο με τα επίπεδα που παρατηρήθηκαν στο εργαστήριο 1. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι η συγκέντρωση κυμαίνεται σε σχετικά υψηλά επίπεδα αν αναλογιστούμε ότι ο χώρος κατά το μεγαλύτερο διάστημα ήταν κλειστός και κενός (εξαίρεση αποτελούν τα μικρά χρονικά διαστήματα που αποτυπώνονται στο γράφημα μέσω της σκιαγραφημένης επιφάνειας). Ο κυριότερος λόγος που συναντούμε σχετικά υψηλές τιμές συγκέντρωσης CO₂ παρά την απουσία εσωτερικών πηγών εκπομπής είναι η πλήρης απουσία αερισμού στο χώρο.



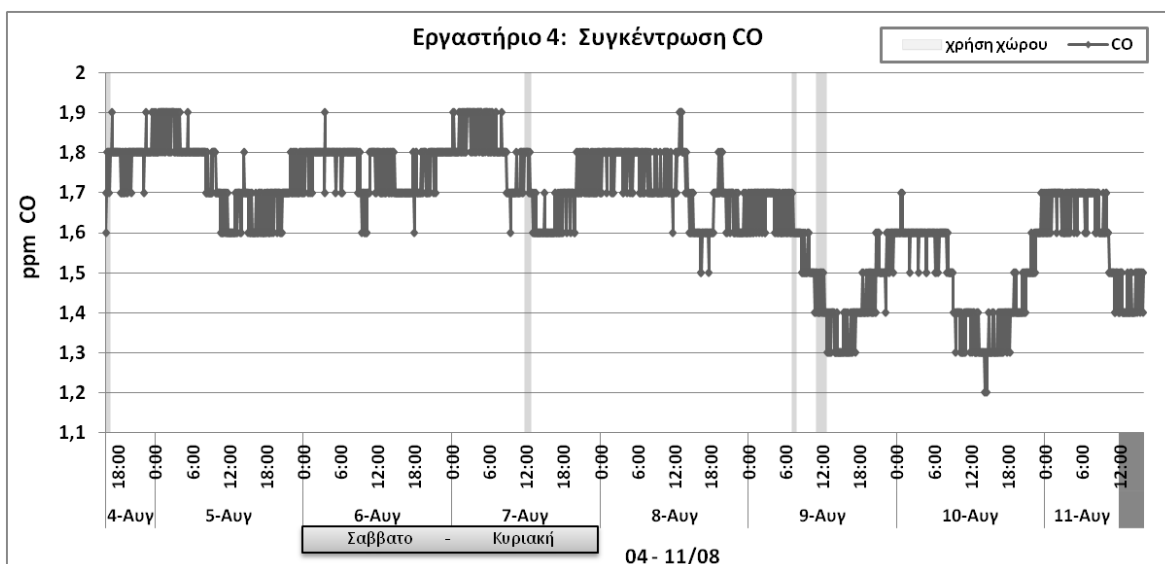
Σχήμα 7.68. Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO₂ στον υπό μελέτη χώρο (4) από τις 4 έως τις 11 Αυγούστου.

Μελετώντας αναλυτικότερα τη γραφική παράσταση, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, με εξαίρεση ορισμένες αιχμές αύξησης που αποδίδονται στην παρουσία ατόμου εντός του χώρου για μικρό χρονικό διάστημα, π.χ. στις 4/08 (16:00 – 16:20) και στις 9/08 (07:00 - 07:20), οι περισσότερες υψηλές τιμές (> 300 ppm) εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των μεταμεσονύχτιων ωρών. Συγκεκριμένα, η μέγιστη συγκέντρωση (371 ppm) σημειώνεται τα ξημερώματα (04:05) της 10^{ης} Αυγούστου. Οι αυξήσεις αυτές πιθανολογούμε ότι οφείλονται σε εξωτερικές πηγές (π.χ. διέλευση οχημάτων).

7.4.1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις της συγκέντρωσης CO₂ διεξήχθησαν μετρήσεις και για το μονοξείδιο του άνθρακα από τις 4 έως τις 11 Αυγούστου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, η συγκέντρωση CO κυμάνθηκε στο εύρος μεταξύ 1,2 και 1,9 ppm (Σχήμα 7.69). Συγκρίνοντας με τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των διεθνών και εθνικών προδιαγραφών διαπιστώνεται ότι οι τιμές αυτές είναι πολύ χαμηλές. Τα επίπεδα αυτά είναι αναμενόμενα καθώς δεν υφίστανται εσωτερικές πηγές στο χώρο και η κύρια πηγή μονοξειδίου του άνθρακα στα εκπαιδευτικά κτήρια είναι το εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 7.69 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO στον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (4) από τις 4 έως τις 11 Αυγούστου.

7.4.1.6 Ραδόνιο

Στο εργαστήριο 4, στο διάστημα από 18 έως 26 Αυγούστου, πραγματοποιήθηκε μία σειρά μετρήσεων ισοδύναμης συγκέντρωσης ραδονίου σε ελεγχόμενο περιβάλλον υπό διαφορετικές συνθήκες αερισμού, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση τους στη διαμόρφωση των επιπέδων ραδονίου. Οι συνθήκες κατά τις οποίες έλαβαν χώρα οι μετρήσεις περιελάμβαναν λειτουργία ή μη του κλιματισμού και το άνοιγμα της πόρτας και του παραθύρου. Οι καθοριζόμενες συνθήκες ορίζονται στον Πίνακα 7.11.

Πίνακας 7.11 Συγκέντρωση ραδονίου υπό ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού στον εργαστηριακό χώρο 4.

	Λειτουργία κλιματιστικού {25 °C}	Παράθυρο ανοιχτό {ανάκλιση}	Πόρτα ανοιχτή	Συγκέντρωση ραδονίου { Bq/m ³ }
A	x	-	-	8,50
B	-	x	-	6,00
Γ	x	x	-	5,15
Δ	-	-	-	10,75
E	-	-	x	7,25
Z	x	-	x	6,35
H	-	x	x	5,00
Θ	x	x	x	2,45

Το αποτέλεσμα των μετρήσεων δείχνουν την επίδραση του αερισμού στην ελαχιστοποίηση των επιπέδων ραδονίου. Σύμφωνα με αυτά ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της συγκέντρωσης είναι ο συνδυασμός του φυσικού αερισμού μέσω του

παραθύρου και της πόρτας με τη χρήση κλιματιστικού (Θ). Με τον τρόπο αυτό η συγκέντρωση διαμορφώνεται στα $2,45 \text{ Bq/m}^3$, ενώ στην περίπτωση απουσίας φυσικού αερισμού και μη λειτουργίας του κλιματισμού (Γ) τα επίπεδα ανέρχονται στα $10,75 \text{ Bq/m}^3$. Η περίπτωση Γ είναι και η πιο αντιπροσωπευτική των επικρατουσών συνθηκών της περιόδου των μετρήσεων (Α Φάση) για τον υπό μελέτη χώρο (4). Ωστόσο, τα επίπεδα θεωρούνται εξαιρετικά χαμηλά συγκριτικά με αυτά που προτείνουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα και επομένως δεν προκύπτει λόγος ανησυχίας.

7.4.1.7 Ακτινοβολία γ

Για τη μέτρηση του ρυθμού ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h) χρησιμοποιήθηκε το όργανο Dose Rate Measuring Unit FH 40 G. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 11 Αυγούστου, κατά όμοιο τρόπο με τους υπόλοιπους εξεταζόμενους χώρους.

Ο ρυθμός ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας προέκυψε ίσος με $75,3 \text{ nSv/h}$. Προκειμένου να αξιολογηθεί η τιμή αυτή με βάση το όριο ασφαλείας (1 mSv/έτος), θα γίνει αναγωγή της ισοδύναμης δόσης στο έτος, θα υπολογιστεί δηλαδή η ισοδύναμη δόση την οποία λαμβάνει ένας άνθρωπος κατά την διάρκεια ενός έτους. Σύμφωνα λοιπόν με την αναγωγή, η ισοδύναμη δόση ανά έτος υπολογίζεται ότι είναι ίση με $0,66 \text{ mSv/έτος}$. Συνεπώς, η έκθεση κρίνεται ασφαλής.

7.4.1.8 Αιωρούμενα σωματίδια

7.4.1.8.1 Συγκέντρωση μάζας

Η μέτρηση της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} στον υπό μελέτη χώρο (4) έλαβε χώρα από τις 4 έως τις 9 Αυγούστου, με ταυτόχρονη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} , και από τις 11 έως τις 16 Αυγούστου, με παράλληλη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης $\text{PM}_{2,5}$. Ομοίως με τους άλλους εργαστηριακούς χώρους, η μέτρηση εντός του χώρου πραγματοποιήθηκε με τον αναλυτή μάζας DustTrak DRX 8534, ενώ η μέτρηση στο εξωτερικό περιβάλλον διεξήχθη με το DustTrak II 8532.

Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τα επίπεδα συγκέντρωσης στον εργαστηριακό χώρο (4) κυμάνθηκαν στο εύρος από 15 έως $55 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (μέση τιμή: $25 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) για τα PM_{10} , από 12 έως $20 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (μέση τιμή: $15 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) για τα $\text{PM}_{2,5}$ και από 12 έως $19 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (μέση τιμή: $15 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) για τα PM_1 . Αντίστοιχα, τα εύρη διακύμανσης της

συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για το εξωτερικό περιβάλλον ήταν από 24 έως 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} και από 12 έως 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $\text{PM}_{2,5}$.

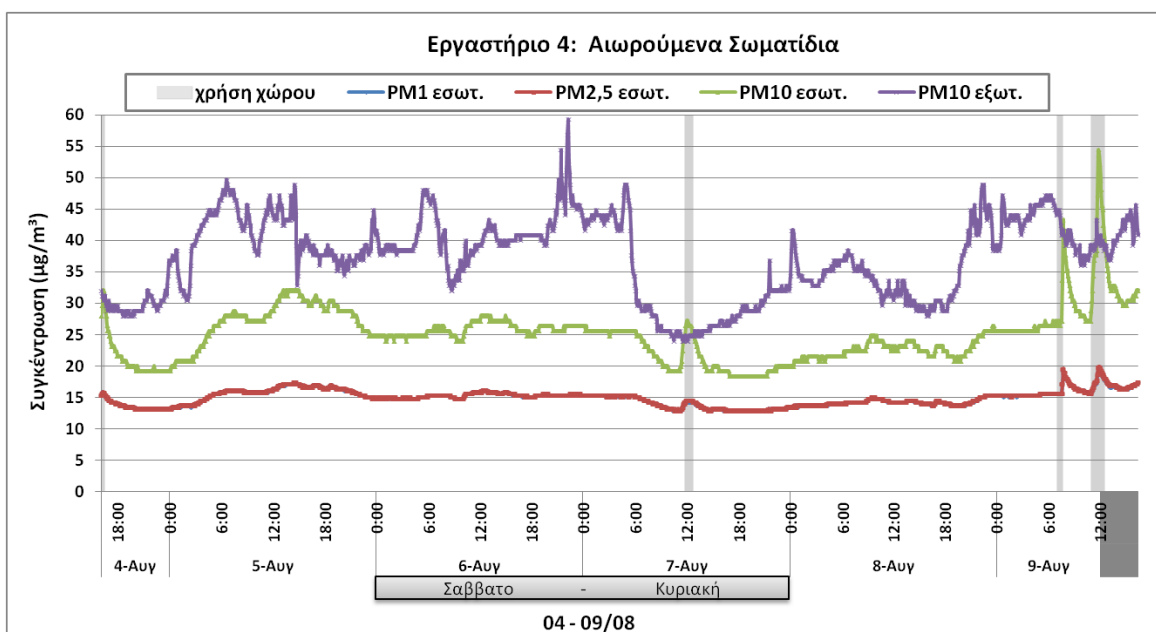
Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές εσωτερικής συγκέντρωσης του χώρου (4) με τα όρια ποιότητας αέρα για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια, διαπιστώνεται ότι κυμαίνονται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τα ημερήσια επιτρεπτά όρια. Συγκρίνοντας όμως με τα ετήσια όρια παρατηρείται ότι η μέση τιμή των 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} είναι υψηλότερη σε σχέση με το ετήσιο όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Π.Ο.Υ (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ η μέση τιμή των 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ υπερβαίνει μόνο το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Όσον αφορά στις εξωτερικές συγκεντρώσεις, επίσης η μέση συγκέντρωση PM_{10} (37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) είναι υψηλότερη του μέσου ετήσιου ορίου (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) που προτείνονται από την Ε.Ε. και τον Π.Ο.Υ, ενώ η τιμή των 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ υπερβαίνει εκτός από το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ και αυτό της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Κατά το μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας για όλες τις περιόδους μετρήσεων, δεν υπήρχαν άτομα στους χώρους μετρήσεων και επομένως η κύρια πηγή σωματιδίων ήταν η διείσδυση από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο όρος διείσδυση αναφέρεται στην ανεξέλεγκτη εισροή του αέρα μέσα από ρωγμές και σχισμές του κτηριακού κελύφους, μέσω της οποίας συντελείται επίσης είσοδος σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον. Σε περιπτώσεις απουσίας φυσικού ή μηχανικού αερισμού η διείσδυση αποτελεί τη βασικό τρόπο εισροής εξωτερικού αέρα και σωματιδίων. Τα μεμονωμένα περιστατικά εισόδου ατόμων στο χώρο έχουν καταγραφεί και αναλύονται στη συνέχεια.

Από το σύνολο των πειραματικών μετρήσεων (Σχήματα 1 και 2) διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση στον εσωτερικό χώρο είναι μικρότερη από το εξωτερικό περιβάλλον και σε γενικές γραμμές έχει την τάση να ακολουθεί με κάποια χρονική διαφορά τις μεταβολές της εξωτερικής συγκέντρωσης. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις των εσωτερικών ρύπων είναι μικρότερες και πιο σταδιακές σε σύγκριση με τα εξωτερικά PM. Εξαίρεση αποτελούν τα περιορισμένα χρονικά διαστήματα όπου υπήρχαν ενεργές εσωτερικές πηγές.

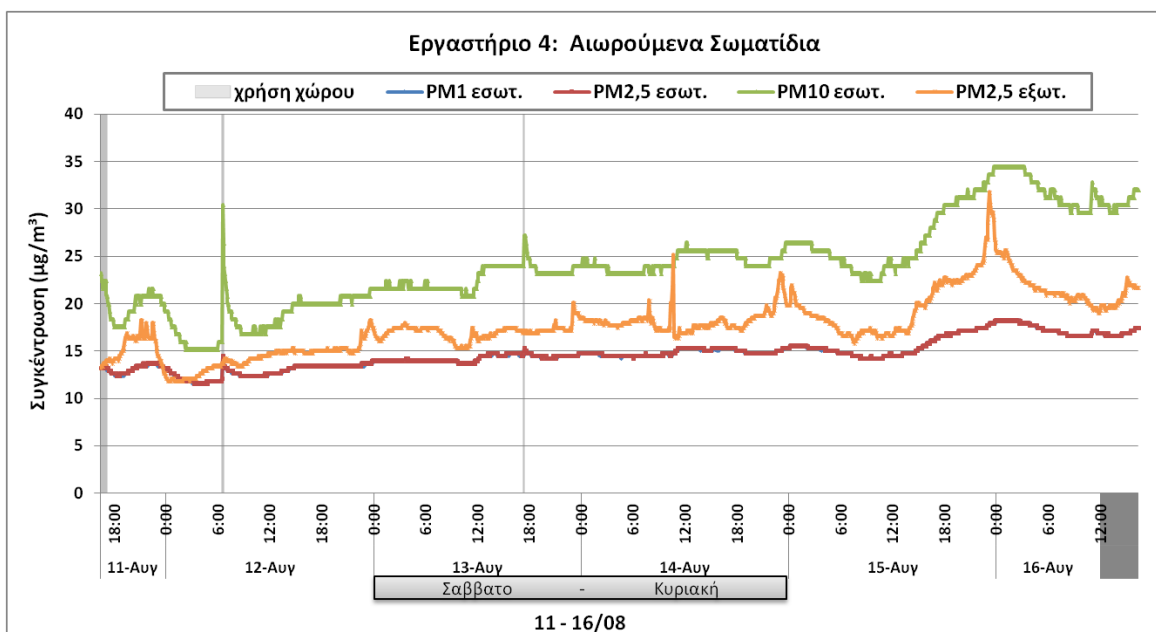
Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 7.70, το χρονικό διάστημα από την εκκίνηση λειτουργίας των οργάνων στις 4/08 το απόγευμα (16:00) έως και τις 7/08 το μεσημέρι (12:00) αποτελεί μία περίοδο πλήρους απουσίας δραστηριοτήτων στο χώρο. Ο υπό μελέτη χώρος τις ημέρες

αυτές παρέμεινε τελείως κλειστός (πόρτα και παράθυρο) και το σύστημα κλιματισμού ήταν εκτός λειτουργίας. Στις 07/08, ημέρα Κυριακή, πραγματοποιήθηκε η πρώτη είσοδος στο χώρο μεταξύ 12:00 και 13:00, όπως φαίνεται από τη μεταβολή της συγκέντρωσης για τα PM₁₀, καθώς επίσης και για τα PM_{2,5} και PM₁, η οποία ξεπέρασε την εξωτερική συγκέντρωση. Στις 9/08 σημειώθηκε είσοδος ενός ατόμου στο εργαστήριο στις 7 το πρωί, διάρκειας 20 λεπτών, για τη διεξαγωγή ποσοτικής ανάλυσης φίλτρων. Κατά τη διάρκεια παραμονής του ατόμου στο χώρο η πόρτα παρέμεινε ανοιχτή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ενώ το άτομο αποχώρησε στις 07:20 από το εργαστήριο, η αύξηση στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, η οποία έφτασε τα 17 μg/m³ για τα PM₁₀, 4 μg/m³ για τα PM_{2,5} και 3 μg/m³ για τα PM₁, παρατηρείται με καθυστέρηση 15 λεπτών. Το κλείσιμο της πόρτας με την αποχώρηση του ατόμου είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού εναλλαγής αέρα με τον εξωτερικό χώρο (διάδρομο) και συνεπώς τη μείωση της απομάκρυνσης των σωματιδίων που είχαν παραχθεί. Επίσης, την ίδια μέρα, στο χρονικό διάστημα 11:40 με 12:30, παρουσιάστηκε αύξηση των εσωτερικών επιπέδων λόγω διεξαγωγής εργαστηριακής δραστηριότητας που αφορούσε σε συντήρηση μετρητικών οργάνων. Η αύξηση των τιμών είναι σημαντικότερη για τα σωματίδια PM₁₀ καθώς η εναπόθεση σωματιδίων είναι σημαντικότερη για τα σωματίδια μεγάλης διαμέτρου λόγω του βάρους τους και συνεπώς είναι μεγαλύτερη η επαναφορά (των επικαθημένων σωματιδίων) τους στον αέρα λόγω των κινήσεων του χρήστη στο χώρο.

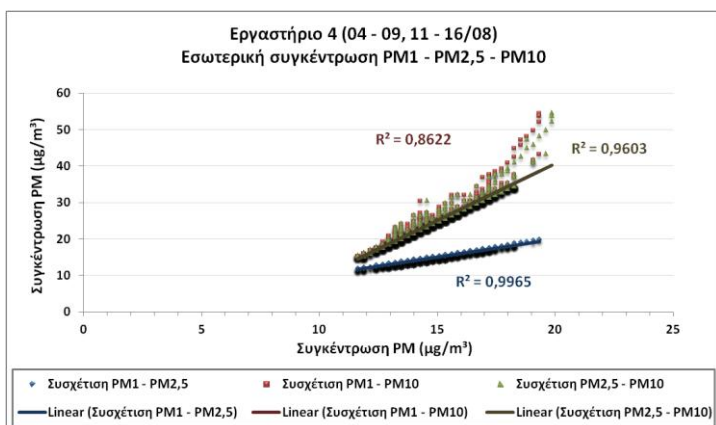


Σχήμα 7.70 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη χώρο (4) από 4 έως 9 Αυγούστου.

Ομοίως, τις ημέρες από 11 έως 16/08 (Σχήμα 7.71) πραγματοποιήθηκαν στον εργαστηριακό χώρο επισκέψεις μικρής διάρκειας (στις 11/08 στο διάστημα 16:30 – 17:00, στις 12/08 από 06:30 έως 06:40 και στις 13/08 από 17:20 έως 17:30), οι οποίες είχαν ως συνέπεια την εμφάνιση σύντομων αυξήσεων που αποτυπώνονται στο γράφημα μέσω μικρών αιχμών. Τα διαστήματα αυτά αφορούσαν παραμονή ενός χρήστη εντός του χώρου με την πόρτα ανοιχτή. Η πιο έντονη αύξηση σημειώθηκε και πάλι για τα σωματίδια PM_{10} λόγω της επαναιώρησης σκόνης που προκαλεί η κινητικότητα του ατόμου στον υπό μελέτη χώρο.



Σχήμα 7.71 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη χώρο (4) από 11 έως 16 Αυγούστου.

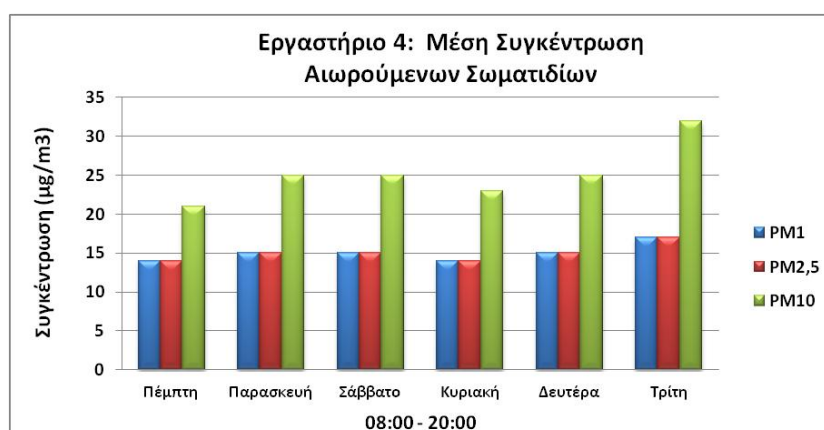


Σχήμα 7.72 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των τιμών εσωτερικής συγκέντρωσης PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10} για τον εργαστηριακό χώρο (4) το διάστημα των μετρήσεων.

Προκειμένου να προσδιοριστεί το ποσοστό της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων $PM_{2,5}$ που αναλογεί στη συγκέντρωση των PM_{10} , υπολογίστηκε ο λόγος $PM_{2,5}/PM_{10}$. Η μέση τιμή του λόγου βρέθηκε ίση 0,61, κυμαινόμενη στο εύρος από 0,36 έως 0,78 (Σχήμα Π III-48). Αντίστοιχα, ομοίως με τους υπόλοιπους χώρους, υπολο-

γίστηκε ότι τα σωματίδια PM_1 αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 100% της συγκέντρωσης των $PM_{2,5}$, ενώ η συσχέτιση μεταξύ των δύο συγκεντρώσεων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.72, ήταν σχεδόν πλήρης ($R^2 = 0,9965$).

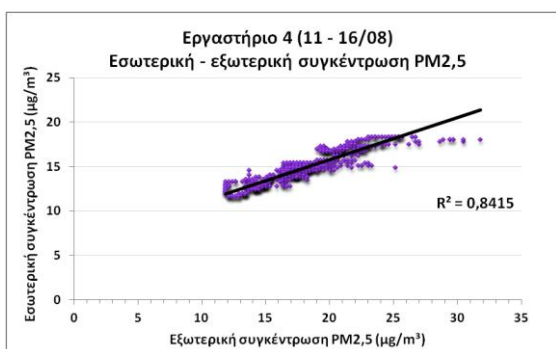
Στο Σχήμα 7.73 παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις μάζας και για τα τρία μετρηθέντα μεγέθη σωματιδίων για τις ώρες από 08:00 έως 20:00 το βράδυ. Οι μέσοι όροι για την κάθε ημέρα υπολογίστηκαν με βάση τα αποτελέσματα και των δύο περιόδων (04 - 09/08 και 11 - 16/08). Ο χώρος αυτός αποτελεί ενδεικτικός των συνθηκών ποιότητας αέρα που επικρατούν στο κτήριο κατά τη θερινή περίοδο υπό συνθήκες απουσίας δραστηριοτήτων και απουσίας φυσικού και μηχανικού αερισμού, γι αυτό και δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στα επίπεδα συγκέντρωσης μεταξύ των τυπικών εργάσιμων ημερών και του Σαββατοκύριακου.



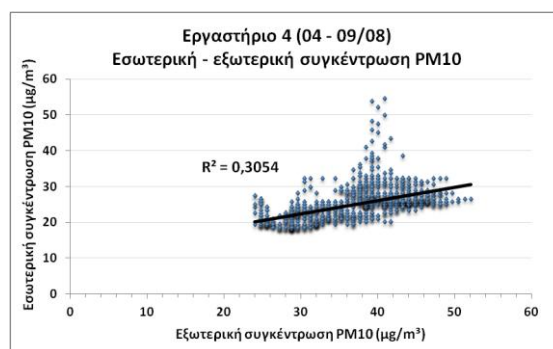
Σχήμα 7.73 Διάγραμμα μέσων τιμών συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ανά ημέρα και κατά τις ώρες χρήσης του εργαστηριακού χώρου 4 για το διάστημα των μετρήσεων.

Η ανάλυση των τιμών που παρουσίασε η αναλογία της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση (λόγος I/O) έδειξε τη σημαντική επίδραση των εξωτερικών πηγών στη διαμόρφωση της εσωτερικής συγκέντρωσης. Για το σύνολο των πειραματικών δεδομένων, ο μέσος λόγος I/O ήταν μικρότερος της μονάδας για όλα τα μεγέθη σωματιδίων (Σχήματα Π III-49, 50). Κατά το μεγαλύτερο διάστημα των πειραματικών μετρήσεων δεν υπήρχαν άτομα στον εξεταζόμενο χώρο (4) και επομένως η μοναδική πηγή σωματιδίων ήταν η διείσδυση από το εξωτερικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα ο μέσος λόγος για τα PM_{10} βρέθηκε ίσος με 0,68, ενώ για τα $PM_{2,5}$ ήταν ίσος με 0,84. Οι ελάχιστες φορές που ο λόγος παρουσίασε τιμές μεγαλύτερες της μονάδας οφείλονται στην παρουσία ατόμου στο χώρο σε συνδυασμό με το άνοιγμα της πόρτας.

Προκειμένου να εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο τα επίπεδα των εσωτερικών συγκεντρώσεων οφείλονται στη διείσδυση των εξωτερικών σωματιδίων, έγινε διερεύνηση της σχέσης μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών σωματιδίων με ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης. Μεταξύ των τιμών εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης προέκυψε πολύ ισχυρή συσχέτιση ($R^2 = 0,8415$) για τα σωματίδια $PM_{2,5}$ (σύνολο μετρήσεων) φανερώνοντας ότι ο παράγοντας της διείσδυσης υπό μορφή εισόδου σωματιδίων $PM_{2,5}$ από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό ήταν πολύ σημαντικός για το χώρο (Σχήμα 7.74). Η αντίστοιχη συσχέτιση για τα σωματίδια PM_{10} (Σχήμα 7.75) ήταν χαμηλή ($R^2 = 0,3054$), ενώ ήταν ελαφρώς υψηλότερη ($R^2 = 0,4092$) έχοντας εξαιρέσει τις τιμές από τα περιορισμένα διαστήματα παρουσίας ατόμου στο χώρο (4) (Σχήμα Π III-51). Οι σχετικά χαμηλές αυτές συσχετίσεις δείχνουν ότι οι μεταβολές της εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{10} δεν οδηγούσαν σε ανάλογη μεταβολή της συγκέντρωσης εντός του εργαστηρίου υπό συνθήκες απουσίας αερισμού. Από αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι η διείσδυση σωματιδίων ήταν λιγότερο σημαντική για τα PM_{10} . Επιπλέον όμως, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι η συγκέντρωση μάζας PM_{10} αντιπροσωπεύει σχεδόν το σύνολο των σωματιδίων και δεν είναι δυνατό να προσδιοριστούν τα ακριβή μεγέθη των σωματιδίων με βάση αυτή. Επομένως, είναι πιθανό η συγκέντρωση σωματιδίων PM_{10} να αντιπροσωπεύει διαφορετικό είδος σωματιδίων εντός και εκτός του εσωτερικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα να μην προκύπτει μία ικανοποιητική συσχέτιση.



Σχήμα 7.74 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στον εργαστηριακό χώρο 4.



Σχήμα 7.75 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στον εργαστηριακό χώρο 4.

Στον Πίνακα 7.12 παρουσιάζονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές των σωματιδίων ανάλογες με το μέγεθος τους. Ο όρος «ημέρα» αναφέρεται στο χρονικό διάστημα 08:00 – 20:00. Γενικότερα δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά των επιπέδων μεταξύ ημέρας και νύχτας και ο μέσος λόγος I/O εμφανίζεται ελάχιστα μεγαλύτερος, κυρίως για τα PM_{10} ,

κατά τη διάρκεια της ημέρας, λόγω των μεμονωμένων επισκέψεων που σημειώθηκαν στον εργαστηριακό χώρο (4). Το γεγονός ότι οι μέγιστες τιμές των λόγων I/O (PM_{2,5} και PM₁₀) για τις νυχτερινές ώρες είναι μεγαλύτερες της μονάδας οφείλεται στις χρήσεις του χώρου που έγιναν πριν τις 8 το πρωί και τις οποίες έχουμε συμπεριλάβει στον όρο «νύχτα».

Πίνακας 7.12 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀, καθώς και των λόγων I/O (PM_{2,5}) και I/O (PM₁₀), κατά τη διάρκεια της ημέρας και των νυχτερινών ωρών στο χώρο (4).

Μέγεθος σωματιδίων	Στατιστικά δεδομένα	08:00 – 20:00		20:00 – 08:00	
		μg/m ³	I/O	μg/m ³	I/O
PM ₁	Min	12	-	12	-
	Max	19	-	19	-
	Mean	15	-	15	-
PM _{2,5}	Min	12	0,59	12	0,57
	Max	20	1,00	20	1,11
	Mean	15	0,85	15	0,83
PM ₁₀	Min	17	0,57	15	0,45
	Max	55	1,37	43	1,04
	Mean	25	0,75	24	0,62

Από την ανάλυση των δεδομένων σε σχέση με τις μετεωρολογικές παραμέτρους (04 – 09/08) δε βρέθηκε κάποια σημαντική συσχέτιση ($R^2 < 0,4$). Ο υψηλότερος συντελεστής προσδιορισμού προέκυψε μεταξύ της εξωτερικής θερμοκρασίας και του λόγου I/O για τα σωματίδια PM₁₀ ($R^2 = 0,361$, Σχήμα Π III-55). Γενικότερα, έχει παρατηρηθεί ότι όταν επικρατούν υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες τα σωματίδια ωθούνται στο εσωτερικό περιβάλλον μέσω διείσδυσης, λόγω του φαινομένου της θερμικής διάχυσης, με συνέπεια να αυξάνεται σε ένα βαθμό και ο λόγος I/O.

7.4.1.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

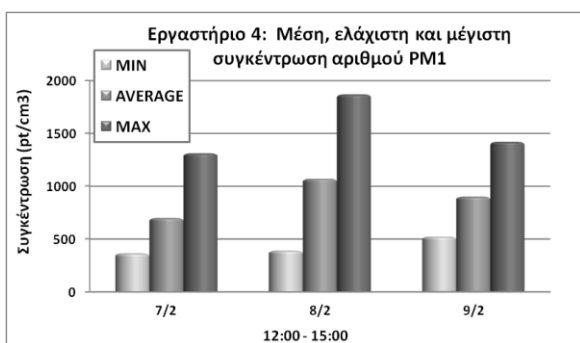
Η μέτρηση της συγκέντρωσης αριθμού υπόμικρων αιωρούμενων σωματιδίων (0,02 – 1 μm) πραγματοποιήθηκε για τον εργαστηριακό χώρο (4) στο διάστημα από 7 έως 9 Φεβρουαρίου με τον αναλυτή P-Trak 8525. Ταυτόχρονα μετρήθηκε και η συγκέντρωση μάζας των PM₁ με το όργανο DustTrak DRX 8534. Η διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν τρίωρη και κάλυπτε χρονικά το διάστημα από 12:00 έως 15:00.

Κατά το διάστημα των πειραματικών μετρήσεων το παράθυρο του εργαστηρίου ήταν κλειστό, ενώ η πόρτα παρουσία του χρήστη του χώρου έκλεινε για μικρά χρονικά διαστήματα. Επίσης, το σύστημα κλιματισμού ήταν σε λειτουργία όλες τις ημέρες.

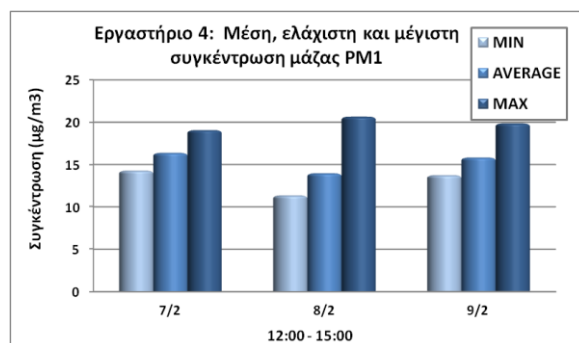
Γενικότερα οι δραστηριότητες που έλαβαν χώρα εντός του υπό μελέτη χώρου κατά το διάστημα των μετρήσεων της Β Φάσης αφορούσαν σε εργασίες γραφείου και όχι πειραματικές διαδικασίες. Τα αποτελέσματα ανά ημέρα παρουσιάζονται στα ακόλουθα γραφήματα (Σχήματα 7.76, 7.77), ενώ τα διαγράμματα στιγμιαίας διακύμανσης των συγκεντρώσεων φαίνονται στο Σχήμα 7.78.

Τα συνολικά αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων για τον υπό μελέτη εργαστηριακό χώρο (3) κατά τις εργάσιμες ώρες 12:00 – 15:00 έδειξαν ότι ο αριθμός ανά κυβικό εκατοστόμετρο των σωματιδίων PM_{10} κυμάνθηκε από 365 έως 1870 pt/cm^3 (μέση τιμή: 894 pt/cm^3), ενώ το εύρος διακύμανσης για τη συγκέντρωση μάζας ήταν από 11 έως 21 $\mu g/m^3$ (μέση τιμή: 15 $\mu g/m^3$).

Τα ζεύγη τιμών δεδομένων συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM_{10} σε πραγματικό χρόνο αναλύθηκαν προκειμένου να διερευνηθεί η ύπαρξη γραμμικών συσχετίσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συντελεστές προσδιορισμού (R^2) ποικίλουν σημαντικά από ημέρα σε ημέρα (Σχήματα Π III-61 έως 63). Σημαντική συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης αριθμού και της συγκέντρωσης μάζας προέκυψε μόνο για τη δειγματοληψία της 7^{ης} Φεβρουαρίου ($R^2 = 0,7522$).

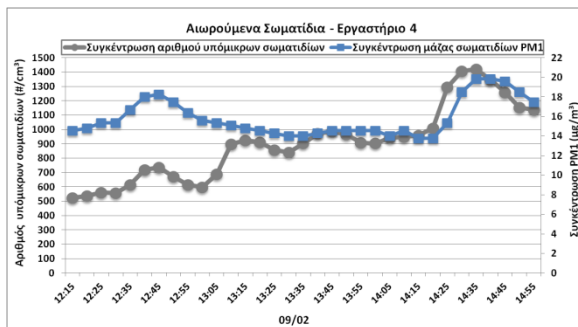
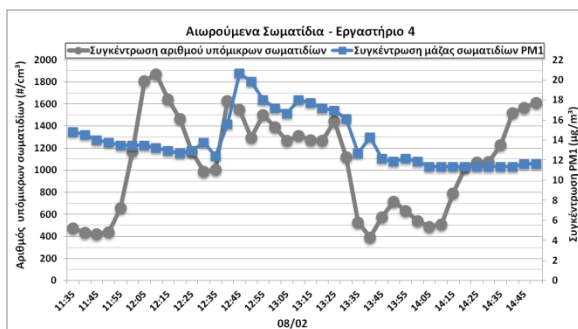
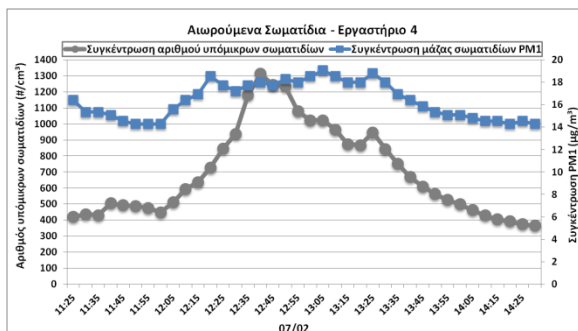


Σχήμα 7.77 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} (0,02 – 1 μm) στον εργαστηριακό χώρο 4 (07 – 09/02).



Σχήμα 7.76 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης μάζας PM_{10} στον εργαστηριακό χώρο 4 (07 – 09/02).

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων στις 07/02 (Σχήμα 7.78Α) δε διαπιστώνεται η ύπαρξη κάποιας ενεργής διαδικασίας παραγωγής υπόμικρων σωματιδίων εντός του χώρου και οι μεταβολές συνδέονται με τις μεταβολές της κατάστασης αερισμού. Συγκεκριμένα το πρώτο μισάωρο της δειγματοληψίας ο κλιματισμός είναι ανενεργός. Ωστόσο από τις 12:00 που τίθεται σε λειτουργία ($25^\circ C$) για τη θέρμανση του χώρου, παρουσιάζεται μία σταδιακή αύξηση, διάρκειας 40 λεπτών, του αριθμού των σωματιδίων



Σχήμα 7.78 Διαγράμματα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM₁ (0,02 – 1 µm) και μάζας PM₁ για τις 7, 8 και 9/02 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 4.

μέση συγκέντρωση αριθμού υπόμικρων σωματιδίων γενικά μειώνεται με την αύξηση του αερισμού. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από άλλες μελέτες που έδειξαν ότι η αύξηση του αερισμού σε ένα χώρο μειώνει την έκθεση των ατόμων σε σωματίδια PM₁ (Rim & Novoselac, 2010), ενώ γενικότερα συμβάλει στην απομάκρυνση των λεπτών σωματιδίων (Schneider et al., 1990).

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία (08/02) παρουσιάστηκαν έντονες διακυμάνσεις στα δύο μετρούμενα μεγέθη, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη ισχυρών εσωτερικών πηγών εντός του εργαστηριακού χώρου (Σχήμα 7.78B). Σημειώνεται ότι το σύστημα κλιματισμού (26 °C) ενεργοποιείται από το χρήστη στις 11:30 και παραμένει σε λειτουργία έως τη λήξη των μετρήσεων. Στις 11:40 και ενώ η πόρτα του χώρου είναι ανοιχτή τίθεται σε λειτουργία ο εκτυπωτής laser του εργαστηρίου και πραγματοποιούνται κάποιες δοκιμαστικές

της τάξης των 863 pt/cm³. Ομοίως, σημειώνεται αύξηση μικρότερης διάρκειας (20 min) και της μάζας των σωματιδίων PM₁ κατά 5 µg/m³. Η άνοδος αυτή οφείλεται στην εισροή σωματιδίων PM₁ από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω του συστήματος κλιματισμού που έχει ως συνέπεια τα εσωτερικά επίπεδα να επηρεάζονται κυρίως από τις εξωτερικές συγκεντρώσεις.

Στη συνέχεια ακολουθεί σταδιακή πτώση των τιμών με εξαίρεση μικρά χρονικά διαστήματα (13:00 – 13:05 και 13:15 – 13:20), κατά τα οποία η πόρτα του χώρου κλείνει (μείωση του ρυθμού αερισμού). Οι Guo et al. (2008) στη μελέτη τους έδειξαν ότι απουσία εσωτερικών πηγών και φυσικού αερισμού (κλειστό παράθυρο), η ποιότητα του αέρα μπορεί να βελτιωθεί με την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι η

εκτυπώσεις. Παρατηρείται μία απότομη άνοδος του αριθμού των σωματιδίων κατά 1447 pt/cm³. Ωστόσο, δε μπορεί να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο η αύξηση της συγκέντρωσης αριθμού αποδίδεται στον εκτυπωτή laser ή συνδέεται με την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού. Επιπλέον δεν παρατηρείται κάποια ανάλογη παράλληλη μεταβολή για τη συγκέντρωση μάζας. Στις 12:30 η εκτύπωση 2 σελίδων φαίνεται ότι είναι η αιτία της αύξησης (640 pt/cm³) που ακολουθεί, αυτή τη φορά και για τη συγκέντρωση μάζας (9 μg/m³). Στη συνέχεια, ακολουθούν και άλλες εκτυπώσεις οι οποίες δε φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά τις μετρούμενες συγκεντρώσεις. Η αναζήτηση της αιτίας έγκειται στο γεγονός ότι από τις 13:00 ο χώρος δέχεται την ισχυρή επίδραση φυσικού αερισμού λόγω ανοίγματος της νοτιοδυτικής εισόδου του κτηρίου, μέσω της οποίας εισέρχεται φρέσκος αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον (η θέση του εργαστηριακού χώρου 4 βρίσκεται κοντά στη συγκεκριμένη είσοδο). Η πόρτα της εισόδου κλείνει στις 13:50 και από τις 14:05 έως και τη λήξη των πειραματικών μετρήσεων σημειώνεται σταδιακή άνοδος μόνο του αριθμού των σωματιδίων.

Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι οι εκτυπωτές laser αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπής υπόμικρων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους (Salthammer et al., 2012; McGarry et al., 2011; Hänninen et al., 2010; Koivisto et al., 2010; Fiedler et al., 2009; Morawska et al., 2009; Schripp et al., 2009; 2008; Wensing et al., 2008; Kagi et al., 2007; He et al., 2007; Lee and Hsu; 2007). Τα σωματίδια από τους εκτυπωτές laser είναι δευτερογενή και παράγονται με πυρηνοποίηση των πτητικών οργανικών ενώσεων που προέρχονται από το χαρτί και το toner. Σύμφωνα με τους Salthammer et al. (2012), το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων που εκπέμπονται από τους εκτυπωτές είναι μεγέθους μικρότερου από 100 nm. Δεδομένου ότι ο αναλυτής P-Trak μετράει τη συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων σε ένα εύρος μεγέθους μεταξύ 20 nm και 1 μm, γίνεται αντιληπτό ότι ένα μεγάλο ποσοστό των υπέρλεπτων σωματιδίων που παράγεται κατά την εκτύπωση δε μπορεί να καταμετρηθεί από το όργανο (Glytsos et al., 2010). Οι εκπομπές διαφορετικού μεγέθους σωματιδίων είναι ο λόγος της χαμηλής συσχέτισης που προέκυψε στις 8 και 9/02 μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και μάζας ($R^2 = 0,0903$ και $0,1786$ αντίστοιχα).

Στις 9/02 (Σχήμα 7.78Γ), ομοίως με τις προηγούμενες ημέρες, με την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού σημειώνεται ταυτόχρονη αύξηση των μετρούμενων παραμέτρων, διάρκειας 30 λεπτών και στη συνέχεια ακολουθεί μείωση των τιμών. Η αύξηση της συγκέντρωσης αριθμού που παρατηρείται στα διάστημα 13:00 – 13:15 και

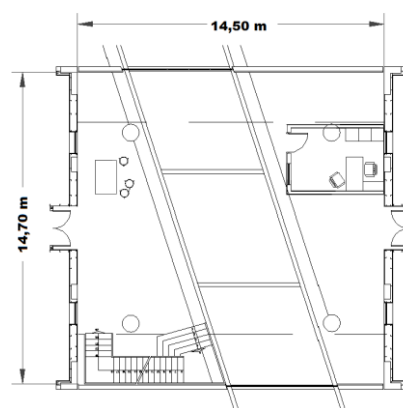
13:30 – 13:45 οφείλεται πιθανόν στην επίδραση από δραστηριότητες γειτονικών εργαστηρίων, δεδομένου ότι δεν παρατηρήθηκε κάποια μεταβολή συνθηκών στο χώρο. Τέλος, η πραγματοποίηση εκτύπωσης ορισμένων σελίδων στις 14:00 έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο των συγκεντρώσεων κατά 518 pt/cm^3 και 6 μg/m^3 αντίστοιχα σε διάστημα 35 λεπτών.

Εν κατακλείδι, από τις πειραματικές μετρήσεις που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο (4) συμπεραίνεται ότι η λειτουργία του εκτυπωτή laser αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπής υπόμικρων σωματιδίων στο χώρο, ενώ διαπιστώνεται επίσης η σημαντική επίδραση του παράγοντα του αερισμού στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης.

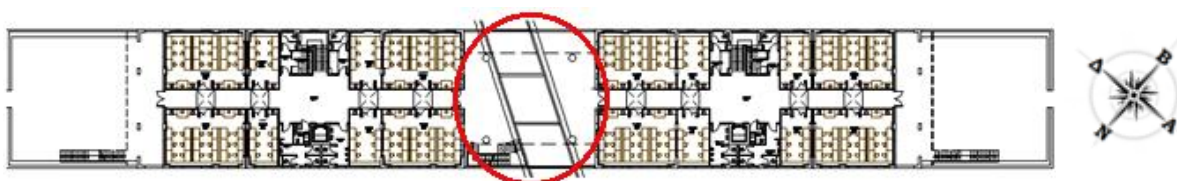
7.5 Υπό μελέτη χώρος: Είσοδος κτηρίου

Περιγραφή και λειτουργία χώρου

Ο εξεταζόμενος χώρος βρίσκεται στην κεντρική ζώνη του υπό μελέτη κτηρίου και έχει εμβαδό 213 m^2 ($14,70 \text{ m} \times 14,50 \text{ m}$). Στο Σχήμα 7.79 παρουσιάζεται η κάτοψη του χώρου, ενώ στο Σχήμα 7.80 φαίνεται η θέση της εισόδου στο κτήριο. Ο χώρος αποτελεί το ενδιάμεσο τμήμα που ενώνει τις δύο όμοιες πτέρυγες, στις οποίες αναπτύσσονται οι εργαστηριακοί και γραφειακοί χώροι του κτηρίου. Επιπλέον, εντός του χώρου της εισόδου βρίσκεται ένας μικρός γραφειακός χώρος, ο οποίος εξυπηρετεί τις ανάγκες του συλλόγου φοιτητών. Ο χώρος αυτός, επιφάνειας περίπου 14 m^2 , κατά την περίοδο μελέτης του χώρου παρέμεινε κλειστός.



Σχήμα 7.79. Κάτοψη χώρου εισόδου του υπό μελέτη κτηρίου..



Σχήμα 7.80. Τοποθεσία χώρου της εισόδου στο ισόγειο του υπό μελέτη κτηρίου.

Ο εξεταζόμενος χώρος διαθέτει δύο αντικριστές εισόδους, βορειοδυτικού και νοτιοανατολικού προσανατολισμού αντίστοιχα, καθώς επίσης και δύο θύρες που οδηγούν προς τις δύο πτέρυγες του κτηρίου (Εικόνες 7.15, 7.16). Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στον υπό μελέτη χώρο, οι πόρτες της εισόδου παρέμειναν κλειστές και άνοιγαν κυρίως κατά τη διέλευση των ατόμων.



Εικόνα 7.15 Άποψη του υπό μελέτη χώρου, όπου φαίνεται η είσοδος με το βορειοδυτικό προσανατολισμό.



Εικόνα 7.16 Άμεσο εξωτερικό περιβάλλον του χώρου της εισόδου.

Στη νότια πλευρά του χώρου σχηματίζεται υαλοστάσιο, κατασκευασμένο από διπλούς υαλοπίνακες, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται φυσικός φωτισμός καθ' όλη τη διάρκεια της

ημέρας. Το υαλοστάσιο αυτό φέρει ηλιοπροστατευτικές περσίδες που ανοιγοκλείνουν με τηλεχειρισμό (Εικόνα 7.17). Σημειώνεται ότι ο χώρος δε διαθέτει εγκατάσταση θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού.



Εικόνα 7.17 Υαλοστάσιο με ηλιοπροστατευτικές περσίδες στην νότια πλευρά του χώρου της εισόδου του κτηρίου.

Εντός του χώρου δεν υπάρχει καμία επίπλωση πέρα από ένα γραφείο και μερικά καθίσματα στα οποία συνηθίζουν να κάθονται οι φοιτητές και το προσωπικό των εργαστηρίων κατά το διάλειμμα τους από τις εργασίες τους. Γενικότερα η είσοδος εκτός από πέρασμα, αποτελεί το μοναδικό χώρο του κτηρίου στον οποίο έχουμε παρουσία καπνιστών. Ο κοινόχρηστος αυτός χώρος αυτός εξυπηρετεί τους καπνιστές καθώς διαχωρίζεται με πόρτες από τους υπόλοιπους χώρους.

Για το χώρο της εισόδου δεν πραγματοποιήθηκε έρευνα με ερωτηματολόγιο δεδομένου ότι αποτελεί ένα κοινόχρηστο χώρο διέλευσης χωρίς κάποιο σταθερό πρόγραμμα παρουσίας ατόμων. Ωστόσο, η μελέτη ποιότητας του εσωτερικού του αέρα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της παρουσίας καπνού από τσιγάρα.

7.5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων

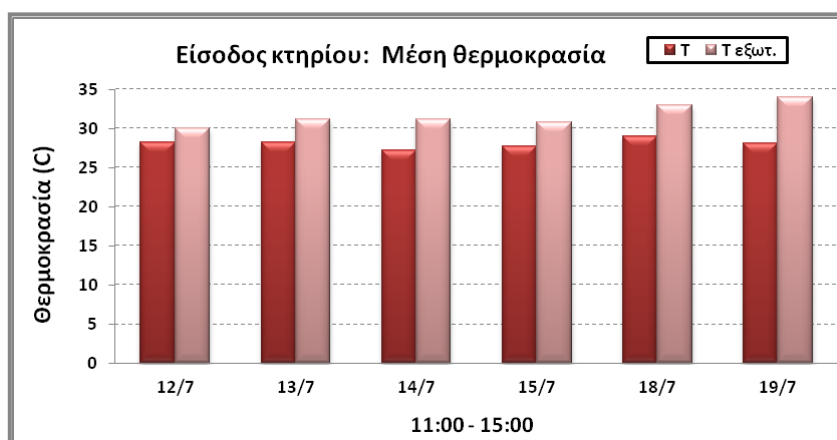
Οι πειραματικές μετρήσεις στο συγκεκριμένο χώρο λόγω της δυνατότητας ελεύθερης πρόσβασης πραγματοποιήθηκαν για περιορισμένο χρονικό διάστημα μερικών ωρών για την ασφάλεια των μετρητικών οργάνων.

7.5.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του χώρου της εισόδου μετρήθηκε με τον καταγραφέα Tinytag Ultra 2 data logger (Gemini Ltd) το χρονικό διάστημα 11:00 – 15:00 από τις 12 έως τις 19 Ιουλίου, καθώς και το διάστημα 17:00 – 19:00 στις 18 και 19 Ιουλίου. Το Σαββατοκύριακο (16 - 17/07) δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.

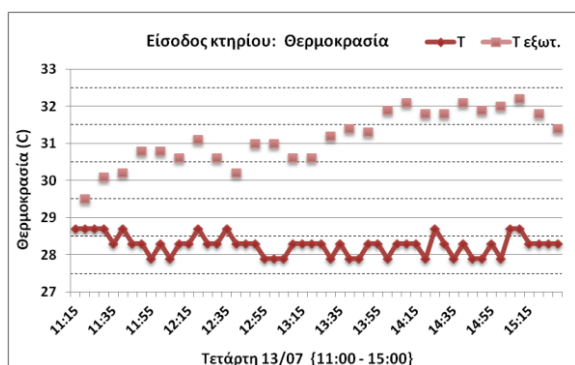
Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων τις ώρες αυξημένης παρουσίας ατόμων στο χώρο της εισόδου (11:00 – 15:00), η θερμοκρασία του αέρα κυμάνθηκε από 26 έως 29,8°C και η μέση τιμή ήταν ίση με 28,1°C. Η αντίστοιχη διακύμανση της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος καλύπτει ένα εύρος ελαφρώς μεγαλύτερο καθώς οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 29,1 έως 34,6°C (μέση τιμή: 31,7°C). Στο ακόλουθο ραβδόγραμμα (Σχήμα 7.81) παρουσιάζονται οι μέσες τιμές εσωτερικής και εξωτερικής

θερμοκρασίας ανά ημέρα μέτρησης. Τα αναλυτικά διαγράμματα στιγμιαίας διακύμανσης παρατίθενται στο Παράρτημα III (Σχήματα Π III-64 έως 66).

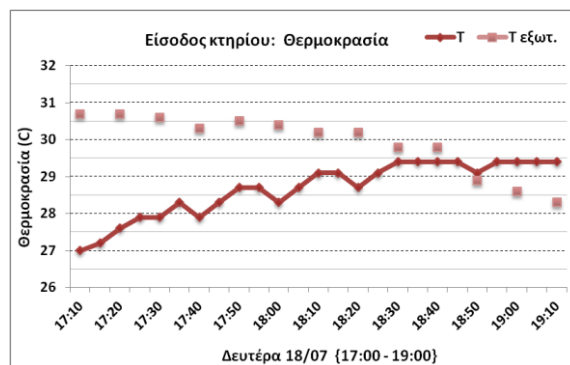


Σχήμα 7.81 Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά ημέρα μέτρησης στο χώρο της εισόδου.

Κατά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τις απογευματινές ώρες (17:00 – 19:00), κατά τις οποίες η πρόσβαση στο κτήριο είναι σχετικά περιορισμένη, οι τιμές στο εσωτερικό περιβάλλον κυμάνθηκαν σε ακόμα πιο υψηλά επίπεδα λόγω της ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας στην οποία εκτέθηκε ο χώρος κατά της μεσημβρινές ώρες. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα κυμάνθηκε μεταξύ 27 και 31,4°C (μέση τιμή 29,2°C). Οι τιμές στο εξωτερικό περιβάλλον ήταν κατά περίπου 1 °C χαμηλότερες σε σχέση με το διάστημα 11:00 – 15:00, κυμαινόμενες στο εύρος από 28,3 έως 33,3°C (μέση τιμή 31,1°C). Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι η συσσώρευση της θερμότητας στο χώρο προκαλεί σταδιακή άνοδο της εσωτερικής θερμοκρασίας σε αντιδιαστολή με την πτώση που σημειώνεται στο εξωτερικό περιβάλλον. Στα Σχήματα 7.82 και 7.83 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα προφίλ θερμοκρασίας μίας τυπικής διακύμανσης για τις ώρες 11:00 - 15:00 και 17:00 – 19:00.



Σχήμα 7.83 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στο χώρο της εισόδου στις 13/07 μεταξύ των ωρών 11:00 – 15:00.



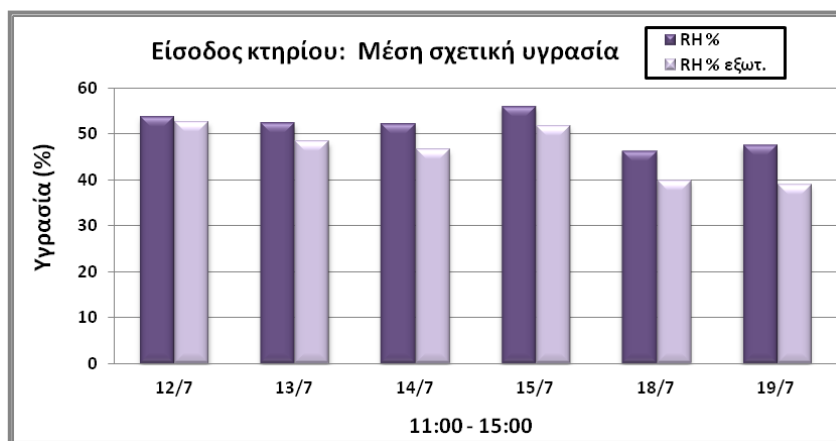
Σχήμα 7.82 Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στο χώρο της εισόδου στις 18/07 μεταξύ των ωρών 17:00 – 19:00.

Σημειώνεται ότι η TOTEE 20701-1/2010 ορίζει για διαδρόμους και άλλους κοινόχρηστους χώρους ως προτεινόμενη θερμοκρασία σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους την τιμή των 26°C. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος χώρος δε διαθέτει σύστημα κλιματισμού και συνεπώς δέχεται έντονα την επίδραση των εξωτερικών συνθηκών, δεδομένου ότι οι πόρτες ανοιγοκλείνουν συχνά λόγω της διέλευσης των ατόμων, με αποτέλεσμα να επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες.

7.5.1.2 Σχετική Υγρασία

Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας πραγματοποιήθηκε με τον καταγραφέα Tinytag Ultra 2 data logger (Gemini Ltd κατά τον ίδιο τρόπο και χρόνο με τη μέτρηση της θερμοκρασίας αέρα.

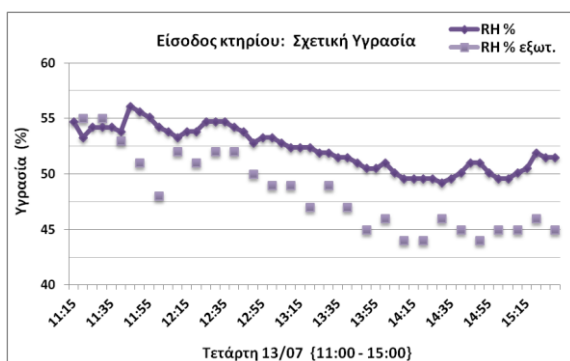
Η στιγμιαία σχετική υγρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων μεταξύ 11:00 – 15:00 στον υπό μελέτη χώρο κυμάνθηκε από 43,2 έως 60,7% (μέση τιμή: 51,2%). Όσον αφορά στη σχετική υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, το εύρος τιμών κυμάνθηκε για τις ίδιες ώρες μεταξύ 35 και 57% (μέση τιμή: 46,3%). Τα αποτελέσματα υπό τη μορφή μέσων τιμών σχετικής υγρασίας ανά ημέρα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Όλα τα γραφήματα στιγμιαίων τιμών παρατίθενται στο Παράρτημα III (Σχήματα Π III-67 έως 69).



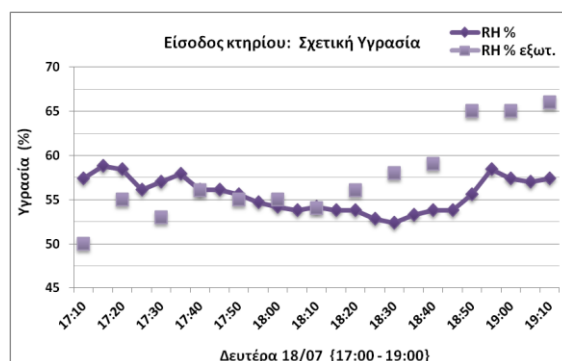
Σχήμα 7.84 Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά ημέρα μέτρησης στο χώρο της εισόδου.

Κατά τη διάρκεια των απογευματινών μετρήσεων οι τιμές σχετικής υγρασίας κυμάνθηκαν στο εύρος από 42,8 έως 58,8% και η μέση τιμή (50,2%) ήταν κατά 1 μονάδα χαμηλότερη σε σχέση με τις μετρήσεις των 11:00 – 15:00. Ωστόσο η μέση εξωτερική υγρασία ανήλθε σε 49,6% (38 – 66%), ήταν δηλαδή κατά 3,3 μονάδες υψηλότερη. Από τα γραφήματα (Σχήματα 7.86, 7.86) είναι εμφανές ότι η σχετική υγρασία του χώρου μεταβάλλεται

ανάλογα με τα εξωτερικά επίπεδα. Οι μικρότερες τιμές έχουν καταγραφεί τις μεσημεριανές ώρες και οι υψηλότερες τις πρωινές και απογευματινές. Ωστόσο, παρουσιάζει αυξομειώσεις και λόγω της επίδρασης που δέχεται από τη σχετική υγρασία που επικρατεί στους διαδρόμους, μέσω του ανοίγματος των θυρών που επικοινωνούν με τις δύο πτέρυγες του κτηρίου.



Σχήμα 7.85 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στο χώρο της εισόδου στις 13/07 μεταξύ των ωρών 11:00 – 15:00.



Σχήμα 7.86 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στο χώρο της εισόδου στις 18/07 μεταξύ των ωρών 17:00 – 19:00.

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να παραθέσουμε την τιμή της σχετικής υγρασίας που προτείνει η οδηγία TOTEE 20701-1/2010 με στόχο την επίτευξη θερμικής άνεσης χωρίς σπατάλη ενέργειας. Η τεχνική οδηγία καθορίζει για τη θερινή περίοδο ως σχετική υγρασία σχεδιασμού για κλιματιζόμενους διαδρόμους και άλλους κοινόχρηστους χώρους την τιμή 50%. Τονίζεται ότι η τιμή αυτή δεν απευθύνεται στον υπό μελέτη χώρο, δεδομένου ότι δε διαθέτει σύστημα κλιματισμού, ωστόσο, η σύγκριση με αυτή μας παρέχει τη δυνατότητα να αξιολογήσουμε τα επίπεδα σχετικής υγρασίας του χώρου. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαπιστώνεται λοιπόν ότι οι επικρατούσες τιμές στο χώρο παρουσιάζουν μικρή απόκλιση από την τιμή – όριο και συνεπώς τα επίπεδα κρίνονται ικανοποιητικά.

7.5.1.3 Φωτεινότητα

Η μέτρηση της φωτεινότητας στο χώρο της εισόδου πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της Α Φάσης, στις 18 Ιουλίου, σύμφωνα με τον τρόπο που περιγράφηκε στο 5.1.1.

Στον εξεταζόμενο χώρο δεν υφίσταται τεχνητός φωτισμός και δεδομένου ότι ο χώρος είναι διαμπερής, δέχεται ηλιακή ακτινοβολία και από τις δύο αντικριστές θύρες εισόδου του κτηρίου, καθώς επίσης και από το υαλοστάσιο της νότιας πλευρά του χώρου, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται φυσικός φωτισμός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η νότια όψη των κτηρίων δέχεται την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία σε μεγαλύτερο ποσοστό, με

σταθερότερο ρυθμό και με καλύτερη κατανομή τόσο στις εποχές του έτους, όσο και στη διάρκεια της ημέρας. Για την αποφυγή όμως των προβλημάτων ανισοκατανομής φωτισμού και θάμβωσης που παρατηρούνται κατά τη θερινή περίοδο το υαλοστάσιο αυτό φέρει ηλιοπροστατευτικές περσίδες.

Πίνακας 7.13 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο χώρο της εισόδου.

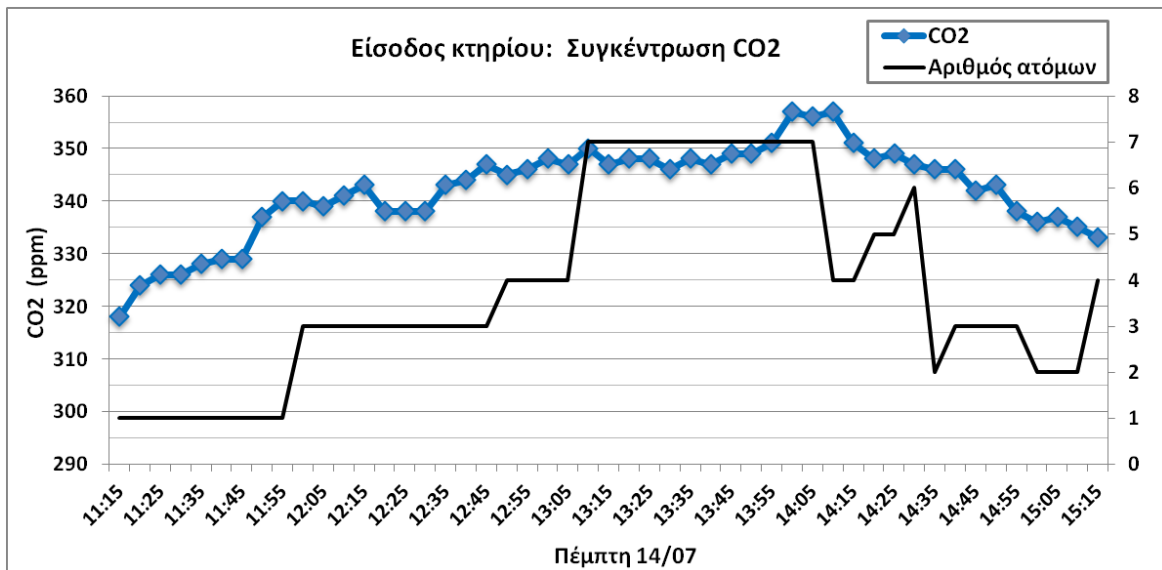
Στατιστικά δεδομένα	Στάθμη φωτισμού (Lux)		
	11:00	14:00	17:00
Min	470	390	460
Max	580	590	1480
Mean	513	468	880

Τα αποτελέσματα για το χώρο ανά ώρα μέτρησης (11:00, 14:00 και 17:00) παρατίθενται στον Πίνακα 7.13. Συγκρίνοντας τα μέσα επίπεδα φωτισμού του χώρου, τα οποία ανέρχονται στα 620 lx κατά τη διάρκεια της ημέρας, με την τιμή των 200 lx που προτείνεται από την TOTEΕ 20701-1/2010 για διαδρόμους και κοινόχρηστους βοηθητικούς χώρους, συμπεραίνεται ότι οι ανάγκες φωτισμού του χώρου υπερκαλύπτονται από το φυσικό φως.

7.5.1.4 Διοξείδιο του άνθρακα

Η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα στο χώρο της εισόδου πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI στις 14/07 στο διάστημα 11:00 – 15:00 και στις 18/07 μεταξύ των ωρών 17:00 και 19:00. Το πρώτο χρονικό διάστημα αντιπροσωπεύει ώρες αυξημένης κινητικότητας ενώ το δεύτερο καλύπτει ώρες περιορισμένης πρόσβασης στο κτήριο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα την Πέμπτη 14 Ιουλίου κατά τις πρωινές – μεσημβρινές ώρες κυμάνθηκε στο εύρος από 318 έως 357 ppm (Σχήμα 7.87). Η διακύμανση της συγκέντρωσης παρουσιάζεται σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων που παρίστανται στον υπό μελέτη χώρο. Η παρουσία των ατόμων αφορά σε άτομα που παραμένουν στο χώρο για διάρκεια ορισμένων λεπτών και όχι σε άτομα που διέρχονται από το χώρο της εισόδου για να μεταβούν σε άλλους χώρους του κτηρίου.



Σχήμα 7.87 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης του CO₂ σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο της εισόδου για τις 14/07 (11:00 – 15:00).

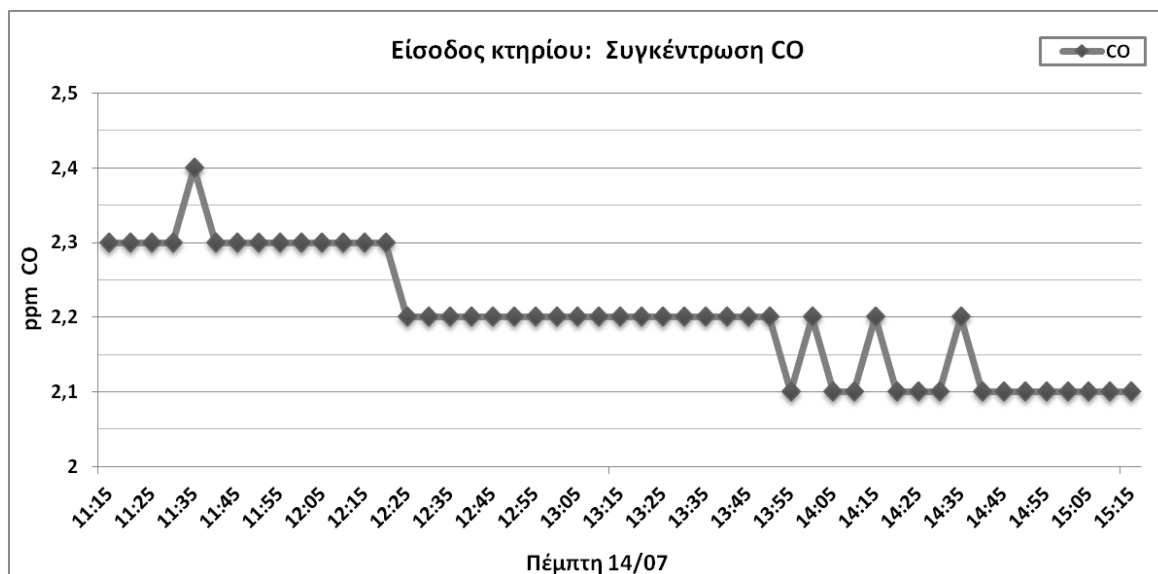
Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το διοξείδιο του άνθρακα μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα με τα άτομα που βρίσκονται κάθε στιγμή στο χώρο και φυσικά ανάλογα και με τις υπόλοιπες συνθήκες που επικρατούν (π.χ. άνοιγμα/κλείσιμο πορτών). Γενικότερα, η συγκέντρωση του CO₂ εξαρτάται από το πλήθος των ενοίκων στο κτήριο, τη διάρκεια παρουσίας τους, το ρυθμό αερισμού και ασφαλώς τον όγκο του κτηρίου. Δεδομένου ότι η παρουσία των ατόμων είναι μεταβλητή παράμετρος, η συγκέντρωση του CO₂ μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Επιπλέον, στο χώρο της εισόδου παρίστανται και καπνιστές και επομένως, στο χώρο υπάρχουν ουσιαστικά δύο πηγές του ρύπου (εκπομπή CO₂ μέσω της ανθρώπινης αναπνοής και λόγω του καπνού του τσιγάρου). Ωστόσο, αν και η επιβάρυνση λόγω του καπνίσματος είναι σημαντική, λόγω του μεγάλου όγκου του χώρου τα επίπεδα δεν είναι ιδιαίτερα υψηλά, καθώς κυμαίνονται κοντά σχετικά στα εξωτερικά επίπεδα (300 – 400 ppm), γεγονός που σημαίνει ότι οι πηγές εκπομπής CO₂ δεν είναι ισχυρές. Η συγκέντρωση κυμάνθηκε σε ακόμη πιο χαμηλά επίπεδα κατά την απογευματινή μέτρηση που πραγματοποιήθηκε τη Δευτέρα 18 Ιουλίου, συγκεκριμένα στο εύρος μεταξύ 264 έως 302 ppm, λόγω της μειωμένης παρουσίας ατόμων στο χώρο (Σχήμα Π III-70).

Συνεπώς διαπιστώνεται ότι ο αερισμός στο χώρο είναι επαρκής και δεν υφίσταται πρόβλημα κακής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Στο γεγονός αυτό πιθανόν συμβάλει και η έντονη κινητικότητα των ατόμων που διέρχονται από το χώρο. Ενδεχομένως, η είσοδος και η έξοδος των ατόμων μπορεί να επηρεάσει την εσωτερική κυκλοφορία του αέρα,

δημιουργώντας συνθήκες ικανοποιητικής ανάμιξής του με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωση του CO₂.

7.5.1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα

Η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα μετρήθηκε ταυτόχρονα με τη συγκέντρωση CO₂ με το όργανο IAQ-CALC 8762 (TSI).



Σχήμα 7.88 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης του CO στο στο χώρο της εισόδου για τις 14/07 (11:00 – 15:00).

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη μέτρηση του μονοξειδίου του άνθρακα στο χώρο της εισόδου έδειξαν ότι η συγκέντρωση CO κυμάνθηκε σε αποδεκτά επίπεδα, στο εύρος από 2,1 έως 2,4 ppm. Το εύρος διακύμανσης ήταν κοινό και για τη μέτρηση των 11:00 – 15:00 (Σχήμα 7.88) και για τη μέτρηση των 17:00 – 19:00 (Σχήμα Π III-71). Διαπιστώνεται επίσης ότι, τα επίπεδα αυτά είναι κατά 0,2 ppm υψηλότερα σε σχέση με τις μέγιστες συγκεντρώσεις των υπόλοιπων εξεταζόμενων χώρων, γεγονός που αποδίδεται στην παρουσία καπνιστών στο συγκεκριμένο χώρο. Το μονοξείδιο του άνθρακα εκπέμπεται από το κάπνισμα του τσιγάρου καθώς αποτελεί παραπροϊόν της καύσης του. Ωστόσο, το κάπνισμα δε φαίνεται να συμβάλλει ιδιαίτερα σημαντικά στην αύξηση των επιπέδων CO, πιθανόν λόγω του μεγάλου όγκου του χώρου και της επάρκειας αερισμού που διαπιστώθηκε από τις χαμηλές συγκεντρώσεις CO₂.

7.5.1.6 Ραδόνιο

Η μέτρηση της ισοδύναμης συγκέντρωσης ραδονίου πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου SARAD DOSEman – Pro στις 15 Ιουλίου.

Σύμφωνα με την ένδειξη του οργάνου η μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση στον εξεταζόμενο χώρο προκύπτει ίση με $3,35 \text{ Bq/m}^3$ (ή $0,09 \text{ pCi/l}$), η οποία είναι κατά πολύ χαμηλότερη από τα επίπεδα δράσης για τη λήψη μέτρων της Ε.Ε. (200 Bq/m^3). Επίσης, σύμφωνα με υπολογισμό του οργάνου η δόση ακτινοβολίας του ραδονίου είναι ίση με $0,025 \text{ μSv}$. Το όριο έκθεσης για το γενικό πληθυσμό σε ακτινοβολία είναι 1 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους.

7.5.1.7 Ακτινοβολία γ

Η μέτρηση της ισοδύναμης δόσης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h) πραγματοποιήθηκε με χρήση του ανιχνευτή και μετρητή ακτινοβολίας Dose Rate Measuring Unit FH 40 G στις 18 Ιουλίου.

Από τα αποτελέσματα τριών διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων (Παράρτημα IV), υπολογίστηκε ότι η μέση τιμή ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας στο χώρο της εισόδου είναι ίση με 64 nSv/h . Η τιμή αυτή ισοδυναμεί με $0,56 \text{ mSv/y}$. Συγκρίνοντας επομένως με το όριο δόσης κατά τη διάρκεια ενός έτους, το οποίο είναι ίσο με 1 mSv (ICRP, 1990), διαπιστώνεται ότι η έκθεση σε ακτινοβολία γ στο χώρο είναι ασφαλής.

7.5.1.8 Αιωρούμενα σωματίδια

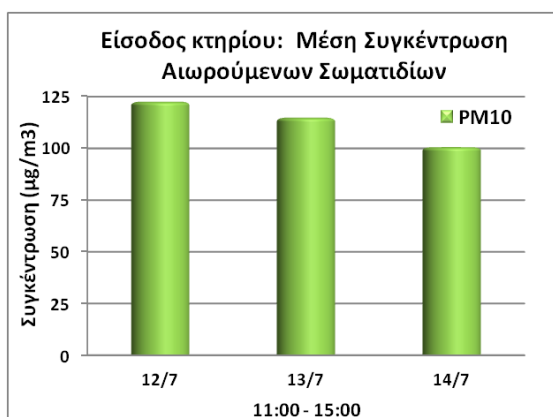
7.5.1.8.1 Συγκέντρωση μάζας

Στα πλαίσια της Α Φάσης πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} στον κοινόχρηστο χώρο της εισόδου του κτηρίου με το όργανο DustTrak 8520, από τις 12 έως τις 19 Ιουλίου (δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις το Σαββατοκύριακο 16-17/07). Δεδομένης της ελεύθερης πρόσβασης στο χώρο δεν πραγματοποιήθηκαν εικοσιτετράωρες μετρήσεις για λόγους ασφαλείας του οργάνου. Συγκεκριμένα για το κάθε κλάσμα σωματιδίων πραγματοποιήθηκαν 3 δειγματοληψίες τετράωρης διάρκειας σε ώρες αυξημένης κίνησης εντός του κτηρίου (11:00 – 15:00) και 1 δίωρη σε ώρες περιορισμένης κυκλοφορίας (17:00 – 19:00). Στις μετρήσεις δεν συμπεριελήφθησαν τα σωματίδια PM_1 λόγω της μη

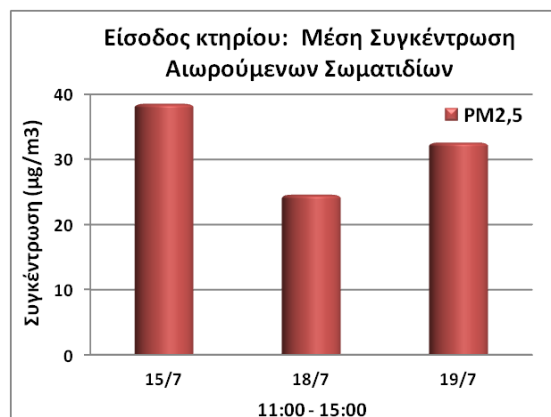
δυνατότητας του συγκεκριμένου μοντέλου να μετρά ταυτόχρονα όλα τα κλάσματα μεγέθους. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων έγινε καταγραφή του αριθμού των ατόμων που βρίσκονταν στο χώρο καθώς και όλων των δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα.

Τα συνολικά αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων έδειξαν ότι η συγκέντρωση των σωματιδίων κυμάνθηκε στο εύρος από 30 έως 221 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} και από 13 έως 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $\text{PM}_{2,5}$. Τα επίπεδα αυτά κρίνονται ιδιαίτερα υψηλά, καθώς οι μέσες τιμές υπερβαίνουν τα αντίστοιχα ημερήσια και ετήσια επιτρεπτά όρια της Ε.Ε. και του Π.Ο.Υ για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια. Αν λάβουμε όμως υπόψη τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις της Αμερικάνικης Επιτροπής Περιβάλλοντος, παρατηρούμε ότι ικανοποιούνται τα ημερήσια όρια για τα PM_{10} και τα $\text{PM}_{2,5}$ (150 και 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα).

Στα Σχήματα 7.89 και 7.90 δίνονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης για τα PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ αντίστοιχα, οι οποίες παρουσιάστηκαν τις ημέρες των μετρήσεων κατά τις εργάσιμες ώρες 11:00 – 15:00 που η διέλευση στο χώρο ήταν αυξημένη.



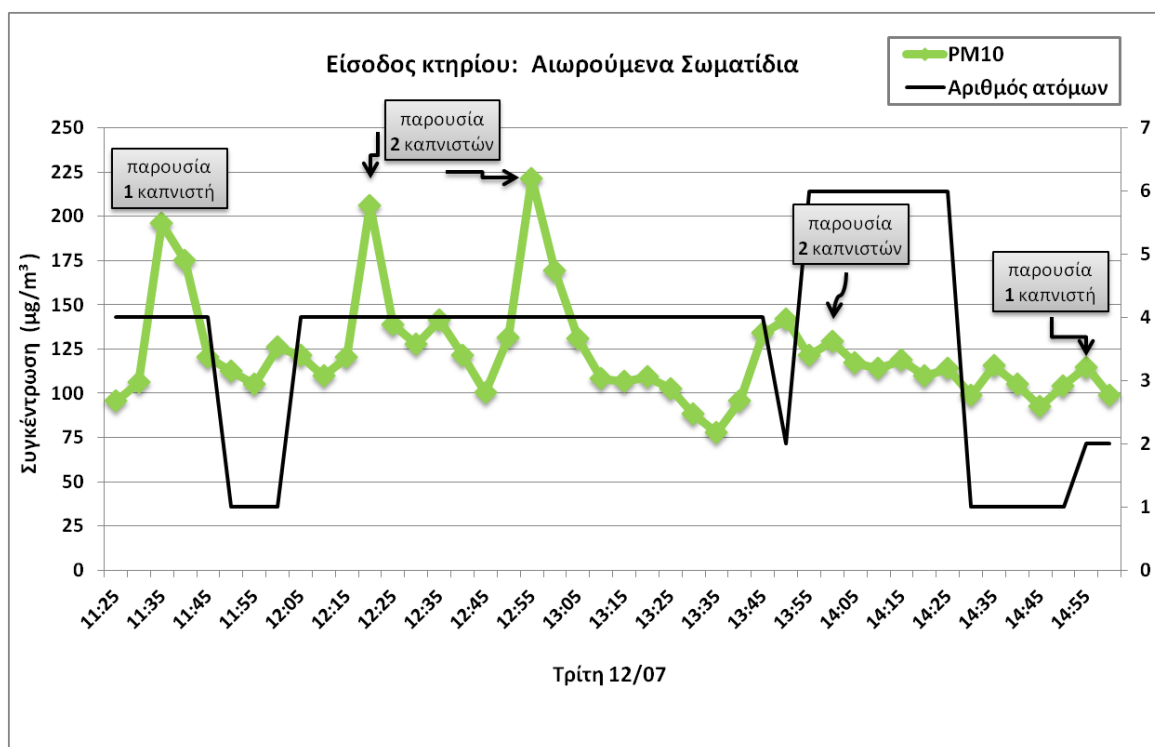
Σχήμα 7.90 Μέση τιμή συγκέντρωσης μάζας PM_{10} ανά ημέρα μέτρησης στο χώρο της εισόδου.



Σχήμα 7.89 Μέση τιμή συγκέντρωσης μάζας $\text{PM}_{2,5}$ ανά ημέρα μέτρησης στο χώρο της εισόδου.

Προκειμένου να διερευνηθούν οι παράγοντες που επιδρούν στη μεταβολή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, θα εξετασθούν τα προφίλ στιγμιαίας διακύμανσης των συγκεντρώσεων, τα οποία παρουσιάζονται σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων. Η παρουσία των ατόμων αφορά σε άτομα που παρίστανται στο χώρο για διάρκεια ορισμένων λεπτών και όχι σε άτομα που εξέρχονται ή εισέρχονται από και προς το κτήριο, η διέρχονται από το χώρο για τη μετάβαση από τη μία πτέρυγα προς την άλλη του κτηρίου.

Τα προφίλ διακύμανσης των συγκεντρώσεων κατά τις εργάσιμες ώρες 11:00 – 15:00 αποτελούν ένδειξη της σημαντικής επίδρασης του καπνίσματος σε σύγκριση με άλλες δραστηριότητες όσον αφορά την ποιότητα του αέρα, δεδομένου ότι η είσοδος του κτηρίου αποτελεί χώρο ελεύθερης πρόσβασης στον οποίο λαμβάνει χώρα περιστασιακό κάπνισμα. Η οξεία επίδραση του καπνίσματος αντικατοπτρίζεται στις απότομες αιχμές συγκέντρωσης στο γράφημα (Σχήμα 7.91). Η μεγαλύτερη αύξηση, κατά την οποία η τιμή της συγκέντρωσης μάζας ανέρχεται σε $221 \mu\text{g}/\text{m}^3$, σημειώνεται στις 12:55, παρουσία 2 καπνιστών και συνολικά 4 ατόμων. Από τα επεισόδια καταγραφής καπνίσματος συμπεραίνεται ότι τα προϊόντα του καπνού αποτελούν καθοριστικότερο παράγοντα επίδρασης στην αύξηση της συγκέντρωσης PM_{10} από ότι άλλοι παράγοντες, όπως η κινητικότητα των διερχόμενων ατόμων και το άνοιγμα/κλείσιμο των πορτών της εισόδου, οι οποίοι προκαλούν επαναφορά των σωματιδίων που είχαν επικαθίσει στις εσωτερικές επιφάνειες. Η επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον δε μπορεί να προσδιοριστεί καθώς για τον υπό μελέτη χώρο δεν πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης.

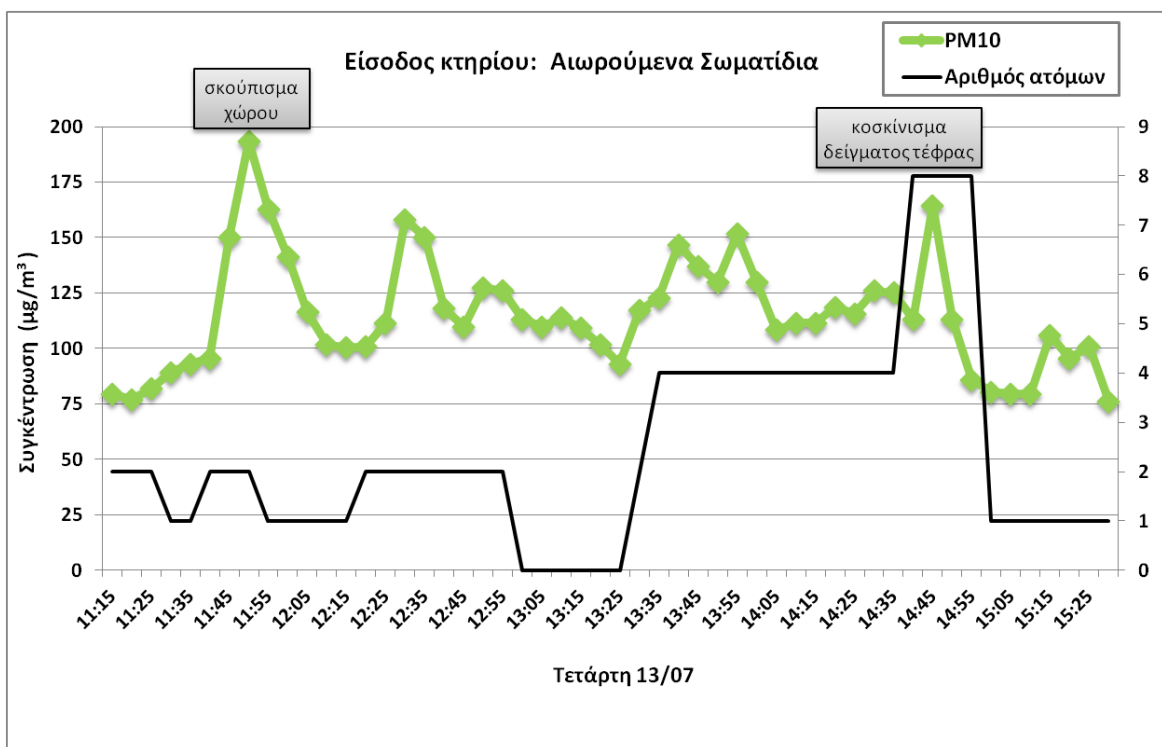


Σχήμα 7.91 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο της εισόδου στις 12/07 (11:00 – 15:00).

Η διαπίστωση ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις PM_{10} παρατηρούνται κατά τη διάρκεια παρουσίας καπνιστών έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα άλλων μελετών. Για

παράδειγμα, οι Gaidajis & Angelakoglou (2009) στη μελέτη τους που αφορούσε σε ποιότητα αέρα πανεπιστημιακού κτηρίου, διαπίστωσαν, έπειτα από μετρήσεις με το ίδιο όργανο (DustTrak 8520, TSI) σε κοινόχρηστο χώρο συνάθροισης, ομοίως, ότι οι υψηλότερες τιμές PM₁₀ σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια καπνίσματος.

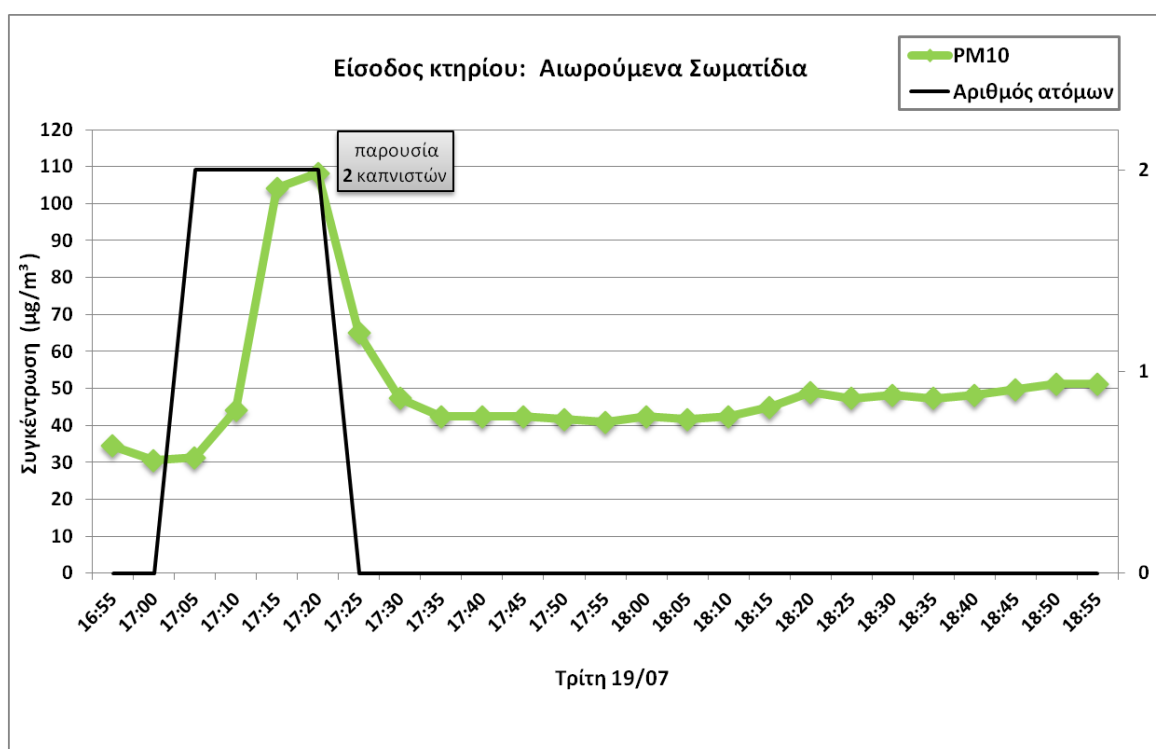
Στο Σχήμα 7.92 διαπιστώνεται η επίδραση δύο άλλων δραστηριοτήτων στη διαμόρφωση της συγκέντρωσης μάζας για τα σωματίδια PM₁₀. Συγκεκριμένα, στο διάστημα μεταξύ 11:40 και 11:50 λαμβάνει χώρα διαδικασία καθαρισμού, η οποία περιλαμβάνει άδειασμα σκουπιδιών και σκούπισμα του χώρου, και έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η τιμή της συγκέντρωσης στα 193 μg/m³. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην επαναιώρηση των σωματιδίων που έχουν επικαθίσει σε οριζόντιες επιφάνειες (Byrne, 1998; Miguel et al., 1995). Η δεύτερη υψηλότερη αιχμή (14:45) που παρατηρείται στο γράφημα, κατά την οποία σημειώνεται άνοδος της συγκέντρωσης στα 163 μg/m³, αποδίδεται στην αυξημένη παρουσία ατόμων (8) στο χώρο σε συνδυασμό με τη δραστηριότητα του κοσκινίσματος τέφρας που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες εργαστηριακού πειράματος.



Σχήμα 7.92 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο της εισόδου στις 13/07 (11:00 – 15:00).

Προκειμένου να διερευνηθούν οι συγκεντρώσεις υποβάθρου για τα σωματίδια PM₁₀ στον υπό μελέτη χώρο, πραγματοποιήθηκε μία δίωρη μέτρηση κατά τις απογευματινές ώρες (17:00 – 19:00) όπου οι περισσότεροι εργαζόμενοι έχουν αποχωρήσει από το κτήριο και η

διέλευση είναι αρκετά περιορισμένη (Σχήμα 7.93). Οι τιμές υποβάθρου αναφέρονται στις τιμές των συγκεντρώσεων για τις περιόδους χωρίς δραστηριότητες. Στο διάστημα των μετρήσεων σημειώθηκε επεισόδιο καπνίσματος 2 τσιγάρων ταυτοχρόνως από 2 άτομα που παραβρέθηκαν στο χώρο για 20 περίπου λεπτά. Τα πρώτα 10 λεπτά από την έναρξη των μετρήσεων, σε συνθήκες πλήρους απουσίας ατόμων από το χώρο, η διακύμανση της συγκέντρωσης ήταν στο εύρος 30 – 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Με την είσοδο των 2 ατόμων στο χώρο και το άναμμα των τσιγάρων προκλήθηκε σταδιακή αύξηση που έφτασε την τάξη των 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε διάστημα 15 λεπτών. Μετά από 15 λεπτά η συγκέντρωση μειώθηκε στα 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ωστόσο ακόμα και μετά από παρέλευση 90 λεπτών η συγκέντρωση δεν κατόρθωσε να επανέλθει στα επίπεδα που είχε σε συνθήκες ηρεμίας, καθώς, όπως έχει διαπιστωθεί από διάφορες έρευνες τα σωματίδια που εκπέμπονται από τον καπνό του τσιγάρου είναι συντηρητικοί ρύποι και παραμένουν αιωρούμενα για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 5 ωρών από τη λήξη των εκπομπών (Glytsos et al., 2010; Hussein et al., 2006; Miller and Nazaroff, 2001).



Σχήμα 7.93 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο της εισόδου στις 13/07 (17:00 – 19:00).

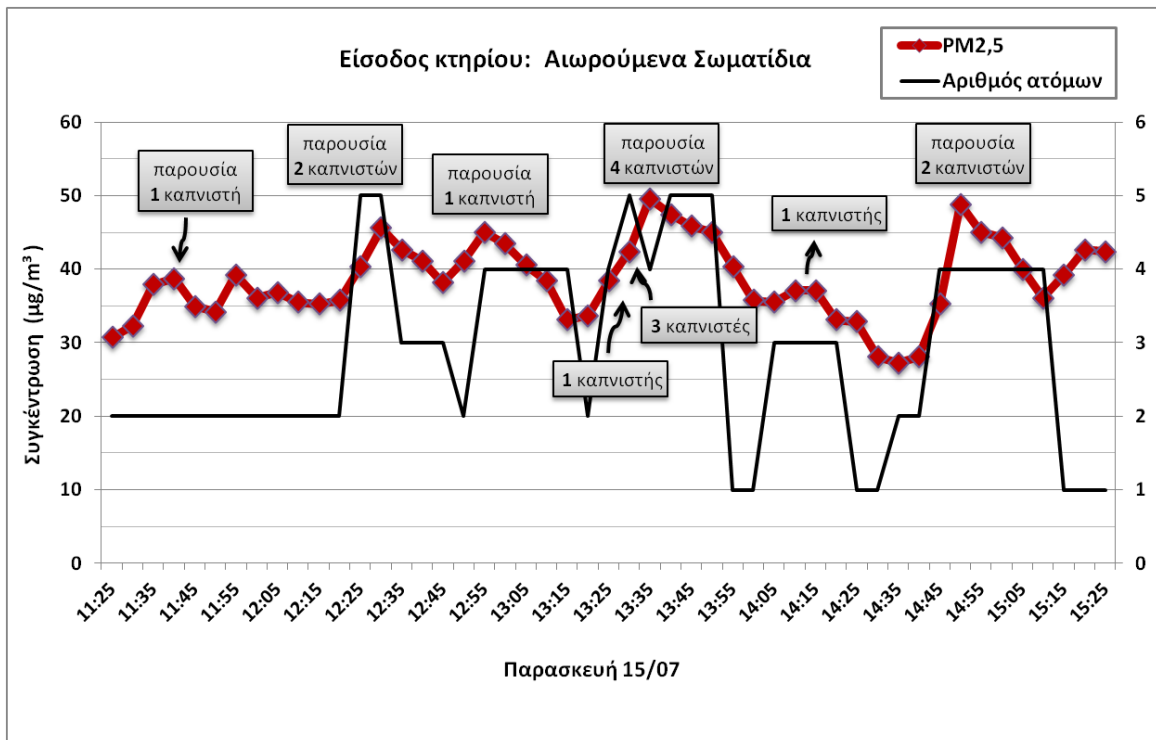
Το ποσοστό της αύξησης της συγκέντρωσης ανάμεσα στη μέση τιμή πριν το άναμμα των τσιγάρων και στη μέγιστη τιμή κατά τη διάρκεια του επεισοδίου καπνίσματος, υπολογίζεται ότι είναι ίσο με 238%. Το ποσοστό αυτό είναι συγκρίσιμο με τα αποτελέσματα των Slezakova et al. (2009), τα οποία προέκυψαν επίσης από μελέτη σε

χώρους χωρίς εξαερισμό κατά τη θερινή περίοδο και έδειξαν ότι ο καπνός του τσιγάρου αύξησε τις συγκεντρώσεις των PM_{10} κατά 270 – 560%.

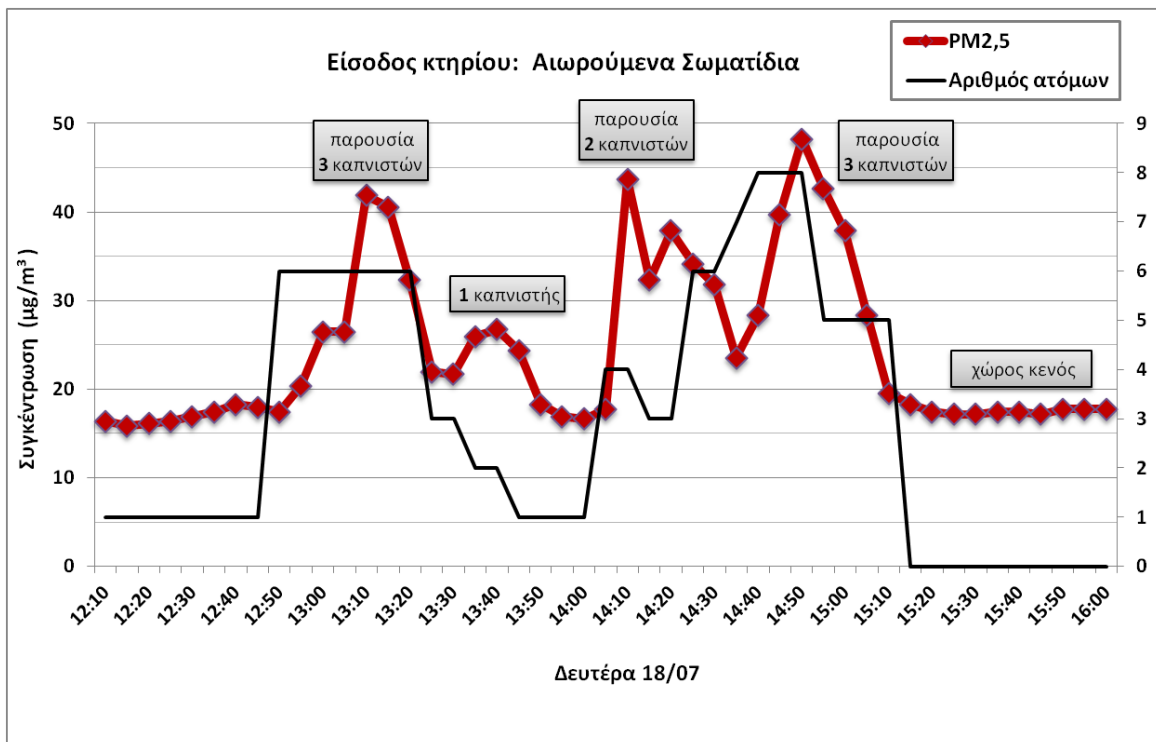
Γενικότερα, το κάπνισμα αυξάνει δραματικά τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό των κτηρίων και θεωρείται μία από τις κυριότερες πηγές παραγωγής αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους (Reardon, 2007). Απουσία διαδικασιών παραγωγής φαγητού το κάπνισμα παράγει περίπου το 54% των αιωρούμενων σωματιδίων σε ένα χώρο (Koutrakis et al., 1992). Μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε κτήρια καπνιστών έχουν δείξει ότι η αύξηση που προκαλείται από το κάπνισμα είναι εξαιρετικά μεγάλη. Συγκεκριμένα, μετρήσεις σε διάφορους τύπους κτηρίων των ΗΠΑ έδειξαν ότι η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε χώρους με καπνιστές μπορεί να αυξηθεί έως και 100 φορές και να φτάσει σε τιμές της τάξης των $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (State of California, 2000).

Επιπλέον σύμφωνα με τα πορίσματα της μελέτης των Slezakova et al., (2009), οι αυξήσεις λόγω της επίδρασης του καπνού ήταν μεγαλύτερες για τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια ($PM_{2.5}$, PM_1). Σε πληθώρα μελετών έχει διαπιστωθεί ότι ο καπνός του τσιγάρου επηρεάζει κυρίως τις συγκεντρώσεις σωματιδίων με μικρές αεροδυναμικές διαμέτρους (μεγαλύτερες από $0,03 \mu\text{m}$) και ότι η πλειοψηφία των σωματιδίων που εκπέμπονται ανήκουν στα λεπτά σωματίδια ($PM_{2.5}$) (Hussein et al., 2006; Morawska et al., 1997; Nazaroff et al., 1993; Anderson et al., 1989).

Στα Σχήματα 7.94 και 7.95 παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης μάζας για τα σωματίδια $PM_{2.5}$ σε συνδυασμό με τη διακύμανση του αριθμού των ατόμων εντός του εξεταζόμενου χώρου, κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες στις 15 και 18/07, καθώς επίσης και τα καταγεγραμμένα επεισόδια καπνίσματος. Στο διάστημα των 4 ωρών που διήρκησαν οι πειραματικές μετρήσεις, τα επίπεδα συγκέντρωσης παρουσίασαν σημαντικές αυξομειώσεις κυμαινόμενες στο εύρος από 27 έως $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και 16 έως 48 (μέση τιμή $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για την κάθε ημέρα αντίστοιχα. Ωστόσο, λόγω της διαρκούς παρουσίας ατόμων στο χώρο (1 έως 8), δε μπορεί να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο οι αιχμές της γραμμής που απεικονίζει τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων αποδίδονται στα προϊόντα του καπνού ή στις κινήσεις των παρευρισκομένων στο χώρο ατόμων. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και από τη μέτρηση στις 19/07 (Σχήμα Π III-73). Επίσης, στο Σχήμα 7.95 παρατηρείται ότι σε διαστήματα πρόσκαιρης απουσίας ατόμων η συγκέντρωση κυμαίνεται περίπου στα $16 - 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 7.94 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο της εισόδου στις 15/07 (11:00 – 15:00).

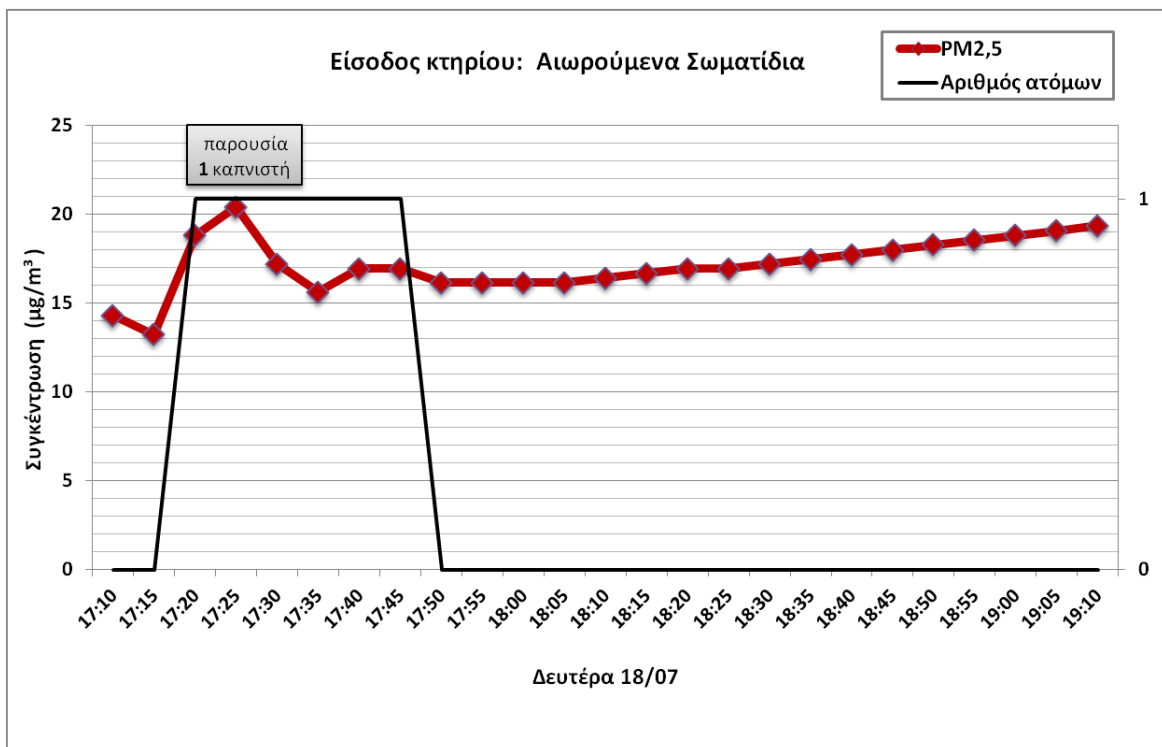


Σχήμα 7.95 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο της εισόδου στις 18/07 (11:00 – 15:00).

Εξετάζοντας τα εύρη τιμών στα οποία κυμαίνονται όλες οι μέγιστες συγκεντρώσεις που σημειώθηκαν στα διαστήματα παρουσίας καπνιστών (37 έως 50 µg/m³ για τις 15/07 και 27

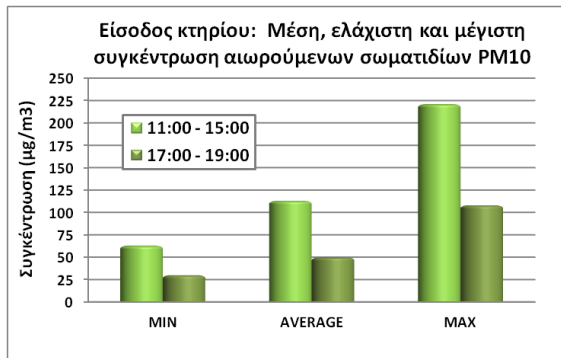
έως $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τις 18/07), διαπιστώνεται ότι, εμπίπτουν στο εύρος $32 - 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που παρατηρήθηκε από τους Morawska et al. (2003) από μετρήσεις συγκέντρωσης μάζας $\text{PM}_{2,5}$ με το ίδιο όργανο (DustTrak 8520, TSI) σε 15 κατοικίες καπνιστών.

Πραγματοποιήθηκε επίσης πειραματική μέτρηση της συγκέντρωσης $\text{PM}_{2,5}$ τις απογευματινές ώρες 17:00 – 19:00 (ομοίως με τα PM_{10}) κατά τις οποίες η είσοδος στο κτήριο είναι σχετικά περιορισμένη (Σχήμα 7.96). Κατά τη διάρκεια αυτής έγινε καταγραφή μεμονωμένου επεισοδίου καπνίσματος ενός τσιγάρου, το οποίο είχε ως συνέπεια την αύξηση των επιπέδων από $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (συνθήκες απουσίας ατόμων) σε $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (αύξηση 54%), μέσα σε διάστημα 10 λεπτών. Στη συνέχεια ωστόσο, μετά το σβήσιμο του τσιγάρου (λήξη εκπομπών), ομοίως με την τάση που παρατηρήθηκε σε αντίστοιχη μέτρηση για τα PM_{10} , η συγκέντρωση δεν επανήλθε στα προηγούμενα επίπεδα της για τη χρονική διάρκεια που καλύπτει η μέτρηση και διαμορφώθηκε στα ίδια επίπεδα που παρατηρήθηκαν στο Σχήμα 7.95 μετά την παύση του καπνίσματος. Η τάση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα σωματίδια που εκπέμπονται από το τσιγάρο παραμένουν αιωρούμενα για μεγάλο χρονικό διάστημα και ο ρυθμός εναπόθεσης των λεπτών σωματιδίων είναι χαμηλός (Xu et al., 1994).

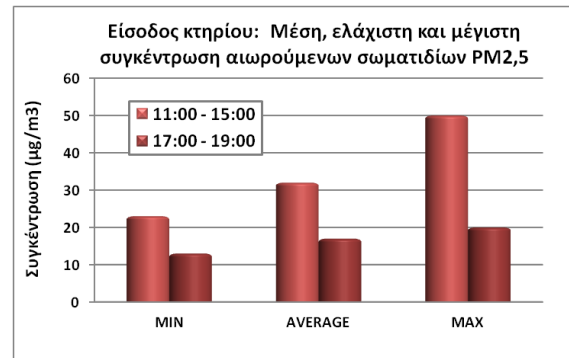


Σχήμα 7.96 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$ σε σχέση με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο της εισόδου στις 18/07 (17:00 – 19:00).

Γενικότερα, η αύξηση της συγκέντρωσης σε ένα χώρο εξαιτίας του καπνίσματος είναι συνάρτηση του αριθμού των τσιγάρων και του αερισμού του χώρου. Η επίδραση του καπνού του τσιγάρου στη μεταβολή της συγκέντρωσης των σωματιδίων $PM_{2,5}$ έχει αξιολογηθεί από διάφορους μελετητές. Σύμφωνα με τους Spengler et al. (1981), το κάπνισμα μπορεί να αυξήσει κατά $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τη μέση ημερήσια συγκέντρωση των λεπτών σωματιδίων ανά καπνιστή, ενώ ο Breysse (2005) έδειξε ότι, κάθε τσιγάρο αυξάνει τη μέση συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ (και των PM_{10}) κατά περίπου $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ανά ημέρα. Οι Chao et al. (2002) στα αποτελέσματα τους βρήκαν ότι η μέση συγκέντρωση $PM_{2,5}$ σε κατοικίες καπνιστών ήταν 18% υψηλότερη σε σχέση με σπίτια μη καπνιστών, ενώ σύμφωνα με τη μελέτη των Gemenetzis et al. (2006) που αφορούσε σε εκπαιδευτικό κτήριο, η συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ σε χώρους καπνιστών ήταν κατά 70% μεγαλύτερη από ότι σε χώρους μη καπνιστών.



Σχήμα 7.98 Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης μάζας PM_{10} για τα χρονικά διαστήματα 11:00 – 15:00 και 17:00 – 19:00 στο χώρο της εισόδου.



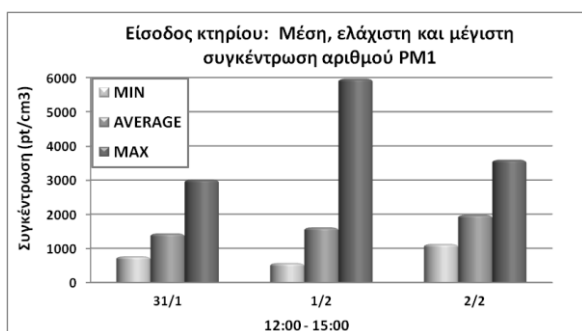
Σχήμα 7.97 Σύγκριση τιμών συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$ για τα χρονικά διαστήματα 11:00 – 15:00 και 17:00 – 19:00 στο χώρο της εισόδου.

Συνοψίζοντας, στα Σχήματα 7.97 και 7.98 παρουσιάζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων κατά τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες σε συγκριτική μορφή. Διαπιστώθηκε ότι τις ώρες αυξημένης παρουσίας και κυκλοφορίας ατόμων (11:00 – 15:00) εντός του υπό μελέτη χώρου, τα μέσα επίπεδα συγκέντρωσης ήταν υψηλότερα κατά 63 και $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, για τα $PM_{2,5}$ και PM_{10} αντίστοιχα, σε σχέση με τις ώρες μειωμένης προσέλευσης (17:00 – 19:00) στο κτήριο. Ως γενικότερο συμπέρασμα προκύπτει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μάζας $PM_{2,5}$ και PM_{10} καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της παρουσίας καπνιστών στο χώρο της εισόδου.

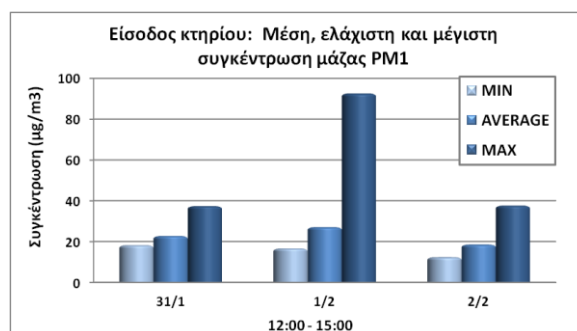
7.5.1.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

Η μέτρηση της συγκέντρωσης αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων PM₁ πραγματοποιήθηκε στο χώρο της εισόδου για το χρονικό διάστημα από 31 Ιανουαρίου έως 2 Φεβρουαρίου, με παράλληλη μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 3 ζεύγη δειγματοληψιών τριώρης διάρκειας κατά τις μεσημβρινές ώρες. Για τις πειραματικές μετρήσεις έγινε χρήση των οργάνων P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525 και DustTrak DRX 8534 της TSI.

Από την ανάκτηση των δεδομένων προέκυψε ότι, κατά τις ώρες αυξημένης κίνησης 12:00 – 15:00 στο χώρο της εισόδου, ο αριθμός σωματιδίων PM₁ κυμάνθηκε μεταξύ 569 και 5966 pt/cm³, ενώ το εύρος μεταβολής της συγκέντρωσης μάζας για τις ίδιες ώρες ήταν από 12 έως 93 μg/m³. Οι μέσες συγκεντρώσεις των μετρούμενων παραμέτρων ανά ημέρα παρουσιάζονται στα σχετικά γραφήματα (Σχήματα 7.99 και 7.100).



Σχήμα 7.99 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού PM₁ (0,02 – 1 μm) στο χώρο της εισόδου (31/01 – 02/02).



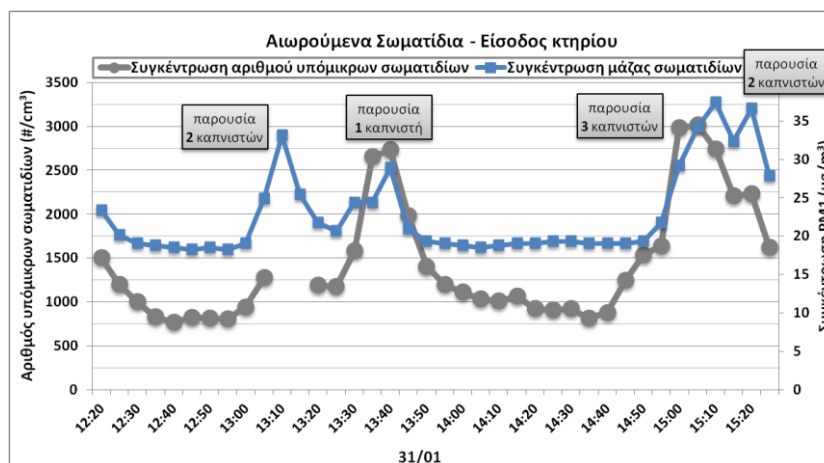
Σχήμα 7.100 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης μάζας PM₁ στο χώρο της εισόδου (31/01 – 02/02).

Γενικότερα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαπιστώθηκε η σημαντική επίδραση του καπνίσματος, δεδομένου ότι στον εξεταζόμενο χώρο λαμβάνει χώρα περιστασιακό κάπνισμα. Όλα τα επεισόδια καπνίσματος έχουν καταγραφεί και περιγράφονται στη συνέχεια.

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 31/01 (Σχήμα 7.101), προκύπτουν οι εξής σημαντικές παρατηρήσεις:

- Στο διάστημα μεταξύ 13:00 και 13:10, παρουσία 4 ατόμων, 2 εκ των οποίων καπνίζουν, σημειώνεται αύξηση της συγκέντρωσης μάζας κατά 14 μg/m³ (από 19 σε 33 μg/m³). Τα επίπεδα επανέρχονται στα 21 μg/m³ μετά από χρονικό διάστημα 15 λεπτών. Κατά το διάστημα αυτό η μέτρηση του αριθμού σωματιδίων είχε διακοπεί λόγω της ανάγκης ανεφοδιασμού του αναλυτή συγκέντρωσης αριθμού P-Trak με ισοπροπυλική αλκοόλη.

- Κατά το διάστημα 13:25 - 13:40, παρουσία ενός καπνιστή στο χώρο, παρουσιάζεται αύξηση των συγκεντρώσεων αριθμού και μάζας της τάξης των 1557 pt/cm^3 (από 1175 σε 2732 pt/cm^3) και 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (από 21 σε 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) αντίστοιχα. Οι δύο συγκεντρώσεις αποκτούν ταυτόχρονα τη μέγιστη τιμή τους και στη συνέχεια ακολουθεί μείωση που φτάνει τα επίπεδα που είχαν πριν από το άναμμα του τσιγάρου.
- Στο διάστημα 14:40 – 15:10 η παρουσία τριών ατόμων που καπνίζουν συμπίπτει χρονικά με αύξηση της τάξης των 2134 pt/cm^3 (από 880 σε 3014 pt/cm^3) και 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (από 19 σε 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Η μέγιστη τιμή για τη συγκέντρωση αριθμού σημειώνεται 5 λεπτά νωρίτερα από τη συγκέντρωση μάζας. Στη συνέχεια, παρά την τάση μείωσης, τα επίπεδα ανακάμπτουν λόγω νέου επεισοδίου καπνίσματος στις 15:15 από 2 άτομα.

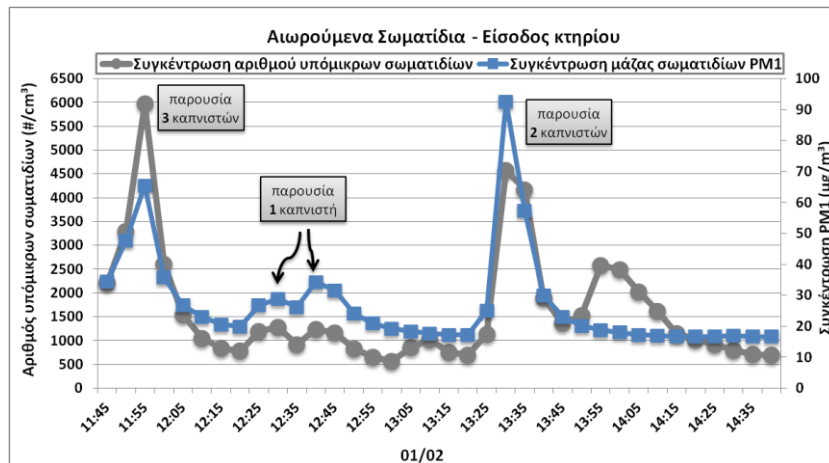


Σχήμα 7.101 Διάγραμμα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM_1 (0,02 – 1 μm) και μάζας PM_1 για τις 31/01 (12:00 – 15:00) στο χώρο της εισόδου.

Από τις πειραματικές μετρήσεις της 1^{ης} Φεβρουαρίου (Σχήμα 7.102) διαπιστώνονται τα εξής:

- Μεταξύ 11:45 και 11:55 παρατηρείται αξιοσημείωτη μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού από 2217 σε 5966 pt/cm^3 (αύξηση κατά 3749 pt/cm^3), καθώς και της συγκέντρωσης μάζας από 34 σε 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (αύξηση κατά 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), λόγω της παρουσίας 3 καπνιστών στο χώρο. Ακολουθεί σταδιακή πτώση των τιμών κατά 5188 pt/cm^3 και 16 pt/cm^3 σε διάστημα 25 λεπτών.
- Στις 12:20 συντελείται το άναμμα ενός τσιγάρου, ενώ στις 12:30 το σβήσιμο αυτού. Επίσης άλλο ένα σύντομο επεισόδιο καπνίσματος λαμβάνει χώρα μεταξύ 12:35 και 12:40. Οι μεταβολές συγκέντρωσης που σημειώνονται είναι μικρής έντασης λόγω της μεγάλης απόστασης της θέσης του συγκεκριμένου καπνιστή από το όργανο μέτρησης.
- Άλλη μία σημαντική άνοδος πραγματοποιείται στο διάστημα 13:20 – 13:30 παρουσία δύο καπνιστών στο χώρο. Η αύξηση είναι ιδιαίτερα μεγάλη για τη συγκέντρωση μάζας, η

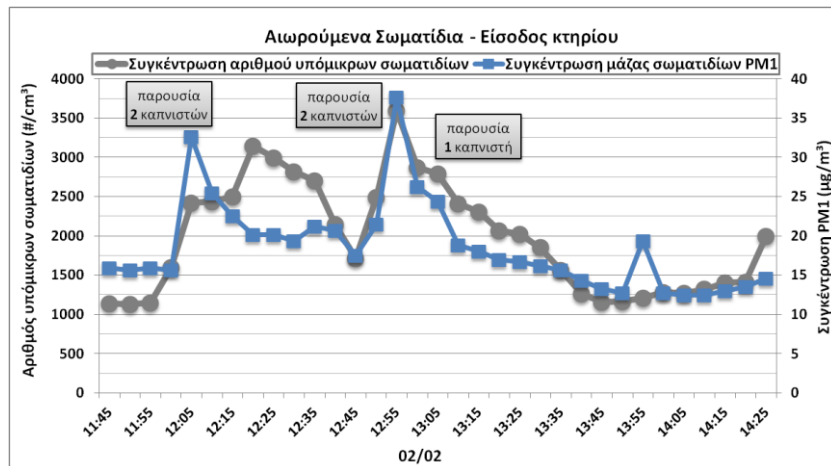
οποία μεταβάλλεται κατά $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (από 17 σε $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ η συγκέντρωση αριθμού αυξάνεται κατά $3882 \text{ pt}/\text{cm}^3$ (από 698 σε $4580 \text{ pt}/\text{cm}^3$). Ωστόσο, κατά τη σταδιακή μείωση των τιμών που ακολουθεί παρατηρείται μία ανάκαμψη του αριθμού των σωματιδίων μεταξύ 13:45 και 13:55 για απροσδιόριστο λόγο.



Σχήμα 7.102 Διάγραμμα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} ($0,02 - 1 \mu\text{m}$) και μάζας PM_{10} για τις 01/02 (12:00 – 15:00) στο χώρο της εισόδου.

Ομοίως και την τρίτη ημέρα (02/02) παρατηρούνται ανάλογες αυξήσεις που αποδίδονται στο κάπνισμα τσιγάρων από τα άτομα που παρευρίσκονται στο χώρο (Σχήμα 7.103). Συγκεκριμένα:

- Στο διάστημα 11:55 – 12:05 σημειώνεται ταυτόχρονη αύξηση των τιμών αριθμού και μάζας κατά $1268 \text{ pt}/\text{cm}^3$ (από 1149 σε $2417 \text{ pt}/\text{cm}^3$) και $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (από 16 σε $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), η οποία συμπίπτει με την παρουσία 2 καπνιστών στο χώρο. Η άνοδος της συγκέντρωσης αριθμού συνεχίζεται έως τις 12:20 φτάνοντας την τιμή των $3147 \text{ pt}/\text{cm}^3$.
- Μεταξύ 12:45 και 12:55 παρατηρείται σημαντική αύξηση της τάξης των $1880 \text{ pt}/\text{cm}^3$ και $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τη συγκέντρωση αριθμού και μάζας αντίστοιχα. Οι δύο συγκεντρώσεις αποκτούν ταυτόχρονα τη μέγιστη τιμή τους ($3592 \text{ pt}/\text{cm}^3$ και $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και στη συνέχεια ακολουθεί μείωση. Ωστόσο, μεταξύ 13:00 και 13:05 καταγράφεται το άναμμα ενός ακόμη τσιγάρου από ένα τρίτο άτομο, γεγονός που καθυστερεί την πτώση των τιμών.
- Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η αύξηση κατά $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που παρουσιάζεται για τη συγκέντρωση μάζας στις 13:55, η οποία πιθανόν αποδίδεται στο τίναγμα ρόμπας εργαστηρίου που πραγματοποιείται εκείνη την ώρα από ένα άτομο εντός του χώρου. Σταδιακή αύξηση, διάρκειας 25 λεπτών, κατά $235 \text{ pt}/\text{cm}^3$ παρατηρείται και για τη συγκέντρωση αριθμού.



Σχήμα 7.103 Διάγραμμα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM₁ (0,02 – 1 µm) και μάζας PM₁ για τις 02/02 (12:00 – 15:00) στο χώρο της εισόδου.

Συνοψίζοντας, με εξαίρεση την τελευταία δραστηριότητα, τα γραφήματα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού και μάζας δείχνουν ότι ο αριθμός και η μάζα των σωματιδίων PM₁ αυξάνονται σημαντικά κατά τα διαστήματα που τα άτομα που βρίσκονται στο χώρο καπνίζουν. Επιπλέον, παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση ($R^2 > 0,6$) μεταξύ συγκέντρωσης μάζας και συγκέντρωσης αριθμού για όλες τις ημέρες, υποδηλώνοντας ότι οι ίδιες πηγές συνεισφέρουν στην αύξηση των τιμών τους (Σχήματα Π III-77 έως 79).

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων της Α Φάσης είχε παρατηρηθεί η σημαντική επίδραση της δραστηριότητας του καπνίσματος στην αύξηση της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀. Ωστόσο, σύμφωνα με διάφορους μελετητές έχει παρατηρηθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των σωματιδίων που εκπέμπονται από τον καπνό του τσιγάρου έχει διάμετρο μικρότερη από 2,5 µm (Nazaroff et al., 1993) και συνεισφέρει σημαντικά στον αριθμό και τη μάζα των σωματιδίων PM₁. Συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι το κάπνισμα επηρεάζει κυρίως τα σωματίδια με μικρές αεροδυναμικές διαμέτρους μεγαλύτερες από 0,03 µm (Hussein et al., 2006, Morawska et al., 1997; Anderson et al., 1989).

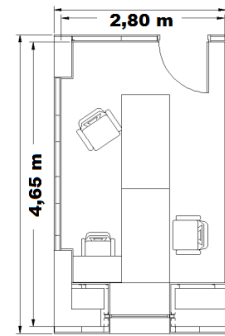
Όσον αφορά στην επίδραση άλλων παραγόντων στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης δεν παρατηρήθηκε καμία σύνδεση με την παρουσία των ατόμων στο χώρο. Σημειώνεται ότι η διέλευση από το χώρο ήταν ιδιαίτερα αυξημένη τις υπό εξέταση ημέρες και ώρες, κατά τις οποίες μάλιστα πραγματοποιήθηκαν και εργασίες μεταφοράς εξοπλισμού. Ωστόσο, δε διαπιστώθηκε μεταβολή των συγκεντρώσεων για τα σωματίδια PM₁. Γενικότερα, η συγκέντρωση των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 1 µm έχει βρεθεί ότι απουσία άλλων πηγών συσχετίζεται μόνο με τα επίπεδα του καπνίσματος και

όχι άλλες δραστηριότητες (Luoma & Batterman, 2001). Η επαναιώρηση σωματιδίων που προκαλείται από την κινητικότητα των ανθρώπων αφορά σε σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου από 1 μ m (Abt et al., 2000; Long et al., 2000).

7.6 Υπό μελέτη χώρος: Γραφείο 1

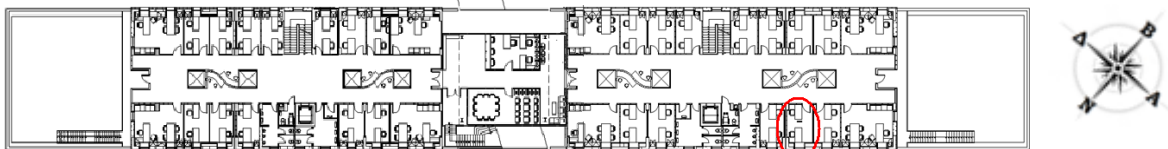
Περιγραφή και λειτουργία χώρου

Ο εξεταζόμενος γραφειακός χώρος (1) βρίσκεται στον όροφο του υπό μελέτη κτηρίου και έχει εμβαδό 13 m² (4,65 m x 2,80 m). Λαμβάνοντας υπόψη το ύψος των τοίχων που είναι 3 m, ο όγκος υπολογίζεται στα 39 m³. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η θέση του γραφείου στο κτήριο. Όπως φαίνεται και στην κάτοψη (Σχήμα 7.104), ο χώρος διαθέτει 1 παράθυρο, το οποίο έχει νοτιοανατολικό προσανατολισμό (κύρια όψη).



Σχήμα 7.104
Κάτοψη γραφείου 1.

Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στο γραφείο (1) οι ηλιοπροστατευτικές περσίδες του παραθύρου ήταν διαρκώς κατεβασμένες. Κατά τις ώρες χρήσης του χώρου ήταν συνήθως ανοιχτή η πόρτα, η οποία οδηγεί στο κεντρικό διάδρομο του ορόφου (Εικόνα 7.18), ενώ ήταν σε λειτουργία και ο κλιματισμός του χώρου, όπως επίσης και ο τεχνητός φωτισμός (4 λάμπες φθορίου).



Σχήμα 7.105 Τοποθεσία του γραφειακού χώρου 1 στον όροφο του υπό μελέτη κτηρίου.

Στο συγκεκριμένο χώρο κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας εργαζόταν 1 άτομο, το οποίο κατά δήλωση του βρισκόταν στο γραφείο 3 ημέρες την εβδομάδα και περίπου 7 ώρες ανά ημέρα. Κατά διαστήματα όμως γινόταν χρήση του χώρου και από άλλα άτομα χωρίς να υπάρχει κάποιο σταθερό πρόγραμμα παρουσίας χρηστών στο γραφείο.

Όσον αφορά στον εξοπλισμό του γραφείου, ο χώρος διαθέτει 2 ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι οποίοι ήταν σε διαρκή (εικοσιτετράωρη λειτουργία), καθώς επίσης και

έναν εκτυπωτή laser (Εικόνα 7.19). Σε ορισμένες περιπτώσεις γινόταν επιπλέον χρήση και φορητού υπολογιστή.



Εικόνα 7.18 Κεντρικός διάδρομος ορόφου του κτηρίου.



Εικόνα 7.19 Εσωτερικός χώρος του υπό μελέτη γραφείου (1).

Επίσης, είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι, την περίοδο διεξαγωγής των πειραματικών μετρήσεων ποιότητας αέρα στο χώρο (Α και Β Φάση), βρίσκονταν σε εξέλιξη οι εργασίες ανέγερσης των νέων κτηριακών μονάδων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική συνεισφορά σκόνης στην ατμόσφαιρα από τις κατασκευαστικές διαδικασίες, με απώτερη συνέπεια την επιβάρυνση και του εσωτερικού αέρα.

7.6.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου

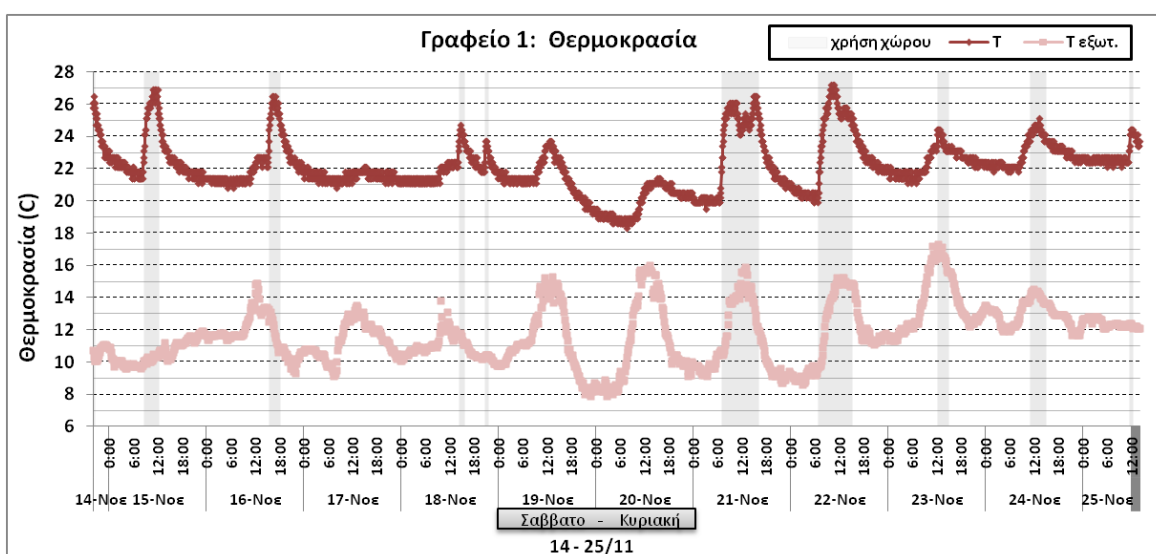
Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε με το ερωτηματολόγιο, το οποία συμπλήρωσαν ο βασικός εργαζόμενος στο χώρο και ένας περιστασιακός χρήστης του γραφείου, τα άτομα έκριναν την ποιότητα αέρα του χώρου ως μέτρια. Η διατύπωση παραπόνων αφορούσε στο αίσθημα αποπνικτικής ατμόσφαιρας για το οποίο δήλωσαν τα άτομα ότι αισθάνονται δυσφορία μερικές φορές. Το αίσθημα αυτό ενδεχομένως συνδέεται με την επιβάρυνση του εσωκλίματος από την εξωτερική ρύπανση λόγω των οικοδομικών εργασιών. Επίσης έγινε αναφορά όχλησης από διάφορες οσμές, οι οποίες πιθανόν προέρχονται από τα εργαστήρια του ισογείου. Στη δυσφορία λόγω οσμών ενδεχομένως συμβάλλει και η έλλειψη φρέσκου αέρα, δεδομένου ότι ο φυσικός αερισμός του χώρου συντελούταν κυρίως μέσω της πόρτας. Τέλος, έγινε διατύπωση παραπόνων από τον περιστασιακό χρήστη για την ξηρότητα της ατμόσφαιρας. Η δυσφορία λόγω ξηρής ατμόσφαιρας οφείλεται πιθανόν στη χρήση του κλιματισμού (η μελέτη ποιότητας αέρα του γραφείου 1 έγινε σε περίοδο θέρμανσης). Αναφορικά με τα συμπτώματα υγείας που μπορεί να οφείλονται στην κακή ποιότητα του αέρα, οι χρήστες δήλωσαν ότι δεν έχουν εμφανίσει κανένα σύμπτωμα.

7.6.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα ανά μετρούμενη παράμετρο για τον υπό μελέτη χώρο.

7.6.2.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αέρα του γραφείου (1) μετρήθηκε με το όργανο Tinytag Ultra 2 data logger (TGU-4500) της εταιρείας Gemini. Η μέτρηση έλαβε χώρα σε περίοδο θέρμανσης, συγκεκριμένα από τις 14 έως τις 25 Νοεμβρίου, με συνήθη ρύθμιση της θερμοκρασίας στους 22 με 25°C.



Σχήμα 7.106. Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στο γραφείο (1) από τις 14 έως τις 25 Νοεμβρίου.

Κατά την περίοδο των μετρήσεων η στιγμιαία θερμοκρασία στο γραφείο (1) κυμάνθηκε από 20,5 έως 27,2°C, με μέση τιμή τους 24,8°C. Οι παραπάνω τιμές παρουσιάζονται κατά τα χρονικά διαστήματα χρήσης του γραφείου, τα οποία παρουσιάζονται στο γράφημα (Σχήμα 7.106) με σκιαγράφηση της επιφάνειας. Η μέση τιμή ποικίλει ανά ημέρα και χρόνο χρήσης του γραφείου αναλόγως τη ρύθμιση της θερμοκρασίας θέρμανσης (από 22 έως 25°C), ενώ οι μέγιστες τιμές σημειώνονται λίγο πριν την απενεργοποίηση του κλιματισμού. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η υψηλότερη τιμή παρουσιάστηκε στις 22/11 που η θερμοκρασία ρύθμισης θερμοκρασίας του κλιματισμού ήταν στους 25°C. Η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τα αντίστοιχα διαστήματα ήταν από 9,7 έως 17,3°C, με μέση τιμή 12,4°C. Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να παραθέσουμε την τιμή της θερμοκρασίας που προτείνει η οδηγία TOTEE 20701-1/2010 που για το χειμώνα ορίζει για κλιματιζόμενους χώρους γραφείων τους 20°C. Όπως γίνεται αντιληπτό οι

θερμοκρασίες που επικρατούν στο χώρο έχουν αρκετά υψηλότερες τιμές από τις αποδεκτές.

Το εύρος διακύμανσης αυξάνεται αν εξετάσουμε τις τιμές για όλες τις ώρες ανεξαρτήτως χρήσης ή μη του χώρου, καθώς η ελάχιστη θερμοκρασία εσωτερικού αέρα ισούται με 18,3°C, ενώ για το εξωτερικό περιβάλλον ανέρχεται σε 7,9°C.

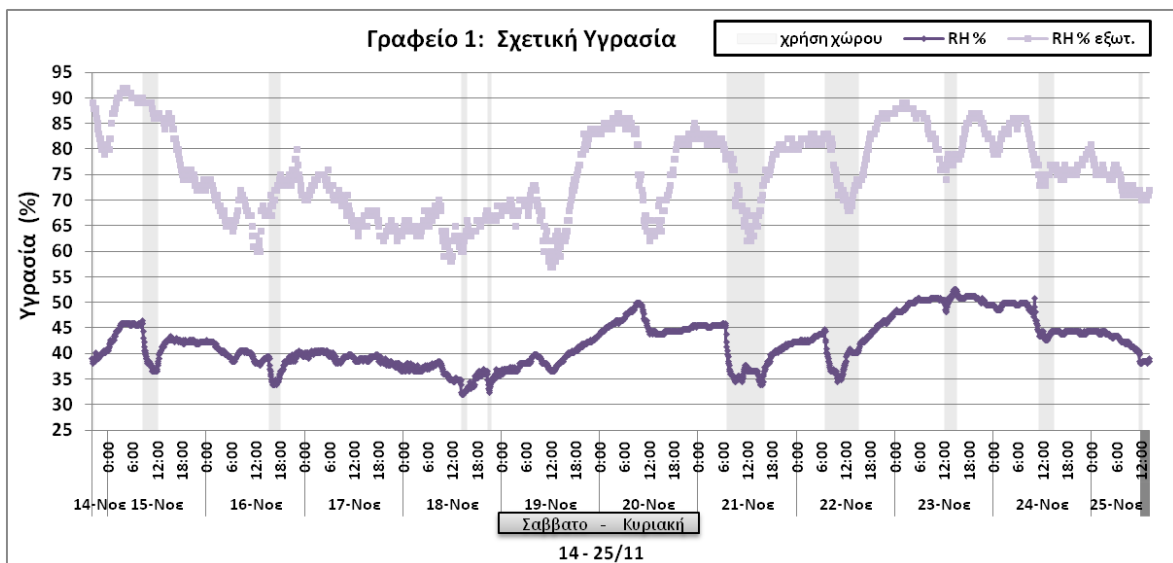
Η υψηλή ρύθμιση του συστήματος κλιματισμού και η απουσία αερισμού κατά τις περισσότερες ημέρες φαίνεται ότι αποτελούν τους βασικούς λόγους που ο χώρος είναι αρκετά ζεστός. Ο αερισμός του χώρου μέσω του παραθύρου (ανάκλιση) συντελείται συνήθως για μικρά χρονικά διαστήματα και όχι σε καθημερινή βάση. Επιπλέον, ο αερισμός μέσω της πόρτας (η πόρτα του χώρου παραμένει ανοιχτή κατά τα διαστήματα χρήσης του γραφείου) αδυνατεί να ελέγξει επαρκώς τα επίπεδα της θερμοκρασίας του αέρα. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία του διαδρόμου είναι υψηλή, ώστε ο αερισμός μέσω της πόρτας να είναι ανώφελος, όσον αφορά στη ρύθμιση της θερμοκρασίας των χώρου. Η επίδραση του αερισμού μέσω του παραθύρου στο χώρο διαπιστώνεται εξετάζοντας το χρονικό διάστημα χρήσης του χώρου στις 23/11 (12:00 - 15:00). Τη συγκεκριμένη ημέρα, κατά την οποία ο χρήστης αέρισε το χώρο ανοίγοντας το παράθυρο (ανάκλιση) για δύο περίπου ώρες, σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές (μέση θερμοκρασία 23,7°C) συγκριτικά με άλλα μεσημβρινά διαστήματα χρήσης του χώρου. Ωστόσο, παρά τον καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας που είχε ως αποτέλεσμα ο αερισμός, λόγω της ταυτόχρονης λειτουργίας της θέρμανσης, η θερμοκρασία δεν έφτασε σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Θα πρέπει βέβαια να συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι ο χώρος λόγω του νοτιοανατολικού προσανατολισμού δέχεται για πολλές ώρες θερμικά κέρδη εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς επίσης και τη θερμική συνεισφορά της διαρκούς λειτουργίας δύο σταθερών Η/Υ στο χώρο, ενίοτε και ενός φορητού. Τέλος, οι υψηλές αυτές επικρατούσες θερμοκρασίες στο χώρο πιθανόν συνδέονται σε κάποιο βαθμό και με την αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα από τους χρήστες του χώρου ως μέτρια (βλ. αποτελέσματα ερωτηματολογίου) όπως προκύπτει και στα μοντέλα των Fang et al. (2000).

7.6.2.2 Σχετική Υγρασία

Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας πραγματοποιήθηκε με τον καταγραφέα Tinytag Ultra 2 data logger (TGU-4500) της εταιρείας Gemini για το ίδιο διάστημα και υπό τις ίδιες συνθήκες με τη μέτρηση της θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, κατά τη διάρκεια χρήσης του υπό μελέτη χώρου η σχετική υγρασία κυμάνθηκε μεταξύ 32 και 52,5% και η μέση τιμή ήταν ίση με 38,5%. Αντίστοιχα, κατά τις ίδιες ώρες οι τιμές για το εξωτερικό περιβάλλον ήταν κατά πολύ υψηλότερες, κυμαινόμενες στο εύρος από 60 έως 89% (μέση τιμή: 74,4%). Κατά τη διάρκεια κατά την οποία το γραφείο ήταν κλειστό δεν παρατηρήθηκαν πιο ακραίες τιμές της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας για το εσωτερικό περιβάλλον από τις παραπάνω. Αν πάρουμε ως βάση την TOTEE 20701-1/2010 που για το χειμώνα ορίζει για κλιματιζόμενους χώρους γραφείων την τιμή 35%, παρατηρούμε ότι τα επίπεδα υγρασίας που επικρατούν κατά τις ώρες λειτουργίας του χώρου δεν αποκλίνουν σημαντικά από το όριο.



Σχήμα 7.107 Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στο γραφείο (1) από τις 14 έως τις 25 Νοεμβρίου.

Μελετώντας αναλυτικότερα τη γραφική παράσταση της σχετικής υγρασίας του παρατηρείται γενικά ότι κατά τα διαστήματα χρήσης του χώρου σημειώνεται πτώση των υψηλών επιπέδων σχετικής υγρασίας. Συνεπώς, η ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού σε συνδυασμό με τον αερισμό μέσω του ανοίγματος της πόρτας, συμβάλλει καθοριστικά στη ρύθμιση των επιπέδων σχετικής υγρασίας. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνεται εξετάζοντας το εύρος διακύμανσης της σχετικής υγρασίας στο διάστημα

χρήσης του χώρου στις 23/11 (12:00 – 15:00). Την ημέρα αυτή ο χρήστης αέρισε το χώρο ανοίγοντας το παράθυρο με ανάκλιση. Ο αερισμός του χώρου είχε ως αποτέλεσμα να μη μειωθεί η σχετική υγρασία και να διατηρηθεί σε υψηλά επίπεδα (48,2 – 50,9%), δεδομένου ότι ο φρέσκος αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος έχει υψηλότερη σχετική υγρασία από τον εσωτερικό αέρα. Επίσης και στις 24/11 κατά τις εργάσιμες ώρες στο χώρο (08:00 – 15:00) που ο κλιματισμός δεν τέθηκε σε λειτουργία τα μέσα επίπεδα (43,7%) ήταν υψηλότερα συγκριτικά με τη μέση σχετική υγρασία (36,3 %) των υπολοίπων ημερών (η θέρμανση ξηραίνει τον αέρα του χώρου).

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι η αίσθησης δυσφορίας λόγω ξηρής ατμόσφαιρας που διατυπώθηκε στο σχετικό ερωτηματολόγιο δε δικαιολογείται από την αντικειμενική μέτρηση της σχετικής υγρασίας. Επομένως η διατύπωση παραπόνων θα πρέπει να αποδοθεί στον υποκειμενικό χαρακτήρα που έχει το αίσθημα της θερμικής άνεσης.

7.6.2.3 Φωτεινότητα

Η μέτρηση της φωτεινότητας του χώρου πραγματοποιήθηκε με το όργανο 764 Environmental Monitor της ELSEC στις 18 Νοεμβρίου, κατά όμοιο τρόπο με τους υπόλοιπους εξεταζόμενους χώρους.

Πίνακας 7.14 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο γραφείο 1.

Στατιστικά δεδομένα	Στάθμη φωτισμού (Lux)		
	11:00	14:00	17:00
Min	260	460	520
Max	600	615	650
Mean	450	540	580

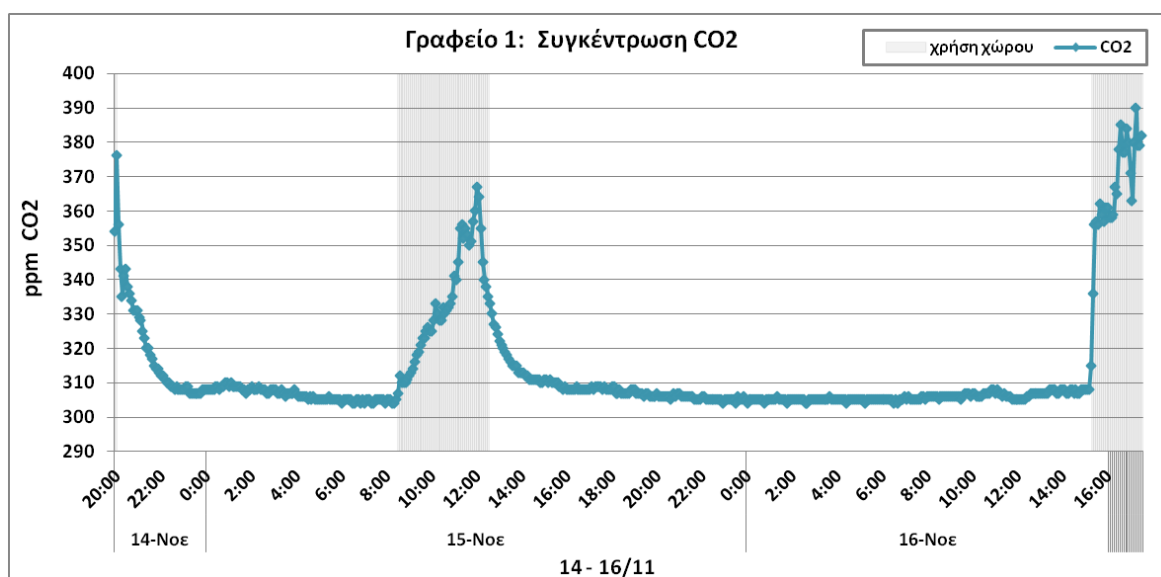
Τα επίπεδα φωτεινότητας κυμάνθηκαν στο εύρος από 260 έως 650, αναλόγως την ώρα μέτρησης (Πίνακας 7.14). Τις ανάγκες φωτισμού τη συγκεκριμένη ημέρα κάλυπταν τα ηλεκτρικά φώτα (4 λάμπες φθορίου) του χώρου, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία ήταν περιορισμένη λόγω συννεφιάς. Σημειώνεται ότι ο καιρός της συγκεκριμένης ημέρας ήταν ενδεικτικός των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την Α Φάση για το γραφείο 1. Επίσης, οι μετρήσεις έδειξαν ότι χωρίς τη λειτουργία τεχνητού φωτισμού τα επίπεδα κυμαίνονταν περίπου στα 30 lx ενώ με λειτουργία μίας μόνο από τις 4 λάμπες τα επίπεδα έφταναν τα 100 lx.

Γενικότερα, τα μέσα επίπεδα φωτισμού στο χώρο, τα οποία υπολογίζονται στα 520 lx, κρίνονται ικανοποιητικά και έρχονται σε συμφωνία με την τρέχουσα σύσταση για το μέσο φωτισμό σε χώρους γραφείων με βάση την TOTEE 20701-1/2010 και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464.1:2002 (500 lx).

7.6.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ πραγματοποιήθηκε στο γραφείο (1) κατά τη διάρκεια δύο ημερών (14 – 16/11) με τη χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI.

Από τις συνεχείς μετρήσεις που έλαβαν χώρα προκύπτει ότι η στιγμιαία συγκέντρωση του CO₂ στον εξεταζόμενο χώρο κυμαίνεται από 304 έως 390 ppm (Σχήμα 7.108). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (335 – 390 ppm) του ρύπου εμφανίζονται κατά το χρόνο χρήσης του χώρου, ενώ αντίθετα τις βραδινές ώρες η συγκέντρωση του ρύπου μειώνεται στα 300 με 310 ppm περίπου. Γενικά οι τιμές της συγκέντρωσης CO₂ είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με το πρότυπο ASHRAE (62.1-2007) και τη μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση (5000 ppm) του Π.Δ. 90/1999.



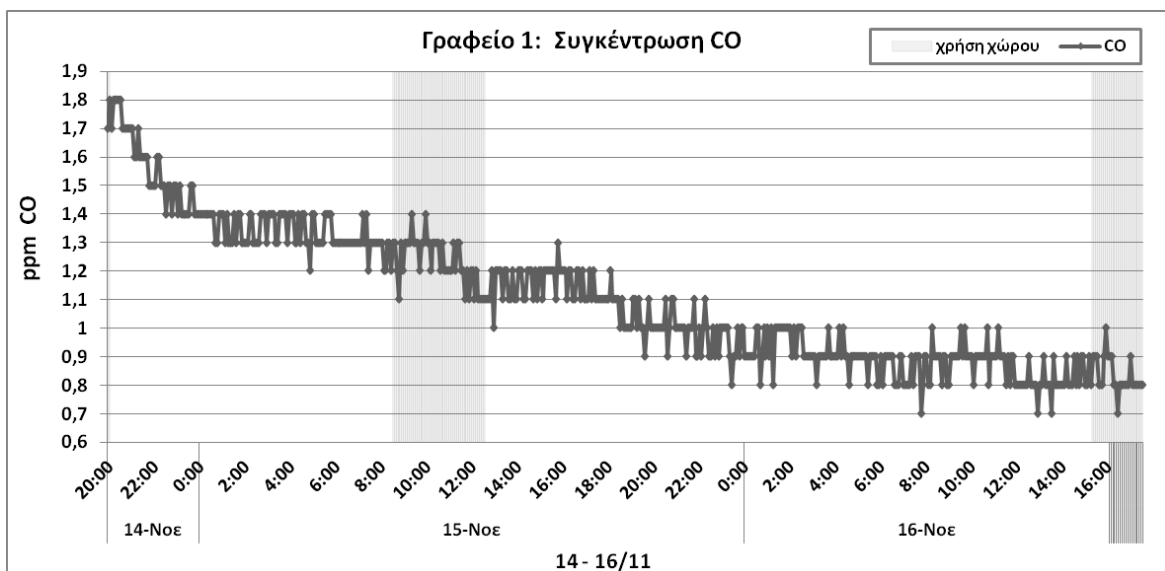
Σχήμα 7.108. Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO₂ στον υπό μελέτη γραφειακό χώρο (1) από τις 14 έως τις 16 Νοεμβρίου.

Δεδομένου ότι η κύρια πηγή διοξειδίου του άνθρακα σε χώρους γραφείων είναι η εκπνοή από τους χρήστες των γραφείων, συμπεραίνουμε ότι η παρουσία ενός μόνο χρήστη (μη καπνιστή) στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χρήσης του χώρου δεν αποτελεί ισχυρή πηγή εκπομπής CO₂ και ότι ο αερισμός στο χώρο είναι επαρκής.

7.6.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Στο Σχήμα 7.109 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης του CO, η οποία πραγματοποιήθηκε ταυτοχρόνως με τη μέτρηση του CO₂.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, η συγκέντρωση CO κυμάνθηκε από 0,7 έως 1,8 ppm για το διάστημα από 14 έως 16 Νοεμβρίου στο γραφείο (1). Συγκρίνοντας με το όριο των Π.Ο.Υ και ASHRAE (9 ppm) συμπεραίνουμε ότι οι τιμές αυτές είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Γενικότερα η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό των γραφείων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκέντρωση στο εξωτερικό περιβάλλον, καθώς και τα επίπεδα του καπνίσματος σε περίπτωση που παρίστανται καπνιστές στο χώρο. Συνήθως άλλες πηγές παραγωγής μονοξειδίου στα γραφεία δεν υπάρχουν.



Σχήμα 7.109 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO στον υπό μελέτη γραφειακό χώρο (1) από τις 14 έως τις 16 Νοεμβρίου.

7.6.2.6 Ραδόνιο

Η ισοδύναμη συγκέντρωση ραδονίου μετρήθηκε στο γραφείο (1) με το όργανο DOSEman – Pro της SARAD στις 16 Νοεμβρίου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μέση ημερήσια συγκέντρωση στον εξεταζόμενο χώρο βρέθηκε ίση με 1,40 Bq/m³ (ή 0,04 pCi/l). Η τιμή αυτή είναι εξαιρετικά χαμηλή δεδομένου ότι το ανώτερο επιτρεπτό όριο που συνιστά ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανέρχεται στα 100 Bq/m³. Το όργανο υπολογίζει επίσης και τη δόση ακτινοβολίας του ραδονίου, η

οποία προέκυψε ίση με 0,015 μSv . Το όριο έκθεσης σε ακτινοβολία για το γενικό πληθυσμό είναι 1 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους.

7.6.2.7 Ακτινοβολία γ

Η εκτέλεση των μετρήσεων για τον υπολογισμό του ρυθμού ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h) έγινε με χρήση του οργάνου Dose Rate Measuring Unit FH 40 G. Οι μετρήσεις στον υπό μελέτη χώρο πραγματοποιήθηκαν στις 16 Νοεμβρίου.

Η μέση τιμή για το χώρο, όπως προέκυψε από την πραγματοποίηση τριών διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων μεταξύ των οποίων η θέση του οργάνου μεταβαλλόταν κατά 120° για την κάλυψη περιοχής 360° , ήταν ίση με 72 nSv/h. Με βάση την τιμή αυτή υπολογίστηκε η ισοδύναμη δόση την οποία λαμβάνει ένας άνθρωπος κατά την διάρκεια ενός έτους και βρέθηκε ίση με 0,63 mSv/έτος. Δεδομένου ότι το όριο δόσης κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι 1 mSv (ICRP, 1990), η τιμή αυτή κρίνεται ασφαλής.

7.6.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια

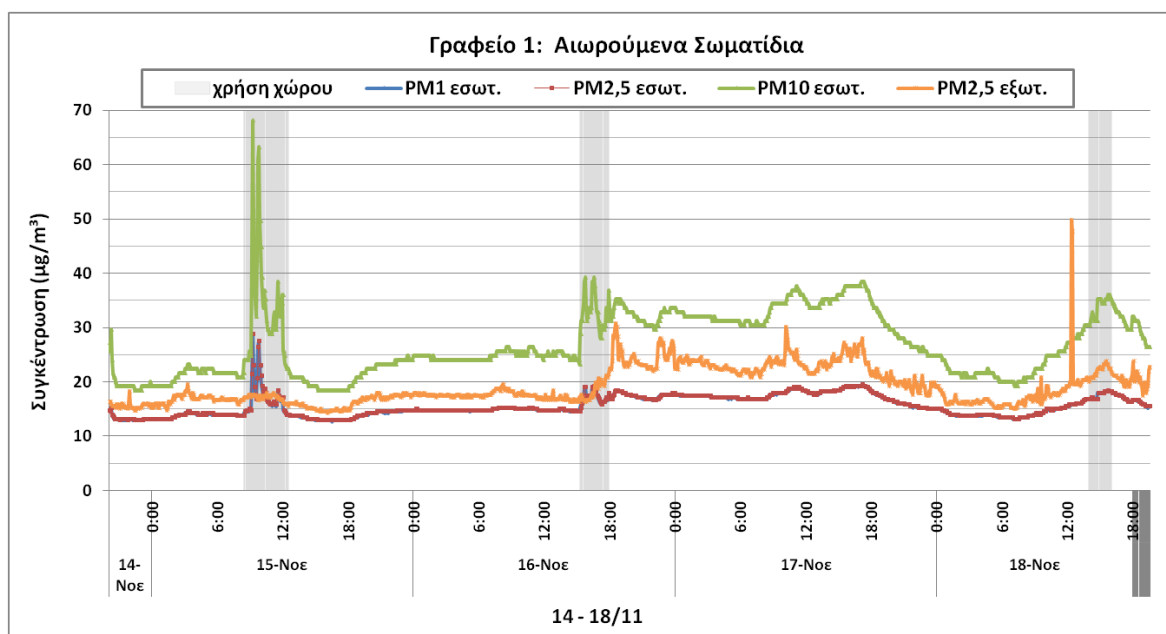
7.6.2.8.1 Συγκέντρωση μάζας

Η μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} πραγματοποιήθηκε στο γραφειακό χώρο (1) με το όργανο DustTrak DRX 8534. Η διάρκεια διεξαγωγής της μέτρησης ήταν από 14 έως 18 Νοεμβρίου, με ταυτόχρονη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης $\text{PM}_{2,5}$, και από 22 έως 25 Νοεμβρίου, με παράλληλη μέτρηση της συγκέντρωσης των εξωτερικών PM_{10} . Η μέτρηση στο εξωτερικό περιβάλλον πραγματοποιήθηκε μέσω σωλήνα με το όργανο DustTrak II 8532.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων κυμάνθηκε στο εύρος από 18 έως $541 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} , από 13 έως $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $\text{PM}_{2,5}$ και από 13 έως $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_1 . Αν λάβουμε ως όρια – τιμές τις μέγιστες ημερήσιες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια, παρατηρούμε ότι οι μέσες τιμές συγκέντρωσης $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} για το εσωτερικό περιβάλλον του γραφείου (1) βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα. Λαμβάνοντας ωστόσο υπόψη τις μέγιστες επιτρεπόμενες ετήσιες συγκεντρώσεις, διαπιστώνουμε ότι η μέση τιμή των $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} είναι υψηλότερη σε σχέση με το ετήσιο όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Π.Ο.Υ

($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ η μέση τιμή των $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ υπερβαίνει το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Γενικότερα, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε χώρους γραφείων, όπως και σε όλους τους τύπους κτηρίων, εξαρτάται αφενός από τη συγκέντρωση των σωματιδίων στον εξωτερικό αέρα, τον αερισμό του χώρου και τη δυνατότητα διείσδυσης των σωματιδίων στο χώρο, και τις εσωτερικές πηγές παραγωγής των σωματιδίων (π.χ. το κάπνισμα αν επιτρέπεται) αλλά και δραστηριότητες όπως το ξεσκόνισμα – καθάρισμα των χώρων.

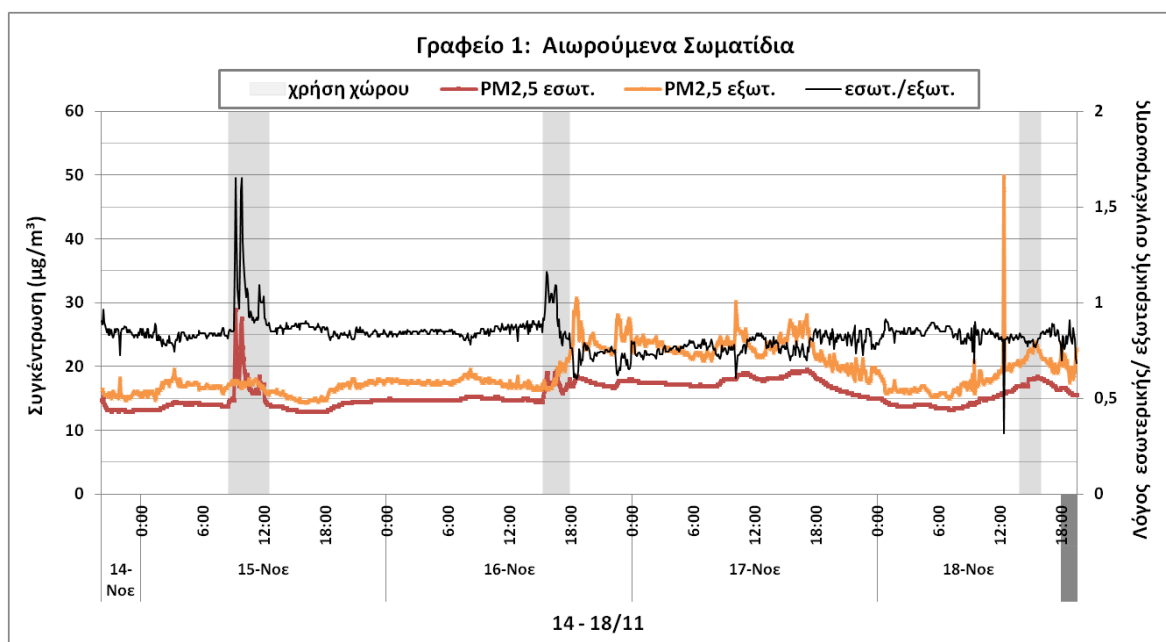


Σχήμα 7.110 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη γραφειακό χώρο (1) για το διάστημα από 14 έως 18 Νοεμβρίου.

Πιο συγκεκριμένα, για το διάστημα από 14 έως 18 Νοεμβρίου οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου (1) η συγκέντρωση μάζας των μετρούμενων σωματιδίων παρουσιάζει αυξημένες τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για τις ώρες εκτός λειτουργίας. Οι ώρες χρήσης του χώρου απεικονίζονται στο Σχήμα 7.110 μέσω της σκιαγραφημένης επιφάνειας. Κατά τις ώρες αυτές οι δραστηριότητες του μόνιμου χρήστη του γραφείου αφορούν σε εργασία σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, επομένως οι αιχμές των γραμμών ενδεχομένως να οφείλονται στις κινήσεις είτε του χρήστη του χώρου (π.χ. περπάτημα, μετακίνηση εγγράφων, φακέλων κ.ά.) είτε προσωρινών επισκεπτών. Επίσης, η αύξηση των συγκεντρώσεων αποδίδεται και στις κινήσεις των διερχομένων εξωτερικά του γραφείου, δεδομένου ότι η πόρτα του χώρου, η οποία επικοινωνεί με τον κεντρικό διάδρομο, παραμένει ανοιχτή τις ώρες αυτές. Η επίδραση της

ύπαρξης ατόμων έξω από τον εξεταζόμενο χώρο, η οποία παρατηρείται κατά τις μεσημεριανές ώρες, διαπιστώθηκε ακόμα και στις 17/11. Την ημέρα αυτή, παρότι το γραφείο παρέμεινε κλειστό, σημειώθηκε αυξητική μεταβολή της συγκέντρωσης μέσα σε αυτό κατά τις τυπικές ώρες εργασίας.

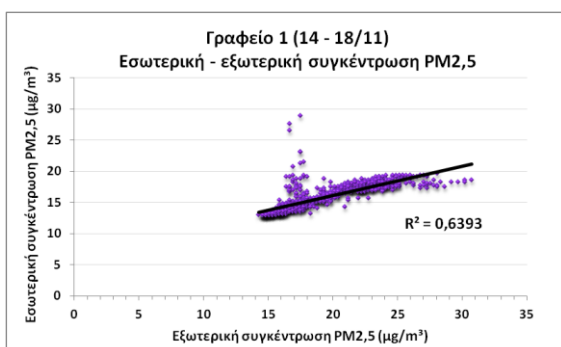
Από το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών (Σχήμα 7.110) διαπιστώνεται επίσης ότι η συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ στο εξωτερικό περιβάλλον, η οποία κυμάνθηκε από 14 έως 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, είναι σχεδόν πάντοτε μεγαλύτερη από ότι στο εσωτερικό περιβάλλον, με εξαίρεση τις χρονικές περιόδους χρήσης του χώρου. Εξετάζοντας την εξωτερική μέση συγκέντρωση για τα $PM_{2,5}$ ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) διαπιστώνεται υπέρβαση του ετήσιου ορίου του Π.Ο.Υ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και της EPA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Οι μεγάλες αυξήσεις που παρατηρούνται κατά διαστήματα οφείλονται στις υπό εξέλιξη οικοδομικές εργασίες ανέγερσης των νέων κτηριακών μονάδων του Τμήματος (βλ. 4.1) και είναι πιο έντονες για τα εξωτερικά PM_{10} , η συγκέντρωση των οποίων μετρήθηκε στο διάστημα 22 – 25/11.



Σχήμα 7.111 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη γραφείου (1) και του λόγου I/O από 14 έως 18 Νοεμβρίου.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.111 ο λόγος I/O ($PM_{2,5}$), κυμαινόμενος στο εύρος από 0,32 έως 1,65 (μέση τιμή: 0,83), υπερβαίνει κατά διαστήματα τη μονάδα, γεγονός που υποδεικνύει την παρουσία εσωτερικών πηγών, προερχόμενων κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες αυξάνουν σημαντικά την εσωτερική συγκέντρωση. Η εν λόγω εξήγηση συνάγει από το γεγονός ότι ο λόγος κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα (0,32 έως

0,92) τις ώρες απουσίας χρηστών από το χώρο. Η άποψη αυτή ενισχύεται και επιβεβαιώνεται από τις χαμηλές τιμές που παίρνει ο λόγος I/O κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών οπότε και δεν υφίσταται καμία δραστηριότητα σε ολόκληρο το κτήριο. Ωστόσο, στις 18/11 ο λόγος I/O για το χρονικό διάστημα χρήσης του χώρου τη συγκεκριμένη ημέρα, παρουσίασε τιμές μικρότερες της μονάδας, γεγονός που εξηγείται από την απουσία κάποιας ισχυρής πηγής εκπομπής σωματιδίων, καθότι ο χώρος καταλαμβάνεται από έναν μόνον χρήστη, ο οποίος δεν καπνίζει.

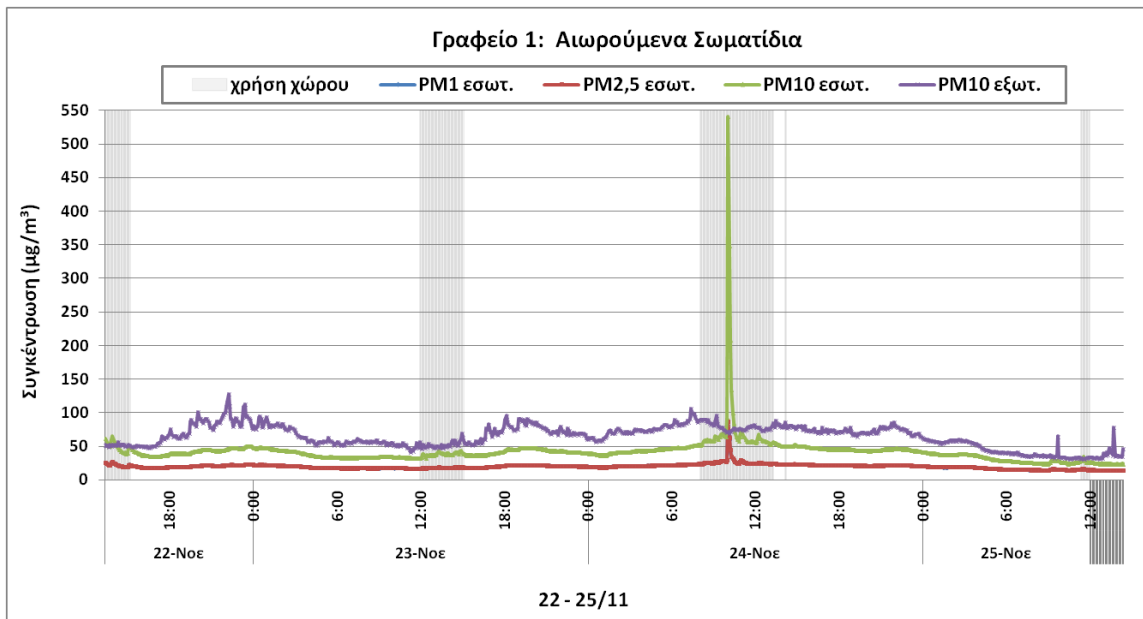


Σχήμα 7.112 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} στο γραφείο 1.

Ανάμεσα στην εσωτερική και την εξωτερική συγκέντρωση προέκυψε ικανοποιητική συσχέτιση ($R^2 = 0,6393$ έχοντας εξαιρέσει δύο σημεία). Η καλή συσχέτιση που προέκυψε (Σχήμα 7.112) υποδηλώνει ότι ανεξάρτητα από τις επιδράσεις των εσωτερικών πηγών, οι εσωτερικές συγκεντρώσεις των λεπτών σωματιδίων επηρεάζονται σε μεγαλύτερο

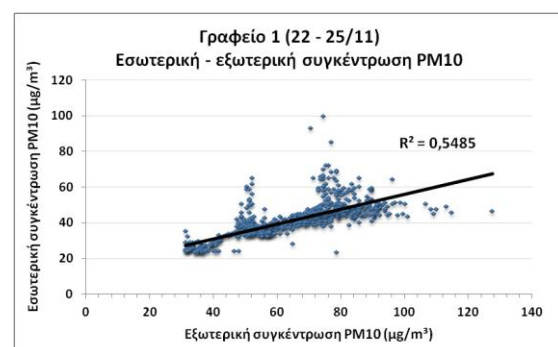
βαθμό από τα εξωτερικά επίπεδα, ενώ είναι ακόμα πιο ισχυρή ($R^2 = 0,886$) κατά τα διαστήματα πλήρους απουσίας δραστηριοτήτων στο χώρο (Σχήμα Π III-80).

Στο Σχήμα 7.113 παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα για όλα τα κλάσματα μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων που μετρήθηκαν από τις 22 έως 25 Νοεμβρίου. Κατά τις ημέρες αυτές μετρήθηκε παράλληλα η εξωτερική συγκέντρωση PM₁₀ και διαπιστώθηκε ότι κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα (από 31 έως 128 µg/m³) συγκριτικά με τα θεσμοθετημένα όρια ασφαλείας. Συγκεκριμένα, αν εξετάσουμε την εξωτερική μέση συγκέντρωση για τα PM₁₀ (65 µg/m³) παρατηρείται υπέρβαση του ημερήσιου ορίου της Ε.Ε. και του Π.Ο.Υ. (50 µg/m³), καθώς και του ετήσιου (20 µg/m³). Οι υψηλές συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια οφείλονται στις υπό εξέλιξη κατασκευαστικές εργασίες για την οικοδόμηση νέων κτηρίων σε απόσταση μόλις λίγων μέτρων νοτιοανατολικά του υπό μελέτη κτηρίου.



Σχήμα 7.113 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στον υπό μελέτη γραφειακό χώρο (1) για το διάστημα από 22 έως 25 Νοεμβρίου.

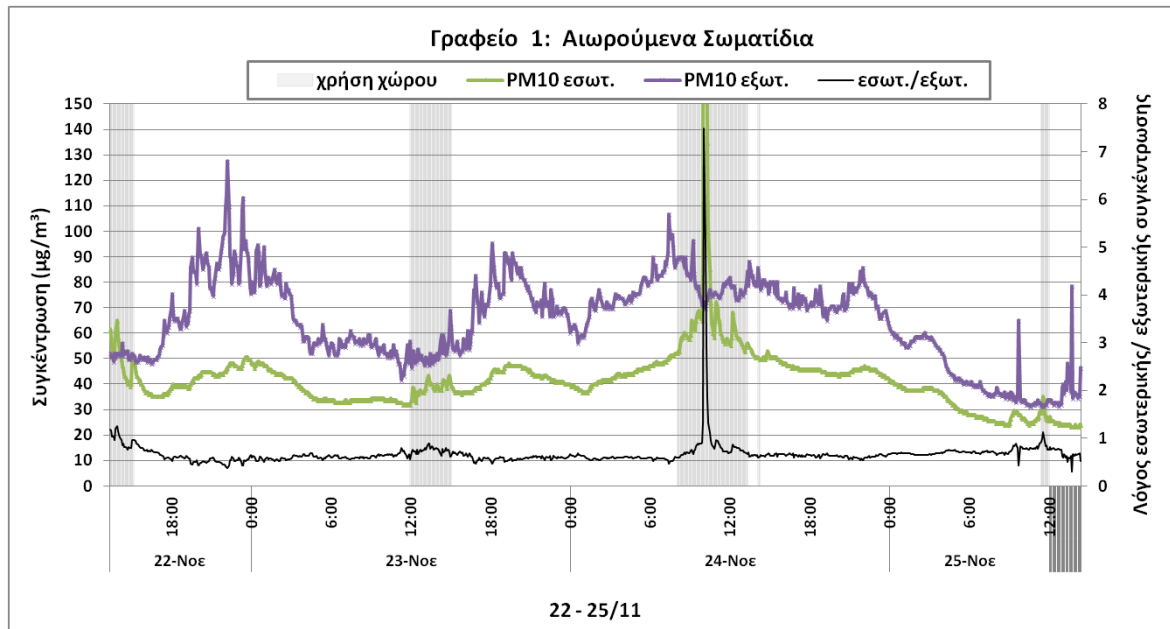
Γενικότερα, εντός του εξεταζόμενου χώρου κατά το μεγαλύτερο διάστημα των πειραματικών μετρήσεων δεν υπήρξαν έντονες δραστηριότητες, με αποτέλεσμα η εσωτερική συγκέντρωση να κυμαίνεται ως επί το πλείστον σε χαμηλότερα επίπεδα από την εξωτερική, ενώ ο μέσος λόγος I/O προκύπτει μικρότερος της μονάδας και ίσως με 0,67. Εξαιρώντας μεμονωμένες υψηλές τιμές, η συσχέτιση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης προκύπτει αρκετά ικανοποιητική ($R^2 = 0,5485$), γεγονός που δείχνει τη σημαντική συνεισφορά των υψηλών εξωτερικών επιπέδων PM_{10} στη διαμόρφωση της εσωτερικής συγκέντρωσης (Σχήμα 7.114). Η σημαντική επίδραση των εξωτερικών πηγών επιβεβαιώνεται από την ακόμα ισχυρότερη συσχέτιση ($R^2 = 0,8032$) που προκύπτει εξετάζοντας τις τιμές για τα διαστήματα που ο χώρος είναι κενός (Σχήμα Π III-81).



Σχήμα 7.114 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στο γραφείο 1.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αιχμή αύξησης που παρουσιάζει η χρονοσειρά στις 24/11 το πρωί, η οποία οφείλεται σε διαδικασία καθαρισμού που έλαβε χώρα στο υπό μελέτη γραφείο (1). Συγκεκριμένα, η διαδικασία αυτή, η οποία πραγματοποιήθηκε στο διάστημα 10:00 – 10:05 και περιελάμβανε σκούπισμα και σφουγγάρισμα, είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθούν οι συγκεντρώσεις από 69 σε 541 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} , από 28 σε

88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ και από 28 σε 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} . Τη στιγμή που σημειώθηκαν οι μέγιστες εσωτερικές συγκεντρώσεις ο λόγος I/O (PM_{10}) έγινε ίσος με 7,49 (Σχήμα 7.115). Οι συγκεντρώσεις επανήλθαν στα προηγούμενα επίπεδα μετά από διάστημα 35 λεπτών.

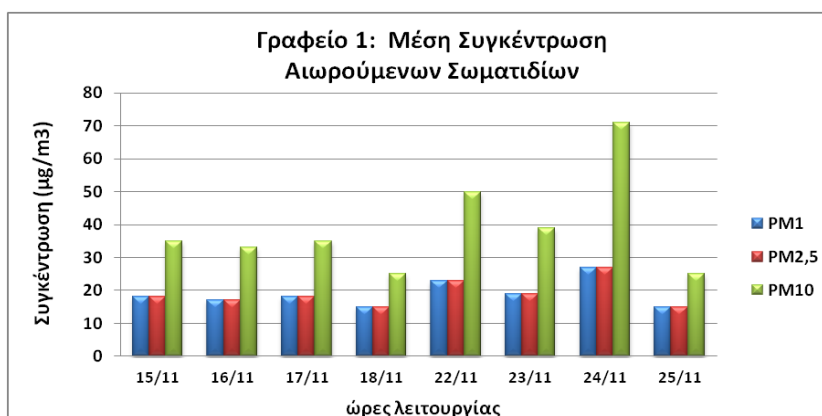


Σχήμα 7.115 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη γραφείου (1) και του λόγου I/O από 22 έως 25 Νοεμβρίου.

Μεγάλες αυξήσεις που αποδίδονται σε εργασίες καθαριότητας έχουν καταγραφεί σε διάφορες σχετικές μελέτες, ιδιαίτερα για τα χονδρά σωματίδια (Gaidajis & Angelakoglou, 2009). Η διαδικασία καθαρισμού των κτηρίων με χρήση σκούπας (ηλεκτρικής ή μη) αυξάνει κατά την περίοδο καθαρισμού τη συγκέντρωση των σωματιδίων με διάμετρο άνω των 2,5 μm (Kamens et al., 1991; Chao et al., 1991) λόγω της επαναφοράς στον αέρα των σωματιδίων που έχουν επικαθίσει σε οριζόντιες επιφάνειες (Byrne, 1998; Miguel et al., 1995). Μετρήσεις της αύξησης των $\text{PM}_{2,5}$ κατά τη διάρκεια καθαρισμού κατοικιών στις ΗΠΑ έδειξαν ότι η σχετική συγκέντρωση αύξανε κατά 28 με 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Wallace et al., 2006). Ωστόσο, ο συχνός καθαρισμός των χώρων συντελεί σημαντικά στη μείωση της μέσης συγκέντρωσης των σωματιδίων στο χώρο, καθώς με το καθάρισμα απομακρύνονται τα σωματίδια που έχουν εναποτεθεί στις επιφάνειες και αποτρέπεται έτσι η επαναιώρηση τους (Heudorf et al., 2009; Franke et al., 1997; Raunemaa et al., 1989).

Συνοψίζοντας, στο Σχήμα 7.116 παρουσιάζονται τα μέσα επίπεδα για τις συνήθεις ώρες λειτουργίας του γραφείου (1). Στη γραφική απεικόνιση συμπεριλαμβάνεται και η ημέρα 17/11 κατά την οποία δεν έγινε καμία χρήση του χώρου. Ωστόσο, τα επίπεδα δεν ήταν

χαμηλότερα συγκριτικά με τις υπόλοιπες ημέρες, λόγω της επίδρασης της παρουσίας ατόμων έξω από τον εξεταζόμενο χώρο. Οι υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις για όλα τα μετρούμενα μεγέθη παρατηρήθηκαν στις 24/11 λόγω της διαδικασίας καθαρισμού που έλαβε χώρα κατά τις εργάσιμες ώρες.



Σχήμα 7.116 Διάγραμμα μέσων τιμών συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ανά ημέρα και κατά τις ώρες χρήσης του γραφειακού χώρου 1 για το διάστημα 15 - 25/11.

Επίσης, για το σύνολο των αποτελεσμάτων, η μέση αναλογία $PM_{2,5}/PM_{10}$ στον εξεταζόμενο χώρο βρέθηκε ίση με 0,55, με το λόγο να παίρνει τις χαμηλότερες τιμές του τα διαστήματα παρουσίας ατόμων στο χώρο, υποδηλώνοντας ότι τις ώρες εκείνες εκπέμπονται σε μεγαλύτερο ποσοστό χονδρά σωματίδια. Τα λεπτά σωματίδια αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα των PM_{10} σε περιόδους απουσίας προσωπικού (Σχήμα Π III-83). Επιπλέον, παρατηρήθηκε πολύ ικανοποιητική συσχέτιση ($R^2 = 0,8496$) μεταξύ των συγκεντρώσεων PM_{10} και $PM_{2,5}$ (Σχήμα Π III-82). Ομοίως με τους υπολοίπους χώρους προκύπτει ότι τα PM_1 αντιπροσωπεύουν το σύνολο σχεδόν της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων $PM_{2,5}$.

Τα συνολικά αποτελέσματα για τις ώρες χρήσης και μη του γραφειακού χώρου (1) παρουσιάζονται στον Πινάκα 7.15, όπου διαπιστώνεται η επίδραση των δραστηριοτήτων στο χώρο και της λειτουργίας του συστήματος κλιματισμού – μηχανικού αερισμού (παρουσία ατόμων) στην αύξηση των τιμών συγκέντρωσης.

Τέλος, εξετάσθηκε η επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων (εσωτερική / εξωτερική θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ταχύτητα εξωτερικού αέρα) στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης PM και του λόγου I/O (Σχήματα Π III-84 έως 91). Η μοναδική σημαντική συσχέτιση προκύπτει μεταξύ ταχύτητας εξωτερικού αέρα και εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{10} ($R^2 = 0,6125$, Σχήμα Π III-90). Η αντίστοιχη συσχέτιση με την

εξωτερική συγκέντρωση $PM_{2,5}$ δεν είναι εξίσου ισχυρή ($R^2 = 0,3101$). Γενικά, η υψηλή ταχύτητα ανέμου ενισχύει τις κατακόρυφες και οριζόντιες διασπορές με αποτέλεσμα η ποιότητα του εξωτερικού αέρα να είναι καλύτερη από ότι θα ήταν με το φαινόμενο της διάχυσης μόνο (Chan et al, 2001). Ωστόσο, οι εξαιρετικά χαμηλές συσχετίσεις που βρέθηκαν με τους αντίστοιχους λόγους I/O ($R^2 = 0,0637$ για τα PM_{10} και $0,138$ για τα $PM_{2,5}$) υποδηλώνει ότι η ταχύτητα του ανέμου δε συνδέεται με το λόγο της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση (Σχήμα Π III-91) και ότι τα εσωτερικά επίπεδα ρύπων εξαρτώνται από άλλους παράγοντες (π.χ. καθαριότητα του συστήματος κλιματιστικού, ανθρώπινες δραστηριότητες, κλπ.).

Πίνακας 7.15 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10} , καθώς και των λόγων I/O ($PM_{2,5}$) και I/O (PM_{10}), κατά τις ώρες χρήσης και μη του γραφείου (1).

Μέγεθος σωματιδίων	Στατιστικά δεδομένα	Παρουσία ατόμων		Απουσία ατόμων	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/O	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/O
PM_1	Min	14	-	13	-
	Max	82	-	24	-
	Mean	20	-	18	-
$PM_{2,5}$	Min	15	0,76	13	0,32
	Max	88	1,65	24	0,92
	Mean	20	0,99	18	0,80
PM_{10}	Min	23	0,30	18	0,36
	Max	541	7,49	53	0,93
	Mean	42	0,84	33	0,62

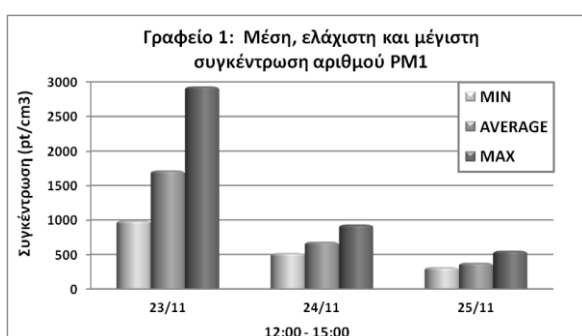
7.6.2.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

Κατά τη δεύτερη φάση μετρήθηκε η παράμετρος της συγκέντρωσης αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 ($0,02 - 1 \mu\text{m}$) σε συνδυασμό με ταυτόχρονη μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας PM_1 . Η μέτρηση του αριθμού ανά κυβικό εκατοστόμετρο πραγματοποιήθηκε με τον αναλυτή συγκέντρωσης αριθμού P-Trak 8525, ενώ για τη μέτρηση της μάζας (μg) ανά κυβικό μέτρο χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής μάζας DustTrak DRX 8534. Η διάρκεια των δειγματοληψιών στον εξεταζόμενο χώρο γραφείου (1) ήταν τρίωρη ($12:00 - 15:00$) και έλαβε χώρα στο χρονικό διάστημα από 23 έως 25 Νοεμβρίου.

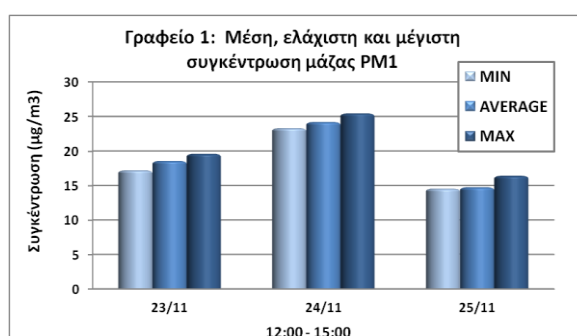
Αναφορικά με τις συνθήκες που επικρατούσαν στο εξεταζόμενο γραφείο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της Β Φάσης, το παράθυρο του χώρου παρέμενε κλειστό, με εξαίρεση ένα μικρό χρονικό διάστημα στις 23/11, ενώ η πόρτα του γραφείου ήταν συνήθως ανοιχτή

παρουσία του χρήστη του χώρου. Επίσης, το σύστημα κλιματισμού ετίθετο σε λειτουργία για μικρά χρονικά διαστήματα κατά βούληση του χρήστη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων PM_{10} του εσωτερικού αέρα στο γραφείο (1) κατά τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων κυμάνθηκε μεταξύ 315 και 2933 pt/cm^3 , ενώ η μέση τιμή ήταν 919 pt/cm^3 (Σχήμα 7.117). Όσον αφορά στη συγκέντρωση μάζας PM_{10} , το εύρος τιμών κυμάνθηκε για τις ίδιες ώρες μεταξύ 15 και 25 $\mu g/m^3$ και η μέση τιμή ήταν ίση με 19 $\mu g/m^3$ (Σχήμα 7.118). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρούμενων παραμέτρων δε διαπιστώθηκε η ύπαρξη κάποιας σημαντικής πηγής εκπομπής υπόμικρων σωματιδίων εντός του χώρου.



Σχήμα 7.118 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} (0,02 – 1 μm) στο γραφείο 1 (23 - 25/11).

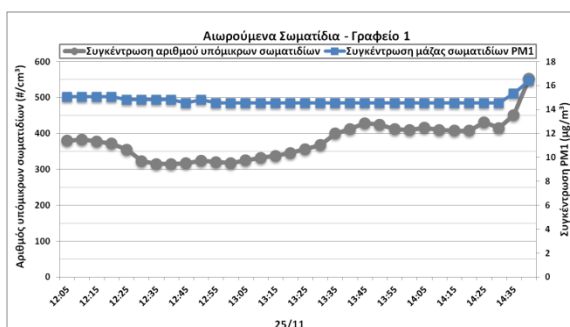
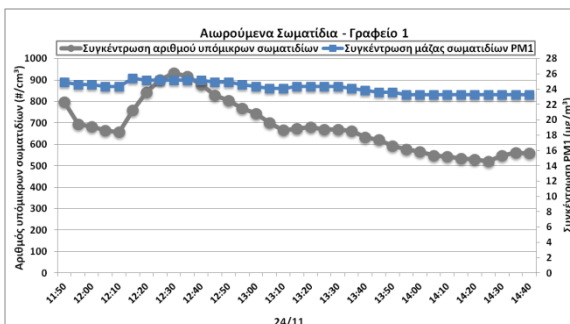
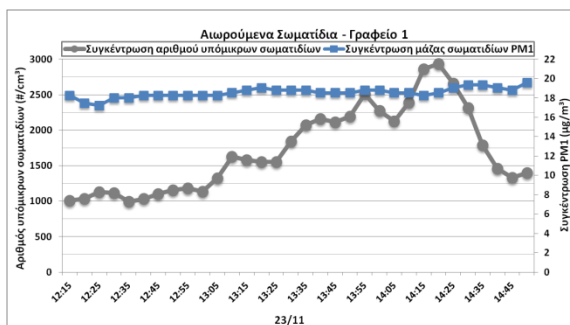


Σχήμα 7.117 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης μάζας PM_{10} στο γραφείο 1 (23 - 25/11).

Γενικότερα, αν εξετάσουμε τη στιγμιαία διακύμανση των μετρούμενων παραμέτρων αναφορικά με τις δραστηριότητες που έλαβαν χώρα στο υπό μελέτη γραφείο (1), διαπιστώνεται ότι ο αριθμός των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 1 μm δεν παρουσιάζει κάποια σύνδεση με τις δραστηριότητες του χρήστη του χώρου, όπως κινήσεις, μετακινήσεις εγγράφων κλπ., ενώ συσχετίζεται σημαντικά με τα εξωτερικά επίπεδα. Ανάλογα συμπεράσματα προέκυψαν και στη μελέτη των Luoma & Batterman (2001) που αφορούσε σε χώρους γραφείων. Επιπλέον, από διάφορες έρευνες προκύπτει ότι η επαναιώρηση σωματιδίων λόγω της κίνησης των ατόμων στο χώρο συνδέεται με σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου από 1 μm (Abt et al., 2000; Long et al., 2000; Thatcher & Layton, 1995).

Εξετάζοντας τη στιγμιαία διακύμανση στις 23/11 διαπιστώνεται η ισχυρή επίδραση των εξωτερικών επιπέδων στη διαμόρφωση της συγκέντρωσης αριθμού. Πιο αναλυτικά, στις 12:10, με την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού σημειώνεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.119Α, μία μικρή αύξηση του αριθμού των σωματιδίων ($125 pt/cm^3$) διάρκειας 15

λεπτών και στη συνέχεια ακολουθεί μείωση. Στις 12:35 περίπου ο χρήστης του χώρου ανοίγει με ανάκλιση το παράθυρο του γραφείου, ενώ στις 12:40 θέτει τον κλιματισμό εκτός λειτουργίας. Το άνοιγμα του παραθύρου έχει ως αποτέλεσμα μία σταδιακή αύξηση της τάξης των 1941 pt/cm^3 , γεγονός το οποίο υποδηλώνει τη σημαντική επίδραση που δέχεται ο χώρος από τις εξωτερικές συγκεντρώσεις, οι οποίες γενικότερα είναι πολύ πιο υψηλές από τις εσωτερικές (Wilson & Karpukhin, 2008). Σημειώνεται ότι την περίοδο αυτή βρίσκονται υπό εξέλιξη οι οικοδομικές εργασίες ανέγερσης των νέων κτηριακών μονάδων του Τμήματος, οι οποίες συμβάλουν σε ακόμη υψηλότερα εξωτερικά επίπεδα. Μετά το κλείσιμο του παραθύρου στις 14:20 επέρχεται σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης αριθμού. Για τη μάζα δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη διακύμανση και τα επίπεδα παραμένουν σταθερά στα $18 - 19 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Ως συνέπεια δεν προκύπτει σημαντική συσχέτιση με τη συγκέντρωση αριθμού ($R^2 = 0,1681$, Σχήμα Π ΙΙΙ-92).



Σχήμα 7.119 Διαγράμματα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} ($0,02 - 1 \text{ } \mu\text{m}$) και μάζας PM_{10} για τις 23, 24 και 25/11 (12:00 – 15:00) στο γραφείο 1.

Τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης μάζας (μέση τιμή: $24 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) που παρουσιάστηκαν στις 24/11 (7.119B) συγκριτικά με των άλλων δύο ημερών αποδίδονται πιθανόν στην επίδραση που δέχεται ο χώρος από τις συγκεντρώσεις του διαδρόμου. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τη συγκεκριμένη ημέρα καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων η πόρτα του χώρου ήταν ανοιχτή, ενώ το σύστημα κλιματισμού ήταν εκτός λειτουργίας. Υπενθυμίζεται ότι ο διάδρομος επικοινωνεί μέσω ανοιγμάτων με το ισόγειο του κτηρίου στο οποίο στεγάζονται οι εργαστηριακοί χώροι. Επιπλέον, στα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου που αφορούσαν στην Α Φάση είχε γίνει αναφορά από το χρήστη του γραφείου σχετικά με αίσθηση όχλησης λόγω οσμών. Παρά τα υψηλά επίπεδα, η συγκέντρωση αριθμού δεν παρουσίασε ανάλογα υψηλά

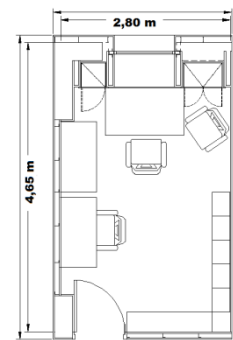
επίπεδα συγκριτικά με τις υπόλοιπες μέρες.

Η δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 25/11 (7.119Γ) είναι αντιπροσωπευτική των συνθηκών μη χρήσης του γραφείου. Συγκεκριμένα, από την έναρξη των πειραματικών μετρήσεων ο χώρος παραμένει κενός με την πόρτα του χώρου κλειστή και το σύστημα κλιματισμού εκτός λειτουργίας. Οι όποιες διακυμάνσεις παρατηρούνται είναι ομαλές και αποδίδονται στις εξωτερικές συγκεντρώσεις. Στις 14:30 ανοίγει η πόρτα του χώρου με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας, λόγω της επίδρασης που δέχεται από τα επίπεδα του διαδρόμου εξωτερικά του γραφείου. Ομοίως με τις 23/11 δεν προκύπτει καμία σημαντική συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης και αριθμού ($R^2 = 0,2462$, Σχήμα Π III-94), υποδηλώνοντας ότι διαφορετικές πηγές συνεισφέρουν στην αύξηση του αριθμού και διαφορετικές στην αύξηση της μάζας.

7.7 Υπό μελέτη χώρος: Γραφείο 2

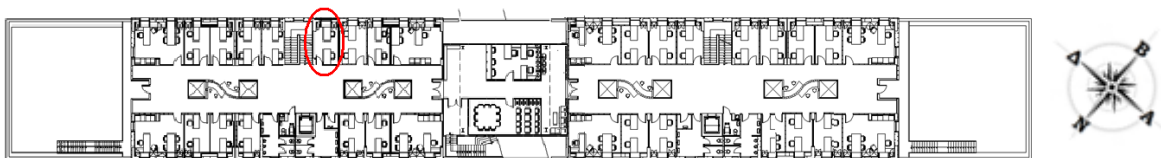
Περιγραφή και λειτουργία χώρου

Ο εξεταζόμενος γραφειακός χώρος (2) βρίσκεται στον όροφο του υπό μελέτη κτηρίου και έχει εμβαδό 13 m^2 ($4,65 \text{ m} \times 2,80 \text{ m}$). Λαμβάνοντας υπόψη το ύψος των τοίχων που είναι 3 m , ο όγκος υπολογίζεται στα 39 m^3 . Στο Σχήμα 7.121 παρουσιάζεται η θέση του γραφείου στο κτήριο. Όπως φαίνεται και στην κάτοψη (Σχήμα 7.120), ο χώρος διαθέτει 1 παράθυρο, το οποίο έχει βορειοδυτικό προσανατολισμό (κύρια όψη).



Σχήμα 7.120
Κάτοψη γραφείου 2.

Κατά το διάστημα που έλαβαν χώρα οι πειραματικές μετρήσεις στο γραφείο (2) δε γινόταν χρήση των περσίδων του παραθύρου, επομένως δεν υπήρχε η ανάγκη λειτουργίας τεχνητού φωτισμού τις ώρες που το φυσικό φως ήταν επαρκές. Επίσης, κατά τις ώρες χρήσης του χώρου ήταν συνήθως ανοιχτή η πόρτα, η οποία οδηγεί στο κεντρικό διάδρομο του ορόφου (Εικόνα 2), ενώ ο κλιματισμός του χώρου σπάνια ετίθετο σε λειτουργία.



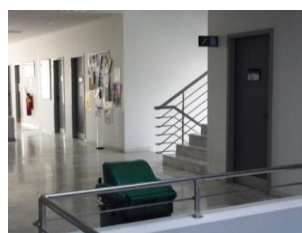
Σχήμα 7.121 Τοποθεσία του γραφειακού χώρου 2 στον όροφο του υπό μελέτη κτηρίου.

Στο συγκεκριμένο χώρο κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας εργαζόταν 1 άτομο, το οποίο κατά δήλωση του βρισκόταν στο γραφείο 3 ημέρες την εβδομάδα και περίπου 6 ώρες ανά ημέρα. Κατά διαστήματα όμως γινόταν χρήση του χώρου και από άλλα άτομα χωρίς να υπάρχει κάποιο σταθερό πρόγραμμα παρουσίας χρηστών στο γραφείο. Κατά τις ώρες παραμονής κάποιου ατόμου γινόταν χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και περιστασιακή χρήση εκτυπωτή laser (Εικόνα 7.20).

Επίσης, είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι, την περίοδο διεξαγωγής των πειραματικών μετρήσεων ποιότητας αέρα στο χώρο (Α και Β Φάση), βρισκόνταν σε εξέλιξη οι εργασίες ανέγερσης των νέων κτηριακών μονάδων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική συνεισφορά σκόνης στην ατμόσφαιρα από τις κατασκευαστικές διαδικασίες, με απώτερη συνέπεια την επιβάρυνση και του εσωτερικού αέρα.



Εικόνα 7.20. Άποψη του εσωτερικού χώρου του υπό μελέτη γραφείου (2), όπου φαίνεται το όργανο μέτρησης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων.



Εικόνα 7.21. Εξωτερικός χώρος του γραφείου 2(κεντρικός διάδρομος ορόφου του υπό μελέτη κτηρίου).

7.7.1 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου

Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε με το ερωτηματολόγιο, το οποία συμπλήρωσαν ο βασικός εργαζόμενος στο χώρο και ένας περιστασιακός χρήστης του γραφείου, τα άτομα έκριναν την ποιότητα αέρα του χώρου ως καλή. Μία τέτοια εκτίμηση δικαιολογείται λαμβανομένου υπόψη του αριθμού των ατόμων στον ίδιο εργασιακό χώρο, με την έννοια ότι όσο πιο μικρός είναι ο αριθμός των ατόμων σε ένα χώρο τόσο καλύτερες αναμένεται να είναι οι εσωκλιματικές συνθήκες και ο έλεγχός τους από τους χρήστες. Ωστόσο υπήρξε διατύπωση παραπόνων σχετικά με τις συνθήκες υγρασίας στο χώρο, καθώς κρίθηκε ότι μερικές φορές είναι αυξημένη η αίσθηση δυσφορίας λόγω υγρασίας. Αναφορικά με τα συμπτώματα υγείας που μπορεί να οφείλονται στην κακή ποιότητα του αέρα, οι χρήστες δήλωσαν ότι δεν έχουν εμφανίσει κανένα σύμπτωμα.

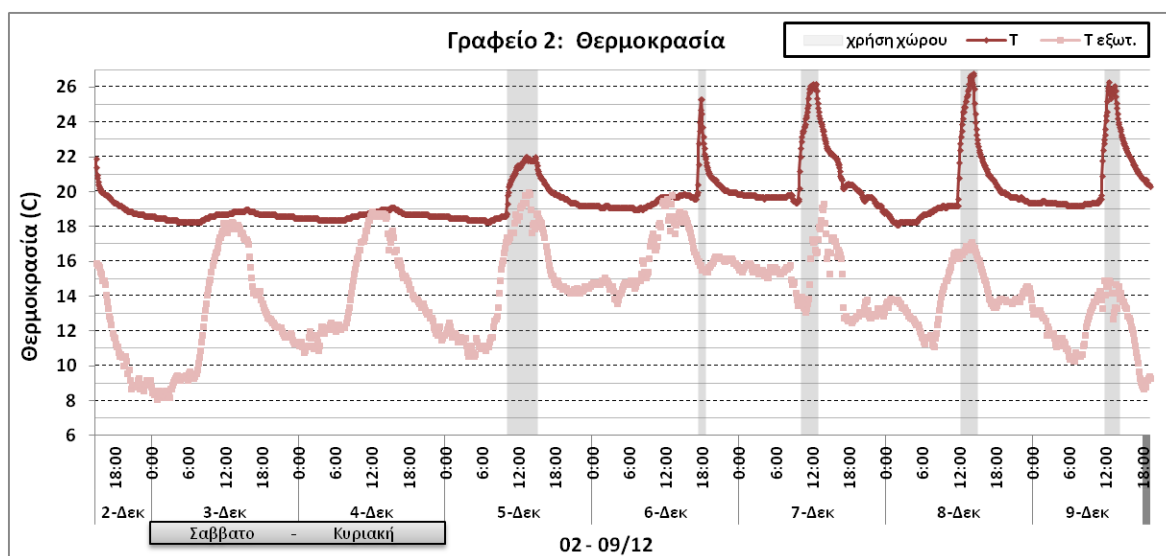
7.7.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις στον υπό μελέτη χώρο.

7.7.2.1 Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας αέρα του γραφειακού χώρου (2) πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762 της TSI στο διάστημα από 2 έως 9 Δεκεμβρίου, κατά τη διάρκεια του οποίου η συνήθης ρύθμιση θερμοκρασίας θέρμανσης ήταν στους 25 με 26°C.

Μια γραφική ανάλυση της θερμοκρασίας στον υπό μελέτη χώρο μας παρέχει το διάγραμμα (Σχήμα 7.122), στο οποίο απεικονίζονται οι τιμές της θερμοκρασίας κατά το χρονικό διάστημα χρήσης (σκιαγραφημένη επιφάνεια) και μη του χώρου. Η θερμοκρασία του αέρα στο γραφείο (2) κατά τις ώρες λειτουργίας κυμάνθηκε από 19,8 έως 26,8°C. Το εύρος μεταβολής της θερμοκρασίας στο χώρο είναι ίσο με 7°C. Το μεγάλο αυτό εύρος οφείλεται στο γεγονός ότι στις 5/12 (10:00 – 15:00) η χρήση του γραφείου δε συνοδεύτηκε από παράλληλη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού για τη θέρμανση του χώρου. Αν εξαιρέσουμε το συγκεκριμένο διάστημα, κατά το οποίο τα επίπεδα κυμάνθηκαν από 19,8 έως 22°C, η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα υπό συνθήκες κλιματισμού ανέρχεται σε 4,8°C (από 22 έως 26,8°C) και η μέση θερμοκρασία ισούται με 24,8°C.



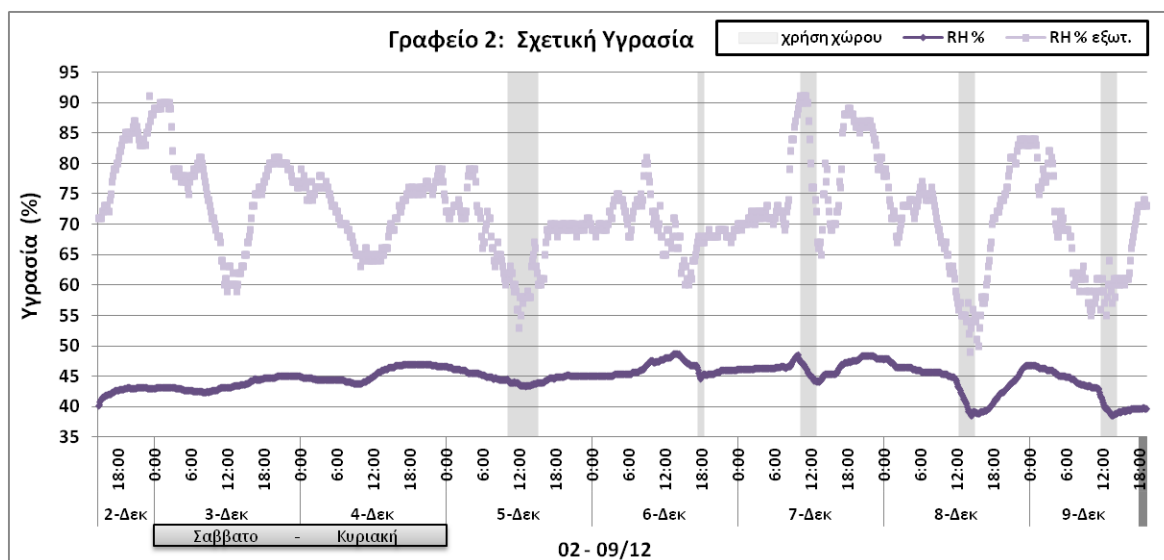
Σχήμα 7.122. Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στο γραφείο (2) από τις 2 έως τις 9 Δεκεμβρίου.

Στο διάγραμμα (Σχήμα 7.122) αποτυπώνεται και η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία είναι σαφώς αρκετά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, κυμαινόμενη από 8,1 έως 20°C (μέση θερμοκρασία 14°C).

Γενικότερα διαπιστώθηκε ότι τα μέσα επίπεδα θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου υπερβαίνουν το ανώτερο συνιστώμενο όριο (20°C) της TOTEE 20701-1/2010. Οι υψηλές επικρατούσες θερμοκρασίες αποδίδονται κατά κύριο λόγο στη ρύθμιση του συστήματος κλιματισμού, καθώς όπως διαπιστώθηκε από τις τιμές στις 5/12 απουσία κλιματισμού η θερμοκρασία κυμαίνεται σε πιο ικανοποιητικά επίπεδα, και στην απουσία φυσικού αερισμού. Σημειώνεται ότι ο αερισμός που συντελείται κατά τις εργάσιμες ώρες μέσω της πόρτας δεν επαρκεί για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου. Ο λόγος ωστόσο που δεν υπήρξε διατύπωση παραπόνων αναφορικά με συνθήκες υπερβολικής ζέστης θα πρέπει να αποδοθεί στην υποκειμενικότητα του αισθήματος της θερμικής άνεσης.

7.7.2.2 Σχετική Υγρασία

Η σχετική υγρασία αέρα του γραφείου (2) μετρήθηκε με το όργανο IAQ-CALC 8762 της TSI στο διάστημα από 2 έως 9 Δεκεμβρίου, ταυτοχρόνως με τη μέτρηση της θερμοκρασίας.



Σχήμα 7.123. Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στο γραφείο (2) από τις 2 έως τις 9 Δεκεμβρίου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων η στιγμιαία σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια λειτουργίας του χώρου πήρε τιμές μεταξύ 38,5 και 47,4% (μέση τιμή: 42,9%).

Κατά τη διάρκεια όλων των ωρών και ημερών το εύρος ήταν από 38,5 έως 48,6% (μέση τιμή: 44,7%). Αντίστοιχα, η εξωτερική σχετική υγρασία κατά τις ώρες χρήσης του χώρου κυμάνθηκε μεταξύ 49 και 91% (μέση τιμή: 65,1%). Οι τιμές αυτές είναι και οι πιο ακραίες που καταγράφηκαν συνολικά για το εξωτερικό περιβάλλον για όλες τις ημέρες των μετρήσεων, ανεξαρτήτως χρήσης ή μη του χώρου.

Γενικότερα, παρά τις μεγάλες αυξομειώσεις που παρατηρούνται στα επίπεδα του ατμοσφαιρικού αέρα, η εσωτερική σχετική υγρασία παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις, ενώ παρατηρείται μείωση των τιμών κατά τα διαστήματα χρήσης του γραφείου (2). Η μείωση αυτή αποδίδεται στην ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού για τη θέρμανση του χώρου, καθώς και στον αερισμό μέσω του ανοίγματος της πόρτας (κατά τις εργάσιμες ώρες η πόρτα του γραφείου παραμένει συνήθως ανοιχτή). Ωστόσο ο αερισμός μέσω της πόρτας δεν έχει όσο έντονη επίδραση έχει η λειτουργία του κλιματισμού. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνεται από τη μικρότερη μείωση που παρατηρήθηκε κατά τη χρήση του χώρου στις 05/12 (10:00 – 15:00), που ήταν η μοναδική ημέρα που δεν ενεργοποιήθηκε ο κλιματισμός.

Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με το σχετικό όριο της TOTEE 20701-1/2010 για κλιματιζόμενους χώρους γραφείων (35%), συμπεραίνεται ότι η σχετική υγρασία στο χώρο είναι μονίμως υψηλότερη της συνιστώμενης τιμής, γεγονός που αντανακλάται και στην αίσθηση δυσφορίας λόγω υγρασίας που διατυπώθηκε στο σχετικό ερωτηματολόγιο.

7.7.2.3 Φωτεινότητα

Η μέτρηση της φωτεινότητας του χώρου πραγματοποιήθηκε με το όργανο 764 Environmental Monitor της ELSEC στις 9/12 κατά τη διάρκεια των ωρών 11:00, 14:00 και 17:00.

Πίνακας 7.16 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή στάθμης φωτισμού ανά ώρα μέτρησης στο γραφείο 2.

Στατιστικά δεδομένα	Στάθμη φωτισμού (Lux)		
	11:00	14:00	17:00
Min	660	250	515
Max	700	320	615
Mean	680	285	565

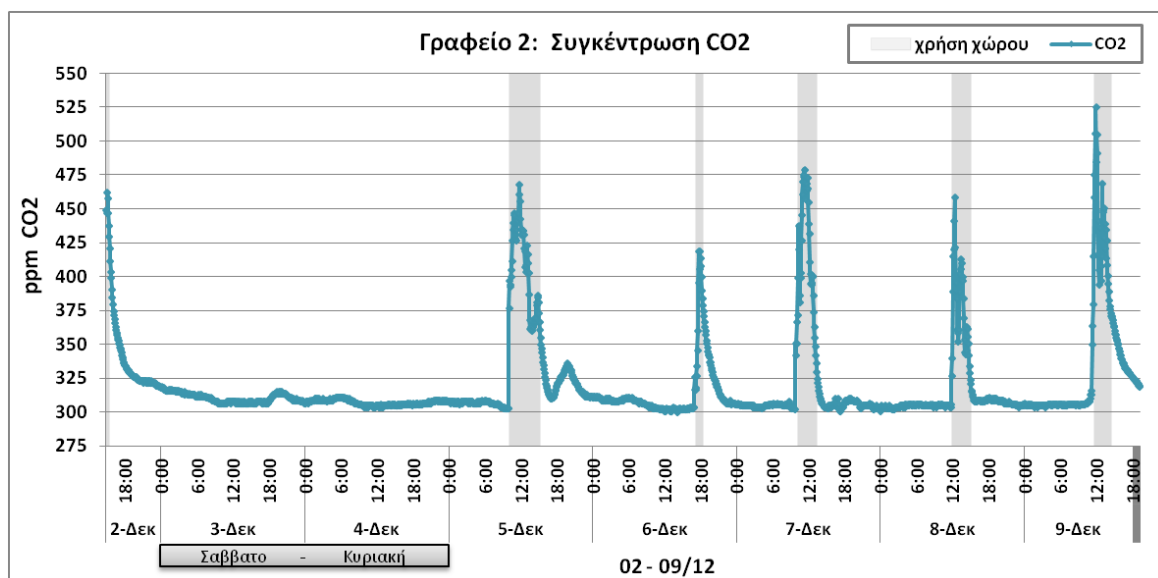
Σημειώνεται ότι η μετρήσεις στις 11:00 και 17:00 έλαβαν χώρα υπό τη λειτουργία του τεχνητού φωτισμού στο χώρο και οι ελάχιστες τιμές αφορούν σε λειτουργία τριών εκ των

τεσσάρων λαμπτήρων. Τα μέσα επίπεδα (622 lx) υπό τις συνθήκες αυτές υπερβαίνουν κατά πολύ τη σύσταση της TOTEE 20701-1/2010 για χώρους γραφείων (500 lx).

Γενικότερα, στο γραφείο (2) τις ώρες που ο φυσικός φωτισμός επαρκεί ο χώρος δε φωτίζεται τεχνητά. Στις 14:00, παρά το γεγονός ότι ο καιρός ήταν ελαφρώς συννεφιασμένος, η μέτρηση πραγματοποιήθηκε υπό συνθήκες μη λειτουργίας του τεχνητού φωτός (285 lx). Συνεπώς, συμπεραίνουμε ότι υπό συνθήκες ηλιοφάνειας η ποσότητα φυσικού φωτισμού την ώρα αυτή θα ήταν επαρκής για την εκτέλεση εργασιών στο χώρο καθώς ο βορινός προσανατολισμός παρέχει σταθερό, ομοιόμορφο και διάχυτο φωτισμό.

7.7.2.4 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα μετρήθηκε με το όργανο IAQ-CALC 8762 (TSI) στο διάστημα από 2 έως 9 Δεκεμβρίου.



Σχήμα 7.124 Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO₂ στον υπό μελέτη γραφειακό χώρο (2) από τις 2 έως τις 9 Δεκεμβρίου.

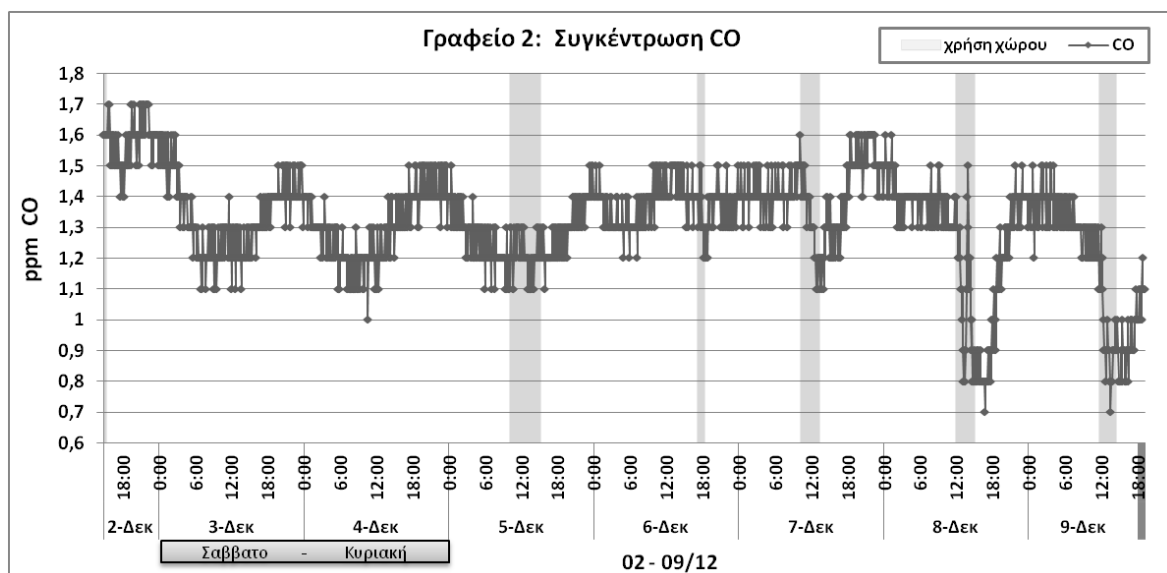
Η στιγμιαία συγκέντρωση του CO₂ στο γραφείο (1) κυμάνθηκε από 300 έως 525 ppm. Όπως είναι εμφανές από το Σχήμα 7.124, οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης CO₂ παρουσιάζονται κατά τις ώρες χρήσης του χώρου. Τις ώρες αυτές, κατά τις οποίες ο χώρος καταλαμβάνεται συνήθως από ένα άτομο που δεν καπνίζει, η μέση συγκέντρωση ανέρχεται σε 410 ppm. Επιπλέον, μέσω του αερισμού που συντελείται από το άνοιγμα της πόρτας, εισέρχονται ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα από το διάδρομο που συμβάλλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης. Με την αποχώρηση του ατόμου και το κλείσιμο της

πόρτας τα επίπεδα μειώνονται και παραμένουν σχετικά σταθερά (~ 310 ppm) κατά τη διάρκεια απουσίας του χρήστη. Ωστόσο, παρατηρείται ότι η μείωση τάσης ξεκινάει αρκετή ώρα πριν τη λήξη της εργασίας, γεγονός που δείχνει ότι η λειτουργία του συστήματος κλιματισμού συντελεί στη ρύθμιση των επιπέδων CO₂. Γενικότερα τα επίπεδα κρίνονται ικανοποιητικά, δεδομένου ότι ικανοποιείται η σύσταση απόκλισης (< 700 ppm) μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής (~350 ppm) που προτείνεται από τον ASHRAE.

7.7.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Η μέτρηση της συγκέντρωσης CO πραγματοποιήθηκε με χρήση του οργάνου IAQ-CALC 8762, ταυτοχρόνως με τη μέτρηση του CO₂.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι συγκέντρωση CO στο υπό μελέτη γραφείο (2) κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα στο εύρος από 0,7 έως 1,7 ppm και ουδέποτε ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια. Δεδομένου ότι και σε αυτόν το χώρο δεν υφίσταται εσωτερική πηγή παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα, η εσωτερική συγκέντρωση είναι καθαρά συνάρτηση της εξωτερικής συγκέντρωσης. Ωστόσο, τα επίπεδα στο εξωτερικό περιβάλλον είναι και αυτά σχετικά χαμηλά λόγω της μεγάλης απόστασης του κτηρίου από δρόμους αυξημένης κυκλοφορίας.



Σχήμα 7.125. Διάγραμμα της στιγμιαίας τιμής του CO στον υπό μελέτη γραφειακό χώρο (2) από τις 2 έως τις 9 Δεκεμβρίου.

7.7.2.6 Ραδόνιο

Η ισοδύναμη συγκέντρωση ραδονίου μετρήθηκε στα πλαίσια της πρώτης φάσης με χρήση του οργάνου DOSEman – Pro (SARAD). Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 9 Δεκεμβρίου.

Όπως προέκυψε από τη μέτρηση, η μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση στο γραφείο 2 ανήλθε στα $4,85 \text{ Bq/m}^3$ (ή $0,13 \text{ pCi/l}$). Τα επίπεδα αυτά είναι εξαιρετικά χαμηλά σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των Ε.Ε, Π.Ο.Υ και US EPA ($200, 100$ και 148 Bq/m^3 αντίστοιχα). Επίσης, από τη μέτρηση βρέθηκε ότι η δόση ακτινοβολίας του ραδονίου ήταν ίση με $0,04 \text{ μSv}$. Αναφέρουμε ότι, για το γενικό πληθυσμό το όριο έκθεσης σε ακτινοβολία είναι 1 mSv κατά τη διάρκεια ενός έτους.

7.7.2.7 Ακτινοβολία γ

Η μέτρηση του ρυθμού ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h) πραγματοποιήθηκε με χρήση του ανιχνευτή και μετρητή ακτινοβολίας Dose Rate Measuring Unit FH 40 G στις 9 Δεκεμβρίου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μέση τιμή ισοδύναμης δόσης για το γραφείο (2), όπως προέκυψε έπειτα από εκτέλεση τριών διαδοχικών επιμέρους μετρήσεων (Παράρτημα IV), ανήλθε σε $74,4 \text{ nSv/h}$. Από αναγωγή της ισοδύναμης δόσης ανά ώρα στο έτος προκύπτει ότι τα $74,4 \text{ nSv}$ ισούνται με $0,65 \text{ mSv/έτος}$. Με βάση το όριο δόσης ακτινοβολίας για το γενικό πληθυσμό (1 mSv/έτος) διαπιστώνεται ότι η έκθεση στο χώρο είναι ασφαλής.

7.7.2.8 Αιωρούμενα σωματίδια

7.7.2.8.1 Συγκέντρωση μάζας

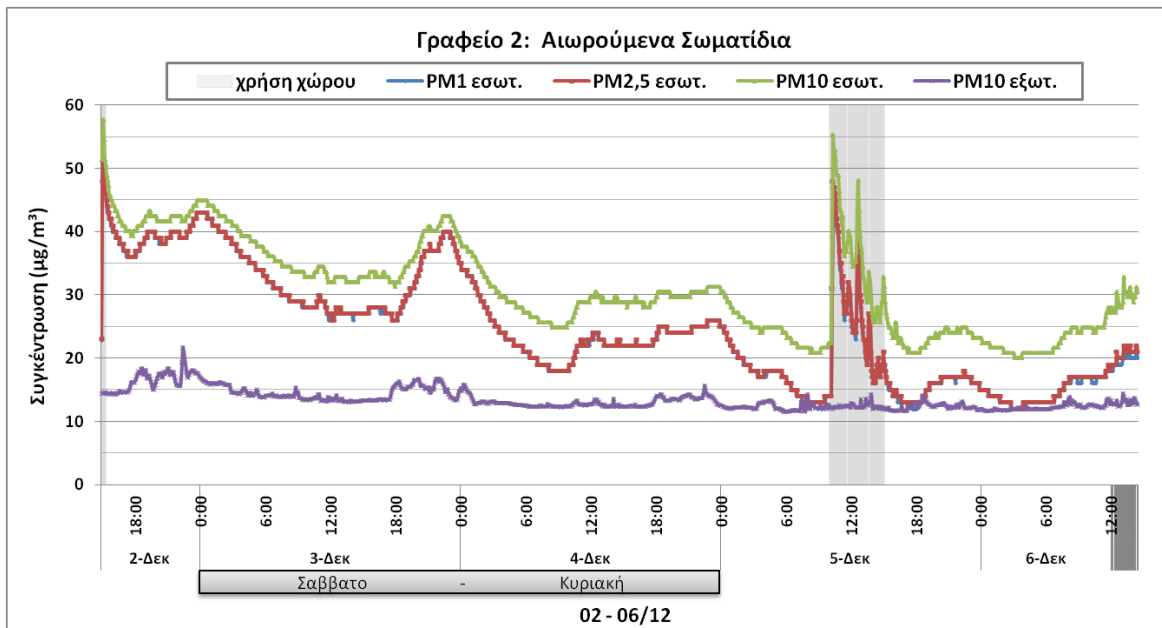
Η μέτρηση της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} πραγματοποιήθηκε εντός του γραφειακού χώρου (2) με τον αναλυτή μάζας DustTrak DRX 8534 για το χρονικό διάστημα από 2 έως 9 Δεκεμβρίου. Η μέτρηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων εξωτερικά του χώρου, με το όργανο DustTrak II 8532, έλαβε χώρα από τις 2 έως τις 6 Δεκεμβρίου για τα PM_{10} και από τις 6 έως τις 9 του μηνός για τα $\text{PM}_{2,5}$.

Από την ανάκτηση των δεδομένων προέκυψε ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης στον εργαστηριακό χώρο (1) κυμάνθηκαν μεταξύ 15 και 185 μg/m^3 (μέση τιμή: 27 μg/m^3) για τα PM_{10} , 4 και 124 μg/m^3 (μέση τιμή: 19 μg/m^3) για τα $\text{PM}_{2,5}$, και μεταξύ 4 έως 114 μg/m^3

(μέση τιμή: $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} . Αντίστοιχα για το εξωτερικό περιβάλλον τα επίπεδα κυμάνθηκαν για τα PM_{10} μεταξύ 12 και $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και για τα $\text{PM}_{2,5}$ μεταξύ 11 και $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή: $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Σημειώνεται ότι οι μετρήσεις για τα εξωτερικά PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ δεν έγιναν ταυτόχρονα.

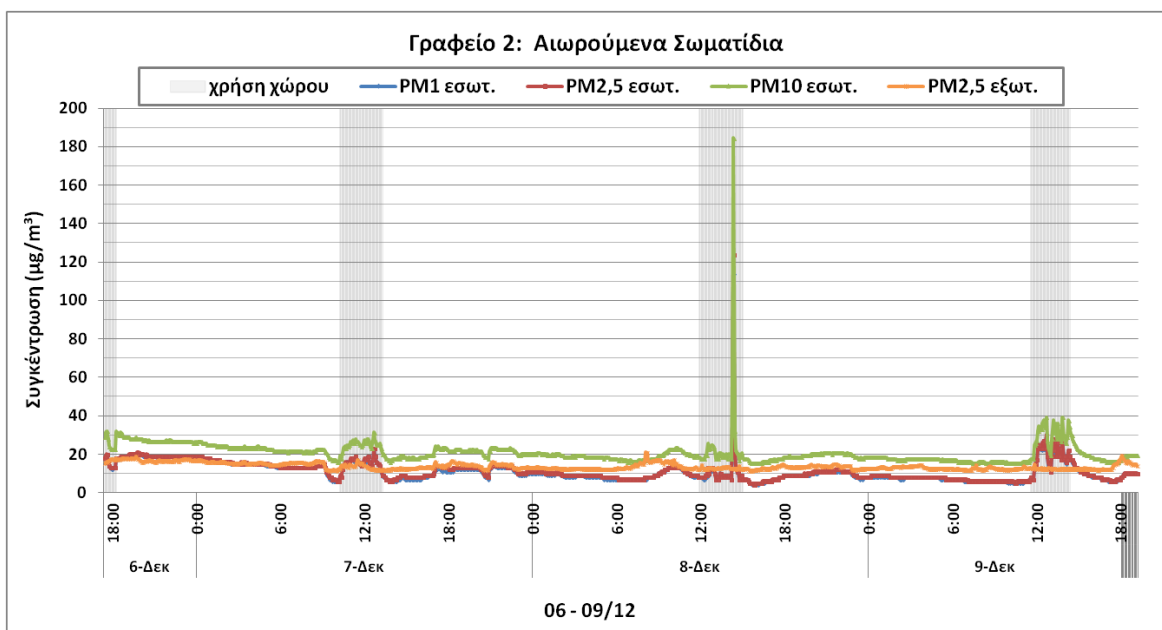
Ομοίως με τα αποτελέσματα των υπολοίπων εξεταζόμενων χώρων, λόγω της απουσίας προτύπων για τα αιωρούμενα σωματίδια σε εσωτερικούς χώρους, τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με τα όρια – τιμές για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια. Όσον αφορά στα PM_{10} , γίνεται αντιληπτό ότι η μέση συγκέντρωση ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) είναι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με το ημερήσιο όριο της Ε.Ε. και του Π.Ο.Υ. ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), καθώς και της EPA ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ωστόσο, είναι υψηλότερη από το ετήσιο όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Π.Ο.Υ ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όσον αφορά στα $\text{PM}_{2,5}$, διαπιστώνεται ότι η μέση συγκέντρωση ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) υπερβαίνει το ετήσιο όριο του Π.Ο.Υ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και της EPA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Σχετικά με τα επίπεδα συγκέντρωσης του εξωτερικού περιβάλλοντος, στα οποία άλλωστε και αναφέρονται οι οριακές τιμές, παρατηρείται ότι κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα, με μόνη εξαίρεση τη μέση τιμή των $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ που δεν ικανοποιεί την προτεινόμενη μέση ετήσια τιμή ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) του Π.Ο.Υ.

Τα συνολικά αποτελέσματα για όλα τα κλάσματα μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων που μετρήθηκαν απεικονίζονται στα Σχήματα 7.126 και 7.127. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται όταν ο χώρος καταλαμβάνεται από το χρήστη και οι μικρότερες όταν ο χώρος είναι κλειστός. Η κινητικότητα του χρήστη του γραφείου (2) και ο ρυθμός αερισμού επηρεάζουν το ρυθμό εναπόθεσης και επαναιώρησης των σωματιδίων στις επιφάνειες και από τις επιφάνειες αντίστοιχα. Ο αερισμός στο χώρο, ο οποίος υφίσταται κυρίως μέσω του συστήματος κλιματισμού (το παράθυρο του χώρου είναι μονίμως κλειστό), επιδρά, επίσης, με την είσοδο αιωρούμενων σωματιδίων του εξωτερικού περιβάλλοντος στον εσωτερικό χώρο. Ωστόσο, στο διάστημα 2 έως 6/12, η επίδραση του αερισμού δεν είναι σημαντική, καθότι η συγκέντρωση των σωματιδίων (PM_{10}) στο εξωτερικό περιβάλλον είναι μικρότερη από αυτή του εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα χαμηλά κυμαινόμενα επίπεδα εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} , συγκριτικά με τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το γραφειακό χώρο (1), οφείλονται στο γεγονός ότι τις ημέρες αυτές δεν υφίστανται κατασκευαστικές εργασίες στο άμεσο εξωτερικό περιβάλλον.



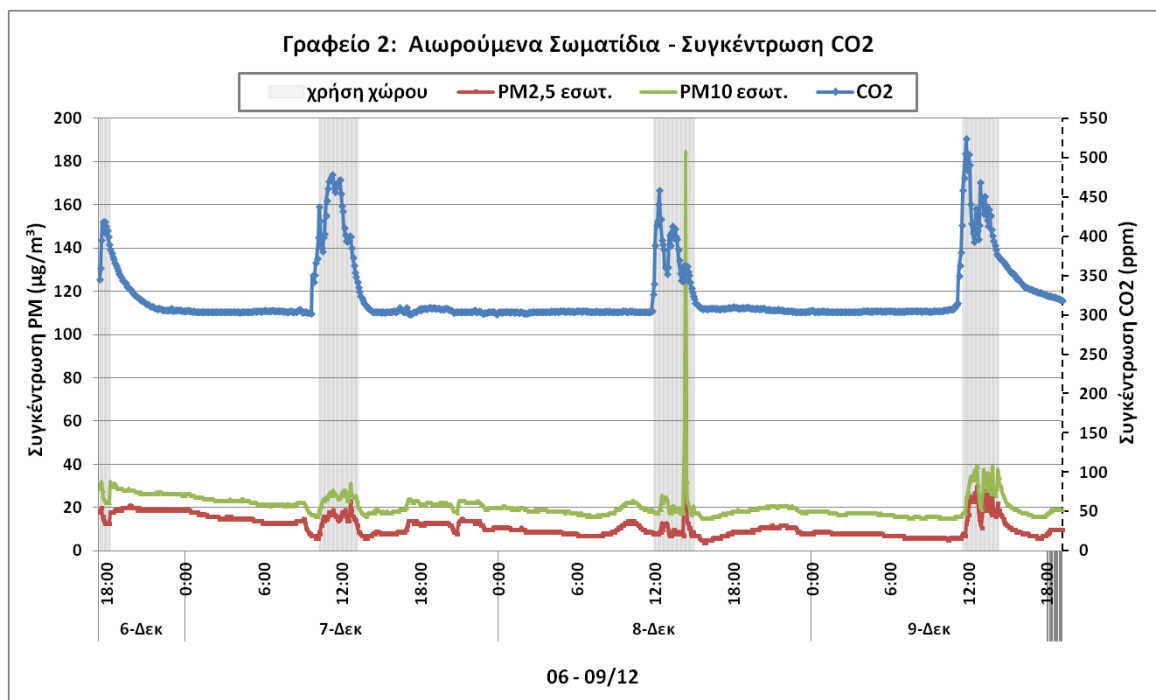
Σχήμα 7.126 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στο υπό μελέτη γραφείο (2) για το διάστημα από 2 έως 6 Δεκεμβρίου.

Αντίθετα, στο χρονικό διάστημα 6 έως 9/12 η εσωτερική συγκέντρωση μάζας για τα $PM_{2,5}$ είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη εξωτερική, με εξαίρεση τα διαστήματα χρήσης του χώρου. Η απόδοση της αύξησης των εσωτερικών συγκεντρώσεων στην παρουσία του ατόμου τις ώρες αυτές, επιβεβαιώνεται και από τη ραγδαία αύξηση που παρουσιάζει η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, η οποία οφείλεται κυρίως στην αναπνοή αλλά και στην ενεργοποίηση του κλιματισμού κατά τις ώρες εργασίας (Σχήμα 7.128).



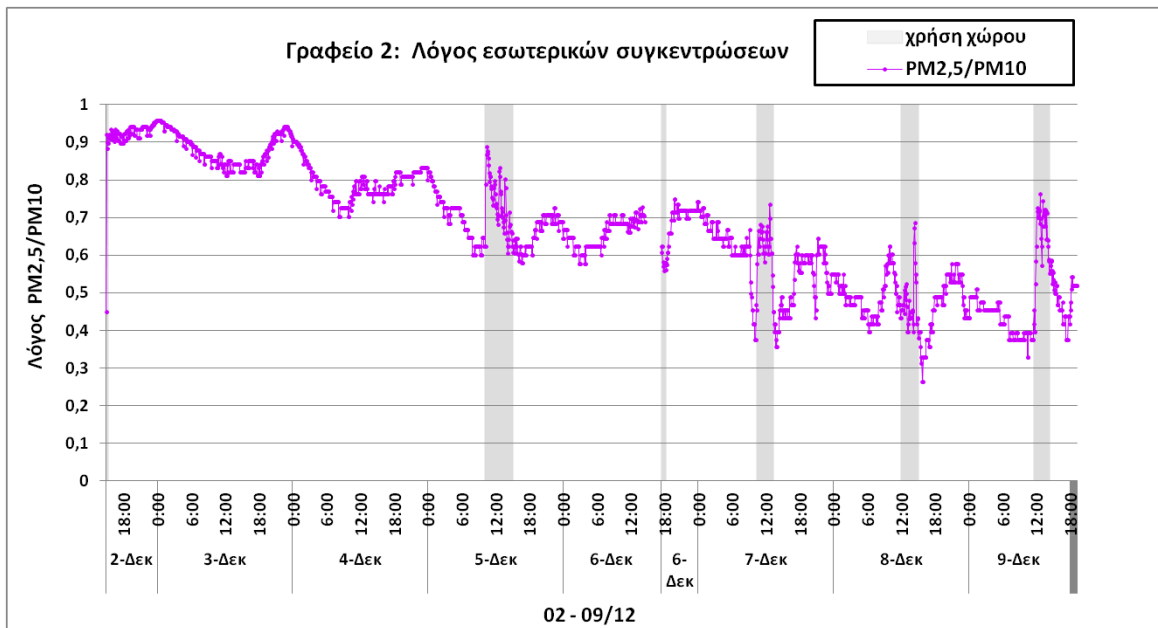
Σχήμα 7.127 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στο υπό μελέτη γραφείο (2) για το διάστημα από 6 έως 9 Δεκεμβρίου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η απότομη αύξηση των συγκεντρώσεων που παρατηρείται στις 8/12 στις 14:20 το μεσημέρι. Συγκεκριμένα μέσα σε διάστημα 10 λεπτών διαπιστώθηκε αύξηση της τάξης των $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} , των $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2,5}$ και των $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_1 . Η μεγάλη αυτή άνοδος των τιμών αποδίδεται στο τίναγμα της καρέκλας του γραφείου που έχει ως αποτέλεσμα την επαναιώρηση των σωματιδίων από την επιφάνεια της. Η συγκέντρωση επέστρεψε στις τιμές που είχε πριν από την έναρξη της εκπομπής μετά από διάστημα 25 λεπτών.

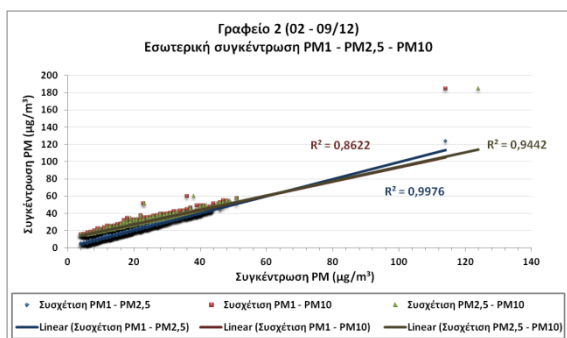


Σχήμα 7.128 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} και της συγκέντρωσης CO_2 στο υπό μελέτη γραφείο (2) από 6 Ιουνίου έως 9 Δεκεμβρίου.

Ο λόγος $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ για το εσωτερικό περιβάλλον κυμάνθηκε από 0,26 έως 0,96, και η μέση τιμή ήταν ίση με 0,67, αναλογία που δείχνει ότι τα λεπτά σωματίδια αντιπροσωπεύουν κατά μέσο όρο το 67% της μάζας των PM_{10} . Εξετάζοντας τη διακύμανση του λόγου (Σχήμα 7.129), παρατηρείται ότι τα σωματίδια $\text{PM}_{2,5}$ αποτελούσαν το μεγαλύτερο τμήμα των σωματιδίων PM_{10} σε περιόδους απουσίας προσωπικού από το κτήριο γενικότερα, ενώ και τις ώρες λειτουργίας οι εργασίες του χρήστη εντός του γραφείου (2) παράγαν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% λεπτά σωματίδια ($\text{PM}_{2,5}$). Παρατηρήθηκαν ωστόσο και κάποιες ώρες κατά τις οποίες οι πιο έντονες κινήσεις του χρήστη σε συνδυασμό με την αυξημένη παρουσία ανθρώπων στο διάδρομο εξωτερικά του χώρου είχαν ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερων χονδρών σωματιδίων (με διάμετρο μεγαλύτερη των 2,5 μm), με συνέπεια τη μείωση του λόγου.



Σχήμα 7.129 Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου $PM_{2,5} / PM_{10}$ για τον εργαστηριακό χώρο (1) από τις 2 έως τις 9 Δεκεμβρίου.

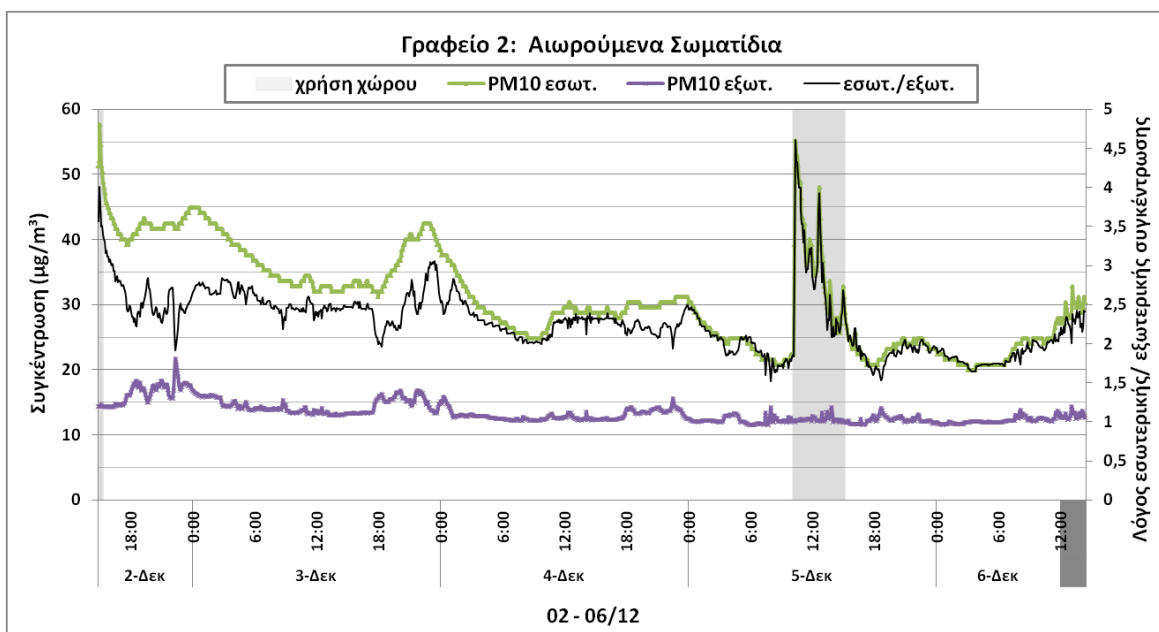


Σχήμα 7.130 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των τιμών εσωτερικής συγκέντρωσης PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10} για το γραφείο (2) την εβδομάδα των μετρήσεων.

Εξετάζοντας το λόγο $PM_1/PM_{2,5}$ διαπιστώθηκε και για το χώρο αυτό ότι, το σύνολο σχεδόν της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων $PM_{2,5}$ αποτελείται από σωματίδια PM_1 . Ομοίως με τους υπόλοιπους χώρους προέκυψαν πολύ ικανοποιητικές συσχετίσεις μεταξύ των εσωτερικών συγκεντρώσεων (Σχήμα 7.130), καθώς οι χρονικές διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων για τα μετρούμενα μεγέθη ήταν σε πλήρη συμφωνία.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά και των εσωτερικών πηγών στη συγκέντρωση στον εσωτερικό χώρο έγινε υπολογισμός του λόγου της εσωτερικής συγκέντρωσης προς την εξωτερική συγκέντρωση (I/O). Για τα PM_{10} , τα οποία μετρήθηκαν ταυτόχρονα εσωτερικά και εξωτερικά του γραφείου (2) από τις 2 έως τις 6/12, το εύρος διακύμανσης του λόγου I/O παίρνει τιμές από 1,52 έως 4,61, με μέση τιμή: 2,28 (Σχήμα 7.131). Οι διαφορές στη διαμόρφωση του λόγου μεταξύ των ωρών χρήσης και μη του γραφείου παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.17. Οι εξαιρετικά υψηλοί λόγοι I/O που παρατηρούνται, ακόμα και κατά τα διαστήματα απουσίας δραστηριοτήτων,

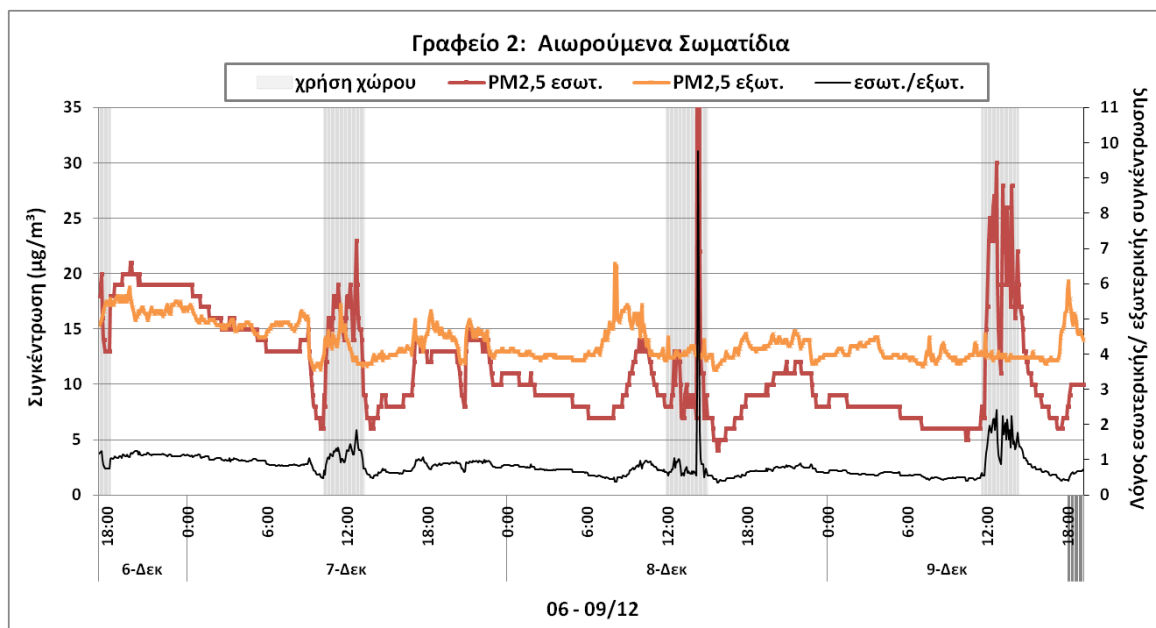
οφείλονται στα πολύ χαμηλά εξωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης σωματιδίων. Το πηλίκο I/O εμφανίζει τιμές υψηλότερες της μονάδας, καθώς κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα η συγκέντρωση των εξωτερικών σωματιδίων είναι μικρότερη από τη συγκέντρωση στον εσωτερικό χώρο και επομένως ο παράγοντας του αερισμού υπό μορφή εισόδου σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον δεν είναι σημαντικός. Αξιοσημείωτο είναι ότι, οι υψηλότερες τιμές εσωτερικής συγκέντρωσης PM₁₀, καθώς και PM_{2,5} (Σχήμα 7.126), εμφανίζονται κατά τις νυχτερινές ώρες το βράδυ της Παρασκευής (2/12) και του Σαββάτου (3/12).



Σχήμα 7.131 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη γραφείου (2) και του λόγου I/O από 2 έως 6 Δεκεμβρίου.

Ωστόσο, τα αίτια - εσωτερικές πηγές που επιδρούν στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων στο εσωτερικό περιβάλλον του υπό μελέτη χώρου δε μπορούν να προσδιοριστούν. Ένας από τους πιθανούς λόγους για τις αυξημένες συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν στο συγκεκριμένο χώρο, εν απουσία εμφανών εσωτερικών πηγών, είναι ο περιορισμένος εξαερισμός του υπό μελέτη χώρου κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα που έχει ως συνέπεια τη μείωση της ποσότητας του αέρα που εισάγεται στο εσωτερικό περιβάλλον και κατά συνέπεια μείωση της απομάκρυνσης των σωματιδίων που παράγονται στο χώρο κατά τις ώρες εργασίας. Το γεγονός ότι ο χώρος παρουσίασε διακύμανση του λόγου I/O μεγαλύτερη της μονάδας, ακόμα και σε ώρες απουσίας χρηστών, υποδηλώνει την πιθανή παρουσία μη-εμφανών εσωτερικών πηγών. Ανάλογες περιπτώσεις έχουν αναφερθεί από διάφορους ερευνητές επισημαίνοντας τη σημασία των μη εμφανών εσωτερικών πηγών (Wallace, 1996).

Η συσχέτιση ανάμεσα στην εσωτερική και την εξωτερική συγκέντρωση PM_{10} προέκυψε σχετικά καλή ($R^2 = 0,5649$, Σχήμα Π III-95). Παρόμοιες συσχετίσεις ($R^2 = 0,35 - 0,53$) έχουν αναφερθεί για τα PM_{10} και από άλλους μελετητές (Gemenetzi et al., 2006; Geller et al., 2002; Yakovleva et al., 1999; Li, 1994), που έδειξαν ότι ανεξάρτητα από τις εσωτερικές πηγές, τα εσωτερικά επίπεδα σωματιδίων επηρεάζονται επίσης και από τις εξωτερικές συγκεντρώσεις. Η επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον ήταν σαφέστατα πιο εμφανής ($R^2 = 0,7072$) τα διαστήματα μη χρήσης του χώρου (Σχήμα Π III-97).



Σχήμα 7.132 Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη γραφείου (2) και του λόγου I/O από 6 έως 9 Δεκεμβρίου.

Αναφορικά με τα σωματίδια $PM_{2,5}$, η τιμή του λόγου I/O, για το διάστημα από 6 έως 9/12, κυμάνθηκε από 0,34 έως 9,77 και ο μέσος λόγος ήταν ίσος με 0,82 (Σχήμα 7.132). Κατά τις ώρες χρήσης του γραφείου ο λόγος παρουσίασε τιμές μεγαλύτερες της μονάδας (μέση τιμή: 1,23), σημειώνοντας τη μέγιστη τιμή του τη στιγμή της μέγιστης εσωτερικής συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ ($117 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το μεσημέρι στις 8/12. Τις ώρες απουσίας του χρήστη ο μέσος λόγος ανήλθε στην τιμή 0,78 (Πίνακας 7.17). Η συσχέτιση μεταξύ των δύο συγκεντρώσεων (Σχήμα Π III-96) προκύπτει χαμηλή ($R^2 = 0,3326$), υποδηλώνοντας ότι οι μεταβολές της εξωτερικής συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ δεν οδηγούσαν σε ανάλογη μεταβολή της συγκέντρωσης εντός του γραφείου (2). Η χαμηλή αυτή συσχέτιση δείχνει ότι η εναπόθεση των λεπτών σωματιδίων στον εσωτερικό χώρο γίνεται με πιο αργούς ρυθμούς με αποτέλεσμα τα σωματίδια που εισέρχονται να παραμένουν αιωρούμενα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι στο εξωτερικό περιβάλλον. Εξετάζοντας ωστόσο μεμονωμένα

τα διαστήματα μη χρήσης του χώρου διαπιστώνεται ότι απουσία ατόμων υφίσταται σε μεγάλο βαθμό διεύθυνση από το εξωτερικό περιβάλλον ($R^2 = 0,6198$) (Σχήμα – ΠΙΠΙ-98).

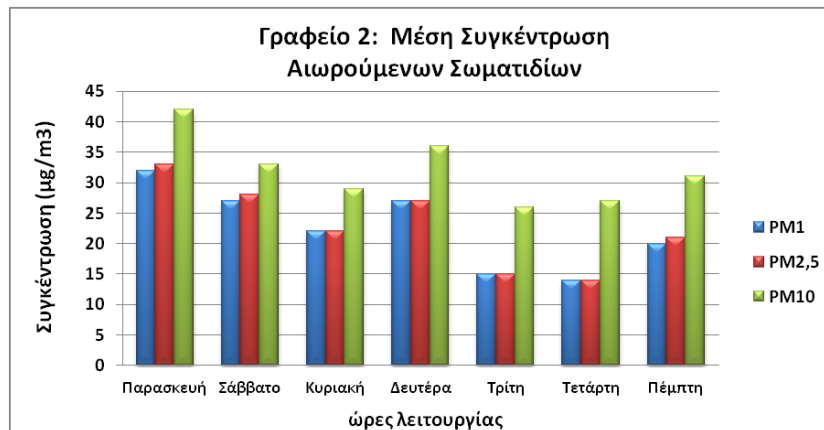
Τα κυριότερα από τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν παραπάνω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 7.17), ενώ στο Σχήμα 7.133 παρουσιάζεται το εβδομαδιαίο προφίλ διακύμανσης των μέσων επιπέδων συγκέντρωσης μάζας για όλα τα μετρούμενα μεγέθη αιωρούμενων σωματιδίων στο γραφείο (2).

Πίνακας 7.17 Τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , $PM_{2,5}$ και PM_1 , καθώς και των λόγων I/O ($PM_{2,5}$) και I/O (PM_{10}), κατά τις ώρες χρήσης και μη του γραφείου (2).

Μέγεθος σωματιδίων	Στατιστικά δεδομένα	Παρουσία ατόμων		Απουσία ατόμων	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/O	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/O
PM_1	Min	7	-	4	-
	Max	114	-	44	-
	Mean	23	-	20	-
$PM_{2,5}$	Min	7	0,50	4	0,34
	Max	124	9,77	45	1,26
	Mean	23	1,23	20	0,78
PM_{10}	Min	17	2,08	15	1,52
	Max	185	4,61	49	3,39
	Mean	33	3,30	27	2,28

Η διαφορά που προκύπτει στα αποτελέσματα μεταξύ των ωρών χρήσης και μη του υπό μελέτη χώρου προσεγγίζει τα πορίσματα των Luoma & Batterman (2001), οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση των ενοίκων σε χώρους γραφείων στην αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων. Οι ένοικοι των χώρων αυξάνουν τη συγκέντρωση, λόγω κυρίως της επαναφοράς σωματιδίων που είχαν επικαθίσει στις εσωτερικές επιφάνειες, αλλά και λόγω του πιθανού καπνίσματος. Όπως αναφέρουν, διαπίστωσαν ότι η κίνηση κάθε ατόμου εντός του χώρου αυξάνει τη συγκέντρωση των σωματιδίων με διάμετρο από 5 – 25 μm κατά 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Επιπλέον στη μελέτη τους αναφέρουν ότι, όπως έδειξαν και οι Monn et al. (1997), σε εσωτερικούς χώρους χωρίς συγκεκριμένες πηγές ρύπανσης, όπως είναι το κάπνισμα και η καύση καυσίμων για θέρμανση ή μαγείρεμα, οι δραστηριότητες των ενοίκων αντιπροσωπεύουν μια βασική πηγή σωματιδίων αποτελούμενη από ίνες υφάσματος, θραύσματα τριχών, σωματίδια εδάφους, κύτταρα του δέρματος, επαναιωρηθέντα σωματίδια διαφόρων προελεύσεων, όπως το περπάτημα, και εκπομπές από χρησιμοποιούμενα υλικά, π.χ. χαρτί κ.ά.



Σχήμα 7.133 Διάγραμμα μέσων τιμών συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ανά ημέρα και κατά τις ώρες χρήσης του γραφειακού χώρου 2 για το διάστημα 02 - 09/12.

Τέλος, μελετήθηκε επίσης η επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων (εσωτερική / εξωτερική θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ταχύτητα εξωτερικού αέρα) όσον αφορά στη συγκέντρωση μάζας και το λόγο I/O (Σχήματα Π III-99 έως 106). Η μόνη σημαντική συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ της εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} και της εξωτερικής σχετικής υγρασίας ($R^2 = 0,4994$, Σχήμα Π III-103), καθώς οι καιρικές συνθήκες υψηλής υγρασίας ευνοούν τη μείωση των εξωτερικών επιπέδων συγκέντρωσης των σωματιδίων. Ωστόσο, η αντίστοιχη συσχέτιση με το λόγο I/O ήταν εξαιρετικά χαμηλή ($R^2 = 0,0146$, Σχήμα Π III-102), γεγονός που δείχνει ότι η επίδραση της σχετικής υγρασίας στη συγκέντρωση του εσωτερικού περιβάλλοντος επισκιάζεται από την επίδραση των εσωτερικών πηγών.

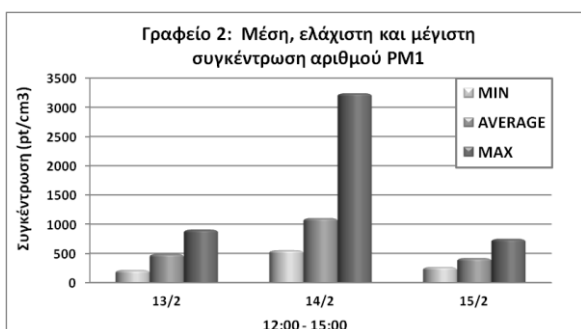
7.7.2.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

Η μέτρηση της συγκέντρωσης αριθμού των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη του 1 μm (0,02 – 1 μm) για τον υπό μελέτη γραφειακό χώρο (2) πραγματοποιήθηκε με το μετρητικό όργανο P-Trak 8525 στο διάστημα από 13 έως 15 Φεβρουαρίου. Ταυτόχρονα, έγινε μέτρηση και της συγκέντρωσης μάζας PM_1 με τον αναλυτή μάζας DustTrak DRX 8534. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 3 ζεύγη ταυτόχρονων δειγματοληψιών τρίωρης διάρκειας κατά τις συνήθεις εργάσιμες ώρες (12:00 – 15:00).

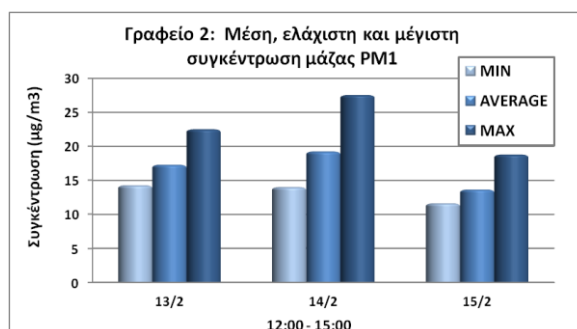
Κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων το παράθυρο του χώρου παρέμενε κλειστό, ενώ η πόρτα του γραφείου ήταν συνήθως ανοιχτή παρουσία του χρήστη του

χώρου. Το σύστημα κλιματισμού ήταν σε λειτουργία στους 25°C σε όλες τις δειγματοληψίες.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι τα κυμαινόμενα επίπεδα αριθμού σωματιδίων PM₁ ανά κυβικό εκατοστόμετρο ήταν στο εύρος από 217 έως 3241 pt/cm³, ενώ η συγκέντρωση μάζας κυμάνθηκε από 12 έως 28 μg/m³. Αντίστοιχα, οι μέσες τιμές για τα μετρούμενα μεγέθη ήταν 662 pt/cm³ και 17 μg/m³. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά ημέρα μετρήσεων παρουσιάζονται στα Σχήματα 7.134 και 7.135.



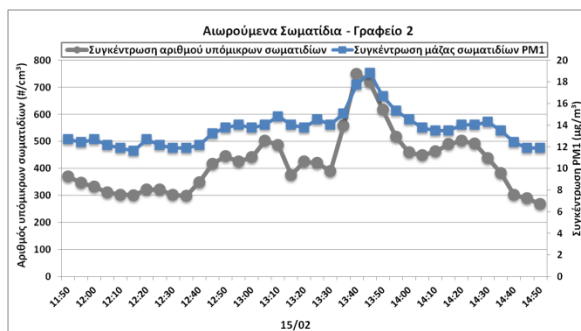
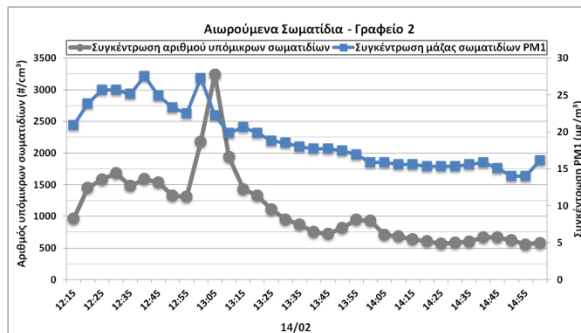
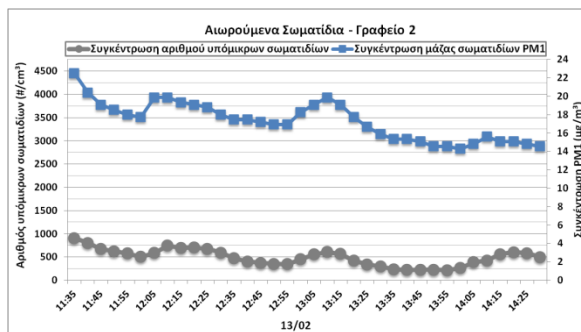
Σχήμα 7.134 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού PM₁ (0,02 – 1 μm) στο γραφείο 2 (13 – 15/02).



Σχήμα 7.135 Στατιστικά δεδομένα συγκέντρωσης μάζας PM₁ στο γραφείο 2 (13 – 15/02).

Δεδομένου ότι οι δραστηριότητες στο γραφείο (2) αφορούσαν σε εργασία σε Η/Υ και ορισμένες μετακινήσεις εισόδου/εξόδου στο χώρο, δε διαπιστώθηκε η ύπαρξη κάποιας σημαντικής πηγής εκπομπής υπόμικρων σωματιδίων. Στο Σχήμα 7.136 παρουσιάζονται οι μεταβολές των μετρούμενων συγκεντρώσεων ανά ημέρα, οι διακυμάνσεις των οποίων σχολιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Εξετάζοντας το διάγραμμα των στιγμιαίων τιμών για τις 13/02 (Σχήμα 7.136A), παρατηρείται ότι κατά τα πρώτα 25 λεπτά των μετρήσεων παρουσιάζεται μείωση των επιπέδων συγκέντρωσης αριθμού (404 pt/cm³) και μάζας (5 μg/m³), η οποία αποδίδεται στην ενεργοποίηση του κλιματισμού από το χρήστη. Σημειώνεται ότι, κατά την έναρξη των μετρήσεων, τα εσωτερικά επίπεδα έχουν ήδη δεχθεί την επίδραση των συγκεντρώσεων από το χώρο του διαδρόμου, καθώς η πόρτα του χώρου είναι ανοιχτή από τις 10:30. Κατόπιν, ακολουθούν ομαλές παράλληλες αυξομειώσεις σε ένα εύρος διακύμανσης 217 - 741 pt/cm³ και 14 -20 μg/m³ για τη συγκέντρωση αριθμού και μάζας αντίστοιχα.



Σχήμα 7.136 Διαγράμματα στιγμιαίας συγκέντρωσης αριθμού PM_{10} ($0,02 - 1 \mu m$) και μάζας PM_{10} για τις 13, 14 και 15/02 (12:00 – 15:00) στο γραφείο 2.

μόνη δραστηριότητα που έχει καταγραφεί, η οποία ωστόσο αφορά στο προηγούμενο μισάωρο (12:15 – 12:45), είναι οι εργασίες μεταφορών επίπλων στο διάδρομο εξωτερικά του γραφείου. Στη συνέχεια δεν παρατηρείται κάποια μεταβολή συνθηκών στο χώρο και οι τιμές σημειώνουν σταδιακή πτώση.

Κατά την τρίτη δειγματοληψία (15/02) η ενεργοποίηση του κλιματισμού μισή ώρα πριν την εκκίνηση των μετρήσεων έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση των επιπέδων συγκέντρωσης αριθμού και μάζας που αποτυπώνεται στο διάγραμμα τα πρώτα 25 λεπτά. Απουσία σημαντικών εσωτερικών πηγών (οι κινήσεις του χρήστη δεν οδηγούν σε αύξηση των συγκεντρώσεων), οι μόνες επιδράσεις που δέχεται ο χώρος αφορούν σε μεταβολή του ρυθμού αερισμού. Συγκεκριμένα, η έξοδος του χρήστη του υπό μελέτη γραφείου (2) που καταγράφεται στις 12:35 και το κλείσιμο της πόρτας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του

Στις 14/12 ο κλιματισμός τίθεται σε λειτουργία τη στιγμή εκκίνησης των πειραματικών μετρήσεων με αποτέλεσμα να εμφανιστεί αρχικά μία σταδιακή αύξηση των συγκεντρώσεων ($626 \mu g/cm^3$ και $7 \mu g/m^3$) για διάστημα 30 περίπου λεπτών και στη συνέχεια να επέλθει η μείωση των τιμών. Η τάση αυτή είχε παρατηρηθεί και στους υπόλοιπους εξεταζόμενους χώρους κατά την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού. Η άνοδος των επιπέδων που παρατηρείται οφείλεται στην εισροή σωματιδίων PM_{10} από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω του συστήματος κλιματισμού, ενώ η πτώση των τιμών που έπεται, αποδίδεται στην αύξηση του ρυθμού αερισμού (Rim & Novoselac, 2010; Guo et al., 2008). Στο διάστημα 12:55 – 13:05 συντελείται μία σημαντική αύξηση του αριθμού των σωματιδίων της τάξης των $1931 \mu g/cm^3$ και αντίστοιχα της μάζας κατά $4 \mu g/m^3$. Η

ρυθμού αερισμού. Η μείωση αυτή φαίνεται ότι έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή αύξηση των συγκεντρώσεων που παρατηρείται έως και τις 13:05 που ο χρήστης επιστρέφει στο χώρο και ανακάμπτει η αυξητική πορεία. Ομοίως, από τις 13:30 έως τις 13:40 η πόρτα του χώρου παραμένει κλειστή λόγω εξόδου του ατόμου από το γραφείο με συνεπακόλουθη αύξηση των συγκεντρώσεων. Ωστόσο, τα επίπεδα γενικότερα παραμένουν χαμηλά καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, κυμαινόμενα στο εύρος $268 - 750 \text{ pt/cm}^3$ και $12 - 19 \text{ μg/m}^3$.

Εξετάζοντας τη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας παρατηρήθηκε ότι οι συντελεστές προσδιορισμού (R^2) παρουσίασαν μεγάλη μεταβλητότητα ανά ημέρα στον υπό μελέτη χώρο (Σχήματα Π III-107 έως 109). Γενικά, η συσχέτιση μεταξύ αριθμού και μάζας είναι πολύπλοκη και μεταβλητή και εξαρτάται από τον αριθμό, το είδος και την ισχύ των εσωτερικών δραστηριοτήτων, καθώς βέβαια και από τα εξωτερικά επίπεδα (Morawska et al., 2003). Το γεγονός όμως ότι όλοι συντελεστές ήταν μεγαλύτεροι από 0,55 φανερώνει την ύπαρξη σημαντικής συσχέτισης υποδηλώνοντας ότι οι δύο συγκεντρώσεις επηρεάζονται ως επί το πλείστον από εκπομπές υπόμικρων σωματιδίων ίδιου μεγέθους.

7.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων - συζήτηση

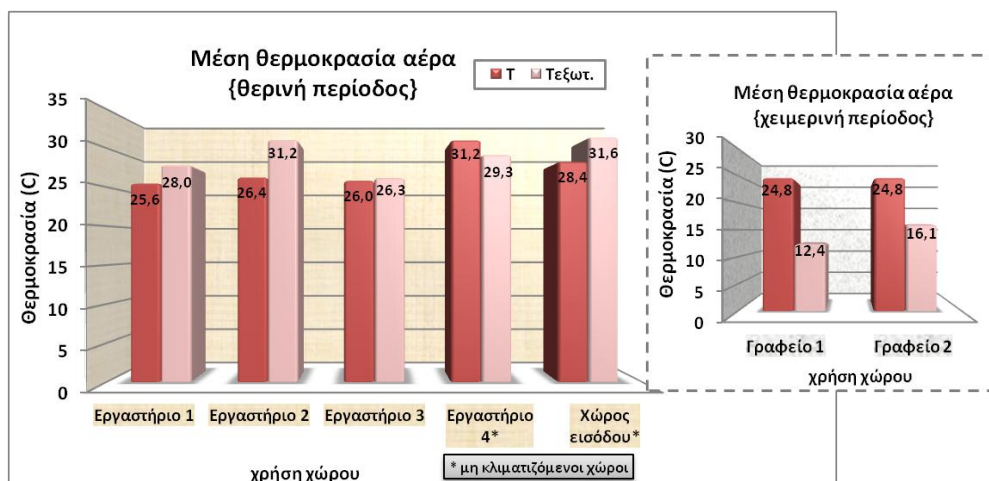
Συνοψίζοντας, στα πλαίσια της παρούσης εργασίας μετρήθηκαν, επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν αντιπροσωπευτικές παράμετροι για τη μελέτη και αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος. Οι μετρήσεις της Α Φάσης πραγματοποιήθηκαν σε 4 εργαστήρια και έναν κοινόχρηστο χώρο κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών και σε δύο γραφεία κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Σημειώνεται ότι κατά τη θερινή περίοδο τα εργαστήρια βρίσκονταν σε πλήρη λειτουργία για την κάλυψη των πειραματικών αναγκών φοιτητών και ερευνητικών προγραμμάτων. Οι μετρήσεις της Β Φάσης έλαβαν χώρα κατά τους χειμερινούς μήνες. Τα συνολικά αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων (μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) ανά εξεταζόμενο χώρο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 7.18 και στη συνέχεια αναλύονται συγκριτικά ανά μετρούμενη παράμετρο.

Πίνακας 7.18 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων στους εξεταζόμενους χώρους.

Εξεταζόμενος χώρος:	Εργαστήριο 1	Εργαστήριο 2	Εργαστήριο 3	Εργαστήριο 4	Χώρος εισόδου	Γραφείο 1	Γραφείο 2	
Περίοδος μετρήσεων (Α Φάση):	Ιούνιος-Ιούλιος	Ιούλιος	Ιούλιος - Αύγουστος	Αύγουστος	Ιούλιος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	
Θερμοκρασία (°C)	26,4 (24,4-30,6)	25,7 (24,4-27,9)	25,7 (24,9-26,6)	30,9 (27,3-32,4)	28,3 (26,0-31,4)	22,2 (18,3-27,2)	19,7 (18,1-26,8)	
Εξωτερική θερμοκρασία (°C)	25,0 (16,4-35,2)	27,6 (21,0-37,8)	22,7 (16,4-29,4)	26,7 (21,9-33,7)	31,6 (28,3-34,6)	11,7 (7,9-17,3)	14,0 (8,1-20,0)	
Σχετική υγρασία (%)	53,7 (34,4-71,4)	54,6 (43,9-69,5)	53,6 (46,4-59,0)	44,3 (40,6-47,6)	51,1 (42,8-60,7)	42,0 (32,0-52,5)	44,7 (38,5-48,6)	
Εξωτερική Σχετική υγρασία (%)	59,6 (26,0-93,0)	57,0 (28,0-83,0)	55,5 (32,0-76,0)	61,4 (39,0-88,0)	46,8 (35,0-66,0)	75,3 (57,0-92,0)	71,9 (49,0-91,0)	
Φωτεινότητα (lx)	479 (390 - 700)	445 (250 - 850)	209 (61 - 650)	397 (60 - 850)	620 (390-1480)	520 (260-650)	510 (250 - 700)	
Διοξείδιο του άνθρακα (ppm)	294 (277 - 370)	314 (270 - 441)	303 (269 - 412)	291 (270 - 371)	325 (264 - 357)	314 (304 - 390)	320 (300 - 525)	
Μονοξείδιο του άνθρακα (ppm)	1,5 (0,8 - 2,1)	1,8 (1,4 - 2,2)	2,0 (1,8 - 2,2)	1,7 (1,2 - 1,9)	2,2 (2,1 - 2,4)	1,1 (0,7 - 1,8)	1,3 (0,7 - 1,7)	
Ραδόνιο (Bq/m ³)	3,95	3,25	7,05	10,75	3,35	1,40	4,85	
Ακτινοβολία γ (nSv/h)	76,6	78,2	67,1	75,3	64,0	72,0	74,4	
Αιωρούμενα σωματίδια (μg/m ³)	PM ₁	17 (13 - 82)	14 (12 - 24)	17 (13 - 50)	15 (12 - 19)	-	18 (13 - 82)	19 (4 - 114)
	PM _{2,5}	17 (13 - 83)	14 (12 - 46)	18 (13 - 50)	15 (12 - 20)	30 (13 - 50)	18 (13 - 88)	19 (4 - 124)
	PM ₁₀	32 (21 - 230)	23 (16 - 99)	34 (19 - 136)	25 (15 - 55)	103 (30 - 221)	34 (18 - 541)	27 (15 - 185)
Εξωτερικά σωματίδια (μg/m ³)	PM _{2,5}	18 (12 - 28)	18 (14 - 28)	22 (15 - 30)	18 (12 - 32)	-	19 (14 - 50)	14 (11 - 21)
	PM ₁₀	33 (21 - 55)	27 (18 - 54)	32 (20 - 102)	37 (24 - 59)	-	65 (31 - 128)	13 (12 - 22)
Περίοδος μετρήσεων (Β Φάση):	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Ιανουάριος - Φεβρουάριος	Φεβρουάριος	Φεβρουάριος	
Αιωρούμενα σωματίδια PM ₁ (μg/m ³)	15 (12 - 23)	18 (13 - 32)	15 (12 - 19)	15 (11 - 21)	23 (12 - 93)	19 (15 - 25)	17 (12 - 28)	
Αιωρούμενα σωματίδια 0,02 – 1 μm (#/cm ³)	864 (329-2205)	2172(363-7127)	1184(279-3430)	894 (365-1870)	1668(569-5966)	919 (315-2933)	662 (217-3241)	

7.8.1 Θερμοκρασία

Η μέση θερμοκρασία του αέρα, η οποία μετρήθηκε σε 4 χώρους εργαστηρίων και έναν κοινόχρηστο χώρο (είσοδος κτηρίου) του κτηρίου Μηχανικών Περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (Ιούνιος – Αύγουστος), κυμάνθηκε στο εύρος από 25,6°C (εργαστήριο 1) έως 31,2°C (εργαστήριο 4). Οι τιμές αυτές αφορούν στο χρονικό διάστημα χρήσης των χώρων κατά την περίοδο των μετρήσεων. Οι αντίστοιχες μέσες θερμοκρασίες για το εξωτερικό περιβάλλον κυμάνθηκαν από 26,3°C έως 31,6°C. Οι μετρήσεις σε δύο χώρους γραφείων, οι οποίες έλαβαν χώρα κατά τη χειμερινή περίοδο (Νοέμβριος – Δεκέμβριος), έδειξαν ότι η μέση θερμοκρασία κατά τις ώρες χρήσης των χώρων (λειτουργία θέρμανσης) ανέρχεται σε 24,8°C, τη στιγμή που η μέση εξωτερική ήταν από 12,4°C έως 16,1°C. Τα αποτελέσματα για το χρονικό διάστημα χρήσης ανά εξεταζόμενο χώρο παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.137, συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος για την εκάστοτε περίοδο μέτρησης. Τα μέσα επίπεδα για το σύνολο των μετρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.18.



Σχήμα 7.137 Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά εξεταζόμενο χώρο κατά το χρονικό διάστημα χρήσης τους.

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν στο εργαστήριο 4 (31,2°C) και στο χώρο της εισόδου (28,4°C) κατά την περίοδο δροσισμού έγκειται στο γεγονός ότι οι χώροι αυτοί δεν ήταν κλιματιζόμενοι και σαφώς επηρεάζονταν σε μεγαλύτερο βαθμό από τις εξωτερικές θερμικές συνθήκες που επικρατούσαν. Το εργαστήριο 4 αντικατοπτρίζει τις συνθήκες ενός μη κλιματιζόμενου και αεριζόμενου χώρου και παρά το γεγονός ότι αποτελεί μικρότερο χώρο (66 m³) σε σχέση με τα άλλα τρία ίσου όγκου εργαστήρια (162 m³) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα μέτρο σύγκρισης του βαθμού αποτελεσματικότητας ρύθμισης των θερμικών συνθηκών του συστήματος κλιματισμού για την επίτευξη άνεσης. Με εξαίρεση τους δύο προαναφερθέντες χώρους, διαπιστώθηκε γενικότερα ότι η μέση

θερμοκρασία δεν αποκλίνει σημαντικά από το προτεινόμενο όριο – τιμή σχεδιασμού της TOTEE 20701-1/2010 για κλιματιζόμενους χώρους σε εκπαιδευτικά κτήρια τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (26°C). Επιπλέον, στα εργαστήρια 1 και 3, εκτός από τη λειτουργία του συστήματος κλιματισμού, σημαντικό ρόλο για τη διατήρηση ευνοϊκών θερμοκρασιών έχει και ο συνεχής και χαμηλού ρυθμού αερισμός, ο οποίος στους συγκεκριμένους χώρους υφίσταται και κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών συμβάλλοντας στο δροσισμό των χώρων και των δομικών τους στοιχείων.

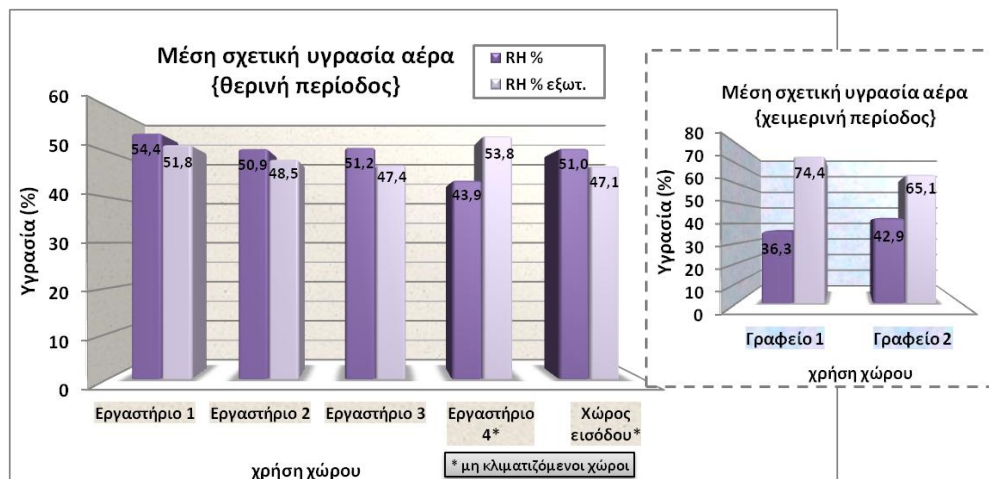
Συμπεραίνεται επομένως ότι υπό συνθήκες απουσίας κλιματισμού και αερισμού ο χώρος αδυνατεί να αντεπεξέλθει και να καλύψει τα υψηλά εσωτερικά ψυκτικά φορτία από τον ηλεκτρονικό εργαστηριακό εξοπλισμό, τη θερμική συνεισφορά της δραστηριότητας των ατόμων που εργάζονται στο χώρο και την επίδραση από τις υψηλές επικρατούσες εξωτερικές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα κατά τις μεσημβρινές ώρες. Η αίσθηση θερμικής δυσφορίας λόγω της θερμοκρασίας αέρα που επικρατεί σε ένα χώρο, έχει βρεθεί ότι, αποσπά την προσοχή των ατόμων και έχει αρνητική επίδραση στην πνευματική εργασία, όπως επίσης, ότι, επιδεινώνει τα συμπτώματα του συνδρόμου του άρρωστου κτηρίου (SBS) (Wargocki & Wyon 2013; 2007). Συνεπώς η λειτουργία του συστήματος κλιματισμού κρίνεται απαραίτητη για τη επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη θερινή περίοδο.

Όσον αφορά στην περίοδο θέρμανσης, γενικότερα διαπιστώθηκε ότι τα μέσα επίπεδα θερμοκρασίας (24,8°C) των δύο εξεταζόμενων χώρων έχουν αρκετά υψηλότερες τιμές από το συνιστώμενο όριο της TOTEE 20701-1/2010 που για το χειμώνα ορίζει για κλιματιζόμενους χώρους γραφείων τους 20°C. Οι υψηλές επικρατούσες θερμοκρασίες αποδίδονται κατά κύριο λόγο στην υψηλή ρύθμιση του συστήματος κλιματισμού, αλλά και στη μεγάλη ποσότητα εσωτερικών κερδών που συνεισφέρουν στη θέρμανση των χώρων.

Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το ερωτηματολόγιο και για τις δύο χρονικές περιόδους (θερινή, χειμερινή) εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι πειραματικές μετρήσεις δεν ανταποκρίνονται στο αίσθημα θερμικής άνεσης των χρηστών του χώρου. Η διατύπωση παραπόνων σχετικά με τις επικρατούσες θερμοκρασίες θα πρέπει να αποδοθεί στις ατομικές διαφορές σε σχέση με το αίσθημα της θερμικής άνεσης σε χώρους όπου στεγάζονται περισσότερα από ένα άτομα.

7.8.2 Σχετική υγρασία

Η μέση σχετική υγρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος, κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου των μετρήσεων και κατά τη χρονική διάρκεια χρήσης των εξεταζόμενων χώρων, κυμάνθηκε μεταξύ 43,9% (εργαστήριο 4) και 54,4% (εργαστήριο 1). Όσον αφορά στη μέση σχετική υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, το εύρος τιμών κυμάνθηκε για τις ίδιες ώρες μεταξύ 47,1% και 53,8%. Οι μετρήσεις της χειμερινής περιόδου έδειξαν ότι τα μέσα επίπεδα υγρασίας αέρα στους γραφειακούς χώρους κυμαίνονται σε χαμηλότερες τιμές (36,3% - 42,9%) παρά τα υψηλότερα εξωτερικά επίπεδα (65,1% - 74,6%). Τα παραπάνω παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 7.138, ενώ τα αποτελέσματα για τη συνολική διάρκεια των μετρήσεων αναγράφονται στον Πίνακα 7.18.



Σχήμα 7.138 Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά εξεταζόμενο χώρο κατά το χρονικό διάστημα χρήσης τους.

Γενικότερα τα επίπεδα σχετικής υγρασίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες στους κλιματιζόμενους εργαστηριακούς χώρους (1, 2 και 3) του υπό μελέτη κτηρίου κρίνονται σχετικά υψηλά, καθώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων (51,2% - 54,4%) δείχνουν ότι η σχετική υγρασία, δεχόμενη την έντονη επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος, κυμαίνεται σε υψηλότερες τιμές από την προτεινόμενη τιμή σχεδιασμού (45%) που ορίζει η TOTEE 20701-1/2010. Εξαίρεση αποτελεί ο μη κλιματιζόμενος χώρος του εργαστηρίου 4, για τον οποίο διαπιστώνεται ότι, απουσία φυσικού και μηχανικού αερισμού, η σχετική υγρασία του χώρου δέχεται πολύ μικρή επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον με αποτέλεσμα η μέση τιμή της (43,9%) να προσεγγίζει τα επιθυμητά αποδεκτά επίπεδα για την επίτευξη θερμικής άνεσης σύμφωνα με τη σχετική οδηγία της TOTEE. Επίσης, και η είσοδος του κτηρίου παρουσιάζει ικανοποιητικά επίπεδα σχετικής υγρασίας (51%), αν λάβουμε ως κριτήριο αξιολόγησης τη συνιστώμενη τιμή – όριο (50%) της TOTEE 20701-

1/2010 για κλιματιζόμενους κοινόχρηστους χώρους. Τονίζεται ωστόσο ότι η τιμή αυτή δεν απευθύνεται στο συγκεκριμένο χώρο, δεδομένου ότι δε διαθέτει σύστημα κλιματισμού.

Κατά τη χειμερινή περίοδο διαπιστώνεται ότι η λειτουργία του κλιματισμού στους εξεταζόμενους χώρους συμβάλει καθοριστικά στη ρύθμιση των επιπέδων σχετικής υγρασίας καθώς η θέρμανση ξηραίνει τον αέρα του χώρου. Αν πάρουμε ως βάση την TOTEE 20701-1/2010 που για το χειμώνα ορίζει για κλιματιζόμενους χώρους γραφείων την τιμή 35%, παρατηρείται ότι τα μέσα επίπεδα υγρασίας που επικρατούν κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου 1 (36,3%) δεν αποκλίνουν σημαντικά από το όριο. Ωστόσο, στο γραφείο 2 δεν κατορθώνεται η επιθυμητή ρύθμιση των επιπέδων σχετικής υγρασίας, τα οποία είναι μονίμως υψηλότερα (μέση τιμή: 42,9%) της συνιστώμενης τιμής.

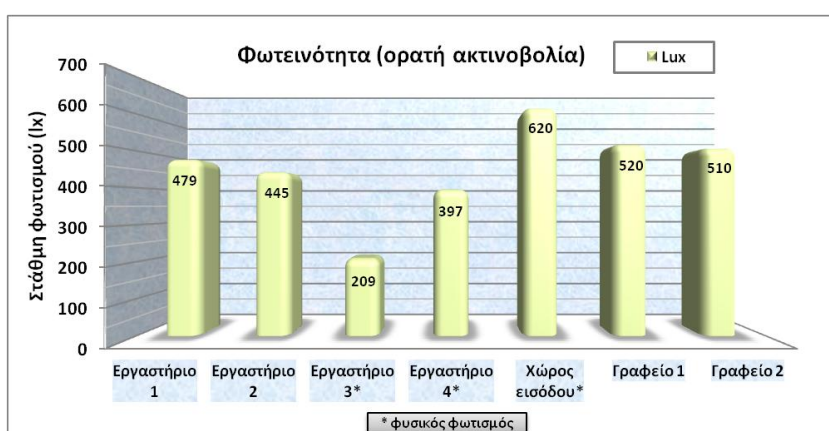
Σύμφωνα με την έρευνα με το ερωτηματολόγιο, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υγρασία/ξηρότητα όπως εκλαμβάνεται από τους περισσότερους χρήστες των εξεταζόμενων χώρων δε συνάδουν με τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων. Πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη ότι πειράματα έχουν δείξει ότι η υποκειμενική αίσθηση της υγρασίας/ξηρότητας του αέρα δε φαίνεται να συσχετίζεται με τη μετρούμενη σχετική υγρασία και ότι η ικανότητα του ανθρώπου να εκτιμήσει αντικειμενικά την υγρασία δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη (Sundell & Lindvall, 1993).

7.8.3 Φωτεινότητα

Στα πλαίσια των πειραματικών μετρήσεων σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στους χώρους του κτηρίου μετρήθηκαν και τα επίπεδα φωτισμού. Τα αποτελέσματα (Σχήμα 7.139) έδειξαν ότι η φωτεινότητα στους περισσότερους από τους εξεταζόμενους χώρους προσεγγίζει αρκετά τα συνιστώμενα επίπεδα των 500 lx για την εξασφάλιση οπτικής άνεσης, όπως αυτά ορίζονται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464.1:2002 και την οδηγία TOTEE 20701-1/2010. Η προτεινόμενη τιμή για τη μέση ελάχιστη στάθμη φωτισμού αφορά σε χώρους κτηρίων τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και σε χώρους γραφείων.

Σημειώνεται ότι η μέση στάθμη φωτεινότητας για τους εργαστηριακούς χώρους 1 και 2 (θερινή περίοδος) και τους γραφειακούς χώρους 1 και 2 (χειμερινή περίοδος) προκύπτει υπό συνθήκες τεχνητού φωτισμού, ανεξαρτήτως επάρκειας η μη του φυσικού φωτός. Οι χαμηλότερες τιμές που παρατηρήθηκαν στο εργαστήριο 3 (209 lx) και στο μικρότερο

εργαστήριο 4 (397 lx) οφείλονται στο γεγονός ότι οι ανάγκες φωτισμού καλύπτονταν από το φυσικό φως κατά την (θερινή) περίοδο των μετρήσεων. Οι τιμές αυτές, με βάση τη σύσταση της TOTEE 20701-1/2010, δεν εξασφαλίζουν στους χρήστες την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα φωτισμού για την άσκηση των δραστηριοτήτων τους στο χώρο, και συνεπώς κρίνεται αναγκαία η χρήση τεχνητού φωτισμού. Τέλος, ο φυσικός φωτισμός που επιτυγχάνεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας στην είσοδο του κτηρίου, μέσω του υαλοστάσιου της νότιας πλευράς του χώρου, φαίνεται ότι υπερκαλύπτει τις ανάγκες φωτισμού (620 lx), δεδομένου ότι υπερβαίνει κατά πολύ την τρέχουσα σύσταση για το μέσο φωτισμό σε κοινόχρηστους χώρους (200 lx).



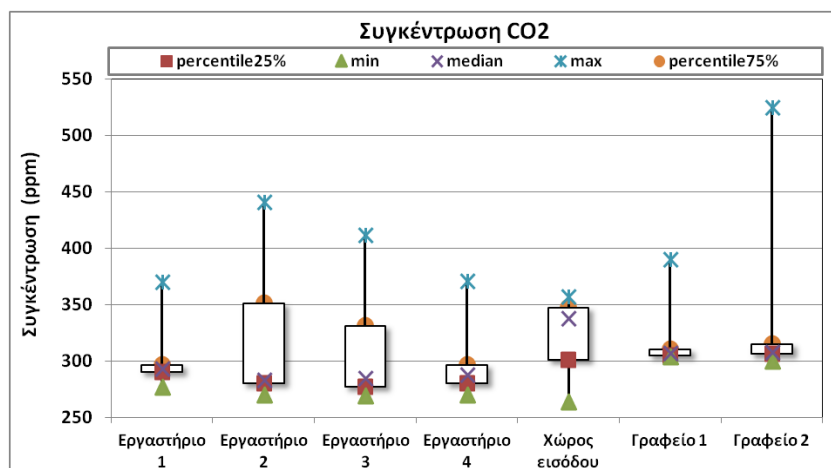
Σχήμα 7.139 Μέση στάθμη φωτισμού ανά εξεταζόμενο χώρο.

Ως σχόλιο θα πρέπει να ειπωθεί ότι το γεγονός ότι οι περισσότεροι χώροι του κτηρίου φωτίζονται τεχνητά όλη την ημέρα, ακόμη και τις ώρες που ο φυσικός φωτισμός επαρκεί, συμβάλει στην αύξηση των εσωτερικών θερμικών κερδών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απαιτήσεις για την κάλυψη των αναγκών ψύξης του κτηρίου τους θερινούς μήνες, επιβάλλοντας τη χρήση του συστήματος κλιματισμού, όπως αναφέρθηκε στο 7.8.1. Από την άλλη πλευρά, ωστόσο, μειώνονται οι απαιτήσεις για θέρμανση κατά τη χειμερινή περίοδο.

7.8.4 Διοξείδιο του άνθρακα

Σχετικά με την ποιότητα εσωτερικού αέρα, οι μετρήσεις των χημικών παραμέτρων έδειξαν ότι η συγκέντρωση του CO₂ ήταν σχετικά χαμηλή σε όλους τους χώρους όπου διεξήχθησαν μετρήσεις. Στο ακόλουθο γράφημα (Σχήμα 7.140) παρουσιάζονται τα επίπεδα συγκέντρωσης ανά εξεταζόμενο χώρο, τα οποία κυμάνθηκαν στο εύρος μεταξύ 264 ppm (χώρος εισόδου) και 525 ppm (γραφείο 2). Οι συγκεντρώσεις αυτές κρίνονται ικανοποιητικές καθώς είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με το πρότυπο του ASHRAE (62.1-

2007) που ορίζει ότι η απόκλιση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης (~350 ppm) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 700 ppm, όπως επίσης και σε σχέση με τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή (5000 ppm) που ορίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας, Π.Δ. 90/1999) για το εργασιακό περιβάλλον. Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι η κατοχή του κτηρίου σε σχέση με την πρόσληψη φρέσκου αέρα ήταν ικανοποιητική και δεν υφίσταται πρόβλημα κακής ποιότητας εσωτερικού αέρα.

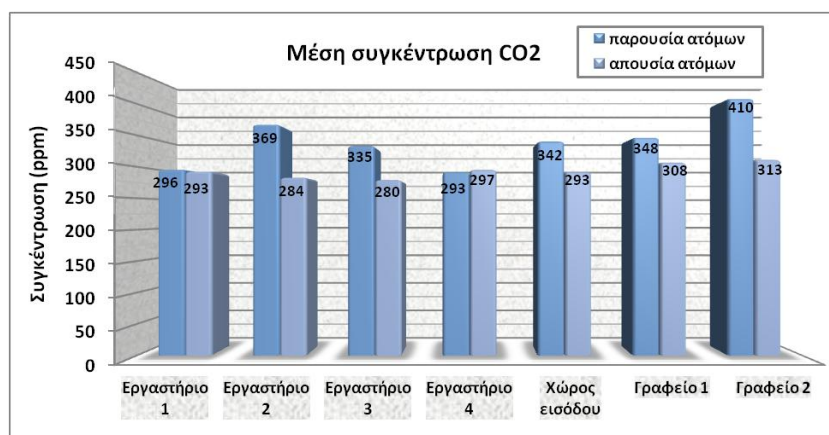


Σχήμα 7.140 Εύρος τιμών συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα ανά εξεταζόμενο χώρο.

Τα μέσα επίπεδα κατά τη χρονική διάρκεια λειτουργίας των χώρων ήταν από 293 ppm (εργαστήριο 4) έως 410 ppm (γραφείο 2). Στο γράφημα – Σχήμα 7.141 παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις για τα διαστήματα κατά τα οποία παρευρίσκονταν φοιτητές και προσωπικό στις αίθουσες συγκριτικά με τις ώρες που οι χώροι ήταν κενοί. Δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δεν είχαμε διεξαγωγή πειράματος με εστία καύσης στα υπό μελέτη εργαστήρια (1, 2, 3 και 4), καθώς επίσης και παρουσία καπνιστών στα εξεταζόμενα γραφεία (1 και 2), βασική πηγή διοξειδίου του άνθρακα αποτέλεσαν οι χρήστες των χώρων (εκπομπή CO₂ μέσω της ανθρώπινης αναπνοής). Γενικότερα, η συγκέντρωση του CO₂ εξαρτάται από το πλήθος των ατόμων, τη διάρκεια παρουσίας τους, το ρυθμό αερισμού και ασφαλώς τον όγκο του εκάστοτε χώρου.

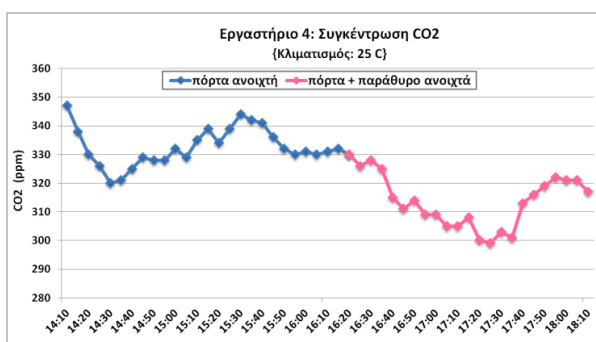
Ο λόγος για τον οποίο τα μέσα επίπεδα συγκέντρωσης CO₂ (παρουσία ατόμων) στους χώρους γραφείων (379 ppm) είναι υψηλότερα από αυτά στους χώρους εργαστηρίων (323 ppm) παρά το μικρότερο αριθμό χρηστών, πέρα από το μικρότερο όγκο τους, συνίσταται κυρίως στο γεγονός ότι οι χειμερινές συνθήκες δεν επιτρέπουν το συχνό αερισμό τους. Επίσης, στο εργαστήριο 2 υφίσταται μόνο μηχανικός αερισμός με αποτέλεσμα τα μέσα επίπεδα να είναι υψηλότερα συγκριτικά με τα εργαστήρια 1 και 2, στα οποία ο διαρκής

φυσικός αερισμός μειώνει σημαντικά τα επίπεδα συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 7.141 Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα κατά τα διαστήματα παρουσίας και απουσίας ατόμων, ανά εξεταζόμενο χώρο.

Σημειώνεται ότι τα επίπεδα που μετρήθηκαν στο εργαστήριο 4, τα οποία κρίνονται σχετικώς υψηλά αν λάβουμε υπόψη το μικρότερο όγκο του σε σχέση με τα άλλα εργαστήρια και το γεγονός ότι η πρόσβαση στο χώρο ήταν ιδιαίτερη περιορισμένη, οφείλονται στην πλήρη απουσία αερισμού στο χώρο. Στο Σχήμα 7.142 παρουσιάζεται μία πειραματική μέτρηση που έλαβε χώρα κατά τη θερινή περίοδο στο εν λόγω εργαστήριο υπό ελεγχόμενες συνθήκες παρουσία ενός ατόμου. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η διακύμανση της συγκέντρωσης CO₂ με ενεργό το σύστημα κλιματισμού και ανοιχτή την πόρτα, που είναι και οι συνηθέστερες επικρατούσες συνθήκες στους χώρους του κτηρίου, και στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε αύξηση του ρυθμού αερισμού ανοίγοντας το παράθυρο. Η μείωση που παρατηρήθηκε στα επίπεδα επιβεβαιώνει τον ισχυρισμό μας, ότι δηλ. ο φυσικός αερισμός μπορεί να διαδραματίσει ενεργό ρόλο, όσον αφορά στην ποιότητα εσωτερικού αέρα, καθότι μειώνει σημαντικά τα επίπεδα συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 7.142 Διακύμανση συγκέντρωσης CO₂ υπό ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού.

Τέλος, η διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης στον κοινόχρηστο χώρο της εισόδου συνδέεται με την αυξημένη παρουσία ατόμων και το κάπνισμα. Ωστόσο, αν και η επιβάρυνση λόγω του καπνίσματος είναι σημαντική, λόγω του μεγάλου όγκου του χώρου τα επίπεδα δεν είναι ιδιαίτερα υψηλά, καθώς κυμαίνονται κοντά σχετικά στα εξωτερικά

επίπεδα (~350 ppm), γεγονός που σημαίνει ότι οι πηγές εκπομπής CO₂ δεν είναι ισχυρές. Συνεπώς διαπιστώνεται ότι ο αερισμός στο χώρο είναι επαρκής, καθώς συντελεί στην αποτελεσματική μείωση της συγκέντρωσης CO₂ στο χώρο.

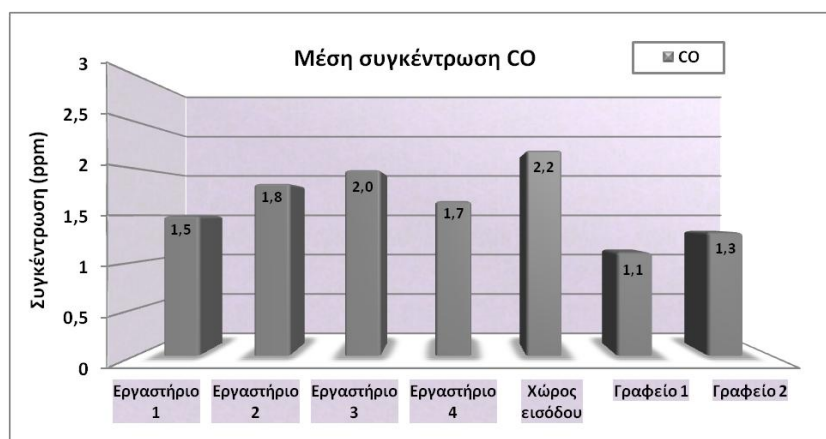
Η μόνη περίπτωση που σημειώθηκε υπέρβαση του ορίου αποτέλεσε η μέτρηση κατά τη διάρκεια τρίωρης διάλεξης στην αίθουσα συνεδριάσεων του υπό μελέτη κτηρίου, παρουσία 30 ατόμων και με κλειστά παράθυρα, καθώς η συγκέντρωση έφτασε τα 4500 ppm (βλ. 7.2.2.4), γεγονός που καταδεικνύει ότι ο αερισμός του χώρου δεν ήταν επαρκής για τα άτομα που βρίσκονταν στο χώρο και αποτελεί ένδειξη για την παρουσία άλλων ρυπαντών στην εσωτερική ατμόσφαιρα. Μελέτες των Serpanen et al. (1999) και των Wargocki et al. (2002) έδειξαν ότι η αυξημένη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό κτηρίων γραφείων σχετίζεται με την εμφάνιση συμπτωμάτων του άρρωστου κτηρίου. Επιπλέον, οι Kajtar et al. (2003) αναφέρουν ότι η ικανότητα συγκέντρωσης των ανθρώπων μειώνεται όταν η συγκέντρωση αυξάνεται άνω των 3000 ppm.

Ανάλογες μετρήσεις σε πανεπιστημιακό κτήριο στον ελλαδικό χώρο έχουν πραγματοποιηθεί από τους Valavanides & Vatista (2006), οι οποίοι μέτρησαν τα επίπεδα CO₂ σε χώρους του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι μέσες συγκεντρώσεις στα εργαστήρια κυμάνθηκαν στα 570 – 840 ppm κατά τη θερινή περίοδο, ενώ τα μέσα επίπεδα στα γραφεία το χειμώνα ανήλθαν στα 650 ppm. Οι υψηλότερες τιμές, της τάξης των 1300 – 1400 ppm, ανευρέθησαν στα μεγαλύτερα εργαστήρια (9 x 13 x 3,5 m), παρουσία 25 φοιτητών υπό ειδικές πειραματικές συνθήκες (εστία καύσης) και κλειστά παράθυρα.

7.8.5 Μονοξείδιο του άνθρακα

Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις του CO₂ διεξήχθησαν μετρήσεις και για το μονοξείδιο του άνθρακα. Τα μέσα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα ήταν σε όλους τους χώρους χαμηλότερα από 2,5 ppm (1,1 – 2,2 ppm), τιμές που είναι πολύ χαμηλότερες από τα όρια υγείας που προτείνουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα (9 ppm για 8 ώρες σύμφωνα με τους Π.Ο.Υ, ASHRAE και TOTEE 2425/86 και 50 ppm για το εργασιακό περιβάλλον σύμφωνα με το Π.Δ. 90/1999). Δεδομένης της απουσίας εσωτερικών πηγών καύσης, οι χαμηλές αυτές συγκεντρώσεις οφείλονται στη μεγάλη απόσταση του κτηρίου από πολυσύχναστους δρόμους.

Γενικότερα τα επίπεδα αυτά είναι αναμενόμενα καθώς η κύρια πηγή μονοξειδίου του άνθρακα στα εκπαιδευτικά κτήρια είναι το εξωτερικό περιβάλλον (συνήθως δεν υφίστανται εσωτερικές πηγές). Έτσι συνήθως η εσωτερική συγκέντρωση ακολουθεί την εξωτερική. Μεγάλες συγκεντρώσεις CO παρουσιάζονται σε εκπαιδευτικά κτήρια που βρίσκονται σε περιοχές με μεγάλη κυκλοφοριακή φόρτιση, δεδομένου ότι τα αυτοκίνητα αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 7.143 Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα ανά εξεταζόμενο χώρο.

Ανάλογα αποτελέσματα, υψηλότερα κατά 1 ppm περίπου (2,3 – 3,2 ppm), προέκυψαν από τη διεξαγωγή μετρήσεων σε εργαστήρια και αίθουσες του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών λόγω της περιορισμένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης από καυσαέρια αυτοκινήτων στην περιοχή Πανεπιστημιούπολης Ζωγράφου (Valavanides & Vatista, 2006). Άλλες μετρήσεις που έγιναν σε σχολικά (όχι πανεπιστημιακά) κτήρια στον ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα στην Αθήνα, έδειξαν ότι σε καμία περίπτωση οι εσωτερικές συγκεντρώσεις δεν ξεπερνάνε τα όρια των 9 ppm (Synnefa et al., 2004; Chaloulakou et al., 2003; Chaloulakou & Mavroides, 2002). Η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε ήταν 5,4 ppm και αφορούσε σε κτήριο στο κέντρο της Αθήνας, ενώ το εύρος διακύμανσης του πηλίκου της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση βρέθηκε από 0,53 έως 0,89 (Chaloulakou et al., 2003).

7.8.6 Ραδόνιο

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μέτρησης ραδονίου, η μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση στους χώρους του υπό μελέτη κτηρίου κυμάνθηκε στο εύρος από 1,40 Bq/m³ (γραφείο 1) έως 10,75 Bq/m³ (εργαστήριο 4). Τα επίπεδα αυτά είναι εξαιρετικά χαμηλά σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια που προτείνουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί ποιότητας

εσωτερικού αέρα και επομένως δεν προκύπτει λόγος ανησυχίας. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι η Ε.Ε θέτει ως επίπεδα δράσης για τη λήψη μέτρων τα 200 Bq/m^3 (για τα κτήρια που έχουν χτιστεί πριν το 1990 το όριο είναι 400 Bq/m^3), η US EPA ορίζει την οριακή τιμή των 148 Bq/m^3 (ή 4 pCi/l), ενώ ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας συνιστά ως ανώτερο επιτρεπτό όριο τα 100 Bq/m^3 .

Όπως φαίνεται και στο σχετικό γράφημα (Σχήμα 7.144) η υψηλότερη συγκέντρωση μετρήθηκε στο χώρο του εργαστηρίου 4. Δεδομένου ότι οι χώροι στεγάζονται στο ίδιο κτήριο, ο παράγοντας που συντελεί στην εμφάνιση υψηλότερης τιμής στο συγκεκριμένο χώρο συγκριτικά με τους υπόλοιπους εξεταζόμενους χώρους είναι ο ανεπαρκής αερισμός του. Το εν λόγω εργαστήριο, όπως σχολιάστηκε και στο 7.4, χαρακτηρίζεται από απουσία μηχανικού και φυσικού αερισμού. Γενικότερα, οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης ραδονίου μέσα σε ένα κτήριο εξαρτώνται κυρίως από τις μεταβολές στις συνθήκες αερισμού. Αυτές προκαλούνται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και από την ανθρώπινη δραστηριότητα (άνοιγμα παραθύρων και πόρτας, χρήση μηχανικών συστημάτων εξαερισμού). Κατά τη διαδικασία του αερισμού ο εσωτερικός αέρας του χώρου ανανεώνεται με την είσοδο του εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα και η πολύ χαμηλή συγκέντρωση των προϊόντων διάσπασης του ραδονίου στην ατμόσφαιρα μειώνει τις υψηλές συγκεντρώσεις αυτών εντός του χώρου.



Σχήμα 7.144 Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης ραδονίου ανά εξεταζόμενο χώρο.

Η χαμηλότερη συγκέντρωση παρουσιάστηκε στο γραφείο 1 που βρίσκεται στον πρώτο όροφο του υπό μελέτη κτηρίου, κατά τις μετρήσεις της χειμερινής περιόδου. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τη διαπίστωση διαφόρων μελετητών (Zunic et al., 2007; Bochicchio et al., 2005; Papaefthymiou et al., 2003; Nikolopoulos et al., 2002; Khan, 2000; Ioannides et al., 2000; Kritidis et al., 1994), ότι δηλ. το ραδόνιο αποτελεί

μεγαλύτερο παράγοντα επικινδυνότητας σε εσωτερικούς χώρους που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, σε σχέση με τους χώρους πρώτου και άνω ορόφου. Το έδαφος αποτελεί την κύρια πηγή εκπομπής ραδονίου και συνεισφέρει πολύ περισσότερο από ότι τα οικοδομικά υλικά στη διαμόρφωση της συγκέντρωσης.

Ωστόσο, δεν ισχύει το ίδιο και για το γραφείο 2 (πρώτος όροφος), το οποίο παρουσιάζει υψηλότερη τιμή σε σχέση με χώρους του ισόγειου, λόγω του χαμηλότερου ρυθμού αερισμού κατά τη χειμερινή περίοδο. Αναφέρεται επίσης ότι στο συγκεκριμένο χώρο παρατηρήθηκαν τα υψηλότερα επίπεδα CO₂. Γενικότερα, η συνήθης εποχιακή τάση που παρατηρείται στις μεσογειακές χώρες είναι να σημειώνονται υψηλότερες συγκεντρώσεις ραδονίου το χειμώνα σε σχέση με άλλες εποχές του χρόνου (Udovicic et al., 2009; Zunic et al., 2007; Papaefthymiou et al., 2003; Ramola et al., 1998; Papastefanou et al., 1994). Ωστόσο, ο τρόπος θέρμανσης και κλιματισμού αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διαμόρφωση της συγκέντρωσης ραδονίου (Panatto et al., 2006; Marley et al., 2000; Marley, 1999). Στους κλιματιζόμενους χώρους τα παράθυρα συνήθως παραμένουν κλειστά το καλοκαίρι για τη διατήρηση χαμηλής εσωτερικής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σημαντική διαφορά των τιμών συγκέντρωσης μεταξύ θερινής και χειμερινής περιόδου (Papachristodoulou et al., 2010).

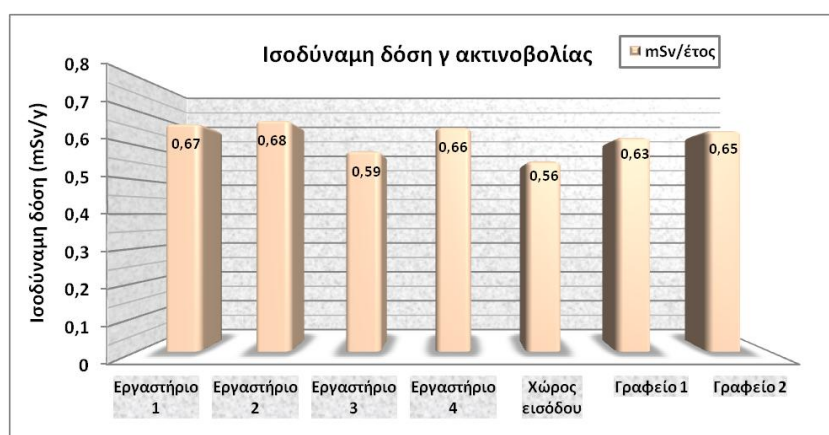
Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων με άλλες μελέτες, διαπιστώνουμε ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης ραδονίου στο υπό μελέτη κτήριο κρίνονται ιδιαίτερα χαμηλά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα μέσα επίπεδα που προσδιορίστηκαν από τους Papachristodoulou et al. (2010) και αφορούσε σε εσωτερικούς χώρους του Πανεπιστημίου των Ιωαννίνων ήταν 95 Bq/m³, ενώ η μέση συγκέντρωση που βρέθηκε από την μελέτη των Clouvas et al. (2007) σε εργασιακούς χώρους (σχολεία και γραφεία) σε όλη την Ελλάδα ανήλθε στα 123 Bq/m³. Ο μέσος όρος που έχει υπολογιστεί για το νομό Χανίων από τη μεγαλύτερη έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί για κατοικίες στον ελλαδικό χώρο από τους Nikolopoulos et al. (2002) είναι 56 Bq/m³. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα το εύρος διακύμανσης που μετρήθηκε στα πλαίσια της παρούσα εργασίας (~1-10 Bq/m³) αντιστοιχεί στο 7% της κατανομής συγκέντρωσης σε εσωτερικούς χώρους στην Ελλάδα (βλ. 3.2.3).

Θα πρέπει ωστόσο να τονίσουμε ότι οι τιμές συγκέντρωσης ραδονίου που προσδιορίστηκαν στους εξεταζόμενους χώρους αποτελούν προσεγγιστικές εκτιμήσεις

καθώς βασίζονται σε βραχυχρόνιες μετρήσεις και δεν αντιπροσωπεύουν τα επίπεδα έκθεσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

7.8.7 Ακτινοβολία γ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις γ ακτινοβολίας προερχόμενης από την φυσική ακτινοβόληση του εδάφους, με σκοπό τον καθορισμό του επιπέδου φυσικής ραδιενέργειας από ακτινοβολία γ στους εσωτερικούς χώρους. Σύμφωνα με τις μετρήσεις η ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας στους υπό μελέτη χώρους κυμάνθηκε στο εύρος από 0,56 έως 0,68 mSv ανά έτος (θεωρούμε ότι η έκθεση είναι εικοσιτετράωρη). Σημειώνεται ότι η ισοδύναμη ολόσωμη δόση είναι ίση με την ενεργό δόση. Με βάση τα αποτελέσματα στους εξεταζόμενους χώρους (Σχήμα 7.145), η μέση τιμή για το κτήριο προκύπτει ίση με 0,63 mSv/έτος. Δεδομένου ότι το όριο ενεργού δόσης σε ακτινοβολία για το γενικό πληθυσμό κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι 1 mSv (ICRP, 1990), διαπιστώνεται ότι η έκθεση σε ακτινοβολία γ στο υπό μελέτη κτήριο είναι ασφαλής.



Σχήμα 7.145 Μέση ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας ανά εξεταζόμενο χώρο.

Σύμφωνα με την έκθεση της UNSCEAR (2000), ο μέσος ρυθμός απορροφούμενης δόσης γ ακτινοβολίας για την Ελλάδα από έκθεση σε εσωτερικούς χώρους είναι 67 nGy/h. Σημειώνεται ότι η δόση αυτή οφείλεται σε φυσική εκπομπή ακτινοβολίας από το έδαφος. Με βάση την τιμή αυτή, η ενεργός δόση ανά έτος, όπως υπολογίστηκε στο 3.2.4, προκύπτει ίση με 0,33 mSv. Επομένως, συμπεραίνεται ότι η μέση τιμή που μετρήθηκε στο υπό μελέτη κτήριο (0,63 mSv) είναι υψηλότερη. Επιπλέον, η μέση ενεργός δόση γ ακτινοβολίας υπερβαίνει και το μέσο παγκόσμιο όρο, που σύμφωνα με την UNSCEAR (2000) αντιστοιχεί σε 0,41 mSv.

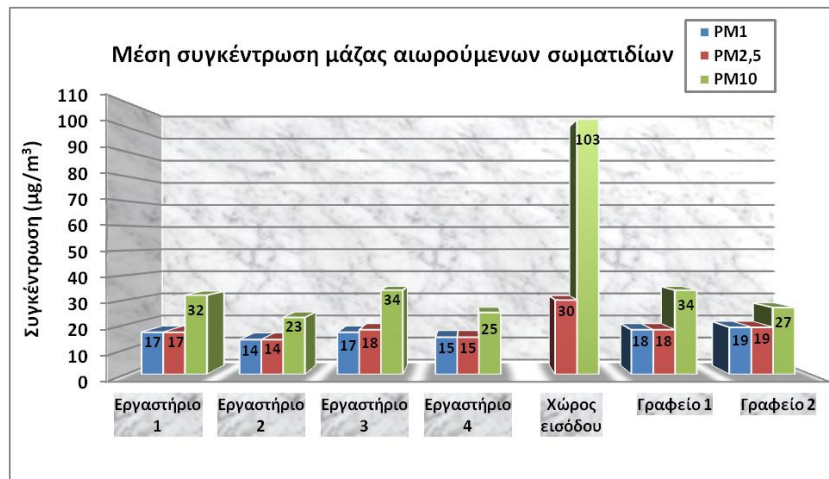
Επισημαίνεται ωστόσο ότι αν και μετρήθηκε η ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας, η οποία προέρχεται από τη φυσική ακτινοβολία του εδάφους, είναι αδύνατη η απομόνωση του οργάνου μέτρησης από κάθε άλλη πηγή ακτινοβολίας πέραν του εδάφους. Ο λόγος είναι ότι η αναλογική λυχνία μέτρησης του οργάνου ανιχνεύει γ ακτινοβολία η οποία προέρχεται από οποιαδήποτε πηγή, εφόσον η πηγή αυτή βρίσκεται εντός κώνου 75° από το κέντρο της λυχνίας (βλ. 5.1.2). Το φαινόμενο αυτό, δηλαδή της μέτρησης διαφορετικών, πέραν του εδάφους, πηγών κατά τις μετρήσεις, δύναται να περιοριστεί, χωρίς όμως να εκλείψει, μέσω της τοποθέτησης του οργάνου και του εξωτερικού αισθητήρα σε κατάλληλη σχετική γωνία ως προς το έδαφος. Κατά την εκτέλεση των επιμέρους μετρήσεων, η σχετική θέση του εξωτερικού αισθητήρα και της αναλογικής λυχνίας μέτρησης του οργάνου ως προς το κάθετο στο έδαφος επίπεδο, ήταν με φορά προς το έδαφος και με σχετική γωνία περίπου 45°. Η τοποθέτηση αυτή του οργάνου έγινε με σκοπό την μέτρηση της ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας η οποία προέρχεται από την φυσική ακτινοβολία του εδάφους και την ελαχιστοποίηση της επίδρασης άλλων πηγών ακτινοβολίας πέραν του υπεδάφους.

7.8.8 Αιωρούμενα σωματίδια

Για τη μελέτη της ποιότητας του αέρα πραγματοποιήθηκε σειρά πειραματικών μετρήσεων που περιελάμβαναν συνεχείς μετρήσεις δειγματοληψίας πραγματικού χρόνου της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων, τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον (Α Φάση), όπως επίσης και του αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων (Β Φάση).

7.8.8.1 Συγκέντρωση μάζας

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις δειγματοληψίας που αφορούσαν στην καταγραφή της μάζας των σωματιδίων (βλ. Παράρτημα ΙΙΙ-8), τα μέσα επίπεδα συγκέντρωσης όπως αυτά προέκυψαν από τη συνολική διάρκεια των μετρήσεων, κυμάνθηκαν από 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (εργαστήριο 2) έως 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (χώρος εισόδου) για τα PM_{10} , από 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (εργαστήριο 2) έως 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (χώρος εισόδου) για τα $\text{PM}_{2,5}$ και από 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (εργαστήριο 2) έως 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (γραφείο 2) για τα PM_1 . Επισημαίνεται ότι στο χώρο της εισόδου του κτηρίου δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση για τα PM_1 . Στο Σχήμα 7.146 παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους χώρους.



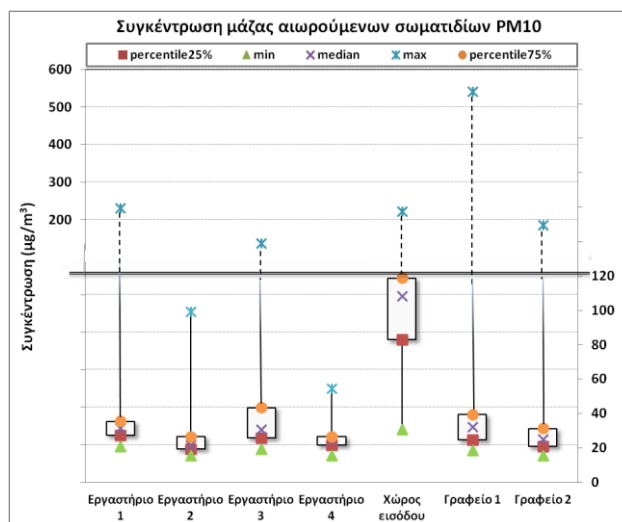
Σχήμα 7.146 Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης μάζας PM_1 , $PM_{2,5}$ και PM_{10} ανά εξεταζόμενο χώρο.

Γενικότερα διαπιστώθηκε ότι τα PM_{10} εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση με τα $PM_{2,5}$ και τα PM_1 , καθώς οι συντελεστές προσδιορισμού (R^2) ήταν σε όλους τους χώρους μεγαλύτεροι από 0,85, υποδηλώνοντας ότι και τα τρία κλάσματα μεγέθους επηρεάζονται από κοινές πηγές. Η διακύμανση του λόγου $PM_{2,5}/PM_{10}$ στο εύρος 0,53 – 0,67 για το σύνολο των δειγματοληψιών δείχνει ότι τα εσωτερικά PM_{10} αποτελούνται σε μεγαλύτερο βαθμό από λεπτά σωματίδια, με ιδιαίτερα σημαντική τη συμβολή του κλάσματος PM_1 , το οποίο αποτελεί σχεδόν το 99% της μάζας των λεπτών σωματιδίων.

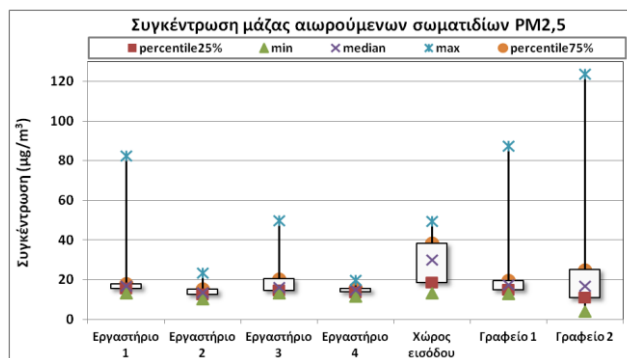
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα ισχύοντα όρια ποιότητας για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια (PM_{10} και $PM_{2,5}$), δεδομένης της απουσίας προτύπων για τα αιωρούμενα σωματίδια σε εσωτερικούς χώρους, διαπιστώνεται ότι οι μέσες συγκεντρώσεις βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα σε σχέση με το ημερήσια όρια για τα PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σύμφωνα με τους Ε.Ε. και Π.Ο.Υ. και $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σύμφωνα με την US EPA) και τα $PM_{2,5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με βάση τους Π.Ο.Υ και US EPA αντίστοιχα). Οι μοναδικές υπερβάσεις παρατηρούνται για το χώρο της εισόδου. Λαμβάνοντας ωστόσο υπόψη τις μέγιστες επιτρεπόμενες ετήσιες συγκεντρώσεις, παρατηρούνται υπερβάσεις των σχετικών ορίων για τα PM_{10} ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σύμφωνα με Ε.Ε και Π.Ο.Υ), καθώς επίσης και των ορίων από τους Π.Ο.Υ και US EPA για τα $PM_{2,5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα) σε όλους τους χώρους. Με βάση όμως την τιμή που έχει θεσπιστεί από την Ε.Ε. για τα $PM_{2,5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), οι συγκεντρώσεις στους χώρους κρίνονται ικανοποιητικές, με μόνη εξαίρεση την είσοδο του κτηρίου. Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι τα όρια – τιμές με τα οποία έγινε η σύγκριση δεν απευθύνονται στα αιωρούμενα σωματίδια εσωτερικού περιβάλλοντος.

Επίδραση εσωτερικών πηγών

Οι υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στο χώρο της εισόδου και αποτελούν ένδειξη της σημαντικής επίδρασης του καπνίσματος όσον αφορά στην ποιότητα του αέρα, καθώς η είσοδος του κτηρίου αποτελεί χώρο ελεύθερης πρόσβασης στον οποίο λαμβάνει χώρα περιστασιακό κάπνισμα. Ωστόσο, όπως φαίνεται στα διαγράμματα εύρους των τιμών στιγμιαίας συγκέντρωσης (Σχήμα 7.147 και 7.148, το αντίστοιχο Σχήμα για τα PM_{10} παρατίθεται στο Παράρτημα ΙΙΙ-8), ακόμη υψηλότερες τιμές από αυτές που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια επεισοδίων καπνίσματος ($221 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2,5}$) σημειώθηκαν στους υπόλοιπους χώρους, οι οποίες οφείλονται στην ενεργοποίηση εσωτερικών πηγών λόγω της πραγματοποίησης καθημερινών δραστηριοτήτων από τους χρήστες των χώρων. Συγκεκριμένα, στο γραφείο 1 καταγράφηκαν τιμές συγκέντρωσης μάζας που έφτασαν τα $541 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2,5}$ κατά τη διάρκεια εργασιών καθαριότητας (σκούπισμα – σφουγγάρισμα) στο χώρο. Η διεξαγωγή εργαστηριακών δραστηριοτήτων (π.χ. εργασίες επεξεργασίας εδαφικών δειγμάτων) στους υπό μελέτη χώρους είχαν ως αποτέλεσμα να καταγραφούν τιμές συγκέντρωσης της τάξης των $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2,5}$ (εργαστήριο 1), καθώς και $136 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2,5}$ (εργαστήριο 3). Επιπλέον, οι μέγιστες τιμές που σημειώθηκαν στο γραφείο 2 ($185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2,5}$) αποδίδονται στο τίναγμα της καρέκλας του γραφείου που είχε ως αποτέλεσμα την επαναιώρηση των σωματιδίων από την επιφάνεια της.

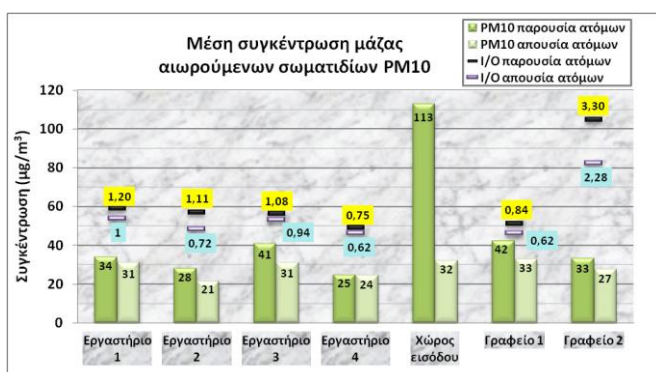


Σχήμα 7.147 Εύρος τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ανά εξεταζόμενο χώρο.

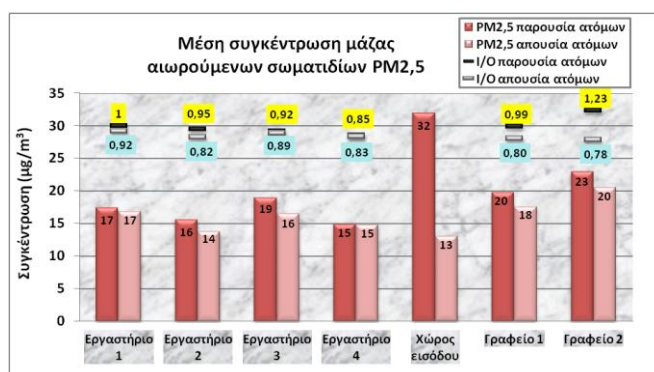


Σχήμα 7.148 Εύρος τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ ανά εξεταζόμενο χώρο.

Πέρα από τις εσωτερικές πηγές παραγωγής των σωματιδίων που αναφέρθηκαν, γενικότερα, οι κυριότεροι παράγοντες που βρέθηκε ότι επηρεάζουν τη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης στους χώρους ήταν η παρουσία ατόμων στο χώρο και η διεξαγωγή δραστηριοτήτων από αυτά. Συγκεκριμένα στα Σχήματα 7.149 και 7.150 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές όπως αυτές διαμορφώνονται κατά τη χρονική διάρκεια χρήσης των χώρων συγκριτικά με τα διαστήματα απουσίας ατόμων από τους χώρους (το αντίστοιχο για τα PM_{10} παρατίθεται στο Παράρτημα III-8). Οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι κατά τις ώρες λειτουργίας (τυπικές εργάσιμες ημέρες) των χώρων του κτηρίου, η συγκέντρωση μάζας τόσο των σωματιδίων $PM_{2,5}$, όσο και των σωματιδίων PM_{10} , παρουσιάζει αυξημένες τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές τις ώρες εκτός λειτουργίας (νυχτερινές ώρες και Σαββατοκύριακο) λόγω της απουσίας δραστηριοτήτων. Οι μέσες τιμές των σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$, όπως αυτές προκύπτουν από το σύνολο των εξεταζόμενων χώρων, για τη χρονική διάρκεια χρήσης τους ήταν $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τις ώρες εκτός λειτουργίας ήταν $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 7.150 Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης μάζας PM_{10} κατά τα διαστήματα παρουσίας και απουσίας ατόμων, ανά εξεταζόμενο χώρο.



Σχήμα 7.149 Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$ κατά τα διαστήματα παρουσίας και απουσίας ατόμων, ανά εξεταζόμενο χώρο.

Η αύξηση των τιμών είναι σημαντικότερη για τα σωματίδια PM_{10} καθώς η εναπόθεση σωματιδίων είναι σημαντικότερη για τα σωματίδια μεγάλης διαμέτρου λόγω του βάρους τους και συνεπώς είναι μεγαλύτερη η επαναφορά (των επικαθημένων σωματιδίων) τους στον αέρα λόγω των κινήσεων του χρηστών στους χώρους. Η επαναιώρηση των σωματιδίων κατά τη διάρκεια εσωτερικών δραστηριοτήτων έχει βρεθεί ότι είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τις εσωτερικές συγκεντρώσεις, κυρίως των χονδρών σωματιδίων (Thatcher and Layton, 1995). Επιπλέον, οι χαμηλότερες τιμές που παίρνει ο λόγος $PM_{2,5}/PM_{10}$ κατά τις ώρες χρήσης του χώρων φανερώνουν ότι η

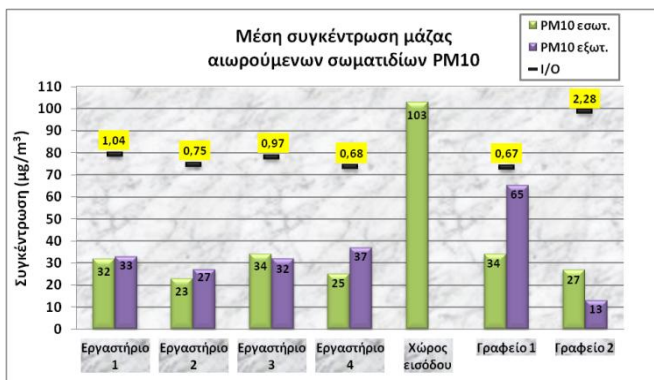
παρουσία ατόμων είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερου ποσοστού χονδρών σωματιδίων.

Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά (απόκλιση κατά $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10}) στα επίπεδα συγκέντρωσης μεταξύ των ωρών χρήσης και μη του εργαστηριακού χώρου 4. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι η πρόσβαση στο συγκεκριμένο χώρο ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη (από ένα χρήστη για σύντομο χρονικό διάστημα). Επίσης, και στο εργαστήριο 1 δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στα επίπεδα συγκέντρωσης $\text{PM}_{2.5}$. Σαφέστατα οι συνθήκες αερισμού διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο καθώς αυτές καθορίζουν τη δυνατότητα διείσδυσης των σωματιδίων σε έναν εσωτερικό χώρο.

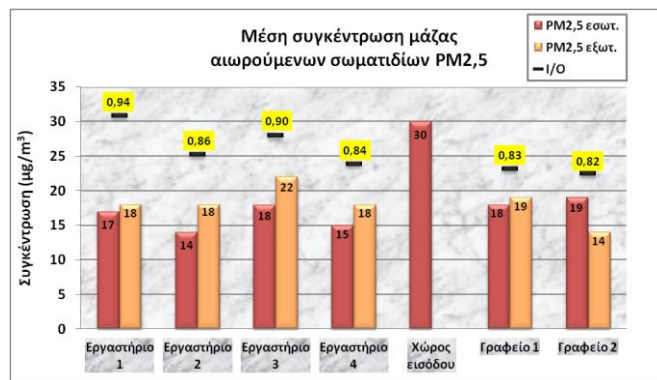
Το εργαστήριο 4 αποτελεί ενδεικτικό χώρο των συνθηκών απουσίας φυσικού και μηχανικού αερισμού, επομένως η διείσδυση αποτελεί τη βασικό τρόπο εισροής εξωτερικού αέρα και σωματιδίων. Με εξαίρεση το χώρο της εισόδου, όλοι οι υπόλοιποι χώροι είναι κλιματιζόμενοι (μηχανικός αερισμός) και επιπλέον, στα εργαστήρια 1 και 3 υφίσταται παράλληλα και φυσικός αερισμός μέσω ανοιχτών παραθύρων. Συνεπώς, ο παράγοντας του αερισμού υπό μορφή εισόδου σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον είναι σημαντικός.

Επίδραση εξωτερικού περιβάλλοντος

Προκειμένου να εκτιμηθεί η συνεισφορά του εξωτερικού περιβάλλοντος στην συγκέντρωση στους εσωτερικούς χώρους πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονες μετρήσεις και στο εξωτερικό περιβάλλον. Οι μετρήσεις αυτές αποσκοπούσαν στη σύγκριση των τιμών μάζας σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικούς χώρους και στον προσδιορισμό της επίδρασης του εξωτερικού περιβάλλοντος στις συγκεντρώσεις σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους. Οι μέσες εξωτερικές συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν μεταξύ 13 και $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_{10} και από 14 έως $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση τιμή $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $\text{PM}_{2.5}$. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα μέσα επίπεδα εξωτερικής συγκέντρωσης που μετρήθηκαν από το όργανο DustTrak II 8532 έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των μετρήσεων ($36,1 \pm 9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $23,6 \pm 5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $\text{PM}_{2.5}$) του σταθμού Ακρωτηρίου προηγούμενων ετών (Korpanakis et al., 2012).



Σχήμα 7.152 Μέση συγκέντρωση μάζας PM₁₀ ανά εξεταζόμενο χώρο σε σύγκριση με τα επίπεδα στο εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 7.151 Μέση συγκέντρωση μάζας PM_{2,5} ανά εξεταζόμενο χώρο σε σύγκριση με τα επίπεδα στο εξωτερικό περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα των ταυτόχρονων μετρήσεων εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης σωματιδιακής μάζας ανά εξεταζόμενο χώρο παρουσιάζονται σε συγκριτική μορφή στα Σχήματα 7.151 και 7.152. Επισημαίνεται ότι για τον κοινόχρηστο χώρο της εισόδου δεν πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονη μέτρηση της εξωτερικής συγκέντρωσης. Η υψηλότερη μέση εξωτερική συγκέντρωση PM₁₀ (65 µg/m³) που παρατηρήθηκε κατά την πραγματοποίηση μέτρησης στο γραφείο 1 (χειμερινή περίοδος) οφείλεται στις υπό εξέλιξη κατασκευαστικές εργασίες για την οικοδόμηση νέων κτηριακών μονάδων σε απόσταση μόλις λίγων μέτρων από το υπό μελέτη κτήριο.

Η ανάλυση των τιμών που παρουσίασε η αναλογία της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση (λόγος I/O) παρέχει μία εκτίμηση της επίδρασης του εξωτερικού περιβάλλοντος καθώς και των εσωτερικών πηγών στη διαμόρφωση της συγκέντρωσης μάζας στον εσωτερικό χώρο. Η παρουσία ατόμων στους χώρους του κτηρίου είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του λόγου I/O σε τιμές μεγαλύτερες της μονάδας. Η αύξηση οφείλεται στις εσωτερικές εκπομπές λόγω των εργασιών των χρηστών. Οι πηγές αυξάνουν σημαντικά την εσωτερική συγκέντρωση και ο μέσος λόγος κυμάνθηκε από 0,75 έως 1,20 για τα PM₁₀ και από 0,85 έως 1 για τα PM_{2,5}. Οι χαμηλότεροι μέσοι λόγοι αντιστοιχούν στο εργαστήριο 4 λόγω της απουσίας κάποιας ισχυρής πηγής εκπομπής σωματιδίων, καθότι ο χώρος καταλαμβάνεται από έναν μόνον χρήστη και για περιορισμένο χρονικό διάστημα, ενώ οι υψηλότεροι μέσοι λόγοι παρουσιάστηκαν για τον εργαστηριακό χώρο 1 που χαρακτηρίζεται από αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα. Στις χρονικές περιόδους όπου δεν υπήρχαν ενεργές πηγές (απουσία ατόμων) η εξωτερική συγκέντρωση ήταν μεγαλύτερη από την εσωτερική σε όλους τους χώρους.

Εξαιρέση αποτελεί το πηλίκo I/O για τα PM₁₀ στο γραφείο 2, το οποίο εμφανίζει τιμές υψηλότερες της μονάδας ακόμα και κατά τα διαστήματα απουσίας δραστηριοτήτων. Οι εξαιρετικά υψηλοί λόγοι I/O που παρατηρούνται οφείλονται στα πολύ χαμηλά εξωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης σωματιδίων τη συγκεκριμένη εβδομάδα του Δεκεμβρίου και συνεπώς ο παράγοντας του αερισμού υπό μορφή εισόδου σωματιδίων από το εξωτερικό περιβάλλον δεν είναι σημαντικός. Επιπλέον, ένας από τους πιθανούς λόγους για τις αυξημένες συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν στο συγκεκριμένο χώρο, εν απουσία εμφανών εσωτερικών πηγών, είναι ο περιορισμένος εξαερισμός του που έχει ως συνέπεια τη μείωση της ποσότητας του αέρα που εισάγεται στο εσωτερικό περιβάλλον και κατά συνέπεια μείωση της απομάκρυνσης των σωματιδίων που παράγονται στο χώρο κατά τις ώρες εργασίας.

Οι συσχετίσεις που προέκυψαν στους υπό μελέτη χώρους μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης έδειξαν ότι τα εσωτερικά επίπεδα PM_{2,5} επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από την εξωτερική διεύδυση σε σύγκριση με τα PM₁₀. Αντίστοιχα, τα PM₁₀ επηρεάζονται περισσότερο από τις εσωτερικές πηγές που σχετίζονται με την παρουσία ατόμων και το είδος των δραστηριοτήτων, σε σχέση με τα PM_{2,5}. Μοναδική εξαιρέση στην παρατήρηση αυτή αποτελεί το Γραφείο 2, όπου η συσχέτιση για τα PM₁₀ είναι πιο ισχυρή από την αντίστοιχη για τα PM_{2,5}.

Συγκεκριμένα, οι ισχυρότερες συσχετίσεις μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης για τα σωματίδια PM_{2,5} προέκυψαν για το Εργαστήριο 4 ($R^2 = 0,8415$), στο οποίο τα εξωτερικά σωματίδια εισέρχονταν μέσω ακούσιου αερισμού, καθώς και για το Εργαστήριο 3 ($R^2 = 0,7429$), στο οποίο είχαμε τη συνδυασμένη επίδραση φυσικού και μηχανικού αερισμού. Η διαπίστωση αυτή, ότι δηλ. η εξωτερική συγκέντρωση PM_{2,5} έχει καθοριστική επίδραση στη διαμόρφωση των εσωτερικών επιπέδων, έρχεται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα άλλων μελετών (Guo et al., 2010; Branis et al. 2009; Fromme et al. 2008; Kingham et al. 2008). Άλλωστε, όπως έχει ήδη αποδειχθεί, τα λεπτά σωματίδια διεισδύουν πιο εύκολα μέσα από στενές σχισμές από ότι τα μεγαλύτερα (Liu and Nazaroff, 2003; Mosley et al., 2001; Thornburg et al., 2001).

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η συσχέτιση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης δύναται να βελτιωθεί αν ληφθεί υπόψη η χρονική καθυστέρηση επίδρασης. Η καθυστέρηση αυτή μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης οφείλεται στο χρόνο διεύδυσης μέσα από το κτηριακό κέλυφος. Θεωρητικά, την περίοδο παρουσίας

ατόμων σε ένα χώρο, κατά την οποία τα παράθυρα είναι ανοιχτά και ο μηχανικός εξαερισμός ενεργός, η καθυστέρηση θα είναι μικρότερη σε σχέση με την περίοδο απουσίας τους (Guo et al., 2010; Morawska et al., 2001).

Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων

Από τη συσχέτιση των μετεωρολογικών παραμέτρων με τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο βαθμό επίδρασης στο λόγο I/O έχει η ατμοσφαιρική σχετική υγρασία. Οι συνθήκες υψηλής υγρασίας ευνοούν την εναπόθεση των σωματιδίων στο εξωτερικό περιβάλλον με συνέπεια να αυξάνεται και ο αντίστοιχος λόγος μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης. Πρέπει να τονιστεί όμως ότι, όλα τα δεδομένα αφορούν σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία (κτήριο) με ένα συγκεκριμένο σύστημα εξαερισμού, που ελήφθησαν με ένα συγκεκριμένο τρόπο εκτέλεσης και σε καμία περίπτωση τα αποτελέσματα αυτά δεν αντιπροσωπεύουν τη γενική συμπεριφορά της σχέσης I/O.

Σύγκριση με άλλες μελέτες

Στις μελέτες που συναντώνται στη βιβλιογραφία έχουν διεξαχθεί αρκετές διαφορετικές μέθοδοι παρακολούθησης και μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων και συνεπώς η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσης εργασίας με τα πορίσματα από αυτές θα πρέπει να γίνεται με προσοχή. Προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας επιλέξαμε να γίνει σύγκριση με τα πορίσματα παρόμοιων μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί σε πανεπιστημιακά κτήρια στον ελλαδικό χώρο.

Οι Valavanides & Vatista (2006) μέτρησαν τη συγκέντρωση μάζας των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (διαμέτρου μικρότερης των 20 μm) στο κτήριο Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Σύμφωνα με τα πορίσματα της μελέτης η μέση συγκέντρωση που μετρήθηκε σε ερευνητικά εργαστήρια, στα οποία εργάζονταν 3 έως 5 άτομα κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου διαμορφώθηκε στα 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε γραφεία, βιβλιοθήκες και αίθουσες διδασκαλίας τα μέσα επίπεδα για το χειμώνα ανήλθαν στα 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε μεγαλύτερο εύρος μεγέθους σωματιδίων, επομένως είναι αναμενόμενο να κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα από τα κλάσματα που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία. Σημειώνεται ωστόσο ότι τα επίπεδα εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} (20 – 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) είναι συγκρίσιμα με τη μέση τιμή (34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) που μετρήθηκε για το εξωτερικό περιβάλλον του υπό μελέτη κτηρίου.

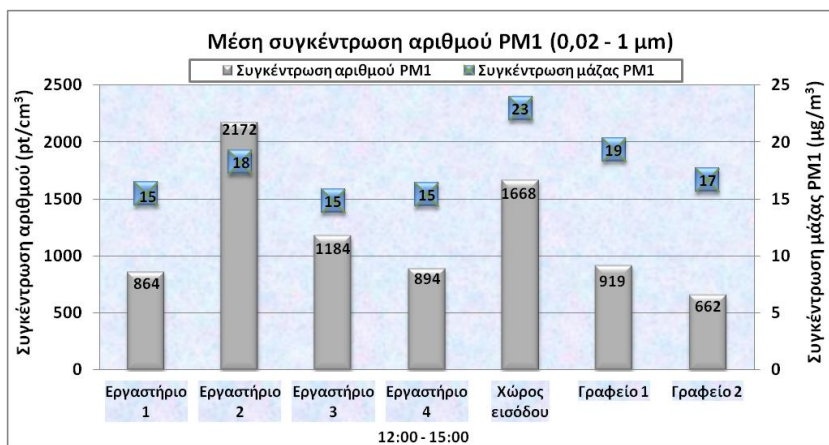
Οι Gemenetzis et al. (2006) μέτρησαν τη συγκέντρωση των PM_{10} και $PM_{2,5}$ στο κτήριο του τμήματος Χημείας του ΑΠΘ στη Θεσσαλονίκη. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε εργαστήρια, γραφεία και χώρους όπου υπήρχαν φωτοτυπικά μηχανήματα κατά την περίοδο θέρμανσης και αφορούσαν μόνο στις ώρες λειτουργίας των χώρων. Οι μέσες μετρηθείσες συγκεντρώσεις των $PM_{2,5}$ και PM_{10} ήταν 91 και 118 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα, τιμές αρκετά υψηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις αποδόθηκαν στον περιορισμένο εξαερισμό κατά τη χειμερινή περίοδο και στα υψηλά εξωτερικά επίπεδα. Η μέγιστη συγκέντρωση για τα PM_{10} , ωστόσο, κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα (370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) από τη μέγιστη τιμή που καταγράφηκε στο γραφείο 1 (541 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Επιπλέον, στα πλαίσια της μελέτης διαπιστώθηκε η καθοριστική επίδραση του καπνίσματος στην αύξηση της συγκέντρωσης.

Η ισχυρή επίδραση του καπνίσματος στη ρύπανση του εσωτερικού αέρα διαπιστώθηκε επίσης από τους Gaidajis a & Angelakoglou (2009), οι οποίοι διερεύνησαν τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2,5}$ και PM_{10}) σε 5 αίθουσες διδασκαλίας, ένα γραφείο και έναν κοινόχρηστο χώρο όπου συχνάζουν καπνιστές, στο Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο της Θράκης στην Ξάνθη. Η συγκεκριμένη μελέτη παρουσιάζει περισσότερες ομοιότητες με την παρούσα εργασία καθότι χρησιμοποιήθηκε το ίδιο φορητό όργανο (DustTrak Aerosol Monitor, Model 8520) για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ομοίως, και στη μελέτη αυτή προέκυψε μία πολύ ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ της μάζας PM_{10} και $PM_{2,5}$, ωστόσο οι τιμές συγκέντρωσης που καταγράφηκαν στους χώρους του κτηρίου ήταν γενικά υψηλότερες. Οι μέγιστες τιμές σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια καπνίσματος σε κοινόχρηστο χώρο ελεύθερης διέλευσης (1873 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 1260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $PM_{2,5}$ αντίστοιχα) και κατά τη διάρκεια εργασιών καθαριότητας σε χώρο γραφείου (1495 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 276 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $PM_{2,5}$ αντίστοιχα).

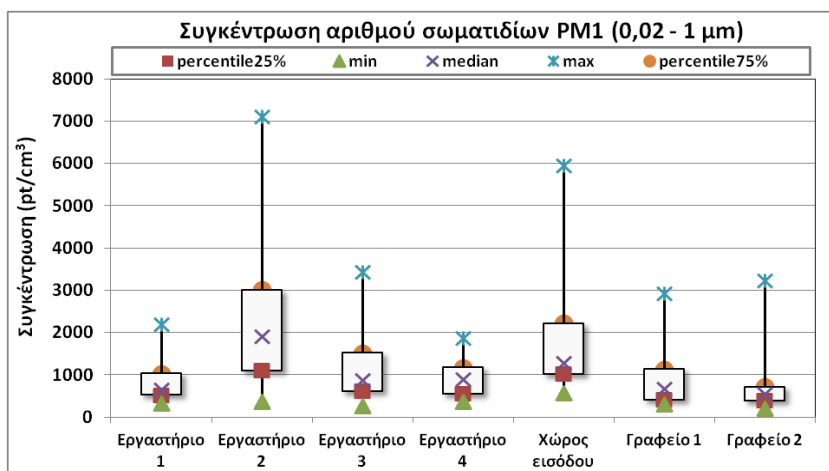
7.8.8.2 Συγκέντρωση αριθμού

Οι ταυτόχρονες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό μίας προσεγγιστικής τιμής του πλήθους των υπόμικρων σωματιδίων (0,02 – 1 μm) και της μάζας των σωματιδίων PM_1 έδειξαν ότι η ημερήσια διακύμανση ποικίλει από χώρο σε χώρο, έχοντας όμως πάντα μια στενή σχέση με τις δραστηριότητες των ατόμων που λαμβάνουν χώρα στον εκάστοτε εσωτερικό χώρο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Σχήμα 7.153), τα μέσα επίπεδα αριθμού σωματιδίων PM_1 ανά κυβικό εκατοστόμετρο ήταν στο εύρος από 662 pt/cm^3 (γραφείο 2) έως 2172 pt/cm^3 (εργαστήριο 2), ενώ το αντίστοιχο

εύρος διακύμανσης για τη συγκέντρωση μάζας ήταν από $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (εργαστήρια 1, 3 και 4) έως $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (χώρος εισόδου).



Σχήμα 7.153 Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης αριθμού υπόμικρων σωματιδίων (0,02 – 1 μm) και συγκέντρωσης μάζας PM₁ ανά εξεταζόμενο χώρο.



Σχήμα 7.154 Εύρος τιμών συγκέντρωσης αριθμού υπόμικρων σωματιδίων ανά εξεταζόμενο χώρο.

Στο γράφημα εύρους στιγμιαίων τιμών (Σχήμα 7.154) απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές που καταγράφηκαν στους εξεταζόμενους χώρους, οι οποίες φανερώνουν την ύπαρξη ενεργών διαδικασιών παραγωγής σωματιδίων εντός των χώρων. Συγκεκριμένα, η υψηλότερη τιμή που σημειώθηκε σε όλη την περίοδο δειγματοληψίας ($7127 \text{ pt}/\text{cm}^3$), η οποία αντιστοιχεί στο εργαστήριο 2, συμπίπτει με την εκτέλεση πειράματος με χρήση φλόγας, ενώ και η μέγιστη τιμή ($3430 \text{ pt}/\text{cm}^3$) στο εργαστήριο 3 συμπίπτει με τη διεξαγωγή διαδικασίας αποστείρωσης με φλόγα. Το γεγονός ότι οι διαδικασίες καύσης αποτελούν μία από τις κύριες εσωτερικές πηγές εκπομπής υπόμικρων σωματιδίων (Morawska and Zhang, 2002) και επηρεάζουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις τους επιβεβαιώνεται από τα επίπεδα που καταγράφονται στο χώρο της εισόδου κατά την παρουσία καπνιστών, τα οποία φτάνουν τα $5966 \text{ pt}/\text{cm}^3$. Αξιοσημείωτο είναι ότι στο συγκεκριμένο χώρο παρατηρείται και η

υψηλότερη μέση συγκέντρωση μάζας PM_{10} ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) συγκριτικά με τους υπόλοιπους χώρους. Ο καπνός του τσιγάρου συνεισφέρει σημαντικά στον αριθμό και τη μάζα των σωματιδίων PM_{10} καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό των σωματιδίων που εκπέμπονται από τον καπνό του τσιγάρου έχει διάμετρο μικρότερη από $2,5 \mu\text{m}$ (Nazaroff et al., 1993).

Σημαντική πηγή εκπομπής υπόμικρων σωματιδίων αποτέλεσε και η λειτουργία του εκτυπωτή laser στο εργαστήριο 4. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Salthammer et al. (2012), το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων που εκπέμπονται από τους εκτυπωτές είναι μεγέθους μικρότερου από 100 nm . Δεδομένου ότι ο αναλυτής P-Trak μετράει τη συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων σε ένα εύρος μεγέθους μεταξύ 20 nm και $1 \mu\text{m}$, γίνεται αντιληπτό ότι ένα ποσοστό των υπέρλεπτων σωματιδίων που παράγεται κατά την εκτύπωση δε μπορεί να καταμετρηθεί από το όργανο

Ομοίως με τα συμπεράσματα άλλων μελετών η συγκέντρωση υπόμικρων σωματιδίων δε βρέθηκε να συνδέεται με την παρουσία ατόμων, υποδεικνύοντας ότι πιθανή επαναιώρηση σωματιδίων λόγω της κινητικότητας των χρηστών των χώρων συμβαίνει για μεγαλύτερου μεγέθους ($> 1 \mu\text{m}$) σωματίδια (Luoma & Batterman, 2001; Abt et al., 2000; Long et al., 2000; Thatcher & Layton, 1995).

Δεδομένου ότι δε μετρήθηκαν ταυτόχρονα τα εξωτερικά επίπεδα, η σημαντική επίδραση που δέχεται ο χώρος από τις εξωτερικές συγκεντρώσεις διαπιστώθηκε από την άνοδο των τιμών κατά την ενεργοποίηση του συστήματος κλιματισμού. Ωστόσο, η αύξηση του ρυθμού αερισμού ταυτόχρονα συμβάλει στην απομάκρυνση των υπόμικρων σωματιδίων (Rim & Novoselac, 2010; Guo et al., 2008).

Τέλος, από το σύνολο των αποτελεσμάτων δεν προέκυψε κάποια σαφής γραμμική συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης μάζας και συγκέντρωσης αριθμού καθώς οι συντελεστές προσδιορισμού παρουσίασαν μεγάλη μεταβλητότητα ανά ημέρα και ανά χώρο. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι δε μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη διακύμανση της συγκέντρωσης είτε αριθμού είτε μάζας με βάση τη μέτρηση της άλλης. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε έναν αριθμό παραγόντων (αριθμό, είδος και ισχύς των εσωτερικών δραστηριοτήτων, εξωτερικά επίπεδα), ωστόσο ο πιο σημαντικός από αυτούς είναι ότι διαφορετικές πηγές συνεισφέρουν στην αύξηση του αριθμού και διαφορετικές στην αύξηση της μάζας, καθώς από κάθε εκπομπή εκπέμπονται διαφορετικού μεγέθους σωματίδια.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- ✚ Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις για την εκτίμηση της ποιότητας αέρα και εσωτερικού περιβάλλοντος σε χώρους του κτηρίου Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Για τη μελέτη της ποιότητας του αέρα πραγματοποιήθηκαν συνεχείς μετρήσεις δειγματοληψίας πραγματικού χρόνου της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων, τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον, όπως επίσης και του αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων. Παράλληλα με τις μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις των αέριων ρύπων: μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα, καθώς και του ραδονίου και ακτινοβολίας γ . Οι μετρήσεις σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στους χώρους του κτηρίου περιελάμβαναν καταγραφή της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα, στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτηρίου, καθώς και μέτρηση της φωτεινότητας. Από την επεξεργασία, ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:
- Η **θερμοκρασία** του αέρα κατά τη θερινή περίοδο κυμάνθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα ($\sim 26^{\circ}\text{C}$) στους κλιματιζόμενους χώρους σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2010, σε αντίθεση με τους μη κλιματιζόμενους. Το γεγονός αυτό κατέδειξε την επιτακτική ανάγκη της χρήσης κλιματισμού για την ψύξη του κτηρίου τους θερινούς μήνες, η οποία επιβάλλεται λόγω του μεγάλου όγκου ηλεκτρονικού εξοπλισμού στους χώρους και των υψηλών εξωτερικών θερμοκρασιών. Επίσης, σημαντικό ρόλο για τη διατήρηση ευνοϊκών επιπέδων φάνηκε να έχει ο νυχτερινός δροσισμός που υφίσταται σε ορισμένους από τους χώρους. Τη χειμερινή περίοδο, η υψηλή ρύθμιση θερμοκρασίας του συστήματος κλιματισμού είχε ως αποτέλεσμα οι χώροι να παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές από το συνιστώμενο σχετικό όριο (20°C).
- Η **σχετική υγρασία** του αέρα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ήταν υψηλότερη από την προτεινόμενη τιμή (45%) της TOTEE 20701-1/2010 στους κλιματιζόμενους χώρους λόγω της επίδρασης των υψηλών εξωτερικών επιπέδων, σε αντίθεση με τους μη κλιματιζόμενους που προσέγγιζαν τα επιθυμητά αποδεκτά επίπεδα. Η επίδραση του κλιματισμού διαπιστώθηκε ότι ήταν ευεργετική κατά τη χειμερινή περίοδο, καθώς συνέβαλε καθοριστικά στη ρύθμιση των επιπέδων σχετικής υγρασίας για την επίτευξη θερμικής άνεσης (35%).

- Οι πειραματικές μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα δεν ανταποκρίθηκαν στην αξιολόγηση των επικρατούσων συνθηκών από τους χρήστες των εξεταζόμενων χώρων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας με ερωτηματολόγιο. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στον υποκειμενικό χαρακτήρα της θερμικής άνεσης.
- Η **φωτεινότητα**, όπως αυτή προκύπτει υπό συνθήκες τεχνητού φωτισμού, κρίθηκε ικανοποιητική στους περισσότερους από τους εξεταζόμενους χώρους δεδομένου ότι προσέγγισε αρκετά τα συνιστώμενα επίπεδα (500 lx) που ορίζονται από την TOTEE 20701-1/2010. Διαπιστώθηκε επίσης ότι οι συνθήκες φυσικού φωτισμού δεν επαρκούν για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ποσότητας και ποιότητας φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου, με εξαίρεση το βιοκλιματικά σχεδιασμένο χώρο της εισόδου.
- Σχετικά με την ποιότητα εσωτερικού αέρα, οι μετρήσεις των χημικών παραμέτρων έδειξαν ότι η **συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα** στον αέρα όλων των εσωτερικών χώρων που μελετήθηκαν ήταν πολύ χαμηλές σε σχέση με τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή (5000 ppm) που ορίζει το Προεδρικό Διάταγμα Π.Δ. 90/1999 για το εργασιακό περιβάλλον, καθώς και τη σύσταση μέγιστης απόκλισης (700 ppm) μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης (~350 ppm) που προτείνεται από το πρότυπο ASHRAE 62.1-2007. Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι ο αερισμός στο χώρο είναι επαρκής και δεν υφίσταται πρόβλημα κακής ποιότητας εσωτερικού αέρα.
- Τα **επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα** ήταν σε όλους τους χώρους εξαιρετικά χαμηλά σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των διεθνών και εθνικών προδιαγραφών (9 ppm για 8 ώρες σύμφωνα με τους Π.Ο.Υ, ASHRAE και TOTEE 2425/86 και 50 ppm για το εργασιακό περιβάλλον σύμφωνα με το Π.Δ. 90/1999). Τα χαμηλά αυτά επίπεδα είναι αναμενόμενα λόγω της απουσίας εσωτερικών πηγών καύσης στους χώρους και της περιορισμένης εξωτερικής ρύπανσης από καυσαέρια αυτοκινήτων στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Χανίων.
- Η **συγκέντρωση ραδονίου** κυμάνθηκε σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια που προτείνουν οι οδηγίες και οι κανονισμοί ποιότητας εσωτερικού αέρα (200, 100 και 148 Bq/m³ σύμφωνα με τους Ε.Ε, Π.Ο.Υ και US EPA αντίστοιχα), καθώς επίσης και από το μέσο όρο (56 Bq/m³) που έχει υπολογιστεί για το νομό Χανίων (Nikolopoulos et al., 2002). Η χαμηλή συγκέντρωση αποδίδεται στην

χαμηλή πιθανόν ραδιενέργεια του περιβάλλοντος εδάφους και περιεκτικότητα των δομικών υλικών σε ράδιο.

- Η **ισοδύναμη δόση γ ακτινοβολίας** προερχόμενη από την φυσική ακτινοβολία του εδάφους ήταν σε όλους τους χώρους υψηλότερη από το μέσο όρο για την Ελλάδα από έκθεση σε εσωτερικούς χώρους (0,33 mSv/έτος) σύμφωνα με την έκθεση της UNSCEAR (2000). Ωστόσο, δεδομένου ότι η τιμή δόσης δεν υπερέβη σε κανέναν από τους χώρους το σχετικό όριο της ICRP για το γενικό πληθυσμό (1 mSv/έτος), τα επίπεδα γ ακτινοβολίας στο κτήριο κρίνονται ασφαλή και επομένως δεν προκύπτει λόγος ανησυχίας.
- Η **συγκέντρωση μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5}** κυμάνθηκε σε όλους τους χώρους σε αποδεκτά επίπεδα σε σχέση με τα ημερήσια όρια ποιότητας για τα ατμοσφαιρικά σωματίδια που ορίζουν η Ε.Ε. και ο Π.Ο.Υ (50 μg/m³ για τα PM₁₀ και 25 μg/m³ για τα PM_{2,5}), με εξαίρεση τον κοινόχρηστο χώρο της εισόδου, στον οποίο και καταγράφηκαν οι υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις λόγω της παρουσίας καπνιστών. Άλλες δραστηριότητες που είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των επιπέδων ήταν το καθάρισμα των χώρων και οι εργαστηριακές διαδικασίες.
- Γενικότερα διαπιστώθηκε ότι κατά τις ώρες χρήσης των χώρων η συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων παρουσιάζει αυξημένες τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές τις ώρες εκτός λειτουργίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παρουσία ατόμων και η δραστηριότητα αυτών αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα για την αύξηση των επιπέδων μάζας PM₁₀ λόγω επαναιώρησης της σκόνης που έχει εναποτεθεί στις διάφορες επιφάνειες και ότι τα PM_{2,5} και PM₁ επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις συγκεντρώσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος.
- Κατά την παρουσία ατόμων, η πραγματοποίηση δραστηριοτήτων είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του λόγου της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση (I/O) σε τιμές μεγαλύτερες της μονάδας. Στα χρονικά διαστήματα απουσίας ατόμων η εσωτερική συγκέντρωση ήταν συνήθως μικρότερη από την εξωτερική και ακολουθούσε τις μεταβολές της εξωτερικής συγκέντρωσης.
- Η διακύμανση της **συγκέντρωσης αριθμού υπόμικρων σωματιδίων** (0,02 – 1 μm) έδειξε ότι υπάρχει σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων υποβάθρου λόγω των εκπομπών από πηγές εσωτερικού χώρου. Οι μέγιστες τιμές καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια διαδικασιών

καύσης (εκτέλεση πειραμάτων με χρήση φλόγας, κάπνισμα) και της λειτουργίας ενός εκτυπωτή laser. Ωστόσο, η συγκέντρωση υπό μικρών σωματιδίων δε βρέθηκε να συνδέεται με την παρουσία ατόμων, υποδεικνύοντας ότι πιθανή επαναιώρηση σωματιδίων λόγω της κινητικότητας των χρηστών των χώρων συμβαίνει για μεγέθους μεγαλύτερου από 1μm.

- ✚ Ως μειονέκτημα της παρούσας μελέτης θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τη μικρή σχετικά χρονική διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων στον κάθε χώρο. Επιπλέον, η σημασία των αποτελεσμάτων είναι σε κάποιο βαθμό περιορισμένη καθώς η μελέτη ποιότητας αφορά σε ένα συγκεκριμένο κτήριο και συνεπώς τα συμπεράσματα δε μπορούν να γενικευτούν. Ως σημαντικότερο πλεονέκτημα θεωρούμε ότι ήταν η παροχή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την ανάλυση χρονοσειρών για την εκτίμηση των ελάχιστων και μέγιστων τιμών και το συσχετισμό των μετρούμενων παραμέτρων με τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα.

Με βάση λοιπόν την παρούσα διατριβή, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα για την κάλυψη και άλλων εποχών, καθώς και περισσότερων χώρων του κτηρίου. Συνίσταται επίσης οι μετρήσεις να διεξάγονται περιοδικά και σε τακτά χρονικά διαστήματα για να δώσουν περισσότερες πληροφορίες για τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα αέρα των εσωτερικών χώρων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελλοντική έρευνα παρουσιάζει η διεξαγωγή μετρήσεων επιπλέον ρύπων, όπως είναι οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs), τα σωματίδια βιολογικής προέλευσης (βιοαεροζόλ) κ.ά., καθώς επίσης και η στοιχειακή ανάλυση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων για τον προσδιορισμό του χημικού τους περιεχομένου.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abt, E., Suh, H. H., Allen, G., & Koutrakis, P., (2000a). Characterization of indoor particle sources: A study conducted in the metropolitan Boston area. *Environmental Health Perspectives*, 108, pp. 35–44.
- Abt, E., Suh, H. H., Catalano, P., & Koutrakis, P., (2000b). Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentrations. *Environmental Science & Technology*, 34, pp. 3579–3587.
- Afshari, A., Matson, U., Ekberg, L.E., (2005). Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber. *Indoor Air*, 15, pp. 141–150.
- Ahman, M, Lundin, A, Musabasic, V, Soderman, E., (2000). Improved Health After Intervention in a School with Moisture Problems. *Indoor Air*, 10, pp. 57-62.
- Almgren S., Isaksson M., Barregard L., (2008). Gamma radiation doses to people living in Western Sweden. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, pp. 394-403.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2004): ANSI/ASHRAE Standard 55. Thermal Environment Conditions for Human Occupancy; 2004.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2004): ANSI/ASHRAE 62-2004. Design for acceptable indoor air quality. Atlanta, USA.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (1999): Standard 62-1999. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, USA.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2001): ANSI/ASHRAE standard 62-2001, Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, USA.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2004): ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, USA.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (1989): Standard 62–89: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, USA.
- Anderson H.R., Bremner S.A., Atkinson R.W., Harrison R.M., Walters S., (2001). Particulate matter and daily mortality and hospital admissions in the West Midlands conurbation of the United Kingdom associations with fine and coarse particles, black smoke and sulphate. *Occupational Environmental Medicine*, 58, pp. 504–510.
- Anderson, P.J., Wilson, J.D., Hiller, F.C., (1989). Particle size distribution of mainstream tobacco and marijuana smoke. Analysis using the electrical aerosol analyzer. *American Review of Respiratory Disease*, 140, pp. 202–205.
- Apte MG, Fisk WJ, and Daisey JM, (2000). Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: An analysis of the 1994-1996 BASE study data. *Indoor Air*, 10, pp. 246-257.
- Arashidani, K., Yoshikawa, M., Kawamoto, T., Matsuno, K., Kayama, F., Kodama, Y., (1996). Indoor pollution from heating. *Industrial Health*, 34 (3), pp. 205-215.
- Asgharian, B., Price, O.T., (2007). Deposition of ultrafine (NANO) particles in the human lung. *Inhalation Toxicology*, 19, 1045.
- Bergman H., Edling C., Axelson O., (1986). Indoor radon daughter concentrations and passive smoking. *Environment International*, 12, (1–4), pp. 17–19.
- Berico, M., Luciani, A., Formignani, M., (1997). Atmospheric aerosol in urban areas: measurements of TSP and PM10 standards and pulmonary deposition assessments. *Atmospheric Environment*, 31, pp. 3659–3665.

- Billon, S., Morin, A., Caer, S., Baysson, H., Gambard, J.P., Backe, J.C., Rannou, A., Tirmarche, M., Laurier, D., (2005). French population exposure to radon, terrestrial gamma and cosmic rays. *Radiation Protection Dosimetry*, 113 (3), pp. 314-320.
- Bjørn Petter Jelle, (2012). Development of a model for radon concentration in indoor air. *Science of the Total Environment*, 416, pp.343–350.
- Blondeau, P., Lordache, V., Poupard, O., Genin, D., Allard, F., (2005). Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools. *Indoor Air*, 15, pp. 2–12.
- Bohicchio, F., Campos-Venuti, G., Piermattei, S., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, L., Torri, G., Magnoni, M., Agnesod, G., Sgorbati, G., Bonomi, M., Minach, L., Trotti, F., Malisan, M.R., Maggiolo, S., Gaidolfi, L., Giannardi, C., Rongoni, A., Lombardi, M., Cherubini, G., D'Ostilio, S., Cristofaro, C., Pugliese, M., Martucci, V., Crispino, A., Cuzzocrea, P., Sansone Santamaris, A., Cappai, M., (2005). Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all the Italian Regions. *Radiation Measurements*, 40, pp. 686-694.
- Bornehag C.G., Blomquist G., Gyntelberg F., Jarvholm B., Malmberg P., Nordvall L., (2001). Dampness in buildings and health. Nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposure to “dampness” in buildings and health effects (NORDDAMP). *Indoor Air*, 11, pp. 72–86.
- Bornehag C.G., Sundell J., Hagerhed-Engman L. and Sigsgaard T., (2005). Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. *Indoor Air*, 15, 4, pp. 275-280.
- Braniš Martin (2010). Personal Exposure Measurements - Chapter 4. In: Lazaridis, Mihalis; Colbeck, Ian (Eds.), *Human Exposure to Pollutants via Dermal Absorption and Inhalation*, 1st Edition., Environmental Pollution, Vol. 17, Springer Netherlands, pp. 97-141.
- Branis M., Rezacova P., Domasova M., (2005). The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom. *Environmental Research*, 99, pp. 143–149.
- Braniš M., Řezáčová P., Domasová M., (2005). The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom. *Environmental Research*, 99, pp. 143–149.
- Branis, M. (2006). The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system. *Atmospheric Environment*, 40(2), pp. 348–356.
- Brunekreef, B., Holgate, S.T., (2002). Air pollution and health. *Lancet*, 360, pp. 1233–1242.
- Buonanno G., Morawska L., Stabile L., Viola A. (2010). Exposure to particle number, surface area and PM concentrations in pizzerias. *Atmospheric Environment*, 44, pp. 3963-3969.
- Burge P.S., (2004). Sick building syndrome. *International Journal of Occupational Medicine & Environmental Health*, 61, pp. 185–90.
- Burnett, R. T., Cakmak, S., Brook, J. R., Krewski, D, (1997). The role of particulate size and chemistry in the association between summertime ambient air pollution and hospitalization for cardiorespiratory diseases. *Environmental Health Perspectives*, 105, pp. 614-620.
- Cain W.S., Schmidt R., Leaderer B.P., Gent J.F., Bell D., Berglund L.G., (2002). Emission of VOCs from materials used in buildings: analytical and sensory aspects. *ASHRAE Transactions*, 180, pp. 283–296.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Health effects of carbon dioxide gas. www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide/health_cd.html. Document last updated on December 23, 1997.
- Carrer P., Bruin Y.B., Franchi M., Valovirta E., (2002). The EFA project: indoor air quality in European schools. *Proceedings of Indoor Air*, 2, pp. 794–799.
- CEN (1998) ‘Air Quality. Determination of the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter.’ Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. Brussels, EN 12341:1998.

- CEN (2005) Ambient Air Quality – Reference gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2.5} mass fraction of suspended particulate matter in ambient air. EN 14907:2005.
- Chaloulakou A., Mavroidis I., Duci A., (2003). Indoor and outdoor carbon monoxide concentration relationships at different microenvironments in the Athens area. *Chemosphere*, 52, pp. 1007–1019.
- Chan Andy T., (2002). Indoor - outdoor relationships of particulate matter and nitrogen oxides under different outdoor meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 36, pp. 1543–1551.
- Chen L.C., Wu C.Y., Qu Q.S., (1995). Number concentration and mass concentration as determinants of biological response to inhaled irritant particles. *Inhal Toxicol*, 7, pp. 577–588.
- Chow W.K., Wong L.T., and Fung W. Y., (1996). Field Study on the Indoor Thermal Environment and Carbon Monoxide Levels in a Large Underground Car Park. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11, 3, pp. 333-343.
- Cleland V., Timperio A., Salmon J., Hume C., Baur L.A., Crawford D. (2009). Predictors of time spent outdoors among children: 5-year longitudinal findings. *Journal of Epidemiology & Community Health*, doi:10.1136/jech.2009.087460.
- Clouvas A, Xanthos S, Antonopoulos-Domis M., (2001). Extended survey of indoor and outdoor terrestrial gamma radiation in Greek urban areas by in situ gamma spectrometry with a portable Ge detector. *Radiation Protection Dosimetry*, 94(3), pp. 233-46.
- Clouvas A., Xanthos S., Takoudis G., (2011). Indoor radon levels in Greek schools. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, pp. 881-885.
- Clouvas, A., Takoudis, G., Xanthos, S., Potiriadis, C., Kolovou, M., (2009). Indoor radon measurements in areas of Northern Greece with relatively high indoor radon concentrations. *Radiation Protection Dosimetry* 136, pp. 127-131.
- Clouvas, A., Xanthos, S., Antonopoulos-Domis, M., (2007). Pilot study of indoor radon in Greek workplaces. *Radiation Protection Dosimetry*, 124, pp. 68-74.
- Cobb N, Etzel RA., (1991). Unintentional carbon monoxide-related deaths in the United States, 1979 through 1988. *Journal of the American Medical Association*, 266, pp.659-663.
- Cohen, B.S., Sussman, R.G., Lippman, M., (1990). Ultrafine particle deposition in a human tracheobronchial cast. *Aerosol Science and Technology*, 12, pp. 1082-1091.
- Colbeck Ian and Nasir Zaheer, (2010). Indoor Air Pollution - Chapter 2. In: Lazaridis, Mihalis; Colbeck, Ian (Eds.), Human Exposure to Pollutants via Dermal Absorption and Inhalation, 1st Edition., *Environmental Pollution*, Vol. 17, Springer Netherlands, pp. 41-72.
- Commission of the European Communities, Health Effect Assessment, (1992). COST 613/2 Report series on air pollution epidemiology, Report No 2, EUR 14346 EN.
- Commission of the European Communities. Council Directive 2008/50/EC on ambient air quality assessment and management. *Official J Eur Communities* 2008; L152/1.21.5.2008.
- Congrong He, Lidia Morawska, Dale Gilbert. Particle deposition rates in residential houses. *Atmospheric Environment* 39 (2005) 3891–3899.
- Congrong He, Lidia Morawska, Hao Wang, Rohan Jayaratne, Peter McGarry, Graham Richard Johnson, Thor Bostrom, Julien Gonthier, Stephane Authemayou, Godwin Ayoko (2010). Quantification of the relationship between fuser roller temperature and laser printer emissions. *Journal of Aerosol Science* 41 (2010) 523–530.
- Congrong He, Lidia Morawska, Jane Hitchins, Dale Gilbert. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 3405–3415.
- Cross F.T., Harley N.H., Hofmann W., (1985). Health effects and risks from ²²²Rn in drinking water. *Health Physics*, 48, pp. 649– 70.

- Daisey J.M., Angell W.J., Apte M.G. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air*, 3 (1), pp. 53–64.
- De Dear R, Brager G.S., (2001). The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. *International Journal of Biometeorology*, 45(2), pp. 100–8.
- De Dear R.J., Brager G.S., (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34, pp. 549–561.
- Dement J.M., Crome J.R. (1992). Cancer and reproductive risks among chemists and laboratory workers: A review. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 7, pp. 120-126.
- Dennekamp, M., Howarth, S., Dick, C.A.J., Cherrie, J.W., Donaldson, K., Seaton, A., (2001). Ultrafine particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking. *Occupational and Environmental Medicine* 58, pp. 511–516.
- Destailats H., Maddalena R.L., Brett C. Singer, Alfred T. Hodgson, Thomas E. McKone, (2008). Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs. *Atmospheric Environment*, 42 (7), pp. 1371-1388.
- Diapouli E., Chaloulakou A., Spyrellis N. (2007). Levels of ultrafine particles in different microenvironments - Implications to children exposure. *Science of the Total Environment*, 388, pp. 128–136.
- Djongyang N., Tchinda R., Njomo D., (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 2626–2640.
- Durrani, S.A., Ili R. (Eds.), 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors. World Scientific Publishing Co., Singapore.
- EC - Working Group on Guidance for the Demonstration of Equivalence (2010). Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods. (<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>)
- EC - working group on guidance for the demonstration on equivalence (2005). Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods. (http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/equivalence_report.pdf)
- EC - Working Group on Particulate Matter (2002). Guidance to member states on PM₁₀ monitoring and intercomparisons with the reference method. (<http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/finalwgreporten.pdf>)
- EC (European Commission), (1990). Council Directive 90/143/EC of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. Official J. Eur. Commun..
- EEC, (2002). The Sixth Community Environment Action Programme. 10.9.2002 L 242/1 Official Journal of the European Communities EN, The European Parliament and the Council of the European Union.
- EFA report ‘Indoor Air Pollution in Schools’ (2001). The Right to Breathe Healthy Indoor Air in Schools.
- ELSEC 764 ENVIRONMENTAL MONITOR USER MANUAL PRINTED 31-Aug-07.
- EN15251, (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings—addressing indoor air quality, thermal environment lighting and acoustics. Document for formal vote, European Committee for Standardisation Brussels.
- EPA (2000). Indoor Air Quality and Student Performance. United States Environmental Protection Agency, Indoor Environments Division, Office of Radiation and Indoor Air, EPA 402-F-00-009.
- EPA (2003). Assessment of risks from radon in homes. Air and Radiation, EPA 402-R-03-003.
- Erdmann C.A., Steiner K.C., Apte M.G., (2002). Indoor carbon dioxide concentrations and SBS symptoms in office buildings revisited analyses of the 100 building BASE study dataset. *Proceedings of Indoor Air*, 2, Conference, Monterey, CA, Santa Cruz, CA, pp. 443–448.

- European Concerted Action, (1988). Radon in Indoor Air. Cost Project 613, Report No 1.
- Eurostat, (2004). How Europeans Spend their Time. Everyday Life of Women and Men. Data 1998–2002. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities (ISBN 92-894-7235-9).
- Fang L., Clausen G. and Fanger P.O., (1999). Impact of temperature and humidity on chemical and sensory emissions from building materials. *Indoor Air*, 9, pp. 193-201.
- Fang, L., Clausen, G. and Fanger, P. O., (1998 β). Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures, *Indoor Air*, 8, 4, 276-284.
- Fang, L., Clausen, G. and Fanger, P.O., (1998 α). Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor Air*, 8, 2, 80-90.
- Fanger P.O., (2006). What is IAQ. *Indoor Air*, 16, pp. 328-334.
- Fanger P.O., Toftum J. and Jorgensen A.S., (1998a). Upper limits of indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin. *Energy and Buildings*, 28, 1, pp. 1-13.
- Fanger P.O., Toftum J. and Jorgensen A.S., (1998b). Upper limits of indoor air humidity for preventing warm respiratory discomfort. *Energy and Buildings*, 28, 1, pp. 15-23.
- Fantuzzi G., Aggazzotti G., Righi E., Cavazzuti L., Predieri G., Franceschelli A., (1996). Indoor air quality in the university libraries of Modena (Italy). *The Science of the Total Environment*, 193, pp. 49-56.
- Fine, P.M., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., (1999). Characterization of fine particle emissions from burning church candles. *Environmental Science and Technology*, 33, pp. 2352–2362.
- Fisk W.J., (2000). Review of health and productivity gains from better IEQ. *Healthy Buildings*, 4, pp. 22-34.
- Fromme H., Twardella D., Dietrich S., Heitmann D., Schierl R., Liebl B., (2007). Particulate matter in the indoor air of classrooms-exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment*, 41, pp. 854–66.
- Fromme H., Twardella D., Dietrich S., Heitmann D., Schierl R., Liebl B., Rden H., (2007). Particulate matter in the indoor air of classrooms - exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment*, 41 (4), pp. 854-866.
- Frontczak M., Wargocki P., (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, 46, pp. 922 – 937.
- Funasaka K., Miyazaki T., Tsuruho K., Tamura K., Mizuno T., Kuroda K., (2000). Relationship between indoor and outdoor carbonaceous particulates in roadside households. *Environmental Pollution*, 110, pp. 127-134.
- Gaidajis George & Angelakoglou, Komninos, (2009). Indoor air quality in university classrooms and relative environment in terms of mass concentrations of particulate matter. *Journal of Environmental Science and Health Part*, 44, pp.1227–1232.
- Galleli, G., Panatto, D., Lai, P., Orlando, P., Risso, D., (1998). Relevance of main factors affecting radon concentration in multi-storey buildings in Liguria (Northern Italy). *J. Environ. Radioact.* 39 (2), pp. 117-128.
- Gehin, E., Ramalho, O., & Kirchner, S. (2008). Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. *Atmospheric Environment*, 42, pp. 8341–8352.
- Gehrig, R., Hueglin, Ch., Schwarzenbach, B., Seitz, T., & Buchmann, B. (2005). A new method to link PM10 concentrations from automatic monitors to the manual gravimetric reference method according to EN12341. *Atmospheric Environment*, 39, pp. 2213–2223.
- Gemenetzi P., Moussas P., Arditoglou A., Samara C., (2006). Mass concentration and elemental composition of indoor PM2.5 and PM10 in University rooms in Thessaloniki, northern Greece. *Atmospheric Environment*, 40, pp. 3195–3206.

Gemini Data Loggers, Data Sheet. Issue 9 : 21st April 2011 (E&OE). www.tinytag.info

Gold, D.R., (1992). Indoor air pollution. *Clinics in Chest Medicine*, 13 (2), pp. 215-229.

Gorner, P., Bemer, D., Fabries, J.F., (1995). Photometer measurement of polydisperse aerosol. *J. Aerosol Sci.*, 26, pp.1281–1302.

Guo Hai & Morawska Lidia & He Congrong & Zhang Yanli L. & Ayoko Godwin & Cao Min, (2010). Characterization of particle number concentrations and PM_{2.5} in a school: influence of outdoor air pollution on indoor air. *Environmental Science and Pollution Research*, 17 (6), pp. 1268-1278.

Haghighat F. and de Bellis L., (1998). Material emission rates: literature review and the impact of indoor air temperature and relative humidity. *Building and Environment*, 33, 5, pp. 261-277.

Hámori K., Tóth E., Pál L., Köteles G., Losonci A., Minda M., (2006). Evaluation of indoor radon measurements in Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, 88 (2), pp. 189-198.

Hänninen Otto, Brüske-Hohlfeld Irene, Loh Miranda, Stoeger Tobias, Kreyling Wolfgang, Schmid Otmar, Peters Annette, (2010). Occupational and consumer risk estimates for nanoparticles emitted by laser printers. *Journal of Nanoparticle Research*, 12 (1), pp. 91-99.

Harrison, R.M., Yin, J., (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Science of the Total Environment*, 249, pp. 85–101.

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

He C., Morawska L., Taplin L., (2007). Particle emission characteristics of office printers. *Environ. Sci. Technol.*, 41:6039–6045.

He, C. R., Morawska, L. D., Hitchins, J., & Gilbert, D. (2004a). Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment*, 38, pp. 3405–3415.

Heidi, O., Gaarder, P.I., Johansen, B.V., (1997). Quantification and characterisation of suspended particulate matter in indoor air. *Science of the Total Environment*, 193, pp. 185–196.

Heudorf U., Neitzert V., Spark J., (2009). Particulate matter and carbon dioxide in classrooms – The impact of cleaning and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212, pp. 45–55.

Hinds, W.C., (1999). *Aerosol Technology. Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles* Second Edition., John Wiley & Sons Inc.

Hodgson M., (2002). Indoor environmental exposure and symptoms. *Environmental Health Perspectives*, 110, pp. 663–7.

Hoek G., Kos G., Harrison R., de Hartog J., Meliefste K., ten Brink H., Katsouyanni K., Karakatsani A., Lianou M., Kotronarou A., Kavouras I., Pekkanen J., Vallius M., Kulmala M., Puustinen A., Thomas S., Meddings C., Ayres J., van Wijnen J., Hameri K., (2008). Indoor–outdoor relationships of particle number and mass in four European cities. *Atmospheric Environment, Volume*, 42, pp. 156-169.

Hopke P.K., Borak T.B., Doull J., Cleaver J.E., Eckerman K.F., Gundersen L.C.S., (2000). Health risks due to radon in drinking water. *Environ. Sci. Technol.*, 34, pp. 921–6.

Hoppe P. and Martinac I., (1998), Indoor Climate and Air Quality, *International Journal of Biometeorology*, 42, pp. 1-7.

Hoppe P., (1988). Comfort Requirements in Indoor Climate, *Energy and Buildings*, 11, 1-3, pp. 249-257.

Horton, K.D., Ball, M.H.E., Mitchell, J.P., (1992). The calibration of a California measurements PC-2 Quartz Crystal cascade impactor (QCM). *Journal of Aerosol Science*, 23 (5), pp. 505–524.

Hoskins, J.A., (1999). Carbon monoxide: The unnoticed poison of the 21st century. *Indoor and Built Environment*, 8 (6), 154–155.

- Huber G. Wanner H.W., (1983). Indoor air quality and minimum ventilation rate. *Environment International*, 9, pp. 153-156.
- Hussein, T., Glytsos, T., Ondracek, J., Dohanyosova, P., Zdimal, V., Hameri, K., Lazaridis, M., Smolik, J., Kulmala, M., (2006). Particle Size Characterization and Emission Rates during Indoor Activities in a House. *Atmospheric Environment*, 40, pp. 4285-4307.
- IAEA- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, (1996). Basic Safety Standard. International Basic Safety Standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Safety series No. 115, Vienna, 1996.
- ICRP, (1991). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
- ICRP, (1992). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 65, Pergamon Press UK.
- ISO 7730, (2005). Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, International Standards Organisation. Geneva.
- Ioannides, K.G., Stamoulis, K.C., Papachristodoulou, C.A., (2000). A survey of ^{222}Rn concentrations in dwellings of the town of Metsovo in North-Western Greece. *Health Physics*, 79, pp. 697-702.
- Janko M, Gould D.C, Vance L, Stengel CC, Flack J., (1995). Dust mite allergens in the office environment. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56 pp. 1133-40.
- Janssen, N.A., Hoek, G., Brunekreef, B., Harssema, H., Mensink, I., Zuidhof, A., (1998). Personal sampling of particles in adults: relation among personal, indoor, and outdoor air concentrations. *American Journal of Epidemiology*, 147 (6), pp. 537-547.
- Janssen, N.A.H., Hoek, G., Harssema, H., Brunekreef, B., (1997). Childhood exposure to PM10: relation between personal, classroom and outdoor concentrations. *Occupational and Environmental Medicine*, 54, pp. 888-894.
- Jantunen, M.J., Hänninen, O., Katsouyanni, K., Knöppel, H., Künzli, N., Lebret, E., Maroni, M., Saarela, K., Srám, R., Zmirou, D., (1999). Air pollution exposure in European cities: the "EXPOLIS" study. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 8, pp. 495-518.
- Jaques P.A., Kim C.S, (2000). Measurement of total lung deposition of inhaled ultrafine particles in healthy men and women. *Inhalation Toxicology*, 12, pp. 715-31.
- Jenkins, P.L., Phillips, T.J., Mulberg, J.M., Hui, S.P., (1992). Activity patterns of Californians: use of and proximity to indoor pollutant sources. *Atmospheric Environment*, 26A, pp. 2141-2148.
- Jenkins, R. A., Ilgner, R. H., & Tomkins, B. A. (2004). Development and application of protocols for the determination of response of real-time particle monitors to common indoor aerosols. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54, pp. 229-241.
- Jones A.P., (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 4535- 4564.
- Ju-Myon Park, James C. Rock, Lingjuan Wang, Yong-Chil Seo, Amit Bhatnagar, Seongheon Kim (2009). Performance evaluation of six different aerosol samplers in a particulate matter generation chamber. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 280-289.
- Kagi N., Fujii S., Horiba Y., Namiki N., Ohtani Y., Emi H., Tamura H., Shik Kim Y., (2007). Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers. *Building and Environment*, 42 (5), pp. 1949-1954.
- Kaiser, J., (2000). Evidence mounts that tiny particles can kill. *Science*, 289, pp. 22-23.

- Khan, A.J., (2000). A study of indoor radon levels in Indian dwellings, influencing factors and lung cancer risks. *Radiation Measurements*, 32, pp. 87-92.
- Koivisto A.J., Hussein T., Niemelä R., Tuomi T., Hämeri K., (2010). Impact of particle emissions of new laser printers on modeled office room. *Atmospheric Environment*, 44 (17), pp. 2140-2146.
- Kopanakis I., Eleftheriadis K., Mihalopoulos N., Lydakis-Simantiris N., Katsivela E., Pentari D., Zampas P., Lazaridis M., (2012). Physico-chemical characteristics of particulate matter in the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Research*, pp. 93-107.
- Koponen I.K., Asmi A., Keronen P., Puhto K., Kulmala M. (2001), Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999 - the effect of outdoor air pollution on indoor air. *Atmospheric Environment*, 35, pp. 1465-1477.
- Kosonen, R. and Tan, F., (2004). Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index. *Energy and Buildings*, 36, pp. 987–993.
- Kreuzig, R., Bahadir, M., Wang, L., Morawska, L., (2009). Comparison of ultrafine particle release from hardcopy devices in emission test chambers and office rooms. *Gefahrstoffe e Reinhaltung der Luft*, 69, pp. 71-76.
- Kritidis, P., Kamenopoulou, V., Kallithrakas-Kontos, N., (1994). Indoor radon concentrations in Athens determined with an optimized etched track detector technique. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 55, pp. 149-152.
- Lan, L. and Lian, Z.W., (2009b). Use of neurobehavioral tests to evaluate the effects of indoor environment quality on Productivity. *Build. Environ.*, 44, pp. 2208– 2217.
- Lan, L., Lian, Z.W., Pan, L. and Ye, Q., (2009a). Neurobehavioral approach for evaluation of office workers productivity: the effects of room temperature. *Build. Environ.*, 44, pp. 1578–1588.
- Langroo, M.K., Wise, K.N., Duggleby, J.C., Kotler, L.H., (1991). A nation wide survey of ^{222}Rn and γ -radiation levels in Australian homes. *Health Physics*, 61, pp. 753-761.
- Lazaridis M, Aleksandropoulou V., Hanssen J.E., Dye C., Eleftheriadis K. & Katsivela E. (2008). Inorganic and Carbonaceous Components in Indoor/Outdoor Particulate Matter in Two Residential Houses in Oslo, Norway. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58 (3), pp. 346-356.
- Lazaridis M. and Colbeck I., (2010). Environmental Levels - Chapter 1. In: Lazaridis, Mihalis; Colbeck, Ian (Eds.), Human Exposure to Pollutants via Dermal Absorption and Inhalation, 1st Edition., *Environmental Pollution*, Vol. 17, Springer Netherlands, pp. 1-39.
- Lazaridis, M., Dzumbova, L., Kopanakis, I., Ondracek, J., Glytsos, T., Aleksandropoulou, V. Voulgarakis, A., Katsivela, E., Mihalopoulos, N., Eleftheriadis, K., (2008). PM10 and PM2.5 levels in the Eastern Mediterranean (Akrotiri Research Station, Crete, Greece). *Water Air Soil Pollut.* 189, pp. 85–101.
- Lee Chia-Wei, Hsu Der-Jen. Measurements of fine and ultrafine particles formation in photocopy centers in Taiwan. *Atmospheric Environment* 41 (2007) 6598–6609.
- Lee M.C., Mui K.W., Wong L.T., Chan W.Y., Lee E.W.M., Cheung C.T.. (2012). Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. *Building and Environment*, 49, pp.238-244.
- Lee Thomas K.C., Yu K.N., (2000). Effects of air conditioning, dehumidification and natural ventilation on indoor concentrations of ^{222}Rn and ^{220}Rn . *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, pp. 189-199.
- Lee, S.C., Chang, M., 1999. Indoor air quality investigation at five classrooms. *Indoor Air Int. J. Indoor Air Qual. Clim.* 9, 134–138.
- Leickly F.E., (2003). Children, their school environment, and asthma. *Annals of Allergy, Asthma, & Immunology*, 90, pp. 3–5.

- Leung TF, Lam CW, Chan IH, Li AM, Ha G, Tang NL, (2002). Inhalant allergens as risk factors for the development and severity of mild-to-moderate asthma in Hong Kong Chinese children. *Journal of Asthma*, 39, pp. 323-30.
- LHEA: London Health Education Authority, (1997). What People Think About Air Pollution, Their Health in General, and Asthma in Particular. Health Education Authority, London.
- Liddament M., (1996), A Guide to Energy Efficient Ventilation. AIVC, Air Infiltration Ventilation Centre.
- Lioy, P.J., Wainman, T., Zhang, J.J., (1999). Typical household vacuum cleaners: the collection efficiency and emissions characteristics for fine particles. *Journal of Air Waste Management Association*, 49, pp. 200–206.
- Litvak A, Gadgil A.J., Fisk W.J., (2000). Hygroscopic fine mode particle deposition on electronic circuits and resulting degradation of circuit performance: an experimental study. *Indoor Air*, 10, pp. 47–56.
- Long, C. M., Suh, H. H., & Koutrakis, P. (2000). Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, pp. 1236–1250.
- L'Orange C., Volckens J., DeFoort M., (2012). Influence of stove type and cooking pot temperature on particulate matter emissions from biomass cook stoves. *Energy for Sustainable Development*, 16 (4), pp.448-455.
- Luoma, M., Batterman, A., (2001). Characterization of particulate emissions from occupant activities in offices. *Indoor Air*, 11, pp. 35–48.
- Marcinowski, F., Lucas, R.M., Yeager, W.M., (1994). National and regional distribution of airborne radon concentrations in U.S. homes. *Health Physics*. 66, pp. 699-706.
- Mark, D., Riain, C.N., Mutimer, K., Byrne, M., Green D., (1999). A comparison of outdoor and indoor levels of airborne particles and carbon monoxide at two sites on Marylebone Road, London. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Urban Air Quality, Institute of Physics, 3–5 March, Madrid, Spain. Paper EX1.5, pp. 154–155.
- Marsik Tom, Johnson Ron, (2008). HVAC air-quality model and its use to test a PM2.5 control strategy. *Building and Environment*, 43, pp. 1850–1857.
- McGarry, P., Morawska, L., He, C., Jayaratne, R., Falk, M., Tran, Q., Wang, H., (2011). Exposure to particles from laser printers operating within office workplaces. *Environmental Science & Technology* 45, 6444-6452.
- Mendell M.J., Heath G.A., (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature, *Indoor Air*, 5 (1), pp. 27–52.
- Mendell, M.J. and Mirer, A.G., (2009). Indoor thermal factors and symptoms in office workers: findings from the US EPA BASE study. *Indoor Air*, 19, pp. 291–302.
- Mendell, M.J., Fisk, W.J., Petersen, M.R., Hines, C.J., Dong, M., Faulkner, D., Dedens, J.A., Ruder, A.M., Sullivan, D. and Boeniger, M.F., (2002). Indoor particles and symptoms among office workers: results from a double-blind cross-over study. *Epidemiology*, 13, pp. 296–304.
- Miguel A.F., Reis A.H., Aydin M., (2004). Aerosol particle deposition and distribution in bifurcating ventilation ducts. *Journal of Hazardous Materials*, 116, pp. 249–55.
- Miller, S.L., Nazaroff, W.W., (2001). Environmental tobacco smoke particles in multizone indoor environments. *Atmospheric Environment*, 35, pp. 2053–2067.
- Mjones, L., (1986). Gamma-radiation in Swedish dwellings. *Radiation Protection Dosimetry*, 15 (2), pp. 131-140.

- Monn, C., (2001). Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, NO₂, and O₃. *Atmospheric Environment*, 35, 1–32.
- Monn, C., Fuchs, A., Hogger, D., Junker, M., Kogelschatz, D., Roth, N., Wanner, H. U., (1997). Particulate matter less than 10 µm (PM₁₀) and fine particles less than 2.5 µm (PM_{2.5}): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations. *Sci. Total Environ.* 208, pp. 15–21.
- Monn, Ch., Fuchs, A., Kogelschatz, D., Wanner, H.-U., (1995). Comparison of indoor and outdoor concentrations of PM-10 and PM-2.5. *Journal of Aerosol Science*, 26, pp. 515-516.
- Morawska L., He C., Graham J., Guo H., Uhde E. and Godwin A., (2009b). Ultrafine Particles in Indoor Air of a School: Possible Role of Secondary Organic Aerosols. *Environ. Sci. Technol.*, 43, pp. 9103–9109.
- Morawska L., He C., Hitchins J., Gilbert D., Parappukkaran S., (2001). The relationship between indoor and outdoor airborne particles in the residential environment. *Atmospheric Environment* 35, pp. 3463-3473.
- Morawska L., He C., Johnson G., Jayaratne R., Salthammer T., Wang H., Uhde E., Bostrom T., Modini R., Ayoko G., McGarry P., Wensing P., (2009a). An investigation into the characteristics and formation mechanisms of particles originating from the operation of laser printers. *Environ Sci Technol*, 43(4), pp. 1015–1022.
- Morawska, L. and Zhang, J. (2002). Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures. *Chemosphere* 49(9), pp. 1045-1058.
- Morawska, L., He, C., Hitchins, J., Mengersen, K., Gilbert, D., 2003. Characteristics of particle number and mass concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. *Atmospheric Environment* 37, 4195–4203.
- Morawska, L., Jamriska, M., Bofinger, N.D., (1997). Size characteristics and ageing of the environmental tobacco smoke. *Science of the Total Environment*, 196, pp. 43–55.
- Morawska, Lidia and Jamriska, Milan and Jayaratne, Rohan and Cao, Min and Summerville, S (2009a). Variation in indoor particle number and PM_{2.5} concentrations in a radio station surrounded by busy roads before and after an upgrade of the HVAC system. *Building and Environment*, 44(1), pp. 76-84.
- Moriske, H.J., Drews, M., Ebert, G., Menk, G., Scheller, C., Schondube, M., Konieczny, L., (1996). Indoor air pollution by different heating systems: coal burning, open fireplace and central heating. *Toxicology Letters*, 88 (1-3), pp. 349-354.
- National Academy of Sciences, Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI), (1998). Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI, National Academy Press, Washington, USA.
- Nelin, T.D., Joseph, A.M., Gorr, M.W., Wold, L.E., (2012). Direct and indirect effects of particulate matter on the cardiovascular system. *Toxicology Letters*, 208, pp. 293–299.
- Neuberger, M., Schimekc, M.G., Horak, F. Jr, Moshhammerb, H., Kundib, M., Frischerd, T., Gomisceka, B., Puxbauma, H., Hauck, H. and AUPHEP-Team (2004). Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions: epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP), *Atmos. Environ.*, 38, pp. 3971–3981.
- Nikolopoulos, D., Louizi, A., Koukoulou, V., Serefoglou, A., Georgiou, E., Ntalles, K., Proukakis, C., (2002). Radon survey in Greece-risk assessment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 63, pp. 173-186.
- Norbäck, D, Torgen, M, Edling, C. (1990). Volatile organic compounds, respirable dust and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools. *British Journal of Industrial Medicine*, 47, pp. 733-741.
- Oberdorster, G., (1995). Lung particle overload: implications for occupational exposures to particles. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 21 (1), pp. 123-135.
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J., (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113, 823-839.

- Olesen B.W., (2007). The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. *Energy and Buildings*, 39, 7, pp. 740-749.
- Olesen Bjarne W. and Seelen Julie (1993). Criteria for a comfortable indoor environment in buildings. *Journal of Thermal Biology*, 18, 5/6, pp. 545-549.
- Ooi P.L., Goh K.T., Heng B.H., Toh Y.H., (1994). Epidemiological investigations into an outbreak of building-associated illness in Singapore. *Asia-Pacific. Journal of Public Health*, 7 (4), pp. 201–205.
- Ormstad H., (2000). Suspended particulate matter in indoor air: adjuvants and allergen carriers. *Toxicology*, 152, pp. 53-68.
- Ostro, B., Chestnut, L., (1998). Assessing the health benefits of reducing particulate matter air pollution in the United States. *Environmental Research*, 76 (2), pp. 94-106.
- Owen, M.K., Ensor, D.S., Sparks, L.E., (1992). Airborne particle sizes and sources found in indoor air. *Atmospheric Environment*, 26, pp. 2149–2162.
- Paoletti, L., De Berardis, B., Arrizza, L., Granato, V., (2006). Influence of tobacco smoke on indoor PM10 particulate matter characteristics. *Atmospheric Environment*, 40, pp. 3269–3280.
- Papachristodoulou C.A., Patiris D.L., Ioannides K.G., (2010). Exposure to indoor radon and natural gamma radiation in public workplaces in north-western Greece. *Radiation Measurements*, 45, pp. 865-871.
- Papaefthymiou, H., Georgiou, C.D., (2007). Indoor radon levels in primary schools of Patras, Greece. *Radiation Protection Dosimetry*, 124, pp. 172-176.
- Papaefthymiou, H., Mavroudis, A., Kritidis, P., (2003). Indoor radon levels and influencing factors in houses of Patras, Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 66, pp. 247-260.
- Papastefanou, C., Stoulos, S., Manolopoulou, M., Ioannidou, A., Charalambous, S., (1994). Indoor radon concentrations in Greek apartment dwellings. *Health Physics*, 66, pp. 270-273.
- Park Ju-Myon, Rock James C., Wang Lingjuan, Seo Yong-Chil, Bhatnagar Amit, Kim Seongheon, (2009). Performance evaluation of six different aerosol samplers in a particulate matter generation chamber. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 280–289.
- Paul T., Sree D., Aglan H. (2010). Effect of mechanically induced ventilation on the indoor air quality of building envelopes. *Energy and Buildings*, 42, pp. 326–332.
- Paul T., Sree D., Aglan H., (2010). Effect of mechanically induced ventilation on the indoor air quality of building envelopes. *Energy and Buildings*, 42, pp. 326–332.
- Penttinen P., Timonen K.L., Tiittanen P., Mirme A., Ruuskanen J., Pekkanen J., (2001). Number concentration and size of particles in urban air: effects on spirometric lung function in adult asthmatic subjects. *Environmental Health Perspectives*, 109(4), pp. 319–323.
- Polichetti Giuliano, Cocco Stefania, Spinali Alessandra, Trimarco Valentina, Nunziata Alfredo. Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system – Review. *Toxicology*, 261, pp.1–8.
- Pope C., Hill R. and Villegas G. (1999). Particulate air pollution and daily mortality on Utah’s Wasatch Front. *Environmental Health Perspectives*, 107, pp. 567 – 573.
- Pope C.A., Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., Heath C.W., (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151, pp. 669–674. pp. 74-80.
- Quackenboss, J.J., Lebowitz, M.D., Crutchfield, C.D., (1989). Indoor-outdoor relationships for particulate matter: exposure classifications and health effects. *Environmental International*, 15, 353-360.
- Radford E.P., (1985). Potential Health Effects of Indoor Radon Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 62, pp. 281-287.

- Ramachandran, G., Adgate, J. L., Pratt, G. C., & Sexton, K. (2003). Characterizing indoor and outdoor 15 minute average PM_{2.5} concentrations in urban neighborhoods. *Aerosol Science and Technology*, 37, pp. 33–45.
- Ramachandran, G., Adgate, J.L., Hill, N., Sexton, K., (2000). Comparison of short term variation (15-minute averages) in outdoor and indoor PM_{2.5} concentrations. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 50, pp. 1157–1166.
- Ramola, R.C., Kandari, M.S., Rawat, R.B.S., Ramachandran, T.V., Choubey, V.M., (1998). A study of seasonal variations of radon levels in different types of houses. *Journal of Environmental Radioactivity*, 39 (1), pp. 1-7.
- Raub James A., Mathieu-Nolf Monique, Hampson Neil B., Thom Stephen R., (2000). Carbon monoxide poisoning — a public health perspective. *Toxicology*, 145, pp. 1–14.
- Raunemaa, T., Kulmala, M., Saari, H., Olin, M., Kulmala, M.H., (1989). Indoor air aerosol model: transport indoors and deposition of fine and coarse particles. *Aerosol Science and Technology* 11, pp. 11–25.
- Reinikainen L.M., Jaakkola J.J.K., (2003). Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air*, 13, pp. 332–43.
- Reinikainen L.M., Jaakkola J.J.K., Seppänen O., (1992). The effect of air humidification on symptoms and perception of indoor air quality in office workers: a six-period cross-over trial. *Arch. Environ. Health*, 47, pp. 8–15.
- Riley, W.J., Robinson, A.L., Gadgil, A.J., Nazaroff, W.W., (1999). Effects of variable wind speed and direction on radon transport from soil into buildings: model development and exploratory results. *Atmospheric Environment*, 33 (14), pp. 2157-2168.
- Rim D. & Novoselac A., (2010). Ventilation effectiveness as an indicator of occupant exposure to particles from indoor sources. *Building and Environment*, 45, pp. 1214-1224.
- Lee, S.C., Chang, M., (1999). Indoor air quality investigation at five classrooms. *Indoor Air Int. J. Indoor Air Qual. Clim.* 9, pp. 134–138.
- Robinson, J., Nelson, W.C., (1995). National Human Activity Pattern Survey Data Base. United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- Rodes C.E., Kamens R.M. & Wiener R.W. (1991). The significance and characteristics of the personal activity cloud on exposure assessment measurements for indoor contaminants. *Indoor Air*, 1, pp. 123–145.
- Rydock J.P, A Næss-Rolstad, Brunzell J.T, (2001). Diurnal variations in radon concentrations in a school and office: implications for determining radon exposure in day-use buildings. *Atmospheric Environment*, 35, pp. 2921-2926.
- Sahlberg, B, Smedje, G, Norbäck, D. (2002). Sick building syndrome (SBS) among school employees in the county of Uppsala, Sweden. In: *Proceedings of Indoor Air 2002*, Vol. 3, pp. 494-99.
- Saito, K., Sakamoto, R., Nagaoka, T., Tsutsumi, M., Moriuchi, S., (1997). Measurements of gamma dose rates in dwellings in the Tokyo metropolitan area. *Radiation Protection Dosimetry*, 69 (1), pp. 61-67.
- Sakellariou, K., Angelopoulos, A., Sakelliou, L., Sandilos, P., Sotiriou, D., Proukakis, Ch, (1995). Indoor gamma radiation measurements in Greece. *Radiation Protection Dosimetry*, 60, pp. 177-180.
- Salminen, K., & Karlsson, V. (2003). Comparability of low volume PM₁₀ sampler with β -attenuation monitor in background air. *Atmospheric Environment*, 37, pp. 3707–3712.
- Salthammer T., Fuhrmann F., Kaufhold S., Meyer B., Schwarz A., (1995). Effects of climatic parameters on formaldehyde concentrations in indoor air. *Indoor Air*, 5, pp.120–8.
- Salthammer T., Schripp T., Uhde E., Wensing M., (2012). Aerosols generated by hardcopy devices and other electrical appliances. *Environmental Pollution*, 169, pp. 167-174.
- Salthammer, T., (2011). Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values. *Chemosphere*, 82, pp. 1507–1517.

Santamouris M, Synnefa A., Assimakopoulos M., Livada I., Pavlou K, Papaglastra M., Gaitani N., Kolokotsa D., Assimakopoulos V., (2008). Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Buildings*, 40, pp. 1833–1843.

SARAD, ELECTRONIC RADON DOSIMETER DOSEman-PRO User manual 01/2003.

Sarrou, I., Pashalidis, I., (2003). Radon levels in Cyprus. *Journal of Environmental Radioactivity*, 68, pp. 269-277.

Schellen L., Loomans M.G.L.C, Kingma B.R.M., de Wit M.H., Frijns A.J.H., van Marken Lichtenbelt W.D., (2013). The use of a thermophysiological model in the built environment to predict thermal sensation. Coupling with the indoor environment and thermal sensation. *Building and Environment*, 59, pp. 10-22.

Schlesinger, R.B. (1995) Toxicological evidence for health effects from inhaled particulate pollution: does it support the human experience?, *Inhalation Toxicology*, 7, pp. 99– 109.

Schlesinger, R.B., (1995). Toxicological evidence for health effects from inhaled particulate pollution: does it support the human experience?, *Inhal. Toxicol.*, 7, 99 - 109.

Schripp, T., Wensing, M., Uhde, E., Salthammer, T., He, C., Morawska, L., (2008). Evaluation of ultrafine particle emissions from laser printers using emission test chambers. *Environmental Science & Technology*, 42, pp. 4338-4343.

Schwartz, J. (1994) What are people dying of on air pollution days? *Fundamental and Applied Toxicology*, 64, pp. 26–35.

Schweizer, Ch, Edwards, R.D., Bayer-Oglesby, L., Gauderman, W.J., Ilacqua, V., Jantunen, M.J., Laie, H.K., Nieuwenhuijsen, M., Künzli, N., (2007). Indoor time microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 17, pp. 170-181.

Schwela Dieter , Kotzias Dimitrios, (2005). Pollution, Air Indoor. *Encyclopedia of Toxicology (Second Edition)*, pp. 475-489.

Schwella D., Morawska L., Kotzias D. (2002). Guidelines for concentration and exposure-response measurement of fine and ultrafine particulate matter for use in epidemiological studies. European Communities, World Health Organization.

Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., (2006). Atmospheric Chemistry and Physics, 2nd edition. Wiley-Interscience, New York.

Seppanen O., Fisk W.J. and Lei Q.H., (2006). Ventilation and performance in office work, *Indoor Air*, 16, 28-36.

Seppanen O.A. and Fisk W.J., (2004). Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air*, 14, Suppl 7, pp. 102-118.

Seppänen OA, Fisk WJ, and Mendell MJ. (1999). Association of ventilation rates and CO2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9, 226-252.

Shendell, D.G., Prill, R., Fisk, W.J., Apte, M.G., Blake, D., Faulkner, D., (2004). Associations between classroom CO2 concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air*, 14, 333–341.

Siegmann, K., Sattler, K., (1996). Aerosol from hot cooking oil, a possible health hazard. *Journal of Aerosol Science*, 27, pp. 493–494.

Simoni M, Carrozzi L, Baldacci S, Scognamiglio A, Di Pede F, Sapigni T, (2002). The Po River Delta (north Italy) indoor epidemiological study: effects of pollutant exposure on acute respiratory symptoms and respiratory function in adults. *Arch Environ Health*, 57, pp. 130-6.

- Siskos, P.A., Bouba, K.E., Stroubou, A.P., (2001). Determination of selected pollutants and measurement of physical parameters for the evaluation of indoor air quality in school buildings in Athens, Greece. *Indoor Built Environ.*, 10 (3-4), pp. 185-192.
- Sivakumar, R., Selvasekarapandian, S., Mugunthamanikandan, N., Raghunath, V.M., (2002). Indoor gamma dose measurements in Gudalore (India) using TLD. *Applied Radiation and Isotopes*, 56 (6), pp. 883-889.
- Slezakova K., Pereira M.C., Alvim-Ferraz M.C., (2009). Influence of tobacco smoke on the elemental composition of indoor particles of different sizes. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 486-493.
- Smedje, G., Norback, D., Edling, C., (1997). Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure. *Indoor Air*, 7 (2), 143-150.
- Smolik, J., Dohányosová, P., Schwarz, J., Ždímal, V., Lazaridis, M., (2008). Characterization of Indoor and Outdoor Aerosols in a Suburban Area of Prague. *Water Air & Soil Pollution: Focus*, 8, pp. 35-47.
- Spengler, J.D., Dockery, D.W., Turner, W.A., Wolfson, J.M., Ferris Jr., B.G., (1981). Long-term measurements of respirable sulfates and particles inside and outside homes. *Atmospheric Environment*, 15, pp. 23-30.
- Sundal, A.V., Strand, T., (2004). Indoor gamma radiation and radon concentrations in a Norwegian carbonatite area. *Journal of Environmental Radioactivity*, 77 (2), pp. 175-189.
- Sundal, A.V., Strand, T., (2004). Indoor gamma radiation and radon concentrations in a Norwegian carbonatite area. *Journal of Environmental Radioactivity*, 77 (2), pp. 175-189.
- Sundell J., (1982). Guidelines for Nordic building regulations regarding indoor air quality. *Environment International Volume*, 8 (1-6), pp. 17-20.
- Sundell J., Lindvall T., (1993). Indoor air humidity and the sensation of dryness as risk indicators of SBS. *Indoor Air*, 3, pp. 382-90.
- Syazwan A.I., Juliana J., Norhafizalina O., Azman Z.A., Kamaruzaman J., (2009). Indoor air quality and sick building syndrome in Malaysian buildings. *Global Journal of Health Science*, 1 (2), pp. 126-135.
- Szymanski Wladyslaw W., Nagy Attila, Czitrovszky Aladar, (2009). Optical particle spectrometry — Problems and prospects. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 110, 918-929.
- Takahashi, K., Minoura, H., Sakamoto, K., (2008). Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter. *Atmos. Environ.*, 42, pp. 5232-5240.
- Tanabe, S. and Nishihara, N., (2004). Productivity and fatigue, *Indoor Air*, 14(Suppl 7), pp. 126-133.
- Thatcher, T.L., Layton, D.W., (1995). Deposition, re-suspension and penetration of particles within a residence. *Atmospheric Environment*, 29, pp. 1487-1497.
- Theophanides Michael, Anastassopoulou Jane and Theophanides Theophile, (2011). Air Polluted Environment and Health Effects, Indoor and Outdoor Air Pollution, José Orosa (Ed.), ISBN: 978-953-307-310-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/indoor-and-outdoor-air-pollution/air-polluted-environment-and-health-effects>.
- THERMO ELECTRON CORPORATION FH 40 G Dose Rate Measuring Unit, Operating Instructions, 2003.
- Thermo Electron Corporation, (2003). Series 20-800, Eight stage non-viable impactor, instruction manual.
- To, W.M., Lau, Y.K., Yeung, L.L., (2007). Emission of Carcinogenic Components from Commercial Kitchens in Hong Kong. *Indoor and Built Environment*, 16 (1), pp. 29-37.
- TSI, DustTrak DRX Aerosol Monitor Model 8533/8534, Operation and Service Manual. P/N 6001898, Revision C, May 2009, U.S.A.

TSI, DustTrak II Model 8530/8531/8532 Aerosol Monitor. Operation and Service Manual. P/N 6001893, Revision A. September 2008, U.S.A.

TSI, DustTrak Model 8520 Aerosol Monitor. Operation and Service Manual, P/N 1980198 Revision. Q, October 2005, U.S.A.

TSI, Model 8760/8762 IAQ-CALC Indoor Air Quality Meters, Operation and Service Manual. P/N 1980406, Revision H July 2006, U.S.A.

TSI, P-Trak Model 8525 Ultrafine Particle Counter, Operation and Service Manual. P/N 1980380, Revision H, November 2004, U.S.A.

Turiel I., (1983). The effects of reduced ventilation on indoor air quality in an office building. *Atmospheric Environment*, 1983, 17, pp. 51-64.

U.S. Consumer Safety Commission (1997). An Update on formaldehyde, Revision, Washington DC, 20207.

Udovicic, V., Grabe_z, B., Dragi_c, A., Banjanac, R., Jokovi_c, D., Pani_c, B., Joksimovi_c, D., (2009). Radon problem in an underground low-level laboratory. *Radiation Measurements*, 44, pp. 1009-1012.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR, (2006). Report to the General Assembly, with scientific annexes. Volume I: Effects of Ionizing Radiation, Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR, (1993). Sources and Effects of Ionising Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes United Nations, New York.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR, (2000). Sources and Effects of Ionising Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, vol. I., United Nations, New York.

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) (1994). Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals, Co-sponsored by: The American Lung Association (ALA), The Environmental Protection Agency (EPA), The Consumer Product Safety Commission (CPSC), and The American Medical Association (AMA), U.S. Government Printing Office Publication No. 1994-523-217/81322, EPA 402-R-94-007.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (2002). Air Quality Criteria for Particulate Matter, Report EPA/600/P-99/002aC. Environmental Protection Agency, Washington DC.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (1996). Air quality criteria for particulate matter. Reports No. EPA/600/P-95/001aF-cF. United States Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Assessment, RTP Office, Research Triangle Park, NC, USA.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (1979). Air quality criteria for carbon monoxide. Report No. EPA-600/8-70-022, Washington DC.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (2004). National Centre for Environmental Assessment-RTP, Office of Research and Development. Air Quality Criteria for Particulate Matter, vol. 1. October 2004.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (1991). Air quality criteria for carbon monoxide; Washington, DC, EPA-600/8-90-045A.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (2003). Indoor air quality and student performance. Report No. 402-k-03-006. Indoor Environments Division, Office of Radiation and Indoor Air.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (2009): www.epa.gov/radon.

US Government (1991). Reference method for the determination of particulate matter as PM10 in the atmosphere. Code of federal regulations 40, Part 50, Appendix J.

- Valavanidis A., Vratista M., (2006). Indoor Air Quality Measurements in the Chemistry Department Building of the University of Athens. *Indoor Built Environment*, 15, 6, pp. 595-605.
- Van Netten C, Shirliff C, Svec J., (1989). Temperature and humidity dependence of formaldehyde release from selected building materials. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 42, pp. 558–65.
- Vaughan, N.P., (1989). The Andersen impactor: calibration, wall losses and numerical simulation. *Journal of Aerosol Science* 20, pp. 67–90.
- Wagner A, Gossauer E, Moosman C, Gropp Th, Leonhart R., (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and Buildings*, 39, pp. 758–69.
- Wallace, L. (2005). Ultrafine particles from a vented gas clothes dryer. *Atmospheric Environment*, 39, pp. 5777–5786.
- Wallace, L. A., Emmerich, S. J., & Howard-Reed, C. (2004). Source strengths of ultrafine and fine particles due to cooking with a gas stove. *Environmental Science & Technology*, 38, 2304–2311.
- Wallace, L., (2000). Correlations of personal exposure to particles with outdoor air measurements, a review of recent studies. *Aerosol Science and Technology*, 32, pp. 15–25.
- Wallace, L., (2000b). Real-time monitoring of particles, PAH, and CO in an occupied townhouse. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 15, pp. 39–47.
- Wallace, L.A., (1996). Indoor particles: a review. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 46 (2), pp. 98-126.
- Wanner, H.U., (1993). Sources of pollutants in indoor air. *IARC Scientific Publications*, 109, pp. 19-30.
- Wargocki P, Lagercrantz L, Witterseh T, Sundell J, Wyon DP, Fanger PO., (2002). Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office, *Indoor Air*, 12, pp.74-80.
- Wargocki P., Wyon D.P., Baik Y., Clausen G. and Fanger, P.O., (1999). Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads. *Indoor Air*, 9, 165-179.
- Waring M.S., Siegel J.A. & Corsi R.L. (2008). Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners. *Atmospheric Environment*, 42, pp. 5003–5014.
- Wasson, S. J., Guo, Z. S., McBrian, J. A., & Beach, L. O. (2002). Lead in candle emissions. *Science of the Total Environment*, 296, pp. 159–174.
- Watson, J.G., Chow, J.C., Chen, L., Wang, X., Merrifield, T.M., Fine, P.M., Barker, K., (2011). Measurement system evaluation for upwind/downwind sampling of fugitive dust emissions. *Aerosol and Air Quality Research*, pp. 11, 331–350.
- Weichenthal S., Dufresne A., Infante-Rivard C., (2007). Indoor ultrafine particles and childhood asthma: exploring a potential public health concern. *Indoor Air*, 17(2), pp. 81–91.
- Wensing, M., Schripp, T., Uhde, E., Salthammer, T., (2008). Ultra-fine particles release from hardcopy devices: sources, real-room measurements and efficiency of filter accessories. *Science of the Total Environment*, 407, pp. 418-427.
- WHO (World Health Organization) (2009). Handbook On Indoor Radon - A Public Health Perspective, World Health Organization.
- WHO (World Health Organization) (2009). Handbook on indoor radon;. Geneva, Switzerland.
- WHO Regional Office for Europe, (2000). Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, (WHO Regional Publications, European Series, No. 91).

- WHO Regional Office for Europe, (2001). Radon (Chapter 8.3). Air Quality Guidelines, second ed. http://www.euro.who.int/document/aicq/8_3radon.pdf.
- WHO (World Health Organization) (1979). Carbon Monoxide Environmental Health Criteria. No. 13, Geneva.
- WHO (World Health Organization) (1999). Basic documents, 42nd edition, Geneva.
- WHO (World Health Organization) (2009). Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, ISBN 9789241547673.
- WHO (World Health Organization) (2011). Ionizing radiation, health effects and protective measures, May 2011. http://www.who.or.jp/index_files/Fact%20sheet%20-%20Ionizing%20radiation_final.pdf
- WHO (World Health Organization) (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Publication ISBN 978 92 890 0213 4, Denmark.
- WHO (World Health Organization) (2005). WHO air quality guidelines global update. Report on a working group meeting, Bonn, Germany, 18–20 October.
- WHO (World Health Organization) (1987). Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No 23, Copenhagen.
- WHO (World Health Organization) (2002). The World Health Report: Reducing Risk Promoting Healthy Life. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Available from: www.who.int/whr/en/.
- Wilson, A.L., QEP and Karpukhin A., Wilson Environmental Associates (2008). Literature Review of Indoor Ultrafine Particles and Residential Gas Appliances. Prepared For American Gas Foundation, July 2008.
- Wolkoff Peder, (2012). Indoor air pollutants in office environments: Assessment of comfort, health, and performance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 216 (4), pp. 371-394.
- Wolkoff P., Skov P., Franck C., Pedersen L.N., (2003). Eye irritation and environmental factors in the office environment. Hypotheses, causes, and a physiological model. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 29, pp. 411–30.
- Wolkoff Peder, Kjærgaard Søren K., (2007). The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International*, 33, pp. 850–857.
- World Nuclear Association, 2012. Nuclear Radiation and Health Effects - <http://www.world-nuclear.org/info/inf05.html>
- Wu, Ch.-F., Delfino, R. J., Floro, J. N., Quintana, P. J. E., Samimi, B. S., Kleinman, M. T., et al. (2005b). Exposure assessment and modelling of particulate matter for asthmatic children using personal nephelometers. *Atmospheric Environment*, 39, pp. 3457–3469.
- Wu, Ch.-F., Delfino, R. J., Floro, J. N., Samimi, B. S., Quintana, P. J. E., Kleinman, M. T., et al. (2005a). Evaluation and quality control of personal nephelometers in indoor, outdoor and personal environments. *Journal of Exposure Analysis & Environmental Epidemiology*, 15, 99–110.
- Xue J., McCurdy D., Spengler J., Ozkaynak H., (2004). Understanding variability in time spent in selected locations for 7-12-year old children. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 14, pp. 222–233.
- Yanoski, J. D., Williams, P. L., & MacIntosh, D. L. (2002). A comparison of two direct-reading aerosol monitors with the federal reference method for PM_{2.5} in indoor air. *Atmospheric Environment*, 36, pp. 107–113.
- Zunic, Z.S., Yarmoshenko, I.V., Birovljev, A., Bochicchio, F., Quarto, M., Obryk, B., Paszkowski, M., Celikovi_c, I., Demajio, A., Uji_c, P., Budzanowski, M., Olko, P., McLaughlin, J.P., Waligorski, M.P.R., (2007). Radon survey in the high natural radiation region of Niška Banja, Serbia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 92, pp. 165-174.

Α. Λαγούδη, (1996). «Εκτίμηση της ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους σε κτίρια γραφείων». Διδακτορική Διατριβή, ΕΚΠΑ.

Αυγελής Α. και Παπαδόπουλος Α.Μ., (2007). Επιβάρυνση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος από τη χρησιμοποίηση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού – Κεφάλαιο: Σανταμούρης Μ και Παπαγλάστρα Μ. (Επιμ.), Ρύπανση και ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος στα κτίρια, ΤεΚΔΟΤΙΚΗ, ISBN:978-960-8257-52-8.

Βαλαβανίδης Α., (2000). Εγχειρίδιο Υγιεινής και Ασφάλειας Χημικών και Βιοχημικών Εργαστηρίων. Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2000.

Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) - www.eeae.gr

Ιστοσελίδα Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείου Κρήτης: www.enveng.tuc.gr

Κατσή Αλεξία., (2007). «Επίπεδα γάμμα ακτινοβολίας περιβάλλοντος στην περιοχή Ακρωτηρίου, Χανίων». Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Λαζαρίδης, Μ., (2008). Ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους. Εκδόσεις Τζιόλα

Νταουκάκη Γεωργία, (2010). «Περιβαλλοντική ανάλυση και αξιολόγηση των κτηρίων του τμήματος ΜΗΠΕΡ στο Πολυτεχνείο Κρήτης». Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Οικονομόπουλος, Α., (2003) ‘Σημειώσεις Μαθήματος «Έλεγχος Ρύπανσης Αέρα’», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Παπαδόπουλος Άγις Μ. και Αυγελής Αριστοτέλης, (2002). Ποιότητα εσωτερικού αέρα σε εκπαιδευτικά κτήρια. <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/periodiko/issue19/is19ar01.pdf>

Παυλίδου Αικατερίνη, (2008). «Περιβαλλοντική και οικονομική αξιολόγηση ενεργειακής συμπεριφοράς κτηρίου τριτογενούς τομέα – εφαρμογή στην Κρήτη». Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

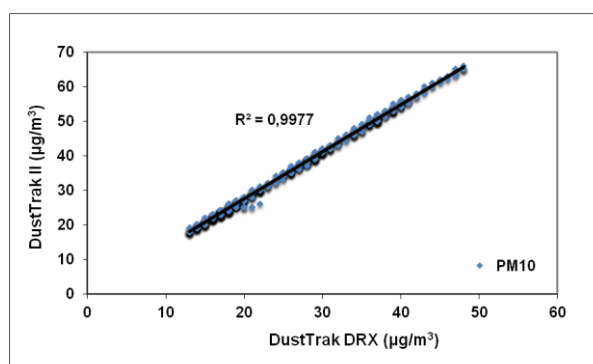
TOTEE 2425 (1986). Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86, Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτιριακών χώρων. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

TOTEE 20701-1 (2012). Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, Αναλυτικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. Β’ έκδοση, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

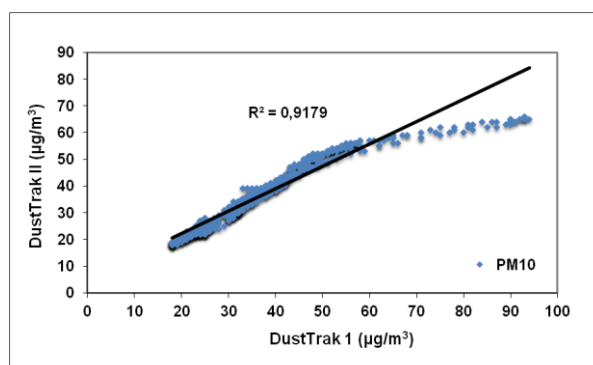
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Σύγκριση μετρήσεων των οργάνων μέτρησης συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων: DustTrak (1) 8520, DustTrak II 8532 και DustTrak DRX 8534 της εταιρείας TSI

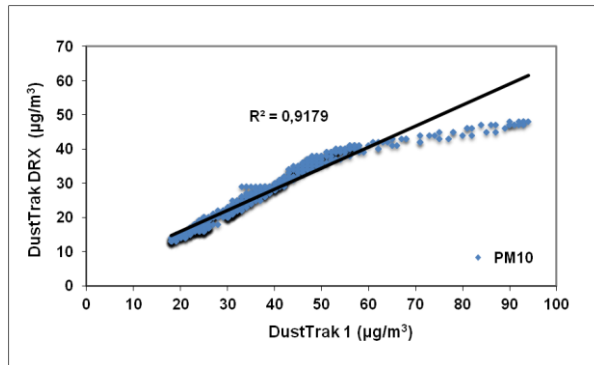
Προκειμένου να ελεγχθεί η συμφωνία των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των πειραματικών τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων, έγινε σύγκριση των μετρούμενων τιμών τους για διάστημα 5 ημερών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο 4 σε περίοδο χωρίς δραστηριότητες και τα όργανα κατέγραφαν τιμές ανά 5 λεπτά. Συγκεκριμένα, οι ταυτόχρονες μετρήσεις συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων PM₁₀ έγιναν στο διάστημα από 2 έως 6 /09 (σύνολο 1167 τιμών), ενώ οι μετρήσεις για τα PM_{2,5} πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 24 και 28/09 (σύνολο 1151 τιμών). Η συμφωνία των τριών οργάνων κρίθηκε ικανοποιητική, καθώς ο συντελεστής συσχέτισης ανά κάθε δύο όργανα είχε τιμή μεγαλύτερη από 0,9.



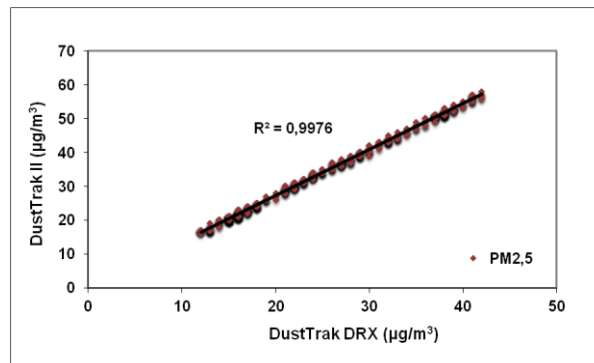
Σχήμα Π Ι-155. Σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης μάζας PM₁₀ μεταξύ των οργάνων DustTrak II 8532 και DRX 8534.



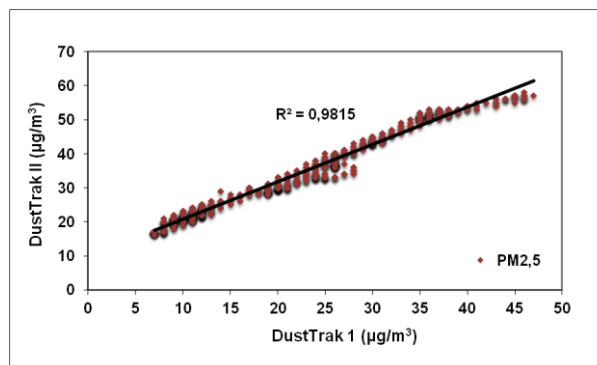
Σχήμα Π Ι-156. Σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης μάζας PM₁₀ μεταξύ των οργάνων DustTrak II 8532 και (1) 8520.



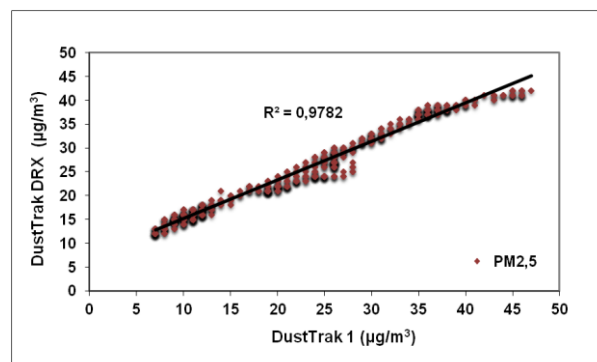
Σχήμα Π I-157. Σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης μάζας PM_{10} μεταξύ των οργάνων DustTrak DRX 8534 και (1) 8520.



Σχήμα Π I-158. Σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$ μεταξύ των οργάνων DustTrak II 8532 και DRX 8534.



Σχήμα Π I-159. Σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$ μεταξύ των οργάνων DustTrak II 8532 και (1) 8520.




Σχήμα Π I-160. Σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$ μεταξύ των οργάνων DustTrak DRX 8534 και (1) 8520.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Έρευνα με ερωτηματολόγιο

Οι χρήστες των εξεταζόμενων χώρων του υπό μελέτη κτηρίου κλήθηκαν να συμπληρώσουν το παρακάτω έντυπο, το οποίο τους διανεμήθηκε κατά την περίοδο των πειραματικών μετρήσεων της Α Φάσης.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

 **Χώρος εργασίας στο Πολυτεχνείο (κτήριο ΜΗΠΕΡ):** Γραφείο Εργαστήριο

Στο συγκεκριμένο χώρο βρίσκεστε συνήθως (σημειώστε αριθμό) : ___ ημέρες ανά εβδομάδα
και ___ ώρες ανά ημέρα.

Οι εργασιακές δραστηριότητες σας:
παράγουν σκόνη ή οσμές Όχι ___ Ναι (προσδιορίστε): _____

περιλαμβάνουν χρήση χημικών ουσιών; Όχι ___ Ναι (ονομάστε τις): _____

Σημειώστε ότι από τα παρακάτω ισχύει:
Χειρίζετε υπολογιστή καθημερινά κατά τη διάρκεια της εργασίας σας.
Χρησιμοποιείτε εκτυπωτή ή φωτοτυπικό μηχάνημα σχεδόν κάθε μέρα.
Χειρίζετε κάποιου άλλου είδους μηχάνημα ή εξοπλισμό (ονομάστε το). _____

Καπνίζετε στο χώρο εργασίας; Όχι ___ Ναι ___

Κατά τη διάρκεια παραμονής σας στο χώρο πόσες ώρες ή πόσο % του συνολικού χρόνου παραμονής (σημειώστε αριθμό ή ποσοστό) :
Λειτουργεί το κλιματιστικό; ___ ώρες ή ___% (θερμοκρασία: ___ °C)
Είναι ανοιχτό το/τα παράθυρο/α; ___ ώρες ή ___% (αριθμός παραθύρων που ανοίγουν: ___)

Πώς θα κρίνατε την ποιότητα αέρα του χώρου; Καλή Μέτρια Κακή

Σημειώστε αν έχετε νιώσει κάποια δυσφορία για τις παρακάτω συνθήκες που αφορούν στην ποιότητα αέρα του χώρου εργασίας σας:

	Όχι, ποτέ	Ναι, μερικές φορές	Ναι, συχνά	Ναι, κάθε μέρα
Θερμοκρασία δωματίου πολύ υψηλή				
Θερμοκρασία δωματίου πολύ χαμηλή				
Αποπνικτική ατμόσφαιρα				
Ξηρή ατμόσφαιρα				
Υγρασία				
Αιωρούμενη σκόνη				
Παρουσία οσμών				
Έντονος φωτισμός				
Χαμηλός φωτισμός				

Αν θεωρείτε ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την ποιότητα του αέρα στο χώρο σας, τότε αυτό γίνεται περισσότερο αντιληπτό/ αισθητό;

Πρωί ___ Μεσημέρι ___ Όλη μέρα ___
Κάθε μέρα ___ Συγκεκριμένη μέρα στην εβδομάδα (ποια;) _____

Έχετε αντιμετωπίσει κάποιο πρόβλημα υγείας που μπορεί να οφείλεται στην κακή ποιότητα αέρα; Ναι ___ Όχι ___

Αν ναι, τι είδους συμπτώματα υγείας έχετε εμφανίσει; (Επιλέξτε τα συμπτώματα που έχετε βιώσει περισσότερο από 2 φορές την εβδομάδα και θεωρείτε ότι συνδέονται με την εργασία σας στο χώρο.)

Πονοκέφαλο Ζαλάδα Κόπωση/ υπνηλία Ναυτία Δύσπνοια Αλλεργία
Φτάρνισμα Συχνά κρυολογήματα Ρινική συμφόρηση Ξηρό/ερεθισμένο λαιμό
Ενόχληση στα μάτια σχετιζόμενη με τους φακούς επαφής (αν φοράτε) Κνησμό (φαγούρα) ή ερεθισμό στα μάτια Ερεθισμό στο δέρμα Ξηρότητα δέρματος Μυϊκό πόνο

Πότε αυτά συμβαίνουν συνήθως;

Πρωί ___ Μεσημέρι ___ Όλη μέρα ___
Κάθε μέρα ___ Συγκεκριμένη μέρα στην εβδομάδα (ποια;) _____

Έχετε κάποιο πρόβλημα υγείας ή αλλεργίες που ενδέχεται να σας κάνουν επιρρεπή/ ευπαθή στις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου εργασίας σας; Ναι ___ Όχι ___

Έχετε παρατηρήσει δραστηριότητες/μεταβολές στο χώρο εργασίας σας ή στις εξωτερικές συνθήκες που ενδέχεται να συμβαίνουν τη στιγμή που εμφανίζονται τα συμπτώματα σας; (π.χ. κάπνισμα, καθάρισμα, μεταβολή της θερμοκρασίας ή της υγρασίας, καφικές συνθήκες κ.α.) Όχι ___ Ναι (αναφέρετε) _____

Έχει κανένα από τα συμπτώματα αυτά μειώσει την ικανότητα σας να εργαστείτε ή σας έχει αναγκάσει να φύγετε νωρίτερα; Ναι ___ Όχι ___

Τα συμπτώματα που σημειώσατε παραπάνω εξαφανίζονται μέσα σε 1-2 ώρες αφού φύγετε από το Πολυτεχνείο; Ναι ___ Όχι ___



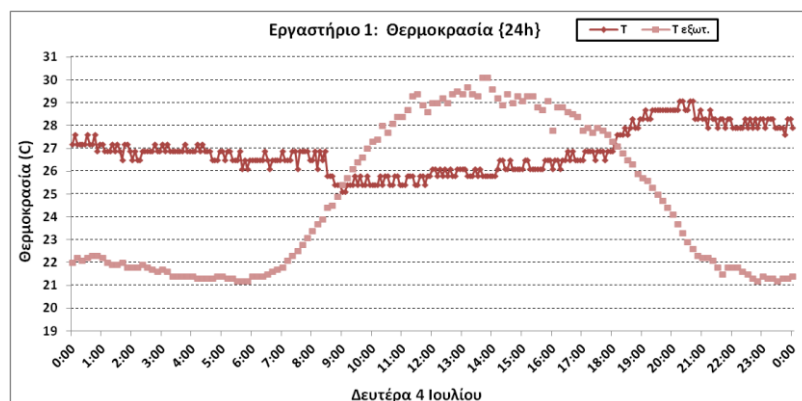
Ευχαριστώ πολύ για το χρόνο σας !

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Επεξεργασία – ανάλυση αποτελεσμάτων

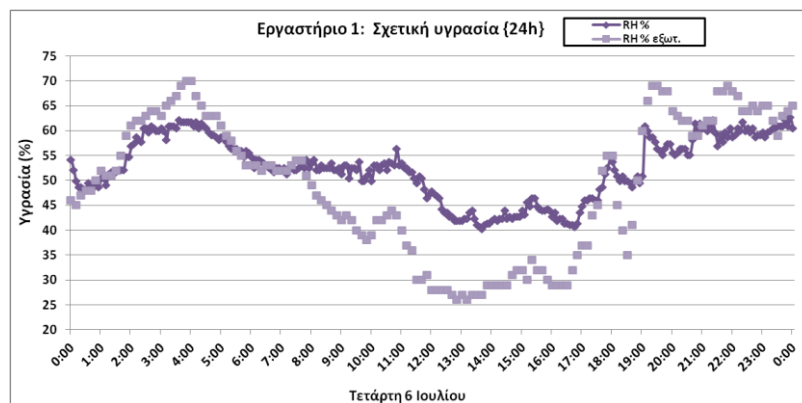
Π ΙΙΙ-1. Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 1

Π ΙΙΙ-1.1. Θερμοκρασία



Σχήμα Π ΙΙΙ-1. Διάγραμμα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη χώρο (1) στις 4 Ιουλίου.

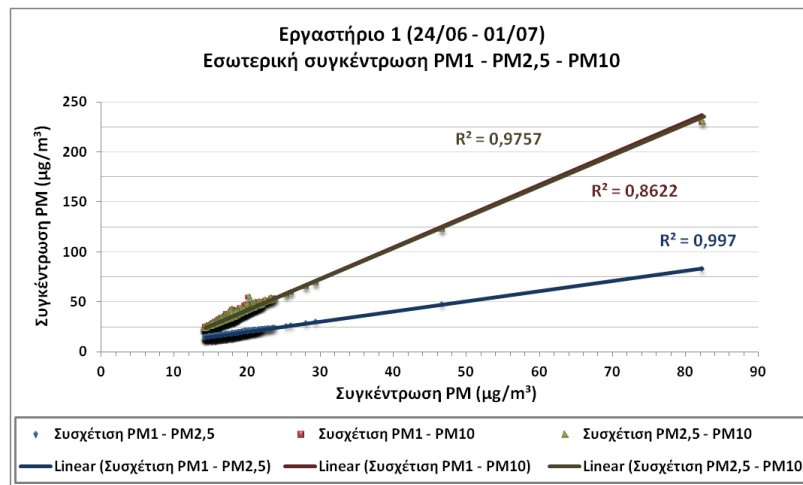
Π ΙΙΙ-1.2. Σχετική Υγρασία



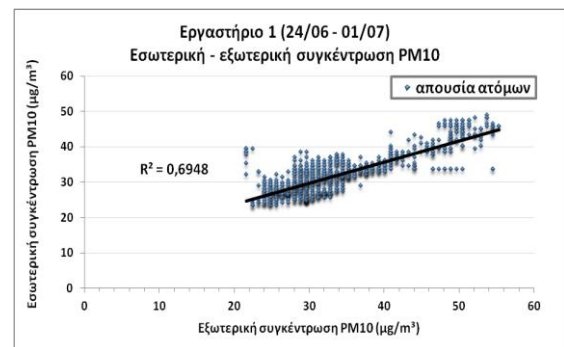
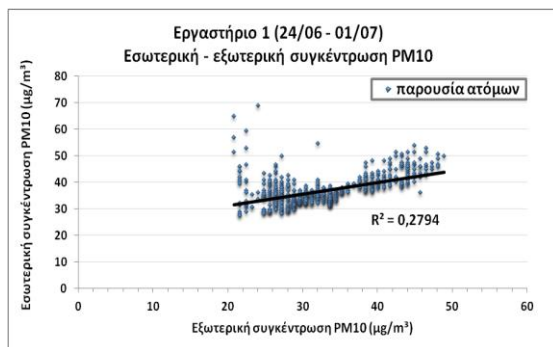
Σχήμα Π ΙΙΙ-2. Διάγραμμα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο (1) στις 6 Ιουλίου.

Π ΙΙΙ-1.3. Αιωρούμενα σωματίδια

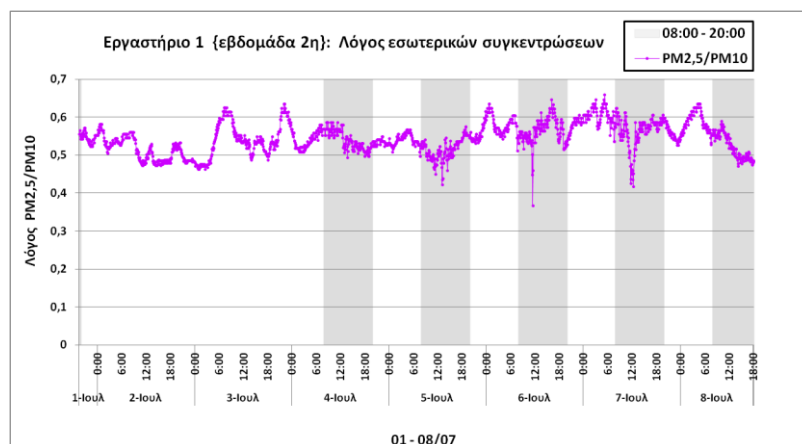
Π ΙΙΙ-1.3.1. Συγκέντρωση μάζας



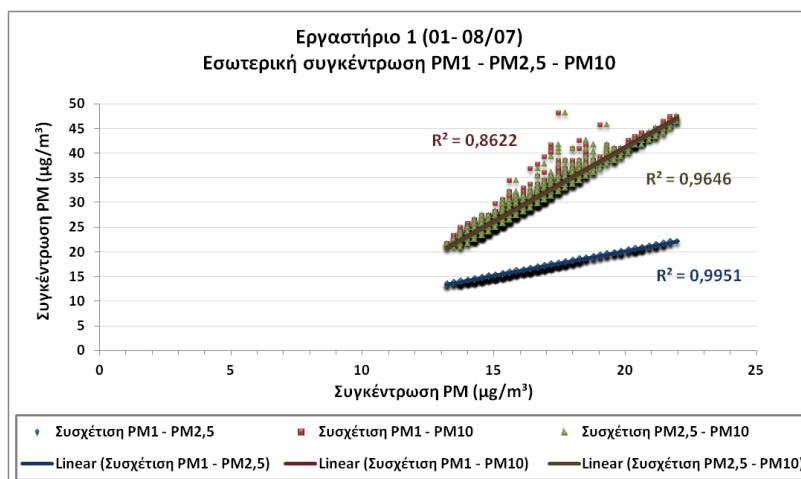
Σχήμα Π ΙΙΙ-3. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των τιμών εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀ για τον εργαστηριακό χώρο (1) την 1^η εβδομάδα των μετρήσεων.



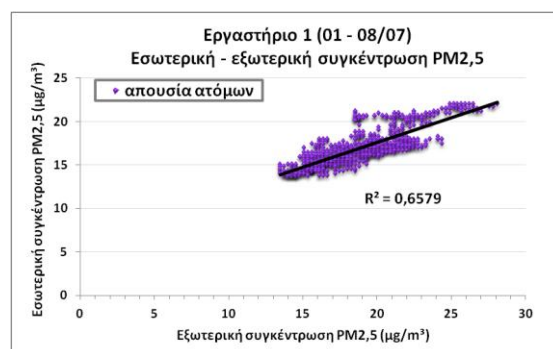
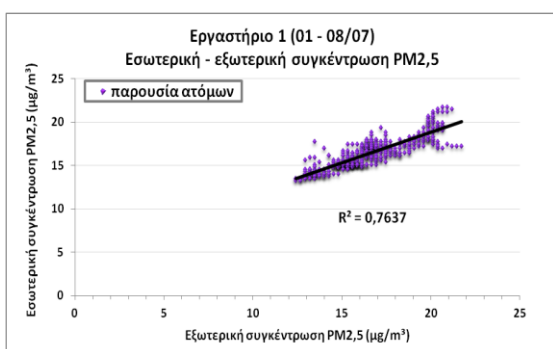
Σχήμα Π ΙΙΙ-4. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του εργαστηριακού χώρου (1), για το διάστημα από 24 Ιουνίου έως 1 Ιουλίου.



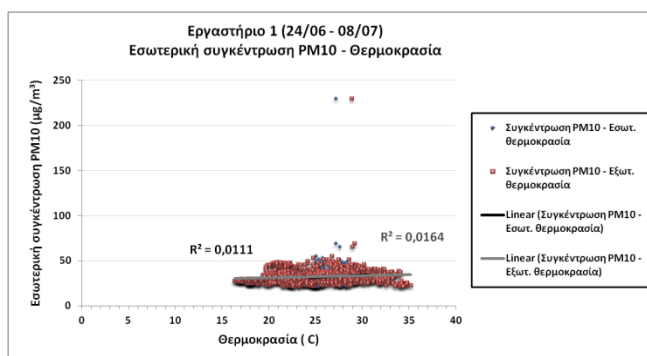
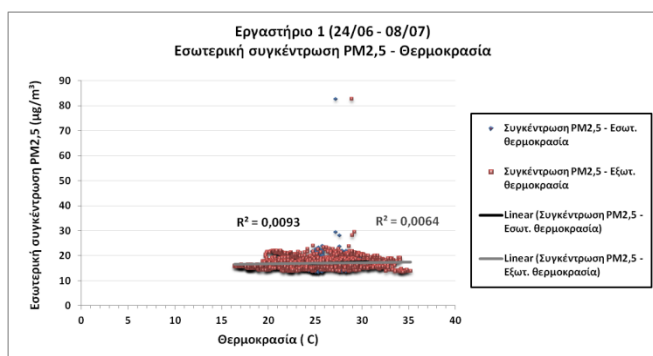
Σχήμα Π ΙΙΙ-5. Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου PM_{2,5}/PM₁₀ για τον εργαστηριακό χώρο (1) από 1 έως τις 8 Ιουλίου.



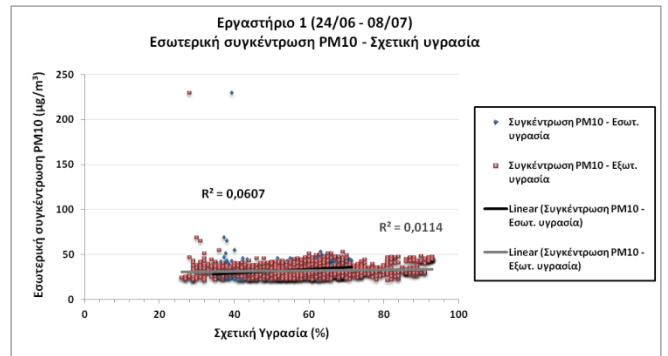
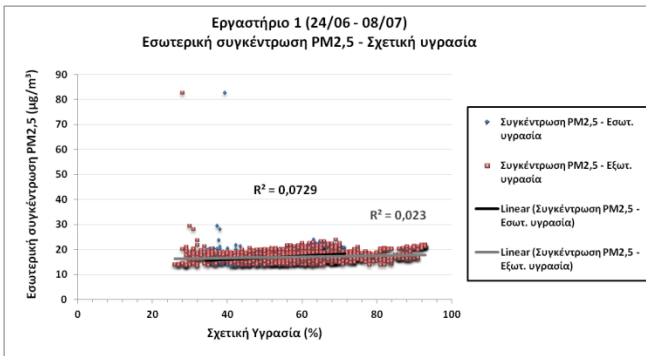
Σχήμα Π ΙΙΙ-6. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ των τιμών εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀ για τον εργαστηριακό χώρο (1) την 2^η εβδομάδα των μετρήσεων.



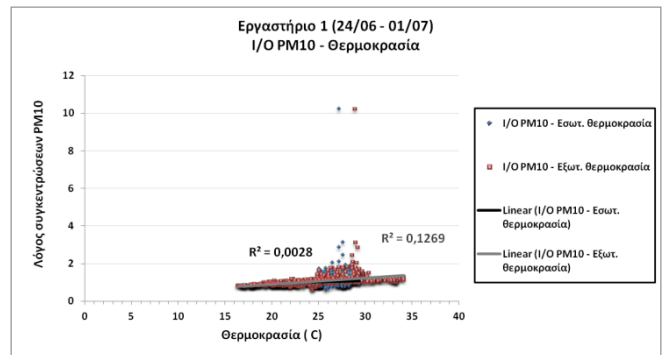
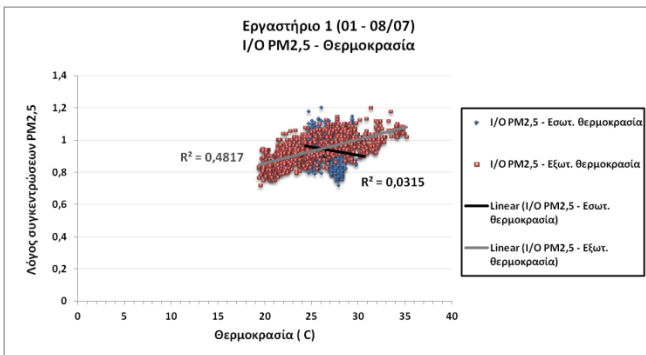
Σχήμα Π ΙΙΙ-7. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του εργαστηριακού χώρου (1), για το διάστημα από 1 έως 8 Ιουλίου.



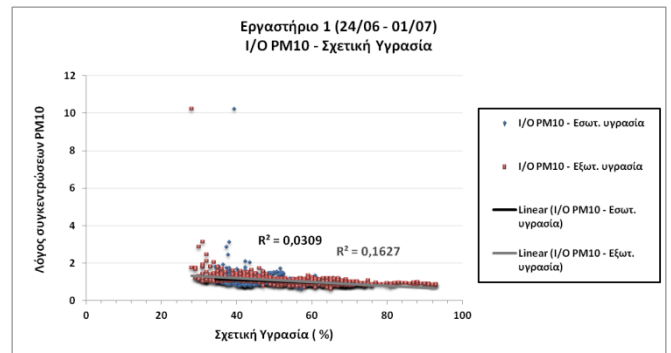
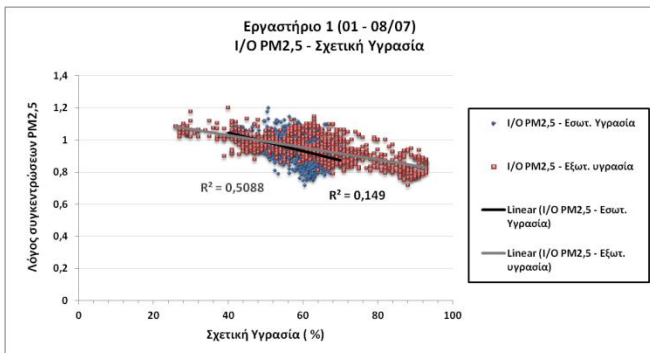
Σχήμα Π ΙΙΙ-8. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).



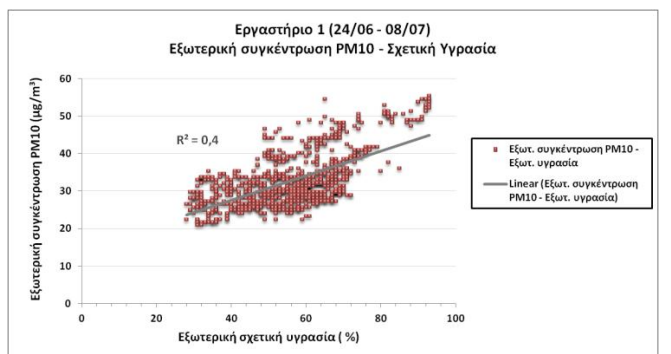
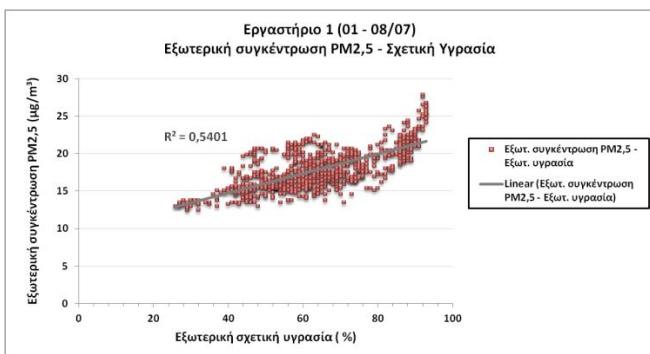
Σχήμα Π ΙΙΙ-9. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).



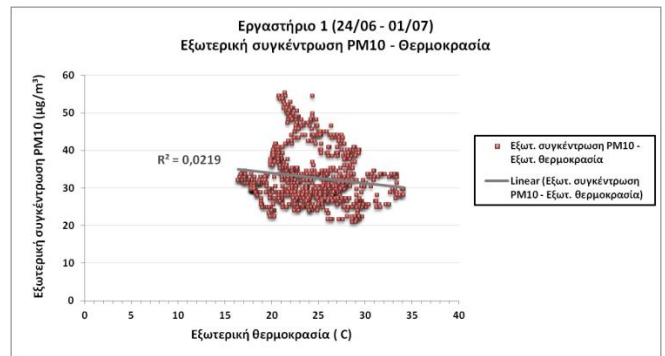
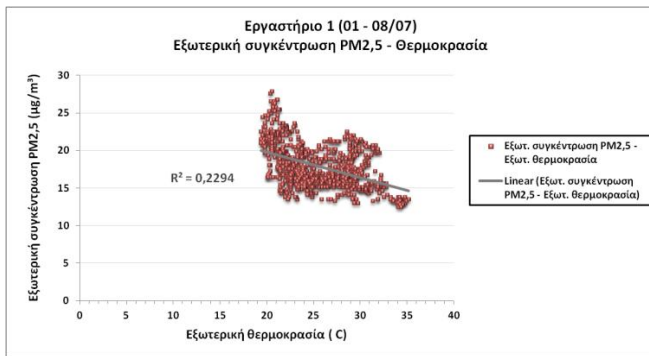
Σχήμα Π ΙΙΙ-10. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}, PM₁₀) και της θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).



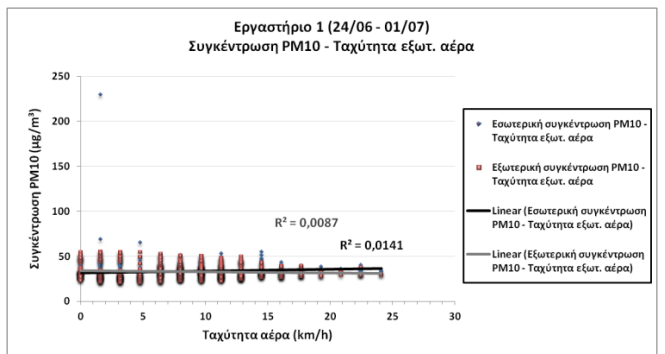
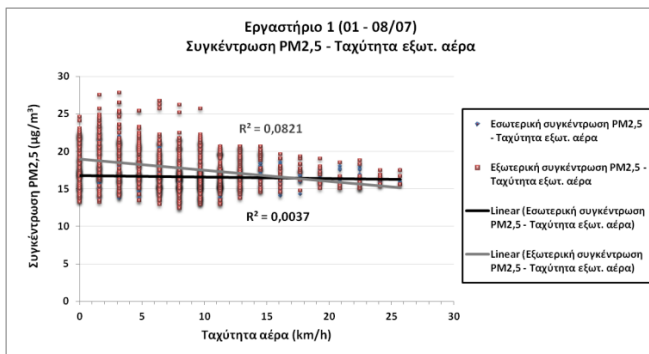
Σχήμα Π ΙΙΙ-11. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}, PM₁₀) και της σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).



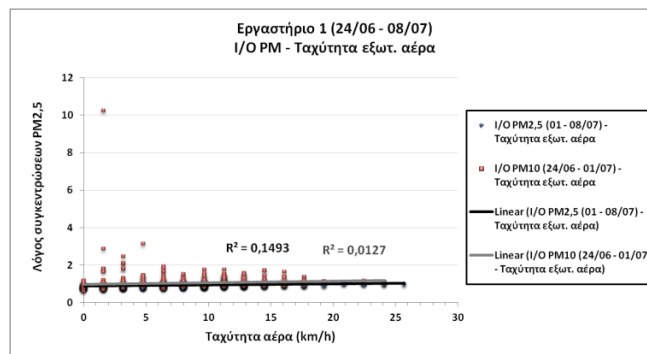
Σχήμα Π ΙΙΙ-12. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και της σχετικής υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).



Σχήμα Π ΙΙΙ-13. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).

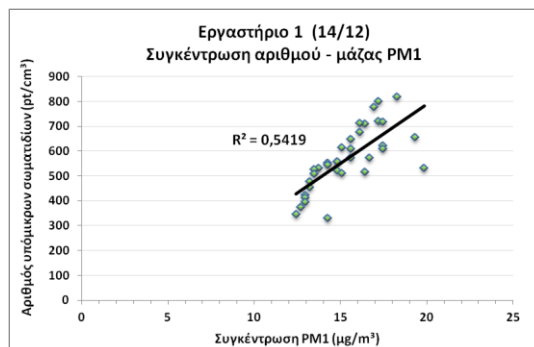


Σχήμα Π ΙΙΙ-14. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).

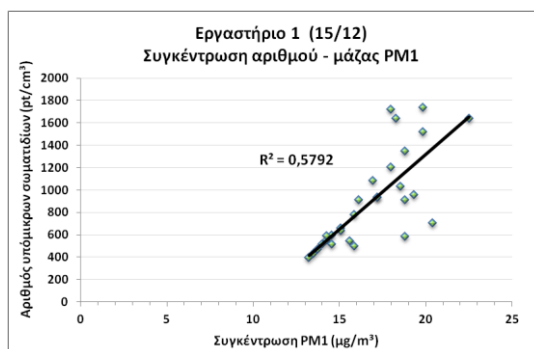


Σχήμα Π ΙΙΙ-15. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}, PM₁₀) και της ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (1).

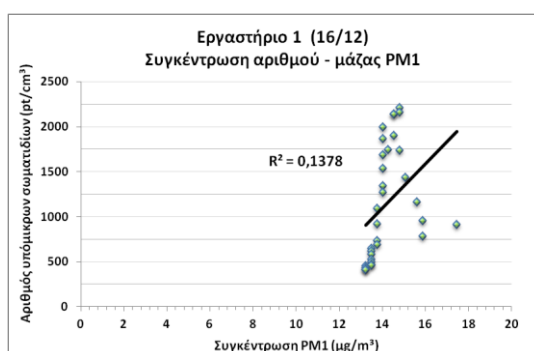
Π ΙΙΙ-1.3.2. Συγκέντρωση αριθμού



Σχήμα Π ΙΙΙ-16. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 14/12 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 1.



Σχήμα Π ΙΙΙ-17. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 15/12 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 1.

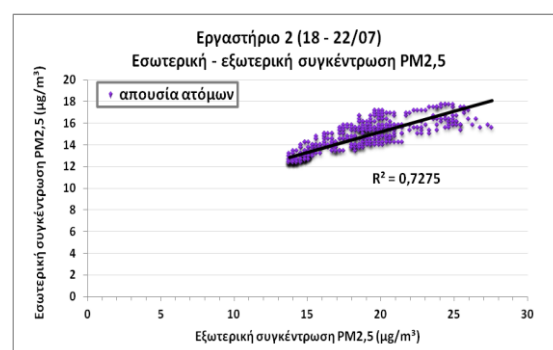
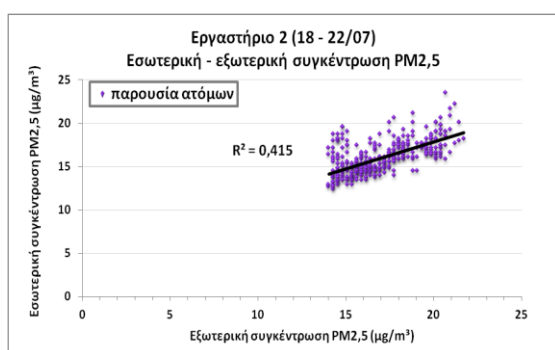


Σχήμα Π ΙΙΙ-18. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 16/12 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 1.

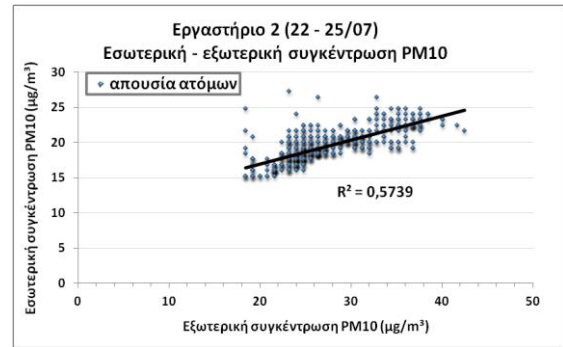
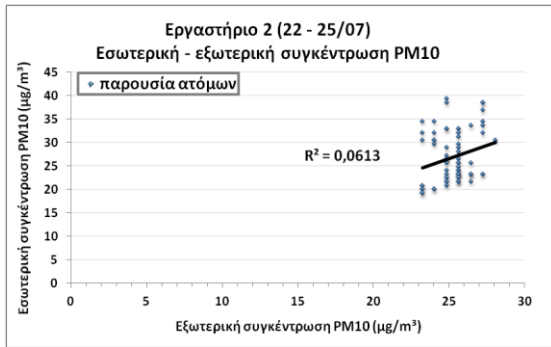
Π ΙΙΙ-2. Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 2

Π ΙΙΙ-2.1. Αιωρούμενα σωματίδια

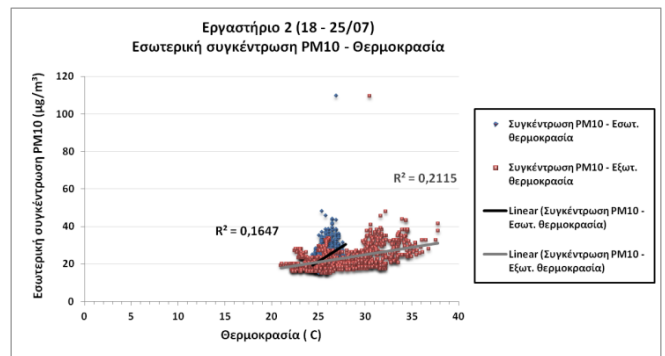
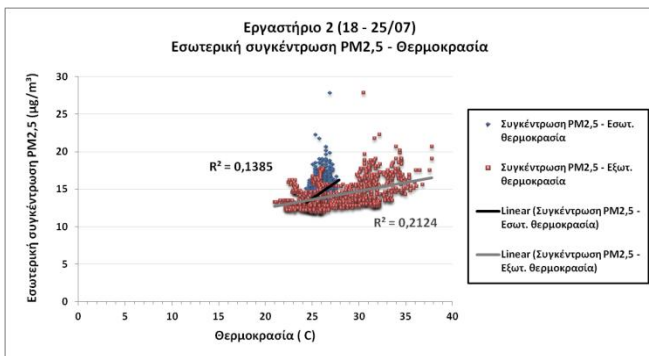
Π ΙΙΙ-2.1.1. Συγκέντρωση μάζας



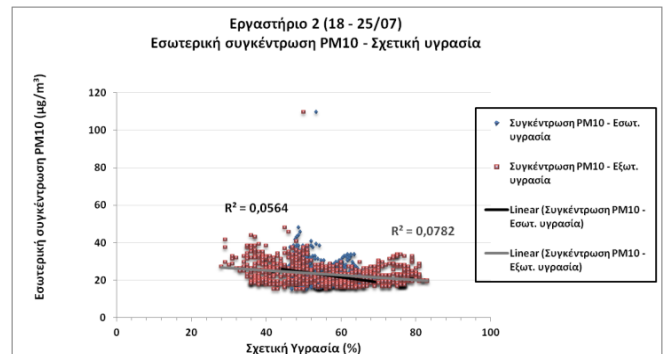
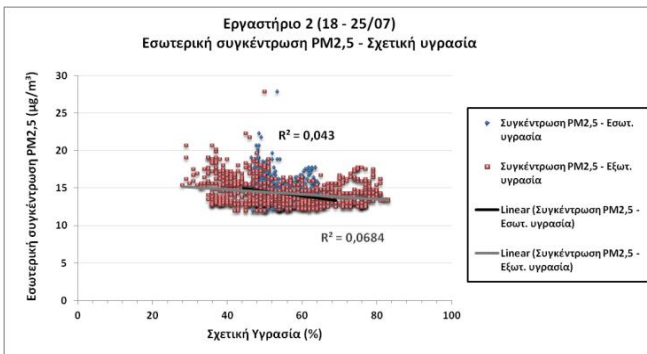
Σχήμα Π ΙΙΙ-19. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του εργαστηριακού χώρου (2), για το διάστημα από 18 έως 22 Ιουλίου.



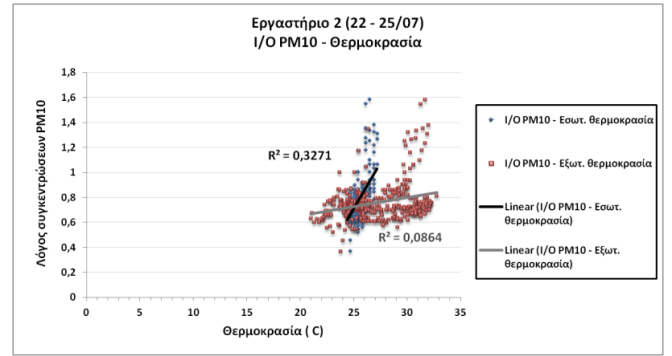
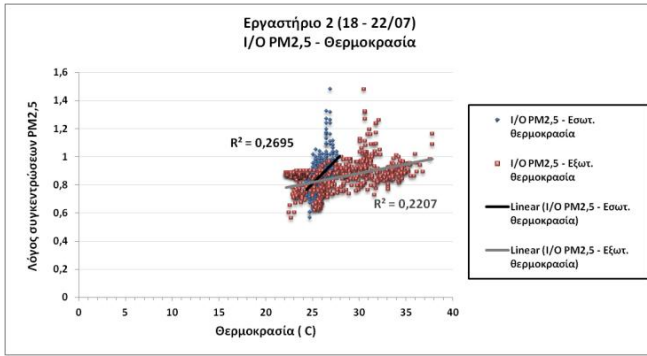
Σχήμα Π ΙΙΙ-20. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του εργαστηριακού χώρου (2), για το διάστημα από 22 έως 25 Ιουλίου.



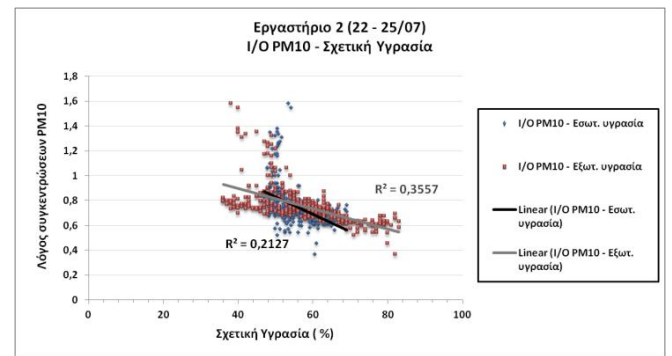
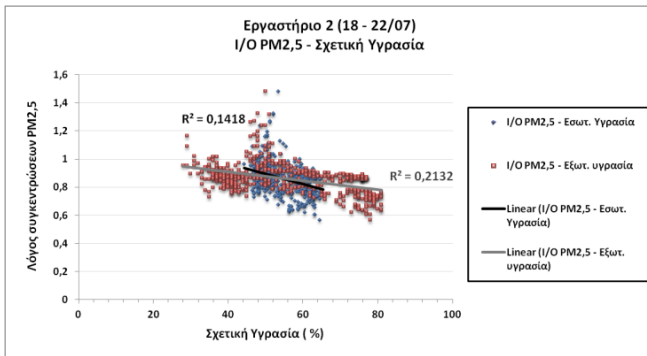
Σχήμα Π ΙΙΙ-21. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).



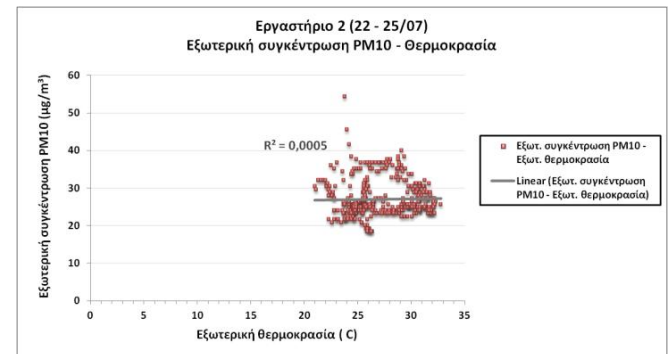
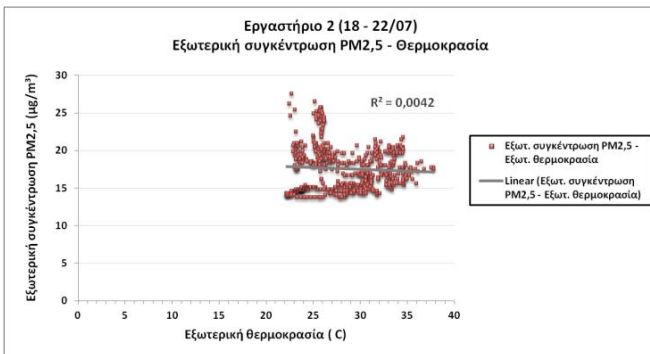
Σχήμα Π ΙΙΙ-22. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).



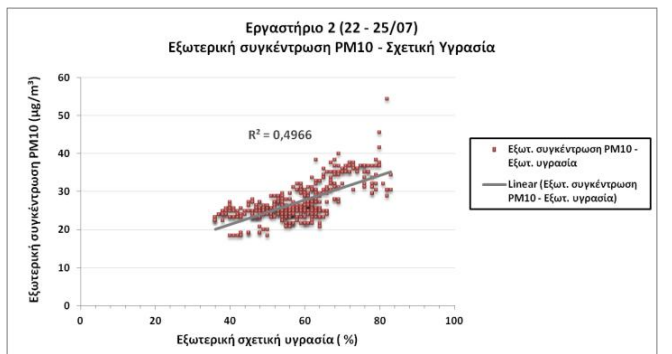
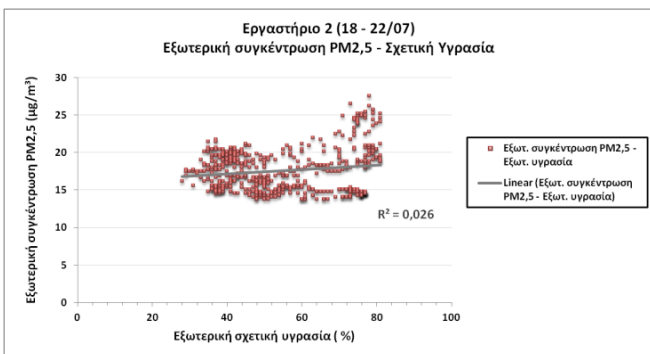
Σχήμα Π ΙΙΙ-23. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O ($PM_{2,5}$, PM_{10}) και της θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).



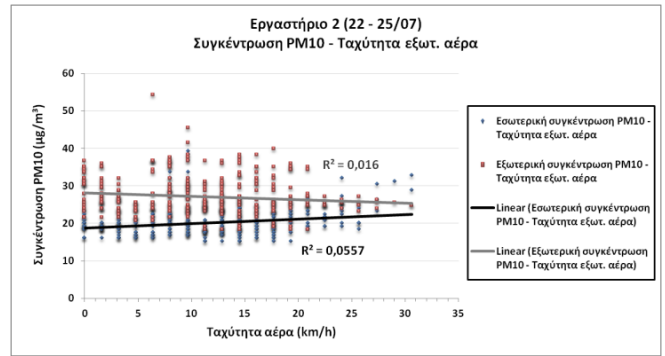
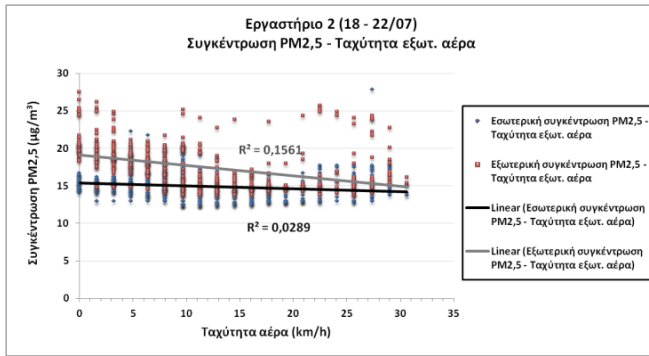
Σχήμα Π ΙΙΙ-24. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O ($PM_{2,5}$, PM_{10}) και της σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).



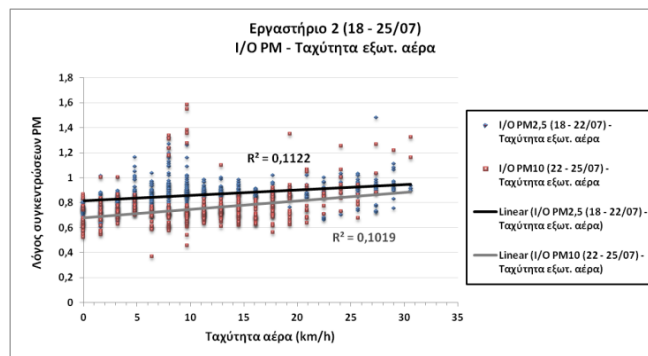
Σχήμα Π ΙΙΙ-25. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} και της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).



Σχήμα Π ΙΙΙ-26. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} και της σχετικής υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).

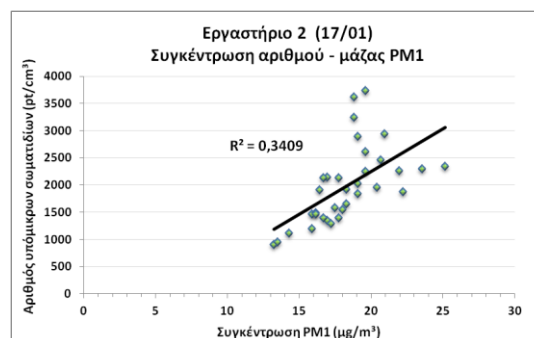


Σχήμα Π ΙΙΙ-27. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).

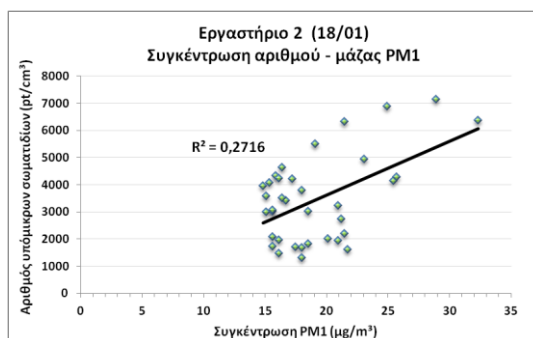


Σχήμα Π ΙΙΙ-28. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}, PM₁₀) και της ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (2).

Π ΙΙΙ-2.1.2. Συγκέντρωση αριθμού



Σχήμα Π ΙΙΙ-29. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 17/01 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 2.



Σχήμα Π ΙΙΙ-30. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 18/01 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 2.

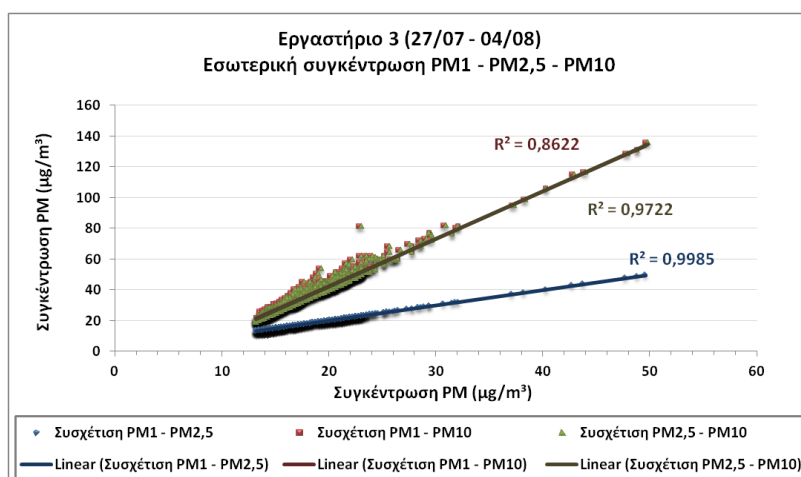
Π ΙΙΙ-3. Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 3

Π ΙΙΙ-3.1. Αιωρούμενα σωματίδια

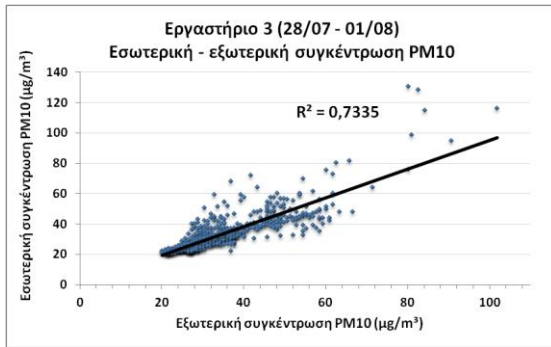
Π ΙΙΙ-3.1.1. Συγκέντρωση μάζας



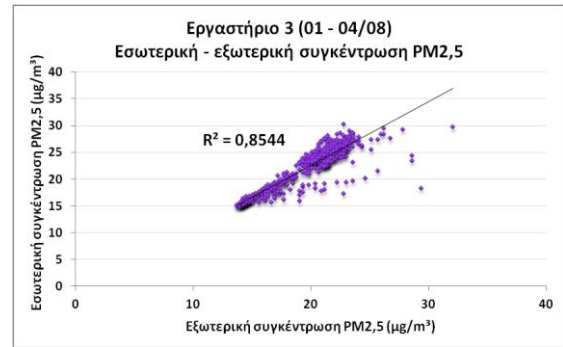
Σχήμα Π ΙΙΙ-31. Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου PM_{2,5}/PM₁₀ για τον εργαστηριακό χώρο (3) από 27 Ιουλίου έως 4 Αυγούστου.



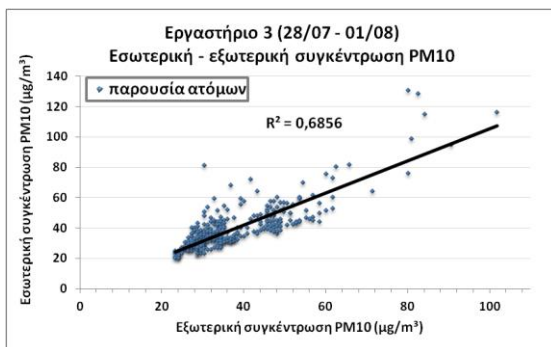
Σχήμα Π ΙΙΙ-32. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των τιμών εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀ για τον εργαστηριακό χώρο (3) την εβδομάδα των μετρήσεων.



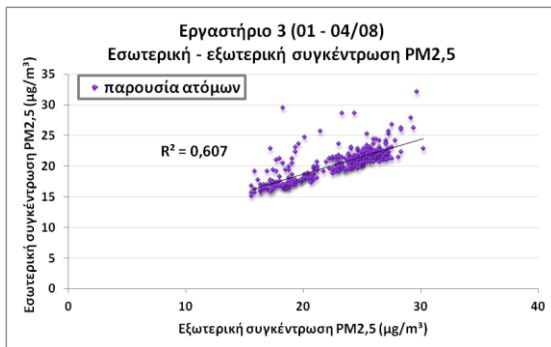
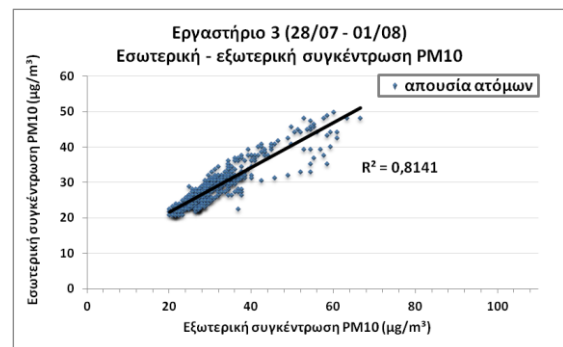
Σχήμα Π ΙΙΙ-33. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ για το σύνολο των μετρήσεων στον εργαστηριακό χώρο (3) από 28 Ιουλίου έως 1 Αυγούστου.



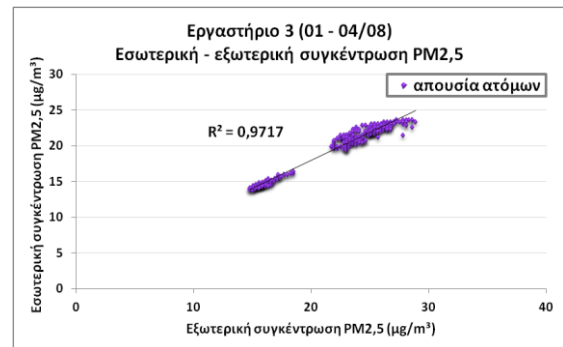
Σχήμα Π ΙΙΙ-34. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} για το σύνολο των μετρήσεων στον εργαστηριακό χώρο (3) από 1 έως 4 Αυγούστου.

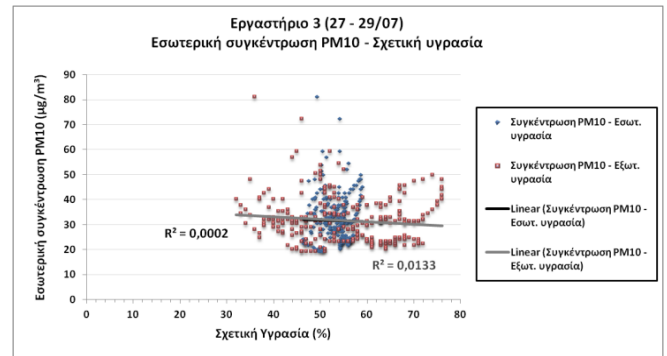
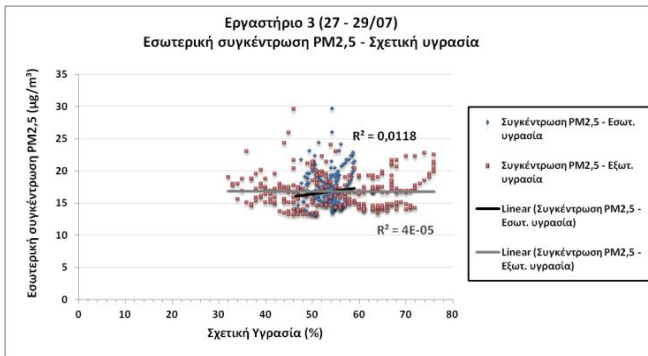


Σχήμα Π ΙΙΙ-35. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του εργαστηριακού χώρου (3), για το διάστημα από 28 Ιουλίου έως 1 Αυγούστου.

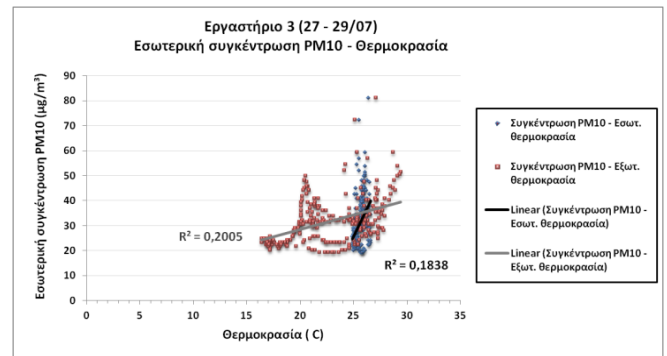
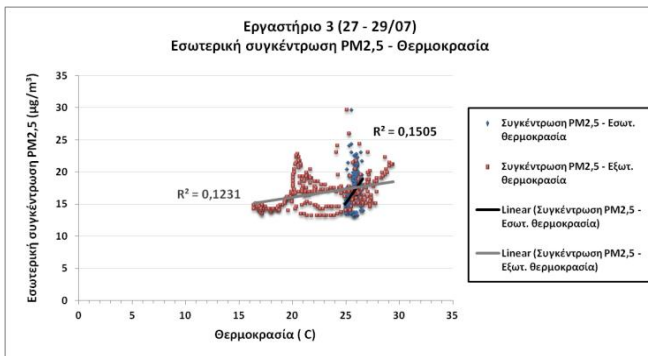


Σχήμα Π ΙΙΙ-36. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του εργαστηριακού χώρου (3), για το διάστημα από 1 έως 4 Αυγούστου.

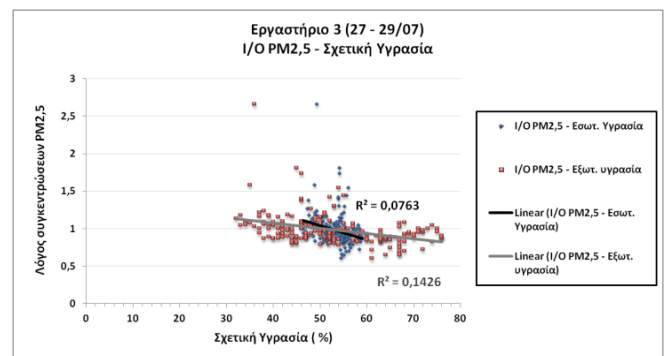
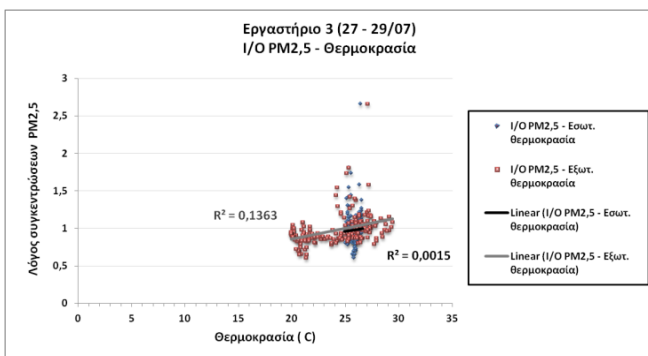




Σχήμα Π ΙΙΙ-37. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (3).

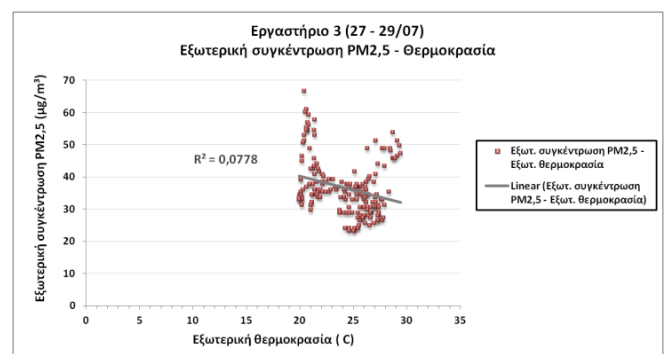
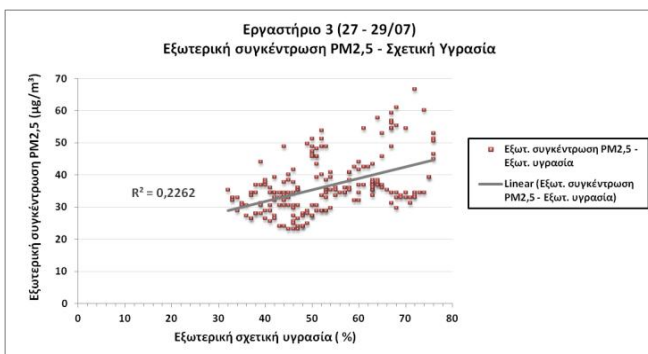


Σχήμα Π ΙΙΙ-38. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (3).



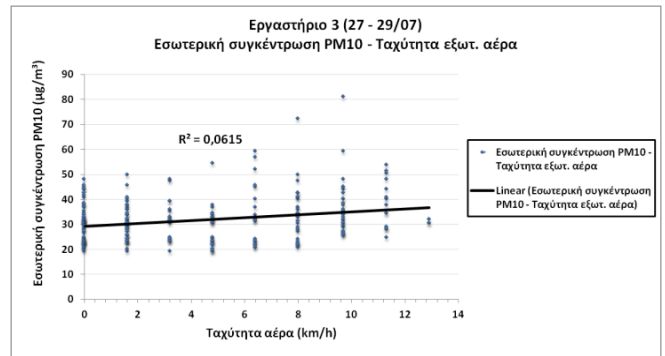
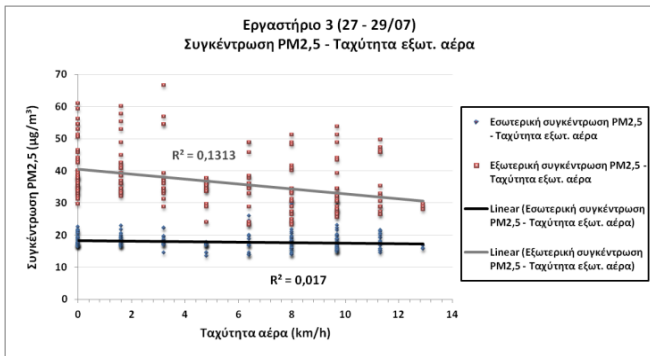
Σχήμα Π ΙΙΙ-39. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}) και της θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το εργαστήριο 3.

Σχήμα Π ΙΙΙ-40. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}) και της σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το εργαστήριο 3.

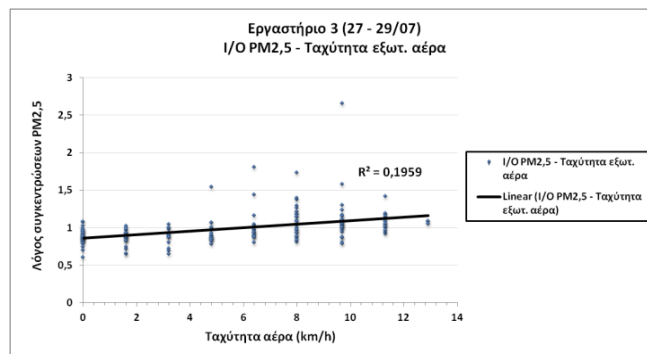


Σχήμα Π ΙΙΙ-41. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5} και της σχετικής υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το εργαστήριο 3.

Σχήμα Π ΙΙΙ-42. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5} και της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το εργαστήριο 3.

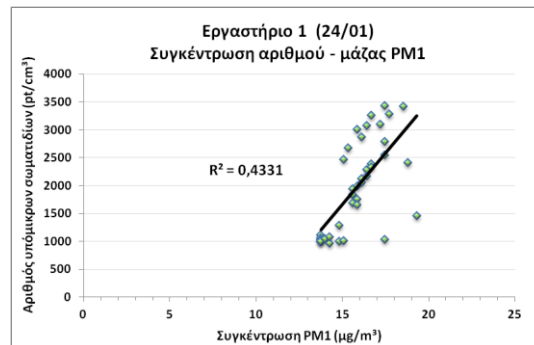


Σχήμα Π ΙΙΙ-43. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (3).

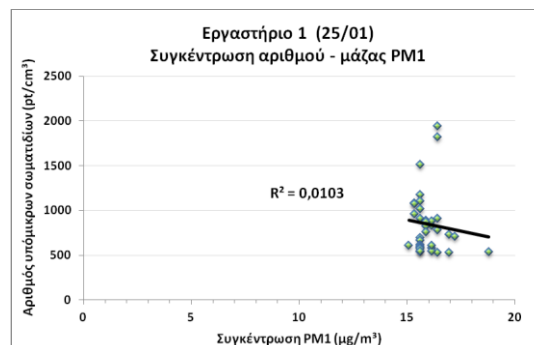


Σχήμα Π ΙΙΙ-44. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O ($PM_{2,5}$) και της ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (3).

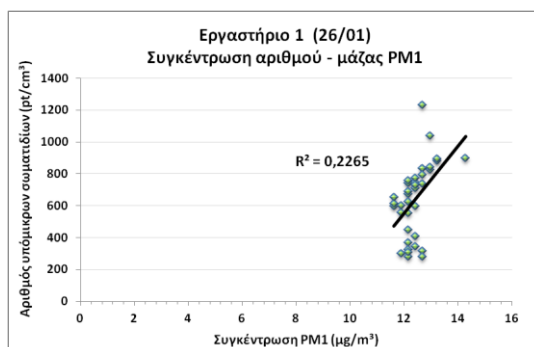
Π ΙΙΙ-3.1.2. Συγκέντρωση αριθμού



Σχήμα Π ΙΙΙ-45. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM_1 για τις 24/01 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 3.



Σχήμα Π ΙΙΙ-46. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM_1 για τις 25/01 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 3.

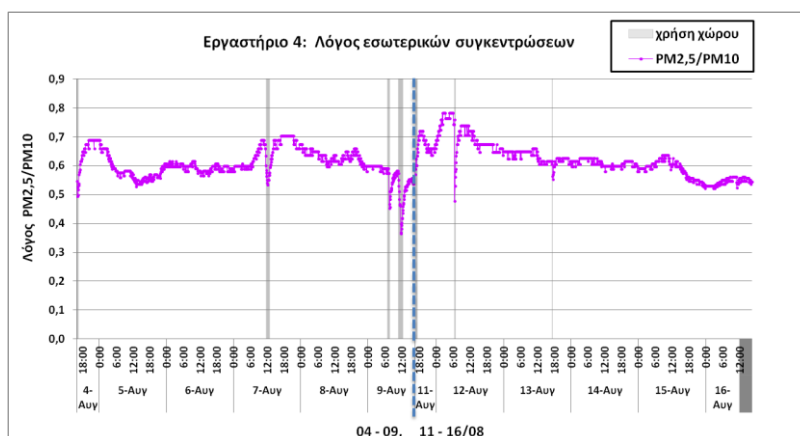


Σχήμα Π ΙΙΙ-47. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 26/01 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 3.

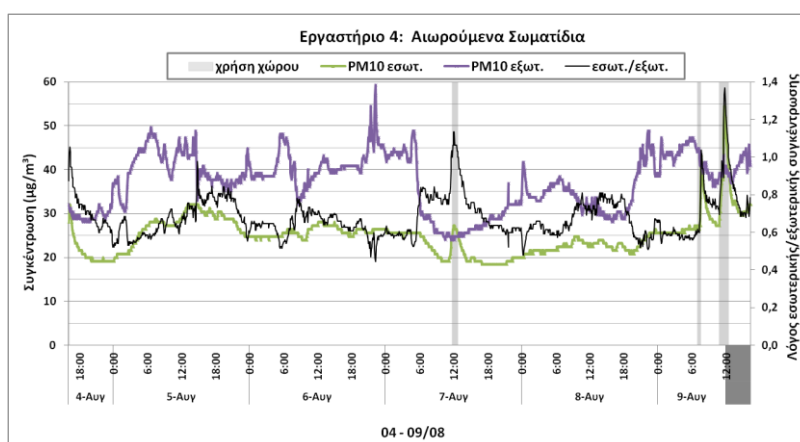
Π ΙΙΙ-4. Υπό μελέτη χώρος: Εργαστήριο 4

Π ΙΙΙ-4.1. Αιωρούμενα σωματίδια

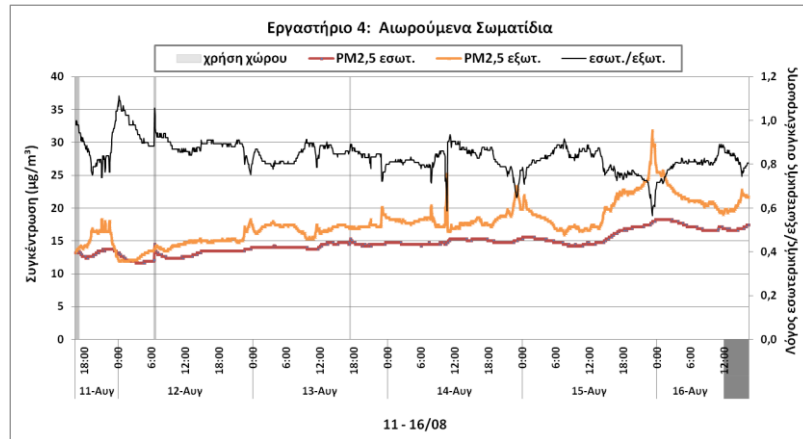
Π ΙΙΙ-4.1.1. Συγκέντρωση μάζας



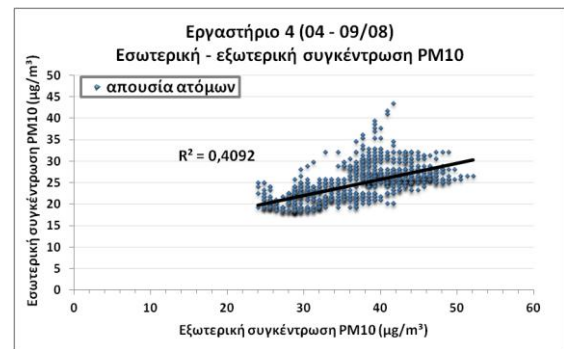
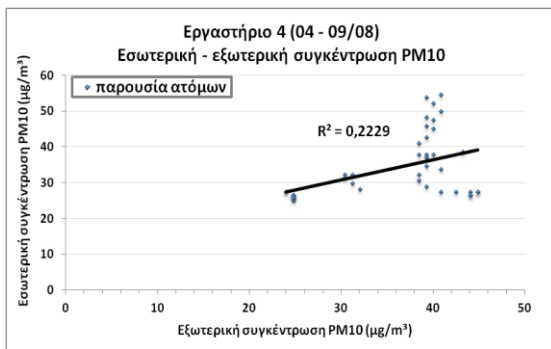
Σχήμα Π ΙΙΙ-48. Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου PM_{2,5}/PM₁₀ για τον εργαστηριακό χώρο (4) μεταξύ 4 με 9 και 11 με 16 Αυγούστου.



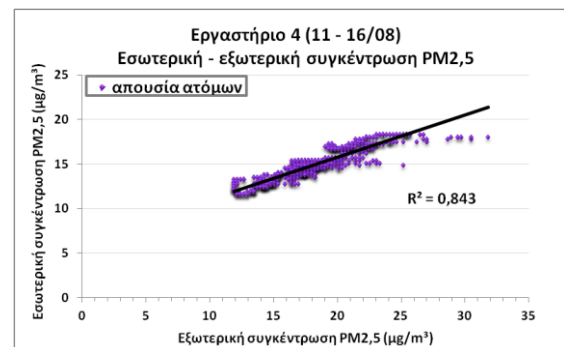
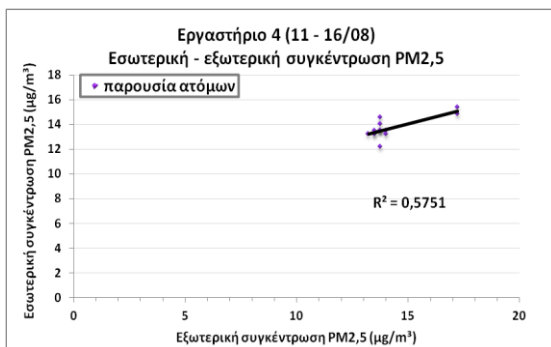
Σχήμα Π ΙΙΙ-49. Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (4) και του λόγου I/O από τις 4 έως τις 9 Αυγούστου.



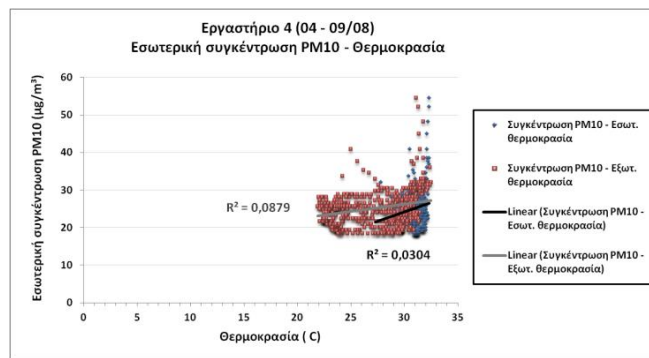
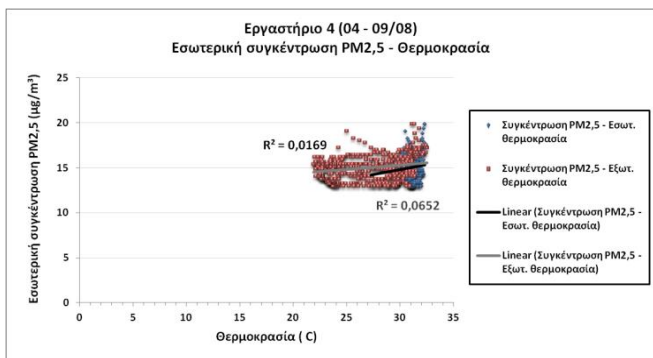
Σχήμα Π ΙΙΙ-50. Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} εσωτερικά και εξωτερικά του υπό μελέτη χώρου (4) και του λόγου I/O από τις 11 έως τις 16 Αυγούστου.



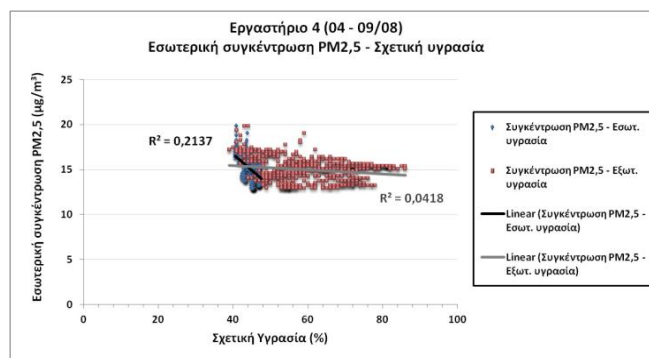
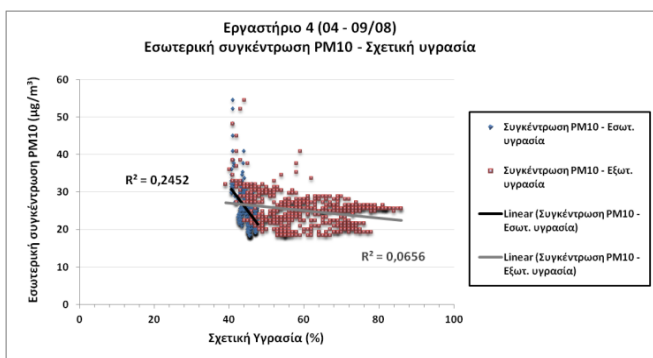
Σχήμα Π ΙΙΙ-51. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια χρήσης (περιορισμένα χρονικά διαστήματα) και μη του εργαστηριακού χώρου (4), για το διάστημα από 4 έως 9 Αυγούστου.



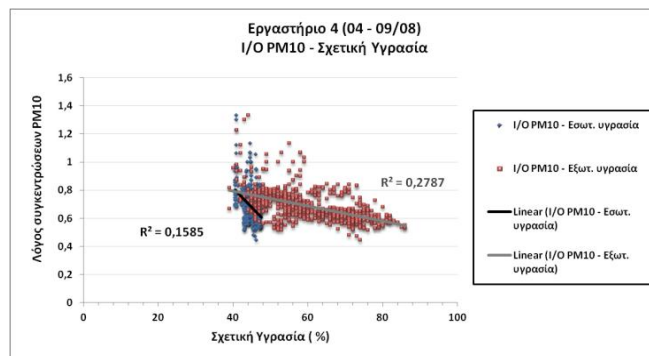
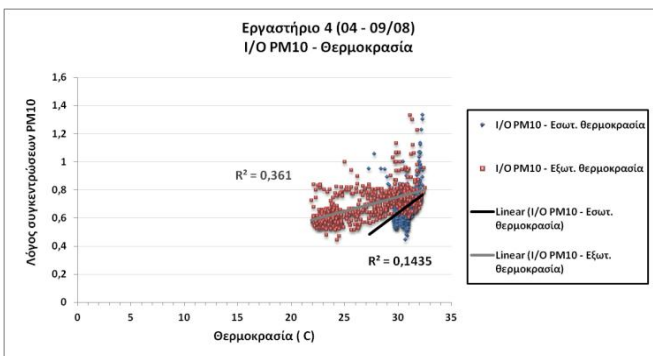
Σχήμα Π ΙΙΙ-52. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} κατά τη διάρκεια χρήσης (περιορισμένα χρονικά διαστήματα) και μη του εργαστηριακού χώρου (4), για το διάστημα από 11 έως 16 Αυγούστου.



Σχήμα Π ΙΙΙ-53. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (4).

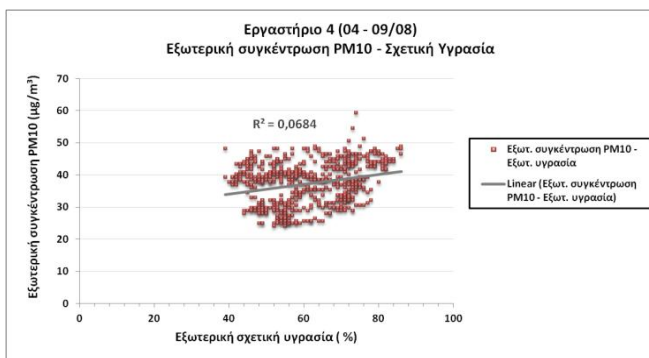
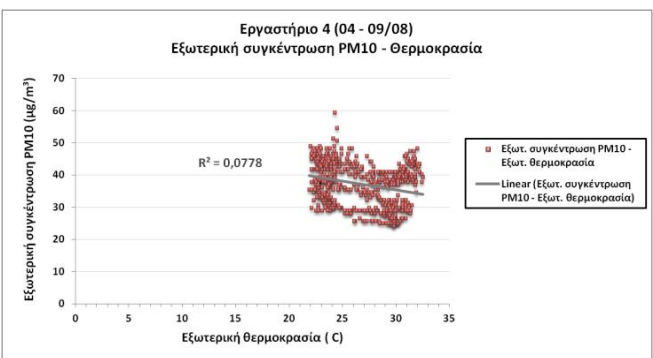


Σχήμα Π ΙΙΙ-54. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη εργαστήριο (4).



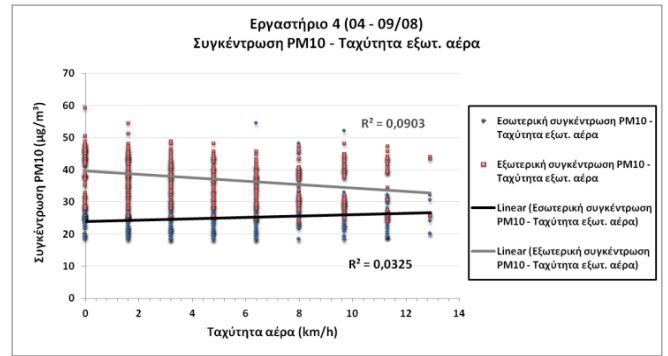
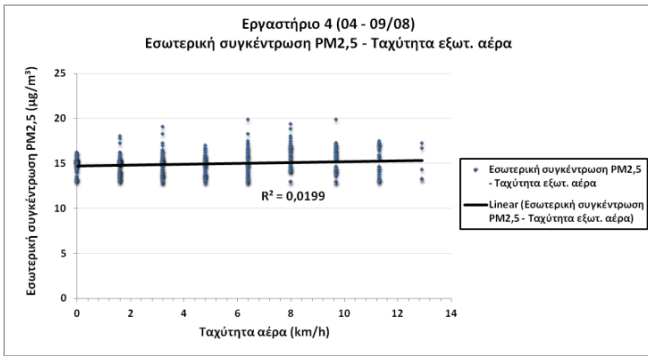
Σχήμα Π ΙΙΙ-55. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM₁₀) και της θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το εργαστήριο 4.

Σχήμα Π ΙΙΙ-56. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM₁₀) και της σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το εργαστήριο 4.

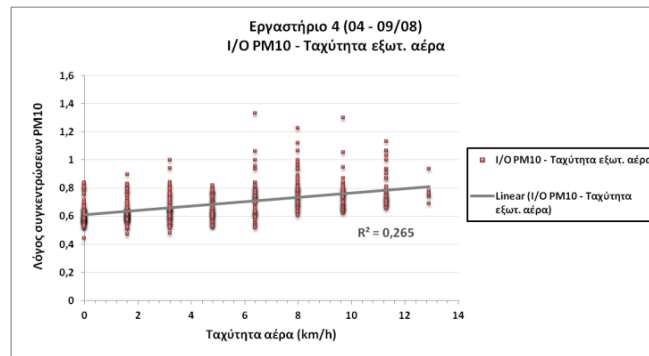


Σχήμα Π ΙΙΙ-57. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM₁₀ και της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το εργαστήριο 4.

Σχήμα Π ΙΙΙ-58. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM₁₀ και της σχετικής υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το εργαστήριο 4.

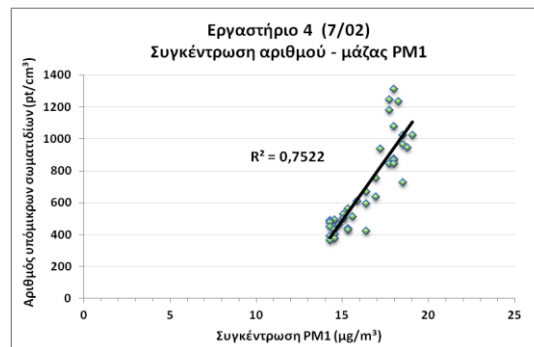


Σχήμα Π ΙΙΙ-59. Διαγράμματα συσχετισημεταξύ συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (4).

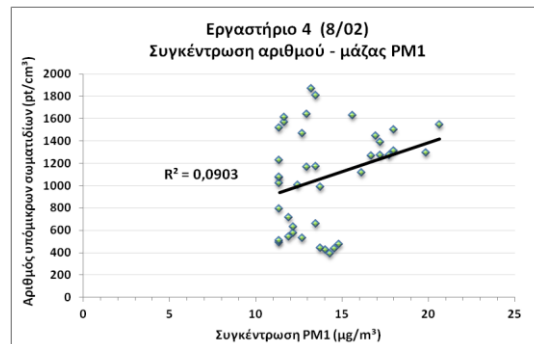


Σχήμα Π ΙΙΙ-60. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM₁₀) και της ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη εργαστήριο (4).

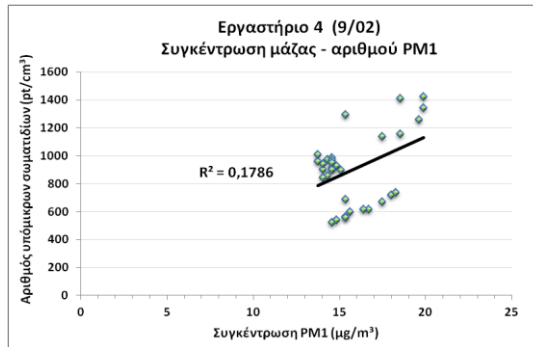
Π ΙΙΙ-4.1.2. Συγκέντρωση αριθμού



Σχήμα Π ΙΙΙ-61. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 07/02 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 4.



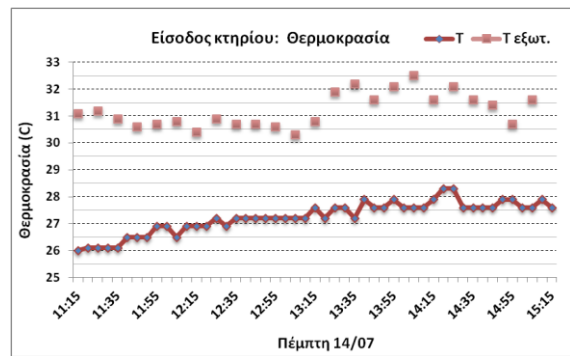
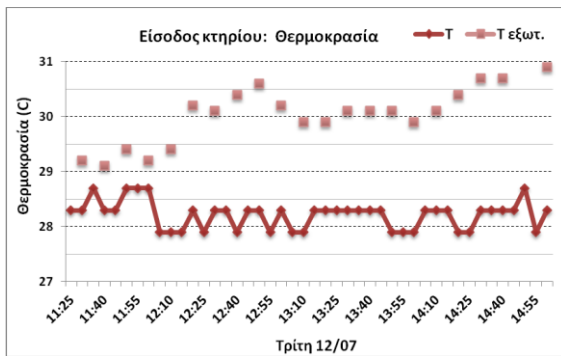
Σχήμα Π ΙΙΙ-62. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 08/02 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 4.



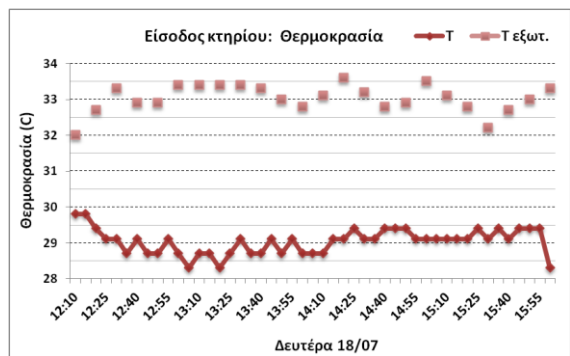
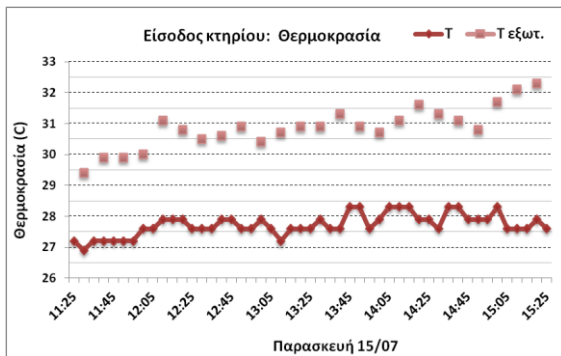
Σχήμα Π ΙΙΙ-63. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 09/02 (12:00 – 15:00) στο εργαστήριο 4.

Π ΙΙΙ-5. Υπό μελέτη χώρος: Είσοδος κτηρίου

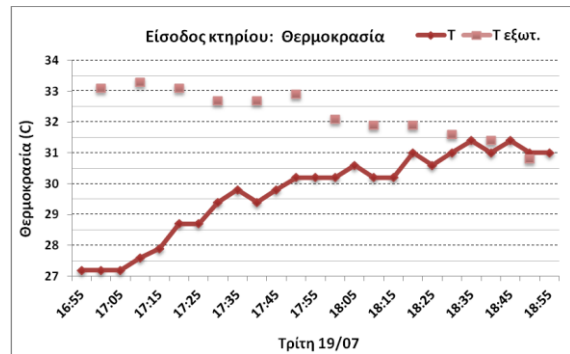
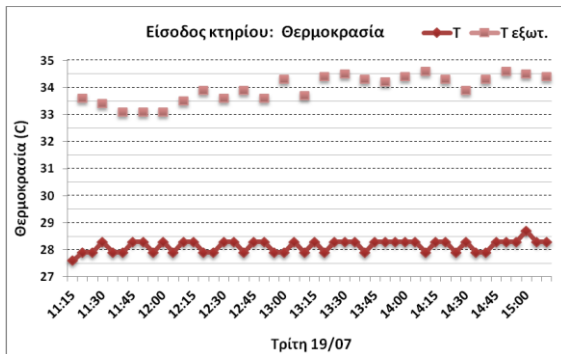
Π ΙΙΙ-5.1. Θερμοκρασία



Σχήμα Π ΙΙΙ-64. Διαγράμματα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη χώρο στις 12 και 14 Ιουλίου, για το διάστημα 11:00 – 15:00.

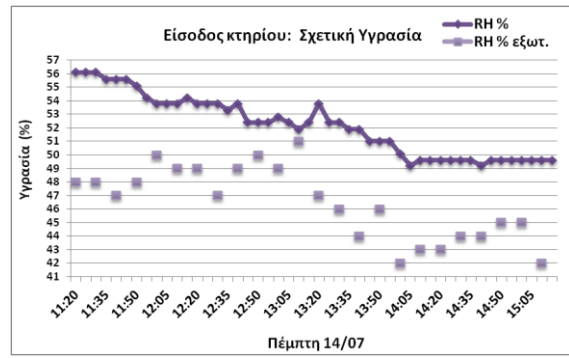
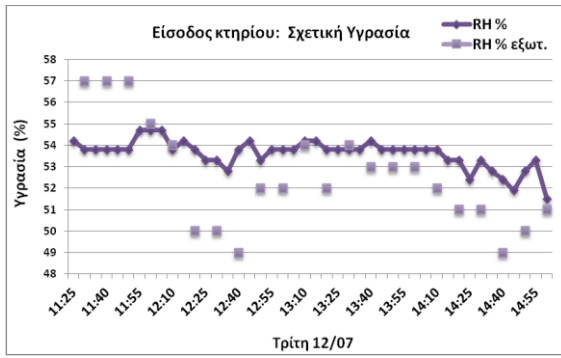


Σχήμα Π ΙΙΙ-65. Διαγράμματα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη χώρο στις 15 και 18 Ιουλίου, για το διάστημα 11:00 – 15:00.

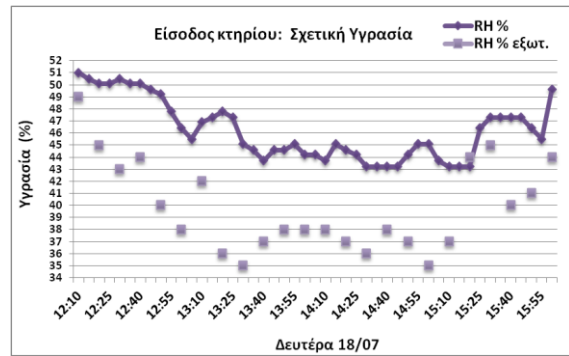


Σχήμα Π ΙΙΙ-66. Διαγράμματα της στιγμιαίας θερμοκρασίας στον υπό μελέτη χώρο στις 19 Ιουλίου, για το διάστημα 11:00 – 15:00 και 17:00 – 19:00.

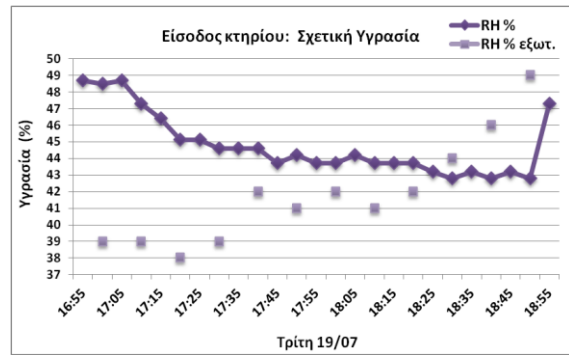
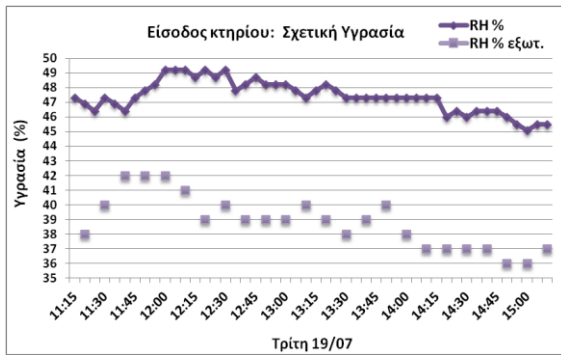
Π III-5.2. Σχετική υγρασία



Σχήμα Π III-67. Διαγράμματα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο στις 12 και 14 Ιουλίου, για το διάστημα 11:00 – 15:00.

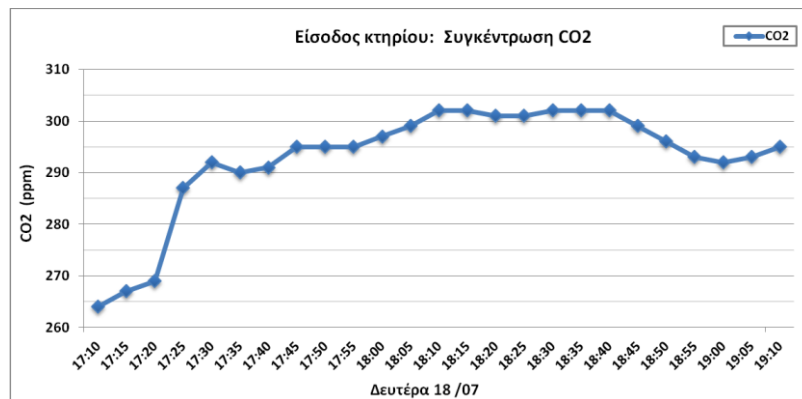


Σχήμα Π III-68. Διαγράμματα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο στις 15 και 18 Ιουλίου, για το διάστημα 11:00 – 15:00.



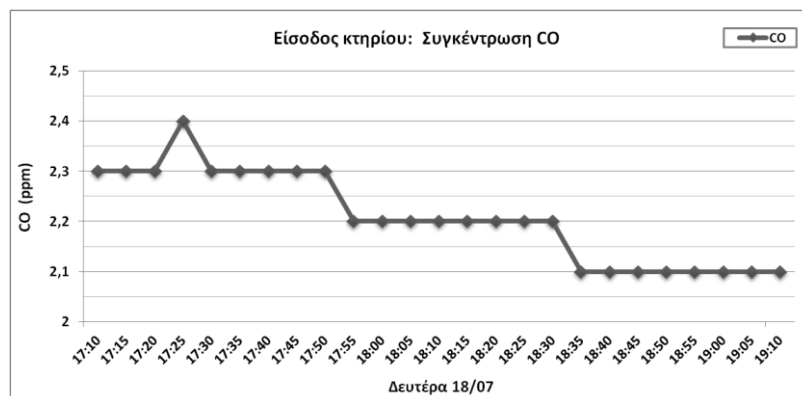
Σχήμα Π III-69. Διαγράμματα της στιγμιαίας σχετικής υγρασίας στον υπό μελέτη χώρο στις 19 Ιουλίου, για το διάστημα 11:00 – 15:00 και 17:00 – 19:00.

Π III-5.3. Διοξείδιο του άνθρακα



Σχήμα Π III-70. Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στον υπό μελέτη χώρο στις 18 Ιουλίου, για το διάστημα 17:00 – 19:00.

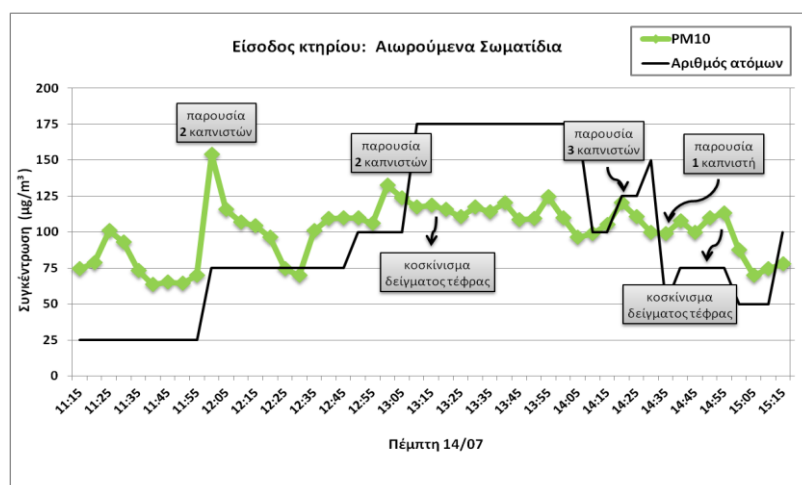
Π III-5.4. Μονοξείδιο του άνθρακα



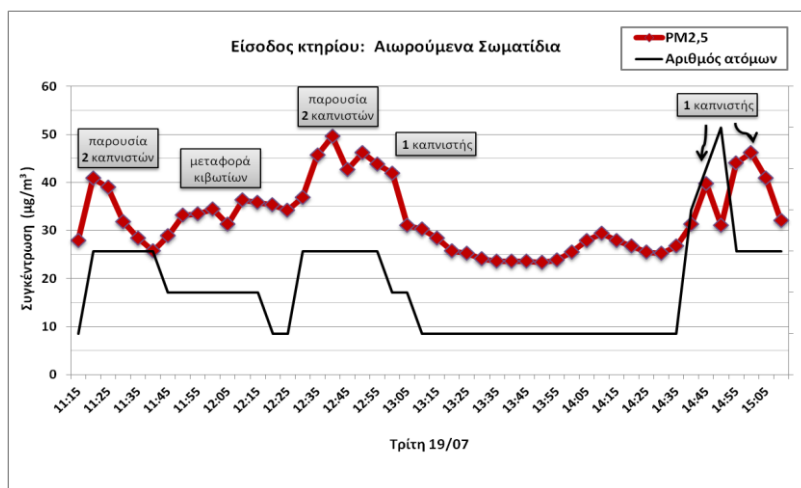
Σχήμα Π III-71. Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στον υπό μελέτη χώρο στις 18 Ιουλίου, για το διάστημα 17:00 – 19:00.

Π III-5.5. Αιωρούμενα σωματίδια

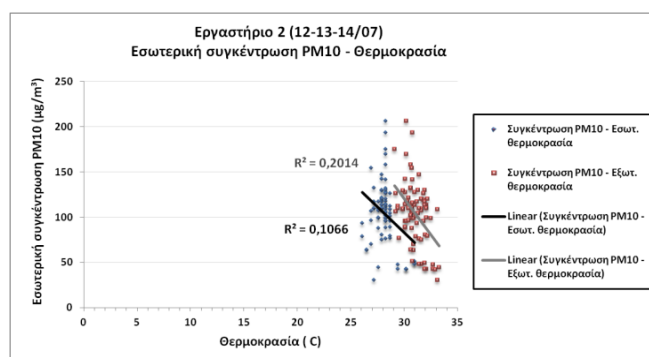
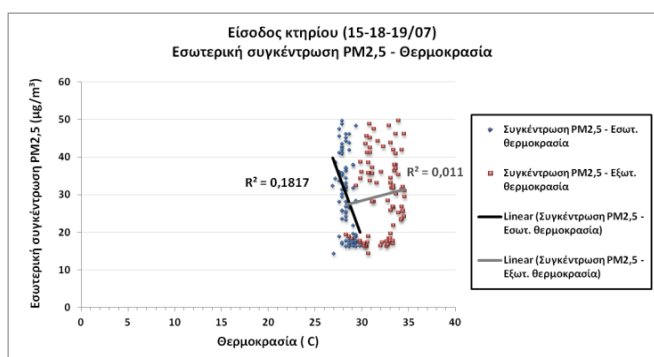
Π III-5.5.1. Συγκέντρωση μάζας



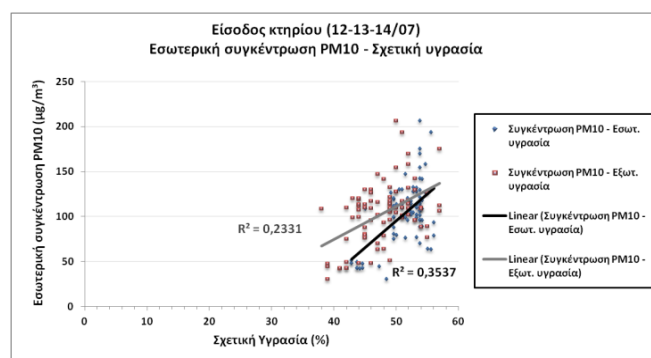
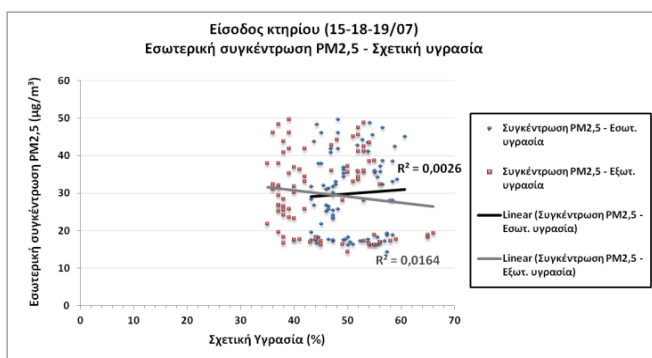
Σχήμα Π III-72. Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στον υπό μελέτη χώρο στις 14 Ιουλίου, για το διάστημα 17:00 – 19:00.



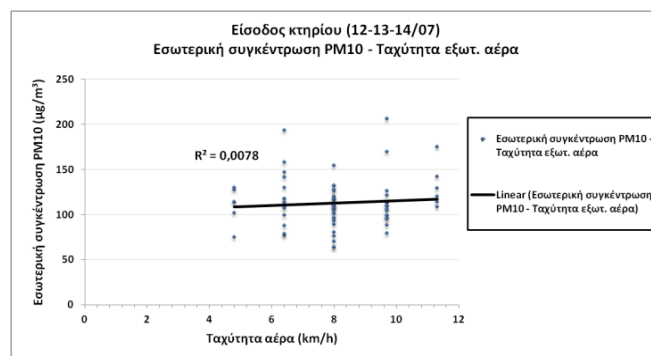
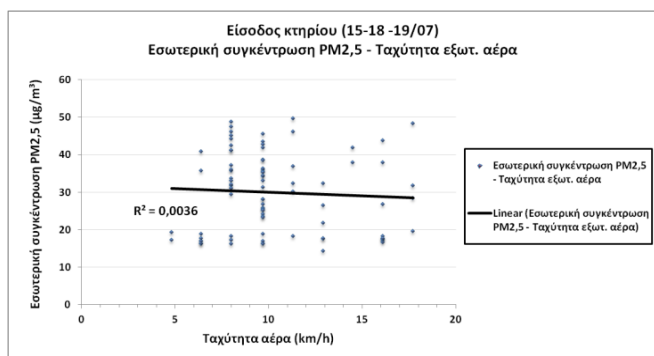
Σχήμα Π ΙΙΙ-73. Διάγραμμα της στιγμιαίας συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} στον υπό μελέτη χώρο στις 19 Ιουλίου, για το διάστημα 17:00 – 19:00.



Σχήμα Π ΙΙΙ-74. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος για το χώρο της εισόδου.

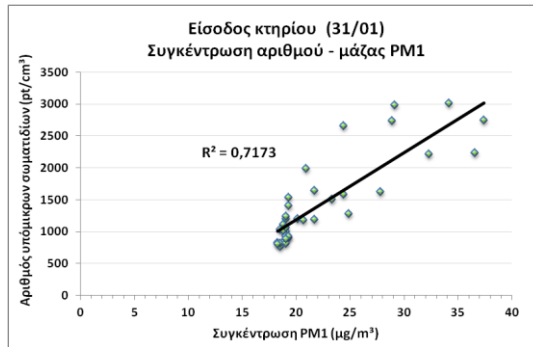


Σχήμα Π ΙΙΙ-75. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και σχετικής υγρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος για το χώρο της εισόδου.

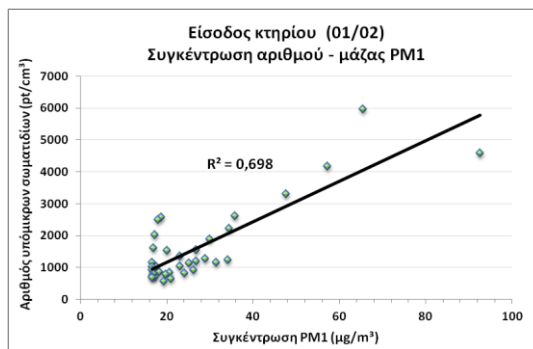


Σχήμα Π ΙΙΙ-76. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ εσωτερικού περιβάλλοντος και ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το χώρο της εισόδου.

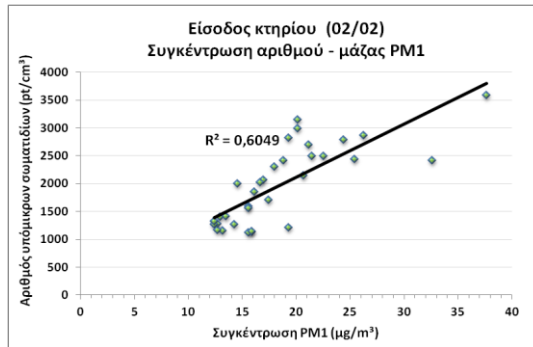
Π III-5.5.2. Συγκέντρωση αριθμού



Σχήμα Π III-77. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 31/01 (12:00 – 15:00) στο χώρο της εισόδου.



Σχήμα Π III-78. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 01/02 (12:00 – 15:00) στο χώρο της εισόδου.

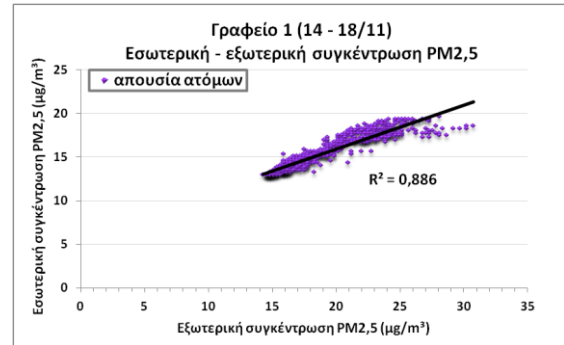
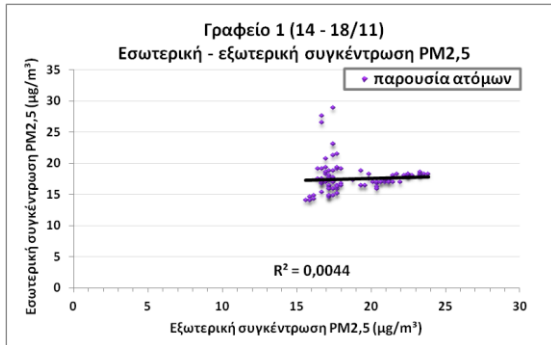


Σχήμα Π III-79. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 02/02 (12:00 – 15:00) στο χώρο της εισόδου.

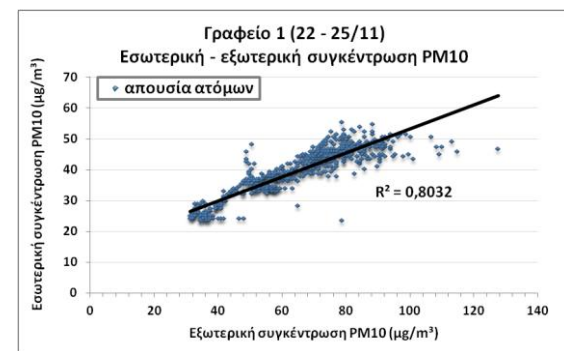
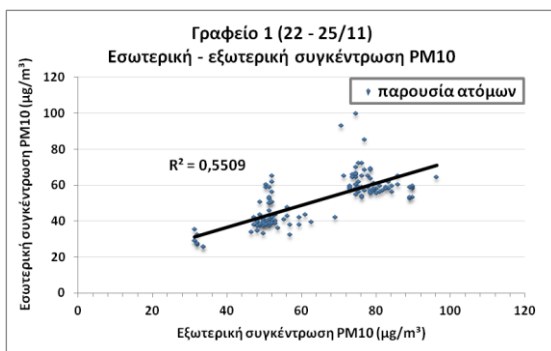
Π ΙΙΙ-6. Υπό μελέτη χώρος: Γραφείο 1

Π ΙΙΙ-6.1. Αιωρούμενα σωματίδια

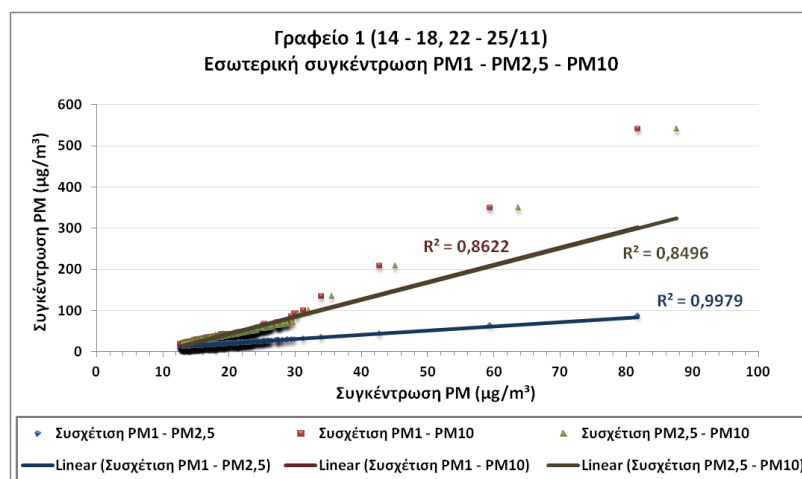
Π ΙΙΙ-6.1.1. Συγκέντρωση μάζας



Σχήμα Π ΙΙΙ-80. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του γραφειακού χώρου (1), για το διάστημα από 14 έως 18 Νοεμβρίου.



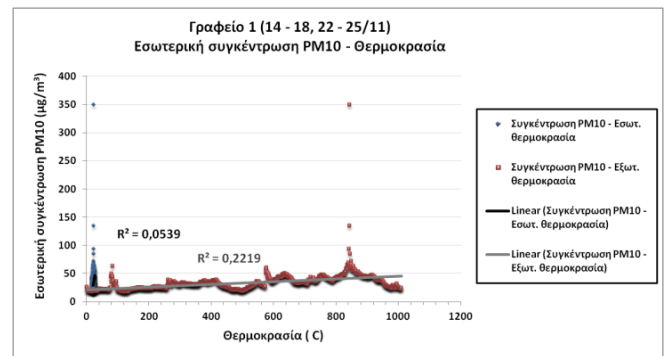
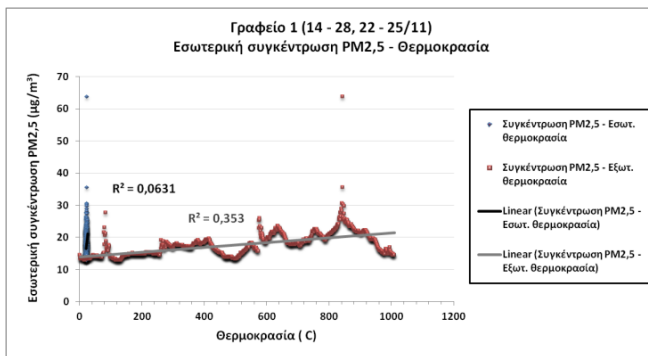
Σχήμα Π ΙΙΙ-81. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του γραφειακού χώρου (1), για το διάστημα από 22 έως 25 Νοεμβρίου.



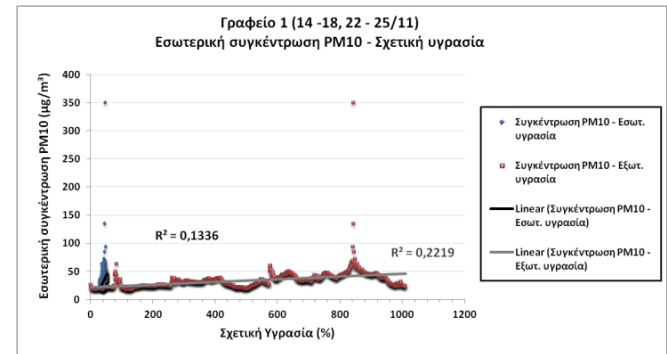
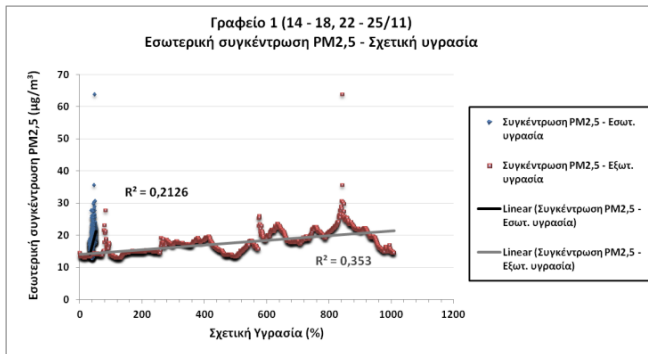
Σχήμα Π ΙΙΙ-82. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των τιμών εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM₁, PM_{2,5} και PM₁₀ για το γραφείο 1 στο διάστημα των μετρήσεων.



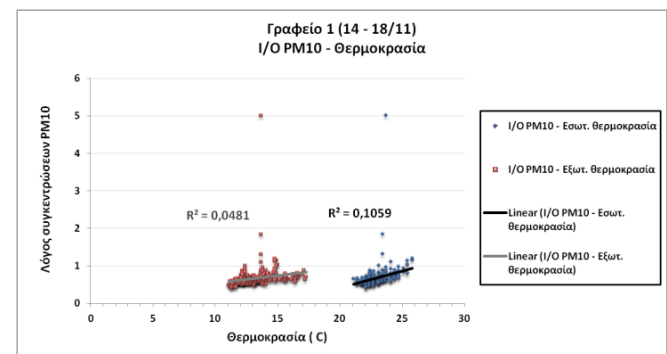
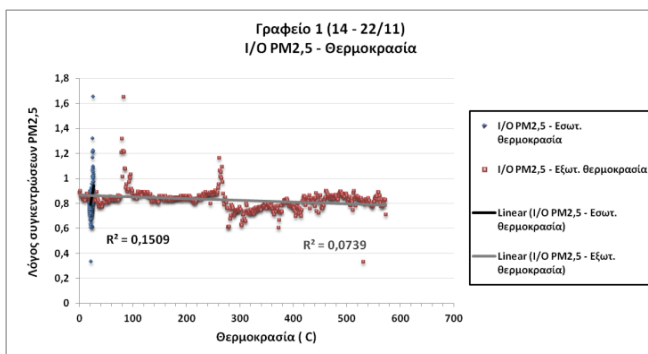
Σχήμα Π ΙΙΙ-83. Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου $PM_{2,5}/PM_{10}$ για το γραφείο 1 μεταξύ 14 με 18 και 22 με 25 Νοεμβρίου.



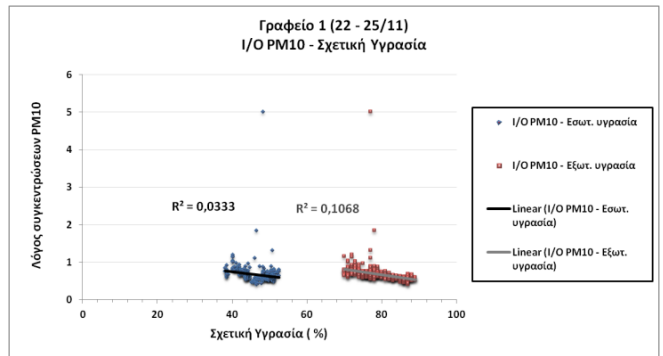
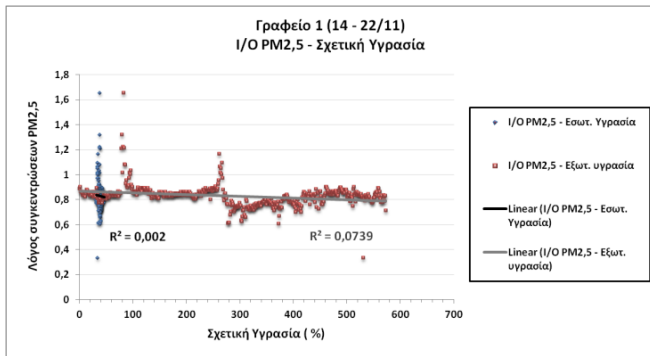
Σχήμα Π ΙΙΙ-84. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} και θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (1).



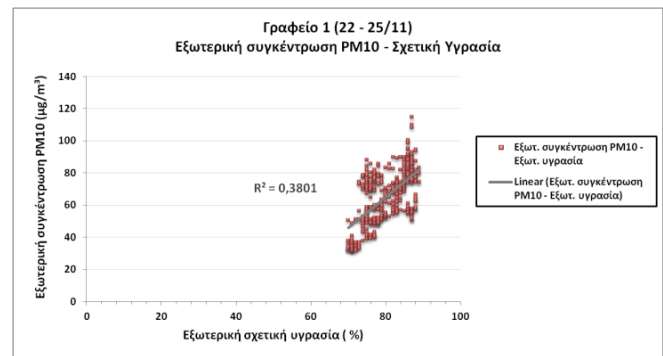
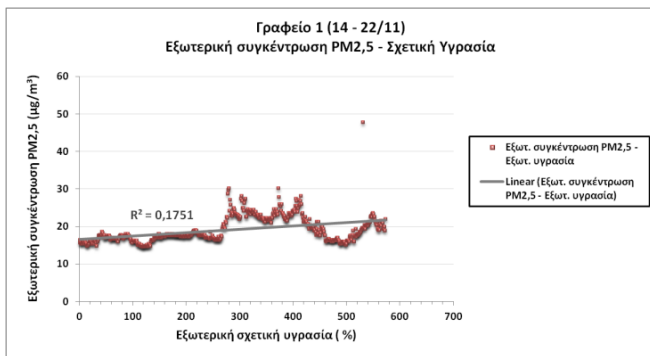
Σχήμα Π ΙΙΙ-85. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} και σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (1).



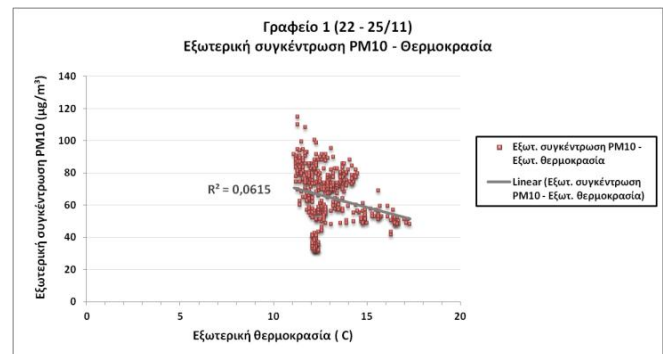
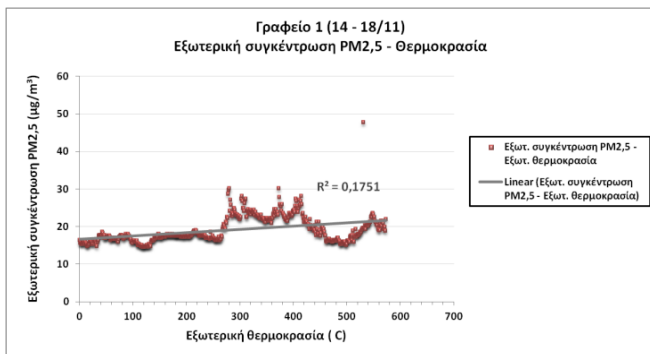
Σχήμα Π ΙΙΙ-86. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O ($PM_{2,5}$, PM_{10}) και της θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (1).



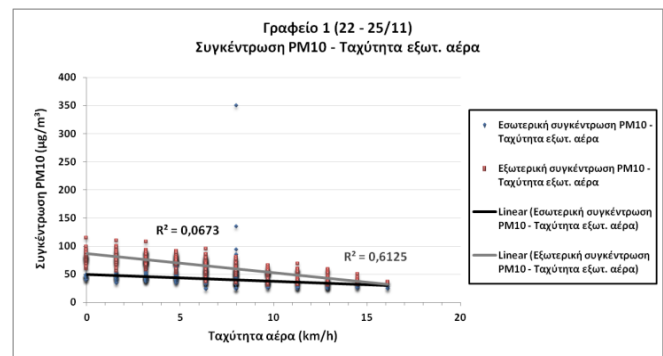
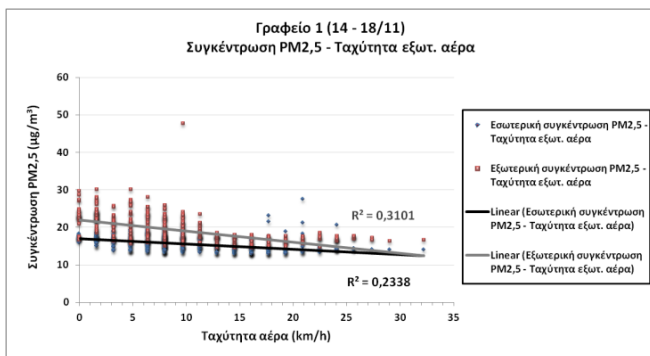
Σχήμα Π ΙΙΙ-87. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O ($PM_{2,5}$, PM_{10}) και της σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (1).



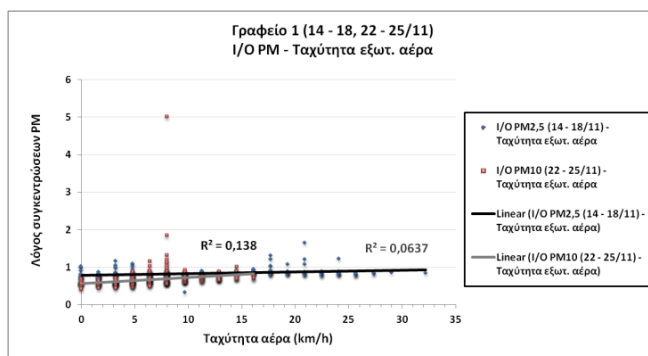
Σχήμα Π ΙΙΙ-88. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} και της σχετικής υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη γραφείο (1).



Σχήμα Π ΙΙΙ-89. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} και της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη γραφείο (1).

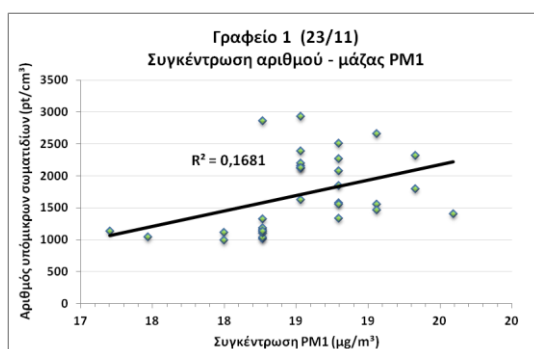


Σχήμα Π ΙΙΙ-90. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης μάζας $PM_{2,5}$, PM_{10} εσωτερικού περιβάλλοντος και ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη γραφείο (1).

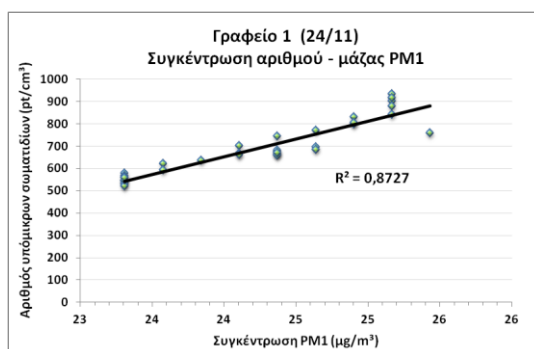


Σχήμα Π ΙΙΙ-91. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O ($PM_{2,5}$, PM_{10}) και της ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη γραφείο (1).

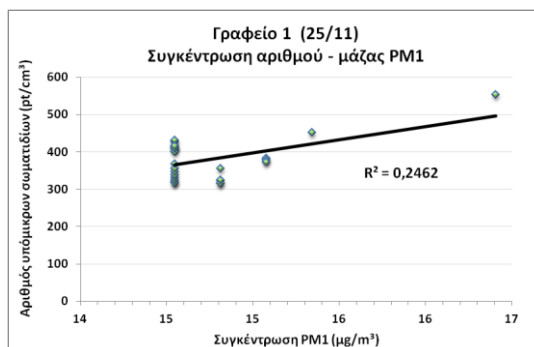
Π ΙΙΙ-6.1.2. Συγκέντρωση αριθμού



Σχήμα Π ΙΙΙ-92. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM_1 για τις 23/11 (12:00 – 15:00) στο γραφειακό χώρο 1.



Σχήμα Π ΙΙΙ-93. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM_1 για τις 24/11 (12:00 – 15:00) στο γραφειακό χώρο 1.

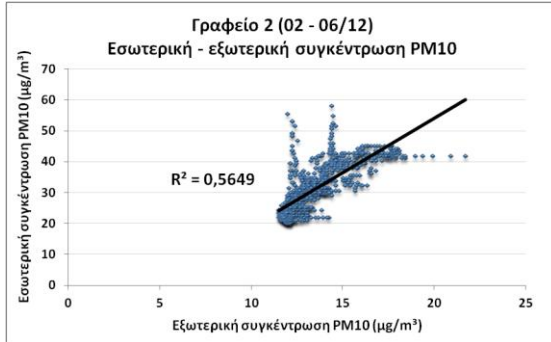


Σχήμα Π ΙΙΙ-94. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM_1 για τις 25/11 (12:00 – 15:00) στο γραφειακό χώρο 1.

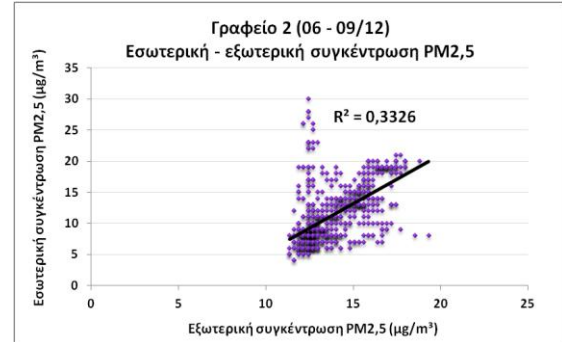
Π ΙΙΙ-7. Υπό μελέτη χώρος: Γραφείο 2

Π ΙΙΙ-7.1. Αιωρούμενα σωματίδια

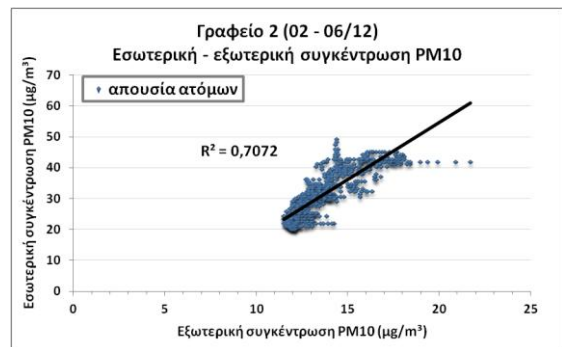
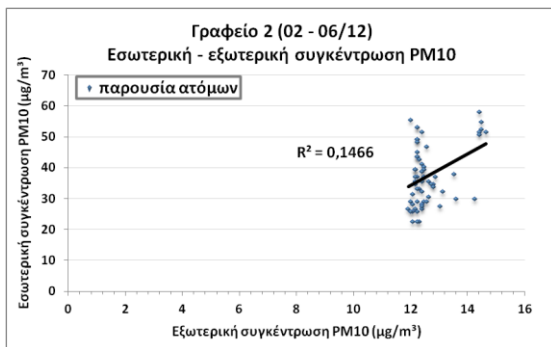
Π ΙΙΙ-7.1.1. Συγκέντρωση μάζας



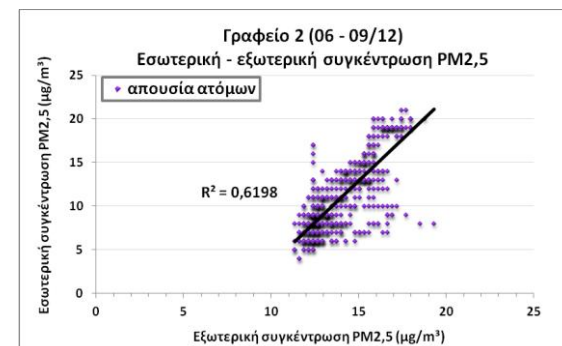
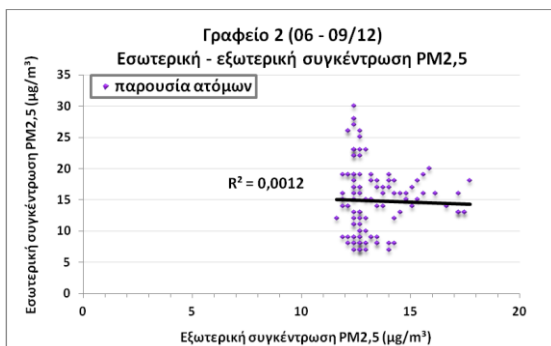
Σχήμα Π ΙΙΙ-95. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ για το σύνολο των μετρήσεων στο εξεταζόμενο γραφείο (2) από 2 έως 6 Δεκεμβρίου.



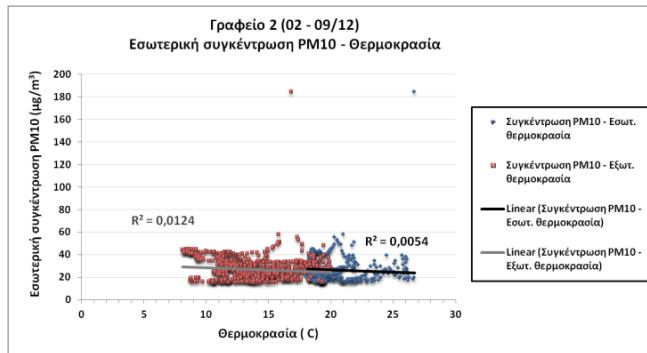
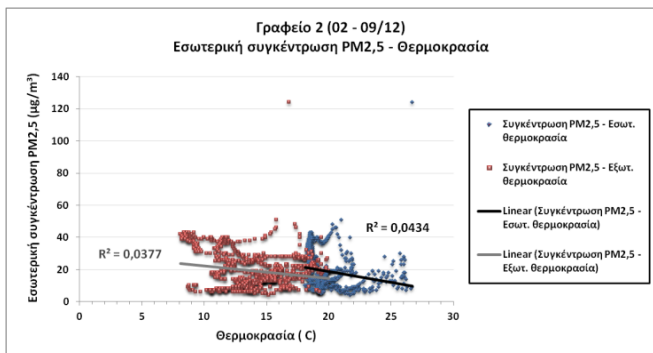
Σχήμα Π ΙΙΙ-96. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} για το σύνολο των μετρήσεων στο εξεταζόμενο γραφείο (2) από 6 έως 9 Δεκεμβρίου.



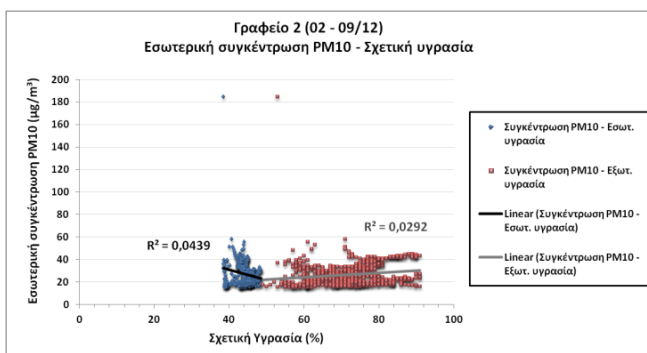
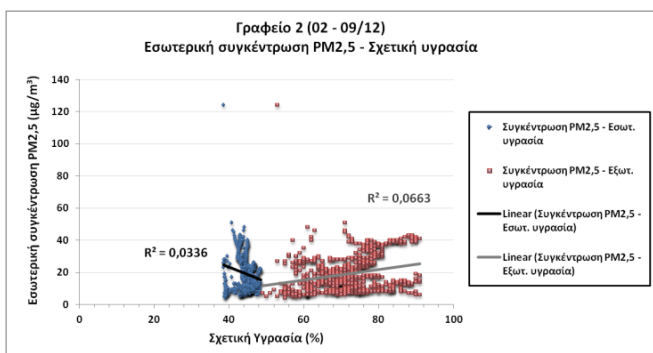
Σχήμα Π ΙΙΙ-97. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του γραφειακού χώρου (2), για το διάστημα από 2 έως 6 Δεκεμβρίου.



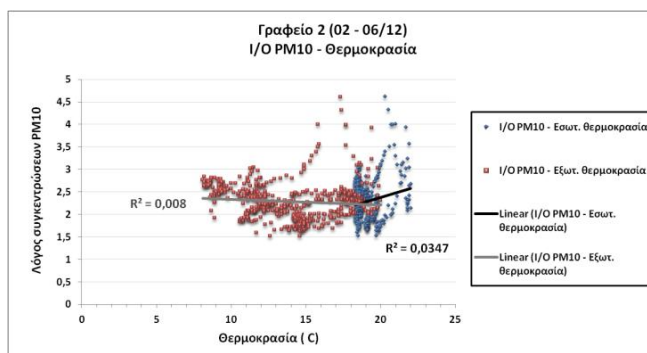
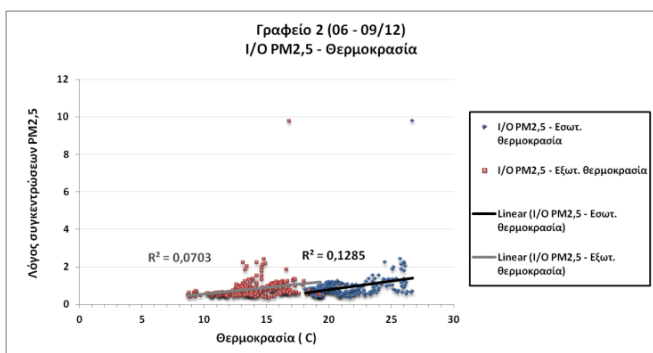
Σχήμα Π ΙΙΙ-98. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} κατά τη διάρκεια χρήσης και μη του γραφειακού χώρου (2), για το διάστημα από 6 έως 9 Δεκεμβρίου.



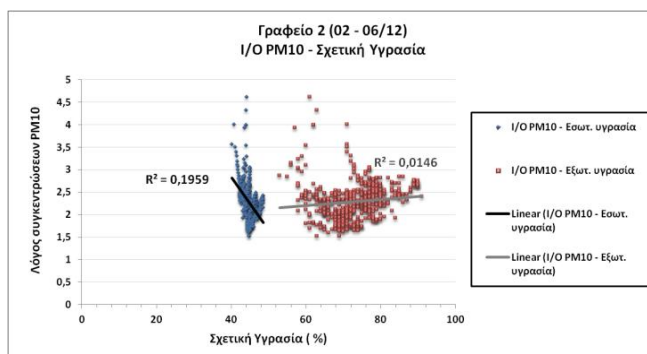
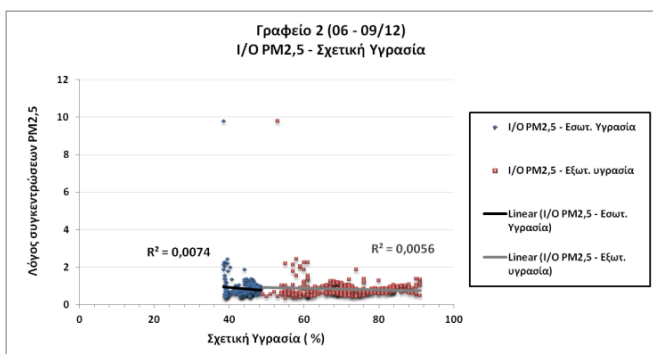
Σχήμα Π ΙΙΙ-99. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (2).



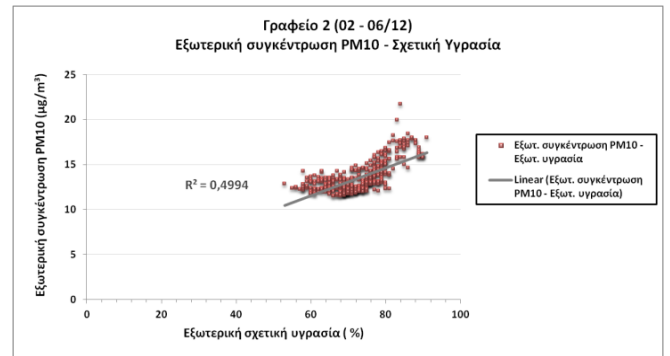
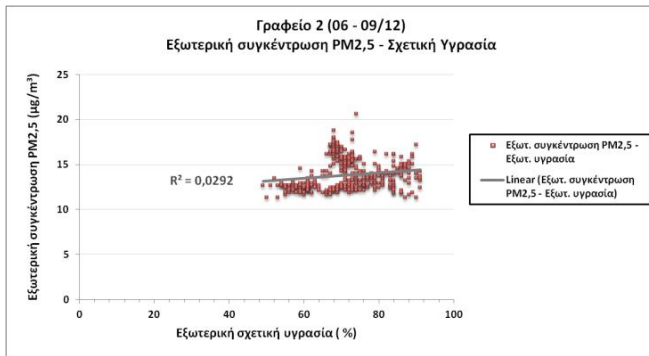
Σχήμα Π ΙΙΙ-100. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εσωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (2).



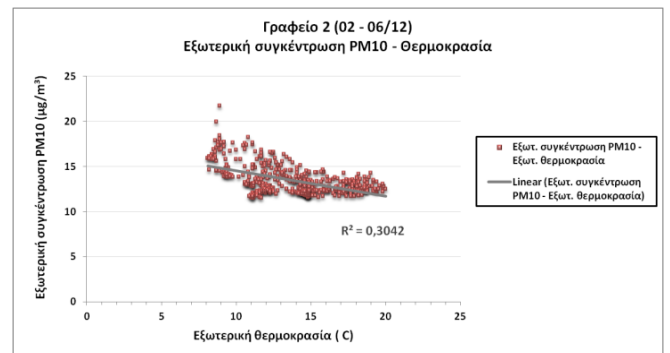
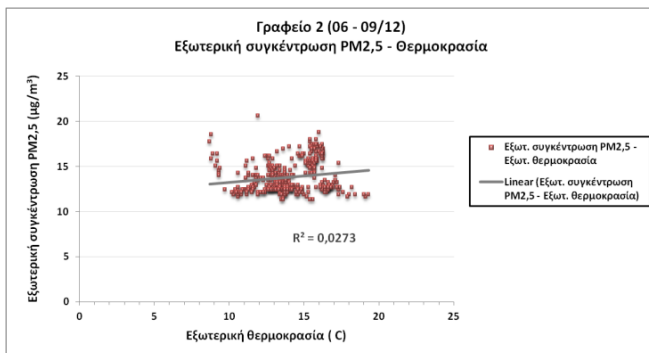
Σχήμα Π ΙΙΙ-101. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}, PM₁₀) και της θερμοκρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (2).



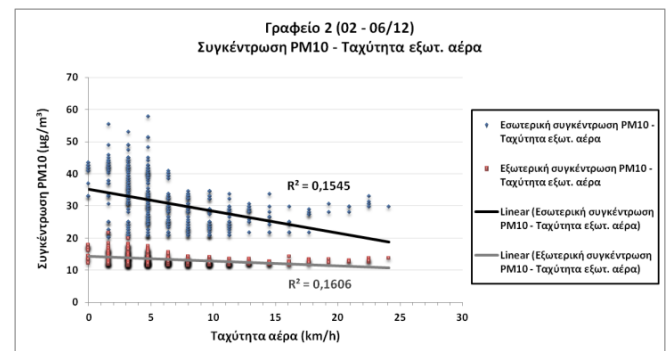
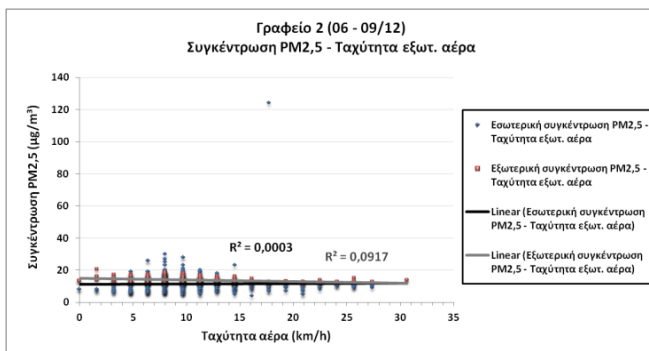
Σχήμα Π ΙΙΙ-102. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}, PM₁₀) και της σχετικής υγρασίας (εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος) για το υπό μελέτη γραφείο (2).



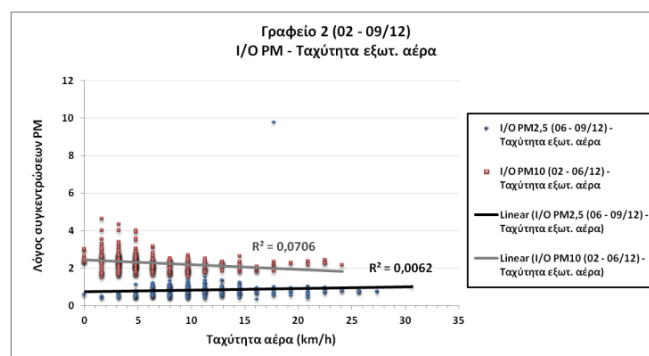
Σχήμα Π ΙΙΙ-103. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και της σχετικής υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη γραφείο (2).



Σχήμα Π ΙΙΙ-104. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ εξωτερικής συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ και της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος για το υπό μελέτη γραφείο (2).

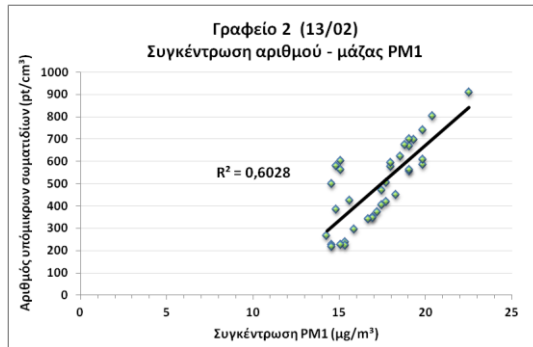


Σχήμα Π ΙΙΙ-105. Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης μάζας PM_{2,5}, PM₁₀ εσωτερικού περιβάλλοντος και ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη γραφείο (2).

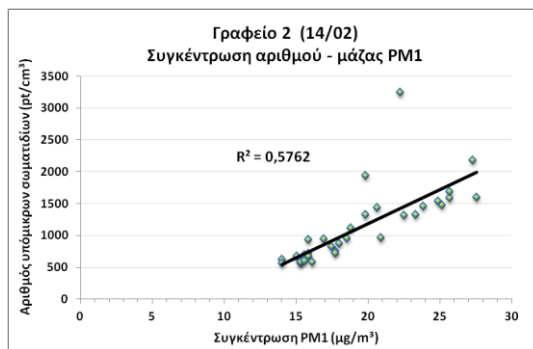


Σχήμα Π ΙΙΙ-106. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του λόγου I/O (PM_{2,5}, PM₁₀) και της ταχύτητας εξωτερικού αέρα για το υπό μελέτη γραφείο (2).

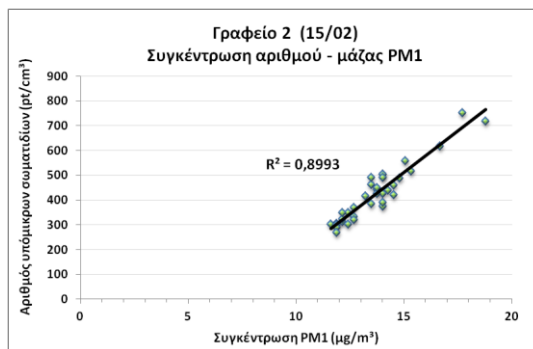
Π III-7.1.2. Συγκέντρωση αριθμού



Σχήμα Π III-107. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 13/02 (12:00 – 15:00) στο γραφειακό χώρο 2.

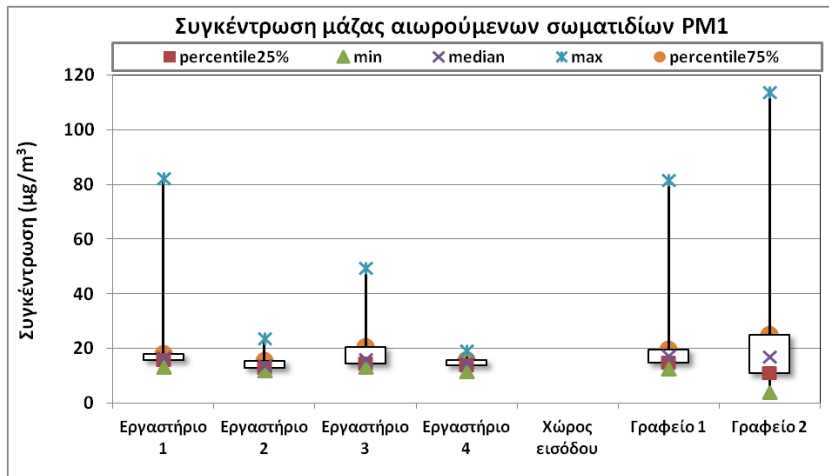


Σχήμα Π III-108. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 14/02 (12:00 – 15:00) στο γραφειακό χώρο 2.

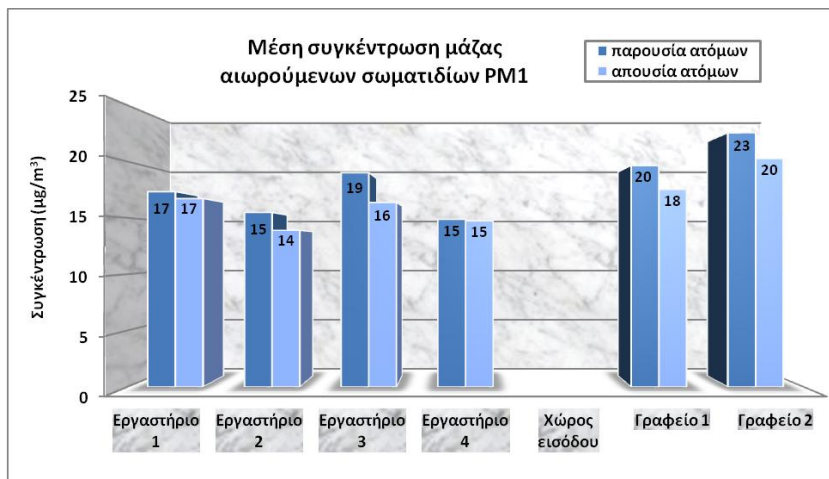


Σχήμα Π III-109. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ συγκέντρωσης αριθμού και συγκέντρωσης μάζας PM₁ για τις 15/02 (12:00 – 15:00) στο γραφειακό χώρο 2.

Π ΙΙΙ-8 Σύνοψη αποτελεσμάτων



Σχήμα Π ΙΙΙ-110. Εύρος τιμών συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων PM₁ ανά εξεταζόμενο χώρο.



Σχήμα Π ΙΙΙ-111. Μέσα επίπεδα συγκέντρωσης μάζας PM₁ κατά τα διαστήματα παρουσίας και απουσίας ατόμων, ανά εξεταζόμενο χώρο.

**Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων
συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων
στους εξεταζόμενους χώρους**

Υπό μελέτη χώρος:	Εργαστήριο 1	Εργαστήριο 2	Εργαστήριο 3	Εργαστήριο 4	Χώρος εισόδου	Γραφείο 1	Γραφείο 2	
Συνολική διάρκεια μετρήσεων								
Μέση εσωτ. συγκέντρωση μάζας (μg/m ³)	PM ₁	17	14	17	15	-	18	19
	PM _{2,5}	17	14	18	15	30	18	19
	PM ₁₀	32	23	34	25	103	34	27
Μέσος λόγος PM _{2,5} / PM ₁₀	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	0,53	0,63	0,53	0,61	-	0,55	0,67
	PM ₁₀	-	-	-	-	-	-	-
Μέση εξωτ. συγκέντρωση μάζας (μg/m ³)	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	18	18	22	18	-	19	14
	PM ₁₀	33	27	32	37	-	65	13
Μέσος λόγος I/O	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	0,94	0,86	0,90	0,84	-	0,83	0,82
	PM ₁₀	1,04	0,75	0,97	0,68	-	0,67	2,28
Συντελεστής R ² εσωτ. – εξωτ. συγκέντρωσης	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	0,6494	0,3530	0,8544	0,8415	-	0,6393	0,3326
	PM ₁₀	0,4125	0,1506	0,7335	0,3054	-	0,5485	0,5649
Παρουσία ατόμων								
Μέση εσωτ. συγκέντρωση μάζας (μg/m ³)	PM ₁	17	15	19	15	-	20	23
	PM _{2,5}	17	16	19	15	32	20	23
	PM ₁₀	34	28	41	25	113	42	33
Μέσος λόγος I/O	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	1	0,95	0,92	0,85	-	0,99	1,23
	PM ₁₀	1,20	1,11	1,08	0,75	-	0,84	3,30
Συντελεστής R ² εσωτ. – εξωτ. συγκέντρωσης	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	0,7637	0,4150	0,6070	0,5751	-	0,0044	0,0012
	PM ₁₀	0,2794	0,0613	0,6856	0,2229	-	0,5509	0,1466
Απουσία ατόμων								
Μέση εσωτ. συγκέντρωση μάζας (μg/m ³)	PM ₁	17	14	16	15	-	18	20
	PM _{2,5}	17	14	16	15	13	18	20
	PM ₁₀	31	21	31	24	32	33	27
Μέσος λόγος I/O	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	0,92	0,82	0,89	0,83	-	0,80	0,78
	PM ₁₀	1	0,72	0,94	0,62	-	0,62	2,28
Συντελεστής R ² εσωτ. – εξωτ. συγκέντρωσης	PM ₁	-	-	-	-	-	-	-
	PM _{2,5}	0,6579	0,7275	0,9717	0,8430	-	0,8860	0,6198
	PM ₁₀	0,6948	0,5739	0,8141	0,4092	-	0,8032	0,7072

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Αποτελέσματα μετρήσεων ρυθμού ισοδύναμης δόσης γ ακτινοβολίας (nSv/h)

Εξεταζόμενος χώρος	Επιμέρους μετρήσεις			Μέση τιμή (nSv/h)
	Μέτρηση Α	Μέτρηση Β	Μέτρηση Γ	
Εργαστήριο 1	70,0	83,1	76,8	76,6
Εργαστήριο 2	79,3	80,9	74,3	78,2
Εργαστήριο 3	60,0	72,1	69,2	67,1
Εργαστήριο 4	70,0	75,9	79,9	75,3
Χώρος εισόδου	62,6	57,1	72,2	64,0
Γραφείο 1	60,0	75,9	80,2	72,0
Γραφείο 2	64,6	81,4	77,1	74,4

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

Καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010).

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	20	26	40	45
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	20	26	35	45
θερινής λειτουργίας	20	26	35	45
χειμερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	20	26	35	45
θερινής λειτουργίας	20	26	35	45
χειμερινής λειτουργίας	20	26	35	45
Οικοτροφείο και κοπώνας	20	26	40	45
Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά.	20	26	40	45
Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά.	20	26	35	50
Εσπαστόριο	20	26	35	50
Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	20	26	35	50
Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή	20	26	35	50
Θέατρο, κινηματογράφος	20	26	35	50
Χώρος συναυλιών	20	26	35	50
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	20	23	35	50
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	20	26	35	45
Τράπεζα	20	26	35	45
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	20	26	35	50
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	18	25	35	45
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	18	26	35	50
Λουτρό (κοινόχρηστο)	22	26	40	50
Νηπιαγωγείο	20	26	35	45
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης	20	26	35	45
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	20	26	35	45
Φροντιστήριο, ωδείο	20	26	35	45
Νοσοκομείο, κλινική	22	26	35	50
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	22	25	35	50
Χειρουργείο (τακτικό)	18	20	35	55
Εξωτερικά ιατρεία	20	26	35	50
Αίθουσες αναμονής	20	26	35	50

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	22	26	35	50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία	22	26	40	45
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	20	26	40	45
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	26	40	45
Αστυνομική διεύθυνση	20	26	35	45
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	19	25	35	45
Κατάστημα, φαρμακείο,	20	26	35	45
Ινστιτούτο γυμναστικής	20	26	35	45
Κουρείο, κομμωτήριο	20	26	35	45
Γραφείο	20	26	35	45
Βιβλιοθήκη	20	26	35	50

Στάθμη γενικού φωτισμού (Lux) και εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού (W/m²) κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010).

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]*	Ισχύς για κτήριο αναφοράς [W/m ²]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	200	6,4	0,8
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	300	9,6	0,8
θερινής λειτουργίας	300	9,6	0,8
χειμερινής λειτουργίας	300	9,6	0,8
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	300	9,6	0,8
θερινής λειτουργίας	300	9,6	0,8
χειμερινής λειτουργίας	300	9,6	0,8
Οικοτροφείο και κοπώνας	300	9,6	0,8
Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά.	250	8,0	0,8
Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά.	100	3,2	0,5
Εσπιατόριο	200	6,4	0,8
Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	250	8,0	0,8
Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή	100	3,2	0,8
Θέατρο, κινηματογράφος	100	3,2	0,8
Χώρος συναυλιών	100	3,2	0,8
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	200	6,4	0,8
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	500	16,0	0,8
Τράπεζα	500	16,0	0,8
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	300	9,6	0,8
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	300	9,6	0,5
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	200	6,4	0,5
Λουτρό (κοινόχρηστο)	200	6,4	0,5
Νηπαγωγείο	300	9,6	0,8
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης	300	9,6	0,8
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	500	16,0	0,8
Φροντιστήριο, ωδείο	500	16,0	0,8
Νοσοκομείο, κλινική	300	9,6	0,8
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	100	3,2	0,8
Χειρουργείο (τακτικό)	1000	32	0,8
Εξωτερικών ιατρείων	500	16,0	0,8

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]*	Ισχύς για κτήριο αναφοράς [W/m ²]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]
Αίθουσες αναμονής	300	9,6	0,8
Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	500	16,0	0,8
Ψυχιατρείο, ίδρυμα απόρων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία	300	9,6	0,8
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	300	9,6	0,8
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	300	9,6	0,8
Αστυνομική διεύθυνση	500	16,0	0,8
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	300	9,6	0,8
Κατάστημα, φαρμακείο,	500	16	0,8
Ινστιτούτο γυμναστικής	400	12,8	0,8
Κουρείο, κομμωτήριο	400	12,8	0,8
Γραφείο	500	16,0	0,8
Βιβλιοθήκη	500	16,0	0,8

* lx = lm/m².