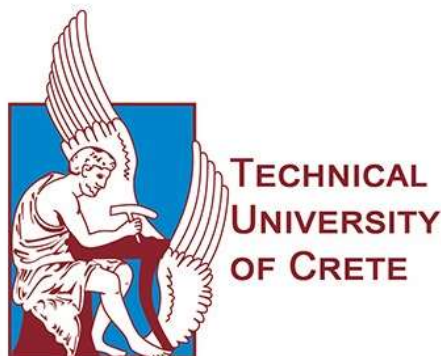


Πολυτεχνείο Κρήτης Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος



Τίτλος διπλωματικής εργασίας:

*«Χαρακτηρισμός αιωρούμενων σωματιδίων σε
εσωτερικούς χώρους και προσδιορισμός της ανθρώπινης
έκθεσης και δόσης.»*

Ονοματεπώνυμο: Παντελάκη Χριστίνα

Επιβλέπων Καθηγητής: Λαζαρίδης Μ.

Μέλη επιτροπής: Τσούτσος Θ. και Κοπανάκης Η.

Χανιά, 2018.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Καθ. Μ. Λαζαρίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων για την παραχώρηση τόσο του εργαστηρίου, όσο και των απαραίτητων τεχνολογιών για την διεξαγωγή των δειγματοληψιών μου.

Ιδιαίτέρως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Η. Κοπανάκη για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας, όπως επίσης και τις κα Σ. Χατουτσίδου και κα Ε. Χαλβατζάκη για την πολύτιμη βοήθεια τους στην κατανόηση ορισμένων θεμάτων που προέκυψαν κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Ευχαριστώ επίσης τους κυρίους Δ. Ανδρεαδάκη, Σ. Πετρουλάκη και Α. Βαζάκα που μου επέτρεψαν να διεξάγω δειγματοληψίες στον χώρο τον οποίο δίδασκαν χωρίς να παρεμβαίνουν σε αυτές.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ε. Κατσίβελα και τον κ. Ν. Λυδάκη – Σημαντήρη που μου παραχώρησαν μέρος του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του ΤΕΙ Κρήτης για την διεκπεραίωση των εκχυλίσμων στα φίλτρα που είχαν χρησιμοποιηθεί, όπως επίσης και τον Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος κ. Ν. Νικολαΐδη και την συνεργάτιδά του κα. L. Saru, για την εξυπηρέτηση και βοήθεια στη χημική ανάλυση για την εύρεση της συγκέντρωσης των μετάλλων.

Τέλος, το «ευχαριστώ» είναι λίγο, για όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν, όχι μόνο κατά τη διεξαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά καθ' όλη τη διάρκεια φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Περίληψη

Η μελέτη της παρουσίας των Αιωρούμενων Σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους είναι άκρως σημαντική, καθώς η εκτίμηση των επιπτώσεων τους στον άνθρωπο είναι εξαιρετικά πολύπλοκο ζήτημα για την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να εκτιμηθεί εάν η αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου της Αρχιτεκτονικής Σχολής του Πολυτεχνείου Κρήτης επηρεάζεται, ως προς τα αιωρούμενα σωματίδια που υπάρχουν σε αυτήν, από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των μαθημάτων καθώς και να προσδιοριστεί η ανθρώπινη δόση.

Υπολογίστηκε ότι η μέση συγκέντρωση στην οποία εκτίθονταν οι φοιτητές κατά την παρουσία τους στον χώρο ήταν τα σωματίδια PM_{10} ίση με $67 \mu g/m^3 \pm 54 \mu g/m^3$, και για τα $PM_{2,5}$ ίση με $37 \mu g/m^3 \pm 5 \mu g/m^3$. Οι αντίστοιχες τιμές συγκέντρωσης στο εξωτερικό περιβάλλον είναι για τα PM_{10} ίση με $33 \mu g/m^3 \pm 18 \mu g/m^3$, και για τα $PM_{2,5}$ ίση με $22 \mu g/m^3 \pm 4 \mu g/m^3$. Από τη μέτρηση του πλήθους των αιωρούμενων σωματιδίων προέκυψε ότι η μέση τιμή στην αίθουσα ήταν $1,10$ σωματίδια/ $cm^3 \pm 0,1$ σωματίδια/ cm^3 , ενώ κατά την παρουσία ατόμων σε αυτή η τιμή ήταν $1,55$ σωματίδια/ $cm^3 \pm 0,5$ σωματίδια/ cm^3 . Από τον έλεγχο των μετάλλων προέκυψε ότι τα στοιχεία που κυριαρχούν είναι αυτά του φλοιού της γης. Τα βαρέα μέταλλα που ανιχνεύθηκαν ήταν αυτά που συνήθως υπάρχουν σε χρώματα (Χρώμιο, Βάριο, Σίδηρος, Μόλυβδος) με τις συγκεντρώσεις τους όμως αρκετά χαμηλότερες από τα επιτρεπόμενα όρια για την ατμόσφαιρα. Από τον προσδιορισμό της δόσης προέκυψε ότι στους άνδρες είναι υψηλότερη στην εκτός θώρακος και την τραχειοβρογχική περιοχή, ενώ στην κυψελιδική περιοχή η δόση βρέθηκε ίδια σε άνδρες και γυναίκες. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η μάζα των λεπτόκοκκων σωματιδίων που επικάθονται στο Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα αυξάνεται στις βαθύτερες περιοχές του.

Abstract

The research of indoor aerosols is significant because of their mazy effects on human's health. Purpose of this thesis is to estimate the affection of painting and sketching to indoor aerosols. The research took place in the Technical University of Crete and specifically in a class of the Architecture School where students are used to paint and sketch. Moreover, the total dose in human's respiratory system was calculated

The mean concentration of aerosols inside the class was $67 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{10} and $37 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$. The concentration of outdoor aerosols was $33 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{10} and $22 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$. The number of particulate matters was $1,10 \text{ PM}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ PM}/\text{cm}^3$ and $1,55 \text{ PM}/\text{cm}^3 \pm 0,5 \text{ PM}/\text{cm}^3$.

The most of metals that were found in the class was crustal materials. As for the heavy metals, those that usually found in paints, were detected such as Chromium, Barium, Ferrous and Lead. Although their concentration was quite lower than the limits that have been setted.

As for the human dose the results shown that men have higher dose than women and the mass of fine particles was generally bigger at the deeper human respiratory track.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract	5
Πίνακας εικόνων:	7
Πίνακας σχημάτων	8
Πίνακες	10
1.1. Εισαγωγή	12
1.2. Μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων	12
1.3. Ατμοσφαιρικά αεροζόλ.....	14
1.4. Αεροζόλ εσωτερικών χώρων.....	17
1.4.1. Εκπομπές	17
1.4.2. Χημική σύσταση.....	18
1.4.3. Βιοαεροζόλ	19
1.5. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία.....	20
1.6. Μέτρηση αεροζόλ.....	21
1.7. Δόση και Έκθεση των ανθρώπων σε αιωρούμενα σωματίδια.....	24
1.7.1. Το αναπνευστικό σύστημα	24
1.7.2. Παράμετροι φυσιολογίας και εναπόθεση των σωματιδίων στο ΑΑΣ.	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°	26
2.1. Εισαγωγικά στοιχεία μετρήσεων.	26
2.2. Πειραματική διαδικασία	27
2.2.1. Τοποθεσίες δειγματοληψίας	27
2.2.2. Οργανολογία	32
2.2.2.1. Προσκραυστήρας διαχωρισμού Andersen C.I.....	32
2.2.2.2. DUSTRAK και DUSTRAK II	37
2.2.2.3 DUSTRAK DRX:	38
2.2.2.3 Optical Particle Counter (OPS)	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°	42
3.1. Μέτρηση μετάλλων.....	42
3.1.1 Πρωτόκολλο χώνευσης	42
3.1.2 Διάταξη φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS)	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°	45
4.1 Μοντέλο ExDoM 2	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	47
5.1. Αποτελέσματα δειγματοληψιών.....	47

5.2. Αποτελέσματα ICP-MS	60
5.3. Αποτελέσματα ExDoM 2	63
Συμπεράσματα	69
Παράρτημα Α.....	71
Παράρτημα Β.....	95
Παράρτημα Γ	97
Βιβλιογραφία	102

Πίνακας εικόνων:

Εικόνα 1:Μορφολογία αιωρούμενων σωματιδίων (Λαζαρίδης Μ. 2010).....	13
Εικόνα 2: Στατιστική κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων (Λαζαρίδης Μ. 2010).	14
Εικόνα 3: Τρόποι κατά τους οποίους εκπέμπονται αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα.	15
Εικόνα 4: Σύγκριση μεγέθους PM με τη διάμετρο του κόκκου της άμμου και της τρίχας του ανθρώπου.	17
Εικόνα 5: Οι πρωτογενείς εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικό χώρο.	18
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση βιοαεροζόλ.	20
Εικόνα 7: Αρχή λειτουργίας οργάνου μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.	22
Εικόνα 8: Αρχή λειτουργίας Andersen Cascade Impactor.	23
Εικόνα 9: Ανατομία του ΑΑΣ όπως χρησιμοποιείται στο μοντέλο ExDom 2.	25
Εικόνα 10: Αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου.	28
Εικόνα 11: Αίθουσα Ζωγραφικής και σχεδίου.	29
Εικόνα 12: Ο προσκρουστήρας Andersen κατά τη διάρκεια μέτρησης στην αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου.	29
Εικόνα 13: Εργαστήριο Προπλάσμάτων και Τεχνολογικών Εφαρμογών.....	30
Εικόνα 14: Ο σταθμός μετρήσεων.	30
Εικόνα 15: Τα όργανα του πειράματος τοποθετημένα στην οροφή του σταθμού μετρήσεων κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.	31
Εικόνα 16: Andersen impactor.	32
Εικόνα 17: Σχηματική απεικόνιση και παραλληλισμός της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων στα οκτώ στάδια του δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen, με τα στάδια του αναπνευστικού συστήματος (από το εγχειρίδιο χρήσης του οργάνου).....	34
Εικόνα 18: Καθαρό φίλτρο QFF μέσα σε τριβλίο και λαβίδα με το οποίο γίνεται η μεταφορά του.	36
Εικόνα19: Ζυγός ακριβείας Sartorius CP 225D (SartoriusAG, Goettingen, Germany).	36
Εικόνα 20: Φίλτρο QFF μετά την δειγματοληψία.	36
Εικόνα 21: Το φορητό όργανο Dustrakl.	37
Εικόνα 22: Αρχή λειτουργίας του Dustrak I και του Dustrak II.	38
Εικόνα 23: Το φορητό όργανο Dustrak DRX.....	39

Εικόνα 24: Αρχή λειτουργίας του Dustrak DRX.....	40
Εικόνα 25: Το όργανο OPS.....	40
Εικόνα 26: Αρχή λειτουργίας του OPS.	41
Εικόνα 27: Δείγμα κατά τη διάρκεια των εκχυλίσεων.	42
Εικόνα 28: Φωτογραφία του απαγωγού στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι εκχυλίσεις των φίλτρων.	43
Εικόνα 29: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος, ICP-MS.....	44
Εικόνα 30: Πρότυπο φάσμα διάταξης ICP-MS για δείγμα γήινης σκόνης.....	45
Εικόνα 31: Το περιβάλλον εργασίας του ExDoM 2 για εισαγωγή δεδομένων μάζας αιωρούμενων σωματιδίων.	46
Εικόνα 32: Το περιβάλλον εργασίας του ExDoM 2 για εισαγωγή δεδομένων πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων.	47
Εικόνα 33: Πίνακες ζωγραφικής από τον Πορτογάλο ζωγράφο Henrique Pousão (1859–1884). Χαρακτηριστικά παραδείγματα πινάκων στους οποίους έχουν ανιχνευθεί βαρέα μέταλλα στα υλικά των χρωμάτων.	61

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1: Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM ₁₀ στην αίθουσα Ζωγραφικής και σχεδίου της Αρχιτεκτονικής σχολής.....	48
Σχήμα 2: Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM ₁₀ στην αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου της Αρχιτεκτονικής σχολής.....	49
Σχήμα 3: Σύγκριση των συγκεντρώσεων PM ₁₀ εντός της αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του σταθμού μετρήσεων.	50
Σχήμα 4: Σύγκριση συγκεντρώσεων PM ₁₀ εντός της αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του σταθμού μετρήσεων.....	51
Σχήμα 5: Σύγκριση της συγκέντρωσης PM ₁₀ και PM _{2.5} εντός της αίθουσας ζωγραφικής και σχεδίου.....	52
Σχήμα 6: Συγκέντρωση PM ₁₀ εντός της αίθουσας ζωγραφικής χωρίς την παρουσία ατόμων σε αυτή.....	53
Σχήμα 7: Συγκέντρωση πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής.....	54
Σχήμα 8: Κατανομή συνολικού πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας. ..	55
Σχήμα 9: Απεικόνιση της κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής όπως αυτή προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.	56
Σχήμα 10: Απεικόνιση της κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής όπως αυτή προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.	56
Σχήμα 11: Απεικόνιση της κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων στο σταθμό μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης όπως αυτή προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.....	57

Σχήμα 12: Σύγκριση της συγκέντρωσης PM_{10} στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από το σταθμό μετρήσεων.	58
Σχήμα 13: Σύγκριση της συγκέντρωσης PM_{10} στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από το σταθμό μετρήσεων.	59
Σχήμα 14 :Αποτελέσματα συγκέντρωσης μετάλλων εντός της αίθουσας ζωγραφικής σε σύγκριση με αυτά του σταθμού μετρήσεων.	60
Σχήμα 15: Λόγοι μετάλλων ως προς Si.....	63
Σχήμα 16: Εναπόθεση στην εκτός θώρακος περιοχή σε γυναίκα και άνδρα.	64
Σχήμα 17: Εναπόθεση στην τραχειοβρογχική περιοχή σε γυναίκα και άνδρα.	64
Σχήμα 18: Εναπόθεση στις κυψελίδες σε γυναίκα και άνδρα.	65
Σχήμα 19: Πλήθος σωματιδίων που εναποτίθεται στην εκτός θώρακος περιοχή (ενήλικος άνδρας).....	66
Σχήμα 20: Πλήθος σωματιδίων που εναποτίθεται στην τραχειοβρογχική περιοχή (ενήλικος άνδρας).....	66
Σχήμα 21: Πλήθος σωματιδίων που εναποτίθεται στις κυψελίδες (ενήλικος άνδρας).	67
Σχήμα 22: Σύγκριση της συνολικής εναπόθεσης σε κάθε περιοχή του ΑΑΣ (ενήλικος άνδρας).....	68
Σχήμα 23: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής (14/11/17)	72
Σχήμα 24: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στον σταθμό μέτρησης (14/11/17).	73
Σχήμα 25: Σύγκριση διορθωμένων και μη τιμών του DRX.....	73
Σχήμα 26: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής (20/11/17).	74
Σχήμα 27: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στο σταθμό μετρήσεων (20/11/17).	75
Σχήμα 28: Σύγκριση PM_{10} και $PM_{2,5}$ (28/11/18).....	76
Σχήμα 29: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στο σταθμό μέτρησης (28/11/17).	77
Σχήμα 30: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (28/11/17).	78
Σχήμα 31: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ εντός της αίθουσας ζωγραφικής χωρίς την παρουσία ατόμων σε αυτή (08/01/18).	79
Σχήμα 32: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής χωρίς την παρουσία ατόμων σε αυτή (08/01/18).	79
Σχήμα 33: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στον σταθμό μετρήσεων (12/01/18).	80
Σχήμα 34: Πλήθος αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (26/02/18 και 27/02/18).	81
Σχήμα 35: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής (12/03/18).	82
Σχήμα 36: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ εντός της αίθουσας (12/03/18).	83
Σχήμα 37: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής (12/03/18).	84
Σχήμα 38: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (12/03/18).	85
Σχήμα 39: Απεικόνιση κατανομής μάζας εντός της αίθουσας (19/03/18).	86
Σχήμα 40: Απεικόνιση κατανομής μάζας στο σταθμό μετρήσεων (22/03/18).....	87

Σχήμα 41: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής (26/03/18).	88
Σχήμα 42: Απεικόνιση κατανομής μάζας εντός της αίθουσας ζωγραφικής (23/04/18).	89
Σχήμα 43: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών κατά την κοπή ακρυλικού και ξύλου (25/04/18).	90
Σχήμα 44: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών κατά την κοπή ξύλου MDF (26/04/18).	91
Σχήμα 45: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (07/05/18).	92
Σχήμα 46: Απεικόνιση κατανομής μάζας στο σταθμό μετρήσεων (09/05/18).	93
Σχήμα 47: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ στο σταθμό μετρήσεων (09/05/18).	94
Σχήμα 48: Σύγκριση της συγκέντρωσης μετάλλων εντός και εκτός της αίθουσας ζωγραφικής.	95
Σχήμα 49: Συγκέντρωση μετάλλου ως προς τη συγκέντρωση πυριτίου. Δείκτης φυσικής προέλευσης αερολυμάτων.	96
Σχήμα 50: Διαγράμματα δόσης (14/11/17).	97
Σχήμα 51: Διαγράμματα δόσης (20/11/17).	97
Σχήμα 52: Διαγράμματα δόσης (28/11/17).	98
Σχήμα 53: Διαγράμματα δόσης (08/01/18).	98
Σχήμα 54: Διαγράμματα δόσης (26/02/18 πλήθος).	99
Σχήμα 55: Διαγράμματα δόσης (27/02/18 πλήθος).	99
Σχήμα 56: Διαγράμματα δόσης (12/03/18).	100
Σχήμα 57: Διαγράμματα δόσης (25/04/18).	100
Σχήμα 58: Διαγράμματα δόσης (09/05/18 εξωτερική).	101

Πίνακες

Πίνακας 1: Πηγές και εκπομπές ατμοσφαιρικών αεροζόλ σε παγκόσμιο επίπεδο. (Αναπροσαρμοσμένο από (Hinds, 1999)).	16
Πίνακας 2: κατάλογος ουσιών που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους καθώς και η πηγή προέλευσής τους.	19
Πίνακας 3: Τα ανώτερα και κατώτερα όρια της διαμέτρου των διαφορετικών σταδίων του δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen.	33
Πίνακας 4: Βασικά χαρακτηριστικά οργάνων Dustrak I και II.	37
Πίνακας 5: Βασικά χαρακτηριστικά του οργάνου Dustrak DRX.	39
Πίνακας 6: Βασικά χαρακτηριστικά οργάνου OPS.	40
Πίνακας 7: Οι συνθήκες λειτουργίας του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών (ICP-MS 7500 cx coupled with Autosampler Series 3000, both by Agilent Technologies).	45
Πίνακας 8: Τιμές μετάλλων που ανιχνεύθηκαν εντός της αίθουσας ζωγραφικής και τα αντίστοιχα όρια έκθεσης (Λαζαρίδης Μ. 2010).	62

Πίνακας 9: Αποτελέσματα μέτρησης μετάλλων στο Πολυτεχνείο Κρήτης (Κοπανάκης Η. Διδακτορικό δίπλωμα 2015).	62
Πίνακας 10: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 14/11/17-15/11/17.....	71
Πίνακας 11: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (14/11/17).	72
Πίνακας 12: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 20/11/17-22/11/17.....	74
Πίνακας 13: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (20/11/17).	75
Πίνακας 14: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 28/11/17-29/11/17.....	76
Πίνακας 15: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (28/11/18).	77
Πίνακας 16: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 08/01/18-13/01/18.....	78
Πίνακας 17: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (08/01/18).	80
Πίνακας 18: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 26/01/18.	81
Πίνακας 19: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 27/02/18	81
Πίνακας 20: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 12/03/18.	82
Πίνακας 21: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 19/03/18.	85
Πίνακας 22: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 22/03/18.	86
Πίνακας 23: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 26/03/18.	87
Πίνακας 24: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 23/04/18.	88
Πίνακας 25: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 25/04/18.	89
Πίνακας 26: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (25/04/18).	90
Πίνακας 27: Βασικά αποτελέσματα μέτρησης (26/02/18).	91
Πίνακας 28: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 07/05/18.	92
Πίνακας 29: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 09/05/18.	93
Πίνακας 30: Η συγκέντρωση των μετάλλων που παρατηρήθηκαν υψηλότερα από το εξωτερικό περιβάλλον ανά στάδιο του προσκρουστήρα Andersen.	95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1. Εισαγωγή

Η αναπνοή, ως βασική λειτουργία των ζωντανών οργανισμών, είναι η διαδικασία πρόσληψης οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα και αποβολής διοξειδίου του άνθρακα σε αυτόν. Ο άνθρωπος εισπνέει καθημερινά κατά μέσο όρο 10 m^3 αέρα και ό,τι αυτός περιέχει. Υπήρξε λοιπόν αναγκαία η μελέτη του περιεχόμενου του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και των επιπτώσεων που μπορεί να έχει στην υγεία του ανθρώπου και των υπόλοιπων ζωντανών οργανισμών γενικότερα. Ένα σημαντικό τμήμα του ατμοσφαιρικού αέρα, πάνω στο οποίο έχουν γίνει πολυάριθμες έρευνες τις τελευταίες δεκαετίες, είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία πραγματεύεται και η παρούσα εργασία.

Ως αιωρούμενο σωματίδιο (Particulate Matter, PM) χαρακτηρίζεται κάθε σώμα, υγρό ή στερεό, που βρίσκεται διασπαρμένο στην ατμόσφαιρα και έχει διάμετρο μεταξύ 1 nm και $100 \text{ }\mu\text{m}$.

Ως αεροζόλ ορίζεται ένα σταθερό αιώρημα στερεών ή υγρών σωματιδίων σε ένα ρευστό μέσο (αέρας), καθώς και το ίδιο το μέσο. Συνηθίζεται οι έννοιες των αιωρούμενων σωματιδίων και των ατμοσφαιρικών αεροζόλ να χρησιμοποιούνται ως ταυτόσημες.

Τα αεροζόλ περιλαμβάνονται στους ατμοσφαιρικούς ρύπους και μάλιστα αποτελούν την πιο πολύπλοκη κατηγορία αυτών λόγω των διαφορετικών επιπτώσεών τους σε διάφορους τομείς (κλίμα, δημόσια υγεία, βιωσιμότητα οικολογικών συστημάτων και ιστορικών μνημείων). Η συνεχής μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων έχει αποδείξει την ικανότητά τους να απορροφούν ή να φέρουν προσκολλημένα στην επιφάνειά τους, διάφορα χημικά στοιχεία, ενώσεις και βιολογικούς παράγοντες. Το γεγονός αυτό καθιστά την έκθεση των ανθρώπων σε αυτά σημαντικό πρόβλημα και έχει τροφοδοτήσει μια μεγάλη σειρά επιδημιολογικών μελετών (Dockery et al., 1993; Pope, 2007) οι οποίες επιβεβαίωσαν την συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και της αυξημένης νοσηρότητας και θνησιμότητας του ανθρώπινου πληθυσμού.

1.2. Μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων

Σύμφωνα με το μέγεθος τους τα σωματίδια έχουν διαφορά στη χημική τους σύσταση, τις οπτικές τους ιδιότητες, τους μηχανισμούς απομάκρυνσης τους από την ατμόσφαιρα καθώς και την επικινδυνότητάς τους για τον άνθρωπο και εν γένει για το περιβάλλον. Τα αεροζόλ κατατάσσονται σε μεγέθη με βάση την διάμετρό τους. Φυσικά, σπάνια κάποιο σωματίδιο είναι απόλυτα σφαιρικό ώστε να καθοριστεί η διάμετρος του, επομένως στην μελέτη τους χρησιμοποιείται η έννοια της ισοδύναμης αεροδυναμικής διαμέτρου. Ως ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος ορίζεται η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου πυκνότητας 1 g/cm^3 που έχει την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης με το υπό εξέταση σωματίδιο.

Τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 2,5 μm ονομάζονται χονδρόκοκκα ή χονδρά σωματίδια (coarse particles), ενώ εκείνα με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm χαρακτηρίζονται ως λεπτόκοκκα ή λεπτά σωματίδια (fine particles).

Τα λεπτά σωματίδια διαχωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

Α) Την περιοχή συσσώρευσης (accumulation mode), η οποία περιλαμβάνει τα σωματίδια με διάμετρο από 0,1 μm έως 2 μm .

Β) Την περιοχή των υπέρλεπτων σωματιδίων (ultrafine particles), η οποία περιλαμβάνει τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 0,1 μm . Αυτή η κατηγορία μπορεί να διαχωριστεί περεταίρω στους πυρήνες Aitken (Aitken nuclei) με διάμετρο από 0,02 έως 0,1 μm και στα σωματίδια της περιοχής πυρηνοποίησης με διάμετρο μικρότερη των 20 nm.



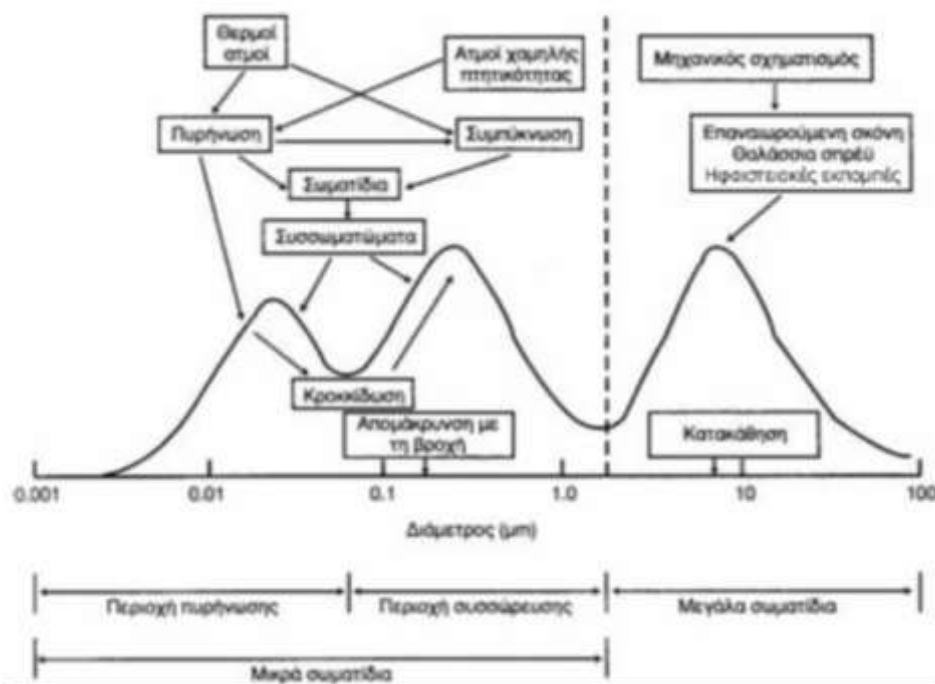
**Περιοχή
υπέρλεπτων
σωματιδίων**

**Περιοχή
συσσώρευσης**

**Περιοχή χονδρών
σωματιδίων**

Εικόνα 1:Μορφολογία αιωρούμενων σωματιδίων (Λαζαρίδης Μ. 2010).

Συνήθως στην κατηγορία των λεπτών σωματιδίων περιλαμβάνεται το μεγαλύτερο μέρος του πλήθους των σωματιδίων και ένα μεγάλο μέρος της συνολικής μάζας. Έχει αποδειχθεί ότι πάνω από το 80% του πλήθους των αιωρούμενων σωματιδίων ανήκει στην κατηγορία των υπέρλεπτων ή των λεπτών σωματιδίων (L. Morawska, 2006). Ωστόσο η συνολική μάζα αυτών των σωματιδίων είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τη μάζα των χονδρόκοκκων σωματιδίων τα οποία αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος της αιωρούμενης σωματιδιακής μάζας (Ren, Williams, Morawska, Mengersen, & Tong, 2008)



Εικόνα 2: Στατιστική κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων (Λαζαρίδης Μ. 2010).

1.3. Ατμοσφαιρικά αεροζόλ

Η ατμόσφαιρα, ως δυναμικό σύστημα, εξαρτάται άμεσα από τα αιωρούμενα σωματίδια που υπάρχουν σε αυτήν. Ο ρόλος τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι καθοριστικός με συγκεντρώσεις πλήθους που φθάνουν έως τα 10^8 σωματίδια/cm³. Η παραγωγή τους μπορεί να είναι είτε φυσική είτε ανθρωπογενής. Οι φυσικές εκπομπές, οι οποίες υπερβαίνουν τις ανθρωπογενείς, επηρεάζουν τις ολικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων σε παγκόσμια κλίμακα. Ως φυσικές πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων, μπορούν να θεωρηθούν τα ηφαίστεια, το έδαφος, οι ωκεανοί και η καύση της βιομάζας. Οι ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνουν τις βιομηχανικές διεργασίες, τις διαφεύγουσες εκπομπές, τις μη βιομηχανικές καύσεις και τις εκπομπές των μέσων μεταφοράς.

Τα λεπτά σωματίδια προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (καύσεις, φωτοχημικώς παραγόμενα σωματίδια). Αντίθετα, τα χονδρά σωματίδια

παράγονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από μηχανικές διεργασίες και αποτελούνται κυρίως από φυσικά αεροζόλ (σωματίδια σκόνης, θαλάσσια υδροσταγονίδια).



Εικόνα 3: Τρόποι κατά τους οποίους εκπέμπονται αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, στις παγκόσμιες εκπομπές αεροζόλ, το μεγαλύτερο μέρος αποτελείται από χονδρά σωματίδια και οι φυσικές πηγές είναι επικρατέστερες των ανθρωπογενών.

Υπολογισμένη Εκπομπή (Tg/y)				
Πηγή	Χαμηλή	Υψηλή	Βέλτιστη	Κατηγορία Σωματιδίων
Φυσικές πηγές				
Πρωτογενείς εκπομπές				
Σκόνη εδάφους	1000	3000	1500	Κυρίως χονδρά
Θαλάσσιο αλάτι	1000	10000	1300	χονδρά
Ηφαιστειακή σκόνη	4	10000	30	χονδρά
Βιολογικό υλικό	26	80	50	χονδρά
Δευτερογενείς εκπομπές				
Θειικά από βιογενή αέρια	80	150	130	λεπτά
Θειικά από εκπομπές SO ₂ από ηφαίστεια	5	60	20	λεπτά
Οργανικά από εκπομπές	40	200	60	λεπτά

βιογενών οργανικών πτητικών ενώσεων				
Νιτρικά από NO _x	15	50	30	λεπτά και χονδρά
Σύνολο φυσικών πηγών	2200	23500	3100	
Ανθρωπογενείς πηγές				
Πρωτογενείς εκπομπές				
Βιομηχανική σκόνη(εκτός στοιχειακού άνθρακα)	40	130	100	λεπτά και χονδρά
Στοιχειακός άνθρακας	5	20	10	κυρίως λεπτά
Δευτερογενείς εκπομπές				
Θειικά από εκπομπές SO ₂	170	250	190	λεπτά
Καύση βιομάζας	60	150	90	λεπτά
Νιτρικά από εκπομπές NO _x	25	65	50	κυρίως χονδρά
Οργανικά από εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων	5	25	10	λεπτά
Σύνολο ανθρωπογενών πηγών	300	650	450	

Πίνακας 1: Πηγές και εκπομπές ατμοσφαιρικών αεροζόλ σε παγκόσμιο επίπεδο. (Αναπροσαρμοσμένο από (Hinds, 1999)).

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων διαφέρει ως προς το μέγεθος τους, καθώς, όπως προαναφέρθηκε τα διάφορα μεγέθη υποδηλώνουν διαφορετικούς τρόπους παραγωγής.

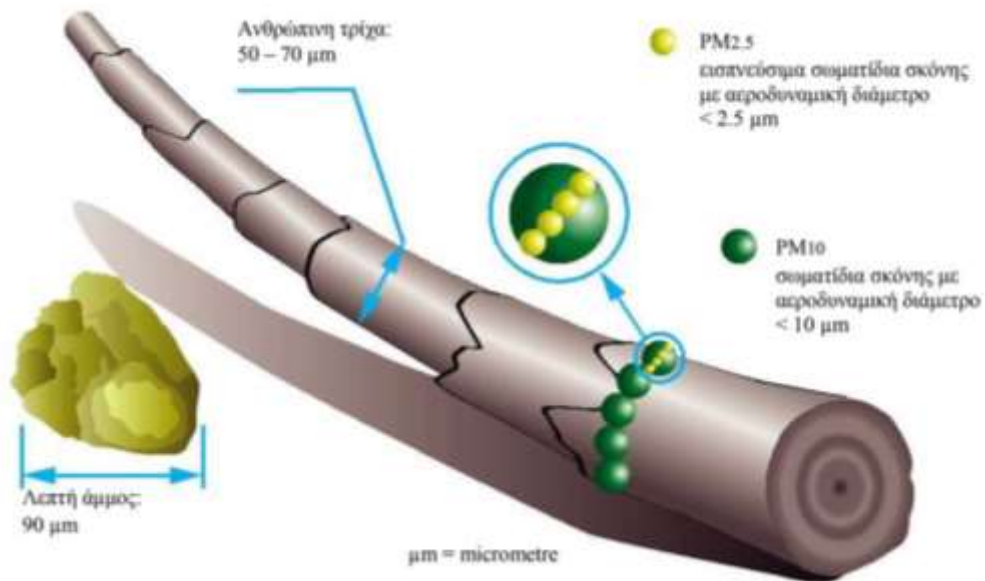
Τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία παράγονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποτελούνται στο μεγαλύτερο μέρος τους από:

- Θειικά ιόντα (SO₄²⁻).
- Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻).
- Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺).
- Μεταβατικά στοιχεία (Cu, Mn, Zn, As, Ni, Pb).
- Στοιχειακό άνθρακα (αιθάλη).
- Οργανικές ενώσεις σχετικές με διαδικασίες καύσης (οχήματα και βιομηχανικές δραστηριότητες).

Τα χονδρά αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία παράγονται από φυσικές δραστηριότητες, ως επί το πλείστον αποτελούνται από:

- Οξείδια μετάλλων που βρίσκονται κυρίως στο χώμα (Al, Si, Ca, Fe, Mn, Sr, S)
- Άλατα (K, Na, Cl)

- Οργανικές ενώσεις βιογενούς προέλευσης σε κρυσταλλική και ιοντική μορφή.



Εικόνα 4: Σύγκριση μεγέθους PM με τη διάμετρο του κόκκου της άμμου και της τρίχας του ανθρώπου.

1.4. Αεροζόλ εσωτερικών χώρων

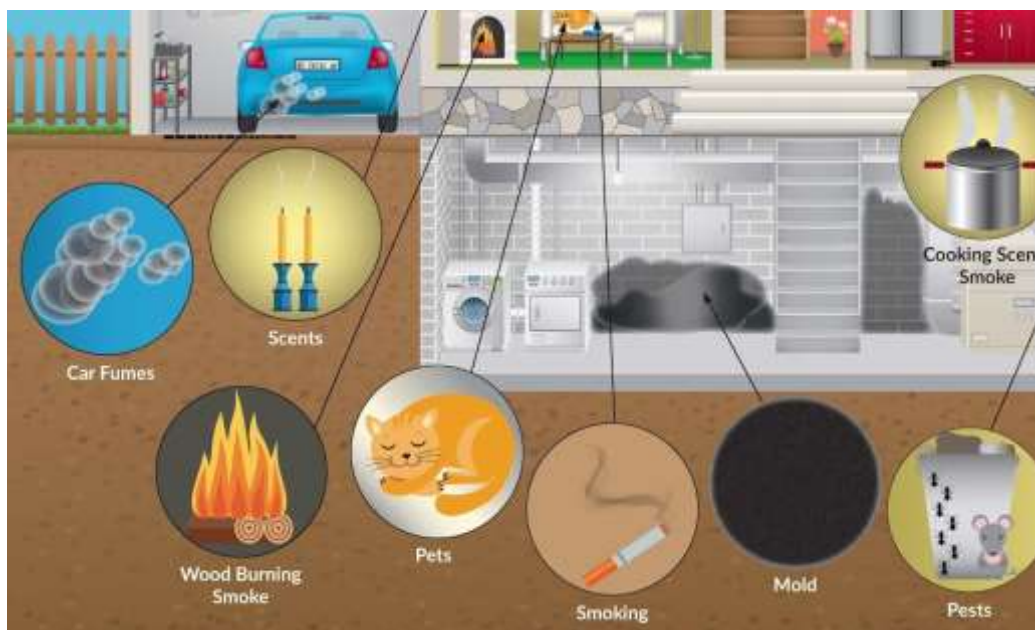
1.4.1. Εκπομπές

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους επηρεάζονται άμεσα από τα επίπεδα και τις μεταβολές των αιωρούμενων σωματιδίων στον εξωτερικό χώρο. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι έως και το 60% της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικό χώρο προέρχονται από εξωτερικές πηγές (Brauer, Koutrakis, Keeler, & Spengler, 1991). Ο αερισμός του χώρου, ο ρυθμός ανανέωσης αέρα, η υγρασία και η θερμοκρασία έχουν καθοριστικό ρόλο στο πόσο υψηλό θα είναι αυτό το ποσοστό.

Οι εκπομπές σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να είναι είτε πρωτογενείς είτε δευτερογενείς, συμβάλλοντας και οι δύο σημαντικά στα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτούς.

Ως πρωτογενείς εκπομπές μπορούν να οριστούν:

- Οι εργασίες στην κουζίνα.
- Το κάπνισμα.
- Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, αφύγρανσης.
- Η επαναιώρηση από την κίνηση των ανθρώπων στον χώρο και από διάφορες διαδικασίες καθαριότητας (σκούπισμα, ξεσκόνισμα, κτλ.).
- Τα κατοικίδια ζώα (κίνηση στον χώρο και αιώρηση τριχώματος).
- Η εκπομπή σωματιδίων από τα διάφορα υλικά του σπιτιού.



Εικόνα 5: Οι πρωτογενείς εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικό χώρο.

Οι δευτερογενείς εκπομπές συμβαίνουν κατά τη χημική αντίδραση ελεύθερων, απορροφημένων ή διαλυμένων αερίων (O_2 , H_2O , O_3 , $\cdot OH$, $\cdot NO_3$, SO_2 , NO_x , βιογενείς και ανθρωπογενείς υδρογονάνθρακες). Οι διεργασίες δευτερογενούς παραγωγής αιωρούμενων σωματιδίων είτε σχηματίζουν νέα σωματίδια (συμπύκνωση αερίων, πυρηνοποίηση), είτε αυξάνουν τον όγκο των ήδη υπάρχοντων (συσσωμάτωση).

Όσον αφορά την κατανομή των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος, ισχύει ότι και στους εξωτερικούς χώρους. Κατά τις διαδικασίες καύσης παράγονται λεπτά σωματίδια, ενώ οι μηχανικές διαδικασίες προσδίδουν στην συγκέντρωση των χονδρών σωματιδίων.

1.4.2. Χημική σύσταση

Η χημική σύσταση των αεροζόλ στους εσωτερικούς χώρους είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την περιοχή στην οποία βρίσκεται ο εκάστοτε χώρος και κατά συνέπεια το εξωτερικό περιβάλλον και οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτό.

Για παράδειγμα, η ύπαρξη στοιχειακού άνθρακα στα αεροζόλ εσωτερικών χώρων υποδεικνύει ρύπανση αστικής προέλευσης. Αντίθετα μεγάλες ποσότητες χλωριούχου νατρίου παρατηρούνται σε εσωτερικούς χώρους παραθαλάσσιων περιοχών. Επιπλέον, σε ερημικές περιοχές χωρίς ιδιαίτερη βλάστηση, κυριαρχούν αεροζόλ του φλοιού της γης (crustal material).

Εκτός φυσικά από το εξωτερικό περιβάλλον, οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε κάθε χώρο επηρεάζουν τόσο το πλήθος και τη μάζα, όσο και τη σύσταση των αεροζόλ. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζονται διάφορα στοιχεία και ενώσεις που βρίσκονται σε εσωτερικά περιβάλλοντα καθώς και η πηγή προέλευσής τους.

Ουσία	Πηγή
Οξειδία αζώτου (NO _x)	Πηγές καύσης, συσκευές θέρμανσης, καπνός τσιγάρου
Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds-VOCs)	Υλικά κτιρίου (μόνωση, χρωστικές και συγκολλητικές ουσίες, υφάσματα, πλαστικά, βερνίκια, γυαλιστικές ουσίες, αποσμητικά χώρου, καθαριστικά, τσιγάρο
Πολυκυκλικοί αρωματικού υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)	Βρίσκονται προσροφημένοι στα σωματίδια σκόνης και αιθάλης ή ως συσσωματώματα με αυτά.
Ραδόνιο	Επαφή χώρων με το έδαφος στο οποίο βρίσκεται ως φυσικό ραδιενεργό, μέσω του νερού της βρύσης και με την παρουσία ραδιενεργών υλικών στα δομικά υλικά κατασκευής του σπιτιού.
Αμίαντος	Δομικά και μονωτικά υλικά και προϊόντα ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες.
Βαρέα μέταλλα	Περιέχονται τόσο σε λεπτόκοκκα όσο και σε χονδρόκοκκα σωματίδια
Φορμαλδεΰδη	Μονωτικά και ξύλινα υλικά, κόλλες, καπνός τσιγάρου
Φυτοφάρμακα, Παρασιτοκτόνα	Εκλύονται άμεσα μέσα στον χώρο ή εισέρχονται μέσω των σωματιδίων αιωρούμενης σκόνης, των ενδυμάτων και των υποδημάτων

Πίνακας 2: κατάλογος ουσιών που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους καθώς και η πηγή προέλευσής τους.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ο καπνός του τσιγάρου ως ξεχωριστή πηγή ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους. Κατά την καύση του τσιγάρου παράγονται τόσο αέρια καύσης όσο και σωματίδια (πίσσα, νικοτίνη, οργανικές χημικές ενώσεις με χαμηλή πτητικότητα, ακρολεΐνη, υδροχλώριο, φορμαλδεΰδη). Ο καπνός του τσιγάρου μπορεί να διακριθεί σε δύο ρεύματα. Το κυρίως ρεύμα περνάει μέσα από το άκαυστο τμήμα του τσιγάρου και το φίλτρο και κατακρατά μεγάλο μέρος των χημικών ενώσεων ενώ χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμοκρασία. Το δευτερεύον ρεύμα δημιουργείται με την αργή καύση του τσιγάρου και χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες θερμοκρασίες αλλά υψηλότερη τοξικότητα.

1.4.3.Βιοαεροζόλ

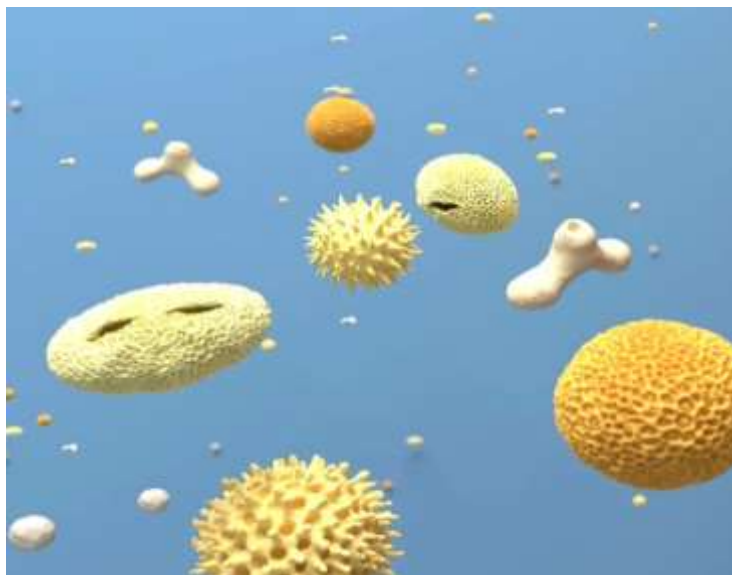
Ως βιοαεροζόλ ορίζονται τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας τα οποία έχουν βιολογική προέλευση. Βιοαεροζόλ μπορούν να θεωρηθούν αερομεταφερόμενοι ιοί, βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, γύρη, τμήματα κυττάρων ή εντόμων καθώς και προϊόντα μεταβολισμού διαφόρων ζώντων οργανισμών (μυκοτοξίνες, βακτηριακές ενδοτοξίνες κ.ά.)

Οι μικροοργανισμοί των βιοαεροζόλ εσωτερικών χώρων αναπτύσσονται στα υλικά του εσωτερικού περιβάλλοντος και μεταφέρονται με τον αέρα. Εισέρχονται στους εσωτερικούς χώρους μέσω των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης, αερισμού, καθώς και μέσω των ανοιγμάτων του χώρου (πόρτες παράθυρα) . Επιπλέον μπορεί να γίνει μεταφορά μικροοργανισμών μέσω των ανθρώπων (ρούχα, παπούτσια, κ.ά.)

Καθοριστικό ρόλο για την δημιουργία των βιοαεροζόλ είναι η ανάπτυξη και ο πολλαπλασιασμός των μικροβίων και κατ'επέκταση η δημιουργία ιδανικών γι'αυτούς

συνθηκών (κακή συντήρηση κλιματιστικού, έλλειψη αερισμού, συμπύκνωση υδρατμών σε ψυχρές επιφάνειες, κ.ά.)

Ο άνθρωπος εκτίθεται σε αυτού του είδους τους μικροοργανισμούς μέσω της εισπνοής, της κατάποσης και της επαφής με το δέρμα. Φυσικά η εισπνοή είναι ο επικρατέστερος τρόπος έκθεσης αν λάβουμε υπ'όψη ότι ο άνθρωπος εισπνέει κατά μέσο όρο περίπου 10 m^3 αέρα την ημέρα. Η επικινδυνότητα των βιοαεροζόλ όπως και των υπολοίπων αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνεται όσο μειώνεται η διάμετρός τους, καθώς διεισδύουν βαθύτερα στο Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα.



Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση βιοαεροζόλ.

Βιοαεροζόλ με διάμετρο από $0,3$ έως $8 \mu\text{m}$ απελευθερώνονται κατά την εκπνοή ενώ βιοαεροζόλ με διάμετρο μικρότερη από $5 \mu\text{m}$ απελευθερώνονται κατά την ομιλία, το φτέρνισμα, το φύσημα, το σφύριγμα και το σκούπισμα της μύτης. Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι κατά το βήξιμο ή τη δυνατή ομιλία απελευθερώνονται σταγονίδια με συγκέντρωση περίπου 10^5 σταγονίδια ανά m^3 αέρα (PAPINENI & ROSENTHAL, 1997).

1.5. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία.

Τα σωματίδια που εισέρχονται μέσω της αναπνοής στον ανθρώπινο οργανισμό διαχωρίζονται και καταλήγουν σε διαφορετικό τμήμα του Ανθρώπινου Αναπνευστικού Συστήματος, το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω.

Τα σωματίδια με διαμέτρους μεγαλύτερες από $10 \mu\text{m}$ επικάθονται στο ανώτερο τμήμα του αναπνευστικού συστήματος, ενώ τα μικρότερα σωματίδια (εισπνεύσιμα) εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες και παραμένουν εκεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα λεπτά σωματίδια ή $\text{PM}_{2,5}$ περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες τοξικών και επικίνδυνων χημικών ενώσεων από τα χονδρά σωματίδια ή PM_{10} , οι οποίες σε βάθος χρόνου είναι πιθανό να έχουν αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία του ατόμου.

Επομένως από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας, πιο επικίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό είναι τα λεπτά (fine) και τα υπέρλεπτα (ultrafine) σωματίδια καθώς αυτά έχουν

τη δυνατότητα να διεισδύσουν βαθιά στις κυψελίδες του ανθρώπινου πνεύμονα, δημιουργώντας έτσι μια σειρά από προβλήματα υγείας (Lidia Morawska & Salthammer, 2006). Επιπλέον οι χημικές μετατροπές στα λεπτά σωματίδια μπορούν να δημιουργήσουν ή να εμπλουτίσουν τα αερολύματα της ατμόσφαιρας με ουσίες ικανές να προκαλέσουν μεταλλάξεις ή/και καρκινογενέσεις (Stöber, Morrow, & Oberdörster, 1995).

Η τοξικότητα βέβαια των σωματιδίων που κατακρατούνται στους πνεύμονες διαφέρει ανάλογα με τη χημική τους σύσταση ενώ ενδέχεται να ενεργοποιήσουν καθώς μεταφέρονται άλλες τοξικές οργανικές ενώσεις και να προκαλέσουν συνεργιστικά αποτελέσματα.

Μερικά από τα σημαντικότερα προβλήματα υγείας που μπορούν να προκαλέσουν τα αιωρούμενα σωματίδια είναι η μείωση της δυνατότητας της αναπνευστικής λειτουργίας και η αύξηση των συμπτωμάτων στην αναπνευστική οδό (βήχας, μείωση αναπνοής, επεισόδια άσθματος). Επίσης μπορούν να προκληθούν χρόνιες πνευμονικές παθήσεις, καρδιοαγγειακές ασθένειες ακόμα και καρκίνος των πνευμόνων. Επιπλέον, αερολύματα που περιέχουν οργανικές ενώσεις μπορούν να προκαλέσουν αλλεργικές παθήσεις (Pope, 2000).

Σύμφωνα με αξιόπιστες επιδημιολογικές μελέτες, μια πιθανή αύξηση στη συγκέντρωση των εισπνεύσιμων (inhaled) σωματιδίων κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ μπορεί να προκαλέσει 1 % αύξηση στην πρόωρη θνησιμότητα (premature mortality) (Medina, Plasencia, Ballester, Mücke, & Schwartz, 2004). Επιπλέον, δεν έχει πλήρως διασαφηνιστεί εάν το πλήθος των σωματιδίων, η διάμετρός τους, η χημική τους σύσταση ή συνδυασμός αυτών επενεργούν στη δημιουργία των παρατηρούμενων προβλημάτων υγείας (Oberdorster et al., 1992).

Παρ' όλο που η επίδραση των αερολυμάτων στη δημόσια υγεία είναι πολύ σημαντική, δεν έχει προταθεί ακόμα, με σιγουριά, ένας μηχανισμός που να μπορεί να εξηγήσει πλήρως τη σύνδεση μεταξύ των τοξικών συστατικών ενός αερολύματος και των προβλημάτων υγείας που αυτά δημιουργούν.

1.6. Μέτρηση αεροζόλ

Η μέτρηση των αεροζόλ γίνεται με διάφορα όργανα και μεθόδους, ανάλογα με το κλάσμα σωματιδίων που μετράται κάθε φορά.

Οι μέθοδοι μέτρησης των αεροζόλ χωρίζονται σε οπτικές και σταθμικές. Οι οπτικές μέθοδοι βασίζονται στη διάχυση ορισμένης ακτίνας φωτός από το δείγμα. Τα όργανα που λειτουργούν σύμφωνα με την οπτική μέθοδο απαιτούν κατάλληλη βαθμονόμηση, αεροδυναμικό στόμιο εισόδου των σωματιδίων και κατάλληλη αντλία αέρα για τη συλλογή των επιθυμητών προς εξέταση σωματιδίων. Στις σταθμικές μεθόδους μέτρησης το δείγμα επιταχύνεται μέσω ενός ή περισσότερων σταδίων ενός αδρανούς δειγματολήπτη και διαχωρίζεται σε κλάσματα ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Η μάζα των σωματιδίων υπολογίζεται με απλή ζύγιση του μέσου συλλογής των σωματιδίων πριν και μετά τη δειγματοληψία. Τα σταθμικά όργανα μέτρησης απαιτούν εξωτερική αντλία αέρα και εργαστήριο εξοπλισμένο με τα κατάλληλα μέσα για τον υπολογισμό της σωματιδιακής ύλης.

Ένας δεύτερος διαχωρισμός των μεθοδολογιών μέτρησης είναι οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο ή με σταθμικό προσδιορισμό οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια.

Τεχνικές μέτρησης σε πραγματικό χρόνο

Οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που χρειάζεται η στιγμιαία τιμή της συγκέντρωσης των αεροζόλ, είτε για να συγκριθεί με το μέσο όρο όλης της δειγματοληψίας, είτε για να συσχετιστεί η σωματιδιακή ρύπανση με τη διεργασία (βιομηχανική, οικιακή κτλ.) που την προκαλεί. Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, οι τεχνικές μέτρησης πραγματικού χρόνου αξιοποιούν κάποια φυσική ιδιότητα των σωματιδίων (οπτική, ηλεκτρική, μοριακή, πυρηνική, μηχανική). Συχνότερα χρησιμοποιούνται οι οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες των σωματιδίων θεωρώντας τα, είτε μεμονωμένα σωματίδια, είτε ένα ενιαίο σύνολο.

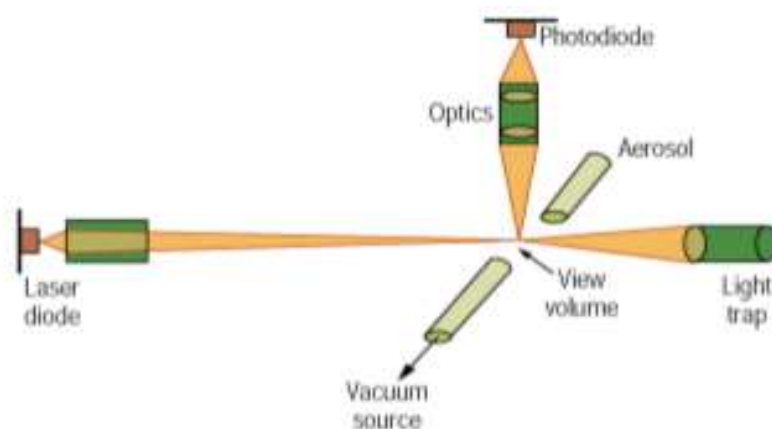
Όργανα τα οποία εκμεταλλεύονται την οπτική ιδιότητα των σωματιδίων, έχουν ως αρχή λειτουργίας την εξασθένιση μιας δέσμης φωτός λόγω απορρόφησης ή διάχυσης από τα σωματίδια. Η εξίσωση η οποία περιγράφει αυτή την εξασθένιση είναι η εξής:

Εξίσωση 1:

$$\frac{I}{I_0} = e^{(c_p \cdot Q \cdot X)}$$

Όπου:

- I_0 είναι η εκπεμπόμενη δέσμη φωτός.
- I είναι η δευτερεύουσα δέσμη φωτός, εξασθενημένη λόγω διάχυσης ή απορρόφησης.
- Q είναι ο συντελεστής σωματιδιακής εξασθένισης.
- X είναι το μήκος της οπτικής τροχιάς δια μέσου του αεροζόλ.
- C_p είναι μία προτεινόμενη τιμή για την συγκέντρωση των σωματιδίων στην εξεταζόμενη περιοχή (Λαζαρίδης Μ. 2010).



Εικόνα 7: Αρχή λειτουργίας οργάνου μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

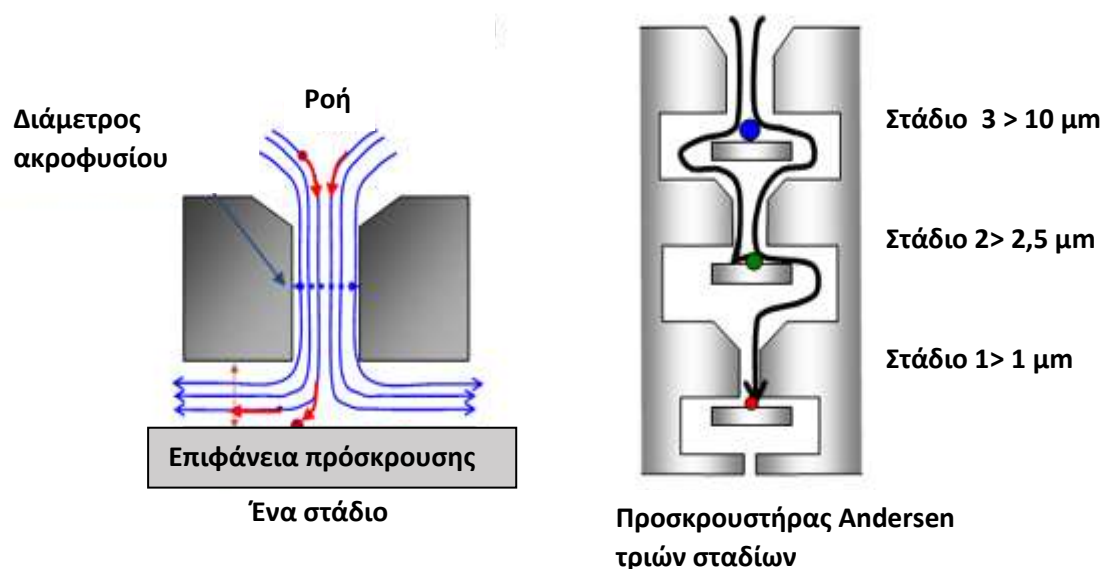
Ως επί το πλείστον, τα όργανα αυτά λειτουργούν ως εξής:

Ρεύμα σωματιδίων εισέρχεται σε ειδικό κελί μέσα στο όργανο και βομβαρδίζεται από μία δέσμη φωτός παραγόμενη από πηγή λέιζερ. Από την εξασθένιση του φωτός που μετράται από ένα φωτοηλεκτρικό κύτταρο, υπολογίζεται τελικά η συγκέντρωση του αερολύματος στο κελί.

Πέρα των οπτικών ιδιοτήτων των αεροζόλ, αξιοποιούνται και οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες. Τα αιωρούμενα σωματίδια διαθέτουν ηλεκτροστατικό φορτίο το οποίο μπορεί να μετρηθεί μέσω της αποφόρτισής τους. Στα όργανα που αξιοποιούνται οι ηλεκτρικές ιδιότητες, τα σωματίδια συλλέγονται σε έναν αγωγό ορθογώνιου σχήματος στου οποίου τα άκρα εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού. Τα σωματίδια διαχωρίζονται στα άκρα ανάλογα με το φορτίο τους ενώ στη συνέχεια μπορούν να διαχωριστούν και ανά μέγεθος, με την βοήθεια «οπτικών» μετρητών στις δύο εξόδους, καθώς μεταβάλλεται η εφαρμοζόμενη τάση στα άκρα του αγωγού.

Τεχνικές μέτρησης με σταθμικό προσδιορισμό

Οι δειγματοληπτικές τεχνικές σταθμικού προσδιορισμού βασίζονται στην αρχή της πρόσκρουσης των σωματιδίων κα τα όργανα στα οποία εφαρμόζεται ονομάζονται προσκρουστήρες διαχωρισμού. Τα αιωρούμενα σωματίδια ακολουθούν μία ροή αέρα που οδηγεί σε επίπεδη επιφάνεια (επιφάνεια πρόσκρουσης), η οποία μετατοπίζει την 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. Θεωρείται ότι τα σωματίδια κολλάνε πάνω στην επιφάνεια πρόσκρουσης. Τα υπόλοιπα σωματίδια, με ενέργεια μικρότερη από την οριακή τιμή, δεν συγκρούονται με την επιφάνεια, αντιθέτως ακολουθούν τις γραμμές ροής, παραμένουν αιωρούμενα και εξέρχονται από τον προσκρουστήρα. Με την προσθήκη φίλτρου στην έξοδο του προσκρουστήρα μπορεί να συλλεχθούν τα σωματίδια που δεν προσέκρουσαν στην επιφάνεια. Με απλή ζύγιση του φίλτρου προκύπτει σημαντική πληροφορία για την κατανομή της μάζας στο συγκεκριμένο μέγεθος σωματιδίων που μελετάται. Με την χρήση πολλών διαδοχικών προσκρουστήρων με διαφορετικές επιφάνειες πρόσκρουσης, υπάρχει πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την κατανομή της μάζας διαφορετικών μεγεθών σωματιδίων.



Εικόνα 8: Αρχή λειτουργίας Andersen Cascade Impactor.

1.7. Δόση και Έκθεση των ανθρώπων σε αιωρούμενα σωματίδια

Η έννοια της έκθεσης του ανθρώπου στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας δεν πρέπει να συγχέεται με αυτήν της δόσης. Συγκεκριμένα ως έκθεση ορίζεται η συγκέντρωση των αεροζόλ που έρχονται σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Η δόση αναφέρεται στην πραγματική ποσότητα η οποία εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα και είναι υπεύθυνη για οποιαδήποτε απόκριση του οργανισμού. Εκτενέστερα η δόση διακρίνεται σε δυνητική(potential), εφαρμοζόμενη(applied) και εσωτερική(internal), και εκφράζουν την πραγματική ποσότητα του ρύπου που εισέρχεται στον οργανισμό, αυτή που αποτίθεται στους ιστούς και αυτή που απορροφάται-συσσωρεύεται από αυτούς, αντίστοιχα.

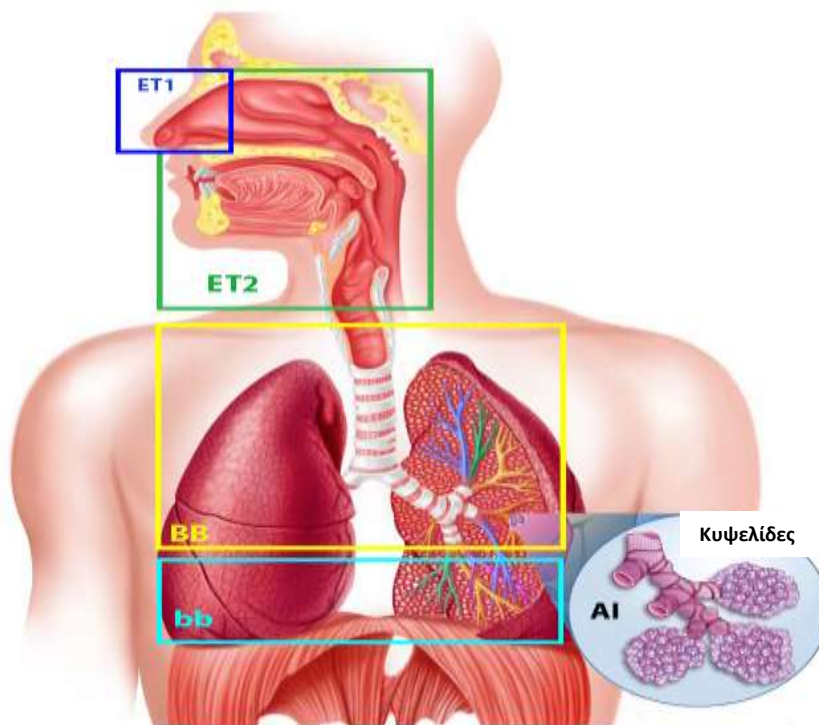
Οι συνθήκες έκθεσης (συγκέντρωση, διάρκεια, φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων), η δραστηριότητα του ατόμου και η μορφολογία του αναπνευστικού του συστήματος, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την εσωτερική δόση αιωρούμενων σωματιδίων στους ιστούς του ατόμου.

1.7.1. Το αναπνευστικό σύστημα

Το Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα (ΑΑΣ), για την καλύτερη εκτίμηση της εσωτερικής δόσης, χωρίζεται σε τρεις περιοχές (USEPA, 2002; ICRP, 1994):

- Ανώτερο αναπνευστικό ή εκτός θώρακα περιοχή (ET): Αποτελείται από την πρόσθια ρινική κοιλότητα(ET₁), την ύστερη ρινική κοιλότητα, το λάρυγγα, το φάρυγγα και το στόμα(ET₂).
- Τραχειοβρογχική περιοχή (TB): Αποτελείται από την τραχεία και τους πρωτεύοντες βρόγχους(BB), τους δευτερεύοντες βρόγχους (διακλαδώσεις) και τους τελικούς βρόγχους(bb).
- Κυψελιδική περιοχή (AI): Περιλαμβάνει τους αναπνευστικούς βρόγχους, τις πνευμονικές κυψελίδες (κυψελιδικοί αεραγωγοί και αεροθυλάκια) και το συνδετικό ιστό.

Ο αέρας μεταφέρεται μέσω του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος, της τραχείας και των βρόγχων από το εξωτερικό περιβάλλον στα σημεία που πραγματοποιείται η ανταλλαγή αερίων (αναπνοή) τα οποία αποτελούν την κυψελιδική περιοχή.



Εικόνα 9: Ανατομία του ΑΑΣ όπως χρησιμοποιείται στο μοντέλο ExDom 2.

1.7.2. Παράμετροι φυσιολογίας και εναπόθεση των σωματιδίων στο ΑΑΣ.

Η ροή του αέρα κατά την είσοδο του στο ΑΑΣ και η κίνηση του στους αεραγωγούς επηρεάζεται από την φυσιολογία του Ανθρώπινου Αναπνευστικού Συστήματος. Οι παράμετροι φυσιολογίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (ICRP, 2002).

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν η ηλικία, το ύψος, το βάρος, το φύλο, η φυλή και η κατάσταση της υγείας του ατόμου, παράγοντες δηλαδή που σχετίζονται με τον όγκο του αέρα που εισέρχεται στους πνεύμονες κατά τη διάρκεια ενός κύκλου αναπνοής. Η δεύτερη κατηγορία παραμέτρων φυσιολογίας αφορά τον τρόπο και το ρυθμό με τον οποίο επαναλαμβάνεται ένας κύκλος αναπνοής (αναπνοή μόνο από τη μύτη ή αναπνοή και από τη μύτη και από το στόμα, δραστηριότητα του ατόμου στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα).

Για να εκτιμηθεί η δόση των αιωρούμενων σωματιδίων που θα δεχθεί το αναπνευστικό σύστημα ενός ατόμου, είναι απαραίτητη η γνώση, εκτός των παραμέτρων φυσιολογίας, της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων που αποτίθεται στους ιστούς του ΑΑΣ.

Η εναπόθεση των σωματιδίων στο ΑΑΣ πραγματοποιείται με διάφορους μηχανισμούς. Οι σημαντικότεροι μηχανισμοί είναι οι εξής:

- i. Πρόσκρουση: Πρόκειται για τον πιο συνηθισμένο τρόπο εναπόθεσης για σωματίδια ισοδύναμης αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερης των 0,5 μm

στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Ουσιαστικά πρόκειται για την αδυναμία αυτών των σωματιδίων να ακολουθήσουν τις γραμμές ροής όταν αυτές αλλάζουν απότομα κατεύθυνση ή ταχύτητα.

- ii. Καθίζηση: Αφορά την εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων λόγω βαρύτητας. Πρόκειται για σημαντικό μηχανισμό για σωματίδια ισοδύναμης αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερης των 0,5 μm , που κινούνται στους μικρότερους αγωγούς του αναπνευστικού συστήματος.
- iii. Διάχυση: Αποτελεί βασικό μηχανισμό απόθεσης σωματιδίων στα βρογχιόλια και την κυψελιδική περιοχή όπου η ταχύτητα ροής είναι ιδιαίτερα χαμηλή, αλλά και στην περιοχή εκτός θώρακα όπου η ροή του αέρα είναι τυρβώδης. Αφορά σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 0,2 μm , τα οποία κινούνται σε τυχαίες κατευθύνσεις λόγω της σύγκρουσής τους με μόρια αέρα.
- iv. Αναχαίτιση-Ενσφήνωση: Οφείλεται στην φυσική επαφή των σωματιδίων με τα τοιχώματα της αναπνευστικής οδού. Εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του σωματιδίου και παρατηρείται συχνότερα σε σωματίδια ινώδους μορφής.
- v. Ηλεκτροστατική καθίζηση: Πρόκειται για την καθίζηση των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους τους και της ταχύτητας ροής του αέρα. Η εισπνοή βέβαια, φορτισμένων σωματιδίων είναι σπάνια καθώς, κατά κύριο λόγο, το φορτίο τους εξουδετερώνεται από τα ιόντα της ατμόσφαιρας. Επομένως αυτού του είδους ο μηχανισμός εναπόθεσης είναι λιγότερο πιθανός από τους υπόλοιπους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1. Εισαγωγικά στοιχεία μετρήσεων.

Η αναγκαιότητα για μέτρηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό, εκτός από τον εξωτερικό χώρο, προκύπτει από την συνεχή μελέτη και την ανάγκη κατανόησης των επιπτώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό.

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες δειγματοληψίες από τις 14 Νοεμβρίου 2017 έως τις 09 Μαΐου 2018 με διαφορετικά όργανα καθώς και συνδυασμός δύο ή περισσότερων οργάνων για κάθε δειγματοληψία.

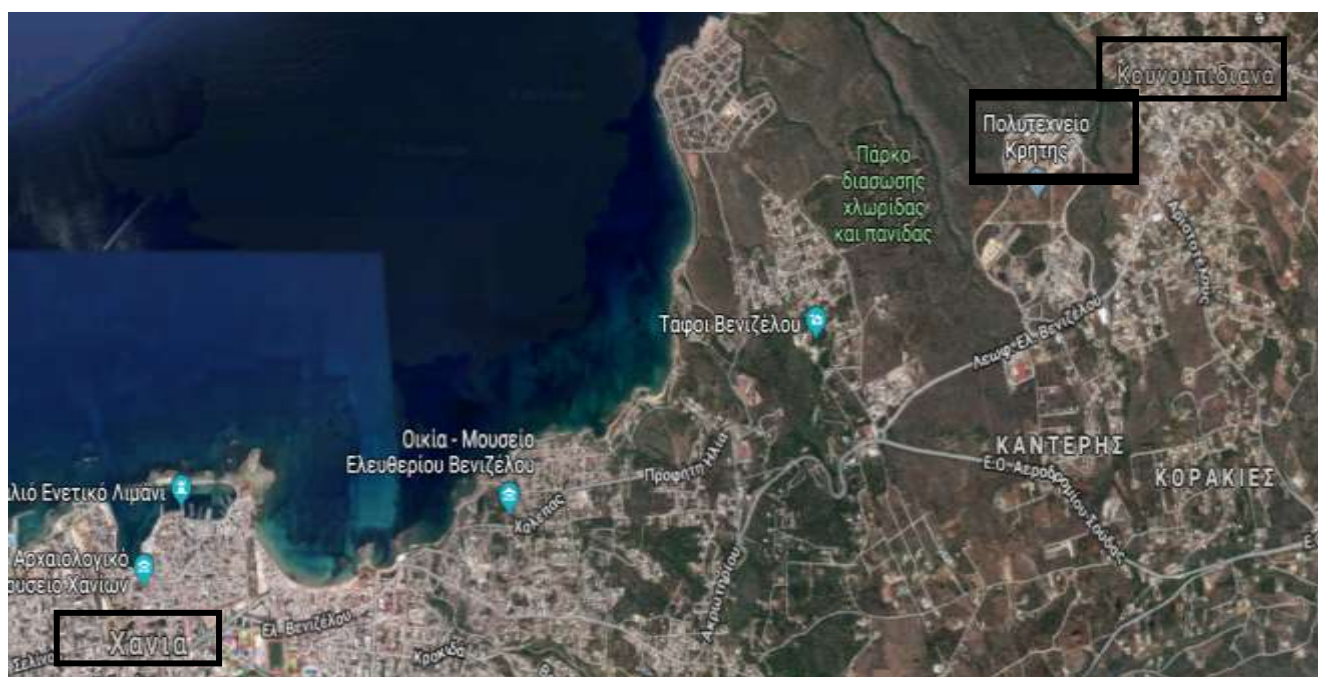
Μετά το πέρας των δειγματοληψιών έγιναν εκχυλίσες στα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν, για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των μετάλλων στις τοποθεσίες που πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες.

Τέλος, με την βοήθεια συγκεκριμένου μοντέλου που αναλύεται παρακάτω έγινε ο προσδιορισμός της ανθρώπινης έκθεσης και δόσης αιωρούμενων σωματιδίων από τους ανθρώπους.

2.2. Πειραματική διαδικασία

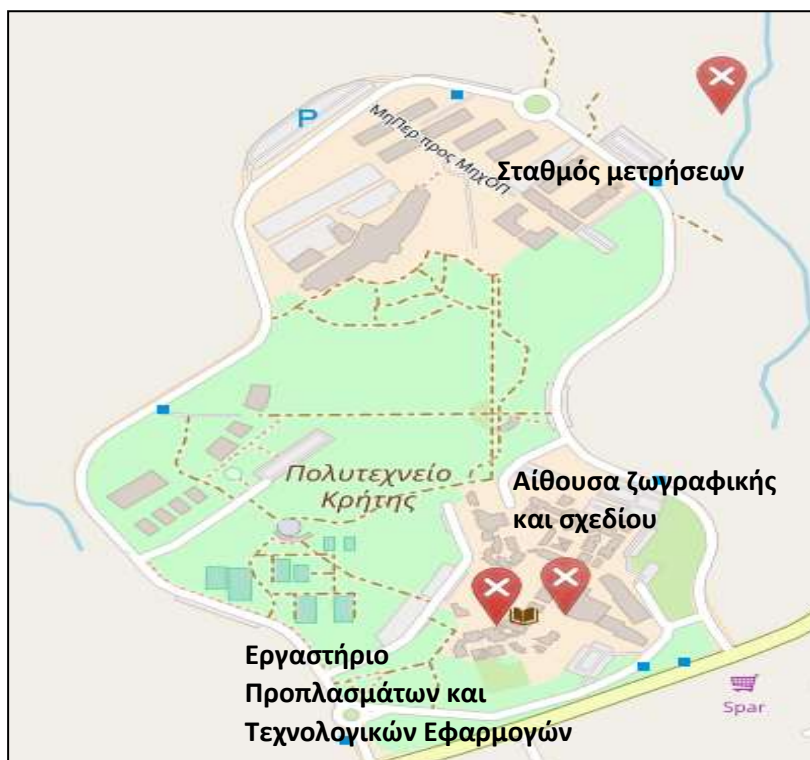
2.2.1. Τοποθεσίες δειγματοληψίας

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Ο χώρος του Πολυτεχνείου βρίσκεται 7 km Βορειοανατολικά από το κέντρο των Χανίων και 1 km νοτιοδυτικά από την κοινότητα των Κουνουπιδιανών, από την οποία δέχεται και τις περισσότερες επιδράσεις αιωρούμενων σωματιδίων.



Χάρτης 1: Η θέση του Πολυτεχνείου Κρήτης σε σχέση με την πόλη των Χανίων και την κοινότητα των Κουνουπιδιανών. (Googlemaps 2018)..

Οι κύριες δειγματοληψίες έγιναν στην αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών. Πραγματοποιήθηκε μία επιπλέον μέτρηση στο Εργαστήριο Προπλάσμάτων και Τεχνολογικών Εφαρμογών της ίδιας σχολής, ενώ έγιναν και δύο εξωτερικές μετρήσεις σε σταθμό μετρήσεων ο οποίος βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη.



Κάτοψη 1: Η θέση των χώρων δειγματοληψιών. (OpenStreetMap 2018)..

Περιγραφή χώρων:

Αίθουσα Ζωγραφικής και σχεδίου:



Εικόνα 10: Αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου.

Η αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου της Αρχιτεκτονικής Σχολής στεγάζεται στα κτήρια της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών. Η συγκεκριμένη αίθουσα είναι περίπου 140 m² με ύψος 6 m, κυκλική με πολλά σταθερά παράθυρα. Η πόρτα της αίθουσας παραμένει ανοιχτή καθ' όλη τη διάρκεια του μαθήματος, ενώ τις υπόλοιπες ώρες παραμένει κλειδωμένη. Μέσα στην αίθουσα, περιμετρικά, υπάρχουν ξύλινα τραπέζια και βιβλιοθήκες με χρώματα, πινέλα και διαλύτες, ενώ σε όλο το χώρο υπάρχουν

τρίποδα ζωγραφικής στα οποία εργάζονται οι φοιτητές. Οι εργασίες καθώς και οι μετρήσεις λάμβαναν χώρα κάθε Δευτέρα και Τρίτη 10:00 με 14:00.



Εικόνα 11: Αίθουσα Ζωγραφικής και σχεδίου.



Εικόνα 12: Ο προσκρουστήρας Andersen κατά τη διάρκεια μέτρησης στην αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου.

Εργαστήριο Προπλασμάτων και Τεχνολογικών Εφαρμογών:

Στεγάζεται στα κτήρια της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, έχει εμβαδόν περίπου 84 m² και ύψος 2,5m. Είναι ορθογώνια με 4 σταθερά παράθυρα. Η πόρτα της αίθουσας παραμένει κλειστή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και την ώρα που πραγματοποιούνται εργασίες, επομένως ο αερισμός της αίθουσας αυτής δεν είναι επαρκής.



Εικόνα 13: Εργαστήριο Προπλασμάτων και Τεχνολογικών Εφαρμογών.

Σταθμός Μετρήσεων:



Εικόνα 14: Ο σταθμός μετρήσεων.

Στο σταθμό μετρήσεων, στο Πολυτεχνείο Κρήτης πραγματοποιήθηκαν δυο δειγματοληψίες. Η πρώτη έλαβε χώρα στις 22-03-18 με ατμόσφαιρα επιβαρυμένη από αφρικανική σκόνη, και η δεύτερη στις 11-05-18 με καθαρή ατμόσφαιρα. Στην πρώτη μέτρηση ο προσκρουστήρας τοποθετήθηκε δίπλα στο ανοιχτό παράθυρο προκειμένου να υπάρξει σαφής εικόνα της εξωτερικής κατάστασης της ατμόσφαιρας, χωρίς όμως να κινδυνεύει το όργανο να βουλώσει από το μεγάλο πλήθος των χονδρών σωματιδίων που αιωρούνταν

στην ατμόσφαιρα.

Κατά τη διάρκεια αυτής της 24ώρης μέτρησης η αίθουσα παρέμεινε κλειδωμένη, ενώ κανένα άλλο όργανο δεν λειτουργούσε ταυτόχρονα με τον προσκρουστήρα.

Στην δεύτερη μέτρηση τοποθετήθηκαν στην οροφή του σταθμού ταυτόχρονα ο προσκρουστήρας Andersen και το DRX δίπλα στο όργανο BETA που παραμένει μόνιμα στην οροφή και δίνει μετρήσεις για τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα κάθε πέντε λεπτά. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του οργάνου αυτού γίνεται η διόρθωση στις μετρήσεις των μικρότερων οργάνων που χρησιμοποιούνται (π.χ. DRX). Με την διάταξη που φαίνεται στην Εικόνα 15: Τα όργανα του πειράματος τοποθετημένα στην οροφή του σταθμού μετρήσεων κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας., επιτεύχθηκε η ταυτόχρονη μέτρηση μάζας και πλήθους των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και ο έλεγχος της εγκυρότητας τους.



Εικόνα 15: Τα όργανα του πειράματος τοποθετημένα στην οροφή του σταθμού μετρήσεων κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

2.2.2. Οργανολογία

Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των δειγματοληψιών.

2.2.2.1. Προσκρουστήρας διαχωρισμού Andersen C.I.



Εικόνα 16: Andersen impactor.

Ο προσκρουστήρας διαχωρισμού βασίζεται στην αρχή της πρόσκρουσης των σωματιδίων. Τα αιωρούμενα σωματίδια περνώντας από μία οπή οδηγούνται προς μία επίπεδη επιφάνεια. Η ύπαρξη της επιφάνειας αυτής μετατοπίζει τη ροή των σωματιδίων κατά 90° με αποτέλεσμα τα σωματίδια με εσωτερική ενέργεια μεγαλύτερη από μία οριακή τιμή συγκρούονται με την επιφάνεια. Θεωρείται ότι τα σωματίδια κολλάνε στην επιφάνεια με την πρόσκρουση. Προσθέτοντας ένα φίλτρο στη έξοδο του προσκρουστήρα είναι δυνατόν με ζύγιση να ληφθεί πληροφορία για την κατανομή της μάζας σε διάφορα μεγέθη σωματιδίων.

Τα μικρότερα σωματίδια ακολουθούν την ροή και τελικά βγαίνουν από τον προσκρουστήρα. Χρησιμοποιώντας πολλούς διαφορετικούς προσκρουστήρες με διαφορετικές επιφάνειες πρόσκρουσης, είναι δυνατόν να υπάρξει ολοκληρωμένη πληροφορία για την κατανομή της μάζας στα αιωρούμενα στερεά.

Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ο προσκρουστήρας Andersen impactor (series 20-800, non-viable ambient particle sizing sampler, Thermo

Electron Corporation). Η συλλογή του αερολύματος έγινε σε 8 στάδια (stages) με βάση την αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται από την κορυφή του δειγματολήπτη με τη βοήθεια εξωτερικής αντλίας. Η ροή του δειγματολήπτη είναι σταθερή και ίση με 1 ACFM ($=28,33 \text{ L/min}=1,7 \text{ m}^3/\text{h}$). Η αντλία που συνοδεύει τον δειγματολήπτη δεν χρειάζεται λίπανση, αλλά θα πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να βαθμονομείται ώστε η ροή της να παραμένει σταθερή και ίση με 1 ACFM (cubicfeet per minute). Οι οπές στις πλάκες-υποδοχείς των φίλτρων έχουν στρογγυλευθεί και διευθετηθεί έτσι ώστε να αποφεύγεται η τυρβώδης ροή. Για καλύτερη και πιο αξιόπιστη μέτρηση της ροής, μεταξύ του δειγματολήπτη και της αντλίας παρεμβάλλεται μετρητής του όγκου του διερχόμενου αέρα. Επιπλέον, η τιμή αυτή διορθώνεται σε πρότυπες συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης με βάση τον παρακάτω τύπο:

Εξίσωση 2

$$V_0 = V \cdot \left(\frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T} \right)$$

Όπου:

- V και V₀ ο όγκος του δείγματος πριν και μετά την κανονικοποίηση.
- P και T οι μέσες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας στις συνθήκες της δειγματοληψίας.
- P₀ και T₀ οι πρότυπες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας, αντίστοιχα (P₀ = 1 atm=1013 mbar και T₀ = 25 °C).

Όσο μικρότερο σε μέγεθος είναι το σωματίδιο τόσο βαθύτερα εισέρχεται στον δειγματολήπτη και αντίστοιχα στον ανθρώπινο πνεύμονα. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα ανώτερα και κατώτερα όρια της αεροδυναμικής διαμέτρου των σωματιδίων που συλλέγονται σε κάθε ένα από τα 8 στάδια.

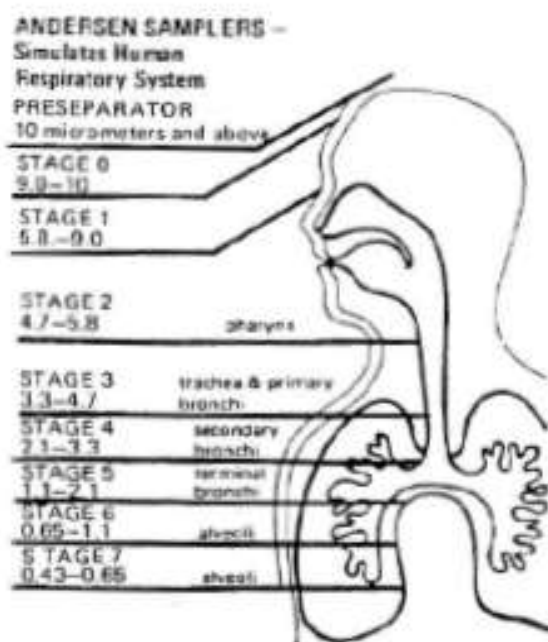
Στάδιο	Κάτω όριο (μm)	Άνω όριο (μm)
0	9	10
1	5,8	9
2	4,7	5,8
3	3,3	4,7
4	2,1	3,3
5	1,1	2,1
6	0,7	1,1
7	0,4	0,7
Backup	0,01	0,4

Πίνακας 3: Τα ανώτερα και κατώτερα όρια της διαμέτρου των διαφορετικών σταδίων του δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen.

Όταν στο χώρο δειγματοληψίας υπάρχουν σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη των 10 μm θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο προ-διαχωριστήρας (preseparator) που συνοδεύει το όργανο, με το χαρακτηριστικό κωνικού σχήματος σημείο εισόδου του δείγματος.

Ο δειγματολήπτης προσομοιάζει το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, με τα 8 στάδια συλλογής της αιωρούμενης ύλης να αντιστοιχούν στα ανθρώπινα όργανα του αναπνευστικού συστήματος που συναντούν τα εισερχόμενα σωματίδια από τη ρινική κοιλότητα μέχρι τις κυψελίδες του πνεύμονα, όπως απεικονίζεται χαρακτηριστικά στην Εικόνα 17.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen impactor είναι ότι μπορεί να μετράει με ακρίβεια ατμοσφαιρικά αερολύματα (υγρά και στερεά σωματίδια). Είναι εύκολος στη χρήση, στη μεταφορά και στη βαθμονόμηση. Επίσης τα φίλτρα στη συνέχεια μπορούν να οδηγηθούν προς χημική ανάλυση.



Εικόνα 17: Σχηματική απεικόνιση και παραλληλισμός της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων στα οκτώ στάδια του δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen, με τα στάδια του αναπνευστικού συστήματος (από το εγχειρίδιο χρήσης του οργάνου)

Συνήθως ο χρόνος μιας δειγματοληψίας διαρκεί από κάποια λεπτά της ώρας και μπορεί να φτάσει έως πολλές ώρες ή και ημέρες. Αυτός εξαρτάται από τα επίπεδα ρύπανσης στο χώρο δειγματοληψίας και τον βαθμό ευαισθησίας της αναλυτικής μεθόδου που θα ακολουθηθεί. Βάρος σωματιδιακής ύλης ίσο με 10 mg σε οποιοδήποτε από τα στάδια του δειγματολήπτη είναι κατά προσέγγιση το ανώτερο όριο για τις δειγματοληψίες που μπορεί να πραγματοποιήσει ο δειγματολήπτης αυτός. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σωματιδίων παρατηρείται ότι τα συλλεχθέντα στα φίλτρα σωματίδια,

συμπαράσύρονται και οδηγούνται προς την έξοδο του δειγματολήπτη, από το ρεύμα αέρα. Ως εκ τούτου μία δειγματοληψία περίπου 24 ωρών, οπότε και διέρχεται όγκος

αέρα ίσος με εκείνον που περίπου χρειάζεται ένας ενήλικας άνθρωπος για την αναπνοή του το 24-ωρο, είναι ο ενδεδειγμένος χρόνος δειγματοληψίας.

Ο συγκεκριμένος δειγματολήπτης ενδείκνυται τόσο για μετρήσεις σε εσωτερικούς χώρους (γραφεία, εργοστάσια, άλλους χώρους εργασίας, κατοικίες κτλ.) όσο και σε εξωτερικούς χώρους στους οποίους εξετάζονται περιβαλλοντικές διεργασίες.

Πριν την έναρξη της δειγματοληψίας θα πρέπει να καθαρίζονται οι πλάκες, ενώ τα φίλτρα θα πρέπει να ζυγίζονται υπό φυσιολογικές συνθήκες γραφείου (25 °C, αποφυγή υψηλής σχετικής υγρασίας του αέρα κτλ.). Καλό είναι να διατηρούνται τα φίλτρα σε ξηραντήρα για την αποφυγή επιμόλυνσης τους από μόρια νερού ή άλλες χημικές ουσίες, έως την ώρα της ζύγισης, και κατόπιν τούτου να τοποθετούνται στην κατάψυξη, μέχρι την ημέρα που θα αναλυθούν στο χημικό αναλυτικό εργαστήριο.

Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται για την σταθμική μέτρηση της μάζας των σωματιδίων είναι αδρανή στα ατμοσφαιρικά αέρια και σωματίδια, στις συγκεντρώσεις και τις συνθήκες του περιβάλλοντος της περιοχής δειγματοληψίας. Χρησιμοποιούνται φίλτρα από ίνες χαλαζία (QFF – Quartz Fiber Filter) τα οποία παρουσιάζουν υψηλή απόδοση στη συλλογή των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Πριν την δειγματοληψία δεν γίνεται καμία επεξεργασία των φίλτρων ενώ για το σύνολο των διαφόρων δειγματοληψιών που στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν τυφλά δείγματα (blanks), προκειμένου να εκτιμηθούν και εν συνεχεία να αφαιρεθούν τα επίπεδα των διαφόρων χημικών ρυπαντών στο καθαρό φίλτρο.

Δειγματοληψία με τον Andersen C.I.

Οι δειγματοληψίες με τον προσκρουστήρα Andersen C.I. παρέχουν μία μέση τιμή για την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε έναν χώρο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με τον προσκρουστήρα Andersen C.I. ήταν απαραίτητα για την εύρεση της δόσης και της έκθεσης των ατόμων που εργάζονταν στον χώρο δειγματοληψίας.

Σε κάθε δειγματοληψία, ο προσκρουστήρας λειτουργούσε για περίπου 24 με 26 ώρες προκειμένου να ληφθεί μια ακριβής εικόνα της κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων στον χώρο.

Για την κάθε δειγματοληψία χρησιμοποιούνταν 10 φίλτρα από ίνες χαλαζία (quartz fiber filters), τα 9 τοποθετούνταν στον προσκρουστήρα και ένα λειτουργούσε ως «τυφλό», τα οποία αφήνονταν για εξισορρόπηση με το περιβάλλον για 24 με 48 ώρες πριν την δειγματοληψία μέσα σε τριβλία.

Την ημέρα της δειγματοληψίας ζυγίζονταν όλα τα φίλτρα σε ζυγό ακριβείας Sartorius CP 225D (Sartorius AG, Goettingen, Germany). Κάθε φίλτρο ζυγιζόταν δύο φορές προκειμένου να υπολογιστεί ο μέσος όρος των τιμών. Στην περίπτωση που προέκυπτε διαφορά μεγαλύτερη από 0,02 μg, η ζύγιση πραγματοποιούνταν εκ νέου. Μετά την ζύγιση τα 9 φίλτρα τοποθετούνταν στο όργανο ενώ το τυφλό παραμένει στο εργαστήριο. Μετά το πέρας της δειγματοληψίας αφαιρούνταν τα φίλτρα με προσοχή από τον προσκρουστήρα και αφήνονταν άλλες 24 με 48 ώρες στο περιβάλλον του εργαστηρίου με σκοπό, μετά την εξισορρόπηση τους με το περιβάλλον, να ζυγιστούν εκ νέου.

Για την επεξεργασία των μετρήσεων και την εξαγωγή του ζητούμενου αποτελέσματος, αρχικά απαιτήθηκε ο υπολογισμός της διαφοράς του βάρους των φίλτρων πριν και μετά την δειγματοληψία. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο κανονικοποιημένος όγκος αέρα που πέρασε από τον Andersen C.I. κατά τη διάρκεια της μέτρησης σύμφωνα με τον τύπο:

Εξίσωση 3

$$V_{total} = \frac{P \cdot V \cdot T_0}{P_0 \cdot T}$$

Όπου :

$V_{total}[m^3]$: ο κανονικοποιημένος όγκος αέρα που διέρχεται μέσα από τον προσκρουστήρα.

$P[Pa]$: η μέση ατμοσφαιρική πίεση κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

$V[m^3]$: ο υπολογιζόμενος από το ροόμετρο όγκος αέρα που διαπέρασε τον προσκρουστήρα.

$T_0[K]$: Η απόλυτη θερμοκρασία 298K

$P_0[Pa]$: 1013 Pa

$T[K]$: η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης αεροζόλ για κάθε στάδιο του προσκρουστήρα έγινε σύμφωνα με τον τύπο:

Εξίσωση 4

$$C = \frac{\Delta m}{V_{total}} = \frac{(\overline{m}_{μετά} - \overline{m}_{πριν}) - m_{blank}}{V_{total}}$$

Όπου:

$C[\text{mg}/\text{m}^3]$: η υπολογιζόμενη συγκέντρωση μάζας για το στάδιο

$\Delta m[\text{mg}]$: η υπολογιζόμενη μάζα για το στάδιο

$V_{total}[\text{m}^3]$: ο κανονικοποιημένος όγκος αέρα που διέρχεται μέσα από τον προσκρουστήρα.

$\overline{m}_{μετά}[\text{mg}]$: η μέση τιμή των ζυγίσεων μετά τη δειγματοληψία.

$\overline{m}_{πριν}[\text{mg}]$: η μέση τιμή των ζυγίσεων πριν τη δειγματοληψία.

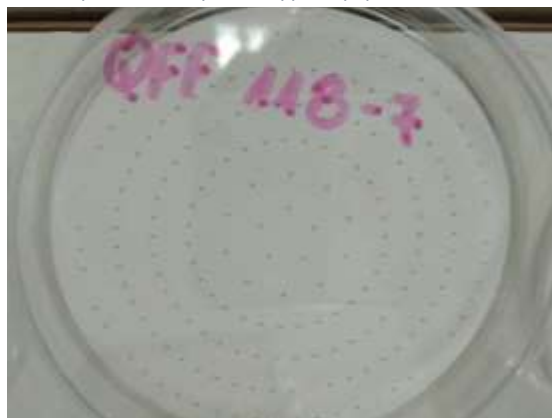
$m_{blank}[\text{mg}]$: η διαφορά βάρους των ζυγίσεων των «τυφλών» φίλτρων πριν και μετά τη δειγματοληψία.



Εικόνα19: Ζυγός ακριβείας Sartorius CP 225D (SartoriusAG, Goettingen, Germany).



Εικόνα 18: Καθαρό φίλτρο QFF μέσα σε τριβλίο και λαβίδα με το οποίο γίνεται η μεταφορά του.



Εικόνα 20: Φίλτρο QFF μετά την δειγματοληψία.

2.2.2.2. DUSTRAK και DUSTRAK II

Τα Dustrak I και Dustrak II είναι φορητά όργανα της εταιρίας TSI που μετρούν τη συγκέντρωση μάζας είτε των PM_{10} , είτε των $PM_{2,5}$, είτε των PM_1 σωματιδίων, με την προσαρμογή κατάλληλης κεφαλής μέτρησης. Λειτουργούν είτε συνδεδεμένα σε συνεχή τάση είτε με χρήση μπαταρίας διάρκειας 12-16 ωρών.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΩΝ	
Βάρος με μπαταρίες	1,5 kg
Πραγματικό μέγεθος μετρούμενων σωματιδίων	0,1-10 μm
Διακριτικότητα	0,1% ή 0,001 μm^3
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	
DUSTRAK	
Μήκος	150 mm
Πλάτος	221 mm
Ύψος	87 mm
DUSTRAK II	
Μήκος	121 mm
Πλάτος	316 mm
Ύψος	125 mm

Πίνακας 4: Βασικά χαρακτηριστικά οργάνων Dustrak I και II.

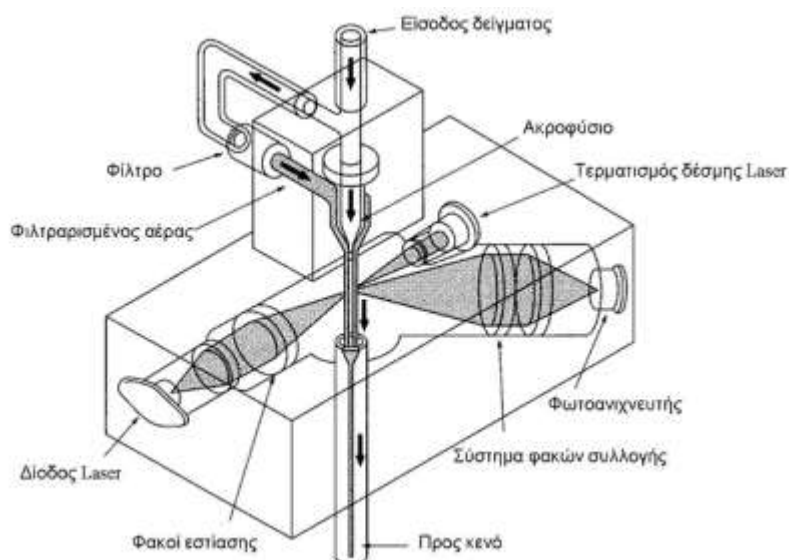


Εικόνα 21: Το φορητό όργανο Dustrak I.

Αρχή λειτουργίας:

Η λειτουργία των δύο οργάνων βασίζεται στη σκέδαση του φωτός από τα σωματίδια. Ένα ρεύμα αέρα μαζί με αιωρούμενα σωματίδια εισέρχεται στο εσωτερικό του οργάνου (Εικόνα 22) και χωρίζεται σε δύο τμήματα.

Το πρώτο τμήμα περνάει από φίλτρο και καθαρίζεται από τα αιωρούμενα σωματίδια, ενώ το δεύτερο τμήμα εισέρχεται απευθείας στο θάλαμο μέτρησης, όπου ακτινοβολείται από ακτίνα μονοχρωματικού φωτός (Laser). Η ακτίνα αυτή παράγεται από δίοδο laser και εστιάζεται κατάλληλα πάνω στο δείγμα μέσα από ένα σύστημα φακών. Το σκεδαζόμενο φως κατευθύνεται σε έναν ανιχνευτή αφού πρώτα ανακλαστεί σε φακό επικαλυμμένο με χρυσό. Η τάση του ανιχνευτή είναι ανάλογη της μάζας των σωματιδίων στο δείγμα.



Εικόνα 22: Αρχή λειτουργίας του Dustrak I και του Dustrak II.

Η τάση αυτή, πριν αντιστοιχιστεί στη συγκέντρωση, πολλαπλασιάζεται με μία σταθερά που προκύπτει από την απόκριση του οργάνου σε γνωστή συγκέντρωση συγκεκριμένου δείγματος αιωρούμενων σωματιδίων (Arizona Test Dust, A1). Η σταθερά αυτή χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιηθεί η εξάρτηση της σκέδασης από το συντελεστή σκέδασης, την κατανομή μεγέθους, το σχήμα και την πυκνότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στο εξεταζόμενο δείγμα αέρα. Γενικά το όργανο παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια για δείγματα αιωρούμενων σωματιδίων που αποτελούνται από ίδιου μεγέθους σωματίδια (monodisperse aerosol). Κατά τη χρήση του σε πραγματικά περιβάλλοντα, συνίσταται η βαθμολόγηση του με βάση τα χαρακτηριστικά των μετρούμενων σωματιδίων.

2.2.2.3 DUSTRAK DRX:

Το Dustrak DRX είναι επίσης όργανο της εταιρίας TSI με τα ίδια εξωτερικά χαρακτηριστικά με το Dustrak II.

Αντίθετα με το Dustrak II, το Dustrak DRX έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης συγκέντρωσης μάζας PM_{10} , $PM_{2,5}$, αναπνεύσιμων σωματιδίων (PM_{10}), ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP), και PM_{10} χωρίς την αλλαγή της κεφαλής μέτρησης.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΟΥ	
Βάρος με μπαταρίες	1,5 kg
Πραγματικό μέγεθος μετρούμενων σωματιδίων	0,1-10 μm
Διακριτικότητα	0,1% ή 0,001 μm^3
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	
Μήκος	121 mm
Πλάτος	316 mm
Ύψος	125 mm

Πίνακας 5: Βασικά χαρακτηριστικά του οργάνου Dustrak DRX



Εικόνα 23: Το φορητό όργανο Dustrak DRX.

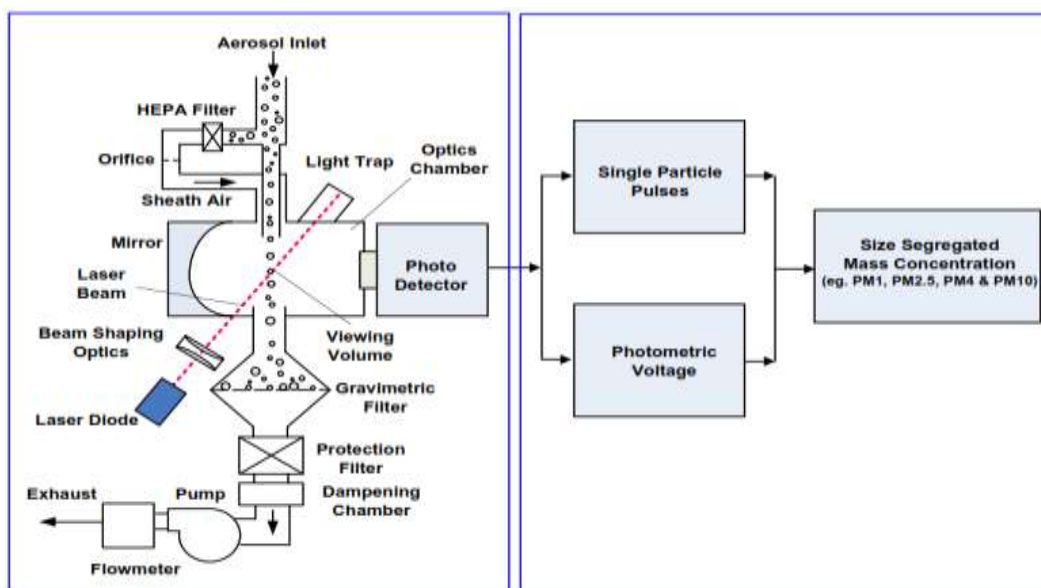
Αρχή λειτουργίας:

Η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοια με του Dustrak II. Το δείγμα αέρα εισέρχεται στο όργανο, χωρίζεται σε δύο τμήματα και στο ένα από αυτά απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια. Το άλλο τμήμα ακτινοβολείται από ακτίνα μονοχρωματικού φωτός (Laser) και η σκεδαζόμενη ακτινοβολία συλλέγεται από ένα ανιχνευτή.

Η διαφορά των οργάνων έγκειται στην επεξεργασία που ακολουθεί. Εκτός από την τάση στον ανιχνευτή, που είναι ανάλογη της συγκέντρωσης μάζας, γίνεται και επεξεργασία των μεμονωμένων παλμών από το φωτόμετρο που αντιστοιχούν σε μετρήσεις ξεχωριστών σωματιδίων.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 23, το σήμα του φωτόμετρου χωρίζεται σε δύο τμήματα. Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$ χρησιμοποιείται η τάση του φωτόμετρου και για τη μάζα των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 1 μm , οι μεμονωμένοι παλμοί.

Οι μάζες των σωματιδίων αυτών προστίθενται ή αφαιρούνται από τη μάζα των $\text{PM}_{2,5}$ για τον υπολογισμό της μάζας των υπολοίπων κλασμάτων.



Εικόνα 24: Αρχή λειτουργίας του Dustrak DRX.

2.2.2.3 Optical Particle Counter (OPS)

Το OPS είναι ένα επιπλέον όργανο της TSI το οποίο μετράει συγκέντρωση αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων με μέγεθος 0,3 – 10 μm . Παρέχει επίσης τη δυνατότητα υπολογισμού συγκέντρωσης αριθμού σε 16 διαφορετικά εύρη μεγεθών ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Διαθέτει κατάλληλο λογισμικό για την μετατροπή της συγκέντρωσης αριθμού σε συγκέντρωση μάζας. Μπορεί να λειτουργήσει είτε σε συνεχή τάση είτε με χρήση μπαταρίας διάρκειας 10 ωρών.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΟΥ	
Βάρος με μπαταρίες	1,6kg
Διακριτικότητα	0,5% στα 0,5 μm
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	
Μήκος	216 mm
Πλάτος	224 mm
Ύψος	135 mm

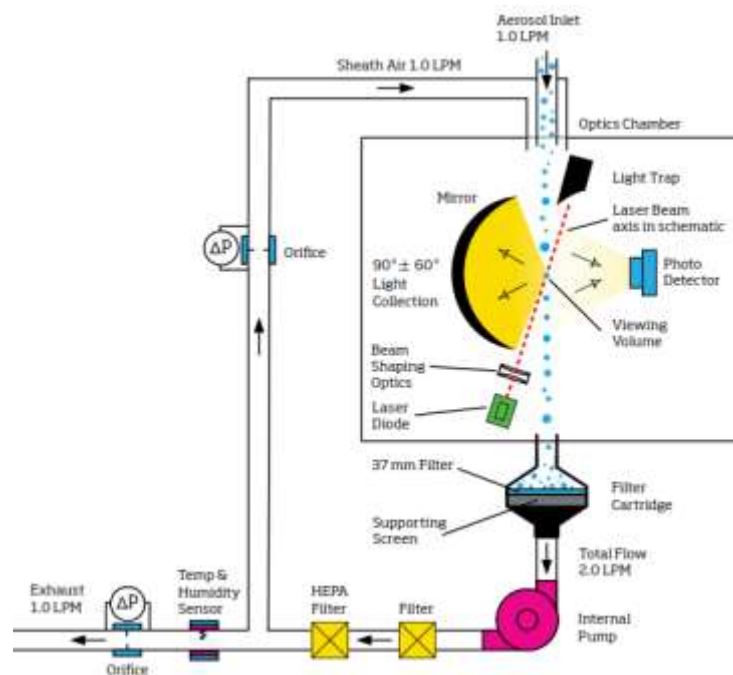
Πίνακας 6: Βασικά χαρακτηριστικά οργάνου OPS.



Εικόνα 25: Το όργανο OPS.

Αρχή λειτουργίας:

Το δείγμα αέρα εισέρχεται απευθείας στο όργανο για να περιοριστούν οι απώλειες σωματιδίων λόγω της μεταφοράς τους. Το δείγμα περιβάλλεται από καθαρό αέρα για την αύξηση της διακριτικότητας του οργάνου και τον περιορισμό της φθοράς των οπτικών τμημάτων του οργάνου. Η πίεση και η θερμοκρασία του εισερχόμενου δείγματος μετρούνται και καταγράφονται συνεχώς.



Εικόνα 26: Αρχή λειτουργίας του OPS.

Το δείγμα μέσα στο θάλαμο μέτρησης ακτινοβολείται από μια δέσμη laser και παράγει ένα ηλεκτρικό παλμό, η ένταση του οποίου εξαρτάται από τον αριθμό και το μέγεθος των σωματιδίων (για σωματίδια από 0,3 έως 10 μm). Η συλλογή του φωτός γίνεται από καθρέπτη που καλύπτει συνολική γωνία 120°, παρέχοντας έτσι καλύτερα αποτελέσματα. Μετά τη μέτρηση το δείγμα συλλέγεται σε φίλτρο 37 mm παρέχοντας τη δυνατότητα περεταίρω σταθμικής ή χημικής ανάλυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1. Μέτρηση μετάλλων

3.1.1 Πρωτόκολλο χώνευσης

Για την ανάλυση των δειγμάτων των δειγματοληψιών με το Andersen I.C. εφαρμόστηκε το παρακάτω πρωτόκολλο χώνευσης των μετάλλων, ενώ τα υγρά δείγματα που ελήφθησαν από την διαδικασία αυτή, οδηγήθηκαν για μέτρηση των συγκεντρώσεων των μετάλλων σε διάταξη ICP-MS.

Πρωτόκολλο χώνευσης:

1. Το μισό του φίλτρου διαμέτρου 47 mm αφού αποκοπεί με προσοχή με τη βοήθεια χειρουργικού ψαλιδιού, κόπτεται σε 3-4 τεμάχια εντός λευκής οβίδας, κατασκευασμένης από το οργανικό πολυμερές (πλαστικό) Teflon (πολυτετραφθοροαιθυλένιο ή PTFE, με χημικό τύπο $(C_2F_4)_n$, σημείο τήξης 326,8 °C, πυκνότητα 2,2 g/cm³, κατά IUPAC poly(1,1,2,2tetrafluoroethylene)), εσωτερικής διαμέτρου και ύψους 3 και 7 εκατοστά αντίστοιχα.

Η κατασκευή των οβίδων είναι τέτοια (υλικό, πάχος περιβλήματος, ασφαλές κλείδωμα πώματος κτλ.) που επιτρέπει την διαχείρισή τους σε ακραίες συνθήκες (χρήση πυκνών ισχυρών οξέων, θερμαντικής πλάκας, ισχυρής πίεσης στο εσωτερικό τους), με απόλυτη ασφάλεια για το δείγμα (μηδενικές απώλειες) και το ερευνητικό προσωπικό που τις διαχειρίζεται.

2. Εντός κάθε οβίδας προστίθενται 5 mL πυκνού νιτρικού οξέος (Nitricacid 65 %, Suprapur, 250 mL, d=1,39 g/mL, No.1.0041.0250, Merck) και αφού ασφαλιστούν τοποθετούνται επάνω σε θερμαντικές πλάκες στους 80 °C για 18 ώρες.
3. Εν συνεχεία αφήνονται εντός απαγωγού (Εικόνα 28) για 1 ώρα και 30 λεπτά ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου και αμέσως μετά απασφαλίζονται.
4. Το υγρό εκχύλισμα διηθείται (διηθητικό χαρτί Filter paper, Whatman, Ashless, 40, 90 mm, CatNo. 1440 090) και το δοχείο από Teflon, όπως και το χωνί με το φίλτρο ξεπλένονται διαδοχικά από 1 mL και συνολικά με 5 mL περίπου υπερκάθαρου νερού, ώστε ο τελικός όγκος του δείγματος να φτάσει ακριβώς τα 10 mL



Εικόνα 27: Δείγμα κατά τη διάρκεια των εκχυλίσεων.

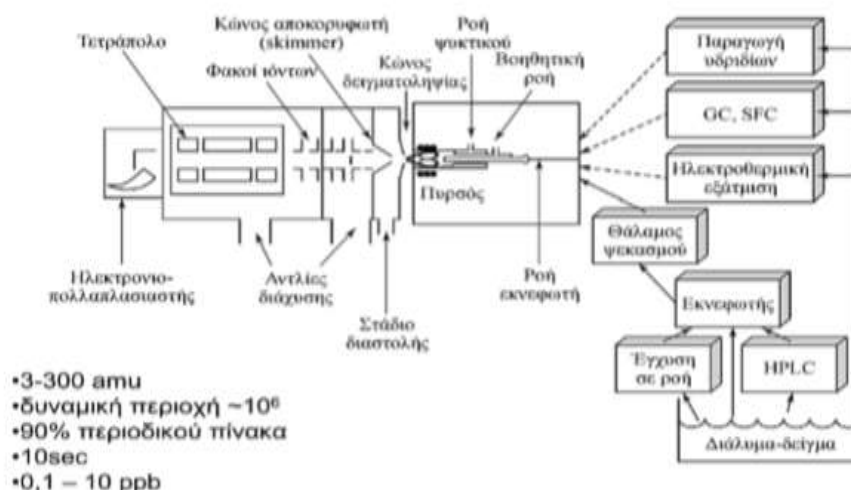
5. Τέλος τα δείγματα τοποθετούνται σε ψυγείο και οδηγούνται για χημική ανάλυση εντός 10 ημερών από την ημέρα χώνευσης.

Κατά την διαδικασία χώνευσης πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις τυφλού δείγματος (blank), για να βεβαιωθεί το επίπεδο επιμόλυνσης κατά τη φάση της χημικής χώνευσης.



3.1.2 Διάταξη φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS)

Η ανάλυση των δειγμάτων για μέταλλα έγινε στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών (ICP-MS 7500cx coupled with Auto sampler Series 3000, both by Agilent Technologies). Κατά την ανάλυση των μετάλλων με το ICP-MS αξιοποιήθηκε η δυνατότητα του οργάνου να λειτουργεί σε collision (He) ή/και reaction (H₂) mode με στόχο την παραγωγή ακόμα πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων λόγω του περιορισμού των ισοβαρών παρεμποδίσεων (π.χ. παρεμπόδιση του 40Ar12C στην ανάλυση του 52Cr). Στην Εικόνα 15 εμφανίζονται τα κύρια μέρη της διάταξης φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος, ICP-MS, που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις, ενώ στον Πίνακας 7 που ακολουθεί φαίνονται οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου κατά τη μέτρηση.



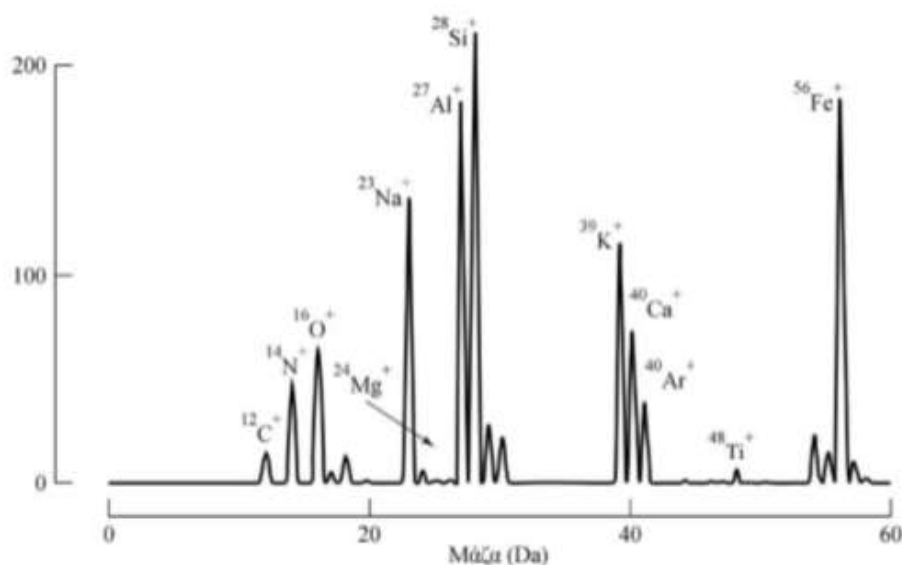
Εικόνα 29: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης φασματομετρίας μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος, ICP-MS.

Η ανάλυση με το ICP-MS πλεονεκτεί των άλλων τεχνικών (ατομική απορρόφηση, φασματοφωτομετρία, σταθμικός προσδιορισμός κλπ.), κυρίως ως προς την ταχύτητα μέτρησης και τα χαμηλότερα όρια ανίχνευσης (detection limits). Έτσι σε ορισμένες περιπτώσεις όπως στη μέτρηση του Al, του Ba και του V, το όριο ανίχνευσης στην ICP-MS μπορεί να είναι μέχρι και 5000 φορές χαμηλότερο του αντίστοιχου στην φασματομετρία ατομικής απορρόφησης με φλόγα. Γενικά η έκφραση των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση εξωτερικής καμπύλης βαθμονόμησης, (5 τουλάχιστον επίπεδα συγκέντρωσης με συντελεστή συσχέτισης (r) της τάξης του 0,99 για κάθε στοιχείο), χρησιμοποιώντας πρότυπες ενώσεις κατάλληλης καθαρότητας της εταιρείας Merck.

Τα όρια ανίχνευσης προέκυψαν από τις καμπύλες βαθμονόμησης με κατάλληλους μαθηματικούς υπολογισμούς (Chemstation Software by Agilent). Επιπλέον το μεγαλύτερο εύρος γραμμικότητας, η ταυτόχρονη πολυστοιχειακή ανάλυση και η δυνατότητα ανάλυσης μεγάλου αριθμού δειγμάτων σε σειρά και σε σύντομο χρόνο (batch analysis), την καθιστούν ως μία από τις πλέον πρωτοποριακές μεθόδους ανάλυσης. Οι παρεμποδίσεις της μεθόδου ICP-MS χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις φασματοσκοπικές (ισοβαρικές $^{40}\text{Ar}^+ / ^{40}\text{Ca}^+$, πολυατομικών ιόντων, οξειδίων και υδροξειδίων MO^+ και MOH^+) και τις παρεμποδίσεις της επίδρασης των συστατικών της μήτρας (αραιώση, αλλαγή πορείας εισόδου ιόντων, εσωτερικού προτύπου (ινδίο, ρόδιο)). Στην Εικόνα 30 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό φάσμα που εξήχθη από την ανάλυση δείγματος γήινης σκόνης.

RF power (W)	1500	Collision gas	He
Plasma gas flow (L/min)	0,82	Collision gas flow (mL/min)	4,5
Auxiliary gas flow (L/min)	0,26	Reaction gas	H ₂
Sampling/Skimmer cone	Ni	Reaction gas flow (mL/min)	3,5
Nebulizer type	MicroMist	Solution uptake (uL/min)	160
S/C temperature	2 °C	Replicates	3
Integration time (sec per mass)		0,30	

Πίνακας 7: Οι συνθήκες λειτουργίας του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών (ICP-MS 7500 cx coupled with Autosampler Series 3000, both by Agilent Technologies).



Εικόνα 30: Πρότυπο φάσμα διάταξης ICP-MS για δείγμα γήινης σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Μοντέλο ExDoM 2

Για τον υπολογισμό της έκθεσης, της δόσης αλλά και της συσσώρευσης αιωρούμενων σωματιδίων στο Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ExDoM 2. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στο προγενέστερο ExDoM που αναπτύχθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης (Chalvatzaki, Aleksandropoulou, & Lazaridis, 2014).

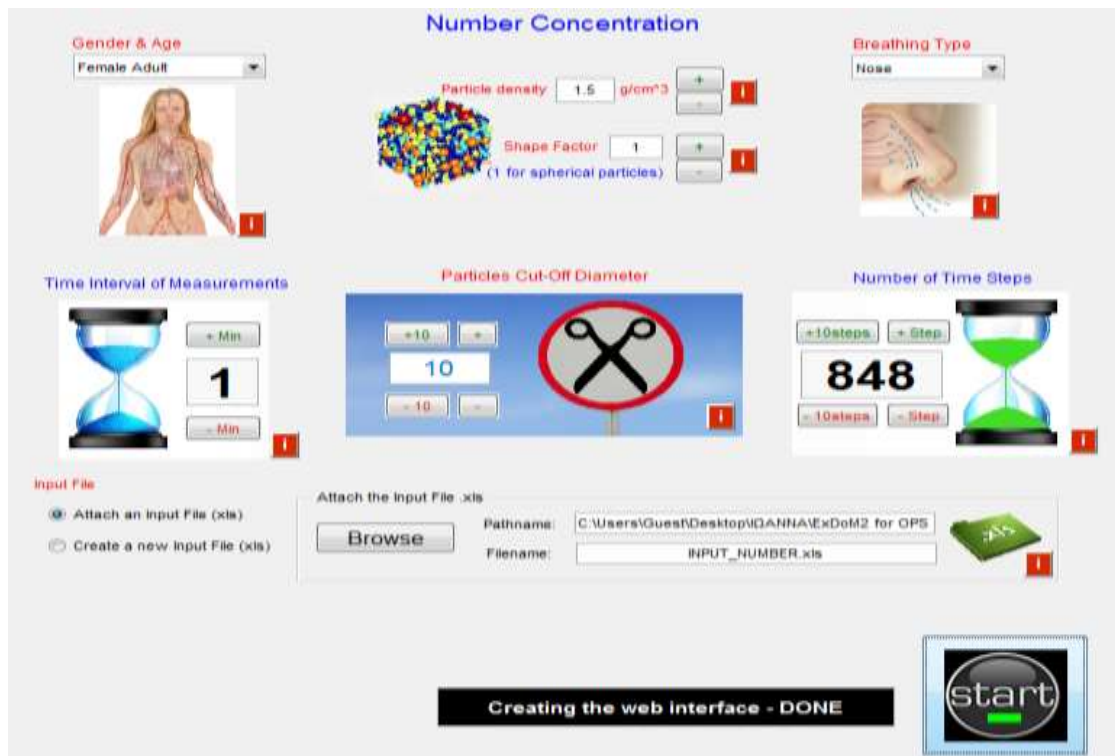
Το ExDoM 2 υπολογίζει την εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων στο Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα με τη βοήθεια ημιεμπειρικών εξισώσεων που προτείνονται στο μοντέλο του αναπνευστικού συστήματος (HRTM) της διεθνούς υπηρεσίας ακτινοπροστασίας (ICRP, 2015). Υπολογίζει την εναπόθεση στα διάφορα μέρη του

αναπνευστικού συστήματος, τόσο για τα χονδρά όσο και για τα λεπτά σωματίδια. Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα επιλογής στον χρήστη διαφόρων μεταβλητών βάσει των οποίων αλλάζει η εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων (φύλλο, ηλικία, τρόπος αναπνοής κ.ά.).

Το περιβάλλον εργασίας του ExDoM 2 έχει σχεδιαστεί από τον φοιτητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Παπαγιαννάκη Εμμανουήλ, και είναι ιδιαίτερα κατανοητό και εύκολο στην χρήση. Λειτουργεί σε περιβάλλον Matlab και δέχεται αρχεία excel είτε για την μάζα είτε για το πλήθος των αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία μπορεί να έχουν προκύψει από οποιοδήποτε όργανο μέτρησης χωρίς περιορισμό.



Εικόνα 31: Το περιβάλλον εργασίας του ExDoM 2 για εισαγωγή δεδομένων μάζας αιωρούμενων σωματιδίων.



Εικόνα 32: Το περιβάλλον εργασίας του ExDoM 2 για εισαγωγή δεδομένων πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1. Αποτελέσματα δειγματοληψιών

Όπως αναφέρθηκε, ο κύριος όγκος δειγματοληψιών έλαβε χώρα στην αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου της Αρχιτεκτονικής σχολής του Πολυτεχνείου Κρήτης (Θα αναφέρεται ως αίθουσα ζωγραφικής για λόγους απλούστευσης), προκειμένου να μελετηθεί η επιρροή της ποιότητας του αέρα στον χώρο αυτό από τις εργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια των μαθημάτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην αίθουσα χρησιμοποιούνται κυρίως χρώματα σε μορφή σκόνης και διαλυτικές ουσίες.

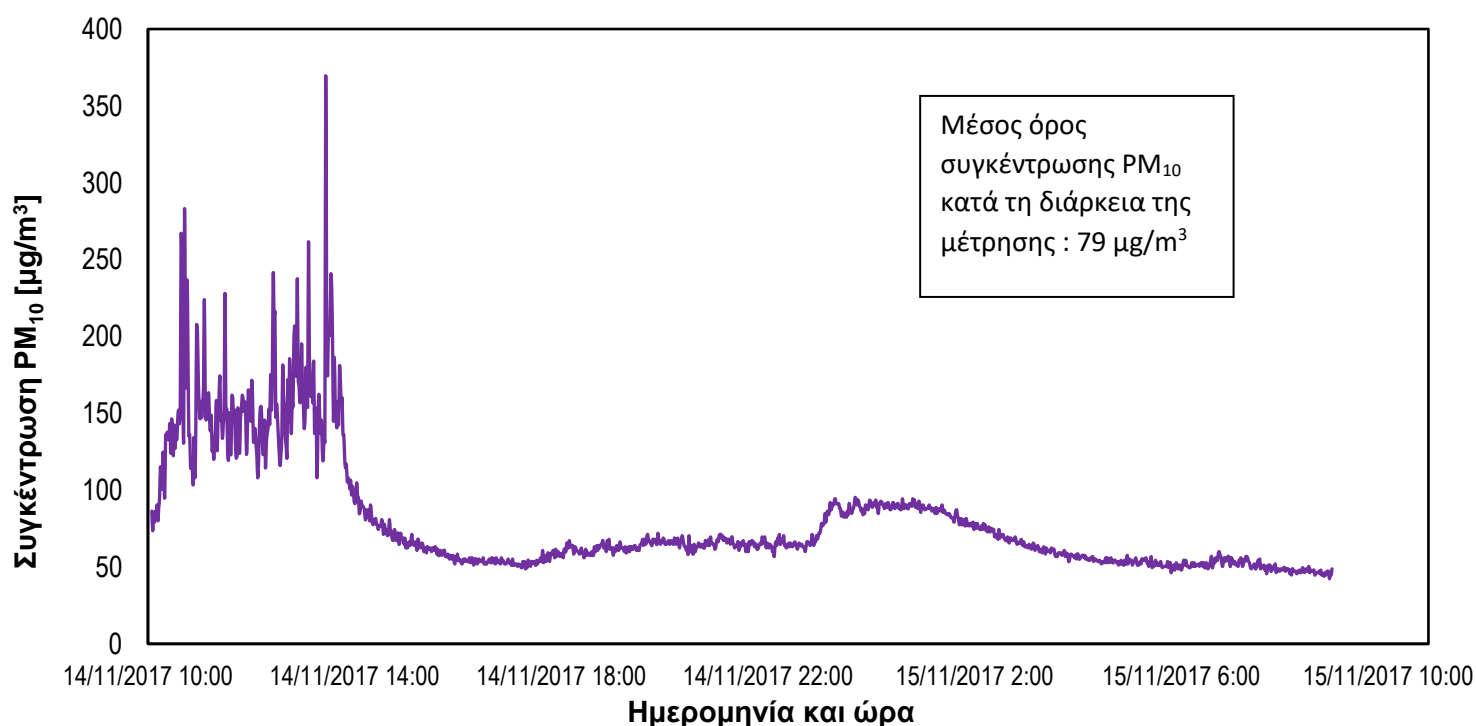
Παράλληλα με αυτή τη δειγματοληψία, ελέγχονταν και τα δεδομένα εξωτερικής συγκέντρωσης PM_{10} από το σταθμό μετρήσεων στο Πολυτεχνείο Κρήτης ώστε να διορθωθούν τα αποτελέσματα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στην αίθουσα ζωγραφικής και να συγκριθούν μεταξύ τους ώστε να κατανοηθεί η επιρροή του εσωτερικού περιβάλλοντος από το εξωτερικό.

Πραγματοποιήθηκε επίσης μία δειγματοληψία στο Εργαστήριο Προπλάσμάτων και Τεχνολογικών Εφαρμογών για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια διαφόρων εργασιών.

Τέλος πραγματοποιούνταν και έλεγχος των μετεωρολογικών δεδομένων κατά τη διάρκεια κάθε δειγματοληψίας προκειμένου να γίνει συσχέτιση της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων εντός και εκτός του χώρου με κάποια από αυτά (π.χ. θερμοκρασία, βροχόπτωση κ.ά.).

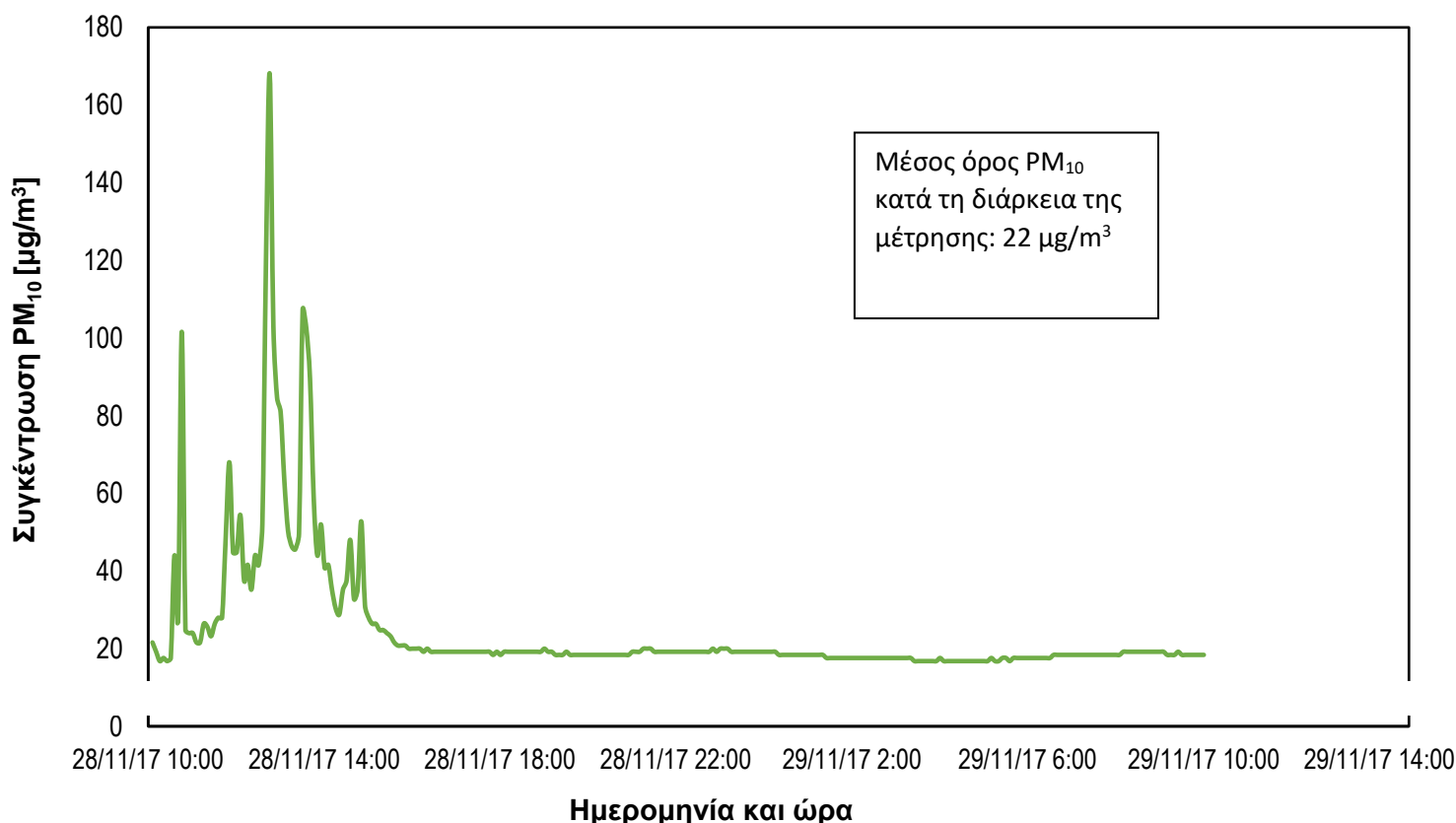
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα της πρώτης δειγματοληψίας που έλαβε χώρα στην αίθουσα ζωγραφικής που εξετάζεται.

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} στην Αίθουσα Ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής με τη χρήση του Dustrak DRX από τις 14/11/2017 10:05 έως τις 15/11/2017 08:55.



Σχήμα 1: Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} στην αίθουσα Ζωγραφικής και σχεδίου της Αρχιτεκτονικής σχολής.

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ στην Αίθουσα Ζωγραφικής της
Αρχιτεκτονικής Σχολής με τη χρήση του Dustrak DRΧαπό τις 28/11/2017 10:05 έως
τις 29/11/2017 10:00.**

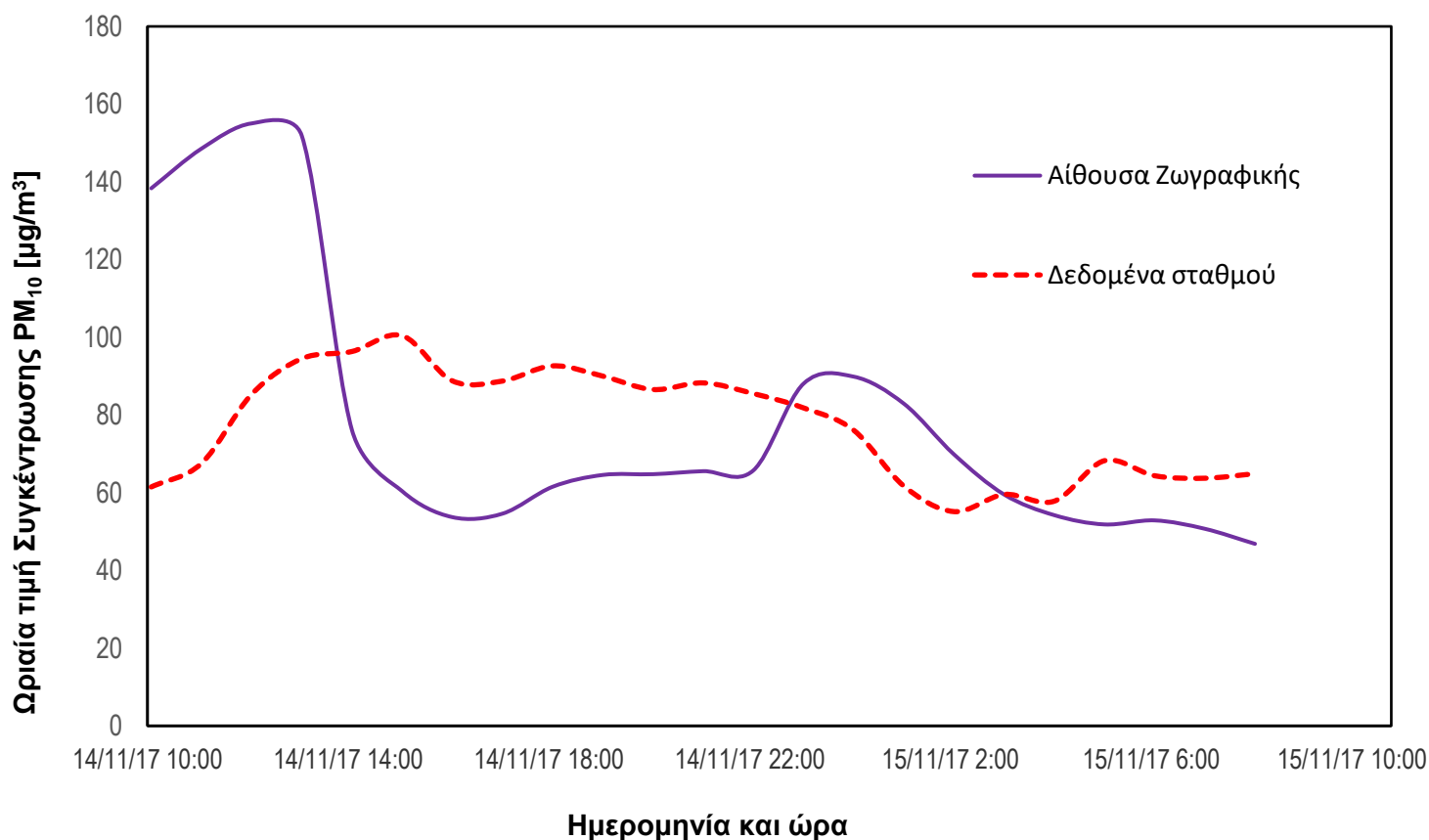


Σχήμα 2: Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ στην αίθουσα ζωγραφικής και σχεδίου της Αρχιτεκτονικής σχολής.

Στις δύο παραπάνω μετρήσεις Σχήμα 1 και Σχήμα 2 παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και υπερβολικά υψηλές τιμές κατά τη διάρκεια του μαθήματος ζωγραφικής μέσα στην αίθουσα. Όσον αφορά την πρώτη μέτρηση οι συγκεντρώσεις κατά την διάρκεια αυτών των ωρών είναι μέχρι και 6 φορές υψηλότερες από τις συγκεντρώσεις των υπολοίπων ωρών. Παρ' όλο που η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων μειώνεται αισθητά μετά το πέρας του μαθήματος, δεν κινείται στα φυσιολογικά επίπεδα για έναν εσωτερικό χώρο η οποία είναι κοντά στα 25 µg/m³. Τέλος παρατηρείται διπλασιασμός της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ 23:00 και 01:00 γεγονός που πιθανό να οφείλεται σε επιρροή του χώρου από τις εξωτερικές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και συγκεκριμένα από τη μεταφορά σωματιδίων από την περιοχή των Κουνουπιδιανών. Για να εξακριβωθεί εάν ισχύει αυτός ο ισχυρισμός είναι απαραίτητος ο ταυτόχρονος έλεγχος της εσωτερικής και εξωτερικής συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Στην δεύτερη μέτρηση η τιμή της συγκέντρωσης μάζας δεν είναι τόσο υψηλή όσο η πρώτη διότι κατά κύριο λόγο το μάθημα εκείνης της ημέρας ήταν θεωρητικό και κατά συνέπεια η διακύμανση της συγκέντρωσης οφείλεται στην παρουσία ατόμων στην αίθουσα και όχι στα χρώματα σε μορφή σκόνης που αυξάνουν την τιμή της συγκέντρωσης. Η συγκεκριμένη μέτρηση πραγματοποιήθηκε και με τον προσκρουστήρα Andersen με αποτέλεσμα κοντά σε

αυτό του DRX ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι η συγκέντρωση μειώνεται στα φυσιολογικά επίπεδα ($<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), το οποίο δείχνει ότι η μεγάλη αύξηση των συγκεντρώσεων μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να επηρεάσει την συγκέντρωση στον χώρο ολόκληρη την ημέρα. Στη συνέχεια φαίνονται οι ωριαίες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας στις 14/11/17 και η συσχέτισή τους με τα δεδομένα του σταθμού.

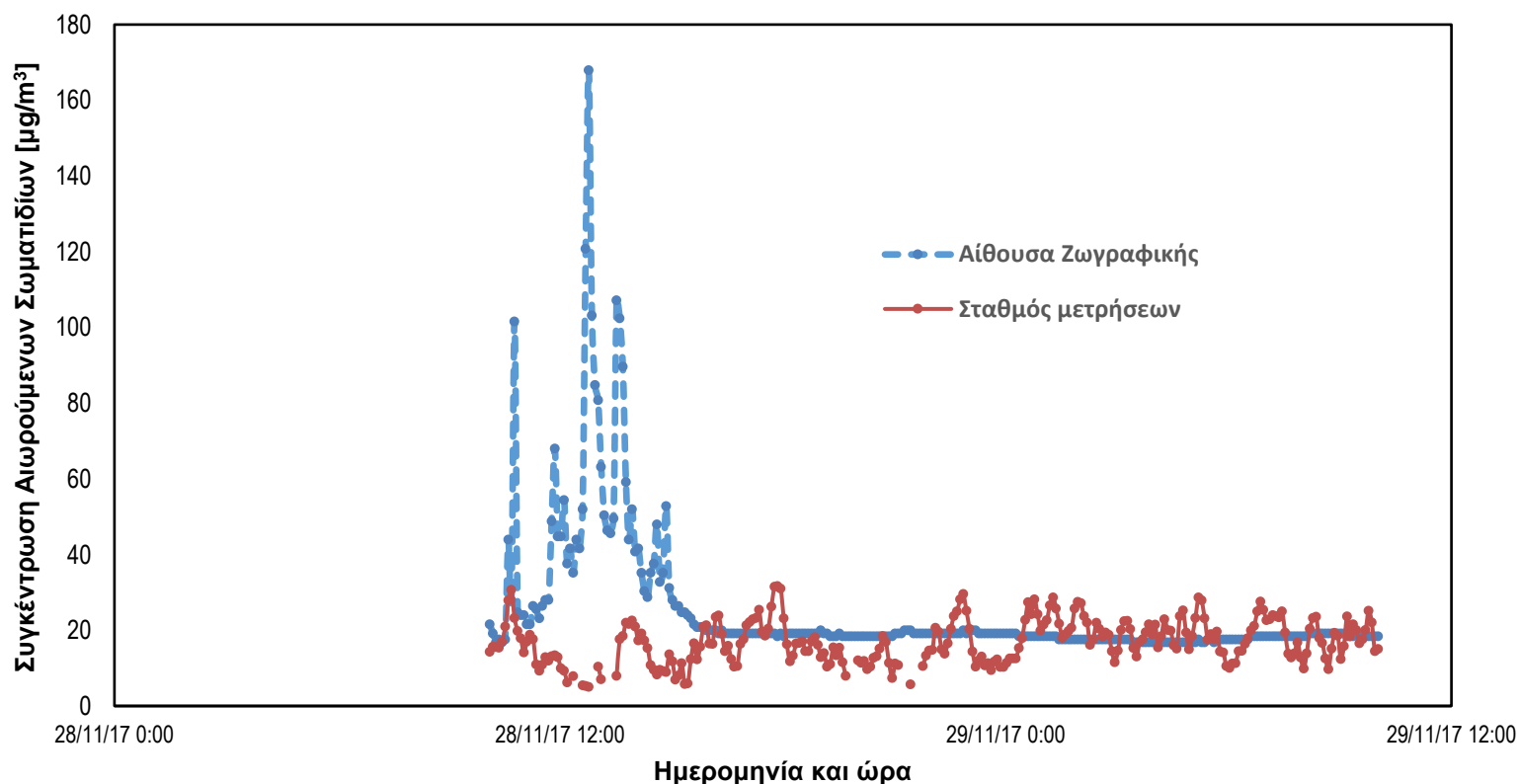
Ωριαία τιμή Συγκέντρωσης Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής σε σύγκριση με τα δεδομένα του σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης(14/11/17).



Σχήμα 3: Σύγκριση των συγκεντρώσεων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής και σχεδίου με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του σταθμού μετρήσεων.

Από τα δεδομένα του παραπάνω διαγράμματος, για το σταθμό μέτρησης, φαίνεται η αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ιδιαίτερα μεταξύ 11:00 και 12:00 το μεσημέρι η αύξηση είναι απότομη γεγονός που δικαιολογείται από την αυξημένη κίνηση που επικρατεί στο Πολυτεχνείο αυτές τις ώρες. Όμοια στις 14:00 το μεσημέρι παρατηρείται ξανά μία απότομη αύξηση, σε μικρότερο εύρος τιμών της συγκέντρωσης των αιωρούμενων. Αυτό επίσης δικαιολογείται από την αύξηση της κίνησης των οχημάτων κατά την αποχώρησή τους αυτή τη φορά από το χώρο του Πολυτεχνείου. Στη συνέχεια, καθώς η κίνηση μειώνεται τις απογευματινές ώρες μειώνεται σταδιακά και η συγκέντρωση των μετρούμενων σωματιδίων. Τέλος η συγκέντρωση αρχίζει να αυξάνεται ξανά μετά τις 02:00, λίγο αργότερα εφ' όσον έχει σταματήσει η αύξηση που παρατηρήθηκε εντός της αίθουσας ζωγραφικής. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιβεβαιώσει την αρχική υπόθεση ότι η αύξηση μέσα στην αίθουσα οφείλεται σε μεταφορά σωματιδίων από την περιοχή των Κουνουπιδιανών λαμβάνοντας υπ' όψη ότι η θερμοκρασία ήταν αρκετά χαμηλή ώστε να είναι αναγκαία η θέρμανση και οι άνεμοι ήταν νοτιοανατολικοί, δηλαδή ακριβώς στην κατεύθυνση Κουνουπιδιανών-Πολυτεχνείου. Η καθυστέρηση με την οποία παρατηρούνται οι αυξήσεις μπορεί εύκολα να εξηγηθεί από την απόσταση στην οποία βρίσκονται οι δύο τοποθεσίες με τα όργανα (η αίθουσα ζωγραφικής είναι αισθητά πιο κοντά στην κοινότητα των Κουνουπιδιανών σε σχέση με τον σταθμό μετρήσεων).

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής σε σύγκριση με τα δεδομένα του σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης(28/11/17).

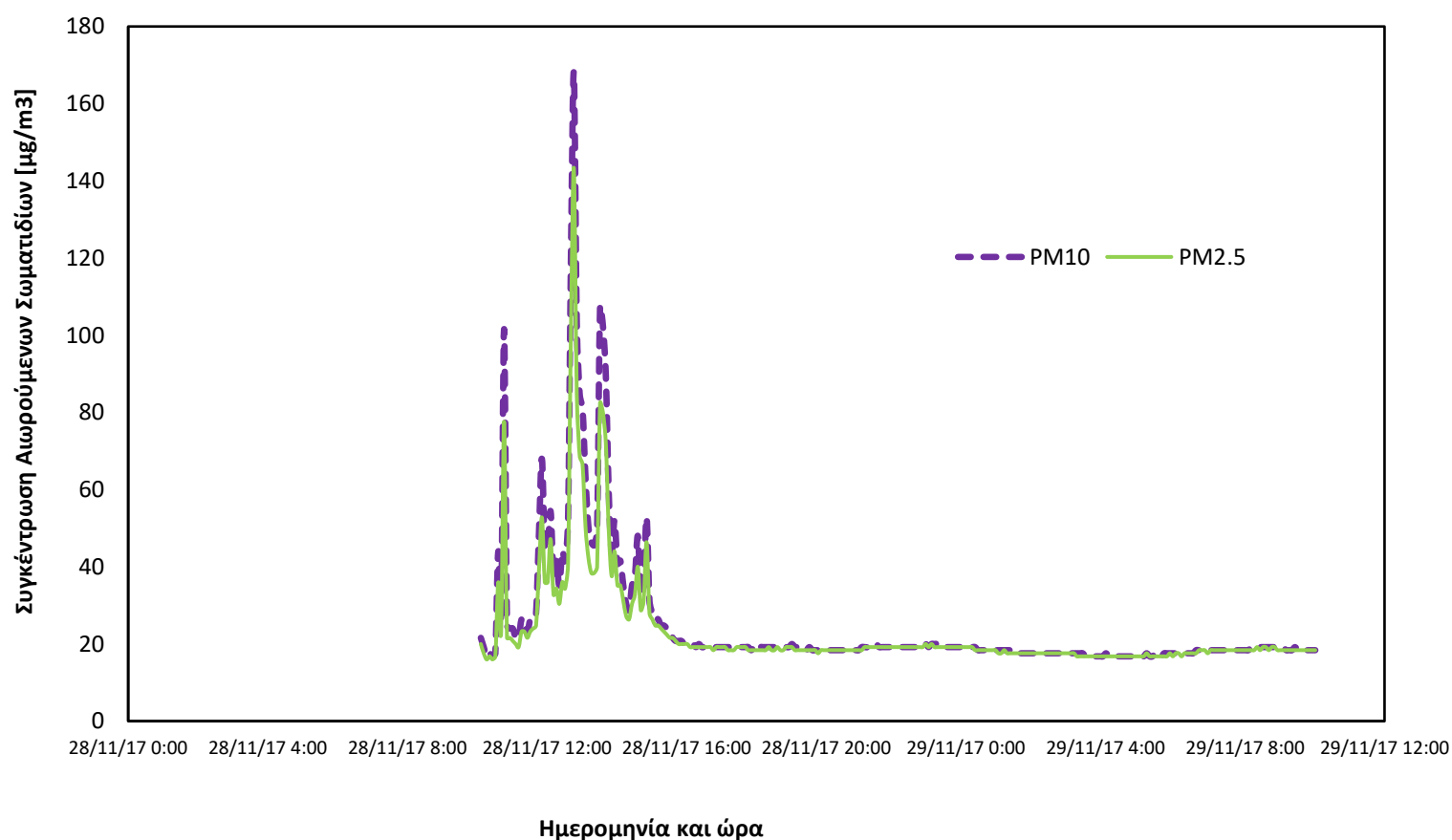


Σχήμα 4: Σύγκριση συγκεντρώσεων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής και σχεδίου με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του σταθμού μετρήσεων

Στη συγκεκριμένη μέτρηση φαίνεται ότι η εξωτερική συγκέντρωση κινείται σε χαμηλές τιμές, ενώ δεν υπάρχουν ακραίες τιμές με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η αίθουσα που μελετάται όπως στην προηγούμενη μέτρηση και για το λόγο αυτό μένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης. Καθοριστικό ρόλο σε αυτή την εικόνα της συγκέντρωσης έχει ο άνεμος ο οποίος είναι αντίθετος (ανατολικός) από την προηγούμενη μέτρηση με αποτέλεσμα να μη μεταφέρει αερολύματα από την περιοχή των Κουνουπιδιανών στα σημεία μετρήσεων.

Είναι σημαντικό επίσης να εξετασθεί η διακύμανση όχι μόνο των σωματιδίων PM_{10} όσο και των $PM_{2,5}$ για το λόγο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα μέτρησης που πραγματοποιήθηκε με το Dustrak DRX το οποίο μετρά ταυτόχρονα και τα δύο κλάσματα σωματιδίων.

Σύγκριση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$ σε σχέση με τον χρόνο. Η δειγματοληψία έλαβε χώρα από τις 28/11/2017 10:05 έως τις 29/11/2017 10:00.



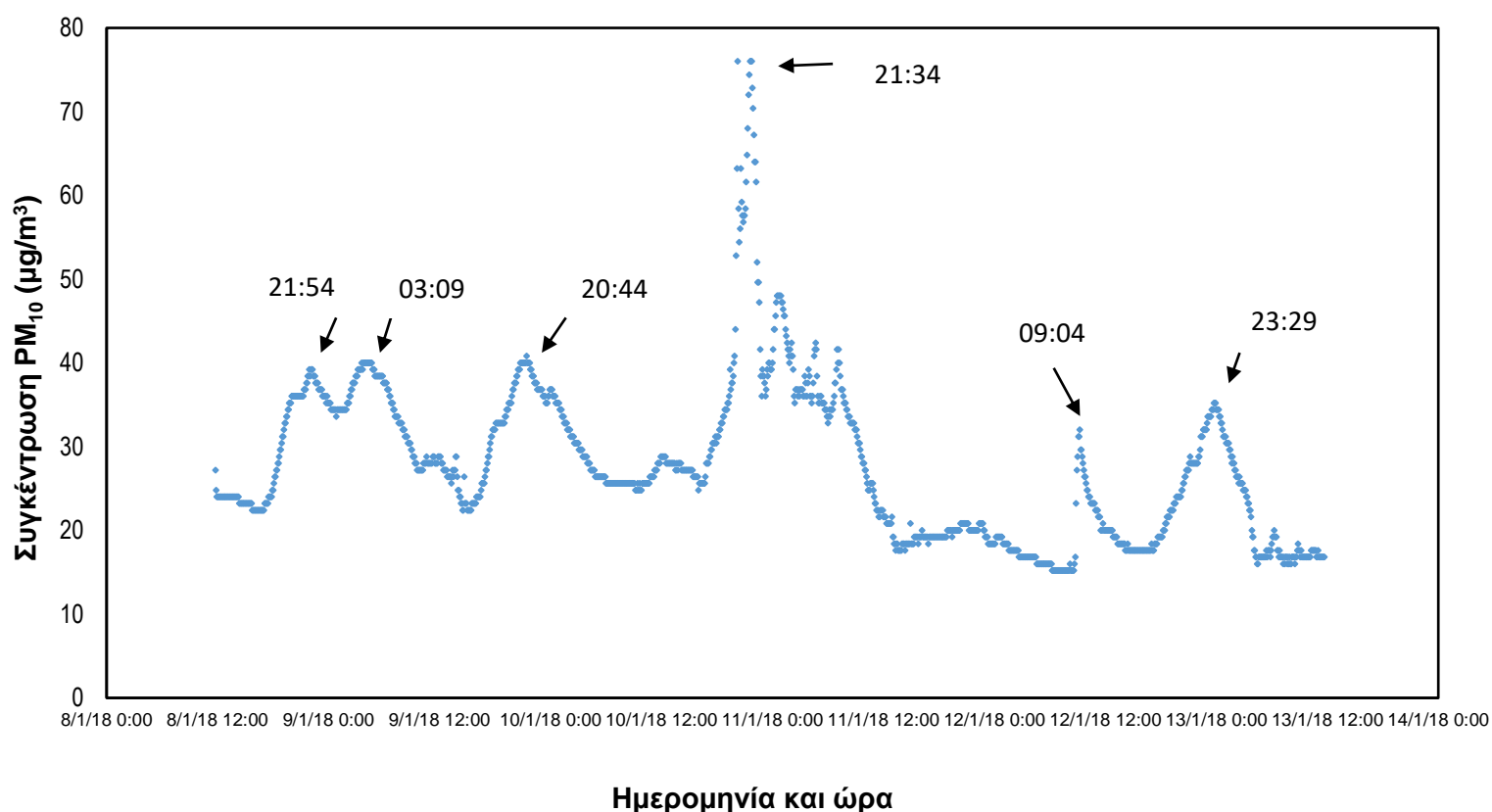
Σχήμα 5: Σύγκριση της συγκέντρωσης PM_{10} και $PM_{2,5}$ εντός της αίθουσας ζωγραφικής και σχεδίου.

Από τη σύγκριση των κλασμάτων PM_{10} και $PM_{2,5}$ φαίνεται πως καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο ενώ δεν έχουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές τους. Κατά την διάρκεια του μαθήματος και της παρουσίας ατόμων μέσα στην αίθουσα

αυξάνονται παραπάνω τα σωματίδια PM_{10} . Συγκεκριμένα ο μέσος όρος των τιμών του κλάσματος $PM_{2,5}/PM_{10}$ είναι 0,96 για όλη τη διάρκεια της ημέρας ενώ κατά την διάρκεια του μαθήματος είναι 0,86. Επομένως οι συγκεντρώσεις των σωματίδια PM_{10} κατά τη διάρκεια του μαθήματος είναι μεγαλύτερες από αυτές των $PM_{2,5}$, γεγονός που δεν συμβαίνει τόσο έντονα τις υπόλοιπες ώρες. Από αυτό μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι κατά την διάρκεια του μαθήματος ζωγραφικής αυξάνονται περισσότερο τα σωματίδια PM_{10} .

Η επίδραση της παρουσίας και δραστηριότητας ατόμων στον χώρο έγινε με μία δειγματοληψία ενώ δεν υπήρχαν άτομα σε αυτόν. Όταν πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία δεν πραγματοποιούνταν εργασίες μέσα στην αίθουσα για αρκετό διάστημα. Η δειγματοληψία έγινε με το Dustrak DRX από τις 08/01/2018 11:45 έως τις 13/01/2018 11:40. Η αίθουσα είχε παραμείνει κλειστή για αρκετό χρονικό διάστημα λόγω των διακοπών των Χριστουγέννων.

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} στην Αίθουσα Ζωγραφικής του Πολυτεχνείου Κρήτης χωρίς την παρουσία ατόμων σε αυτή.

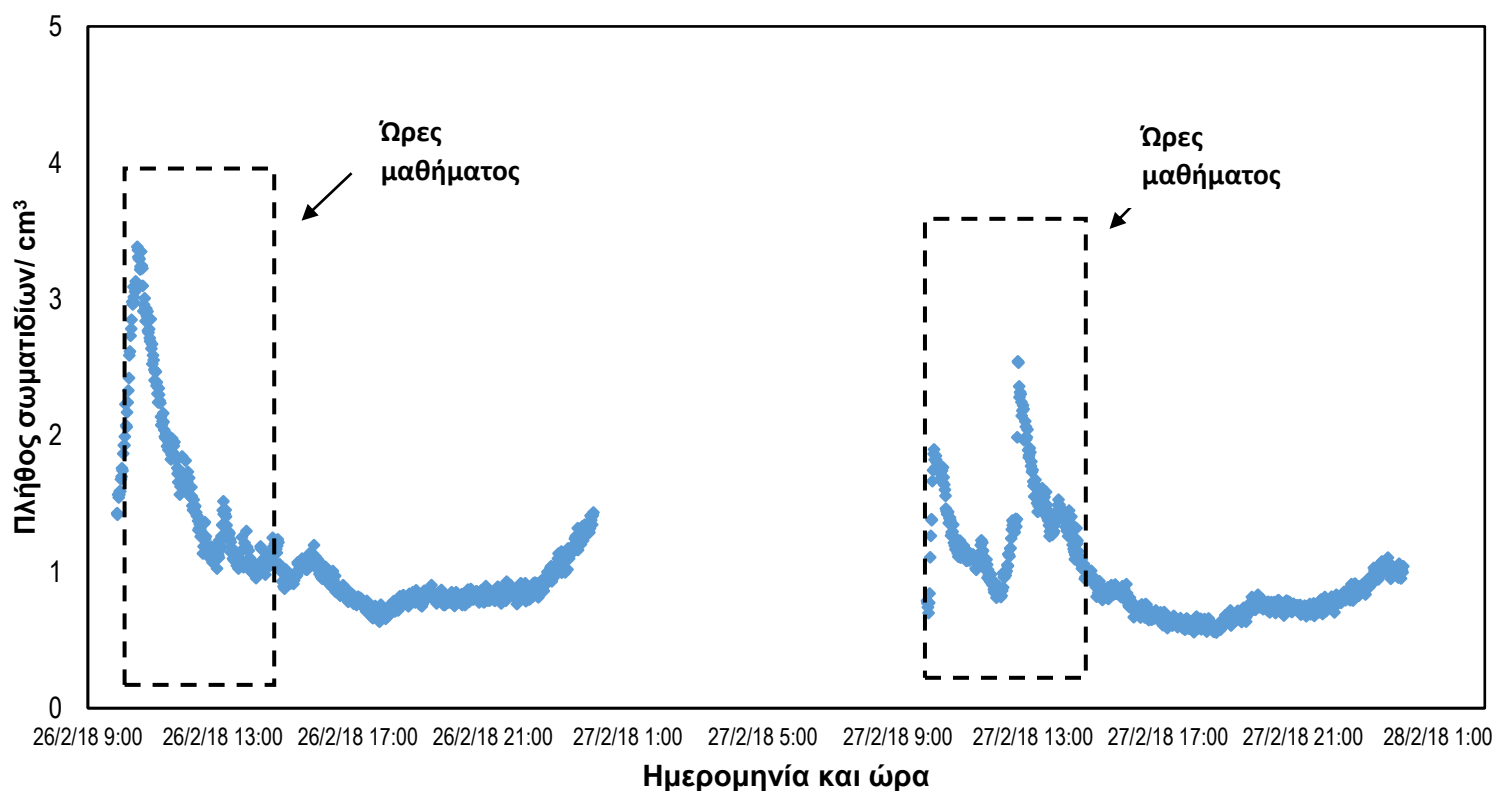


Σχήμα 6: Συγκέντρωση PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής χωρίς την παρουσία ατόμων σε αυτή.

Από τη συγκεκριμένη δειγματοληψία φαίνεται η συγκέντρωση των PM_{10} να αυξάνεται κατά τις νυχτερινές ώρες γεγονός που πολύ πιθανόν να οφείλεται σε κάποια επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος η οποία όμως δεν ήταν δυνατό να καθοριστεί. Το σημαντικό αυτής της δειγματοληψίας είναι ότι τις ώρες 10:00 με 14:00 παρατηρείται σταθερότητα στις τιμές της συγκέντρωσης μεταξύ 20 και 25 $\mu g/m^3$ και λαμβάνοντας υπ' όψη το γεγονός ότι η αίθουσα ήταν άδεια για μεγάλο χρονικό διάστημα, επιβεβαιώνονται οι μέχρι τώρα παρατηρήσεις για επίδραση του χώρου από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε αυτόν.

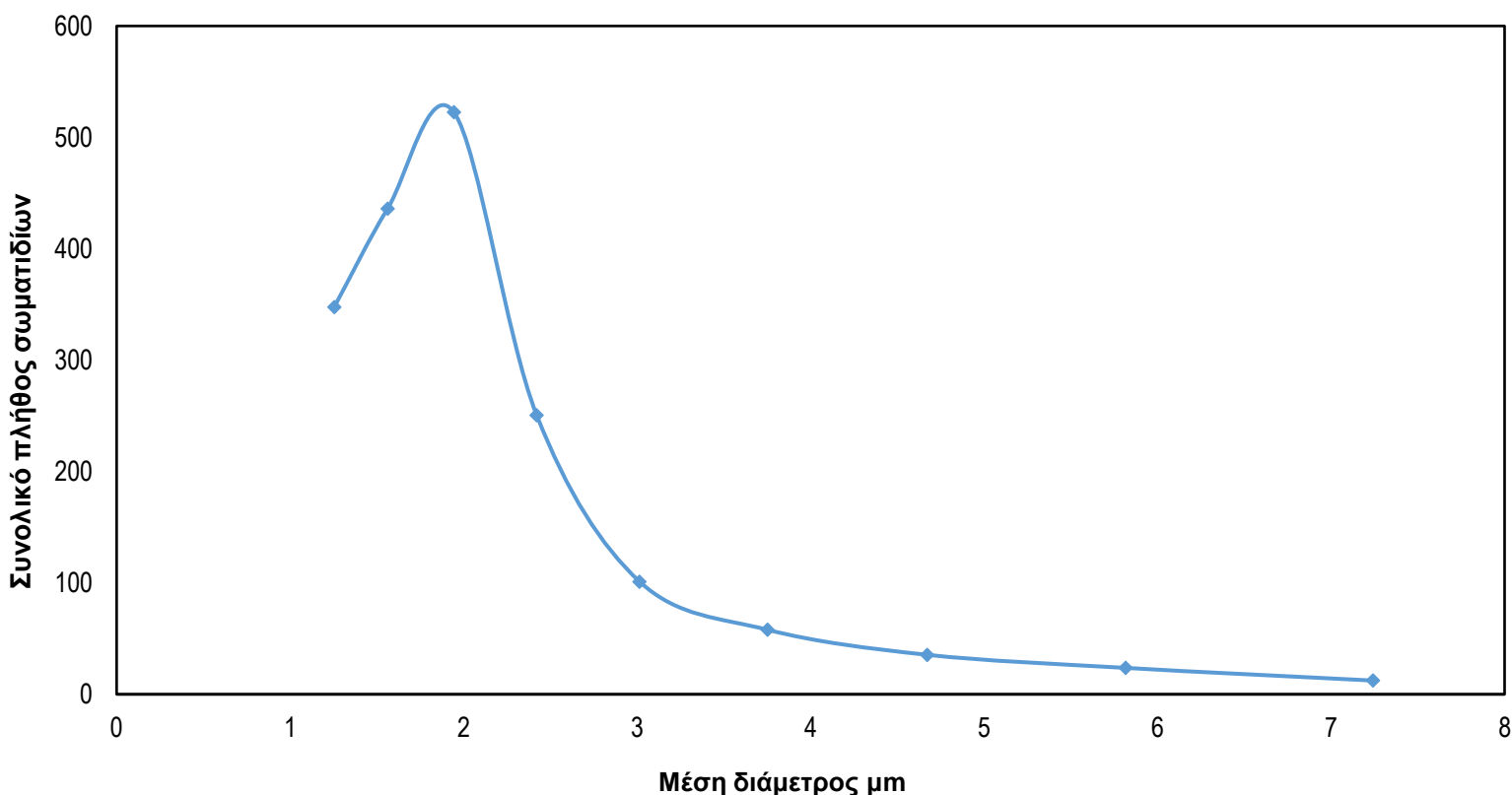
Εκτός των μετρήσεων συγκέντρωσης μάζας πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις συγκέντρωσης πλήθους των αιωρούμενων σωματιδίων εντός του χώρου ζωγραφικής τόσο κατά τη διάρκεια του μαθήματος όσο και μετά από αυτό.

Συγκέντρωση πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων μετρημένη με το OPS από τις 26/02/2018 09:50 έως τις 26/02/2018 23:59 και από τις 27/02/2018 09:50 έως τις 27/02/2018 23:59.



Σχήμα 7: Συγκέντρωση πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής.

Κατανομή συνολικού πλήθους σωματιδίων με βάση τη μέση διάμετρο τους.

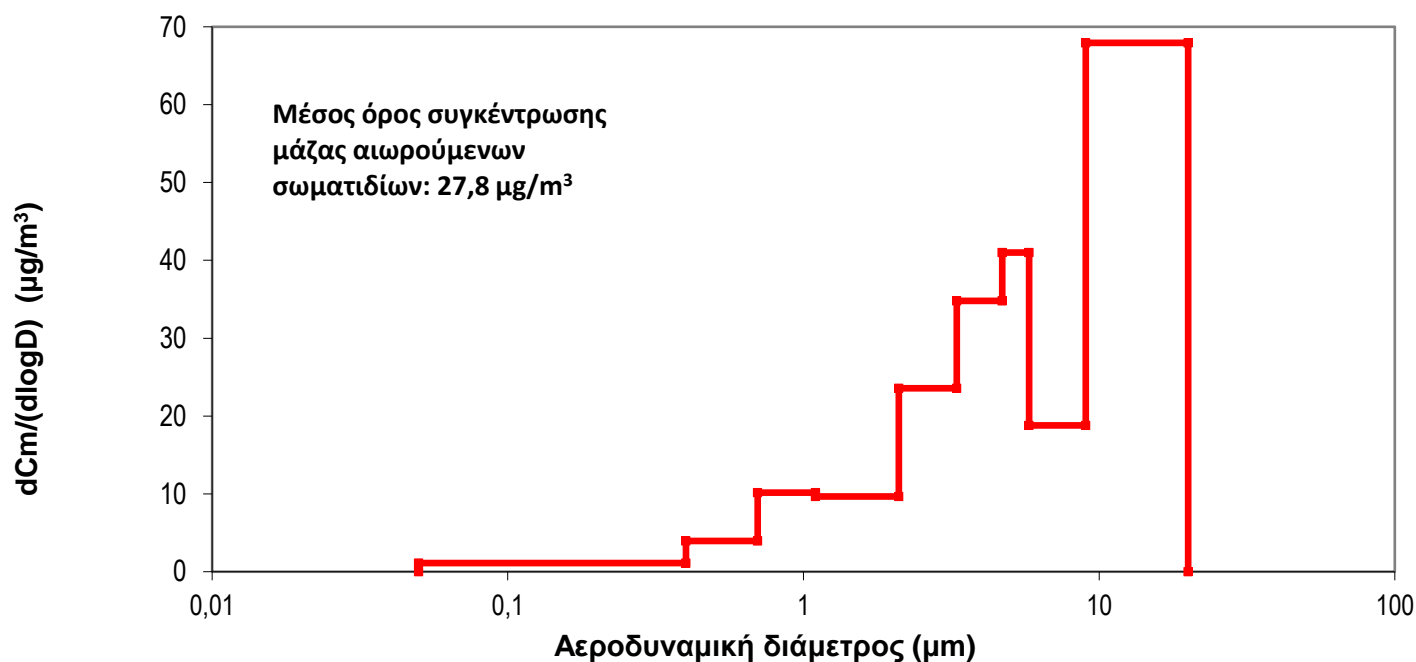


Σχήμα 8: Κατανομή συνολικού πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας.

Αντίθετα με τη μάζα, όσον αφορά το πλήθος των αιωρούμενων σωματιδίων, τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται στην περιοχή των λεπτών, γεγονός αναμενόμενο σε φυσιολογικές συνθήκες καθώς κατά κύριο λόγο τα λεπτά σωματίδια είναι περισσότερα αλλά λόγω της διαμέτρου τους καταλαμβάνουν λιγότερη μάζα και όγκο από τα χονδρά.

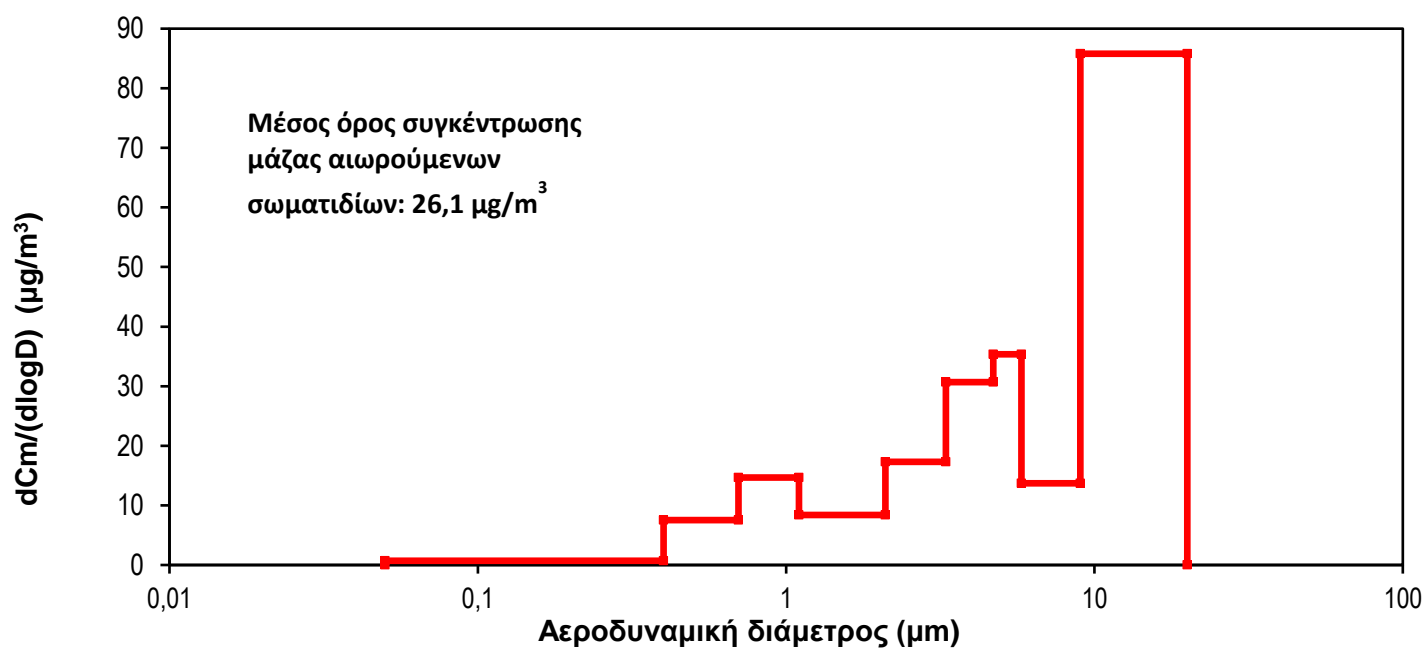
Παράλληλα με τις μετρήσεις συγκέντρωσης μάζας και πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων με τα όργανα της εταιρείας TSI που παρουσιάστηκαν παραπάνω, έγινε υπολογισμός της συγκέντρωσης μάζας και με τον προσκρουστήρα Andersen τόσο για την αίθουσα ζωγραφικής που εξετάζεται, όσο και για την εξωτερική συγκέντρωση στον σταθμό μετρήσεων.

Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα
ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής όπως προκύπτει από τα δεδομένα του
προσक्रουστήρα Andersen στις 19/03/2018.



Σχήμα 9: Απεικόνιση της κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής όπως αυτή προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.

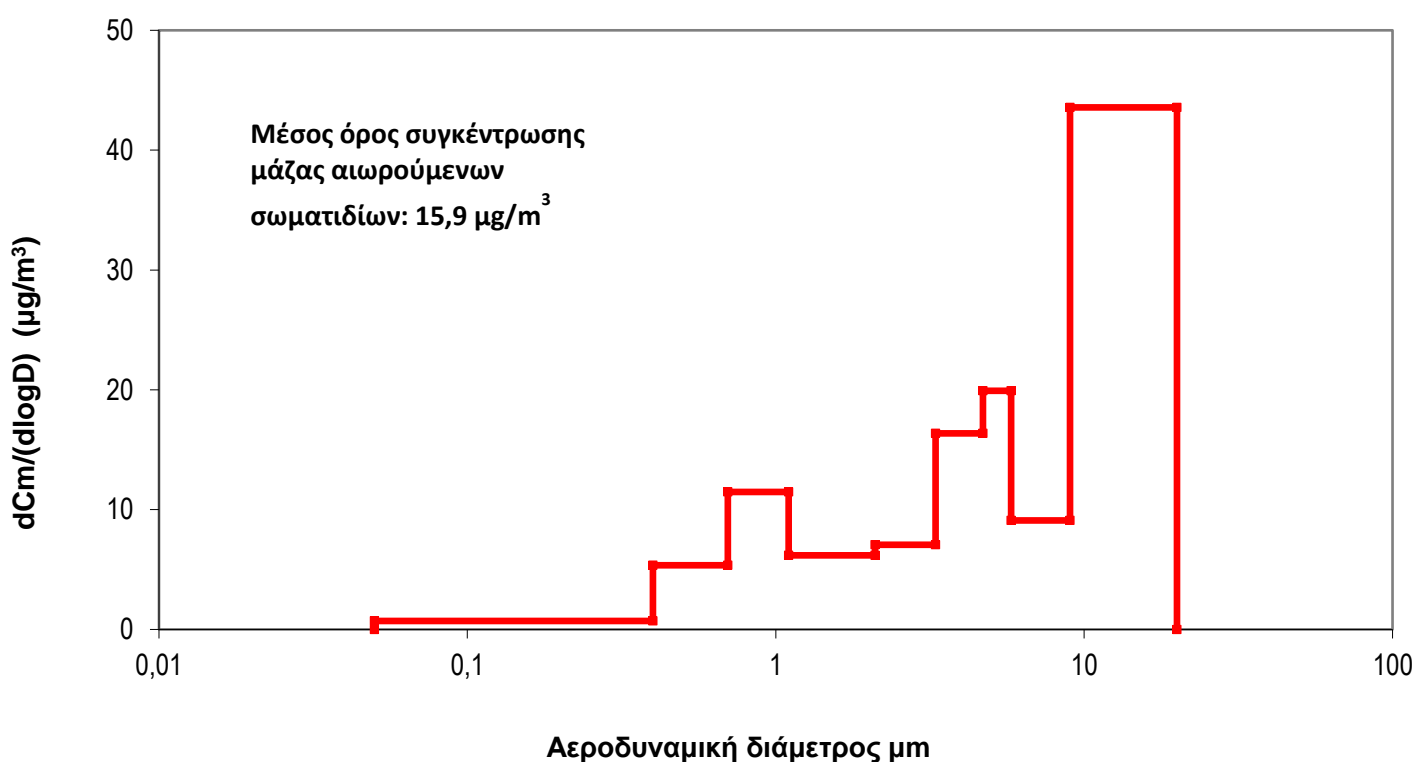
Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα
ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής όπως προκύπτει από τα δεδομένα του
προσक्रουστήρα Andersen στις 07/05/2018.



Σχήμα 10: Απεικόνιση της κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής όπως αυτή προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.

Τα αποτελέσματα της κατανομής συμπίπτουν με αυτά των προηγούμενων μετρήσεων. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μάζας είναι στα σωματίδια PM_{10} , ενώ συνολικά η μετρούμενη συγκέντρωση είναι στα φυσιολογικά επίπεδα για εσωτερικό χώρο. Εκτός της αυξημένης συγκέντρωσης στα σωματίδια PM_{10} , παρατηρείται και αρκετά μεγάλη συγκέντρωση στα σωματίδια των ενδιάμεσων διαμέτρων (περιοχή συσσώρευσης), αποτέλεσμα αναμενόμενο, αφού σε αυτής της διαμέτρου τα σωματίδια οι μηχανισμοί απομάκρυνσης είναι πολύ αργοί και κατά συνέπεια τα περισσότερα σωματίδια, σε μία φυσιολογική κατανομή βρίσκονται στην περιοχή αυτή.

Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό μετρήσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης όπως προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen στις 11/05/2018 (καθαρή ατμόσφαιρα).



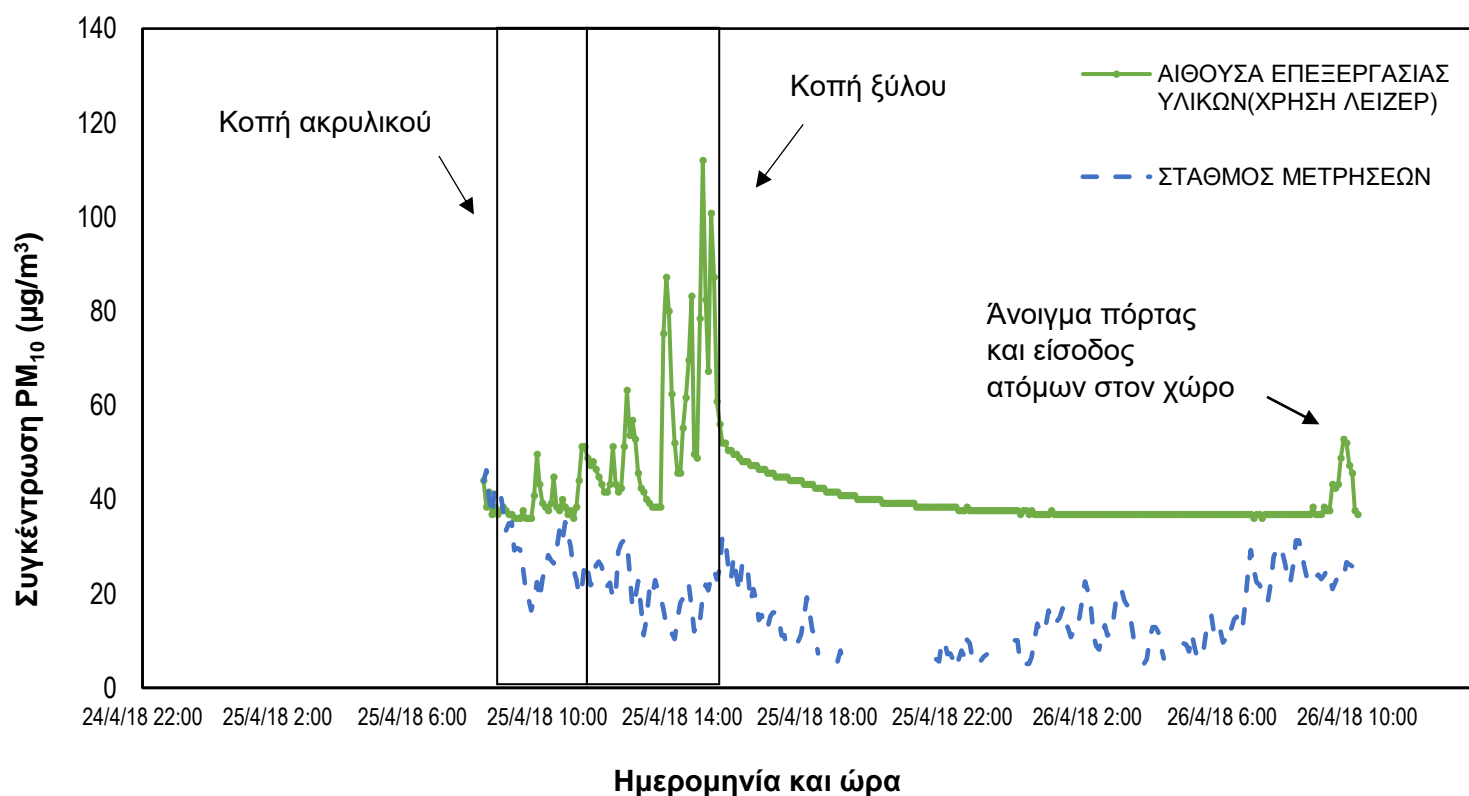
Σχήμα 11: Απεικόνιση της κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων στο σταθμό μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης όπως αυτή προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι παρόμοια με αυτά της Αίθουσας με τη διαφορά ότι η συνολική συγκέντρωση είναι χαμηλότερη, γεγονός που οφείλεται στο ότι ο σταθμός μετρήσεων είναι πολύ μακριά από το αστικό περιβάλλον και σε απομονωμένο σημείο εντός του Πολυτεχνείου. Η κατανομή φαίνεται φυσιολογική αφού τα PM_{10} έχουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, εφ' όσον αναφέρεται σε μη αστικό περιβάλλον, όπου κυριαρχούν τα σωματίδια του εδάφους και των μηχανικών διεργασιών και όχι των ανθρωπογενών. Επιπλέον παρατηρείται και σε αυτή την κατανομή η αυξημένη συγκέντρωση μάζας στα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης.

Εργαστήριο Προπλάσμάτων και Τεχνολογικών Εφαρμογών

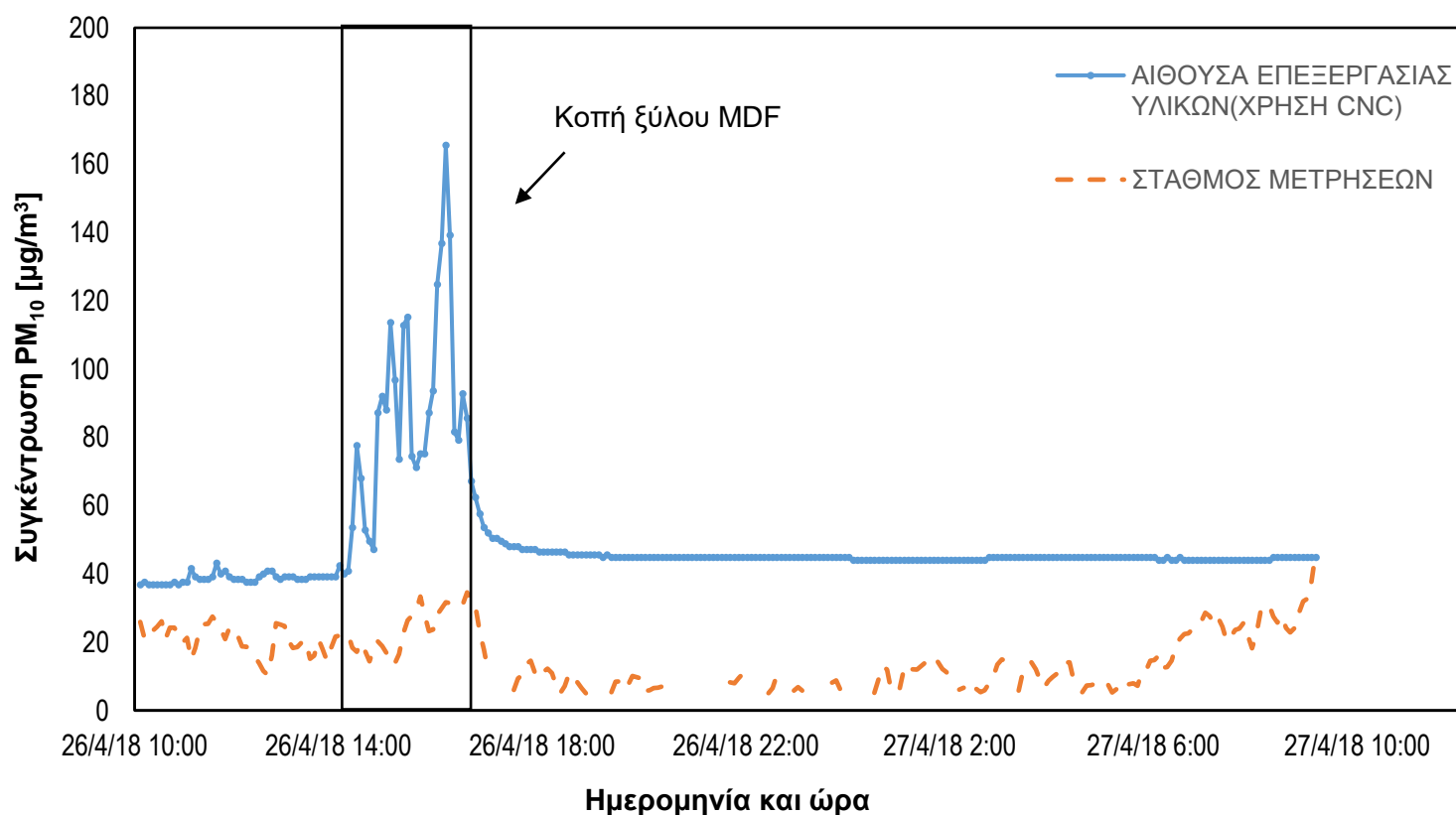
Πραγματοποιήθηκε επίσης μία μέτρηση με το Dustrak DRX στο Εργαστήριο Προπλάσμάτων και Τεχνολογικών εφαρμογών, (Θα αναφέρεται ως αίθουσα επεξεργασίας υλικών για απλούστευση) στο οποίο έγινε κοπή ακρυλικού, ξύλου (και επεξεργασία των κομματιών), με μηχάνημα λέιζερ και κοπή ξύλου MDF⁽¹⁾ με μηχάνημα CNC⁽²⁾. Τα αποτελέσματα αυτής της μέτρησης παρουσιάζονται παρακάτω με μορφή διαγραμμάτων.

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ εντός της αίθουσας επεξεργασίας υλικών από τις 25/04/2018 08:10 έως 26/04/2018 10:00 σε σύγκριση με τα δεδομένα του σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 12: Σύγκριση της συγκέντρωσης PM₁₀ στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από το σταθμό μετρήσεων.

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας
επεξεργασίας υλικών από τις 26/04/2018 10:10 έως 27/04/2018 09:15 σε
σύγκριση με τα δεδομένα του σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης.**



Σχήμα 13: Σύγκριση της συγκέντρωσης PM_{10} στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από το σταθμό μετρήσεων.

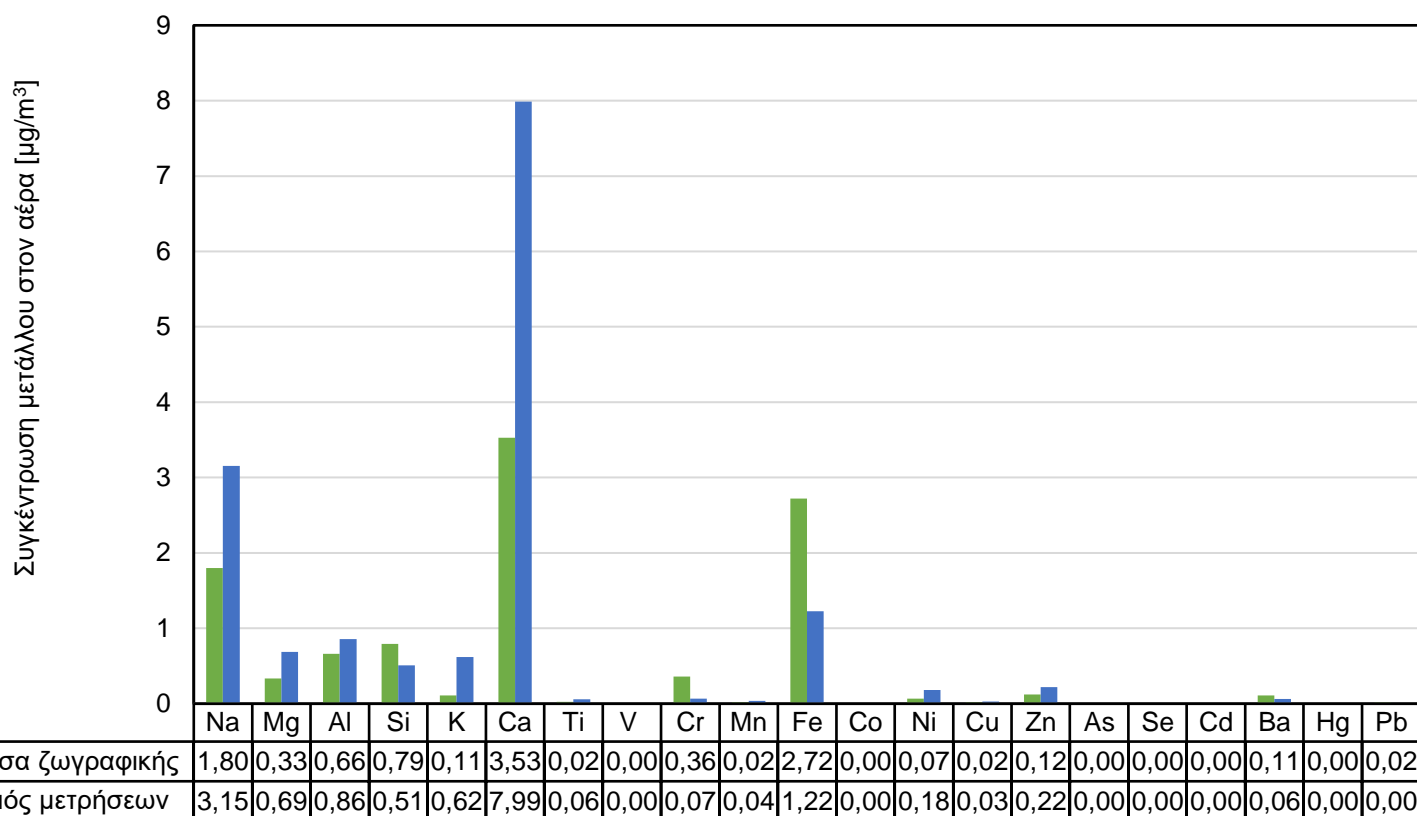
Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ξεκάθαρα η επιρροή του χώρου από τις εργασίες που έλαβαν χώρα σε αυτόν. Παρατηρείται ότι η κοπή του απλού ξύλου, αλλά και του ξύλου MDF, προσδίδει περισσότερο στην αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με την κοπή ακρυλικού. Επιπλέον η συγκέντρωση μετά την κοπή του απλού ξύλου μειώνεται στα $35 \mu g/m^3$ ενώ μετά την κοπή του ξύλου MDF μειώνεται στα $45 \mu g/m^3$. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε μεγαλύτερο χρόνο αιώρησης των σωματιδίων που παράγονται κατά την κοπή του ξύλου MDF. Τέλος σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο μέσος όρος του λόγου $PM_{2,5}/PM_{10}$, και στις δύο περιπτώσεις είναι πολύ κοντά στη μονάδα (0,9994 και 0,9998 αντίστοιχα) δηλαδή τα σωματίδια που παράγονται είναι κυρίως λεπτά ($PM_{2,5}$).

⁽¹⁾Το ξύλο MDF πρόκειται για μία τεχνητή πλάκα ξυλείας. Αποτελείται από 4 συστατικά: α)Μικροσωματίδια σκληρού ξύλου β)Ρητίνη με βάση τη φορμαλδεΰδη γ)Νερό δ)Κερί παραφίνης.

⁽²⁾Computerized Numerical Control(CNC) είναι η λειτουργία μηχανής μέσω ενός υπολογιστή ώστε να επιτρέπεται με ακρίβεια μια τυποποίηση χωρίς τη χρήση καλουπιών.

5.2. Αποτελέσματα ICP-MS

Συνολικά στο όργανο ICP-MS αναλύθηκαν 80 δείγματα που προέρχονταν από 80 διαφορετικά φίλτρα 8 δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν στην Αίθουσα ζωγραφικής που εξετάζεται και στον σταθμό μετρήσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Εξετάσθηκαν τα μέταλλα που ανευρίσκονται συνήθως στην ατμόσφαιρα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.



Σχήμα 14 :Αποτελέσματα συγκέντρωσης μετάλλων εντός της αίθουσας ζωγραφικής σε σύγκριση με αυτά του σταθμού μετρήσεων.

Τα μέταλλα με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είναι το νάτριο (Na), το ασβέστιο(Ca) και ο σίδηρος(Fe). Το ασβέστιο και ο σίδηρος αποτελούν συστατικά του φλοιού της Γης και είναι αναμενόμενο να βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα δείγματα καθώς η περιοχή του Πολυτεχνείου από την οποία προέρχονται τα δείγματα είναι απομονωμένη από τα αστικά κέντρα και περιβάλλεται από μεγάλες εκτάσεις πράσινου. Σε μικρή απόσταση από τα σημεία των μετρήσεων βρίσκεται η θάλασσα του Κρητικού πελάγους, γεγονός που καθιστά την ύπαρξη υψηλών ποσοτήτων νατρίου απόλυτα φυσιολογική.

Στα περισσότερα μέταλλα η συγκέντρωση στον εξωτερικό χώρο είναι μεγαλύτερη όπως γενικά αναμένεται και ιδιαίτερα στο νάτριο και στο ασβέστιο. Ο σταθμός βρίσκεται πιο κοντά στην θάλασσα σε σχέση με την Αίθουσα γι'αυτό και το νάτριο είναι υψηλότερο. Το ασβέστιο ως συστατικό του φλοιού της Γης είναι λογικό να βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα από τα υπόλοιπα μέταλλα.

Στις περιπτώσεις στις οποίες η συγκέντρωση ενός μετάλλου στον εσωτερικό χώρο είναι μεγαλύτερη από αυτή του εξωτερικού είναι για το πυρίτιο(Si) , το χρώμιο(Cr), τον σίδηρο(Fe), το βάριο(Ba) και τον μόλυβδο(Pb). Εκτός του πυριτίου που είναι μέταλλο φυσικών αερολυμάτων, τα οποία κυριαρχούν στις συγκεκριμένες μετρήσεις, τα υπόλοιπα είναι βαρέα μέταλλα, βέβαια η συγκέντρωσή τους είναι πολύ χαμηλότερη από τα όρια που δίνονται. Η διαφοροποίηση όμως που υπάρχει από την εξωτερική μέτρηση είναι πιθανό να οφείλεται στα χρώματα που χρησιμοποιούνται.

Έρευνες σχετικές με την ύπαρξη μετάλλων σε χρώματα έχουν δείξει την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων μολύβδου και σιδήρου, καθώς και χρωμίου, νικελίου, καδμίου, στοντίου, ψευδαργύρου και βαρίου (Otero et al., 2017).



Εικόνα 33: Πίνακες ζωγραφικής από τον Πορτογάλο ζωγράφο Henrique Pousão (1859–1884). Χαρακτηριστικά παραδείγματα πινάκων στους οποίους έχουν ανιχνευθεί βαρέα μέταλλα στα υλικά των χρωμάτων.

Με βάση τις τιμές ορίων που φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 8), οι τιμές που βρέθηκαν για τα βαρέα μέταλλα που παρατηρήθηκαν, δεν είναι ανησυχητικές αν δεν λάβουμε υπ' όψη τις συνεργιστικές τους ιδιότητες.

Μέταλλο	Τιμή εντός αίθουσας	Τυπική απόκλιση	Τιμή εκτός αίθουσας	Τυπική απόκλιση	Όρια έκθεσης
Χρώμιο(Cr)	0,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2,1 mg/m^3
Σίδηρος(Fe)	2,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22,5 mg/m^3
Βάριο(Ba)	0,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 mg/m^3
Μόλυβδος(Pb)	0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	4,23 mg/m^3
Κάδμιο(Cd)	-	-	-	-	0,92 mg/m^3
Μαγγάνιο(Mn)	0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11,0 mg/m^3
Υδράργυρος(Hg)	-	-	-	-	0,41 mg/m^3
Νικέλιο(Ni)	0,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2,37 mg/m^3
Βανάδιο(V)	-	-	-	-	1,04 mg/m^3
Αρσενικό (As)	-	-	-	-	1,53 mg/m^3

Ψευδάργυρος(Zn)	0,12 µg/m ³	0,01 µg/m ³	0,22 µg/m ³	0,02 µg/m ³	13,3 mg/m ³
Χαλκός(Cu)	0,02 µg/m ³	0,001 µg/m ³	0,03 µg/m ³	0,002 µg/m ³	-
Νάτριο(Na)	1,80 µg/m ³	0,45 µg/m ³	3,15 µg/m ³	0,36 µg/m ³	-
Κάλιο(K)	0,11 µg/m ³	0,02 µg/m ³	0,62 µg/m ³	0,03 µg/m ³	-
Ασβέστιο (Ca)	3,53 µg/m ³	0,33 µg/m ³	7,99 µg/m ³	0,52 µg/m ³	-
Μαγνήσιο(Mg)	0,33 µg/m ³	0,03 µg/m ³	0,69 µg/m ³	0,04 µg/m ³	-
Αλουμίνιο(Al)	0,66	0,06 µg/m ³	0,86 µg/m ³	0,10 µg/m ³	-
Πυρίτιο(Si)	0,79	0,12 µg/m ³	0,51 µg/m ³	0,13 µg/m ³	-
Τιτάνιο(Ti)	-	-	0,06 µg/m ³	0,01 µg/m ³	-

Πίνακας 8: Τιμές μετάλλων που ανιχνεύθηκαν εντός της αίθουσας ζωγραφικής και τα αντίστοιχα όρια έκθεσης (Λαζαρίδης Μ. 2010).

Τα μέταλλα που βρέθηκαν στα δείγματα συγκρίθηκαν με αυτά που έχουν βρεθεί στον χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης σε παλαιότερη έρευνα (Κοπανάκης Η. Διδακτορικό δίπλωμα 2015).

Μέταλλο	Τιμή (µg/m ³)
Χαλκός(Cu)	0,0048
Χρώμιο(Cr)	0,064
Σίδηρος(Fe)	2,3
Μόλυβδος(Pb)	0,69
Νικέλιο(Ni)	0,0019
Κατιόντα νατρίου(Na ⁺)	3,1
Κατιόντα καλίου(K ⁺)	0,56
Κατιόντα ασβεστίου(Ca ²⁺)	1,1
Κατιόντα μαγνησίου(Mg ²⁺)	0,16

Πίνακας 9: Αποτελέσματα μέτρησης μετάλλων στο Πολυτεχνείο Κρήτης (Κοπανάκης Η. Διδακτορικό δίπλωμα 2015).

Τα μέταλλα νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο στην έρευνα με την οποία έγινε σύγκριση, εντοπίστηκαν με διαφορετική μέθοδο ως ιόντα, παρ' όλ' αυτά μπορεί να γίνει σύγκριση της συγκέντρωσης τους με αυτή που βρέθηκε με την μέθοδο της εκχύλισης φίλτρων.

Τα μέταλλα που βρέθηκαν να έχουν παραπάνω συγκέντρωση από αυτή που αναφέρεται στον Πίνακα 9 είναι τα ασβέστιο, μαγνήσιο, χαλκός και νικέλιο.

Η αυξημένη τιμή μαγνησίου πιθανώς οφείλεται στα θαλάσσια αερολύματα που μεταφέρονται στην περιοχή μελέτης, ενώ του ασβεστίου στα αερολύματα του φλοιού της γης μιας και η εξωτερική συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική.

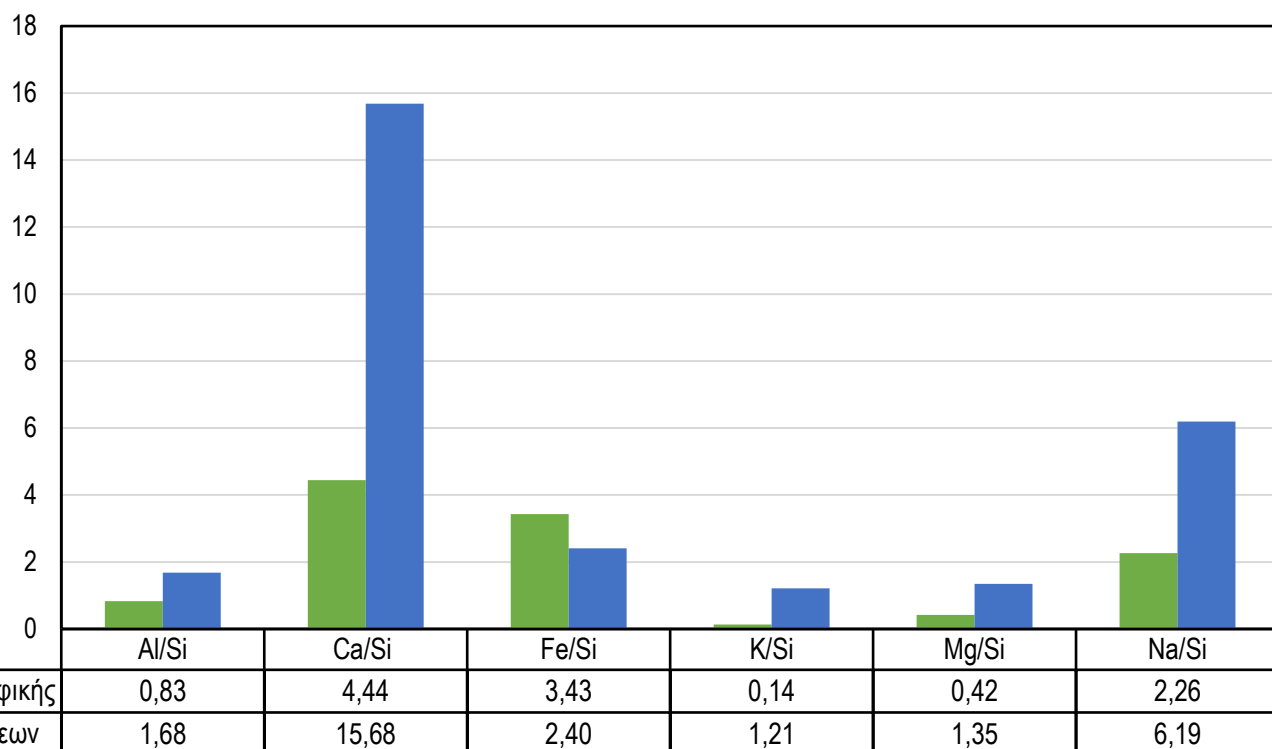
Ο χαλκός και το νικέλιο, εντός και εκτός της αίθουσας βρίσκονται σε συγκέντρωση μεγαλύτερη κατά μία τάξη σε σχέση με την έρευνα που γίνεται η σύγκριση όμως η εξωτερική τους συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική επομένως η ύπαρξη τους μπορεί να οφείλεται σε απλή επιρροή της αίθουσας από το εξωτερικό περιβάλλον.

Για να προσδιοριστεί αν η προέλευση των αεροζόλ που μελετώνται είναι φυσική, υπολογίστηκαν οι λόγοι μερικών μετάλλων ως προς το πυρίτιο. Οι λόγοι αυτοί πιστοποιούν

τη φυσική προέλευση όταν η τιμή τους ξεπερνά το 0,33 (Κοπανάκης Η. Διδακτορικό δίπλωμα 2015)

Λόγοι συγκέντρωσης μετάλλων ως προς τη συγκέντρωση του πυριτίου.

Μέταλλο/Si



Σχήμα 15: Λόγοι μετάλλων ως προς Si.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω γράφημα, εκτός από μία τιμή, όλες οι υπόλοιπες ξεπερνούν την τιμή 0,33 που τέθηκε σαν δείκτης για την φυσική προέλευση των αερολυμάτων. Υψηλές τιμές του λόγου Ca/Si μπορεί να οφείλεται σε υψηλή περιεκτικότητα των αερολυμάτων σε χαλαζίες, δολομίτες και καλσίτες. Οι υψηλές τιμές των λόγων Fe/Si και Na/Si οφείλονται στις υψηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων Fe και Na. (Κοπανάκης Η. Διδακτορικό δίπλωμα 2015).

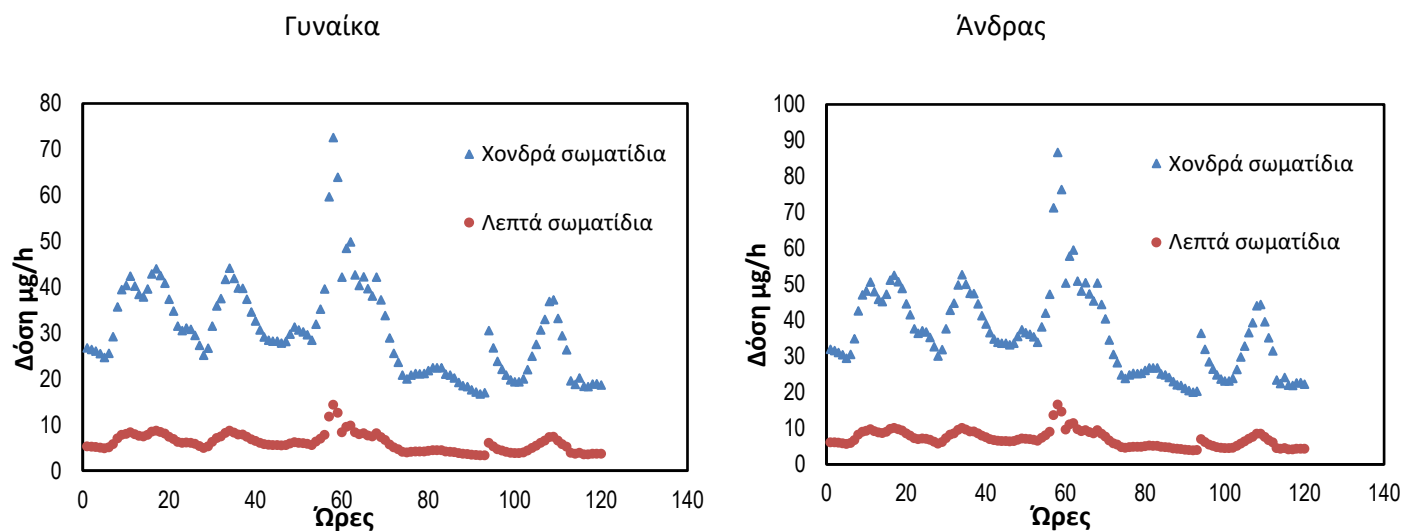
5.3. Αποτελέσματα ExDoM 2

Το μοντέλο υπολογισμού δόσης ExDoM 2 χρησιμοποιήθηκε για τα δεδομένα έκθεσης που λήφθηκαν κατά τις δειγματοληψίες. Η δόση υπολογίζεται για όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας εντός της αίθουσας, δηλαδή οι τιμές που προκύπτουν αφορούν θεωρητικά την παρουσία του ατόμου εντός της αίθουσας καθ' όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Στο παράρτημα τοποθετήθηκαν όλα τα διαγράμματα που προέκυψαν αυτόματα από το μοντέλο ExDoM σχετικά με τη δόση και την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων για τα διάφορα μέρη του ΑΑΣ.

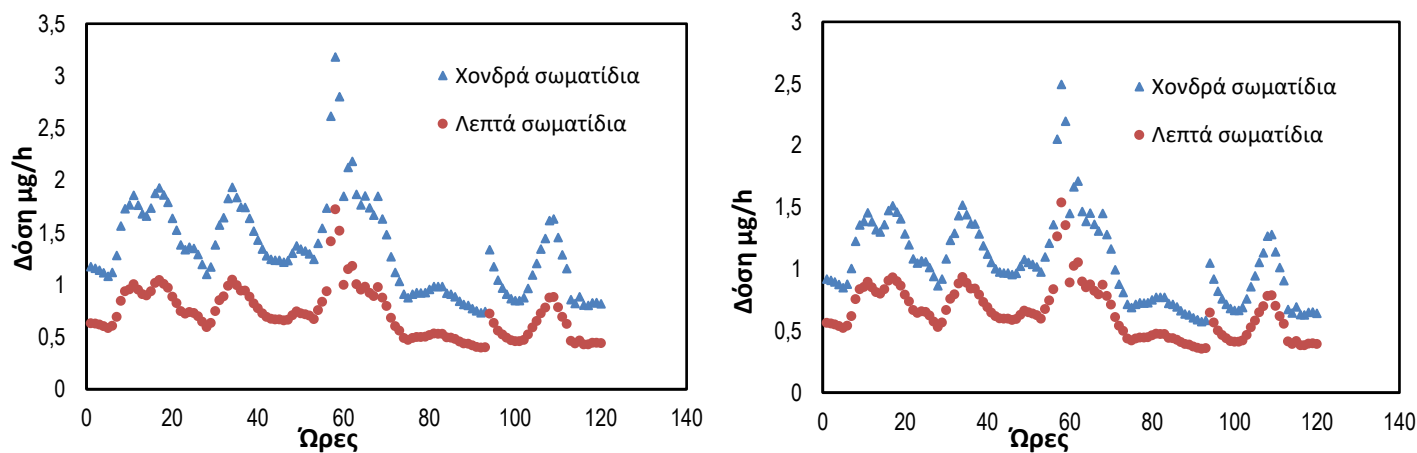
Αρχικά έγινε σύγκριση των τμημάτων του ΑΑΣ σε σχέση με τα αιωρούμενα σωματίδια που επικάθονται σε αυτό σε ενήλικο άτομο από τις 08/01/18 έως τις 13/01/18.

Εναπόθεση στην εκτός θώρακος περιοχή.



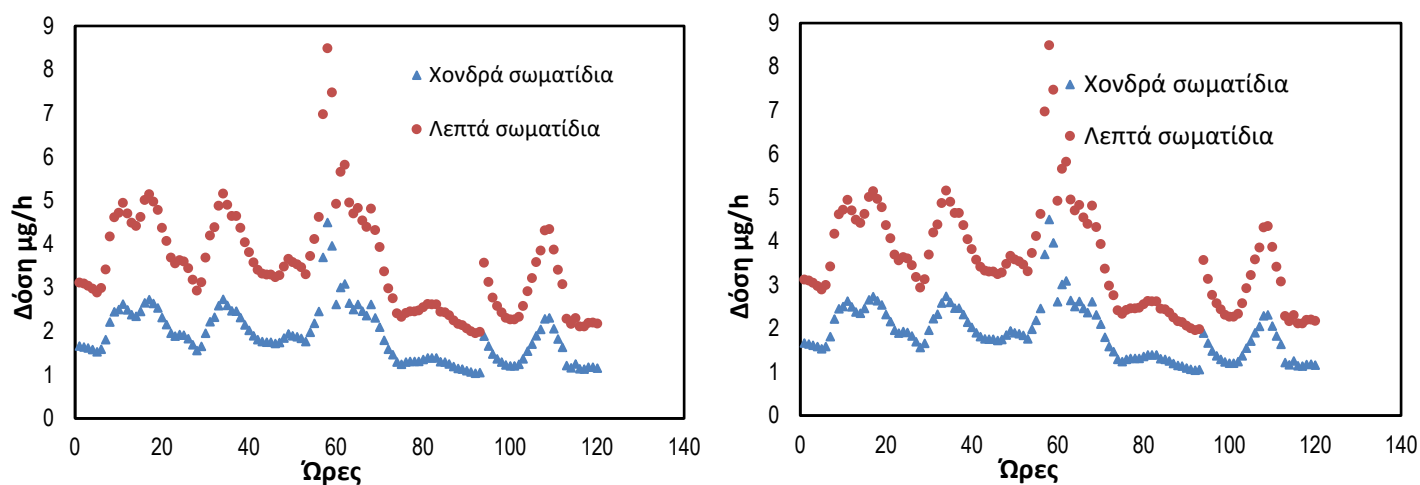
Σχήμα 16: Εναπόθεση στην εκτός θώρακος περιοχή σε γυναίκα και άνδρα.

Εναπόθεση στην τραχειοβρογχική περιοχή.



Σχήμα 17: Εναπόθεση στην τραχειοβρογχική περιοχή σε γυναίκα και άνδρα.

Εναπόθεση στις κυψελίδες.



Σχήμα 18: Εναπόθεση στις κυψελίδες σε γυναίκα και άνδρα.

Όπως ήταν φυσικό όσο βαθύτερα εξετάζουμε το ΑΑΣ τόσο υπερσχύουν τα λεπτά σωματίδια. Διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο φύλων παρατηρούνται στην θωρακική και στην εκτός θώρακος περιοχή όπου η εναπόθεση στους άνδρες είναι λίγο μεγαλύτερη. Στις κυψελίδες η εναπόθεση είναι ίδια στα δύο φύλα.

Όμοια σύγκριση έγινε και στο πλήθος των αιωρούμενων σωματιδίων που εναποτίθενται στο ΑΑΣ για τις 26/02/18 σε σχέση με την μέση αεροδυναμική διάμετρό τους.

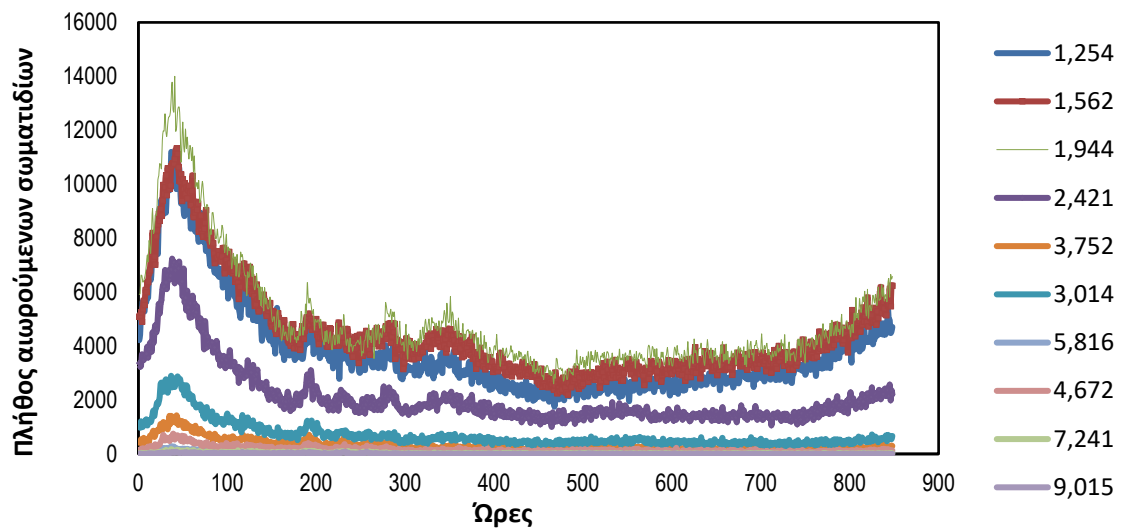
Οι διάμετροι που αντιστοιχούν σε κάθε κλάσμα είναι οι μέσες γεωμετρικές διάμετροι κάθε κλάσματος που μετράται από το όργανο OPS.

Η μέση αεροδυναμική διάμετρος ορίζεται ως η ρίζα του αθροίσματος των δύο διαμέτρων που ορίζουν ένα κλάσμα.

Εξίσωση 5:

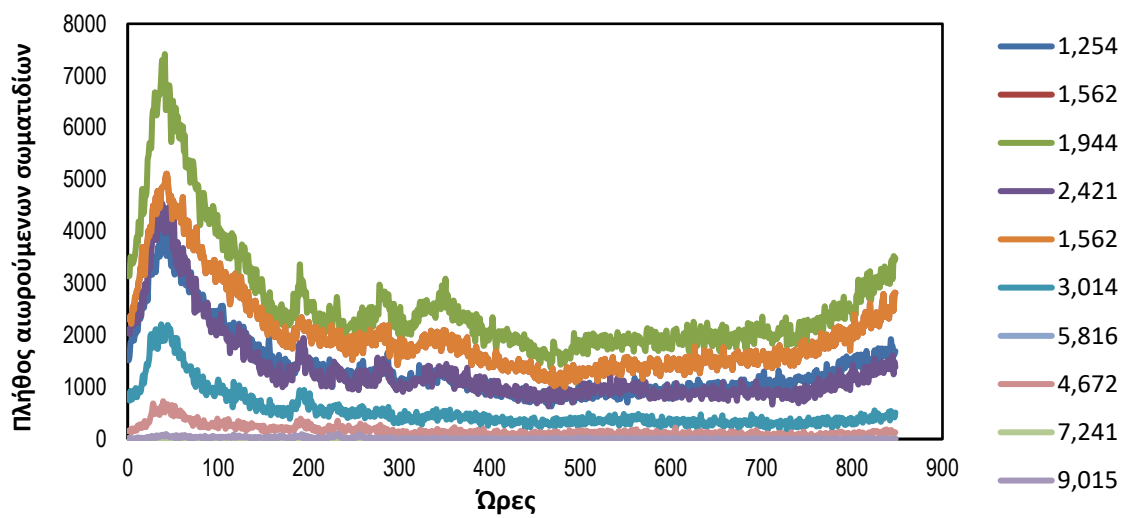
$$D = \sqrt{d_{p1}^2 + d_{p2}^2}$$

Εναπόθεση στην εκτός θώρακος περιοχή (ενήλικος άνδρας).



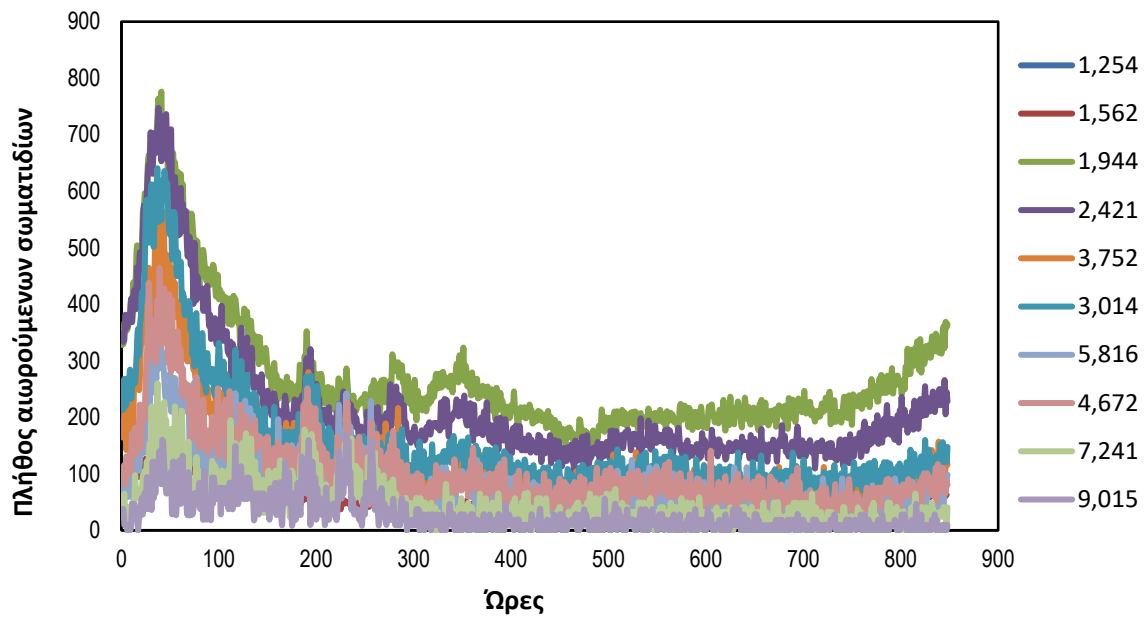
Σχήμα 19: Πλήθος σωματιδίων που εναποτίθεται στην εκτός θώρακος περιοχή (ενήλικος άνδρας).

Εναπόθεση στην τραχειοβρογχική περιοχή (ενήλικος άνδρας).



Σχήμα 20: Πλήθος σωματιδίων που εναποτίθεται στην τραχειοβρογχική περιοχή (ενήλικος άνδρας).

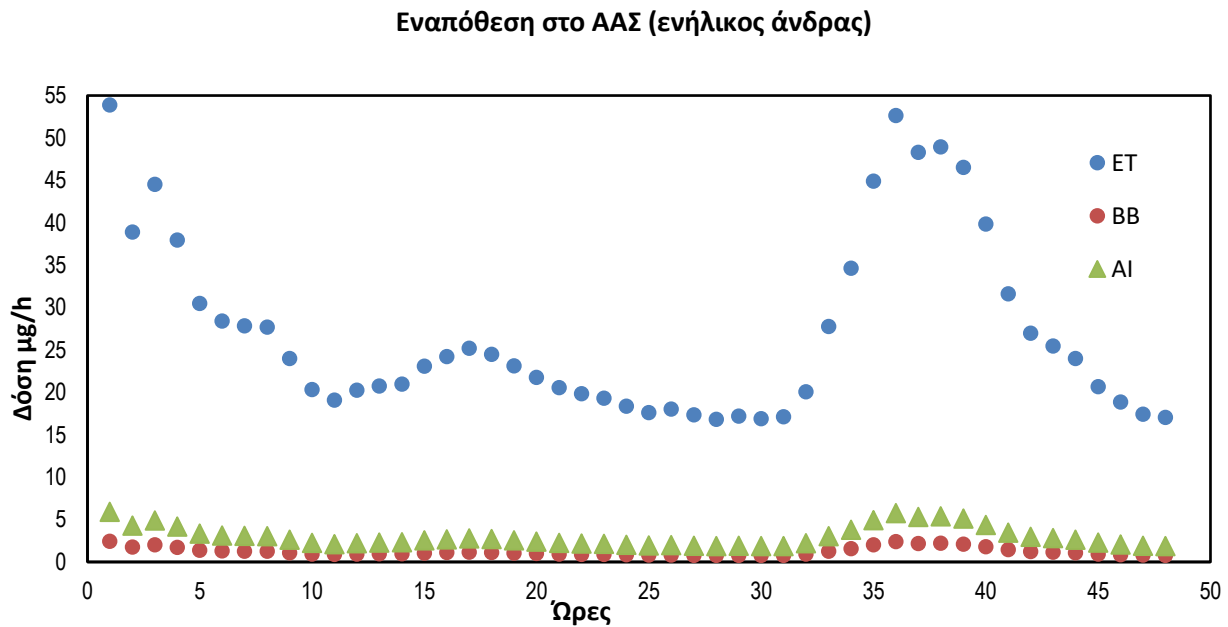
Εναπόθεση στις κυψελίδες (ενήλικος άνδρας).



Σχήμα 21: Πλήθος σωματιδίων που εναποτίθεται στις κυψελίδες (ενήλικος άνδρας).

Όσο βαθύτερα εξετάζεται το ΑΑΣ τόσο λιγότερα σωματίδια μετρούνται αλλά σε όλες τις περιοχές του παρατηρείται η επικράτηση των λεπτότερων σωματιδίων το οποίο είναι λογικό αφού επικρατούν στην ατμόσφαιρα γενικότερα. Επιπλέον φαίνεται και τα μεγαλύτερα σωματίδια να φτάνουν στις κυψελίδες του ανθρώπου, βέβαια ο αριθμός τους είναι 8 φορές μικρότερος από αυτόν των λεπτότερων σωματιδίων. Τέλος στις κυψελίδες παρατηρείται και μεγάλος αριθμός σωματιδίων της περιοχής συσσώρευσης, αφού σε αυτά δεν δρουν τόσο έντονα οι τρόποι εναπόθεσης που έχουν αναφερθεί (Κεφάλαιο 1.7.2.)

Τέλος γίνεται σύγκριση της ολικής εναπόθεσης αιωρούμενων σωματιδίων σε ενήλικο άνδρα σε κάθε μέρος του αναπνευστικού του συστήματος για τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στις 20/11/17.



Σχήμα 22: Σύγκριση της συνολικής εναπόθεσης σε κάθε περιοχή του ΑΑΣ (ενήλικος άνδρας).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων επικάθεται στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Παράλληλα στην τραχειοβρογχική περιοχή επικάθεται λιγότερη μάζα σε σχέση με την κυψελιδική γεγονός που είναι πιθανό να οφείλεται στην προηγούμενη παρατήρηση ότι στις κυψελίδες φτάνουν και αρκετά χονδρά σωματίδια, προσδίδοντας αρκετά στη συνολική μάζα, σε συνδυασμό και με την αυξημένη συγκέντρωση των χονδρών σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής.

Συμπεράσματα

Η εκτίμηση και ο έλεγχος των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία για την διαχείριση της ποιότητας της, σύμφωνα με τις οδηγίες της ευρωπαϊκής ένωσης, ενώ αποτελούν ταυτόχρονα και διακριτά σημάδια που οδηγούν στην καλύτερη ποιότητα ζωής.

Οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα στην αίθουσα ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής του Πολυτεχνείου Κρήτης προκειμένου να προσδιοριστεί η έκθεση των ατόμων που βρίσκονται σε αυτή κατά την διάρκεια του μαθήματος ζωγραφικής, η αντίστοιχη δόση καθώς και έλεγχος για την ύπαρξη μετάλλων στο περιβάλλον της αίθουσας και η εξακρίβωση εάν αυτή η ύπαρξη οφείλεται στα χρώματα που χρησιμοποιούνται στον χώρο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην αίθουσα που μελετήθηκε αυξάνεται περισσότερο κατά τη διάρκεια του μαθήματος ζωγραφικής σε σχέση με την απλή παρουσία ατόμων σε αυτή. Επιπλέον όσο περισσότερο αυξάνεται η συγκέντρωση κατά τη διάρκεια του μαθήματος τόσο αργότερα μειώνεται στα φυσιολογικά επίπεδα. Τα σωματίδια που παρατηρήθηκαν περισσότερο μέσα στον χώρο ήταν τα σωματίδια PM_{10} όχι όμως με μεγάλη διαφορά από τα σωματίδια $PM_{2,5}$.

Παρατηρήθηκε επίσης επιρροή της αίθουσας από το εξωτερικό περιβάλλον και συγκεκριμένα από την κοινότητα των Κουνουπιδιανών που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από την αίθουσα. Η επιρροή αυτή παρατηρείται μόνο τις ημέρες που ευνοείται από την κατεύθυνση του ανέμου ο οποίος μεταφέρει αιωρούμενα σωματίδια, παραγόμενα κυρίως από καύση, προς την περιοχή του Πολυτεχνείου στην οποία βρίσκεται η αίθουσα μελέτης.

Όσον αφορά το πλήθος των σωματιδίων, υπάρχει και εκεί αύξηση κατά την εργασία των ατόμων μέσα στην αίθουσα.

Με τη χρήση των οργάνων μέτρησης σε αίθουσα που επεξεργάζονται διάφορα υλικά παρατηρήθηκε ότι η κοπή του ξύλου MDF είχε μεγαλύτερη αύξηση στη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με την κοπή απλού ξύλου, ενώ η κοπή ακρυλικού είχε πολύ μικρότερη συμμετοχή στην αύξηση της συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων.

Από τον έλεγχο για την ύπαρξη μετάλλων στα δείγματα που συλλέχθηκαν προέκυψε ότι τα συστατικά του φλοιού της γης επικρατούσαν σε μεγάλο ποσοστό και τα αεροζόλ που εξετάστηκαν ήταν κυρίως φυσικής προέλευσης. Οι συγκεντρώσεις χρωμίου(Cr), σιδήρου(Fe), βαρίου(Ba) και μόλυβδου(Pb) παρατηρήθηκαν ελάχιστα υψηλότερες από αυτές του εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά πολύ χαμηλότερες από τα όρια που δίνονται για την συγκέντρωσή τους. Προτείνεται μία πιο εκτεταμένη έρευνα πάνω στα βαρέα μέταλλα που παρουσιάστηκαν προκειμένου να διευκρινιστεί από ποια χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται.

Στη σύγκριση που έγινε με παλαιότερη μελέτη βρέθηκε ότι οι συγκεντρώσεις ασβεστίου, μαγνησίου, χαλκού και νικελίου ήταν υψηλότερες στην παρούσα εργασία. Το μαγνήσιο πρόκειται για μέταλλο που βρίσκεται συχνά αυξημένο στις παραθαλάσσιες περιοχές όπως η περιοχή μελέτης, ενώ το ασβέστιο προέρχεται από τον φλοιό της γης και με δεδομένο ότι η εξωτερική του συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική η ύπαρξη του αφορά φυσικούς παράγοντες.

Ο χαλκός και το νικέλιο, εκτός της αίθουσας έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση επομένως η ύπαρξη τους δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στα υλικά που χρησιμοποιούνται μέσα στην αίθουσα ζωγραφικής που μελετήθηκε.

Τα δεδομένα για την ανθρώπινη δόση έδειξαν ότι η δόση είναι υψηλότερη στους άνδρες όσον αφορά την εκτός θώρακος και την τραχειοβρογχική περιοχή. Στην κυψελιδική περιοχή η δόση που υπολογίστηκε ήταν σχεδόν η ίδια σε άνδρες και γυναίκες. Επίσης παρατηρήθηκε ότι μεγάλος αριθμός χονδρών σωματιδίων επικάθεται στις κυψελίδες του ανθρώπου προσδίδοντας αρκετά στη μάζα που μετράται σε αυτές. Γενικά όμως όσο βαθύτερα εξετάζεται το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα τόσο μεγαλύτερη γίνεται η μάζα των λεπτόκοκκων σωματιδίων που επικάθονται σε αυτό.

Παράρτημα Α

Ακολουθούν συνολικά όλα τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες με τα όργανα Dustrak Ι και ΙΙ, Dustrak DRX, OPS και Andersen.

Από τις μετρήσεις του Dustrak DRX έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο τα δεδομένα των $PM_{2,5}$ και PM_{10} , διότι σε αυτά τα κλάσματα το όργανο έχει μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Μερικά δεδομένα από τον σταθμό μετρήσεων δεν έχουν χρησιμοποιηθεί γιατί ήταν πολύ χαμηλά ($<5 \mu g/m^3$) και θεωρήθηκαν λανθασμένα.

Τέλος τα δεδομένα των Dustrak Ι, Dustrak ΙΙ και Dustrak DRX διορθώθηκαν με βάση τα αποτελέσματα του σταθερού οργάνου BETA.

Εξίσωση διόρθωσης:

Εξίσωση 6:

$$DATA = (DATA \text{ DUSTRAK} \cdot 0,8) + 10,4$$

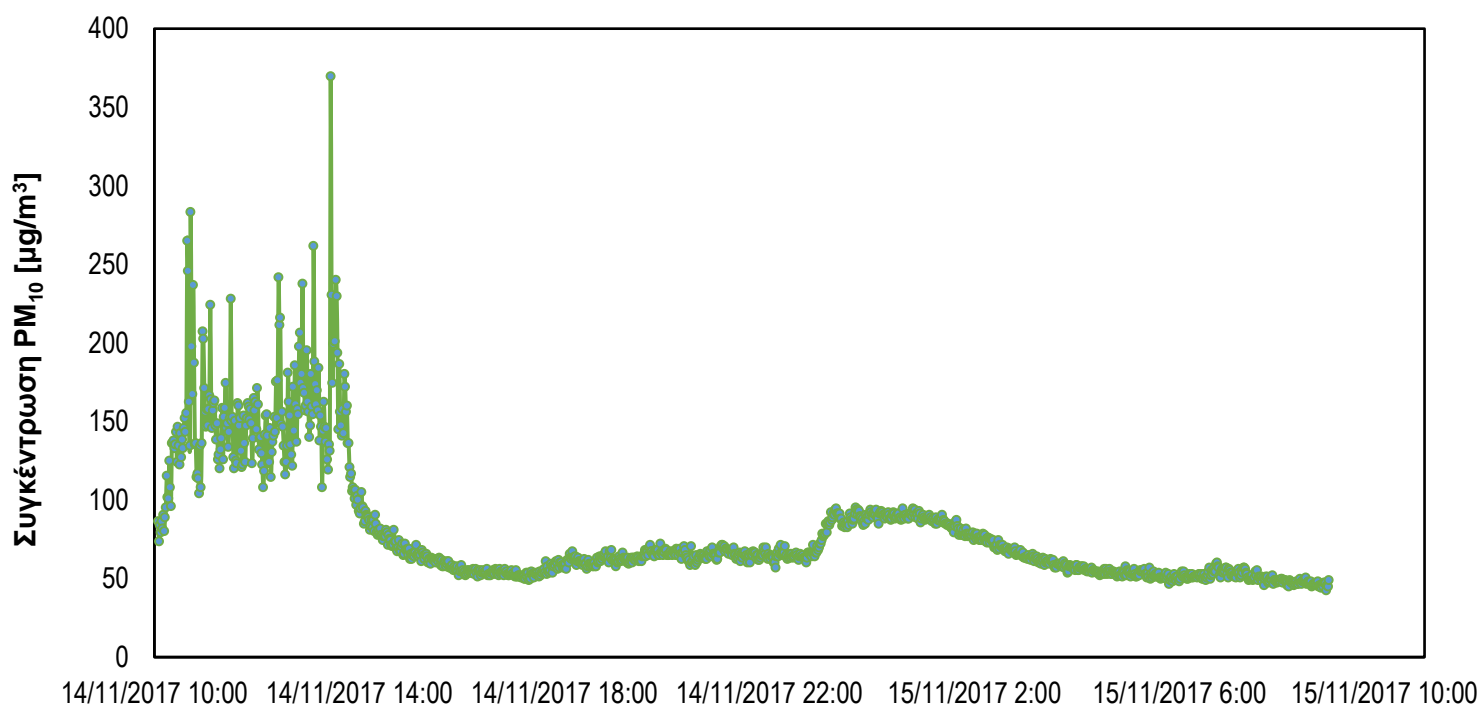
1. 14/11/17

Έγιναν μετρήσεις με το Dustrak ΙΙ από τις 14/11/17 10:05 έως τις 15/11/17 08:56 κάθε λεπτό για τα σωματίδια PM_{10} .

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	17,7 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	22,5 °C (14/11/17 13:30)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	14,3 °C (15/11/17 03:30)
Άνεμος	Νοτιοανατολικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1013,8 bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 10: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 14/11/17-15/11/17.

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ στην Αίθουσα Ζωγραφικής της
Αρχιτεκτονικής Σχολής.**



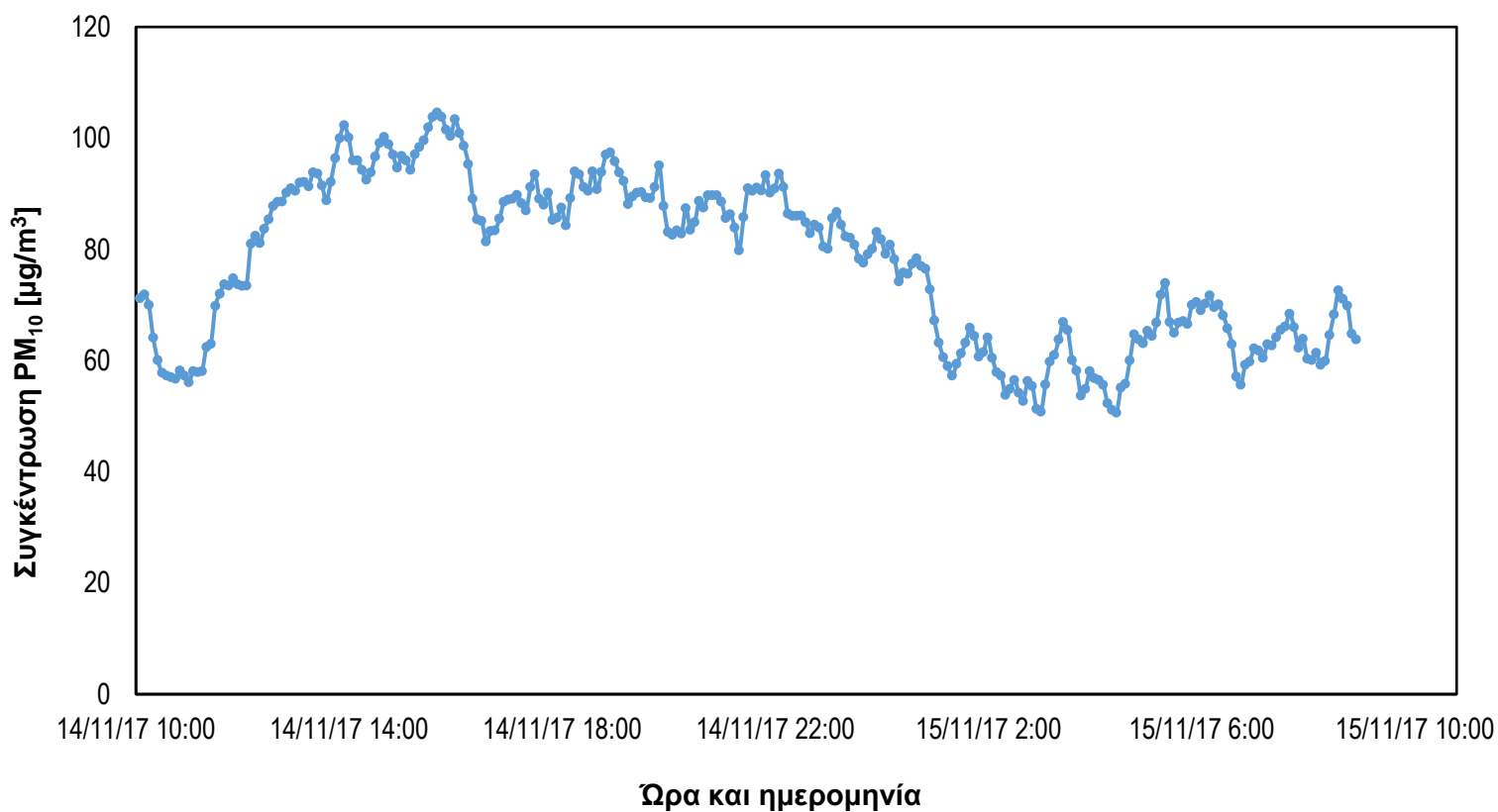
Ώρα και ημερομηνία

Σχήμα 23: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ εντός της αίθουσας ζωγραφικής (14/11/17)

Μέγιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	370 µg/m ³ (14/11/17, 13:27)
Ελάχιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	42 µg/m ³ (15/11/17, 08:53)
Μέσος όρος	79 µg/m ³
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια του μαθήματος	148 µg/m ³
Μέσος όρος σωματιδίων μετά το μάθημα	64 µg/m ³
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της ημέρας	81 µg/m ³
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της νύκτας	67 µg/m ³

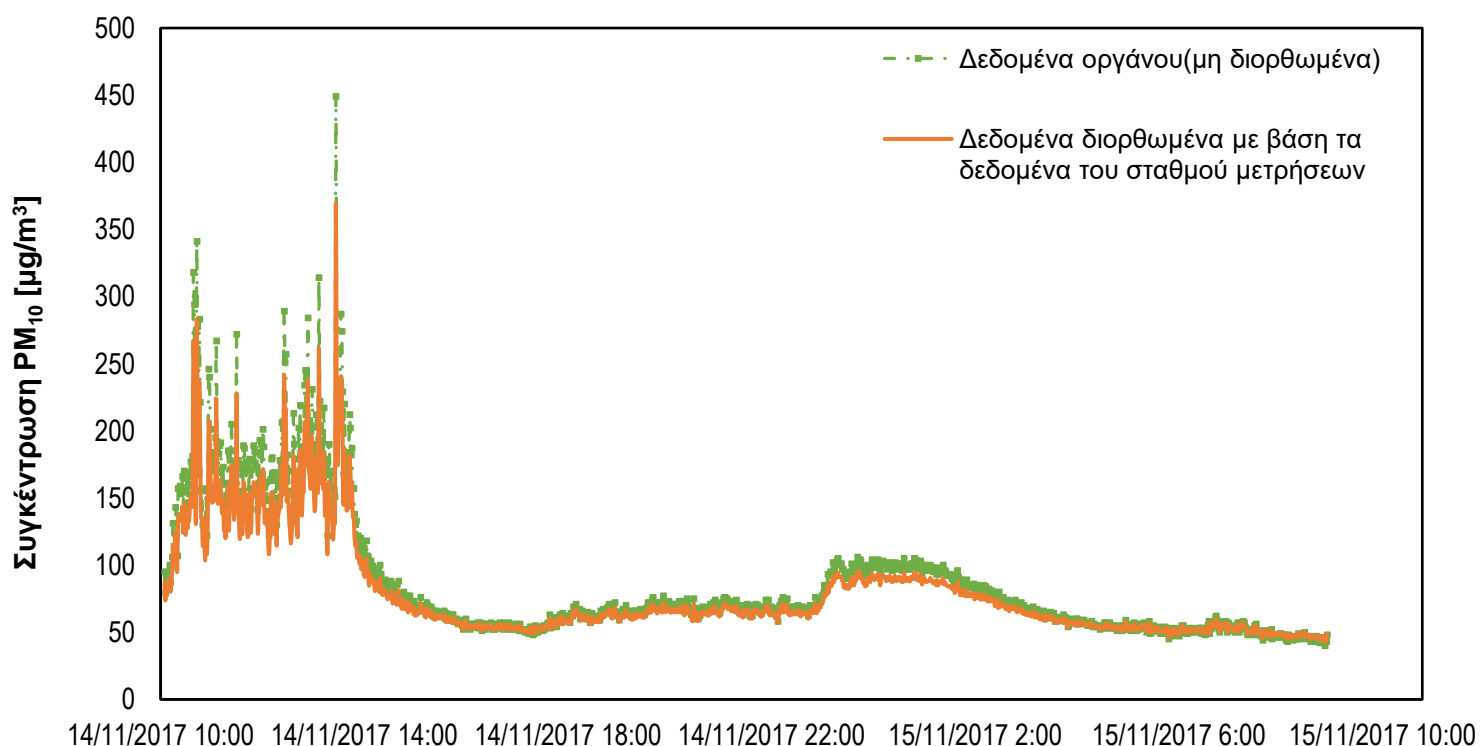
Πίνακας 11: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (14/11/17).

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} όπως μετρήθηκαν στον Σταθμό
μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.**



Σχήμα 24: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στον σταθμό μέτρησης (14/11/17).

**Σύγκριση των τιμών που δίνει το Dustrak II με τις διορθωμένες τιμές με βάση τα
δεδομένα του σταθμού μετρήσεων.**



Σχήμα 25: Σύγκριση διορθωμένων και μη τιμών του DRX.

**Ο λόγος της σύγκρισης είναι για να εξακριβωθεί εάν οι διορθωμένες τιμές αυξομειώνονται όμοια με τις αρχικές και δεν υπάρχει λάθος εκτίμηση.

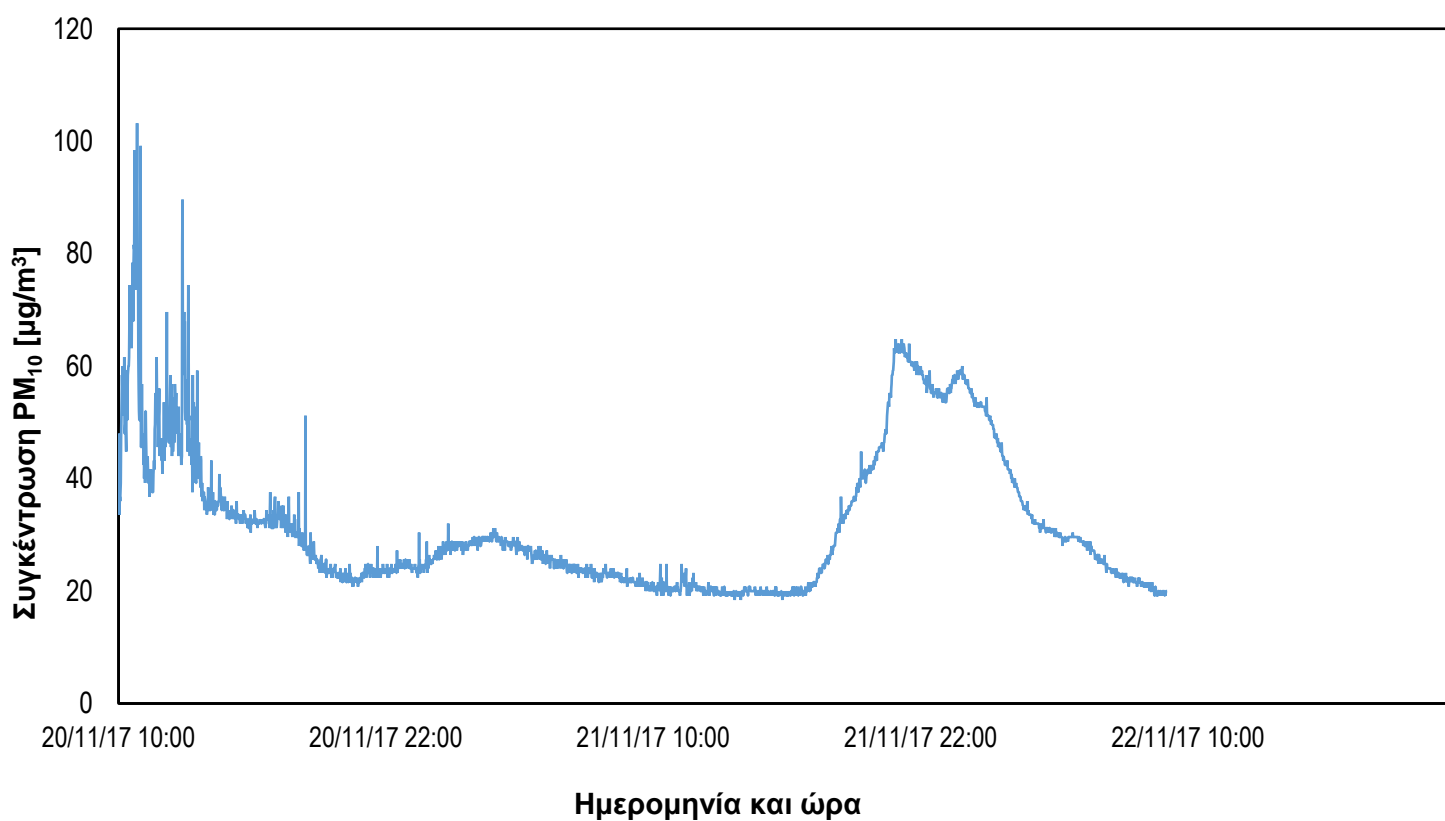
2. 20/11/17

Έγιναν μετρήσεις με το DRX από τις 20/11/17 10:00 έως τις 22/11/17 09:04 κάθε λεπτό για τα σωματίδια PM₁₀.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	12 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	15,8°C (21/11/17 11:10)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	8,4°C (22/11/17 01:20)
Άνεμος	Βορειοδυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1021,1 bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 12: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 20/11/17-22/11/17.

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ στην Αίθουσα Ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής.

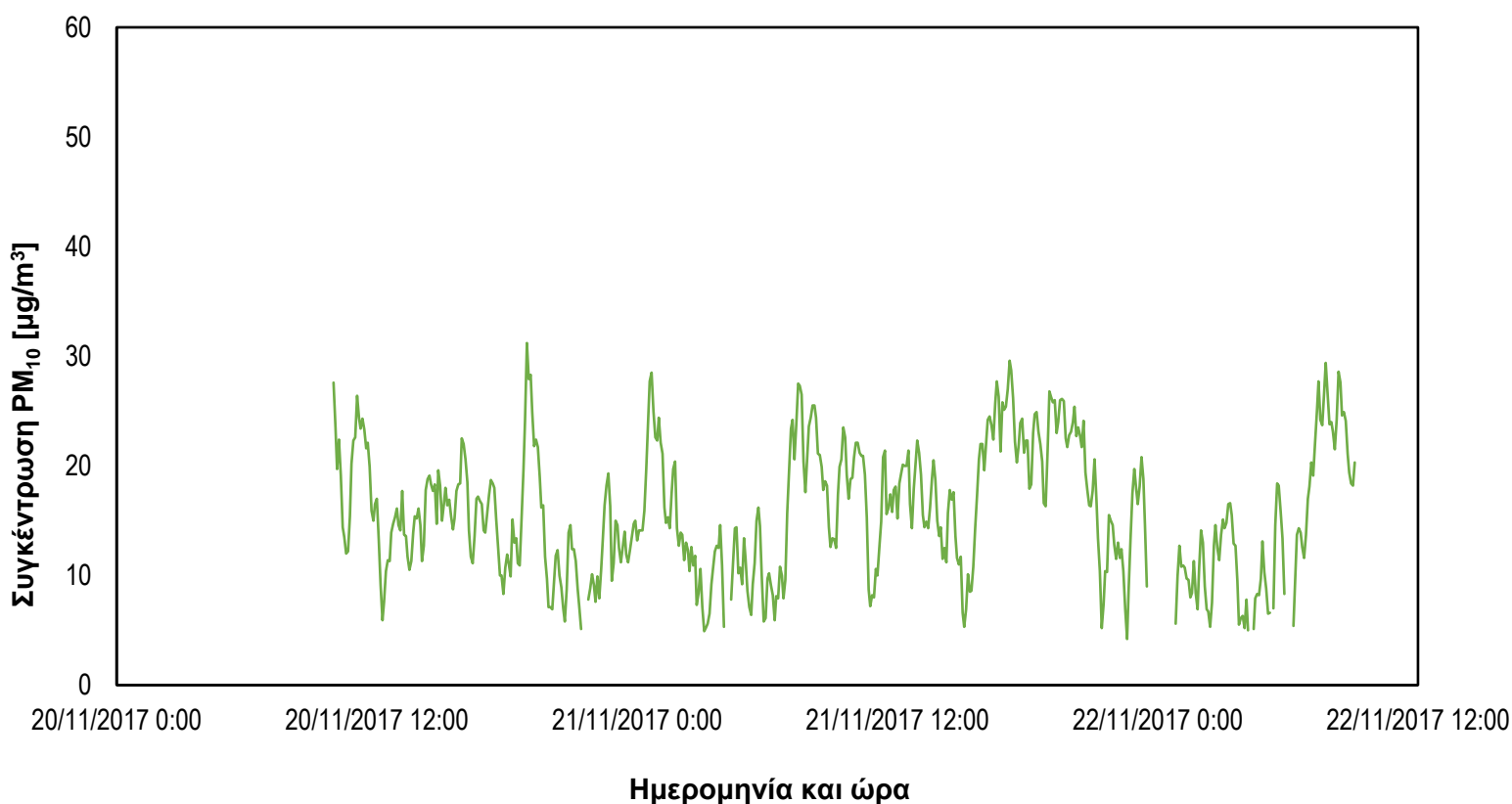


Σχήμα 26: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ εντός της αίθουσας ζωγραφικής (20/11/17).

Μέγιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (20/11/17, 10:50)
Ελάχιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (21/11/17, 13:39)
Μέσος όρος	79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια του μαθήματος	51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων μετά το μάθημα	27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της ημέρας	29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της νύκτας	34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 13: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (20/11/17).

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} όπως μετρήθηκαν στον Σταθμό μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 27: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στο σταθμό μετρήσεων (20/11/17).

3. 28/11/17

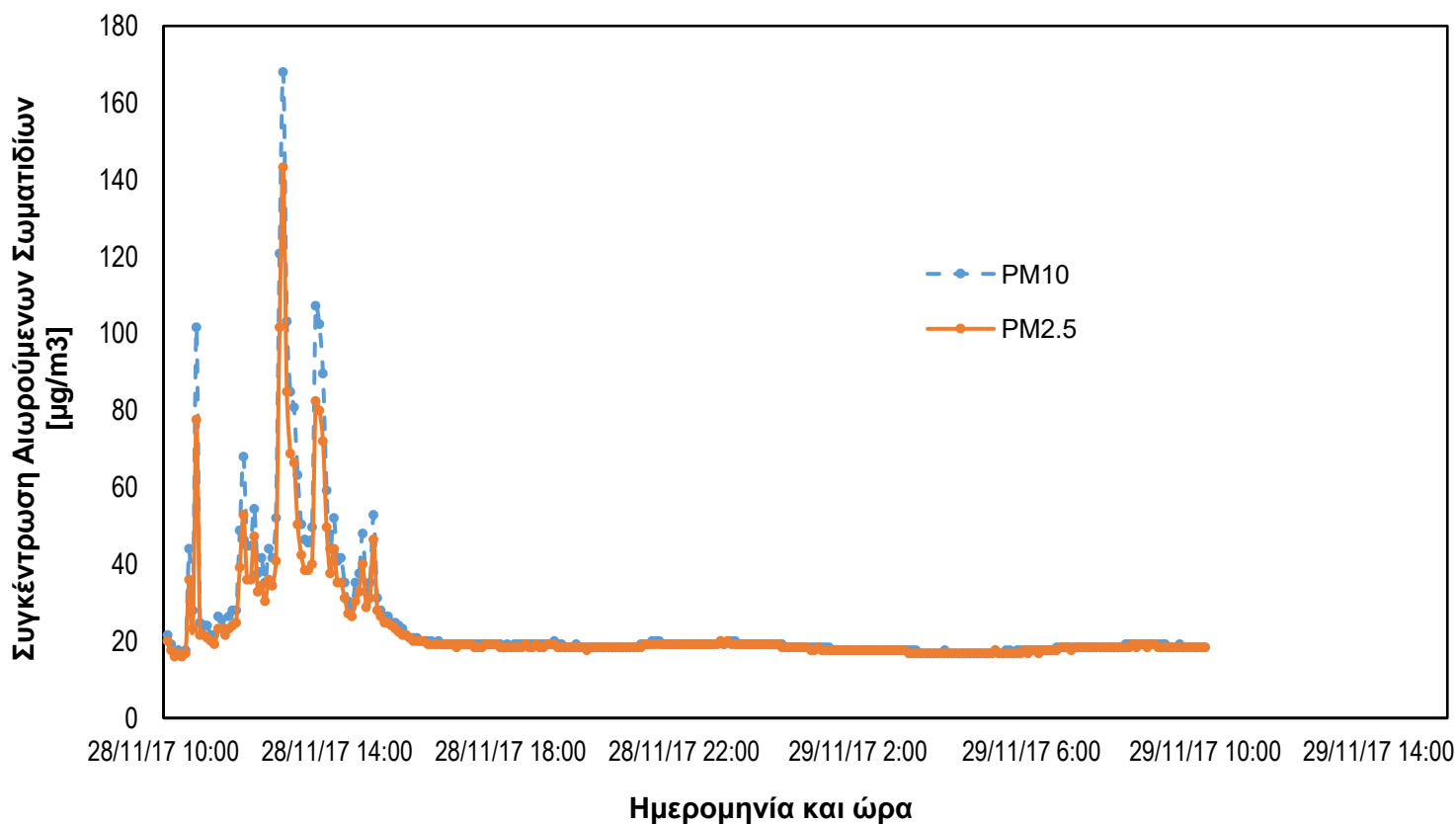
Έγιναν μετρήσεις με το DRX από τις 28/11/17 10:05 έως τις 29/11/17 10:00 κάθε πέντε λεπτά για τα σωματίδια PM_{10} , $PM_{2,5}$, αναπνεύσιμα (RESP), PM_{10} και ολικά (TOTAL).

Ταυτόχρονα με το DRX έγινε δειγματοληψία και με τον προσκρουστήρα Andersen.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	12,8 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	15,8 °C (29/11/17 10:00)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	11,4 °C (28/11/17 20:00,20:10)
Άνεμος	Νοτιοδυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1016,6 bar
Βροχόπτωση	0,24 mm

Πίνακας 14: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 28/11/17-29/11/17.

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$ στην Αίθουσα Ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής.

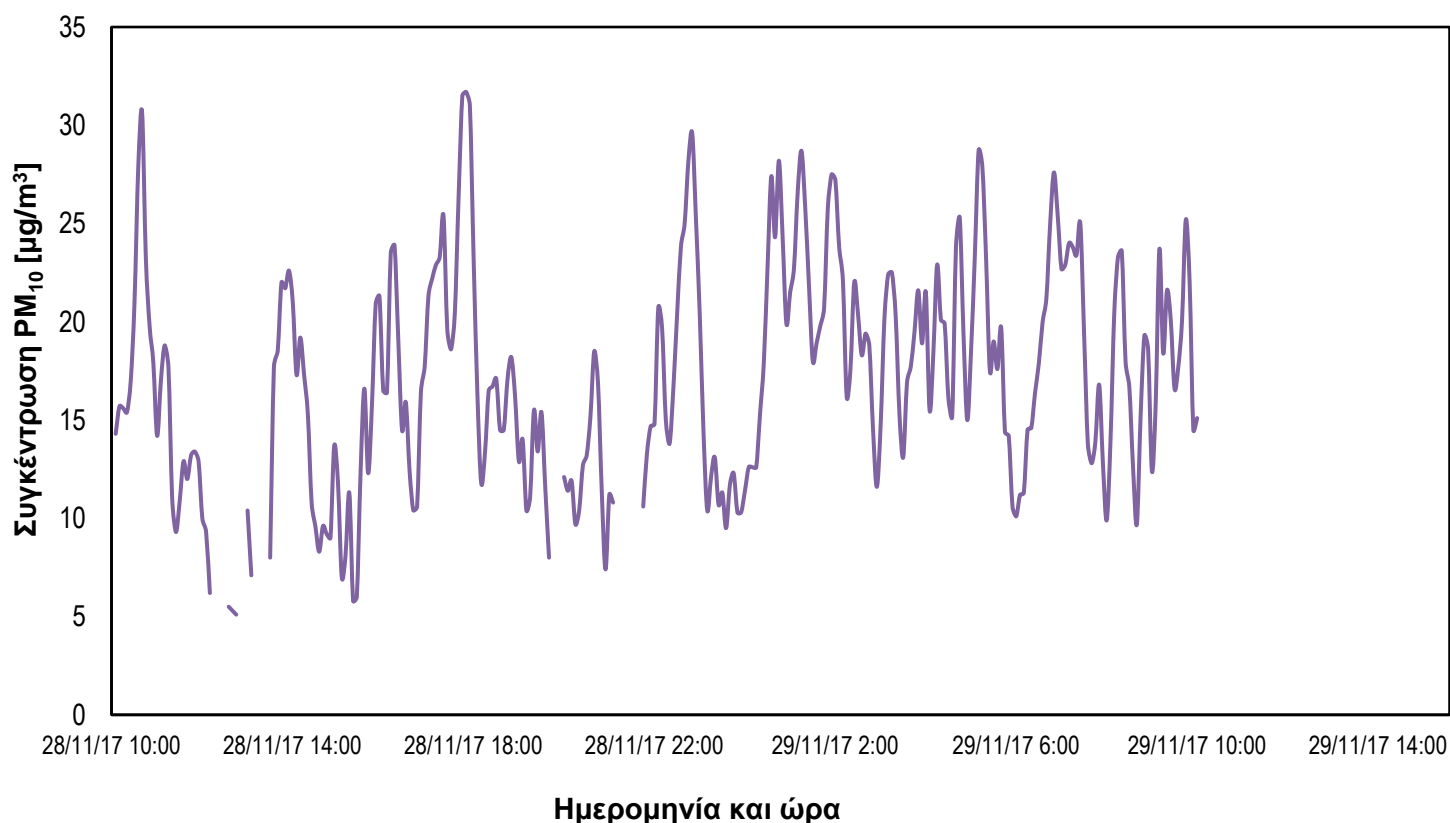


Σχήμα 28: Σύγκριση PM_{10} και $PM_{2,5}$ (28/11/18).

	PM _{2,5}	PM ₁₀
Μέγιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28/11/17, 12:46)	168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28/11/17, 12:46)
Ελάχιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28/11/17, 10:16)	16,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28/11/17, 10:16)
Μέσος όρος	23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια του μαθήματος	41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων μετά το μάθημα	19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της ημέρας	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της νύκτας	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

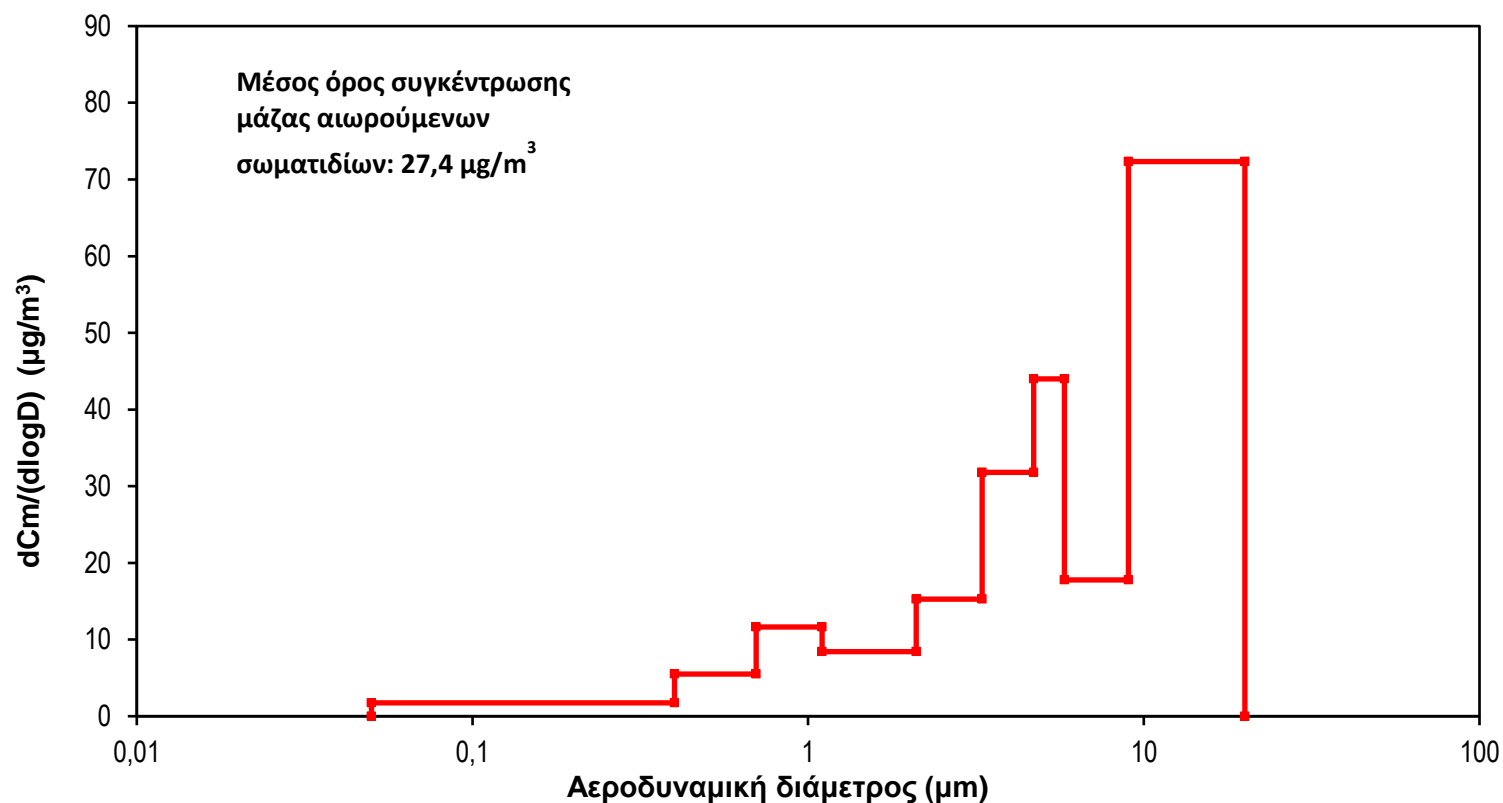
Πίνακας 15: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (28/11/18).

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ όπως μετρήθηκαν στον Σταθμό μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 29: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό μέτρησης (28/11/17).

**Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα
ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής.**



Σχήμα 30: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (28/11/17).

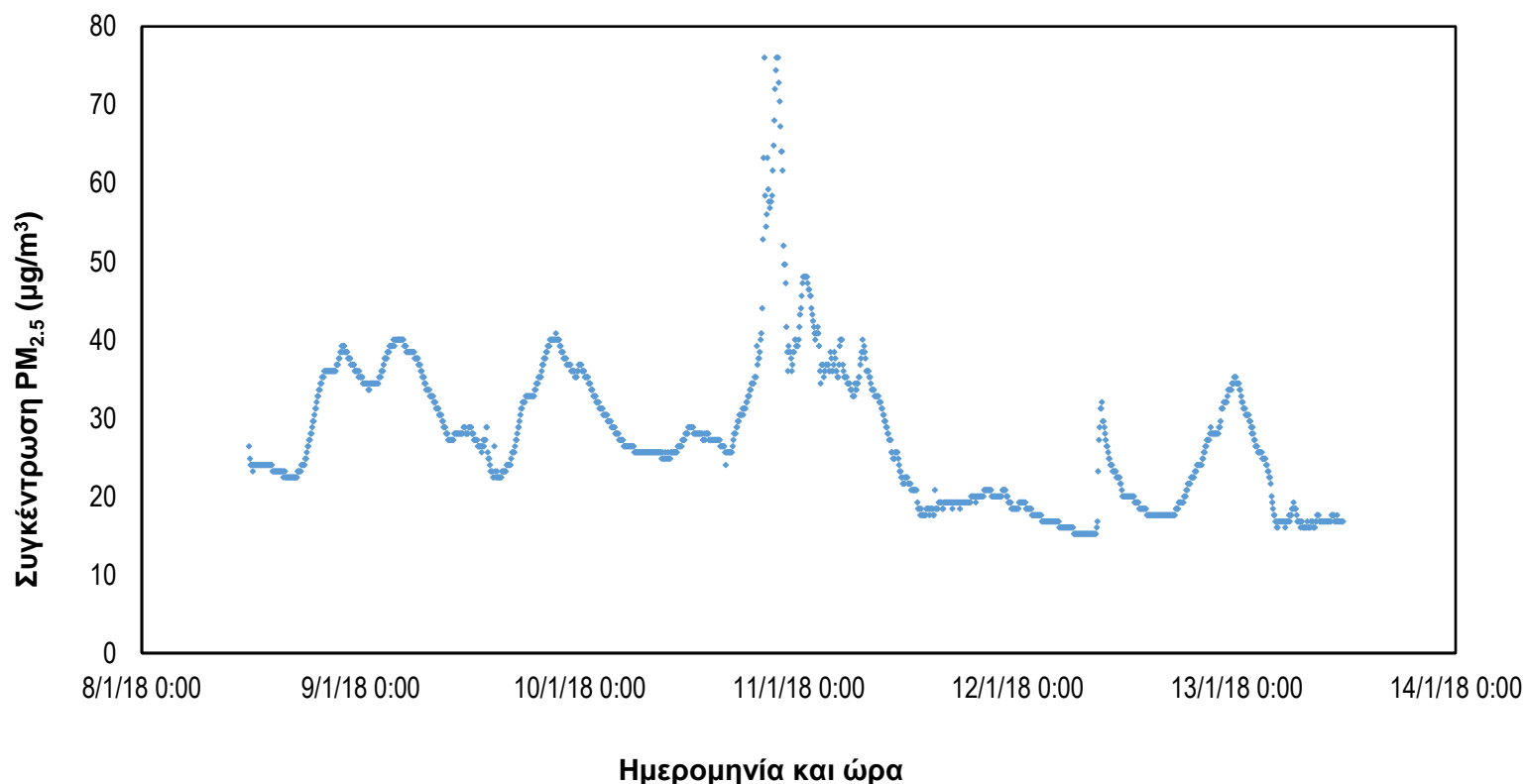
4. 08-13/01/18

Έγιναν μετρήσεις με το DRX από τις 08/01/18 11:44 έως τις 13/01/18 11:39. Κάθε πέντε λεπτά για τα σωματίδια PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, αναπνεύσιμα (RESP), PM_{10} και ολικά (TOTAL). Τις συγκεκριμένες ημερομηνίες δεν πραγματοποιούνταν μαθήματα στην αίθουσα των μετρήσεων.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	13,5°C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	18,6 °C 8/1/2018 12:00
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	9,9°C 9/1/2018 7:40, 7:50
Άνεμος	Κυρίως βόρειοι και ανατολικοί
Ατμοσφαιρική πίεση	1019,3 bar
Βροχόπτωση	0,002 mm

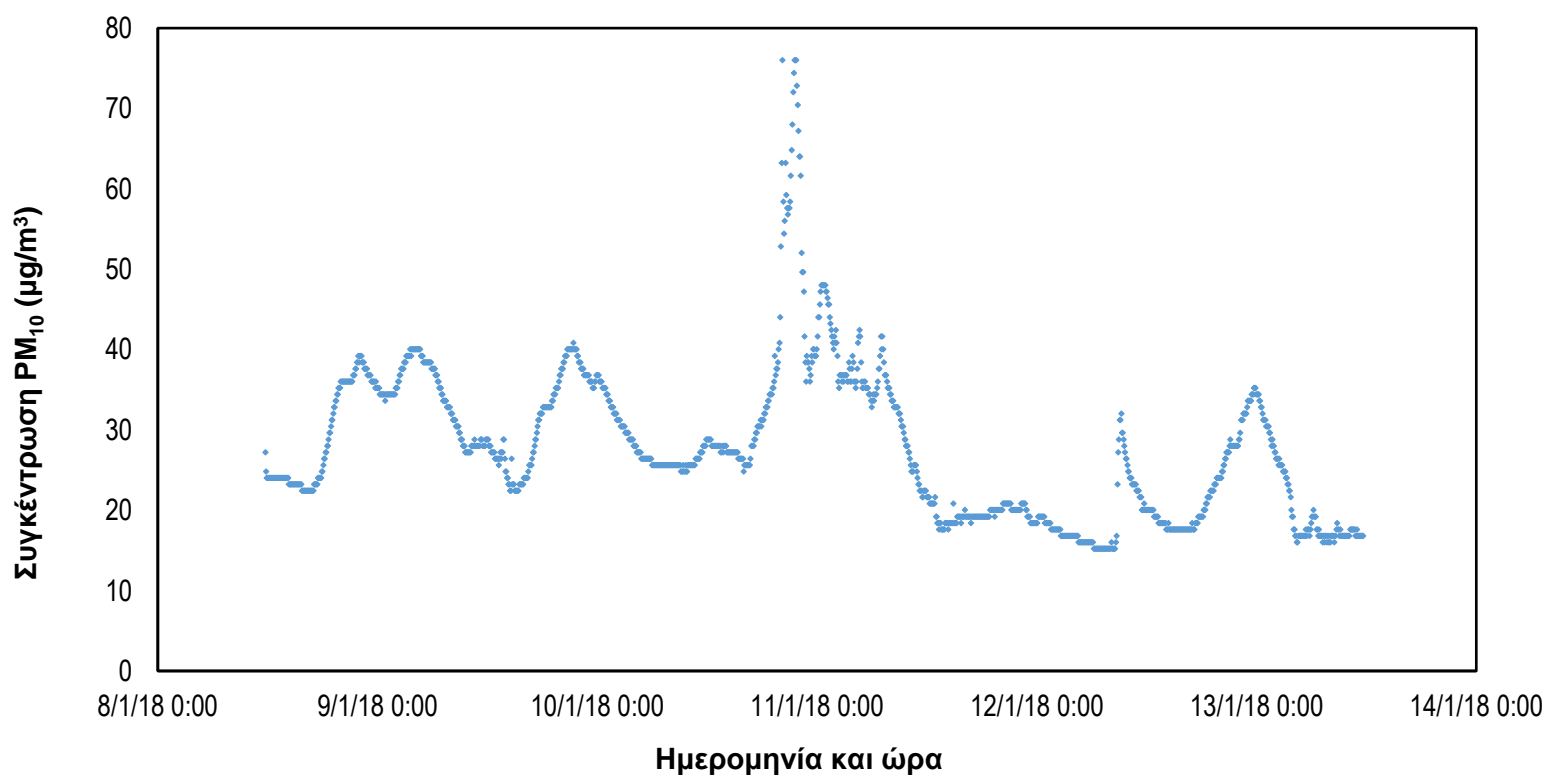
Πίνακας 16: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 08/01/18-13/01/18.

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων $PM_{2.5}$ στην Αίθουσα Ζωγραφικής της
Αρχιτεκτονικής Σχολής.**



Σχήμα 31: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ εντός της αίθουσας ζωγραφικής χωρίς την παρουσία ατόμων σε αυτή (08/01/18).

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} στην Αίθουσα Ζωγραφικής της
Αρχιτεκτονικής Σχολής.**

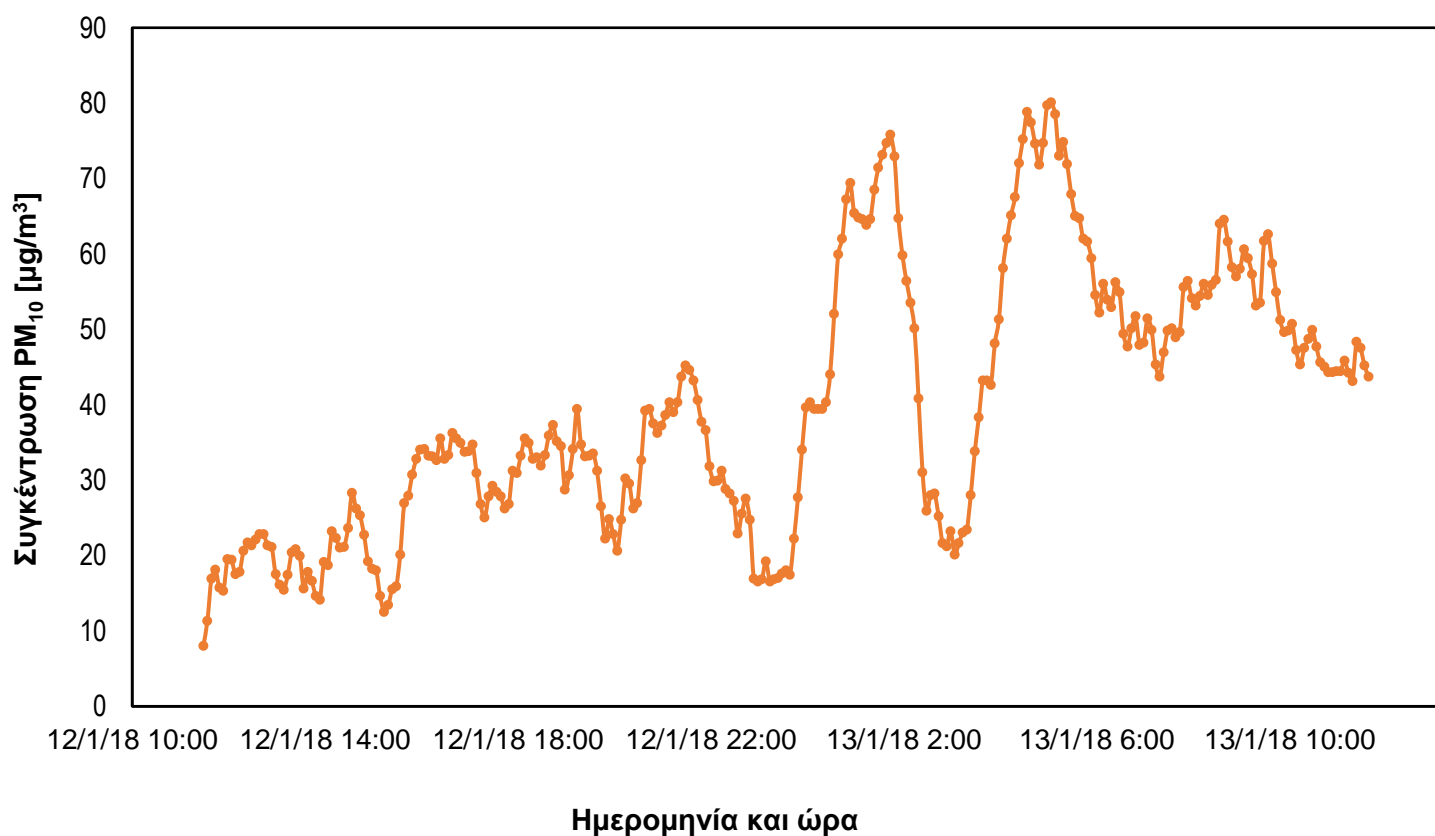


Σχήμα 32: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής χωρίς την παρουσία ατόμων σε αυτή (08/01/18).

	PM _{2,5}	PM ₁₀
Μέγιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10/01/18, 20:14)	76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10/01/18, 20:14)
Ελάχιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (12/01/18, 07:59)	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (12/01/18, 06:54)
Μέσος όρος	28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της ημέρας	24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος σωματιδίων κατά τη διάρκεια της νύκτας	31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 17: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (08/01/18).

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ όπως μετρήθηκαν στον Σταθμό μέτρησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 33: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στον σταθμό μετρήσεων (12/01/18).

5. 26/02/18-04/03/18

Έγινε μέτρηση με το OPS από τις 26/02/18 09:50 έως τις 27/02/18 23:55.

26/02/18

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	13,4°C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	16,1°C 26/2/2018 12:00
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	10,8°C 26/2/2018 10:00
Άνεμος	Νοτιοδυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1002,5 bar
Βροχόπτωση	0,011 mm

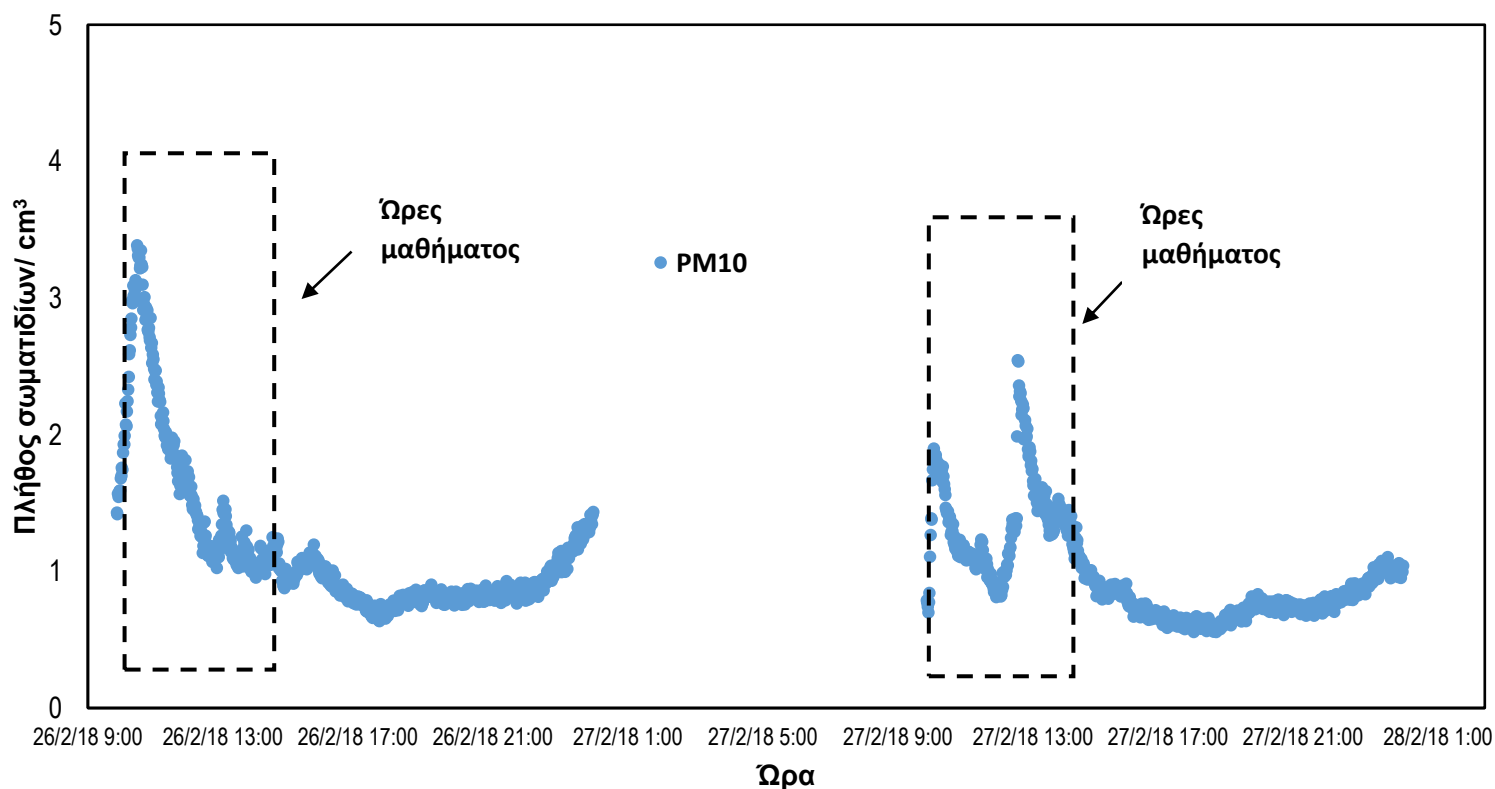
Πίνακας 18: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 26/01/18.

27/02/18

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	14,7°C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	19,6°C 27/2/2018 14:30
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	11,6°C 27/2/2018 06:30, 06:40
Άνεμος	Νοτιοδυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1007,6bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 19: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 27/02/18

Συγκέντρωση πλήθους αιωρούμενων σωματιδίων.



Σχήμα 34: Πλήθος αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (26/02/18 και 27/02/18).

6. 12/03/18

Έγιναν μετρήσεις με το DRX από τις 12/03/18 10:37 έως τις 16/03/18 12:47.

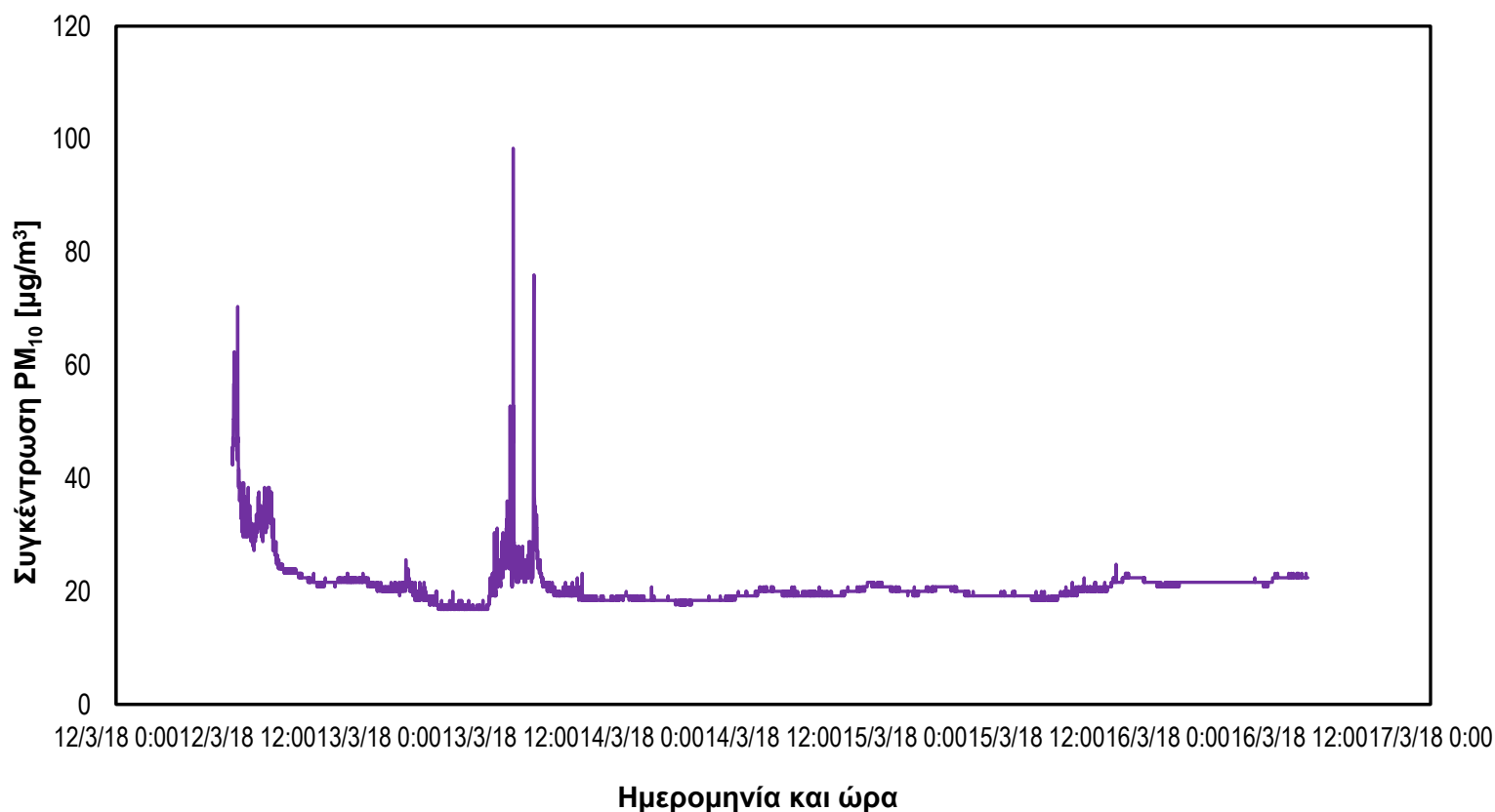
Οι τιμές λαμβάνονταν κάθε λεπτό για τα σωματίδια PM_{10} , $PM_{2,5}$, αναπνεύσιμα (RESP), PM_{10} και ολικά (TOTAL). Στη συνέχεια με τις αντίστοιχες τιμές του οργάνου BETA διορθώθηκαν οι τιμές του DRX για πιο ακριβή αποτελέσματα.

Ταυτόχρονα με το DRX έγινε δειγματοληψία και με τον προσκρουστήρα Andersen.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	18,1°C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	22,3°C 12/3/2018 13:50
Ελάχιστη θερμοκρασία (ώρα)	14,5°C 13/3/2018 07:00, 07:10, 07:20
Άνεμος	Νοτιοδυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1012,0 bar
Βροχόπτωση	0 mm

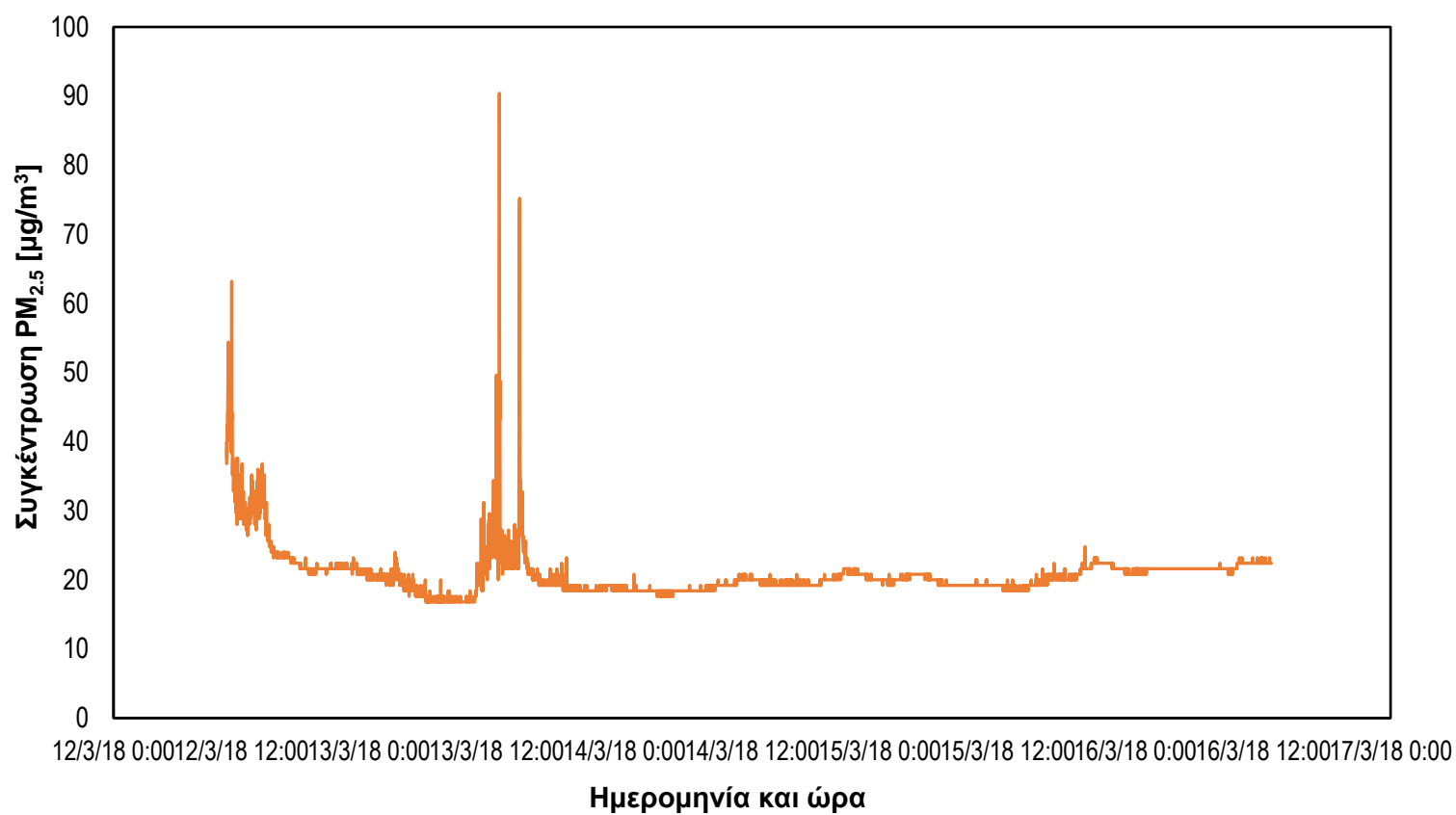
Πίνακας 20: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 12/03/18.

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} στην Αίθουσα Ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής



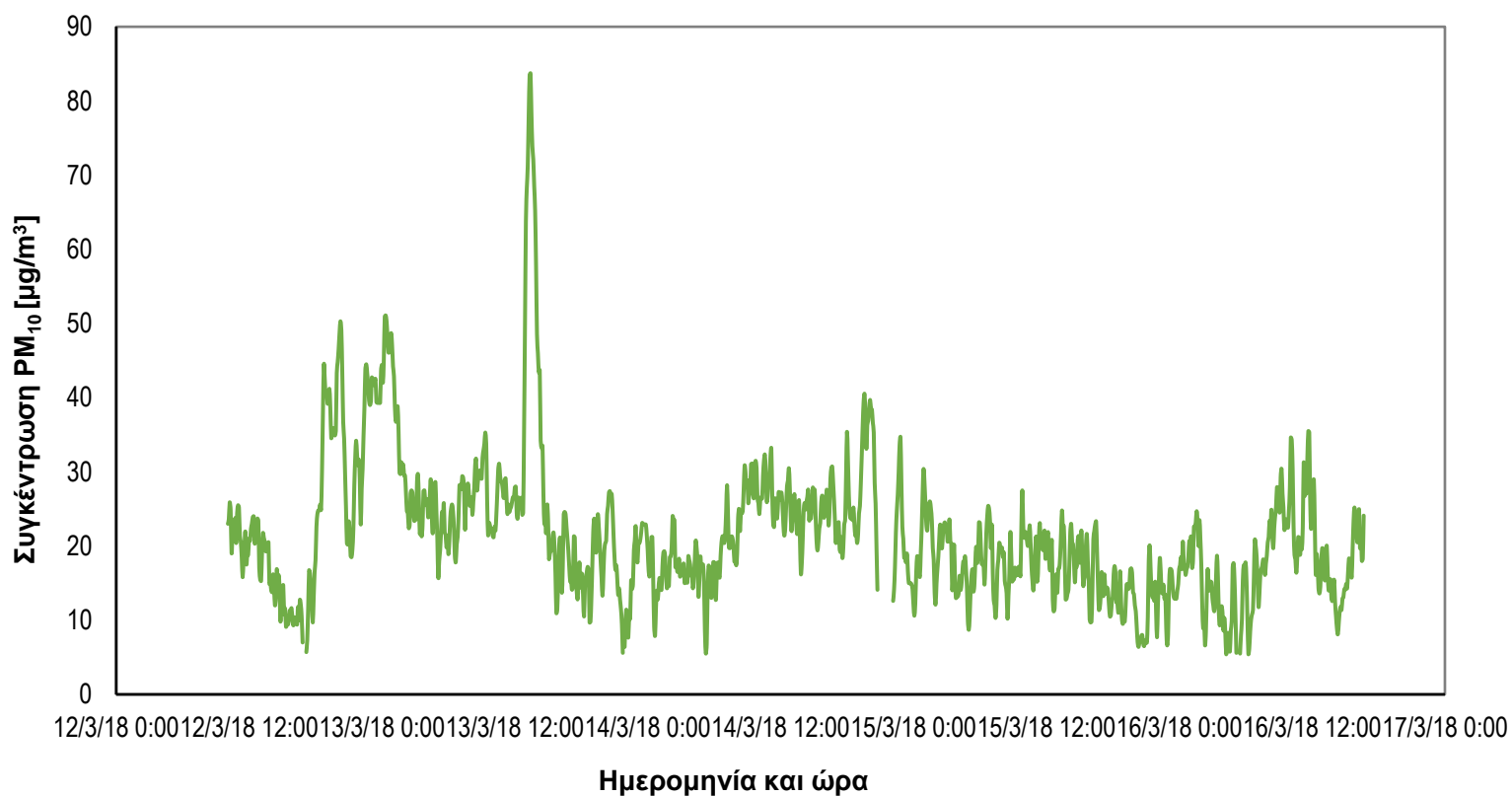
Σχήμα 35: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής (12/03/18).

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων $PM_{2.5}$ στην Αίθουσα Ζωγραφικής της
Αρχιτεκτονικής Σχολής.**



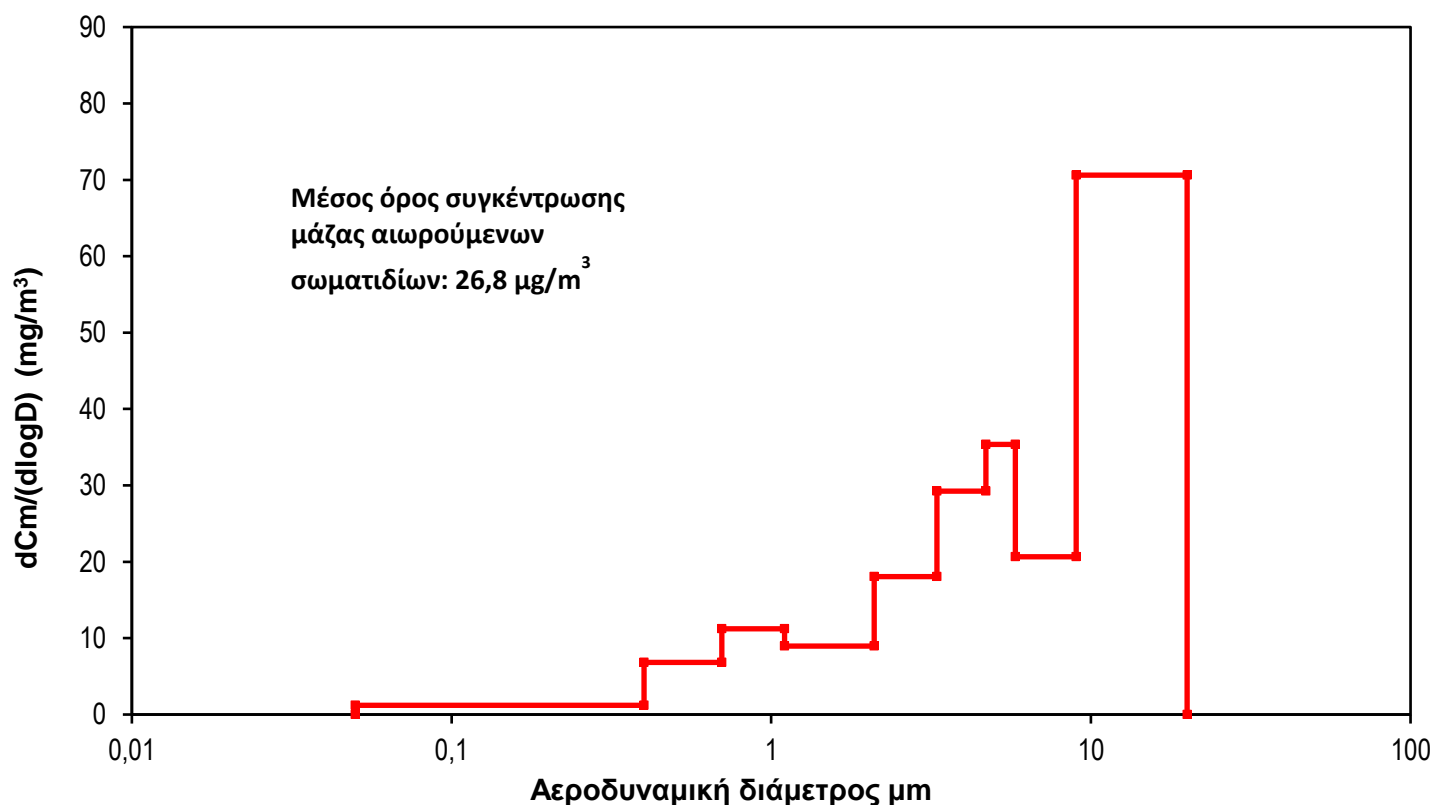
Σχήμα 36: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ εντός της αίθουσας (12/03/18).

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} όπως μετρήθηκαν στην Αίθουσα
Ζωγραφικής.**



Σχήμα 37: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} εντός της αίθουσας ζωγραφικής (12/03/18).

**Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα
ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής**



Σχήμα 38: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (12/03/18).

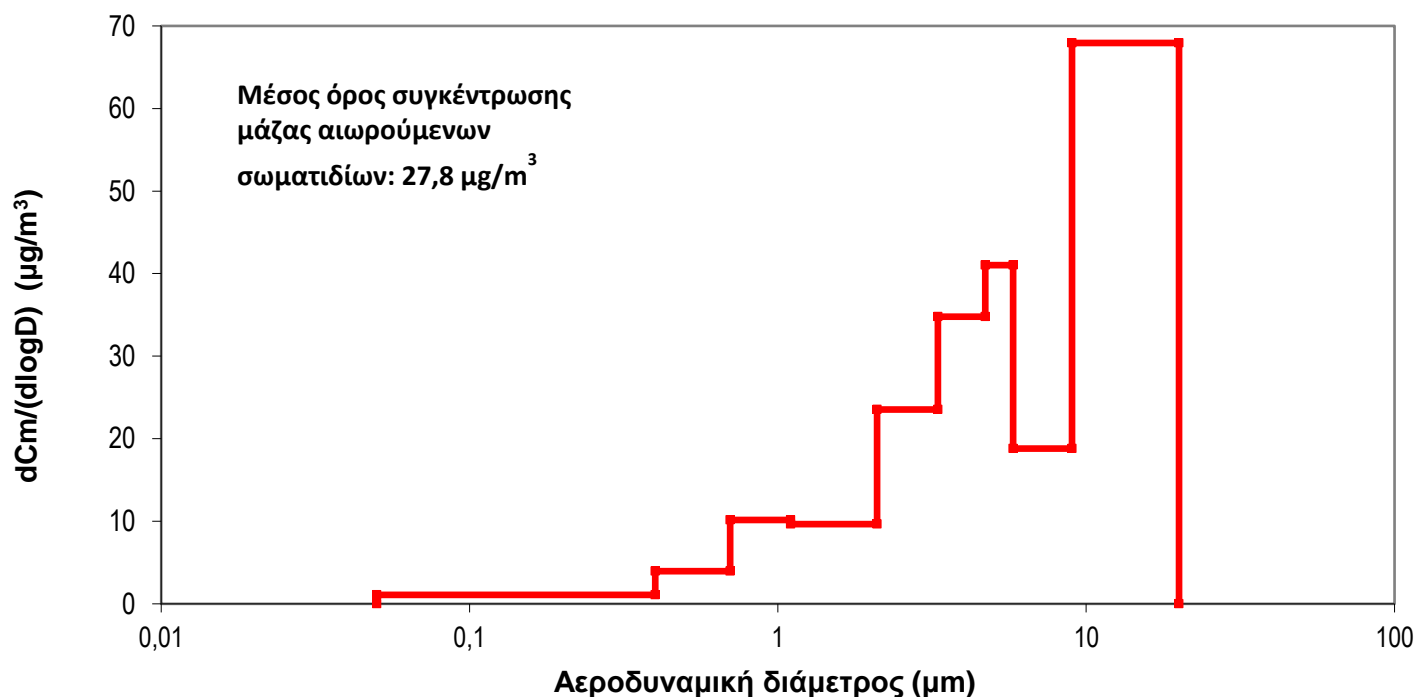
7. 19/3/18

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση με τον προσκρουστήρα Andersen από τις 19/3/18 και ώρα 10:47 έως τις 20/3/18 και ώρα 13:08.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	17°C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	22,4 °C 19/3/2018 12:50
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	12,4°C 20/3/2018 05:40
Άνεμος	Δυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1008,1bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 21: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 19/03/18.

**Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα
ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής.**



Σχήμα 39: Απεικόνιση κατανομής μάζας εντός της αίθουσας (19/03/18).

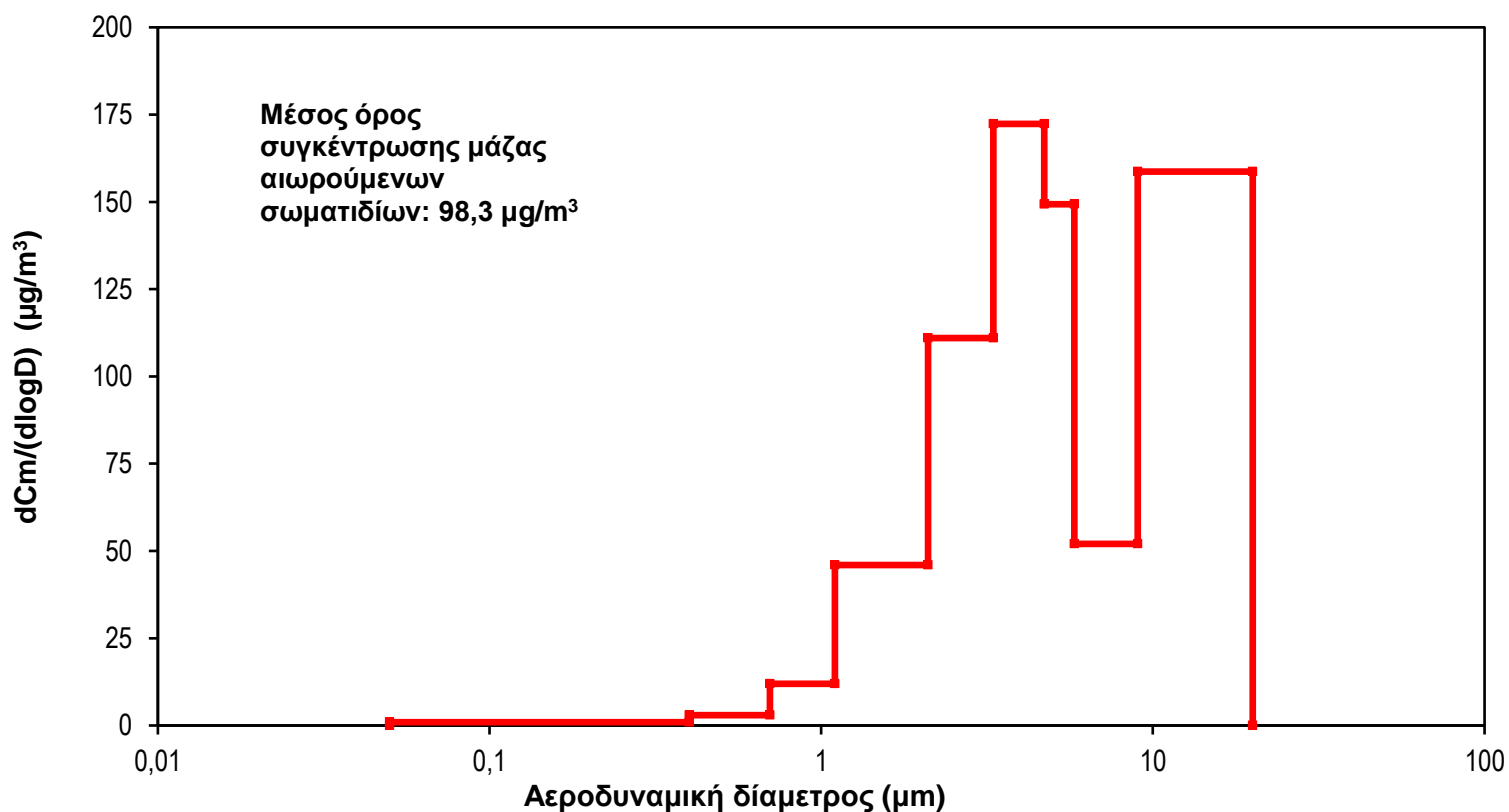
8. 22/3/18 εξωτερική μέτρηση

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση με τον προσκρουστήρα Andersen από τις 22/3/18 και ώρα 09:00 έως τις 23/3/18 και ώρα 14:00.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	22,7 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	26,2 °C 22/3/18 11:20
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	18,3 °C 22/3/18 13:40, 13:50
Άνεμος	Νότιος
Ατμοσφαιρική πίεση	1000,1 bar
Βροχόπτωση	0 mm
Παρατήρηση: Έντονο φαινόμενο Αφρικάνικης Σκόνης	

Πίνακας 22: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 22/03/18.

Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στο σταθμό του
Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 40: Απεικόνιση κατανομής μάζας στο σταθμό μετρήσεων (22/03/18).

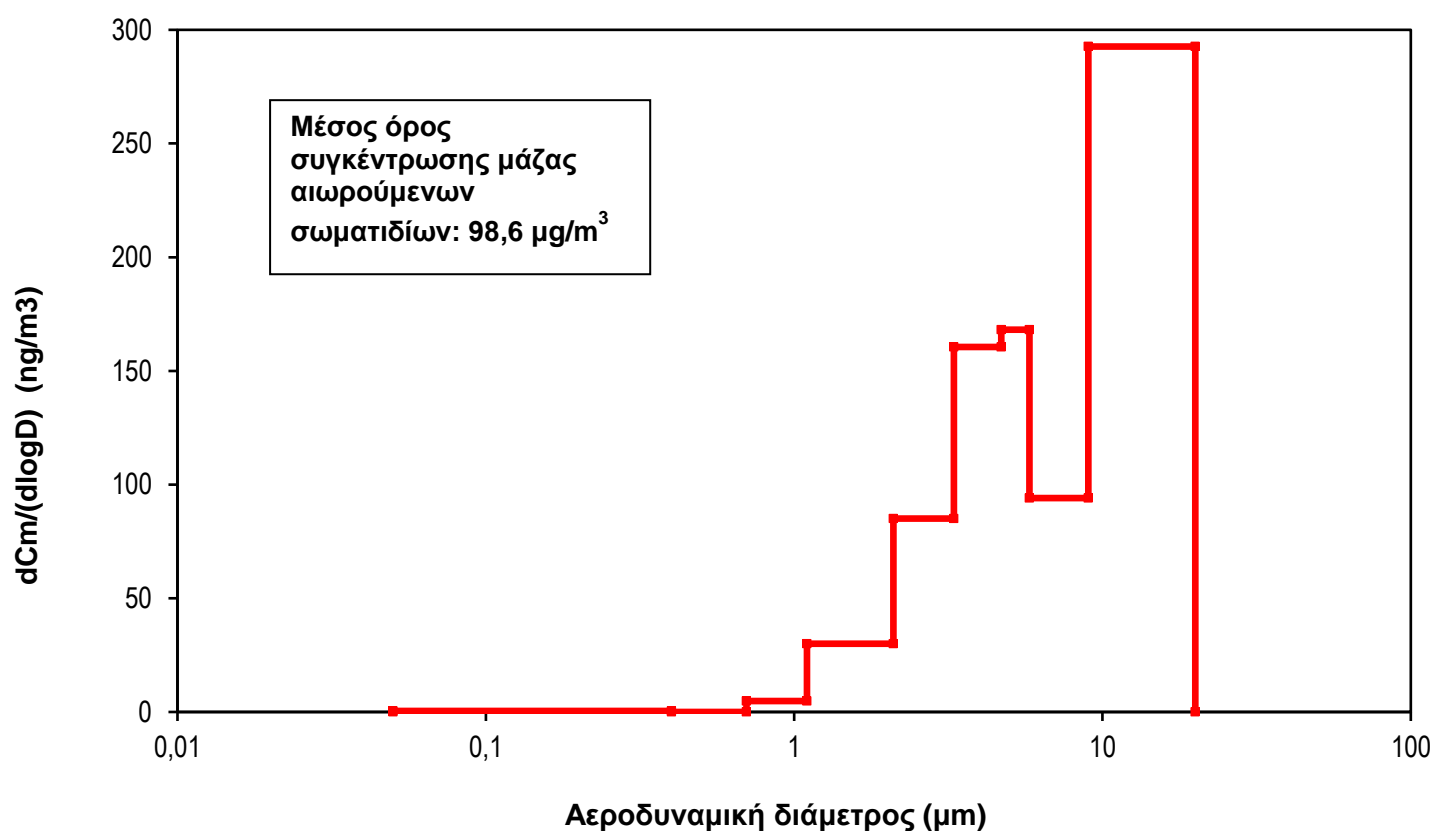
9. 26/3/18

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση με τον προσκρουστήρα Andersen από τις 26/3/18 και ώρα 10:30 έως τις 27/3/18 και ώρα 12:20.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	17,7 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	25,3 °C (26/3/18 15:00)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	12,7 °C (27/3/18 06:20)
Άνεμος	Νοτιοδυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1011,9 bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 23: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 26/03/18.

**Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα
ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής.**



Σχήμα 41: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας ζωγραφικής (26/03/18).

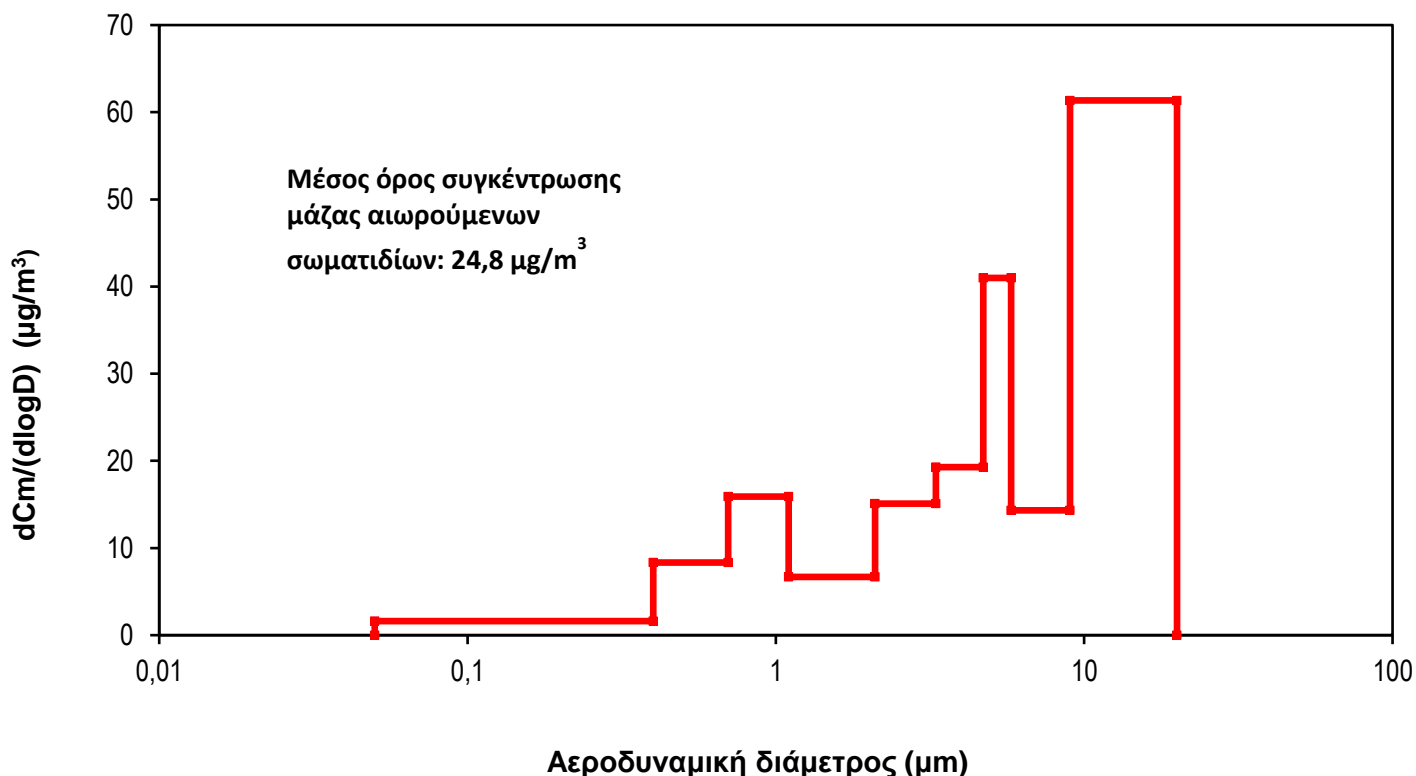
10. 23/4/18

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση με τον προσκρουστήρα Andersen από τις 23/4/18 και ώρα 13:50 έως τις 24/4/18 και ώρα 13:45.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	17,6 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	23,3 °C (23/4/18 14:00)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	12,4 °C (24/4/18 06:00)
Άνεμος	Δυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1015,2bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 24: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 23/04/18.

**Απεικόνιση της κατανομής μάζας των Αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα
ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής.**



Σχήμα 42: Απεικόνιση κατανομής μάζας εντός της αίθουσας ζωγραφικής (23/04/18).

11. 25/4/18

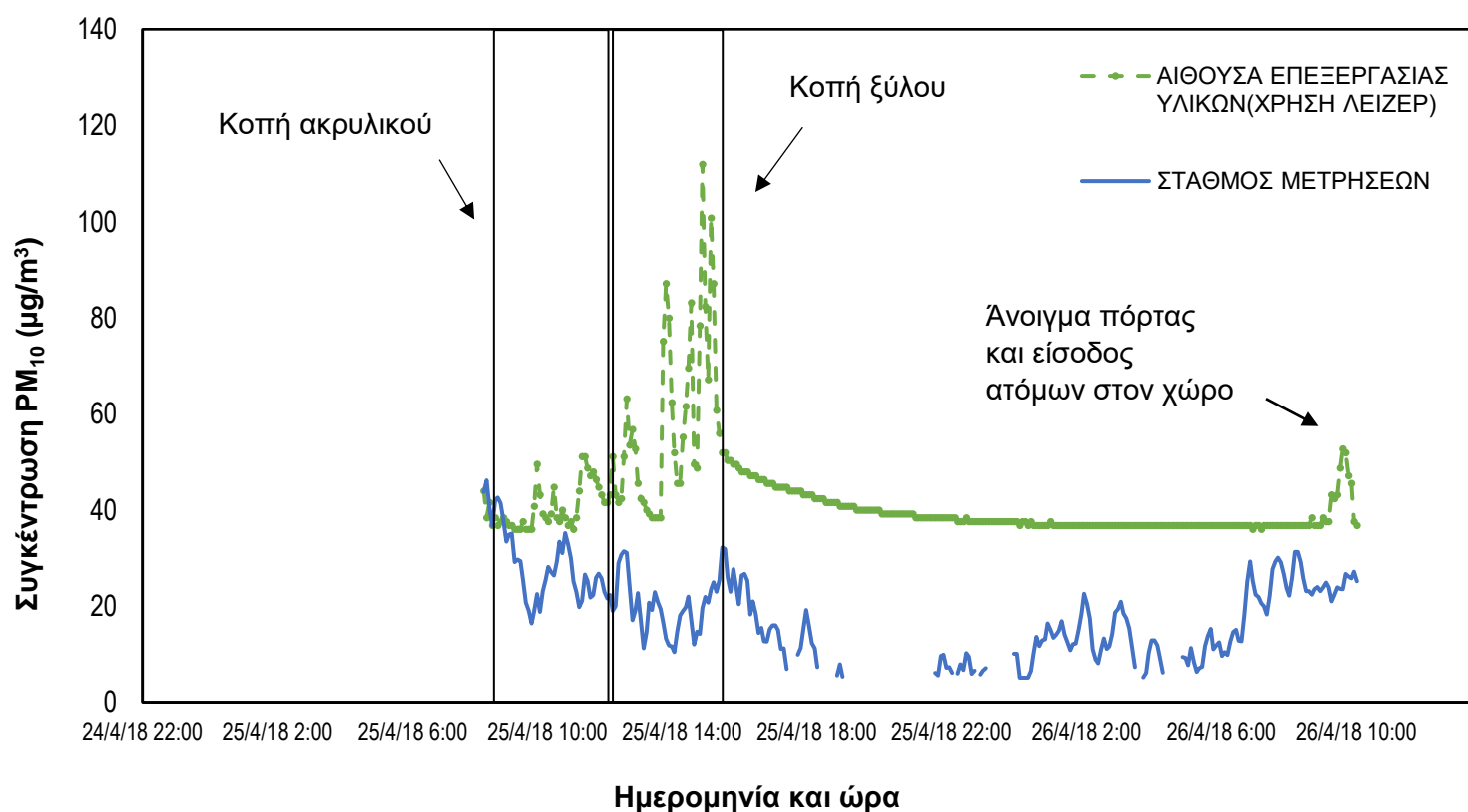
Έγιναν μετρήσεις με το Dustrak DRX από τις 25/04/18 08:10 έως τις 27/11/17 09:15.

Οι τιμές λαμβάνονταν κάθε λεπτό για τα σωματίδια PM_{10} . Στη συνέχεια με τις αντίστοιχες τιμές του οργάνου BETA διορθώθηκαν οι τιμές του Dustrak DRX για πιο ακριβή αποτελέσματα.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	22 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	30,3 °C (25/4/18 12:00)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	15,4 °C (27/4/18 05:50)
Άνεμος	Δυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1012,9 bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 25: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 25/04/18.

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ εντός της αίθουσας
επεξεργασίας υλικών από τις 25/04/2018 08:10 έως 26/04/2018 10:00 σε
σύγκριση με τα δεδομένα του σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης.**

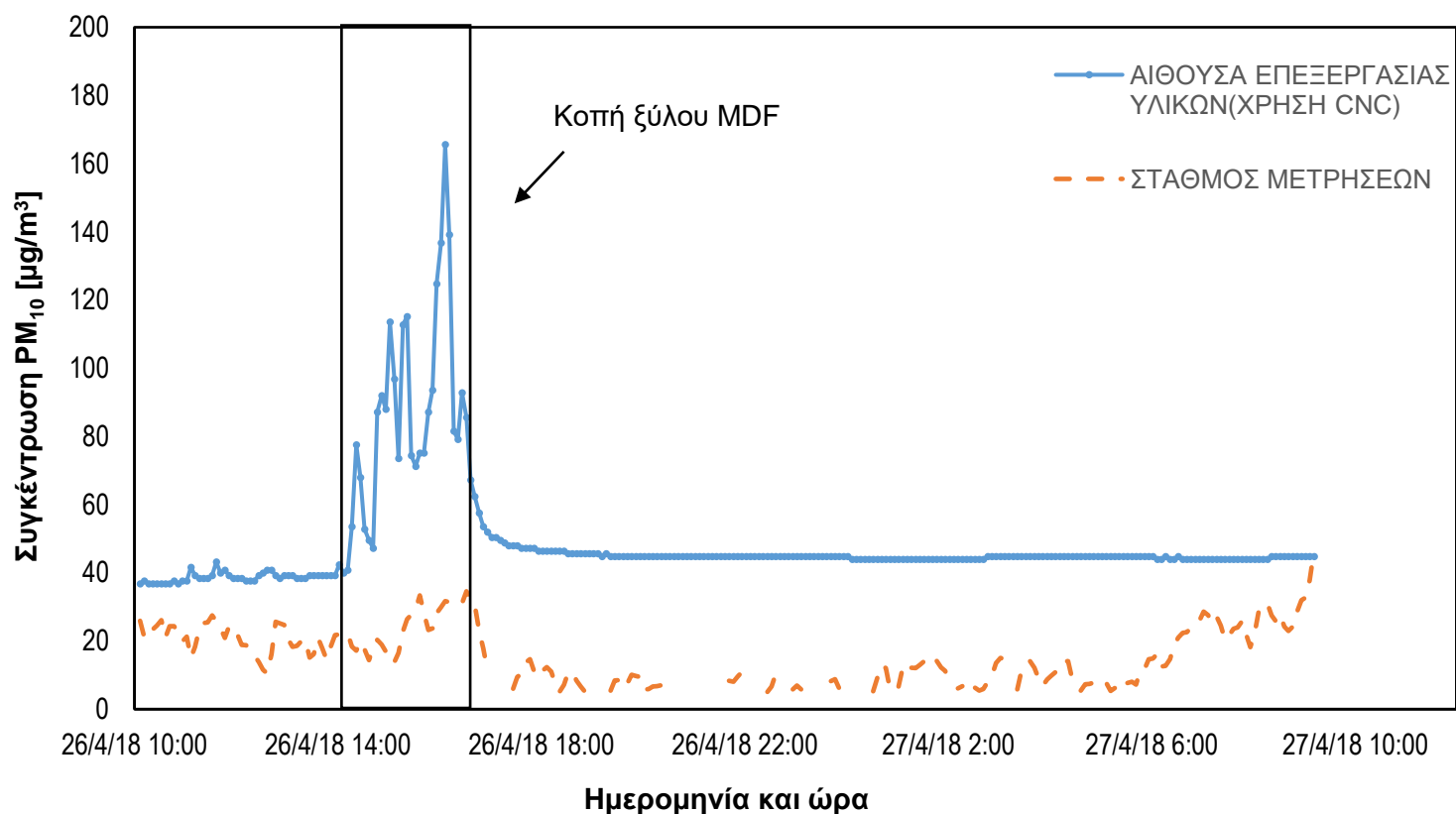


Σχήμα 43: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών κατά την κοπή ακρυλικού και ξύλου (25/04/18).

Μέγιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	112 μg/m ³ (25/4/18 14:37)
Ελάχιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	36 μg/m ³ (26/4/18 07:15)
Μέσος όρος σωματιδίων κατά την κοπή ακρυλικού	42,5 μg/m ³
Μέσος όρος σωματιδίων κατά την κοπή και επεξεργασία ξύλου	57,7 μg/m ³

Πίνακας 26: Σημαντικότερα αποτελέσματα μέτρησης (25/04/18).

**Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM₁₀ εντός της αίθουσας
επεξεργασίας υλικών από τις 26/04/2018 10:10 έως 27/04/2018 09:15 σε
σύγκριση με τα δεδομένα του σταθμού του Πολυτεχνείου Κρήτης.**



Σχήμα 44: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στην αίθουσα επεξεργασίας υλικών κατά την κοπή ξύλου MDF (26/04/18).

Μέγιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	165,6 μg/m ³ (26/4/18 16:07)
Ελάχιστη τιμή (ημ/νια, ώρα)	37,6 μg/m ³ (26/4/18 12:17)
Μέσος όρος σωματιδίων κατά την κοπή ξύλουMDF	38,6 μg/m ³

Πίνακας 27: Βασικά αποτελέσματα μέτρησης (26/02/18).

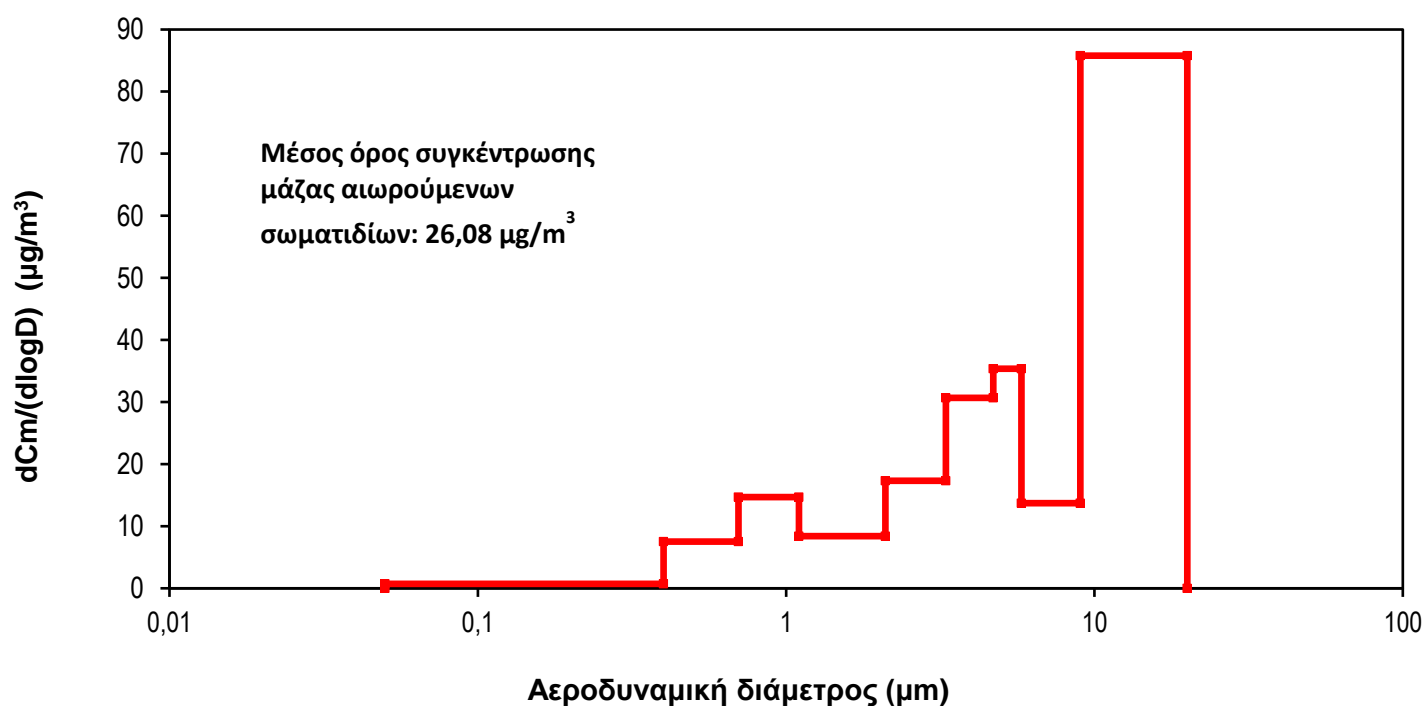
12. 7/5/18

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση με τον προσκρουστήρα Andersen από τις 7/5/18 και ώρα 13:05 έως τις 8/5/18 και ώρα 13:15.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	19 °C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	24 °C (8/5/18 13:10)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	16,3 °C (8/5/18 06:00, 06:10, 06:20, 06:30)
Άνεμος	Νοτιοδυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1008,2bar
Βροχόπτωση	0 mm

Πίνακας 28: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 07/05/18.

Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αίθουσα ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής όπως προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.



Σχήμα 45: Απεικόνιση κατανομής μάζας αιωρούμενων σωματιδίων εντός της αίθουσας (07/05/18).

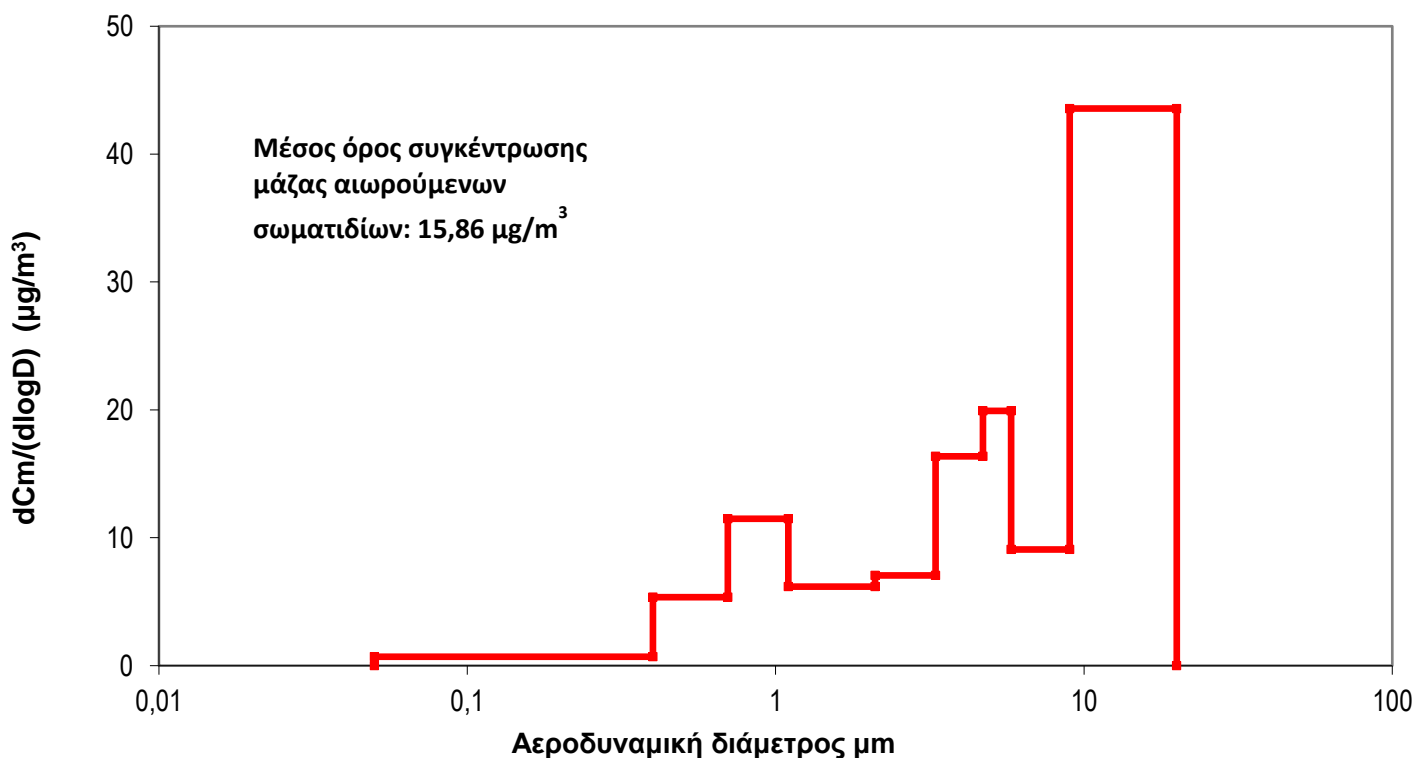
13. 09/5/18 εξωτερική μέτρηση

Πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονη δειγματοληψία με το Dustrak DRX και με τον προσκρουστήρα Andersen από τις 09/5/18 και ώρα 08:40 έως τις 10/5/18 και ώρα 09:20.

Μετεωρολογικά στοιχεία	
Παράμετρος	Τιμή
Μέση θερμοκρασία	20,5°C
Μέγιστη θερμοκρασία (ώρα)	24,9°C (11/5/18 14:50)
Ελάχιστη θερμοκρασία(ώρα)	17,1°C (11/5/18 23:00)
Άνεμος	Δυτικός
Ατμοσφαιρική πίεση	1012,1bar
Βροχόπτωση	0 mm

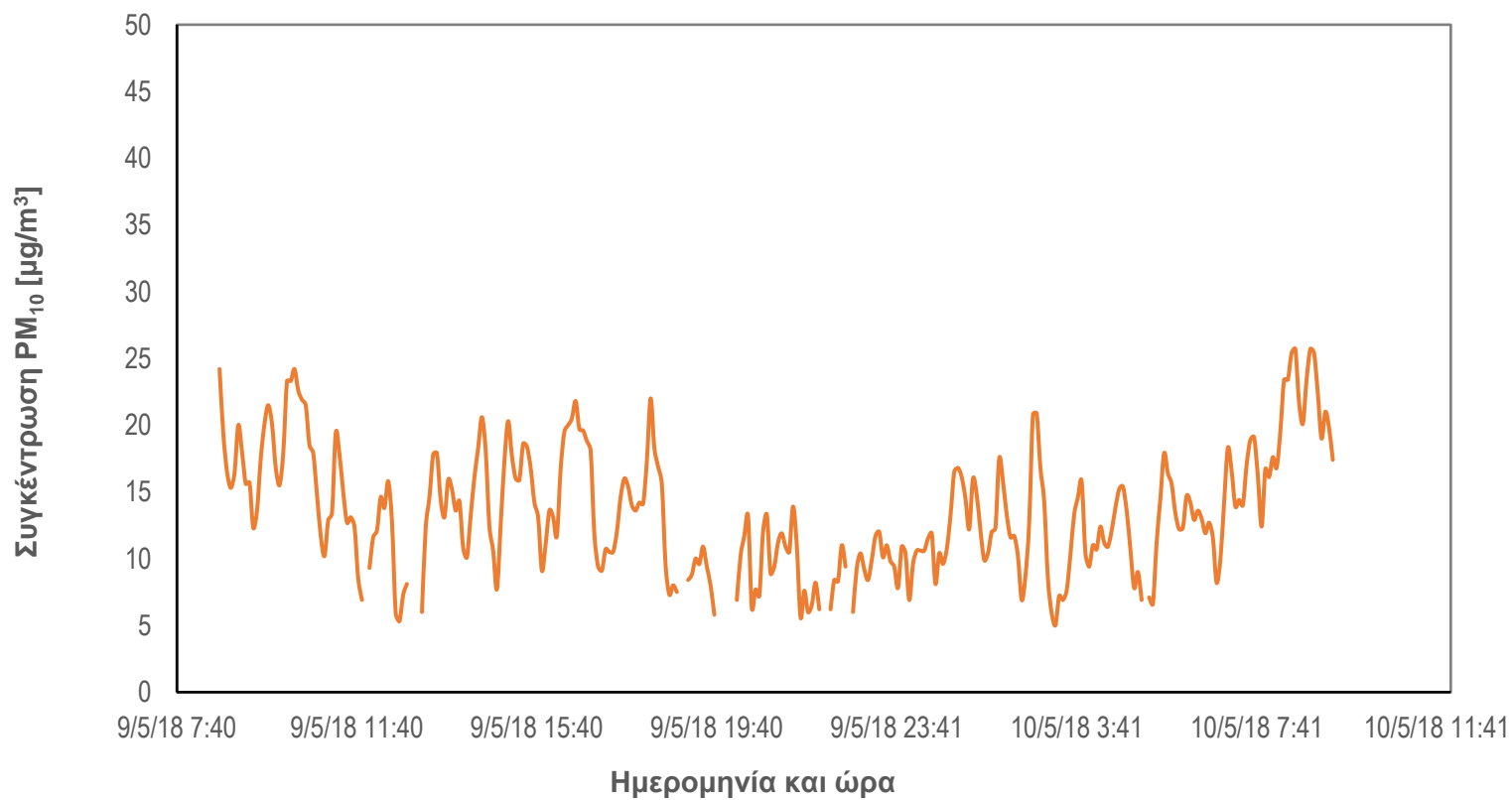
Πίνακας 29: Βασικά μετεωρολογικά στοιχεία 09/05/18.

Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό μετρήσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης όπως προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.



Σχήμα 46: Απεικόνιση κατανομής μάζας στο σταθμό μετρήσεων (09/05/18).

Συγκέντρωση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM_{10} στο σταθμό μετρήσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

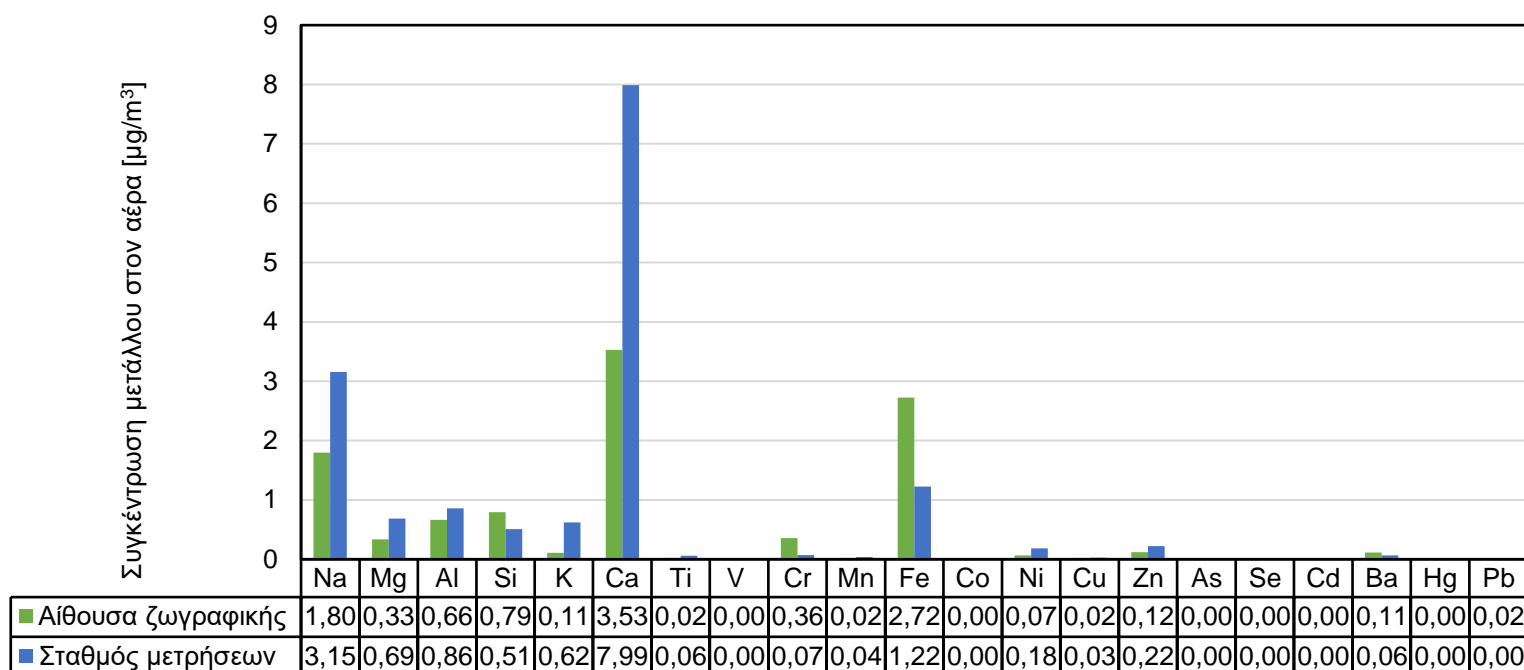


Σχήμα 47: Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στο σταθμό μετρήσεων (09/05/18).

Παράρτημα Β

Ακολουθούν αναλυτικά τα αποτελέσματα των εκχυλίσεων των φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες με τον προσκρουστήρα Andersen.

Συγκεντρώσεις μετάλλων στον αέρα εντός της αίθουσας ζωγραφικής της Αρχιτεκτονικής Σχολής και στο Σταθμό μετρήσεων.



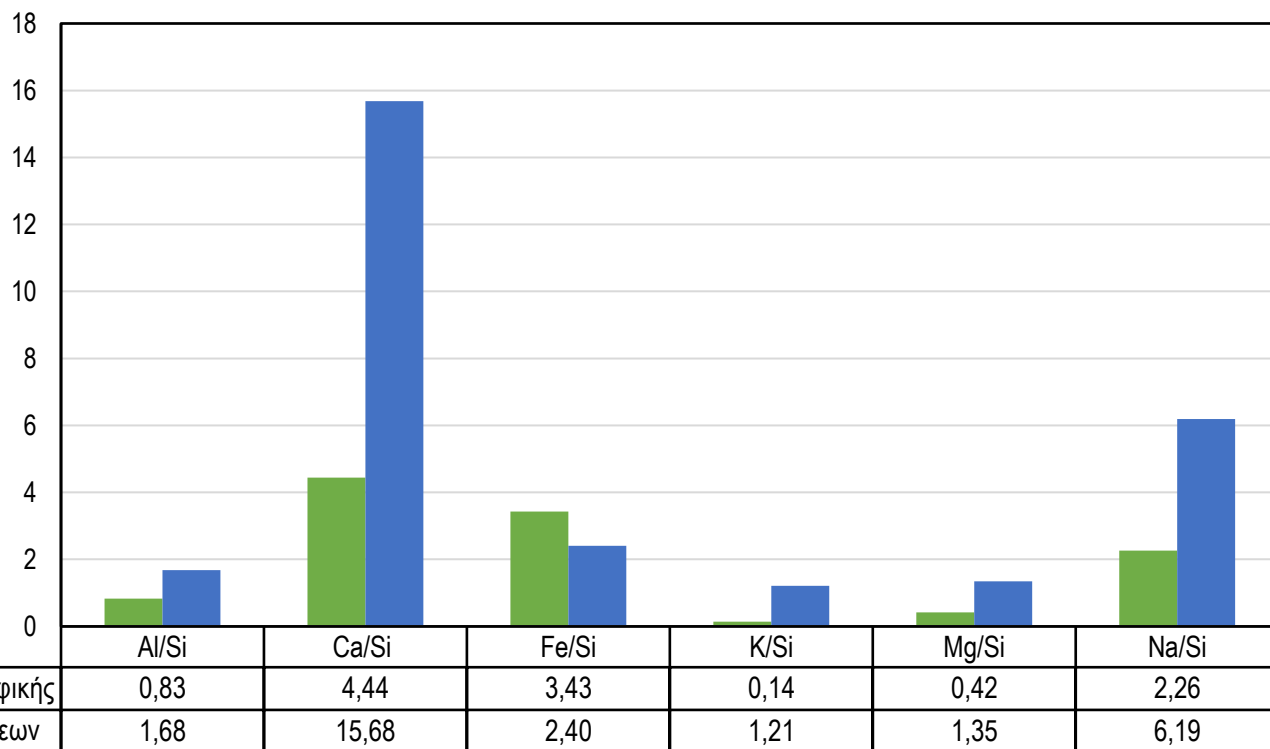
Σχήμα 48: Σύγκριση της συγκέντρωσης μετάλλων εντός και εκτός της αίθουσας ζωγραφικής.

Στάδια προσκρουστήρα Andersen (µm)	Συγκέντρωση εντός της αίθουσας ζωγραφικής (µg/m³)			
	Ba	Cr	Fe	Pb
9,0-10	0,03	<DL	0,01	<DL
5,8-9,0	0,03	<DL	0,07	<DL
4,7-5,8	0,02	0,03	0,32	<DL
3,3-4,7	0,01	0,04	0,38	<DL
2,1-3,3	0,01	0,05	0,43	<DL
1,1-2,1	<DL	0,07	0,40	<DL
0,7-1,1	<DL	0,03	0,21	<DL
0,4-0,7	<DL	0,02	0,15	<DL
0,0-0,4	<DL	0,02	0,13	<DL
Σύνολο	0,09	0,26	2,09	<DL

Πίνακας 30: Η συγκέντρωση των μετάλλων που παρατηρήθηκαν υψηλότερα από το εξωτερικό περιβάλλον ανά στάδιο του προσκρουστήρα Andersen.

Λόγοι συγκέντρωσης μετάλλων ως προς τη συγκέντρωση του πυριτίου.

Μέταλλο/Si



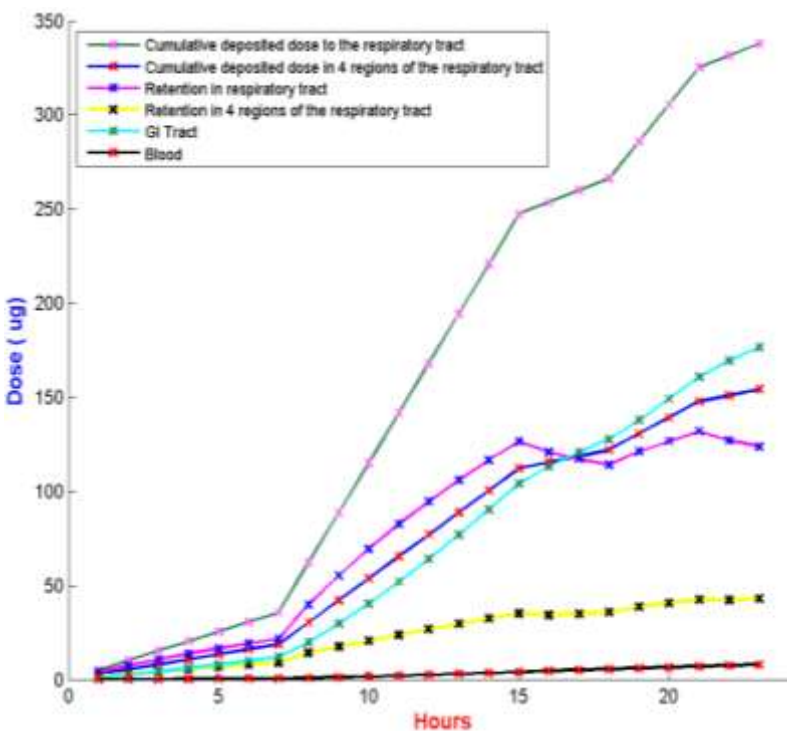
Σχήμα 49: Συγκέντρωση μετάλλου ως προς τη συγκέντρωση πυριτίου. Δείκτης φυσικής προέλευσης αερολυμάτων.

Παράρτημα Γ

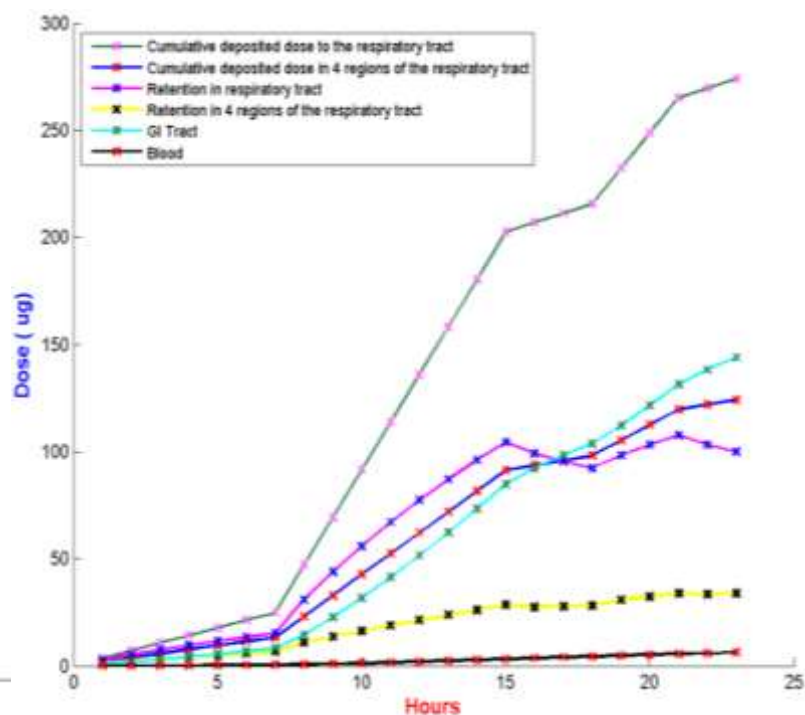
Ακολουθούν τα διαγράμματα δόσης όπως προέκυψαν από το μοντέλο ExDoM 2.

14/11/17

Άνδρας

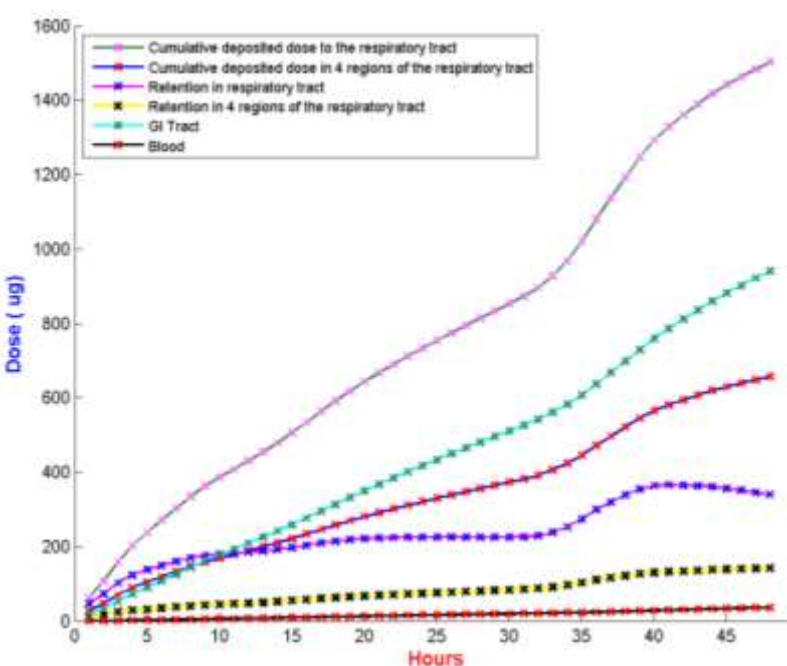


Γυναίκα

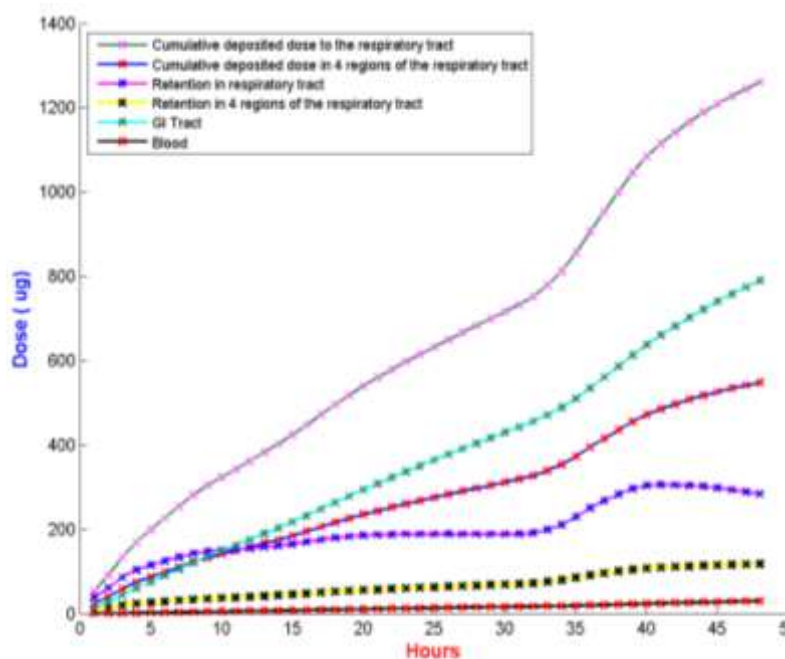


Σχήμα 50: Διαγράμματα δόσης (14/11/17).

20-11-17 Άνδρας



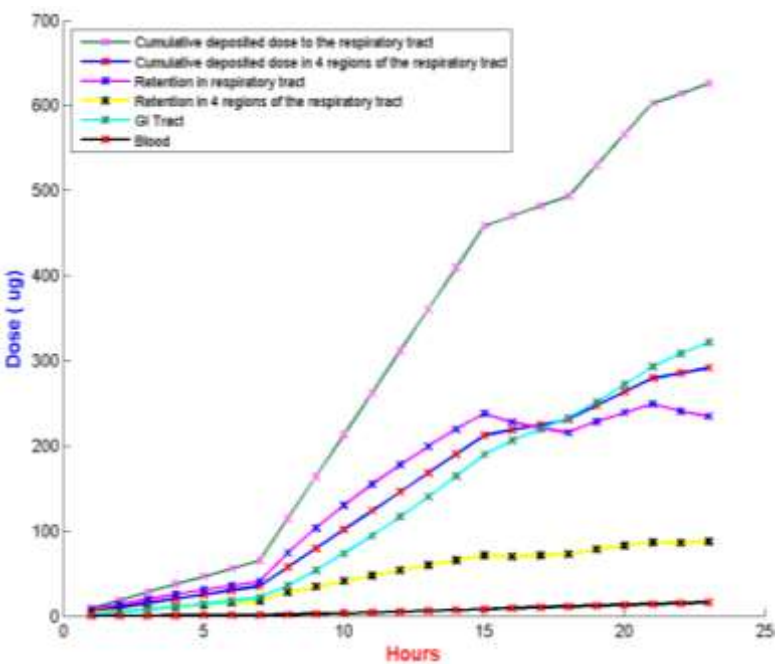
Γυναίκα



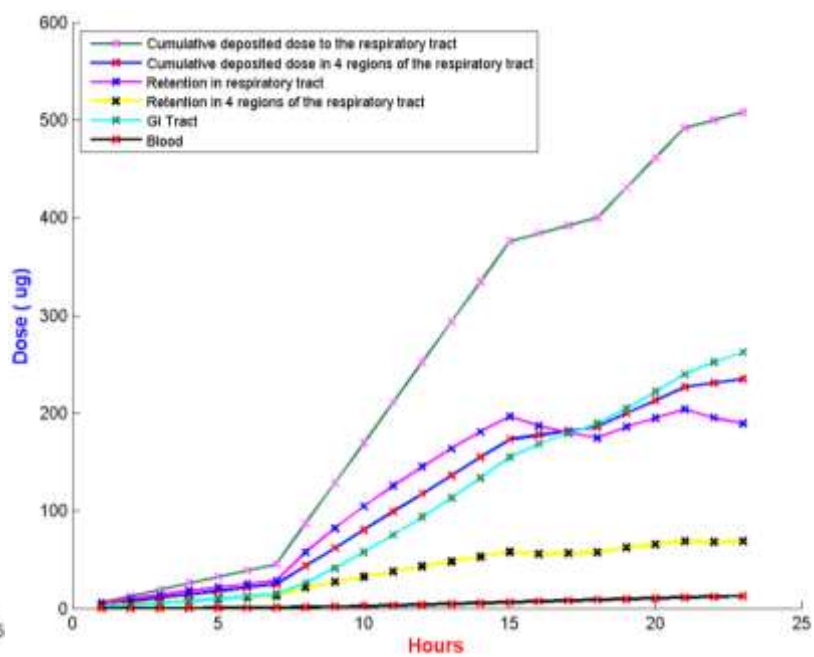
Σχήμα 51: Διαγράμματα δόσης (20/11/17).

28-11-17

Άνδρας



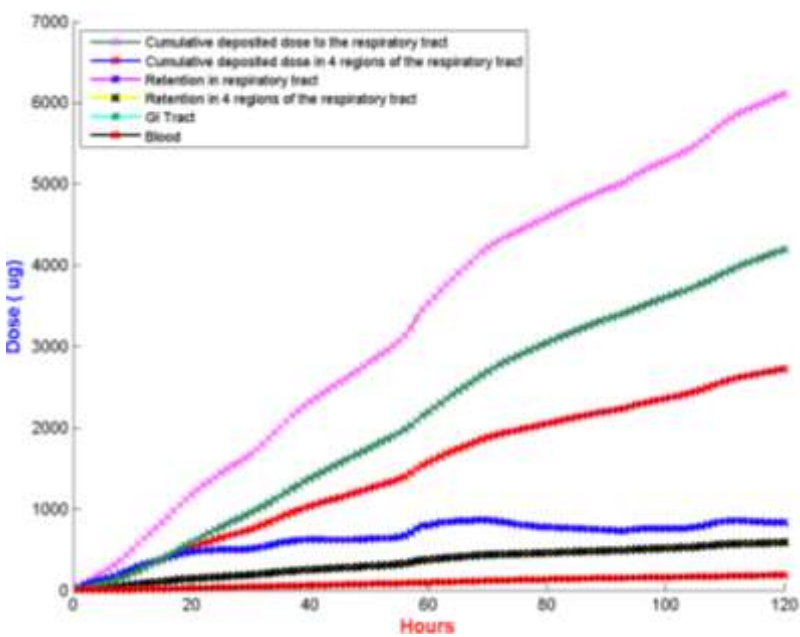
Γυναίκα



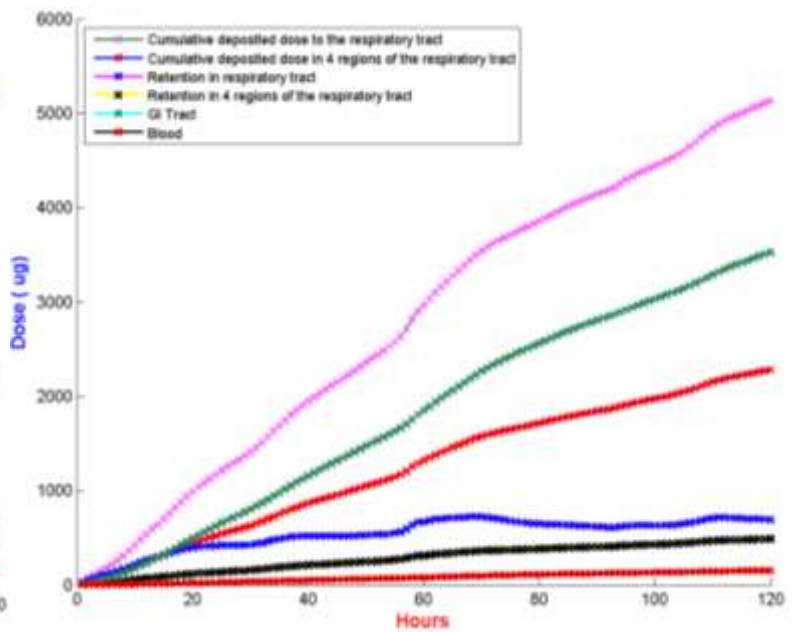
Σχήμα 52: Διαγράμματα δόσης (28/11/17).

08-01-18

Άνδρας



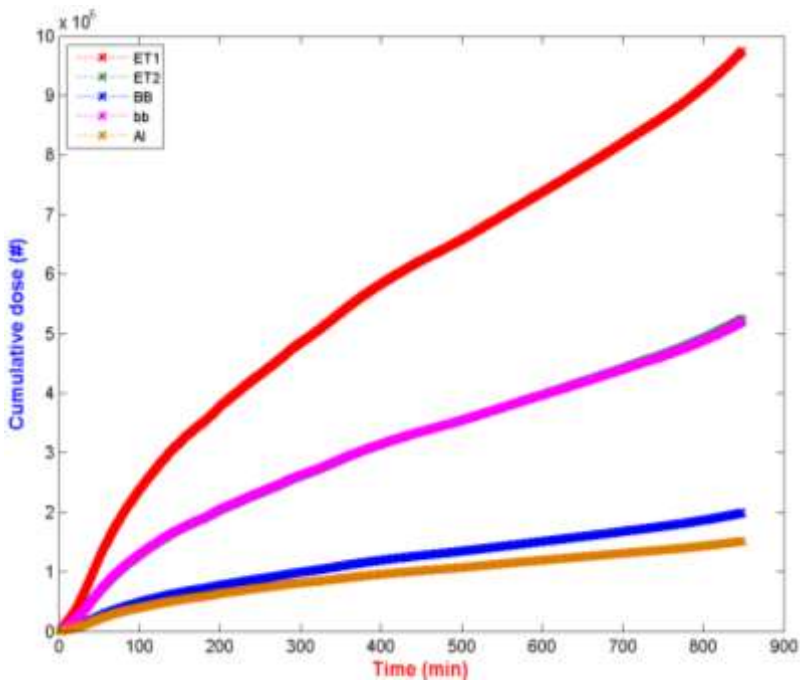
Γυναίκα



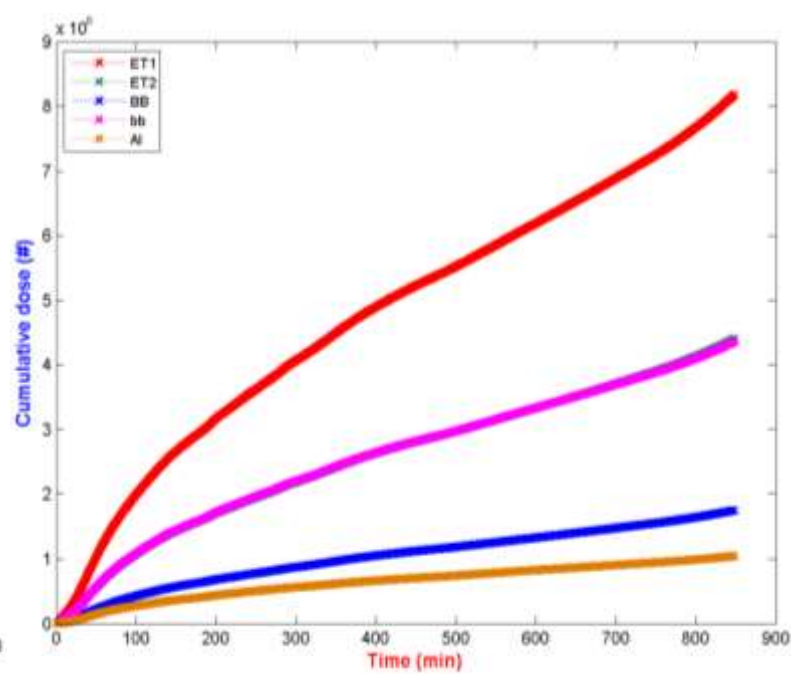
Σχήμα 53: Διαγράμματα δόσης (08/01/18).

26-02-18 πλήθος

Άνδρας



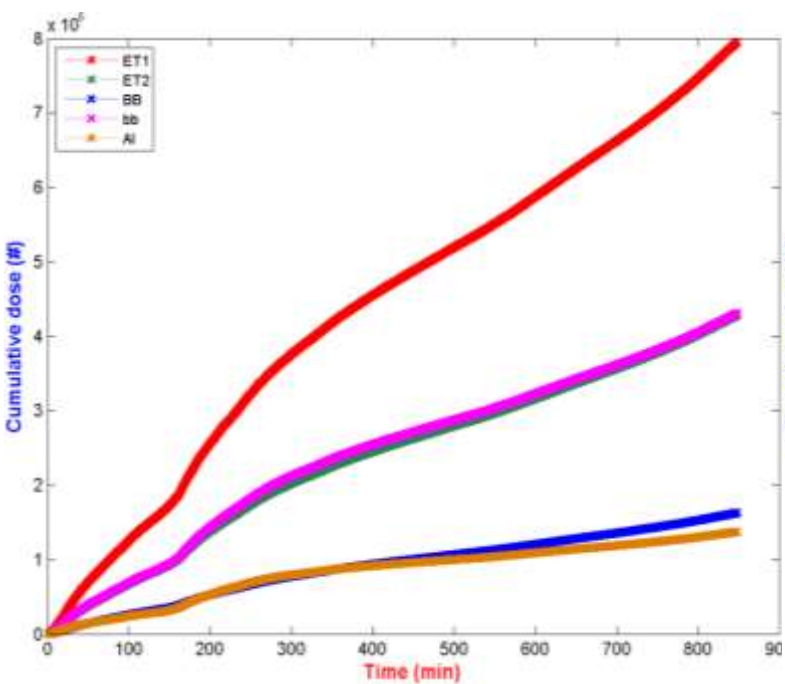
Γυναίκα



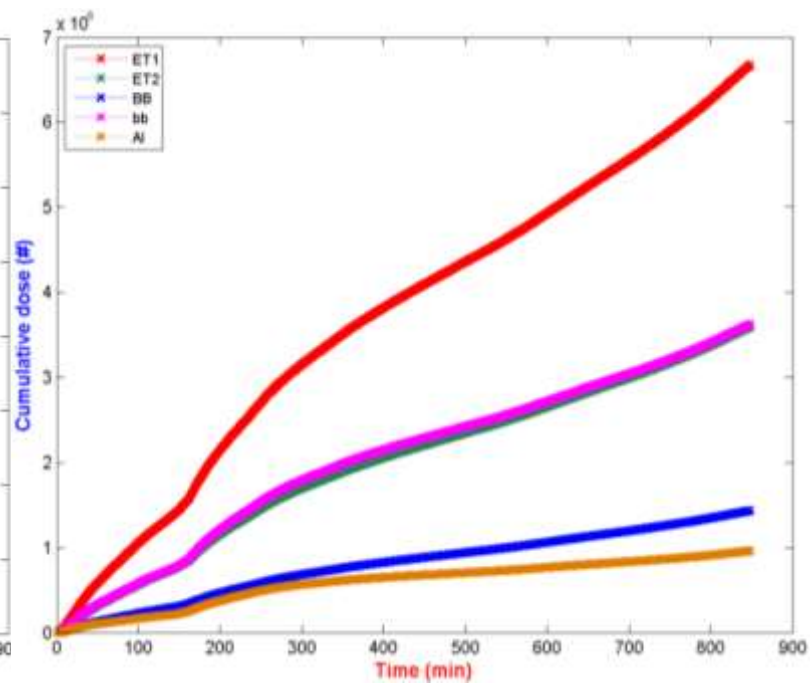
Σχήμα 54: Διαγράμματα δόσης (26/02/18 πλήθος).

27-02-18 πλήθος

Άνδρας



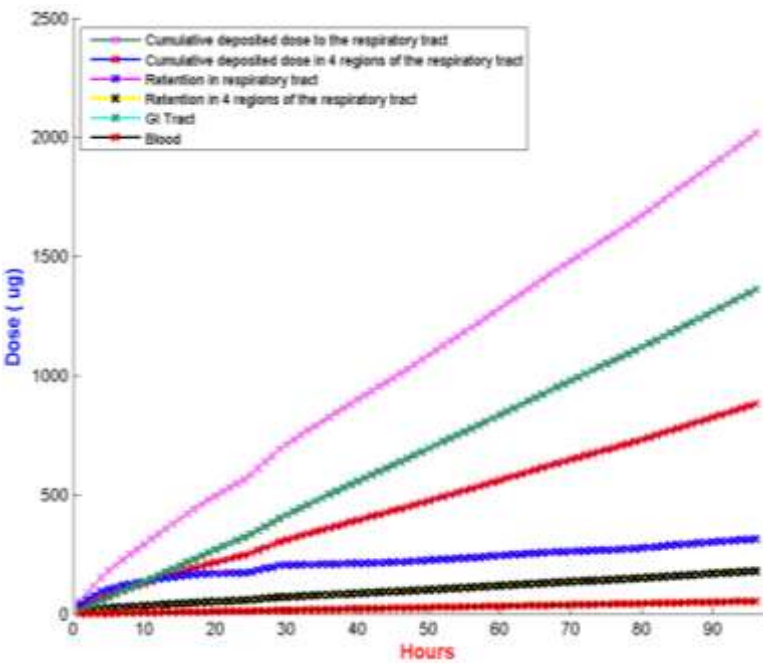
Γυναίκα



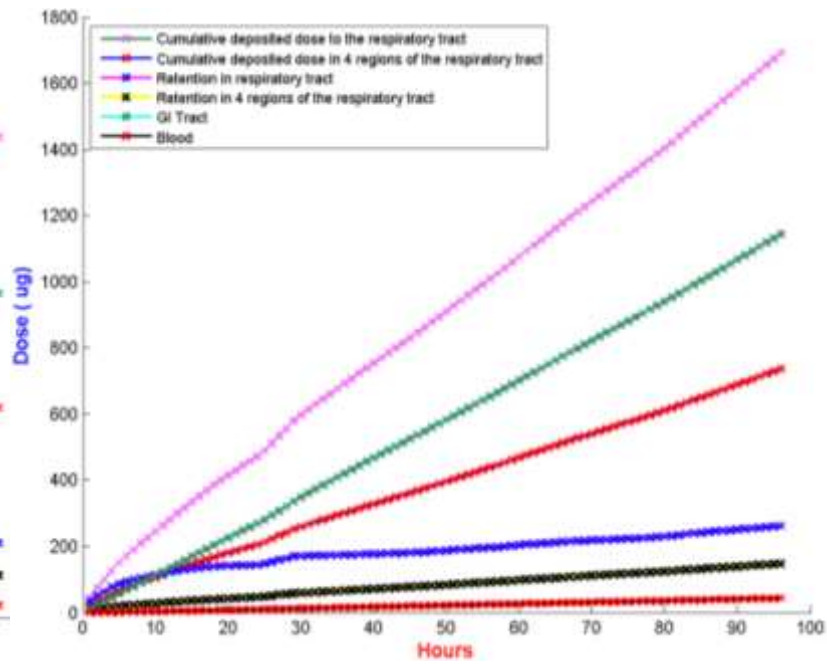
Σχήμα 55: Διαγράμματα δόσης (27/02/18 πλήθος).

12-03-18

Άνδρας



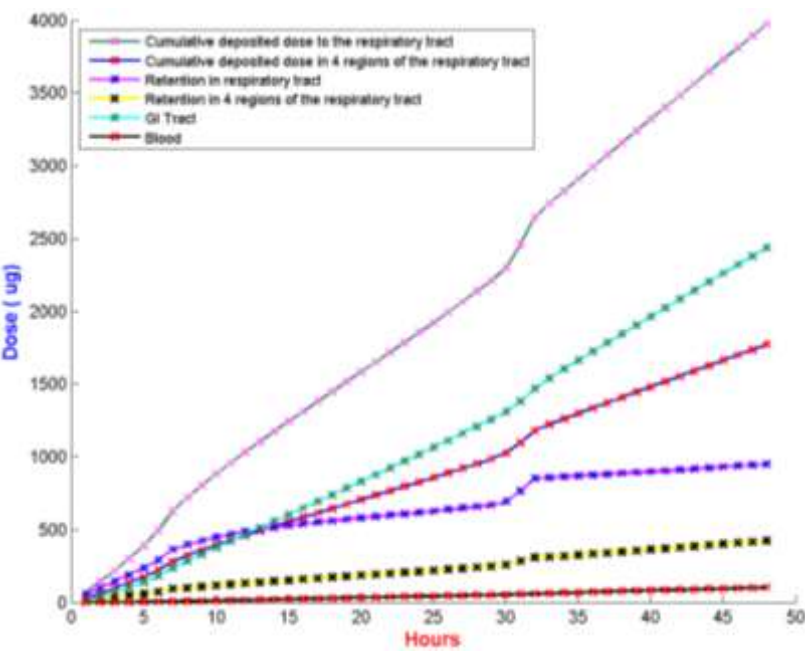
Γυναίκα



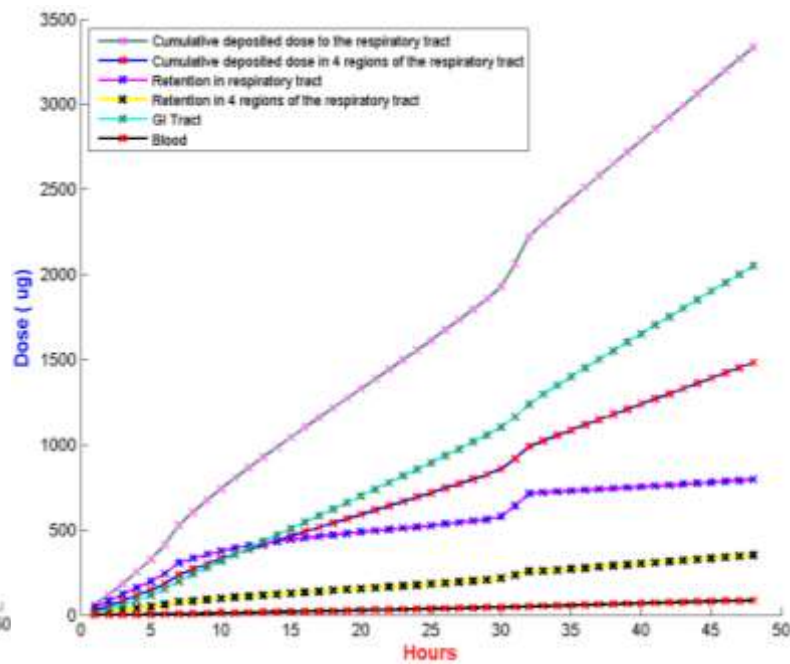
Σχήμα 56: Διαγράμματα δόσης (12/03/18).

25-04-18

Άνδρας



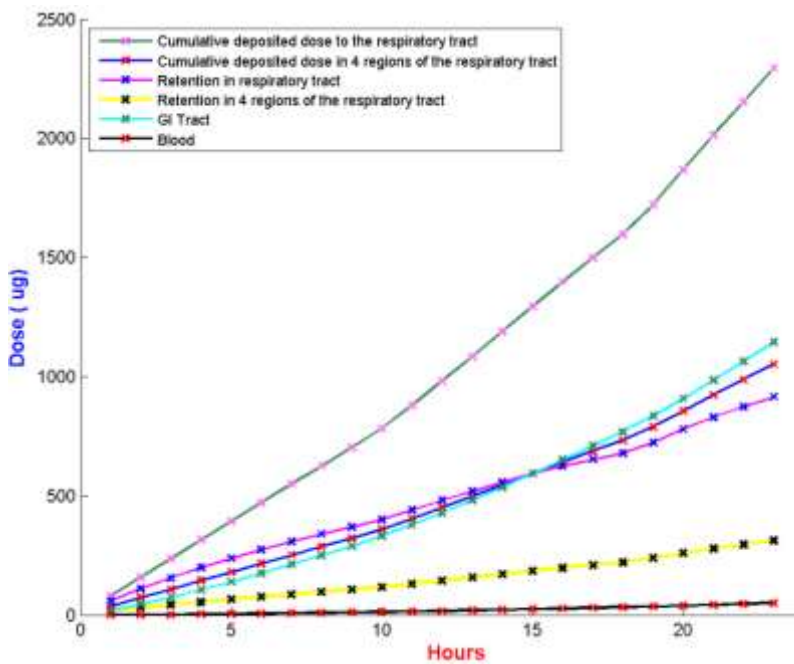
Γυναίκα



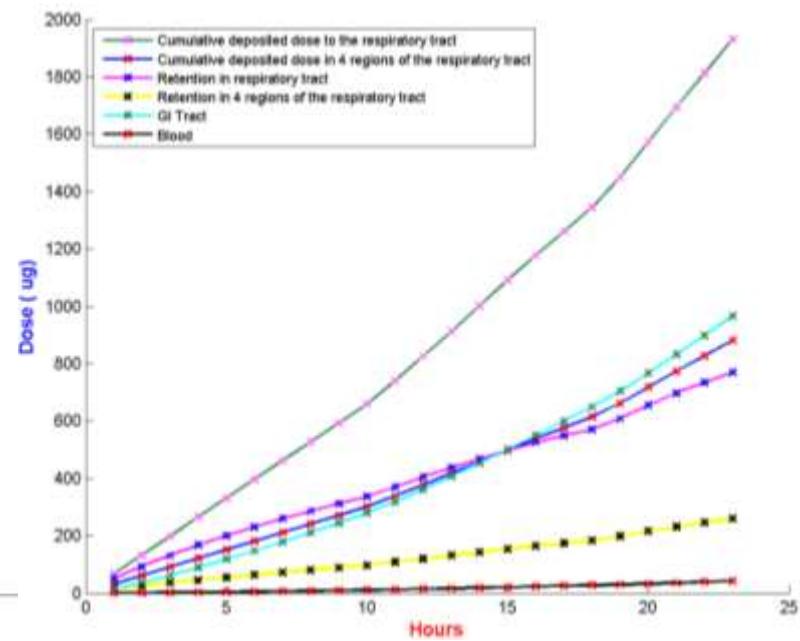
Σχήμα 57: Διαγράμματα δόσης (25/04/18).

09-05-18 εξωτερική

Άνδρας



Γυναίκα



Σχήμα 58: Διαγράμματα δόσης (09/05/18 εξωτερική).

Βιβλιογραφία

- Brauer, M., Koutrakis, P., Keeler, G. J., & Spengler, J. D. (1991). Indoor and outdoor concentrations of inorganic acidic aerosols and gases. *Journal of the Air and Waste Management Association*. <https://doi.org/10.1080/10473289.1991.10466834>
- Chalvatzaki, E., Aleksandropoulou, V., & Lazaridis, M. (2014). A case study of landfill workers exposure and dose to particulate matter-bound metals. *Water, Air, and Soil Pollution*. <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1782-z>
- Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., ... Speizer, F. E. Dockery.1993.NEJM.An association between air pollution and mortality in six U.S. cities.pdf, The New England journal of medicine § (1993). <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>
- Hinds, W. C. (1999). Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. *Journal of Aerosol Science*. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(83\)90049-6](https://doi.org/10.1016/0021-8502(83)90049-6)
- Medina, S., Plasencia, A., Ballester, F., Mücke, H. G., & Schwartz, J. (2004). Apheis: Public health impact of PM10 in 19 European cities. *Journal of Epidemiology and Community Health*. <https://doi.org/10.1136/jech.2003.016386>
- Morawska, L. (2006). Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? In *Indoor Air*. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x>
- Morawska, L., & Salthammer, T. (2006). *Indoor environment: Airborne particles and settled dust. Indoor Environment: Airborne Particles and Settled Dust*. <https://doi.org/10.1002/9783527610013>
- Oberdorster, G., Ferin, J., Finkelstein, J., Baggs, R., Stavert, D. M., & Lehnert, B. E. (1992). Potential health Hazards from thermal degradation events: Particulate vs. gas phase effects. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/921388>
- Otero, V., Campos, M. F., Pinto, J. V., Vilarigues, M., Carlyle, L., & Melo, M. J. (2017). Barium, zinc and strontium yellows in late 19th-early 20th century oil paintings. *Heritage Science*. <https://doi.org/10.1186/s40494-017-0160-3>
- PAPINENI, R. S., & ROSENTHAL, F. S. (1997). The Size Distribution of Droplets in the Exhaled Breath of Healthy Human Subjects. *Journal of Aerosol Medicine*. <https://doi.org/10.1089/jam.1997.10.105>
- Pope, C. A. (2000). Invited commentary: Particulate matter-mortality exposure-response relations and threshold. *American Journal of Epidemiology*. <https://doi.org/10.1093/aje/152.5.407>
- Pope, C. A. (2007). Mortality from copper smelter emissions: Pope responds [2]. *Environmental Health Perspectives*. <https://doi.org/10.1289/ehp.10441R>
- Ren, C., Williams, G. M., Morawska, L., Mengersen, K., & Tong, S. (2008). Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: Analysis of the NMMAPS data. *Occupational and Environmental Medicine*. <https://doi.org/10.1136/oem.2007.033878>
- Stöber, W., Morrow, P. E., & Oberdörster, G. (1995). Pulmonary retention of inhaled anatase (tio₂) aerosols and lung tumor induction in rats simulated by a physiology-oriented

model. *Inhalation Toxicology*. <https://doi.org/10.3109/08958379509002567>

Stöber, W., Morrow, P. E., & Oberdörster, G. (1995). Pulmonary retention of inhaled anatase (tio₂) aerosols and lung tumor induction in rats simulated by a physiology-oriented model. *Inhalation Toxicology*. <https://doi.org/10.3109/08958379509002567>

Ristovski, Z. D., Morawska, L., Hitchins, J., Thomas, S., Greenaway, C., & Gilbert, D. (2000). Particle emissions from compressed natural gas engines. *Journal of Aerosol Science*. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(99\)00530-3](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(99)00530-3)