ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΟΣΗΣ ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΧΕΙΡΟΔΙΑΛΟΓΗΣ ΤΟΥ ΧΥΤΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΜΑΡΚΟΥ-ΝΙΚΑΝΔΡΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ-ΜΗΝΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δρ. ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
Δρ. ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
Δρ. ΓΛΥΤΣΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΧΑΝΙΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2012

Στα παιδιά που κάποτε ονειρεύονταν και τώρα άφησαν
εμάς να ονειρευόμαστε για εκείνα

Φάνη, Καλέτια, Τάσο, Κατερίνα, Γιώργο

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή και Πρόεδρο του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης, Δρ. Μιχάλη Λαζαρίδη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Λαζαρίδη για την άριστη συνεργασία καθώς και για την υπομονή που επέδειξε στις δυσκολίες που ανέκυπταν.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Γλυτσό Θεόδωρο και τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Κοπανάκη Ηλία για την καθοδήγηση και τον πολύτιμο χρόνο τους που αφιέρωσαν για τις ανάγκες εκπόνησης της εργασίας.

Δε θα έπρεπε να παραλείψω να ευχαριστήσω τον κ. Κώστα Πατεράκη Διευθυντή του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) – Αναπληρωτή Γενικό Διευθυντή της ΔΕΔΙΣΑ Α.Ε. (ΟΤΑ), τον κ. Παναγιώτη Χαζιράκη υπεύθυνο κομποστοποίησης του ΕΜΑΚ, την κ. Χριστίνα Τσαμουτσόγλου υπεύθυνη του βιολογικού καθαρισμού του ΧΥΤΑ και του χημείου του ΕΜΑΚ, τον κ. Σάκη Σιτάρη καθώς και τους κ. Βεργόπουλο Νίκο και Δίκα Γιάννη, βοηθούς του χημικού εργαστηρίου του ΕΜΑΚ, των οποίων η συνδρομή στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική.

Τέλος να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τους συμφοιτητές μου και τους συνάδελφους Εθελοντές Σαμαρείτες για τη στήριξη που μου παρείχαν κατά το σύνολο της διάρκειας των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι αφενός να μελετηθεί η διακύμανση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων μεγέθους PM_{10} που παρατηρείται στην αίθουσα χειροδιαλογής του ΕΜΑΚ στη θέση Κουρουπητός Χανίων, και αφετέρου η εφαρμογή ενός κατάλληλου μοντέλου για τον υπολογισμό της συσσώρευσης των αιωρούμενων σωματιδίων που προέρχονται από την εργασία εντός της εν λόγω αίθουσας, στο αναπνευστικό σύστημα των εργαζομένων της εταιρείας ΔΕΔΙΣΑ Α.Ε.

Διαπιστώθηκε πως οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} για την πρωινή βάρδια του εργοστασίου, η οποία αποτελεί την πρώτη από τις συνολικά δύο, ήταν μεγαλύτερες από ότι για την απογευματινή. Συγκεκριμένα η τιμή της διαμέσου των συγκεντρώσεων για την πρωινή βάρδια υπολογίστηκε στα 295 ± 160 μg/m^3 και για την απογευματινή στα 222 ± 128 μg/m^3.

Επιπλέον υπολογίστηκε η δόση στις περιοχές του αναπνευστικού κατά την παραμονή στους χώρους της χειροδιαλογής όσο λειτουργούν οι ταινίες μεταφοράς υλικών. Τη μεγαλύτερη επιβάρυνση τη δέχεται η στοματοφαρυγγική περιοχή με 34,29% της συνολικής δόσης να καταλήγει σε αυτήν και τη λιγότερη η τραχειοβρογχική περιοχή με 2,52% αντίστοιχα.

Ενώ τέλος, βρέθηκε πως η επί τοις εκατό αύξηση της δόσης σε έναν εργαζόμενο της πρώτης βάρδιας και σε έναν της δεύτερης, είναι 204% και 123% αντίστοιχα σε σχέση ένα άτομο που εκτίθεται στις συγκεντρώσεις υποβάθρου.

Η δομή της εργασίας αποτελείται αρχικά από ορισμένα θεωρητικά κεφάλαια που προσφέρουν πληροφορίες σχετικές με τις ιδιότητες, τη μέτρησή και το νομοθετικό πλαίσιο γύρω από τα αιωρούμενα σωματίδια. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων όπου σχολιάζονται τα αποτελέσματα και πραγματοποιείται η ολοκλήρωση της μελέτης με την παράθεση των συμπερασμάτων.

ABSTRACT

The aim of the present study are a) Measure and evaluate the PM_{10} concentration in the hand-sorted hall of the Mechanical Recycling and Composting Plant of DEDISA S.A. in Chania, Crete and b)_the use of a suitable model in order for the accumulation of PM_{10} in the breathing system of the employees during working hours to be calculated.

The measurements showed that the concentration of PM_{10} for the morning shift, the first out of a total of two shifts, was higher than the concentration for the second

one. Specifically the calculated median concentration for the morning shift was 295±160 μg/m^3 and the median for the evening shift was 222±128 μg/m^3.

Furthermore, the regions of the respiratory tract being mostly strained during the operation of the facility were identified. The oropharyngeal region presented the higher particle deposition by receiving the 34,29% of the total dose and on the contrary the tracheobronchial region was receiving the 2,52% of the total dose during the presence of a male employee at the measurements area.

The results from the dose calculations showed that the dose of an employer working for the first shift and the corresponding dose of an employer working for the second shift, are by 204% and 123% higher than the dose being received by a male person exposed to the background concentration.

The structure of this project is divided in two main parts. The first part consists of chapters about the theoretical background of airborne particles (properties, ways of measurement and regulation). In the second and final part is cited the data processing with comments on the results and then the project is being completed with the citation of conclusions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 3
ABSTRACT 3
1 Αιωρούμενα Σωματίδια 7
1.1 Γενικά 7
1.2 Κατανομή ως προς το σχήμα και το μέγεθος 7
1.3 PM_{10} 9
1.4 Πηγές σε εσωτερικούς χώρους 11
2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ 14
2.1 Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων 14
2.2 Αεροδυναμική διάμετρος 14
2.3 Χημικές ιδιότητες 15
2.4 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου 16
2.5 Επιπτώσεις στο περιβάλλον 18
3 Μέθοδοι μέτρησης της συγκέντρωσης 20
3.1 Εισαγωγή 20
3.2 Σταθμική μέτρηση 20
3.3 Οπτικές μέθοδοι 21
4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ 30
4.1 Γενικά 30
4.2 Πρότυπα όρια για βιομηχανικούς χώρους 30
4.3 Άλλα πρότυπα 31
5 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΟΣΗΣ ExDoM 33
5.1 Γενικά 33
5.2 Περιγραφή του μοντέλου ExDoM 34
6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 37
6.1 Πεδίο δειγματοληψίας 37
6.2 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν 38
6.3 Διαδικασία δειγματοληψίας 42
7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 44
7.1 Εισαγωγή 44
7.2 Ανάλυση Πειραματικών Δεδομένων 44
7.3 Εφαρμογή του μοντέλου ExDoM 56
7.4 Αποτελέσματα 63

8 ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 72

1 Αιωρούμενα Σωματίδια

1.1 Γενικά

Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) (Particulate Matter - PM) ή *Αεροζόλ* (Aerosols) ή *αεροκολλοειδή συστήματα* ή *συστήματα διασποράς* είναι κάποιοι από τους όρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ένα μίγμα στερεών σωματιδίων και υγρών σωματιδίων που βρίσκονται στον αέρα. Παρόμοιος ορισμός δίνεται από τους Baron και Willeke στο βιβλίο "Aerosol Fundamentals" όπου απλά προστίθεται το γεγονός ότι θα πρέπει τα σωματίδια αυτά να έχουν τη δυνατότητα να διατηρούνται αρκετό χρονικό διάστημα στο μέσο μεταφοράς τους που είναι ο αέρας ούτως ώστε να γίνει η παρατήρησή και η μέτρησή τους. Ένας πιο σύνθετος ορισμός για τα PM είναι ότι αποτελούν συστήματα δύο φάσεων τα οποία περιλαμβάνουν σωματίδια καθώς και το αέριο μέσο στο οποίο αυτά βρίσκονται.

Έχουν μέγεθος από περίπου 2 nm έως μερικές εκατοντάδες μm και συνήθως διατηρούν τη μορφή τους για μερικά δευτερόλεπτα. Τέτοια σωματίδια μπορεί να είναι πολλών ειδών όπως: επαναιωρούμενα σωματίδια του εδάφους, καπνός από την παραγωγή ενέργειας, φωτοχημικώς σχηματιζόμενα σωματίδια, μόρια αλατιού προερχόμενα από σταγονίδια της θάλασσας και σταγόνες νερού ή σωματίδια πάγου που βρίσκονται στα σύννεφα. Μερικά από τα φαινόμενα που προκαλούν στο περιβάλλον είναι σύννεφα σκόνης, καπνός, ομίχλη και νέφη αιθαλομίχλης ενώ προκαλούν και προβλήματα υγείας στον άνθρωπο όταν αυτός βρεθεί σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση PM (James, 1995; Hinds, 1999;Baron & Willeke, 2005).

1.2 Κατανομή ως προς το σχήμα και το μέγεθος

Τα τεχνητώς και φυσικώς παραγόμενα ΑΣ που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και στο βιομηχανικό περιβάλλον ενδέχεται να έχουν μεγάλη διαφοροποίηση ως προς το σχήμα και το μέγεθος. Η ποικιλία στη μορφή των μικρών αυτών σωματιδίων μπορεί να περιλαμβάνει ιδανικά σχήματα όπως η σφαίρα (σταγονίδια νερού ή λαδιού) ή ο κύλινδρος (ίνες γυαλιού). Παρόλαυτα περιλαμβάνει και σωματίδια με περισσότερο σύνθετα σχήματα όπως κρυσταλλικά σωματίδια τα οποία μπορεί να έχουν ορισμένες συνήθεις και ορισμένες σπασμένες επιφάνειες, ίνες αμιάντου που είναι συχνά δέσμη μικρότερων ινιδίων αλλά μπορούν να είναι και περιπλεγμένες μάζες ινιδίων ή σωματίδια αιθάλης τα οποία αποτελούνται συχνά από ένα εκτεταμένο πλαίσιο εξαιρετικά μικρών σφαιριδίων (Baron & Willeke, 2005).

Γενικά το σχήμα σχετίζεται με τις διαδικασίες δημιουργίας ή προέλευσης των σωματιδίων. Τα σωματίδια που προέκυψαν από συσσωμάτωση μικρότερων στερεών

σωμάτων, είναι συνήθως ακανόνιστα και εμφανίζουν χαρακτηριστικά των fractal[1]. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων σωματιδίων είναι σωματίδια που δημιουργούνται από διαδικασίες καύσης όπως οι εκπομπές των οχημάτων και αποτελούν συσσωματώματα ανθρακωδών σφαιρικών σωματιδίων, ή από το κάπνισμα ενός τσιγάρου. Από την άλλη τα υγρά σωματίδια είναι συνήθως σφαιρικά (Morawska & Salthammer, 2003).

Το μέγεθος των σωματιδίων είναι ίσως η πιο θεμελιώδης παράμετρος περιγραφής των αεροζόλ. Για το χαρακτηρισμό των διαστάσεων των σφαιρικών σταγονιδίων μια μοναδική παράμετρος όπως η διάμετρος είναι επαρκής. Με τις ίνες επαρκούν δύο διαστάσεις παρά το ότι για λιγότερο συνήθη σχήματα δύο διαστάσεις πολλές φορές δεν επαρκούν. Προφανώς για πιο σύνθετα σωματίδια χρειάζεται να διαλέξουμε ιδιότητες που έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα σε μια ουσιαστική μέτρηση.

Όσον αφορά τα σφαιρικά σωματίδια μοναδιαίας πυκνότητας, το μέγεθος τους μπορεί να χαρακτηριστεί απλά από τη γεωμετρική διάμετρο. Για σωματίδια αυθαίρετου σχήματος και πυκνότητας χρησιμοποιείται μια ισοδύναμη διάμετρος. Η *αεροδυναμική διάμετρος* ορίζεται ως η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου μοναδιαίας πυκνότητας και ίδιας ταχύτητας καθίζησης με το υπό μελέτη αντικείμενο. Ως μέγεθος είναι χρήσιμη για σωματίδια μεγαλύτερα των 0,5 μm περίπου. Τα μικρότερα σωματίδια από 0,5μm χαρακτηρίζονται από τη διάχυση Brown[2] και για την περιγραφή τους χρησιμοποιείται μια άλλη παράμετρος, η διάμετρος διάχυσης (το σωματίδιο μοναδιαίας πυκνότητας φέρει τον ίδιο βαθμό διάχυσης με το υπό μελέτη σωματίδιο). Η διάμετρος Stokes είναι αυτή ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει ίδια πυκνότητα και ταχύτητα καθίζησης με το υπό μελέτη σωματίδιο. Υπάρχει πλήθος άλλων ορισμών για την αντίστοιχη σωματιδιακή διάμετρο που χρησιμοποιείται στη μικροσκοπική μελέτη των ΑΣ.

Η επιλογή της κατάλληλης σωματιδιακής διαμέτρου εξαρτάται πρωτίστως από τον τύπο της μέτρησης που εκτελείται. Για παράδειγμα η αεροδυναμική διάμετρος χρησιμοποιείται για την ανάλυση δεδομένων από έναν κυκλώνα, από προσκρούστες διαχωρισμού σε σειρά (cascade impactor), ή από ένα κατανομέα μεγέθους αεροδυναμικών σωματιδίων. Η διάμετρος διάχυσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μια μέτρηση διάχυσης με επαφή (diffusion battery measurement) και η διάμετρος του Stokes για έναν αναλυτή διαφορικής κινητικότητας (Baron & Willeke, 2005).

Μια από τις πολλές κατηγοριοποιήσεις και ορολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό του εύρους μεγεθών για τα ΑΣ είναι αυτή που τα διαχωρίζει σε λεπτά (fine particles) και αδρά (coarse particles). Παρόλαυτα συχνά συναντούμε στη βιβλιογραφία το όριο αυτού του είδους του διαχωρισμού να είναι μεταξύ 1 και 2μm. Η λογική σε αυτό είναι ότι το συγκεκριμένο εύρος αποτελεί ένα φυσικό διαχωρισμό μεταξύ μικρότερων σωματιδίων προερχόμενων κυρίως από καύσεις και άλλες

---

[1] Τα χαρακτηριστικά των fractal είναι οι ιδιότητες που εμφανίζουν τα αντικείμενα fractal. Αυτά είναι αντικείμενα για τα οποία η Ευκλείδεια γεωμετρία δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητική περιγραφή. Το κενό αυτό έρχεται να το καλύψει η θεωρία των fractals σύμφωνα με την οποία ένα αντικείμενο παρουσιάζει ομοιότητες με τον εαυτό του (self-similarity) κάτω από διαφορετικές μεγεθύνσεις. (Paul S. Addison, Fractals and Chaos, 1997).

[2] Η κίνηση Brown για πλήθος σωματιδίων που αλληλεπιδρούν (Knight, 1981)

διεργασίες που παράγουν αέρια, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν στην παραγωγή σωματιδίων, και μεγαλύτερων σωματιδίων που προέρχονται από μηχανικές διεργασίες. Προφανώς αυτός ο διαχωρισμός αποτελεί καθαρά μια διαιτήτευση καθώς η Φύση μόνη της δεν παρέχει ένα σαφή διαχωρισμό. Η ορολογία που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό των προτύπων τόσο στην ατμοσφαιρική ποιότητα του αέρα όσο και στο χαρακτηρισμό των συγκεντρώσεων σωματιδιακής μάζας σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, περιλαμβάνει τα αποκαλούμενα κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_{10}. Το κλάσμα $PM_{2.5}$ (ή λεπτά σωματίδια) αποτελεί τη συγκέντρωση μάζας σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2.5μm, ενώ το κλάσμα PM_{10} αποτελεί την αντίστοιχη συγκέντρωση για σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10μm. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται η ακόλουθη κατηγοριοποίηση:

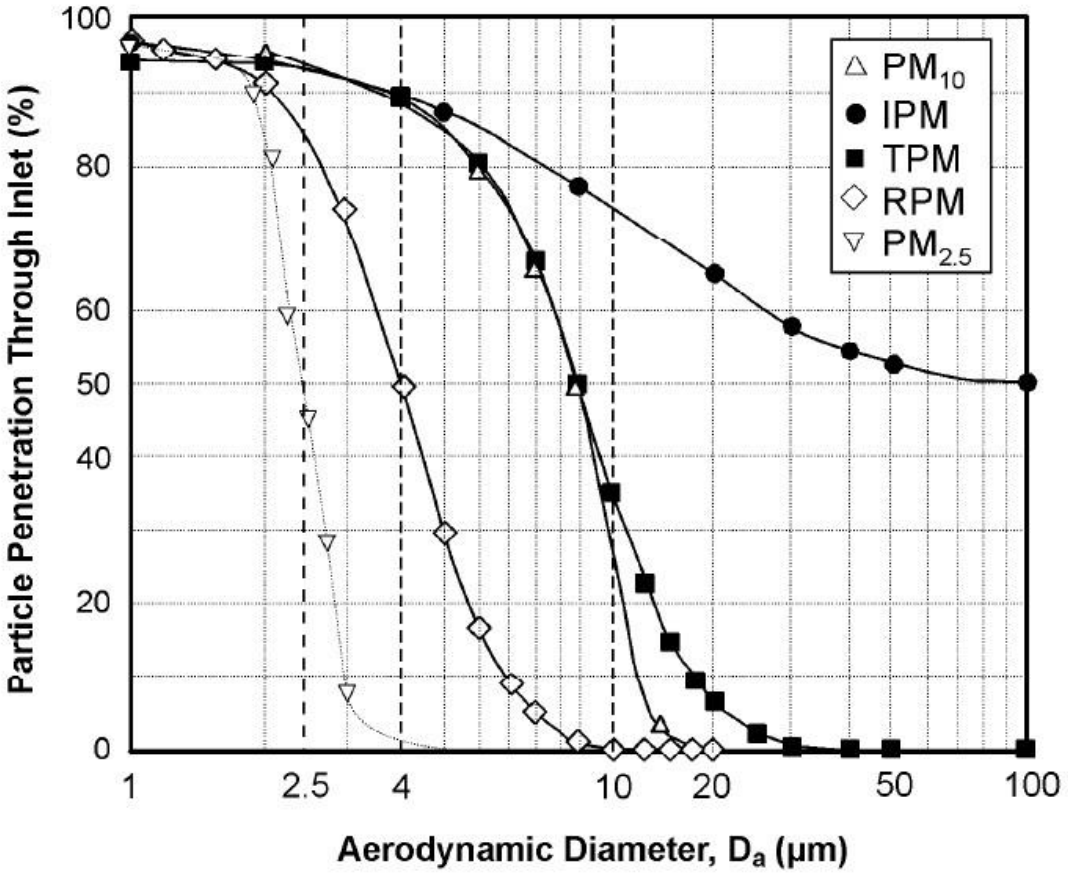
- **Αδρά σωματίδια**: Σωματίδια μεγαλύτερα από 2.5μm
- **Λεπτά σωματίδια:** Σωματίδια μικρότερα από 2.5μm
- **Υπέρ-λεπτά σωματίδια**: Σωματίδια μικρότερα από 0.1μm

(Morawska & Salthammer, 2003)

1.3 PM_{10}

Το κλάσμα *PM_{10}* είναι ένα κλάσμα ΑΣ στο οποίο εντοπίζονται αυτά τα σωματίδια τα οποία έχουν τη δυνατότητα να εισχωρήσουν στη θωρακική περιοχή του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος (Vincent, 1981; Proctor κ.ά., 2004). Τα PM_{10}, όπως ορίζονται από την Environmental Protection Agency (EPA), αναφέρονται στα σωματίδια που συλλέγονται από δειγματολήπτες με ένα ανώτερο σημείο διαχωρισμού των 10μm. Οι μετρητές που καταγράφουν σωματίδια αυτού του μεγέθους βασίζουν τη δειγματοληψία τους στην αεροδυναμική διάμετρο και μια σχετικά απότομη καμπύλη εισχώρησης.

Η κοινότητα της εργασιακής υγείας έχει ορίσει τα κλάσματα μεγέθους των σωματιδίων σε όρους εισόδου τους σε διάφορα διαμερίσματα του αναπνευστικού συστήματος. Αυτή η σύμβαση κατηγοριοποιεί τα σωματίδια σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα σωματίδια σύμφωνα με το άνω όριο μεγέθους τους (upper size cut). Τα εισπνεύσιμα σωματίδια (IPM) εισέρχονται στον αναπνευστικό σωλήνα ξεκινώντας με τους αεραγωγούς της κεφαλής. Τα θωρακικά σωματίδια (TPM) προχωρούν δια μέσω του λάρυγγα και φθάνουν στους πνευμονικούς αεραγωγούς και την περιοχή ανταλλαγής αερίων του πνεύμονα. Τα αναπνεύσιμα σωματίδια (RPM) αποτελούν ένα υποσύνολο των θωρακικών που έχει περισσότερες πιθανότητες να φθάσει την περιοχή ανταλλαγής αερίων του πνεύμονα. Οι καμπύλες που ορίζουν τα IPM, TPM και RPM φαίνονται στο διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1 Καθορισμένη σωματιδιακή διείσδυση (size-cut curves) μέσω ιδανικής εισόδου με βάση πέντε διαφορετικά κριτήρια δειγματοληψίας αναφορικά με το μέγεθος. Στις καμπύλες σωματιδιακής διείσδυσης τα εισπνεύσιμα ΑΣ (IPM), θωρακικά ΑΣ (TPM) και αναπνεύσιμα ΑΣ (RPM) είναι σύμφωνα με τους ορισμούς του American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (1994) (EPA, 2004).

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα PM_{10} είναι ένας καλός δείκτης για τα θωρακικά σωματίδια (TPM). Καθώς φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα οι καμπύλες για τις δύο αυτές παράμετρους έχουν το ίδιο σημείο αποκοπής (cut point) για το 50% του κλάσματος. Αυτό μεταφράζεται ως σημείο συλλογής του 50% των σωματιδίων κάτω ή εντός ενός αεροδυναμικού εύρους μεγέθους. Παρόλαυτα η καμπύλη για το θωρακικό κλάσμα δεν έχει την ίδια απότομη κλίση με αυτήν για το κλάσμα των PM_{10} και επομένως το πρώτο περιέχει κάποια σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 10 και 30μm που εξαιρούνται από το δεύτερο.

Η επιλογή των PM_{10} ως δείκτη βασίστηκε σε λόγους που αφορούν την υγεία και είχε σκοπό την στροφή του επιστημονικού ενδιαφέροντος σε αυτά τα σωματίδια που είναι αρκετά μικρά ώστε να φθάσουν στη θωρακική περιοχή του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος. Ο ορισμός των PM_{10} ως δείκτη για τα θωρακικά σωματίδια είναι ένας συμβιβασμός που έγινε μεταξύ της επιθυμίας για συλλογή όλων των σωματιδίων που μπορεί να μπουν στη θωρακική περιοχή και της ανάγκης για σχεδίαση ενός οργάνου του οποίου η δειγματοληψία να είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του σωματιδίου ή την ταχύτητα του αέρα. Το πλεονέκτημα που ανακύπτει από τη διαφορά που παρατηρήθηκε παραπάνω μεταξύ των 2 καμπυλών είναι ο

περιορισμός του προβλήματος της πεπερασμένης απόδοσης συλλογής όπως αυτή καθορίζεται από την καμπύλη για τη θωρακική διείσδυση για σωματίδια μεγαλύτερα από την αεροδυναμική διάμετρο των 10μm (EPA, 2004).

Τα PM_{10} αποτελούν κίνδυνο υγείας εφόσον εισπνευστούν και εναποτεθούν στους ανθρώπινους πνεύμονες. Μειώνοντας τις συγκεντρώσεις τους έχει φανεί ότι υπάρχει η δυνατότητα να αποκομιστούν οφέλη για την υγεία των εργαζόμενων (Chau κ.ά., 2006). Περεταίρω πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις των PM_{10} στην υγεία του ανθρώπου αλλά και στο περιβάλλον θα αναφερθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

1.4 Πηγές σε εσωτερικούς χώρους

Στους εσωτερικούς χώρους τα ΑΣ έχουν ιδιαίτερη σημασία για τους ενοίκους αυτών. Συνήθως τα ΑΣ στους εσωτερικούς χώρους προέρχονται από ατμοσφαιρικά σωματίδια τα οποία εισχωρούν στο εσωτερικό των κτιρίων και παραμένουν αιωρούμενα μέσα στον αέρα, από σωματίδια που εκπέμπονται στο εσωτερικό των κτιρίων, ενώ έχει παρατηρηθεί και η δημιουργία ΑΣ μέσω χημικών αντιδράσεων αέριων ενώσεων που προϋπάρχουν στους εσωτερικούς χώρους. Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους οικιών μπορούν να θεωρηθούν πολλές καθημερινές δραστηριότητες, όπως το κάπνισμα, το μαγείρεμα, οι σόμπες αερίου, το σκούπισμα ή το πλύσιμο των πιάτων. (Morawska & Salthammer, 2003; Qing κ.ά. 2005). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται πηγές αιωρούμενων σωματιδίων τόσο σε εσωτερικούς χώρους όσο και σε εξωτερικούς οι οποίες διαχωρίζονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

Πίνακας 1 Πηγές Αιωρούμενων Σωματιδίων (Morawska & Salthammer, 2003).

Φυσικές Εξωτερικές Πηγές	**Πηγές Εσωτερικών Χώρων**
• Υπολείμματα εδάφους και πετρωμάτων • Δασικές πυρκαγιές (συνδυασμός καπνού και σκόνης) • Θαλασσινό αλάτι • Ηφαιστειακά κατάλοιπα (σκόνη και καπνός που εκτοξεύονται ψηλά στην ατμόσφαιρα) • Σωματίδια που σχηματίζονται από αέριες εκπομπές του H_2S, NH_3, NO_X, και HC • **Ανθρωπογενείς Εξωτερικές Πηγές** • Καύσεις υγρών καυσίμων και βιομηχανικές διεργασίες • Διαφεύγουσες εκπομπές της βιομηχανίας (διάβρωση αποθηκευτικών δοχείων, χωματόδρομοι, χρήση εργαλείων και μηχανημάτων) • Μη βιομηχανικές διαφεύγουσες εκπομπές (παρασυρόμενη σκόνη από δρόμους, γεωργικές εργασίες και κατασκευές) • Μεταφορές	• Χρήστες των κτιρίων (δέρμα, μαλλιά κ.ά.) • Φυτά και κατοικίδια • Μαγείρεμα • Δομικά υλικά, ειδικά ίνες ορυκτών υλικών • Κάπνισμα • Άλλες καύσεις • Υλικά συντήρησης • Λοιπές Δραστηριότητες (καθάρισμα, χειροτεχνίες κλπ.)

Σημαντικά επίσης είναι και τα ΑΣ που απελευθερώνονται στο εργασιακό περιβάλλον με αποτέλεσμα να τα εισπνέουν οι εργαζόμενοι. Το ενδιαφέρον εντοπίζεται στο ότι μεγάλος αριθμός ανθρώπων εργάζεται είτε σε γραφεία, είτε σε εργοστάσια, είτε στους αγρούς με αποτέλεσμα να δέχονται την επίδραση των ΑΣ στον οργανισμό τους. Εξαρτώμενα από τοπικούς παράγοντες όπως η διαρρύθμιση του εργασιακού χώρου, οι διεργασίες που συντελούνται και ο εξαερισμός, τα

σωματίδια στα οποία εκτίθενται οι εργαζόμενοι ενδέχεται να είναι πολύ πρόσφατα εκπεμπόμενα, συνηθέστερα όχι πάνω από μερικά λεπτά της ώρας (Abt κ.ά., 2000, James κ.ά., 2000)

Τέλος, ένα ξεχωριστό πεδίο μελέτης αποτελούν τα βιομηχανικά αεροζόλ τα οποία καθορίζονται από τον τύπο της βιομηχανίας, τις διεργασίες που συντελούνται σε αυτήν και τη φύση του προϊόντος. Στο εσωτερικό μιας βιομηχανίας αεροζόλ παράγονται κατά τις δραστηριότητες επεξεργασίας. Για παράδειγμα η συγκόλληση παράγει αναθυμιάσεις, αλυσίδες συσσωμάτωσης πολύ λεπτών σωματιδίων. Μηχανικές διεργασίες όπως το τρόχισμα ή το φινίρισμα μιας επιφάνειας παράγουν αδρά σωματίδια. Ακόμη η ρύπανση από ΑΣ μπορεί να οφείλεται και σε αστοχία υλικών ή κατασκευών που προορίζονται να προστατεύουν από αυτά τους εργαζόμενους καθώς και τους χώρους που αυτοί κινούνται (Baron & Willeke, 2005; SCENIHR, 2006).

2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

2.1 Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων

Η πιο συχνά μετρούμενη ιδιότητα ΑΣ και η πιο σημαντική για το περιβάλλον είναι η συγκέντρωση μάζας. Το ενδιαφέρον στη μέτρηση των ΑΣ ενισχύεται από την πρακτική ανάγκη να συνδεθεί η έκθεση των ανθρώπων (λ.χ. στο χώρο εργασίας τους) με εν δυνάμει βλαβερά σωματίδια, να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια οι πληροφορίες που αποκτιούνται για τη συσχέτιση του ρίσκου με την υγεία και να δημιουργηθεί μια βάση για τον καθορισμό και τη διατήρηση κάποιων πρότυπων τιμών. Για τα ΑΣ στους χώρους εργασίας η συγκέντρωση συνήθως εκφράζεται σε όρους σωματιδιακής μάζας ανά μονάδα όγκου αέρα, συνηθέστερα σε χιλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (mg/m^3), σε αντίθεση με το ατμοσφαιρικό αεροζόλ του οποίου η συγκέντρωση τείνει να είναι μερικές τάξεις χαμηλότερα και συνεπώς να εκφράζεται σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα ($\mu g/m^3$).

Μια άλλη κοινή μέτρηση συγκέντρωσης είναι η *αριθμητική συγκέντρωση*, ο αριθμός των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου του αέρα (σωματίδια/m^3) η οποία χρησιμοποιείται για τα βιοαεροζόλ με τη μορφή αριθμού αποικιών ανά μονάδα όγκου του αέρα (cfu/m^3) και για τις ίνες. Ενώ μια παλαιότερη μονάδα μέτρησης είναι τα mppcf (million particles / ft^3).

Αντίθετα με τους ρύπους σε αέρια φάση, η αναλογία μάζας ή όγκου σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) δε χρησιμοποιείται για τα αεροζόλ καθώς σε αυτά εμπλέκονται δυο διαφορετικές φάσεις και οι συγκεντρώσεις των αεροζόλ αριθμητικά είναι πολύ χαμηλές όταν εκφράζονται με αυτόν τον τρόπο (James, 1995; Hinds, 1999).

2.2 Αεροδυναμική διάμετρος

Ευρεία εφαρμογή στην τεχνολογία των αεροζόλ βρίσκει η *ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος* d_a. Ορίζεται για ένα συγκεκριμένο σωματίδιο ως η διάμετρος του σφαιρικού σωματιδίου με πυκνότητα 1000kg/m^3 [1g/cm^3] (η πυκνότητα μιας σταγόνας νερού) που έχει την ίδια ταχύτητα καθίζησης με αυτό. Η αεροδυναμική διάμετρος κανονικοποιεί το σχήμα (σφαίρα) και την πυκνότητα (1000kg/m^3 [1g/cm^3]). Η εξίσωση που συνδέει την ταχύτητα καθίζησης με την αεροδυναμική διάμετρο είναι η εξής:

(2-1)

όπου V_{TS} η οριακή ταχύτητα καθίζησης (Terminal Settling Velocity) με μονάδες στο SI m/s, ρ_0 η πυκνότητα του πρότυπου σωματιδίου, 1000kg/m^3, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, 9,81m/s^2 και η το ιξώδες, Ns/m^2.

Η αεροδυναμική διάμετρος μπορεί να θεωρηθεί ως η διάμετρος μιας σταγόνας νερού που έχει τις ίδιες αεροδυναμικές ιδιότητες με το υπό μελέτη σωματίδιο. Αν ένα σωματίδιο έχει αεροδυναμική διάμετρο 1μm συμπεριφέρεται αεροδυναμικά σαν μια σταγόνα νερού 1 μm ανεξαρτήτως τους σχήματός του, της πυκνότητάς του ή του φυσικού του μεγέθους. Επιπλέον, δεν μπορεί να διαχωριστεί αεροδυναμικά από άλλα σωματίδια διαφορετικού μεγέθους, σχήματος και πυκνότητας που έχουν αεροδυναμική διάμετρο 1 μm.

Συνεπώς βλέπουμε ότι η αεροδυναμική διάμετρος ορίζεται με βάση την αεροδυναμική συμπεριφορά και όχι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σωματιδίου. Αποτελεί την παράμετρο κλειδί των σωματιδιακών ιδιοτήτων για το χαρακτηρισμό της διήθησης, της εναπόθεσης στο αναπνευστικό σύστημα και για τη λειτουργία πολλών τύπων αεροκαθαριστήρων, ενώ σε πολλές εφαρμογές δε χρειάζεται να γνωρίζουμε κάποια άλλη παράμετρο για το σωματίδιο πέραν της αεροδυναμικής του διαμέτρου (Hinds, 1999).

2.3 Χημικές ιδιότητες

Η χημική σύσταση των ΑΣ εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και βασίζονται τόσο σε πηγές όσο και σε διεργασίες κατόπιν του σχηματισμού τους. Για παράδειγμα ορισμένοι τύποι σωματιδίων όπως ο αμίαντος και ίνες γυαλιού, αποτελούνται από ανόργανα συστατικά, ενώ άλλοι τύποι όπως ίνες κυτταρίνης είναι καθαρά οργανικοί. Σε πολλές περιπτώσεις ιδιαίτερο ενδιαφέρον συναντάται στη συμπεριφορά τόσο των οργανικών, όσο και των μη οργανικών πλεγμάτων που σχετίζονται με το σωματιδιακό «σώμα» (προσρόφηση/εκρόφηση, υδατοδιαλυτότητα, εκχυλισιμότητα). Ο καθορισμός των χημικών ιδιοτήτων των ΑΣ εξαρτάται από:

- Τη στοιχειακή σύσταση
- Τα ανόργανα ιόντα
- Τις ανθρακικές χημικές ενώσεις (οργανικός και στοιχειακός άνθρακας)

Κάθε ένας από τους παραπάνω συντελεστές συνεισφέρει περίπου το 1/3 στη συνολική μάζα του αεροζόλ. Για να προσδιοριστεί η ακριβής ταυτότητα και επίπεδο της κάθε κατηγορίας, η δειγματοληψία μέσω μιας κατάλληλης μεθόδου (π.χ. με φίλτρα και απογυμνωτές) ακολουθείται συχνά από εκρόφηση ή εκχύλιση και ανάλυση σύνθεσης. Οι ακριβείς μέθοδοι εκρόφησης, εκχύλισης και ανάλυσης εξαρτώνται από τη φύση των υπό μελέτη σωματιδίων.

Γενικά, το ενδιαφέρον στη στοιχειακή σύσταση ανακύπτει από τις δυνητικές επιπτώσεις στην υγεία των βαρέων στοιχείων όπως ο μόλυβδος, το αρσενικό, ο υδράργυρος και το κάδμιο και από την πιθανότητα της χρήσης των στοιχείων ως ιχνηλάτες της πηγής των σωματιδίων. Υδατοδιαλυτά ιόντα όπως του καλίου, του νατρίου, τα φωσφορικά, τα θειώδη, τα αμμωνιακά και τα νιτρικά συνδέονται με το νερό στο εσωτερικό περιβάλλον και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την κατανομή των πηγών. Οι ανθρακικές ενώσεις αποτελούνται από οργανικό και στοιχειακό άνθρακα. Περιέχουν ένα μεγάλο εύρος ενώσεων όπως πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, εντομοκτόνα, φθαλίτες, επιβραδυντικά φωτιάς, καρβοξυλικά οξέα, κάποιες από τις οποίες είναι ιχνηλάτες συγκεκριμένων πηγών ενώ ο στοιχειακός άνθρακας ορίζεται και ως αιθάλη ή μαύρος άνθρακας (Morawska & Salthammer, 2003).

2.4 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου

Η σωματιδιακή ρύπανση του αέρα ήταν από τους πρώτους τύπους ρύπανσης που αποδείχτηκε πως έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία οδηγώντας σε σταθερή επιδείνωση της υγείας είτε μακροπρόθεσμα είτε βραχυπρόθεσμα ακόμη και σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Sousa κ.ά., 2012).. Η πληθώρα των στοιχείων από μεγάλο αριθμό επιδημιολογικών μελετών για βραχυχρόνια απόκριση κατέδειξαν πως μια αύξηση περίπου 10μg/m^3 στην ημερήσια μέση συγκέντρωση για ΑΣ με αεροδυναμική διάμετρο ≤10μm σχετίζεται με μια αύξηση 0,9% κατά προσέγγιση στην ημερήσια θνησιμότητα που σχετίζεται με το καρδιοαγγειακό σύστημα, 1,3% στην αντίστοιχη θνησιμότητα λόγω ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος και 0,6% στην ημερήσια θνησιμότητα όλων των αιτιών (WHO, 2006). Επιπλέον οι εισαγωγές στο νοσοκομείο και οι ιατρικές επισκέψεις αυξάνονται εξίσου σημαντικά για διάφορες αναπνευστικές παθήσεις και ως ένα βαθμό και για καρδιαγγειακά νοσήματα (WHO, 2006). Μια άλλη μελέτη του Ινστιτούτου για τα Συμπτώματα στην Υγεία των ΗΠΑ (HEI) με την επωνυμία National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study (NMMAPS) δείχνει μια αύξηση 0,5% στη συνολική θνησιμότητα χωρίς την επίδραση ατυχημάτων σε σχέση με μια αύξηση 10μg/m^3 στη μέση ημερήσια τιμή για τις 90 μεγαλύτερες πόλεις των ΗΠΑ. Το εύρος που κινήθηκε η ημερήσια μέση τιμή για τα PM_{10} ήταν από 15 έως 53 μg/m^3 (Lazaridis & Colbeck, 2010). Αυξημένη επικράτηση συμπτωμάτων που αφορούν το κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, άσθμα και βήχα σχετίζονται επίσης με τα PM_{10}. Επιπτώσεις όπως οι παραπάνω έχουν συσχετιστεί με επεισόδια αέριας ρύπανσης που αντιμετωπίζουν αστικοί πληθυσμοί τόσο σε αναπτυσσόμενες όσες και σε αναπτυγμένες χώρες. Εκτιμάται πως η έκθεση σε ΑΣ προκαλεί 800.000 θανάτους το χρόνο παγκοσμίως. Παιδιά, άτομα προχωρημένης ηλικίας και ασθενείς με ιστορικό καρδιοαναπνευστικών ασθενειών (συμπεριλαμβανομένου του άσθματος), αποτελούν τον πιο επιρρεπή πληθυσμό στις επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης (Sousa κ.ά., 2012).

Το αναπνευστικό σύστημα είναι η κύρια οδός πρόσληψης σωματιδίων. Η δομή και η λειτουργία του μαζί με τις φυσικές και αεροδυναμικές ιδιότητες των σωματιδίων καθορίζουν το πού και πώς τα σωματίδια θα εναποτεθούν και το εάν θα κρατηθούν ή αν θα απομακρυνθούν. Αλλαγές στον τρόπο αναπνοής, που σχετίζονται με τη διαδρομή και τα επίπεδα αερισμού, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το σημείο του αναπνευστικού συστήματος που θα πραγματοποιηθεί η εναπόθεση των εισπνεόμενων σωματιδίων.

Τα λεπτά σωματίδια καθώς και τα αδρά σωματίδια μικρού μεγέθους εναποτίθενται κυρίως στη θωρακική (τραχειοβρογχική και πνευμονική) περιοχή και τα μεγαλύτερα σωματίδια εναποτίθενται στη ρινοφαρυγγική περιοχή κατά τη διάρκεια της αναπνοής μέσω της μύτης. Η στοματορινική αναπνοή που συνδυάζεται με ρυθμούς αερισμού που υπερβαίνουν τα 0,35 l/min μπορούν να μεταβάλλουν σημαντικά τους τρόπους εναπόθεσης.

Βραχυπρόθεσμη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις σκόνης, όξινων και βασικών αεροζόλ έχει αναφερθεί πως προκαλεί στένωση των βρόγχων λόγω του ερεθισμού με χημική ή/και μηχανική διέγερση των νευρικών υποδοχέων που βρίσκονται στους βρόγχους. Ασθενείς που υποφέρουν από άσθμα ή εμφύσημα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο, καθώς αυξημένες συγκεντρώσεις ΑΣ μπορεί να οδηγήσουν σε κλιμακωτή επιδείνωση της στένωσης των βρόγχων (Maroni κ.ά., 1995).

Παρά το ότι η πλειοψηφία των επιδημιολογικών ερευνών έχει επικεντρωθεί στις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις της έκθεσης σε ΑΣ, ορισμένες μελέτες προτείνουν ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση μπορεί να είναι πιο σημαντική σε όρους δημόσιας υγείας (Lazaridis & Colbeck, 2010). Αναλύσεις δείχνουν ότι στις μελέτες χρονοσειρών δεν υπάρχει κάποια απόδειξη ότι οι θάνατοι ή η νοσηλεία στα νοσοκομεία έχει να κάνει με την έκθεση μερικών ημερών. Αντιθέτως, η ισχύς των αποτελεσμάτων αυξάνει με την αύξηση της διάρκειας της έκθεσης στην αέρια ρύπανση, προτείνοντας έτσι πως η σωρευτική έκθεση έχει ισχυρότερη επίδραση στη θνησιμότητα, από ότι η μεταβαλλόμενη από μέρα σε μέρα έκθεση (Brunekreef & Holgate, 2002). Υπάρχουν μελέτες που σχετίζουν μη θανατηφόρα ισχαιμικά περιστατικά με την αύξηση της συγκέντρωσης των λεπτών ΑΣ στην ατμόσφαιρα και την εκδήλωση ελαφρύτερων συνεπειών στην υγεία για μη αστικά περιβάλλοντα από ότι για αστικά (Miller κ.ά., 2007) ενώ υπάρχουν και στοιχεία από μακροχρόνια έρευνα της Αμερικάνικης Κοινότητας για τον Καρκίνο (American Cancer Society, ACS) σε περίπου 1,2 εκατομμύρια ενήλικες (Pope III κ.ά., 2002). Αυτή η μελέτη έδειξε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των περιβαλλοντικών $PM_{2.5}$ και αυξημένου κινδύνου εμφάνισης θνησιμότητας που βασίζεται στον καρκίνο του πνεύμονα αλλά και σε καρδιοπνευμονικά αίτια. Κάθε περίπτωση αύξησης κατά 10μg/m^3 σε μακροπρόθεσμο μέσο όρο για $PM_{2.5}$ σχετίζεται με μια αύξηση της τάξεως του 4%, 6% και 8% όλων των συνεπειών, καρδιοπνευμονικής θνησιμότητας και θνησιμότητας λόγω καρκίνου στον πνεύμονα. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύεται περαιτέρω από εις βάθος ανάλυση των αρχικών διαχρονικών μελετών Six Cities και της ACS από το HEI. Άλλες μελέτες προσπάθησαν να διασταυρώσουν τα δεδομένα και θεωρήθηκε πως η τρέχουσα αέρια ρύπανση είναι επαρκής εκπρόσωπος χρόνιας έκθεσης ώστε να είναι αποδεκτή η σύνδεσή της με την τρέχουσα κατάσταση της υγείας (Brunekreef &

Holgate, 2002). Επιπλέον έχει προταθεί πως η έκθεση σε ΑΣ σχετίζεται με μειωμένη ανάπτυξη των πνευμόνων στα παιδιά και ακόμη πως η μετατόπιση παιδιών από περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ σε άλλες με χαμηλότερες (και το αντίστροφο) μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην διαδικασία ανάπτυξης των πνευμόνων οι οποίες αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές της έκθεσης στα σωματίδια (Lazaridis & Colbeck, 2010).

2.5 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Τα ΑΣ, οι πρόδρομες ουσίες τους και τα προϊόντα του μετασχηματισμού τους απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα μέσω υγρών και στερεών εναποθέσεων. Αυτός ο ατμοσφαιρικός καθαρισμός ευτυχώς αναχαιτίζει τη μακροπρόθεσμη συσσώρευση θανατηφόρων συγκεντρώσεων αυτού του είδους του ρυπαντή στον αέρα και ρυθμίζει τη δυνατότητα ανάπτυξης προβλημάτων στην υγεία μέσω της εισπνοής τους. Δυστυχώς αυτές οι διεργασίες εναπόθεσης φροντίζουν τη μεταφορά τέτοιου είδους ρύπων σε άλλα περιβαλλοντικά μέσα όπου εκεί μπορούν να αλλοιώσουν τη δομή, τη λειτουργία, την ποικιλία και την αειφορία σύνθετων οικοσυστημάτων (EPA, 2004).

Η έκθεση σε μια δεδομένη συγκέντρωση αιωρούμενων PM μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά διαφορετικές φυτοτοξικές αντιδράσεις οι οποίες εξαρτώνται από το εκάστοτε μίγμα των σωματιδίων που εναποτίθεται. Οι επιπτώσεις της σωματιδιακής καθίζησης σε μεμονωμένα φυτά ή οικοσυστήματα είναι δύσκολο να χαρακτηριστούν λόγω των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ βιολογικών, φυσικοχημικών και κλιματικών παραγόντων. Περισσότερο άμεσες επιπτώσεις, διαφορετικές από τις τοπικές συνέπειες που σχετίζονται με τους κλιματικούς παράγοντες, συναντώνται σε σοβαρά ρυπασμένες περιοχές που περιβάλλουν βιομηχανικές μονάδες όπως λατομεία ασβεστόλιθου, καμίνια για την παραγωγή τσιμέντου και εγκαταστάσεις τήξης μετάλλων. Τα λεπτά σωματίδια διαδίδονται πιο μακριά από την πηγή τους από ότι τα αδρά. Πειραματικές εφαρμογές συστατικών ΑΣ στο φύλλωμα για τυπικές περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις συνήθως προκαλούν μικρή απόκριση από τα φυτά. Η διαφορά στα χημικά χαρακτηριστικά και στο εύρος μεγέθους των περιβαλλοντικών ΑΣ και η έλλειψη καθαρής διάκρισης μεταξύ των επιπτώσεων που χρεώνονται σε φυτοτοξικά σωματίδια και σε άλλους αέριους ρύπους επιφέρουν επιπλέον σύγχυση στην κατανόηση των άμεσων συνεπειών στην επιφάνεια του φυλλώματος. Η πλειοψηφία των καταγεγραμμένων τοξικών επιπτώσεων των σωματιδίων στη βλάστηση αντανακλά το χημικό τους περιεχόμενο (π.χ. οξύ/βάση, ίχνη μετάλλων, θρεπτικά), ιδιότητες της επιφάνειάς τους, ή αλατότητα. Μελέτες των άμεσων αποτελεσμάτων των σωματιδίων στη βλάστηση δεν έχουν φτάσει ακόμα στο επίπεδο πειραμάτων έκθεσης με δυνατότητα επανάληψης. Επιπλέον τα ατμοσφαιρικά ΑΣ μπορούν να επηρεάσουν τη βλάστηση είτε άμεσα κατόπιν της εναπόθεσης σε φυλλώδης επιφάνειες ή έμμεσα αλλάζοντας τη χημεία του εδάφους ή αλλάζοντας την ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσω PM-induced

διεργασιών κλιματικής αλλαγής. Τα έμμεσα αποτελέσματα παρόλαυτα είναι τα πιο ουσιώδη καθώς μπορούν να αλλάξουν τον κύκλο θρέψης των φυτών καθώς και να αποτρέψουν την πρόσληψη της τροφής από αυτά (EPA, 2004).

Πιο συγκεκριμένα, οι άμεσες επιπτώσεις της σωματιδιακής εναπόθεσης αφορούν τη μείωση της φωτοσύνθεσης, αλλαγές στην αλατότητα του εδάφους και επιπτώσεις στο φύλλωμα που προκαλούνται από νιτρικές, θειικές, όξινες καθιζήσεις καθώς και αυτές βαρέων μετάλλων. Σωματίδια που μεταφέρονται από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια του φυλλώματος μπορούν να παραμείνουν πάνω στο φύλλο, στους βλαστούς, ή στην πίσω επιφάνεια για μεγάλες περιόδους, να προσληφθούν από το φυτό μέσω του φυλλώματος, να απομακρυνθούν μέσω της επαναιώρησης στην ατμόσφαιρα, ή μέσω της πλύσης από τη βροχή ή περαιτέρω πτώσης να μεταφερθούν στο έδαφος. Οποιοδήποτε σωματίδιο εναποτεθεί σε κάποιο εμφανές σημείο του φυτού μπορεί να προκαλέσει φυσικές ή χημικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις των μη τοξικών σωματιδίων είναι κυρίως φυσικές ενώ αυτές των τοξικών σωματιδίων είναι και χημικές και φυσικές. Οι επιπτώσεις της σκόνης που εναποτίθεται στις φυτικές επιφάνειες ή στο έδαφος είναι πιο πιθανό να σχετίζονται με τη χημεία παρά με τη μάζα και οι χημικές επιπτώσεις μπορεί να είναι περισσότερο σημαντικές από οποιαδήποτε φυσική επίπτωση. Παρόλαυτα οι φυτικές επιφάνειες αποτελούν πεδία φιλτραρίσματος και αντίδρασης/ανταλλαγής των ουσιών με τα φυτά (EPA, 2004).

Τα ΑΣ τείνουν επίσης να επηρεάζουν και την ορατότητα της ατμόσφαιρας. Μπορούν να τη μειώσουν διαθλώντας και απορροφώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Η απόδοση με την οποία τα διάφορα σωματίδια εξασθενούν το φως εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, με τη συσσώρευση των λεπτών σωματιδίων να είναι κατά πολύ πιο σημαντική στην ελάττωση της ορατότητας από ότι τα αδρά σωματίδια. Ένα σημαντικό επιβλαβές αποτέλεσμα της σωματιδιακής ρύπανσης είναι το λέρωμα των χρωματισμένων επιφανειών και άλλων οικοδομικών υλικών. Αυτή η ενέργεια αλλάζει την ανακλαστικότητα των αδιαφανών υλικών και μειώνει τη διάδοση του φωτός δια μέσω των διαφανών. Η διαχείριση αυτού του φαινομένου γίνεται με καθαρισμό ή πλύσιμο και αναλόγως της επιφάνειας ίσως και επαναχρωματισμό.

Τέλος, οι φυσικές διεργασίες (π.χ. διάθλαση και απορρόφηση) που είναι υπεύθυνες για την επίδραση των σωματιδίων στη διάδοση της ορατής και της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας είναι ίδιες με αυτές που είναι υπεύθυνες για τη μείωση της ορατότητας. Η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα και η απορρόφησή της μας πείθουν για την επίδραση ενός στρώματος αεροζόλ στην ηλιακή ακτινοβολία. Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια περιπλέκουν σε μεγάλο βαθμό τις προβλέψεις των μελλοντικών τάσεων όσον αφορά τη θέρμανση της ατμόσφαιρας λόγω της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, τη συνεχή αύξηση στη μέση θερμοκρασία του πλανήτη, τις αλλαγές στα τοπικά κλίματα και κυρίως τις επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον (EPA, 2004).

.

3 Μέθοδοι μέτρησης της συγκέντρωσης

3.1Εισαγωγή

Σκοπός της δειγματοληψίας είναι η λήψη ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος σωματιδίων από τον αέρα στη συσκευή δειγματοληψίας χωρίς να αλλάξει η συγκέντρωση ή τα χαρακτηριστικά τους κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Ο ερευνητής οφείλει να εξασφαλίσει πως αιχμαλωτίζονται όλα τα σωματίδια ενός γνωστού όγκου αέρα και πως δεν υπήρξε απώλεια κάποιων από αυτών στα τοιχώματα των σωλήνων κ.α.. Επίσης θα πρέπει να προσέξει τα μεγάλα σωματίδια και τα αδρανή υλικά να μην έχουν μεταβληθεί σε μικρότερα σωματίδια, ή να έχουν χαθεί σωματίδια λόγω της εξάτμισης των πτητικών υλικών, ή να συλλεχθούν πρόσθετα από αυτά μέσω συμπύκνωσης. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για μέτρηση της σωματιδιακής μάζας περιλαμβάνουν άμεσες σταθμικές μεθόδους, εξασθένιση της ακτινοβολίας β που περνάει μέσω των σωματιδιακών στρωμάτων, μέθοδους δόνησης μικροϊσορροπίας καθώς και διάφορες οπτικές μεθόδους (Colls, 2002; Morawska & Salthammer, 2003).

3.2 Σταθμική μέτρηση

Η μέτρηση της συγκέντρωσης είναι το πιο συχνά μετρούμενο χαρακτηριστικό της σωματιδιακής μάζας. Ο πιο ακριβής τρόπος για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των αεροζόλ είναι να εισέλθει ένας γνωστός όγκος αέρα μέσω ενός φίλτρου και τότε να προσδιοριστεί η αύξηση στη μάζα του φίλτρου λόγω των αεροζόλ που συλλέχθηκαν. Υπάρχουν πολλά είδη φίλτρων σε χρήση, καθένα με διαφορετικές ιδιότητες και διαφορετικές αποδόσεις συλλογής, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος και την περαιτέρω χημική δυνατότητα χημικής ανάλυσης των συλλεγόμενων σωματιδίων.

Η *σταθμική ανάλυση* είναι μια απλή, ακριβής και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέτρηση της σωματιδιακής συγκέντρωσης. Απαιτεί ακριβή μέτρηση της ροής δειγματοληψίας και μέτρηση της καθαρής μάζας που συλλέγεται στο φίλτρο (Hinds, 1999; Morawska & Salthammer, 2003).

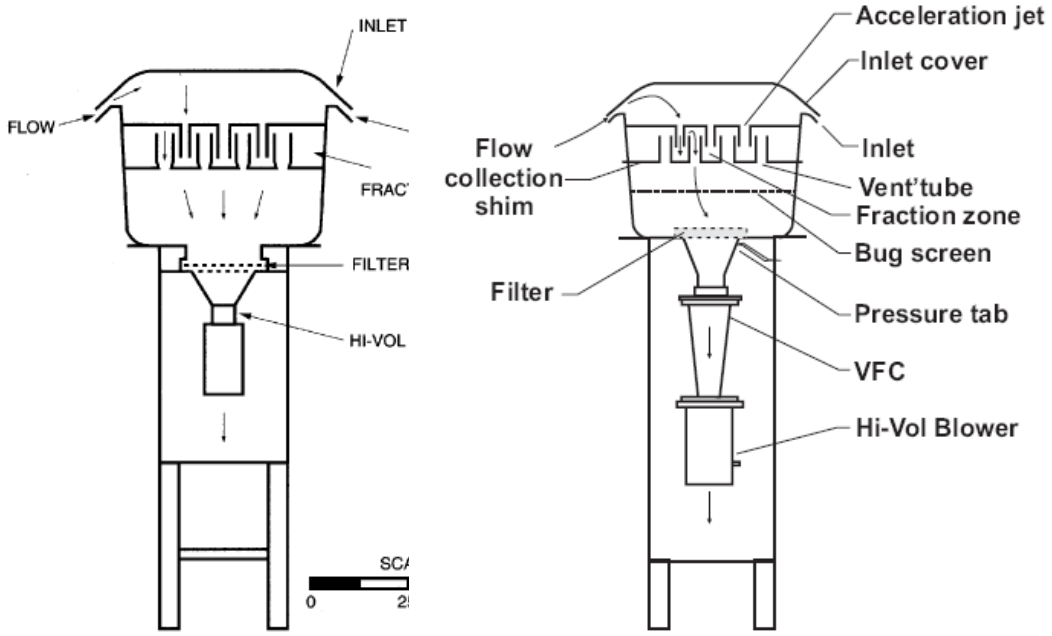
3.2.1 Δειγματολήπτης υψηλού όγκου

Ο *δειγματολήπτης υψηλού όγκου* (Hi-Vol) αναπτύχθηκε στη Βόρεια Αμερική, όπου έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως. Αυτή η συσκευή παράγει ένα σταθμικό αποτέλεσμα. Ο αέρας εισέρχεται κάτω από τα άκρα μιας προστατευτικής οροφής και στη συνέχεια

κινείται κατακόρυφα προς τα κάτω μέσω ενός ορθογώνιου φίλτρου από υαλονήματα διαστάσεων 254x203mm. Ένας διαχωριστής μπορεί να περιλαμβάνεται πριν από το φίλτρο για να περιορίσει τη μέτρηση για το κλάσμα PM_{10} για παράδειγμα (Colls, 2002).

Καθώς θα δούμε υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την προσδιορισμό της μάζας των ΑΣ. Το γεγονός αυτό μπορεί να αυξήσει τις συστηματικές διαφορές στα αποτελέσματα και επομένως χρειάζεται η υιοθέτηση κάποιων προτύπων (standards). Τα πρότυπα που υπάρχουν είναι σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Τυποποίησης (ETSI).

Το πρότυπο CSN EN 12341 καθορίζει ορισμένες μεθόδους αναφοράς (π.χ. υψηλού και χαμηλού όγκου δειγματολήπτες) οι οποίες επαρκούν για τον προσδιορισμό των PM_{10} και με βάση αυτές μπορούν να ταιριάξουν εναλλακτικές ισοδύναμες μέθοδοι. Ένα παράδειγμα οργάνου που βρίσκεται σε συμφωνία με αυτό το πρότυπο για μετρήσεις PM_{10} είναι ο μετρητής υψηλού όγκου Sierra-Andersen/GMW model 1200 που φαίνεται παρακάτω (EMEP, 2001).



Εικόνα 1 Σχηματική απεικόνιση (αριστερά) του δειγματολήπτη υψηλού όγκου με κεφαλή PM_{10} (Colls, 2002) και (δεξιά) του Sierra-Andersen/GMW Model 1200 με ογκομετρικό ρυθμιστή της ροής (EMEP, 2001).

3.3 Οπτικές μέθοδοι

Ένα μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται ένα σωματίδιο διασκορπίζεται μακριά από την αρχική του κατεύθυνση. Το ποσό που σκεδάζεται εξαρτάται από διάφορες παράμετρους που περιλαμβάνουν και το μέγεθος του σωματιδίου, με μερικά όργανα να χρησιμοποιούν αυτό το γεγονός για να μετρήσουν τις ιδιότητες ενός σωματιδιακού πληθυσμού χωρίς τη συλλογή των σωματιδίων (το

οποίο σημαίνει ότι τα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα για μετέπειτα χημική ανάλυση). Παρακάτω παρατίθενται μέθοδοι μέτρησης του συνολικού μαζικού φορτίου ενός δείγματος.

Νεφελόμετρα. Αυτή η οικογένεια οργάνων ενσωματώνει μια ευρεία οπτική στη μέτρηση της διάθλασης από πολλά σωματίδια ταυτόχρονα. Το δείγμα αέρα περνάει μέσω ενός κυλίνδρου (με τυπικό μήκος 2m και 15cm διάμετρο) ο οποίος φωτίζεται από τη μια πλευρά και το φως που διαθλάται μεταξύ 5° και 175° ανιχνεύεται από φωτοπολλαπλασιαστή στο ένα άκρο του κυλίνδρου. Για τη μέτρηση ατμοσφαιρικών οπτικών ιδιοτήτων (π.χ. ορατότητα) και για πληροφορίες σχετικά με την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων χρησιμοποιούνται νεφελόμετρα πολλαπλού μήκους ακτινοβολίας.

Μετρητές αιθάλης. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση σε πραγματικό χρόνο συγκέντρωσης σωματιδίων μαύρου άνθρακα. Τα σωματίδια λαμβάνονται με ρυθμό περίπου 10 $Lmin^{-1}$ πάνω σε ένα φίλτρο από ίνες χαλαζία το οποίο φωτίζεται από μια πηγή φωτός ευρέος φάσματος. Η ακτίνα μειώνεται και η μείωση μετατρέπεται σε συγκέντρωση μάζας άνθρακα στο φίλτρο μέσω του παράγοντα βαθμονόμησης, εκφρασμένου σε m^2g^{-1}. Ο παράγοντας βαθμονόμησης διαφέρει από πεδίο σε πεδίο εφόσον εξαρτάται από λεπτομερείς ιδιότητες των σωματιδίων μαύρου άνθρακα.

Μια σχετική φορητή συσκευή γνωστή και ως DRAM (direct-reading aerosol monitor) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση περιβαλλοντικών και εργασιακών συγκεντρώσεων σωματιδίων. Το κλάσμα PM_{10} επιλέγεται από ένα ρεύμα εισόδου με ροή 2 $Lmin^{-1}$ και περνάει σε ένα οπτικό κελί. Φως κοντά στο υπέρυθρο διαθλάται από το δείγμα και τότε το νέο αυτό σήμα μετατρέπεται σε συγκέντρωση μάζας μέσω ενός παράγοντα βαθμονόμησης. Η συσκευή δε δίνει καμία πληροφορία σχετικά με την κατανομή μεγέθους, αλλά είναι χρήσιμη για γρήγορους ημι-ποσοτικούς προσδιορισμούς ή για εκτίμηση των αλλαγών της συγκέντρωσης μάζας (Colls, 2002).

3.3.1 Όργανα διάχυσης του φωτός

3.3.1.1 Γενικά

Η διάχυση του φωτός από μικρά σωματίδια διαλυμένα σε αέρια εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τη συγκέντρωση των ΑΣ. Όργανα που βασίζονται σε αυτήν την αρχή συνδυάζουν in situ μετρήσεις πραγματικού χρόνου, για αέρα που λαμβάνεται απευθείας από το όργανο και με υψηλό επίπεδο αυτοματισμού. Σε εξάρτηση από τη γωνία από την οποία μετριέται το διαχέον φως, αυτά τα όργανα μπορούν να διαιρεθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα νεφελόμετρα (ευρεία γωνία μέτρησης) και τα φωτόμετρα (μέτρηση μικρότερης γωνίας). Η τελευταία κατηγορία συγκεντρώνει πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον αναφορικά με τις μετρήσεις στους εσωτερικούς χώρους.

Τα *φωτόμετρα* είναι πιθανότατα τα πιο κοινώς χρησιμοποιούμενα όργανα απευθείας μέτρησης αεροζόλ και είναι εμπορικά διαθέσιμα για περισσότερα από 25

χρόνια. Αυτά τα όργανα έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους παραδοσιακούς σταθμικούς δειγματολήπτες:

- παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο,
- είναι απλούστερα στη χρήση και
- μακροπρόθεσμα είναι λιγότερο ακριβά για τη λειτουργία τους.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό άμεσων κινδύνων, για την ιεράρχηση μελλοντικών δειγματοληψιών και μπορούν επίσης να λειτουργήσουν αντί για παραδοσιακούς σταθμικούς μετρητές.

Από τη στιγμή που τα πρότυπα για ΑΣ βασίζονται συνήθως στην αξιοποίηση σταθμικών μεθόδων δειγματοληψίας, εντοπίζεται ένα γενικό ενδιαφέρον στη συσχέτιση των φωτομετρικών σημάτων με τη σταθμική συγκέντρωση μάζας των αεροζόλ. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή αυτή η συσχέτιση, απαιτείται γνώση των βασικών αρχών λειτουργίας αυτών των οργάνων. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι ότι το σήμα που λαμβάνεται από τα φωτόμετρα είναι ανάλογο στο συνολικό όγκο και όχι στη συγκέντρωση των αεροζόλ. Η συγκέντρωση της μάζας των σωματιδίων μπορεί να εξαχθεί από τη συγκέντρωση του όγκου εάν πρώτα είναι γνωστή η πυκνότητα των σωματιδίων ή εάν αυτή μπορεί να υποτεθεί. Παρόλαυτα, από τη στιγμή που η πυκνότητα των αεροζόλ που μας ενδιαφέρουν δεν είναι πάντα διαθέσιμη και η υποτιθέμενη τιμή ενδέχεται να διαφέρει έως ένα συγκεκριμένο βαθμό από την πραγματική τιμή, υπάρχει, στις περισσότερες περιπτώσεις, ένας βαθμός αβεβαιότητας ο οποίος εισάγεται όταν η μάζα των σωματιδίων υπολογίζεται βάσει του όγκου που μετρήθηκε από ένα φωτόμετρο (Morawska & Salthammer, 2003).

3.3.2 Θεωρία λειτουργίας

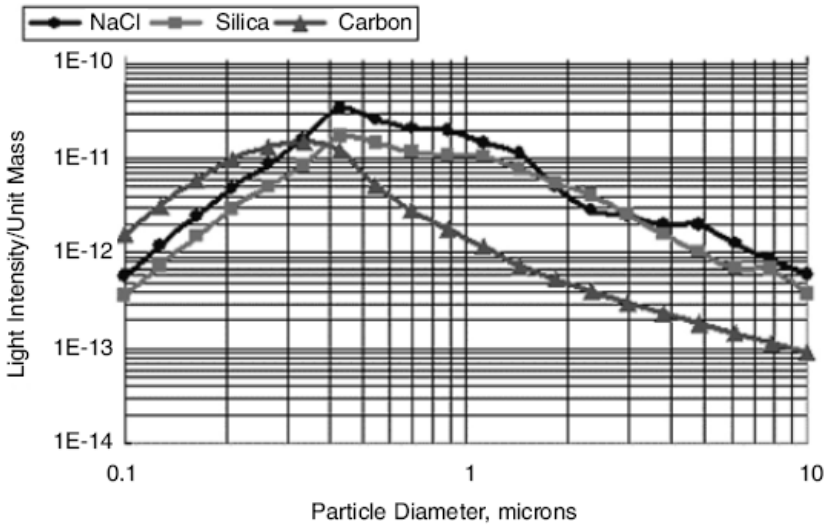
Για απλά γεωμετρικά σχήματα όπως οι σφαίρες και οι ράβδοι, το πρότυπο διάχυσης μπορεί να προβλεφθεί θεωρητικά (Baron & Willeke, 2005). Παρόλαυτα, για τα περισσότερα αεροζόλ τα σύνθετα και τα ποικίλα σχήματά τους καθιστούν δύσκολη την πρόβλεψη των εξισώσεων διάχυσης.

Το ποσό του φωτός που διαχέεται, σύμφωνα με θεωρητικές προβλέψεις, εξαρτάται από φυσικές παράμετρους όπως το μέγεθος των σωματιδίων, ο δείκτης διάθλασης και το σχήμα. Αυτή η εξάρτηση είναι ισχυρότερη σε σωματίδια με διαμέτρους (d) μικρότερες από το ένα τρίτο του μήκους κύματος του laser. Για αυτά τα μικρά σωματίδια, η θεωρία προβλέπει πως το φως που διαχέεται αυξάνεται ως συνάρτηση της έκτης δύναμης της διαμέτρου (d^6). Για ένα τυπικό laser, που έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά φωτόμετρα, το μήκος κύματος είναι της τάξης των 0.8μm. Κάτι τέτοιο περιορίζει τη χρήση των οργάνων για σωματίδια μικρότερα από ~0.25μm, με τα μικρότερα ανιχνεύσιμα σωματίδια να είναι περίπου 0.1μm. Για μεγαλύτερα σωματίδια, το διαχεόμενο φως αυξάνει αναλογικά προς την εγκάρσια επιφάνεια (d^2).

Για να συνδέσουμε το ποσό του διαχεόμενου φωτός, ή της φωτομετρικής απόκρισης (R), με τη συγκέντρωση του όγκου (μάζας – c_m) των μετρούμενων σωματιδίων, χρησιμοποιείται για ιδανικές συνθήκες μια γραμμική σχέση, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων:

(3-5)

Για την εύρεση μια σχέσης ανεξάρτητης του μεγέθους, το συνολικό φως που διαθλάται ανά μονάδα όγκου (μάζας), το οποίο καλείται και σχετική διαθλαστική απόδοση, ή απόδοση ανίχνευσης, θα έπρεπε να είναι σταθερό. Για μικρά σωματίδια ($d<0.3\lambda$), η σχετική διαθλαστικότητα είναι ανάλογη της $d^3=(d^6/d^3)$. Στο εύρος μεγέθους των μικρόμετρων, η απόκριση του οργάνου μειώνεται γραμμικά. Η μέγιστη απόδοση γενικά εντοπίζεται για σωματιδιακές διαμέτρους της τάξης του μήκους κύματος του φωτός ($d\sim\lambda$), π.χ. στο εύρος των 0.5 έως 2μm. Σε αυτό το σωματιδιακό εύρος, η εξάρτηση θα μπορούσε να έχει επιπλέον χαρακτηριστικά για διηλεκτρικά σωματίδια. Μόνο μέσα σε αυτό το στενό πλάτος η διάχυση είναι σχεδόν ανάλογη του σωματιδιακού όγκου (μάζας) και η απόδοση ανίχνευσης σχετικά σταθερή. Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ της σωματιδιακής διαμέτρου και της έντασης του διαχεόμενου φωτός ανά μονάδα μάζας (Morawska & Salthammer, 2003).



Διάγραμμα 2 Ένταση φωτός ανά μονάδα μάζας για 3 διαφορετικού τύπους αεροζόλ, NaCl, πυρίτιο και άνθρακα (Morawska & Salthammer, 2003).

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί πως για την ορατή ακτινοβολία το εύρος του ατμοσφαιρικού αεροζόλ από 0.1 έως 1μm σχεδόν συμπίπτει με το μέγιστο της απόδοσης ανίχνευσης, έτσι ώστε τα σωματίδια μέσα σε αυτό το εύρος να παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία όταν ανιχνεύονται από οπτικά μέσα. Επιπλέον, η μείωση της απόδοσης ανίχνευσης στο εύρος 1-10μm είναι περίπου όμοια με το σχήμα της καμπύλης διείσδυσης στον πνεύμονα των εισπνεύσιμων σωματιδίων. Επομένως αυτά τα όργανα χρησιμοποιούνται συχνά ως ανιχνευτές της συγκέντρωσης των εισπνεύσιμων σωματιδίων.

Η ένταση διάχυσης του φωτός από σωματίδια με διαμέτρους μεγαλύτερες των 10μm γίνεται αμελητέα και επομένως τα φωτόμετρα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση των συνολικών ΑΣ (Total Suspended Particles – TSP). Για να μετρηθούν σωματίδια μεγαλύτερα από 10μm χρησιμοποιώντας αυτήν τη

μέθοδο, είναι απαραίτητα να απομονωθούν πρώτα αυτά από το υπόλοιπο δείγμα και να εφαρμοστεί ένας συντελεστής βαθμονόμησης ακριβώς για αυτά τα σωματίδια. Εάν τα μεγαλύτερα σωματίδια παραμείνουν αναμεμιγμένα με τα μικρότερα, το σήμα από τα μικρά σωματίδια θα υπερισχύσει.

Το φως που έχει διαχυθεί εξαρτάται επιπλέον από το δείκτη διάθλασης και από τα χαρακτηριστικά φωτοαπορρόφησης των σωματιδίων. Κάτι τέτοιο φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα όπου συγκρίνοντας τις 3 καμπύλες για τα διαφορετικά σωματίδια, υπάρχουν διαφορές πάνω από μια τάξη μεγέθους για την ένταση του φωτός. Επίσης στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται πως σωματίδια με μέγεθος $\leq 1\mu m$ διαχέουν περισσότερο φως ανά μονάδα μάζας από ότι αυτά με μεγαλύτερο μέγεθος, επηρεάζοντας έτσι την ένδειξη του οργάνου (υπερεκτίμηση λόγω της παρουσίας των υπομικρόμετρων σωματιδίων) όσον αφορά τις συγκεντρώσεις. Ευτυχώς, για τα αιωρούμενα σωματίδια, το φαινόμενο της υπερεκτίμησης λόγω των υπομικρόμετρων σωματιδίων και της υποεκτίμησης λόγω των αδρών σωματιδίων τείνει να αντισταθμίζεται καλά, οδηγώντας σε μια σταθερή απόκριση από το φωτόμετρο για ένα μεγάλο εύρος βιομηχανικών αεροζόλ. Επομένως τα φωτόμετρα μπορούν να μετρήσουν επιτυχώς εισπνεύσιμα σωματίδια.

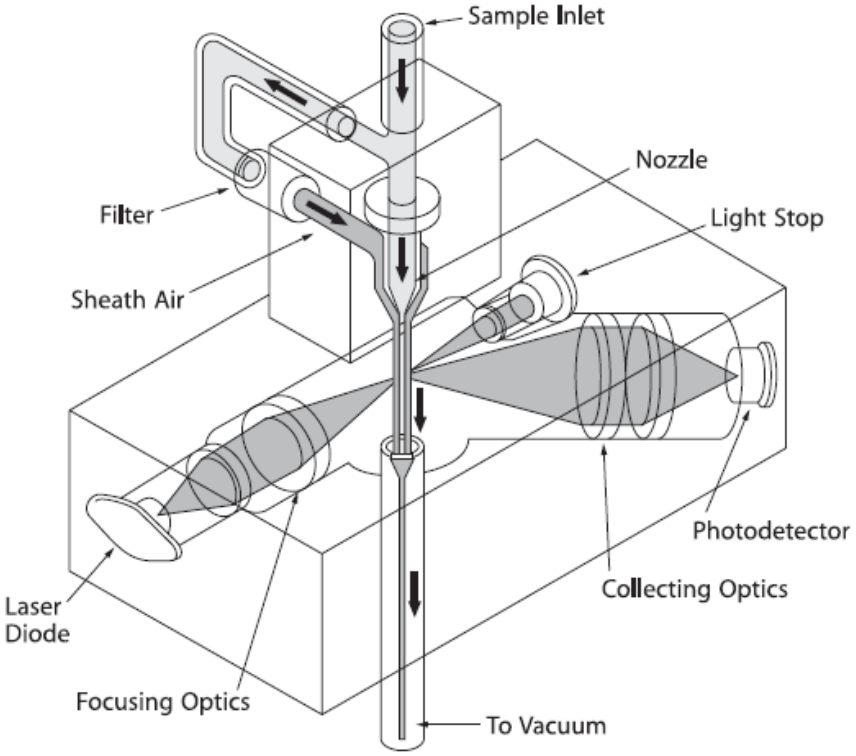
Μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος είναι η γωνία διάχυσης. Η γωνία στην οποία η διαχεόμενη ακτινοβολία θα εντοπιστεί προσδιορίζει την απόδοση ανίχνευσης για μικρά και μεγάλα σωματίδια. Μεγάλα σωματίδια ανιχνεύονται πιο αποτελεσματικά σε μικρές γωνίες διάθλασης, όταν τα υπομικρόμετρα σωματίδια διαχέονται πιο ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις. Κάθε όργανο χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο εύρος γωνίας διάχυσης, η οποία προσδιορίζει την περιοχή των σωματιδίων για την οποία το όργανο είναι περισσότερο ευαίσθητο (Morawska & Salthammer, 2003).

3.3.3 Μηχανισμός ανίχνευσης

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των φωτόμετρων είναι ότι αντλούν τη συγκέντρωση των σωματιδίων από τη μέτρηση της έντασης (ή ορθότερα, της ακτινοβολίας) του φωτός που σκεδάζεται από όλα τα σωματίδια που διέρχονται από την αισθητήρια περιοχή του οργάνου. Ο μηχανισμός ανίχνευσης των φωτόμετρων παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 2. Η πηγή φωτός, η οποία είναι συνήθως ένα laser, φωτίζει την περιοχή καταγραφής του οργάνου, από όπου περνάνε τα ΑΣ. Αυτή η περιοχή είναι ο καθορισμένος όγκος που ορίζεται από τη διατομή της ακτίνας της φωτεινής πηγής και του πεδίου που «βλέπει» ο ανιχνευτής της σκέδασης. Το φως που σκεδάζεται από τα σωματίδια συλλέγεται και ανιχνεύεται από τον ανιχνευτή σκέδασης, ο οποίος είναι συνήθως μια λειτουργική μονάδα μεγέθυνσης, η μέγιστη απόκριση της οποίας συμπίπτει με το μέγιστο εκπεμπόμενο μήκος κύματος της φωτεινής πηγής. Ένας άλλος φακός μπροστά από τον ανιχνευτή χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το πεδίο όρασης και να συγκεντρωθεί το σκεδαζόμενο φως πάνω στον ανιχνευτή.

Σε ορισμένα όργανα, ένα μέρος του αέρα που συλλέγεται απομακρύνεται από το κυρίως ρεύμα, φιλτράρεται και επανεισάγεται στη ροή ως μανδύας. Αυτός ο μανδύας περιορίζει τα αεροζόλ ώστε να κινούνται σε ένα στενό ρεύμα και αποτρέπει τα σωματίδια από το να κινούνται ελεύθερα μέσα στους οπτικούς θαλάμους και να καθιζάνουν πάνω στους φακούς. Εκτός από τη διατήρηση της καθαρότητας των φακών, ο μανδύας συγκεντρώνει το ρεύμα των αεροζόλ, ελαχιστοποιώντας έτσι τον όγκο μέτρησης, κάτι το οποίο επιτρέπει στο όργανο να αποκρίνεται γρήγορα σε ξαφνικές μεταβολές της συγκέντρωσης.

Το επακόλουθο βήμα της ανίχνευσης είναι η μετατροπή του σκεδαζόμενου φωτός σε ρεύμα από το κύκλωμα ανίχνευσης. Αυτό το ρεύμα είναι ανάλογο της ποσότητας του φωτός που σκεδάστηκε, η οποία με τη σειρά της, είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του αεροζόλ. Το ρεύμα που διαβάζεται από τον επεξεργαστή πολλαπλασιάζεται με μια εσωτερική σταθερά βαθμονόμησης για να εξάγει τη συγκέντρωση της μάζας. Η σταθερά αυτή προσδιορίζεται από το λόγο της ηλεκτρικής απόκρισης του οργάνου προς τη γνωστή συγκέντρωση του αεροζόλ ελέγχου.



Εικόνα 1 Σχηματικό διάγραμμα ενός φωτόμετρου (Morawska & Salthammer, 2003).

Η σχετικά γρήγορη απόκριση των οπτικών ανιχνευτών και των ηλεκτρονικών μερών τους επιτυγχάνουν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο της σωματιδιακής συγκέντρωσης, ενώ επιπλέον έχουν την ικανότητα να μην επηρεάζονται από τη χωρική και τη χρονική διαφοροποίηση της συγκέντρωσης στα υπό εξέταση περιβάλλοντα. Παρόλαυτα, από αυτόν το γρήγορο χρόνο απόκρισης απορρέει το γεγονός ότι το όργανο είναι ευάλωτο σε παρεμβολές από τυχαίες ανομοιογένειες στον όγκο δειγματοληψίας. Με τον όρο ανομοιογένεια εννοούμε ότι τα σωματίδια δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα και ομαλά διαχωρισμένα το ένα από το άλλο στον

αέρα, αλλά είναι τυχαία διανεμημένα, σχηματίζοντας στιγμιαίες ομάδες και κενά με διαφορετική χωρική έκταση κάθε φορά. Καθώς σωματιδιακές «ομάδες» και τα κενά μεταβάλλουν την περιοχή μέτρησης μέσα στο φωτόμετρο, το σήμα που προκύπτει αυξομειώνεται τυχαία με το χρόνο γύρω από ένα μέσο επίπεδο. Η χρονική κλίμακα αυτών των χρονικών αυξομειώσεων εξαρτάται από τις διαστάσεις της περιοχής μέτρησης του οργάνου και της ταχύτητας με την οποία ο αέρας περνάει από αυτήν. Το εύρος παραγωγής αυτών των στιγμιαίων σημάτων γύρω από το μέσο επίπεδο εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία το κύκλωμα μέτρησης μπορεί να αντιδράσει σε τέτοιες αλλαγές. Όσο πιο σύντομος είναι ο χρόνος αντίδρασης, τόσο μεγαλύτερες θα είναι οι αυξομειώσεις του σήματος στην έξοδο λόγω των τυχαίων ανομοιογενειών.

Στις πλείστες των περιπτώσεων τα φωτόμετρα είναι εφοδιασμένα με ένα σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος για το οποίο ο χρόνος απόκρισης είναι η μέση περίοδος που ανταποκρίνεται στον χρόνο ανανέωσης της ένδειξης για την περίοδο καταμέτρησης των δεδομένων. Μικρές σταθερές στο χρόνο επεξεργασίας των σημάτων επιτρέπουν στην εμφάνιση γρήγορων αυξομειώσεων της σωματιδιακής συγκέντρωσης. Αυτές οι γρήγορες αυξομειώσεις δημιουργούν μεγάλες και τυχαίες διαφοροποιήσεις στο σήμα. Για μια τυπική κατανομή τύπου Poisson τυχαίων μεταβολών γύρω από μια μέση τιμή, η εμφάνιση αυτών των αυξομειώσεων αυξάνεται με το ρυθμό μεταβολής του αντίστροφου της τετραγωνικής ρίζας της περιόδου εξαγωγής μέσης τιμής από το όργανο. Για παράδειγμα, αν η περίοδος εξαγωγής της μέσης τιμής αυξηθεί τέσσερεις φορές, το εύρος των τυχαίων αυξομειώσεων του σήματος εξόδου θα μειωθεί κατά το ήμισυ. Έτσι, όσο πιο μεγάλη είναι η χρονική σταθερά, τόσο πιο ομαλή και σταθερή θα είναι η ένδειξη του φωτόμετρου. Ανακεφαλαιώνοντας, ο χρόνος απόκρισης του οργάνου θα έπρεπε να είναι από τη μια αρκετά σύντομος ώστε να αναλύει τις χωρικές και χρονικές διαφοροποιήσεις στη συγκέντρωση των σωματιδίων, αλλά από την άλλη αρκετά μεγάλος ώστε να αποφεύγονται παρεμβολές λόγω της τυχαίας ανομοιογένειας στο μετρούμενο όγκο (Morawska & Salthammer, 2003).

3.3.4 Βαθμονόμηση

Τα περισσότερα φωτόμετρα είναι βαθμονομημένα από το εργοστάσιο παρασκευής τους με μια σταθμική σχέση αναφοράς χρησιμοποιώντας το εισπνεύσιμο κλάσμα του πρότυπου τεστ σκόνης της Αριζόνα (Standard Arizona test dust – ISO, 1997-ATD). Αυτό το τεστ έχει μια ευρεία κατανομή μεγέθους που καλύπτει το σύνολο του εύρους μεγέθους των φωτόμετρων και είναι αντιπροσωπευτικό μιας ευρείας ποικιλίας περιβαλλοντικών και εσωτερικών αεροζόλ καθώς και των περισσότερων μετάλλων σε σκόνη. Στις περισσότερες περιπτώσεις το εργοστάσιο θα συμφωνήσει με τις σταθμικές μετρήσεις εντός του 20% για τυπικά εσωτερικά και εξωτερικά περιβάλλοντα. Παρόλαυτα, για περιβάλλοντα με υψηλές συγκεντρώσεις υπομικρόμετρων σωματιδίων ή άλλων αεροζόλ, οι οποίες διαφέρουν κατά πολύ από τις συνθήκες του ATD, η βαθμονόμηση του εργοστασίου θα μπορούσε να διαφέρει

σημαντικά από τις σταθμικές μετρήσεις. Όπως συζητήθηκε προηγούμενα, τα φυσικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων που ασκούν τη μεγαλύτερη επιρροή στην απόκριση ενός φωτόμετρου είναι η πυκνότητα (δηλαδή η ειδική βαρύτητα) και το μέγεθος των σωματιδίων.

Για παράδειγμα, όταν μετρούμε συγκεκριμένα ρευστά αεροζόλ (ατμούς λαδιού) με πυκνότητες σημαντικά διαφορετικές από αυτές του ATD, τα φωτόμετρα θα υπερεκτιμήσουν τη συγκέντρωση των σωματιδίων λόγω του ότι η πραγματική μάζα των σωματιδίων λαδιού είναι μικρότερη από αυτή των ATD σωματιδίων του ίδιου μεγέθους. Από την άλλη το μέγεθος μπορεί να καταλήξει είτε σε υπερεκτίμηση ή σε υποεκτίμηση των συγκεντρώσεων που αντλώνται από φωτομετρικές μετρήσεις. Εάν το μέγεθος είναι εντός του εύρους της υψηλότερης ευαισθησίας (φως που σκεδάζεται ανά μοναδιαίο όγκο), όπως στην περίπτωση των απαερίων από diesel ή από τον καπνό τσιγάρου, τα φωτόμετρα θα υπερεκτιμήσουν έως και πέντε φορές τη συγκέντρωση. Μια υποεκτίμηση μπορεί να συμβεί όταν τα σωματίδια είναι πολύ μικρά (<0.1μm). Ένα δείγμα από αναθυμιάσεις συγκόλλησης θα κατέληγε σε χαμηλότερες ενδείξεις από τις αναμενόμενες λόγω δύο παραγόντων: αρχικά της επικράτησης των μικρότερων σωματιδίων τα οποία υπό-ανιχνεύονται λόγω μειωμένης ευαισθησίας σε αυτά τα εύρη μεγέθους και δεύτερον, η υψηλότερη ειδική βαρύτητα αυτών των σωματιδίων θα προκαλούσες επιπλέον διαφοροποίηση μεταξύ των φωτομετρικών και των σταθμικών συγκεντρώσεων.

Για να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια, ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι ιδιότητες των αεροζόλ αναμένεται να διαφέρουν σημαντικά από αυτές του ATD, κάθε φωτόμετρο θα έπρεπε να βαθμονομείται σταθμικά για το περιβάλλον στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί. Όταν πραγματοποιείται σταθμική βαθμονόμηση στο πεδίο με δειγματοληψία σε φίλτρα είναι πολύ σημαντικό να χρησιμοποιηθεί ένας δειγματολήπτης με την ίδια απόδοση δειγματοληψίας στην είσοδο, όπως και το φωτόμετρο που βαθμονομείται ώστε να αποφευχθούν περαιτέρω αποκλίσεις. Για να γίνει ευκολότερο ορισμένα φωτόμετρα διαθέτουν δικό τους φίλτρο. Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται για να εξαχθεί το κλάσμα μεταξύ της μέσης ένδειξης του μετρητή και της σταθμικής συγκέντρωσης από την αύξηση του βάρους του φίλτρου. Προτείνεται αυτή η εκτίμηση να γίνει για τουλάχιστον 3 διαφορετικές συγκεντρώσεις.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, όπου το μέγεθος και η σύνθεση των μετρούμενων αεροζόλ δε διαφέρουν σημαντικά κατά τη διάρκεια της μέτρησης, η απόκριση του φωτόμετρου παραμένει γραμμική σε σχέση με τη συγκέντρωση, έτσι ώστε μόλις γίνει μια κατάλληλη διόρθωση της σταθεράς βαθμονόμησης (δηλαδή η κλίση της απόκρισης), οι ενδείξεις διορθώνονται για το σύνολο του εύρους συγκεντρώσεων του οργάνου (Morawska & Salthammer, 2003).

3.3.5 DustTrak (TSI) – Όργανο μέτρησης μάζας σωματιδίων

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστεί το όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων DustTrak της εταιρείας TSI. Μπορεί να μετρήσει με χρήση

κατάλληλων κεφαλών PM_{10}, $PM_{2.5}$, και PM_1, βάσει της σκέδασης της ακτινοβολίας που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια. Έχει εύρος υπολογισμού συγκέντρωσης από 1 έως 100.000μg/m^3 για σωματίδια διαμέτρου από 0.1μm έως 10μm και ακρίβεια μέτρησης ±1μg/m^3. Η αρχή λειτουργίας είναι ίδια με αυτήν που περιγράφηκε παραπάνω για τα φωτόμετρα. Να σημειωθεί ότι η δίοδος παραγωγής ακτίνων laser παράγει κύματα με μήκος κύματος 780nm.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ελέγχους της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων, χώρων εργασίας και βιομηχανιών, για περιβαλλοντικές μετρήσεις καθώς και για μετρήσεις της ποιότητας του αέρα σε απομακρυσμένες περιοχές. Στις παραπάνω λειτουργίες βοηθάει το γεγονός ότι είναι όργανο φορητό και μικρό σε μέγεθος. Παρόλαυτα καλό θα ήταν να μην λαμβάνονται μετρήσεις σε ιδιαίτερα επιβαρυμένες περιοχές ούτως ώστε να εξασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία του οργάνου.

Στο πακέτο του οργάνου περιλαμβάνεται και λογισμικό (software) με το οποίο μέσω υπολογιστή είναι εφικτό να διαχειριστούν τόσο οι δειγματοληψίες όσο και οι εξαγωγή των δεδομένων ώστε να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί.

Οι δειγματοληψίες γίνονται βάσει 4 μορφών (modes). Η πρώτη καλείται Survey και μπορεί να εξάγει το μέσο όρο, τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή και το χρόνο δειγματοληψίας. Οι άλλες 3 είναι οι LOG1, LOG2 και LOG3 με τις οποίες τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν καθώς και να δημιουργηθεί, εφόσον τα δεδομένα περάσουν στο λογισμικό, η γραφική παράσταση της μεταβολής της συγκέντρωσης με το χρόνο (Λαζαρίδης, 2008).

Εικόνα 2 Όργανο μέτρησης μάζας σωματιδίων (DustTrak).

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το όργανο αυτό παρέχονται στο κεφάλαιο 6 όπου περιγράφεται αναλυτικότερα η λειτουργία του για την πραγματοποίηση μιας επιτυχούς δειγματοληψίας.

4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

4.1 Γενικά

Τα πρότυπα για την αέρια ρύπανση είναι ποσοστά εκπομπών ή συγκεντρώσεων ή εναποθέσεων σχεδιασμένα έτσι ώστε να προστατεύουν τον άνθρωπο και το περιβάλλον από οποιαδήποτε βλάβη. Εάν υπήρχαν ακριβείς συγκεντρώσεις για τις οποίες οι βλάβες αυτές παρατηρούνταν να συμβαίνουν, τότε η θεσμοθέτηση των ορίων θα ήταν μια απευθείας διαδικασία. Δυστυχώς η ζωή δεν είναι τόσο απλή. Τα δεδομένα εισάγονται στη διαδικασία καθορισμού των ορίων από δύο κύριες πηγές:

- Παρατηρήσεις των μακροχρόνιων και βραχυπρόθεσμων συνεπειών των περιβαλλοντικών ρύπων (γεγονότα που προκαλούν θνησιμότητα, ποσοτικοποιήσιμη ζημιά σε ένα δέκτη και επιδημιολογικές μελέτες πληθυσμών ή άλλων ομάδων)
- Συγκεκριμένα πειράματα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (πειράματα σε ζώα που πρέπει μετά να προσαρμοστούν στα ανθρώπινα δεδομένα ή μελέτες σε φυτά που πρέπει να αντιπροσωπεύσουν το συνολικό εύρος των πιθανών φυτών)

(Colls, 2002)

4.2 Πρότυπα όρια για βιομηχανικούς χώρους

Έως σήμερα φαίνεται πως δεν έχουν θεσπιστεί όρια αναφορικά με τα αεροζόλ για χώρους εργασίας. Τέτοιοι χώροι ανάλογα με τον τύπο των διεργασιών που τελούνται σε αυτούς ενδέχεται να διαθέτουν εξαιρετικά επιβαρυμένο περιβάλλον σχετικά με τα ΑΣ.

Παρόλαυτα, σύμφωνα με τη ρήτρα γενικών καθηκόντων της Διεύθυνσης Εργασιακής Ασφάλειας και Υγείας της Αμερικής (Occupational Safety and Health Administration - OSHA), όταν υπάρχει κάποιος κίνδυνος σε εργασιακούς χώρους για τον οποίο δεν υπάρχει ένας θεσμοθετημένος κανονισμός ή όριο ο εργοδότης οφείλει να προστατεύει τους εργαζόμενούς του από σοβαρούς και αναγνωρισμένους κινδύνους ακόμα και όταν δεν υπάρχει κάποιο όριο για αυτούς. Ο εργοδότης οφείλει να λάβει οποιαδήποτε μέτρα είναι εφικτά για την ελαχιστοποίηση αυτών των κινδύνων (COSH, 2012).

Υποστηρίζεται πως σχετιζόμενα με την υγεία πρότυπα για αεροζόλ θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Κριτήρια έκθεσης, τα οποία αναγνωρίζουν τον παράγοντα και τις συγκεκριμένες φυσικές, χημικές και/ή βιολογικές ιδιότητες που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο αναστρέψιμο αποτέλεσμα στην υγεία,
- αναφορά στα όργανα μέτρησης και στις αναλυτικές μεθόδους με χαρακτηριστικά λειτουργίας που να ταιριάζουν με τα παραπάνω κριτήρια έκθεσης,

- αναφορά στη στρατηγική μέτρησης που ορίζει την αξιολόγηση της έκθεσης που είναι αντιπροσωπευτική του χρονικού ιστορικού και της διαφορετικής έκθεσης των εργατών,
- ένα όριο εργασιακής έκθεσης σε σχέση με την υγεία των εργαζόμενων, όπως προκύπτει από εκτιμήσεις των επιπτώσεων της έκθεσης σε διάφορα επίπεδα του ρύπου, γνωστά περιστατικά της εμφάνισης των εν λόγω συμπτωμάτων και από αυτό που θεωρείται ως αποδεκτό επίπεδο κινδύνου.

(James κ.ά., 2000)

4.3 Άλλα πρότυπα

Διαφορετικοί οργανισμοί έχουν αξιολογήσει ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο τους ρύπους και έχουν καταλήξει σε διαφορετικά συμπεράσματα αναφορικά με τα πρότυπα που οφείλουν να θεσμοθετηθούν. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization – WHO), η ΕΕ, η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (United Nations Economic Commission for Europe – UNECE) και η EPA είναι οι οργανισμοί με τη μεγαλύτερη επιρροή παγκοσμίως.

Διάφοροι όροι όπως πρότυπα, οδηγίες και όρια χρησιμοποιούνται από τον κάθε οργανισμό. Τα όρια της ΕΕ είναι υποχρεωτικά και πρέπει να τηρούνται από όλα τα κράτη μέλη, ενώ οι οδηγίες έχουν συμβουλευτικό χαρακτήρα. Τα πρότυπα μπορούν να περιέχουν και όρια αλλά και οδηγίες. Οι προτεινόμενες τιμές από τον WHO δεν έχουν καθοριστικό χαρακτήρα, αλλά χρησιμοποιούνται ευρέως από κυβερνήσεις ώστε να περιορίσουν την επίπτωση των ρύπων για τους οποίους δεν υπάρχουν εθνικά πρότυπα. Επιπλέον η UNECE έχει υπάρξει στην πρώτη γραμμή για την αναγνώριση περιβαλλοντικών θεμάτων και στην εκπόνηση μέτρων για τη βελτίωσή τους. Τα μέτρα σχηματίστηκαν σε όρους πρωτόκολλων και συμβάσεων. Αν και δεν είναι δεσμευτικά από νομοθετικής απόψεως, οι χώρες που τα επικύρωσαν βρίσκονται υπό ισχυρή ηθική δέσμευση να φτάσουν τους αναγνωρισμένους στόχους ελέγχου της ρύπανσης (Colls, 2002).

Ακολουθεί πίνακας οριακών τιμών για PM_{10} όπως ορίζονται από κάθε έναν από τους παραπάνω αναφερθέντες οργανισμούς που έχουν πραγματοποιήσει αντίστοιχες δημοσιεύσεις.

Πίνακας 2 Διεθνή όρια για συγκεντρώσεις PM_{10} σε αστικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον (EPA, 2011; EC, 2008; WHO, 2006).

Οριακές Τιμές για PM_{10}					
USEPA (2011)		ΕΕ (2011)		WHO (2006)	
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή
24-ώρες	**150 μg/m^3**, δεν πρέπει να γίνει υπέρβαση κατά μέσο όρο μια φορά το χρόνο για μια περίοδο 3 χρόνων	24-ώρες	**50 μg/m^3**, δεν πρέπει να γίνει υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	24-ώρες	**50 μg/m^3**, δεν πρέπει να γίνει υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος
-	-	Ημερολογιακό Έτος	**40 μg/m^3**	Ημερολογιακό Έτος	**20 μg/m^3**

5 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΟΣΗΣ ExDoM

5.1 Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα υπολογισμού της εναποτιθέμενης δόσης και της απομάκρυνσης/μεταφοράς αιωρούμενων σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Τα μοντέλα προσδιορισμού της εναποτιθέμενης δόσης μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, τα στατιστικά/ημιεμπειρικά και στα μηχανιστικά ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού του ποσοστού εναπόθεσης σωματιδίων σε κάθε περιοχή του αναπνευστικού συστήματος. Αναλυτικότερα, στην πρώτη κατηγορία μοντέλων το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα θεωρείται πως αποτελείται από διακριτές περιοχές, κάθε μια από τις οποίες δρα σαν φίλτρο στα σωματίδια που τη διαρρέουν με το ρεύμα του εισπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα. Η διαδικασία της εναπόθεσης αντιμετωπίζεται στατικά και η απόδοση κάθε φίλτρου υπολογίζεται από εξισώσεις που προέρχονται από καμπύλες προσέγγισης πειραματικών δεδομένων. Το πιο ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο ημιεμπειρικό μοντέλο είναι το Μοντέλο του Ανθρώπινου Αναπνευστικού Συστήματος (Human Respiratory Tract model - HRTM) της διεθνούς υπηρεσίας ακτινοπροστασίας (International Committee on Radiological Protection - ICRP).

Τα ημιεμπειρικά μοντέλα μπορούν να εφαρμοστούν μόνο για τις συνθήκες κάτω από τις οποίες προέκυψαν τα πειραματικά δεδομένα. Υπό τις δεδομένες συνθήκες ωστόσο θεωρούνται πιο αξιόπιστα από τα μηχανιστικά καθώς λόγω της στατιστικής τους φύσης λαμβάνουν υπόψη όλους τους μηχανισμούς που επιδρούν στα σωματίδια.

Από την άλλη πλευρά τα μηχανιστικά μοντέλα προσομοιώνουν κάθε μηχανισμό εναπόθεσης σωματιδίων χωριστά και επιλύουν εξισώσεις μεταφοράς σωματιδίων για τον προσδιορισμό της εναποτιθέμενης δόσης. Αν και η δυναμική των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα καθορίζονται από πολλούς μηχανισμούς όπως η βαρυτική καθίζηση, καθίζηση λόγω διάχυσης, ανάσχεση και ενσφήνωση, θερμοφόρεση[3], ηλεκτροστατική καθίζηση, συσσωμάτωση, συμπύκνωση και πυρηνοποίηση τα μοντέλα δεν λαμβάνουν υπόψη όλους τους παραπάνω μηχανισμούς στον υπολογισμό της εναπόθεσης των σωματιδίων. Άλλες αδυναμίες κάποιων μηχανιστικών μοντέλων είναι πως δεν λαμβάνουν υπόψη την επίδραση των τοιχωμάτων των αεραγωγών και του στρώματος σωματιδίων που ήδη έχουν αποτεθεί εκεί, την επίδραση των δευτερευόντων αντίστροφων ρευμάτων ροής που δημιουργούνται στις διακλαδώσεις

---

[3] Η θερμοφόρεση είναι η κίνηση ενός σωματιδίου από ασύμμετρες δυνάμεις που ανακύπτουν από μια θερμοκρασιακή διαβάθμιση. Η ασυμμετρικές δυνάμεις προκαλούνται από τις ενεργητικές συγκρούσεις μορίων του αέρα με το σωματίδιο και οι οποίες είναι περισσότερες στη θερμή περιοχή αυτού από ότι στην πιο ψυχρή περιοχή. Η ασυμμετρία αυτή είναι πολύ αδύναμη, αλλά η κινητικότητα που αποκτούν τα σωματίδια είναι αρκετά μεγάλη ώστε να κάνει αυτή τη μέθοδο σημαντική. (Colls, 2002)

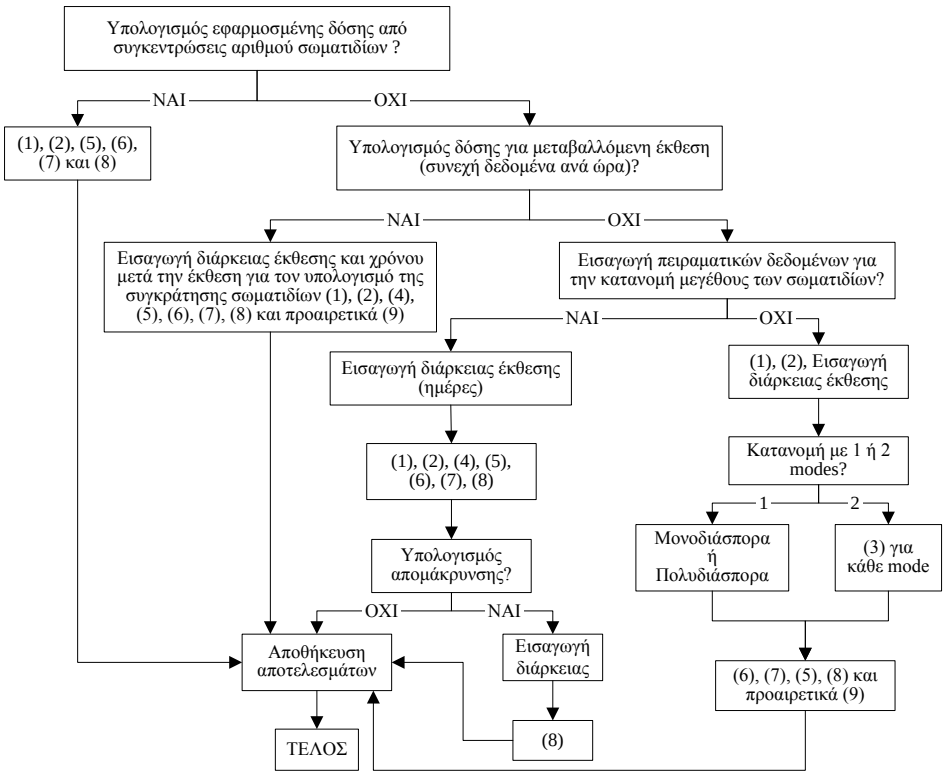
του αναπνευστικού. Η σημαντικότερη ίσως αδυναμία για την πρακτική εφαρμογή τους είναι πως δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνθήκες μεταβαλλόμενης συγκέντρωσης έκθεσης ή παραμέτρων φυσιολογίας (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

5.2 Περιγραφή του μοντέλου ExDoM

Το μοντέλο ExDoM αναπτύχθηκε για τον καθορισμό της δόσης[4] σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα και της συσσώρευσης-κατακράτησης τους σε αυτό μετά από συγκεκριμένο χρόνο. Η εναπόθεση σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα (ΑΑΣ) υπολογίζεται με τη βοήθεια των ημιεμπειρικών εξισώσεων που προτείνονται στο μοντέλο του αναπνευστικού συστήματος (HRTM) της διεθνούς υπηρεσίας ακτινοπροστασίας (ICRP). Έτσι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έκθεση σε ινώδη σωματίδια ή σε χαλαζία. Μπορεί να εφαρμοστεί για σωματίδια μονοδιάσπορα (σωματίδια ενός μεγέθους) και πολυδιάσπορα (σωματίδια με εύρος μεγέθους) με τιμές μέσης ισοδύναμης αεροδυναμικής διαμέτρου μάζας που κυμαίνονται από 0,001μm έως 100μm.

Το μοντέλο υπολογίζει την εφαρμοσμένη και εσωτερική δόση αιωρούμενων σωματιδίων και συστατικών τους λαμβάνοντας ως δεδομένα εισόδου τις συνθήκες έκθεσης και τα χαρακτηριστικά του εκτεθειμένου ατόμου. Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης παρέχει στο μοντέλο τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων κατά την έκθεση και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων. Η έκθεση μπορεί να επιλεγεί ως στιγμιαία ή χρόνια οπότε και ζητείται η διάρκεια της. Επιπλέον ο χρήστης εισάγει την δραστηριότητα/δραστηριότητες του εκτεθειμένου ατόμου κατά την έκθεση οι οποίες και καθορίζουν τις παραμέτρους φυσιολογίας του ατόμου ή εναλλακτικά τιμές για αυτές τις παραμέτρους. Το αποτέλεσμα δίνεται υπό την μορφή αρχείων με πίνακες της εναποτιθέμενης και εσωτερικής δόσης σωματιδίων σε κάθε τμήμα του αναπνευστικού συστήματος αλλά και της ποσότητας που έχει μεταφερθεί σε άλλα όργανα του ανθρώπινου σώματος. Το διάγραμμα ροής του μοντέλου ExDoM δίνεται στην εικόνα 4 ενώ στην εικόνα 5 συνοψίζονται τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου καθώς και τα αποτελέσματα του μοντέλου (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

[4] Δόση ορίζεται ως η ποσότητα ενός χημικού που απορροφάται από έναν οργανισμό και είναι διαθέσιμη να αλληλεπιδράσει με τις διεργασίες του μεταβολισμού (Koren, 2005).



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
(1) : Επιλογή εκτεθειμένου ατόμου, τρόπου εισπνοής, δραστηριότητας, ταχύτητας ανέμου
(2) : Εισαγωγή των χαρακτηριστικών των σωματιδίων (πυκνότητα, συντελεστής σχήματος)
(3) : Εισαγωγή των χαρακτηριστικών των σωματιδίων (μέση αεροδυναμική διάμετρος μάζας, τυπική απόκλιση)
(4) : Βρίσκει τα χαρακτηριστικά της κατανομή μεγέθους των σωματιδίων
(5) : Εισαγωγή συγκεντρώσεων
(6) : Υπολογισμός της θερμοδυναμικής διαμέτρου και του συντελεστή διάχυσης
(7) : Υπολογισμός των ποσοστών εναπόθεσης στο αναπνευστικό σύστημα
(8) : Υπολογισμός δόσης
(9) : Υπολογισμός συγκράτησης

Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής του μοντέλου ExDoM (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

<u>**Δεδομένα εισόδου**</u>	<u>**Αποτελέσματα**</u>
Συγκέντρωση έκθεσης **Χαρακτηριστικά αιωρούμενων σωματιδίων:** ▪ φυσικά (χαρακτηριστικά της κατανομής μεγέθους, σχήμα, πυκνότητα) ▪ χημικά (σύσταση) χαρακτηριστικά **Προφίλ δραστηριοτήτων**, δηλαδή πληροφορίες για την διάρκεια παραμονής σε διαφορετικά περιβάλλοντα και τον χρόνο εκτέλεσης συγκεκριμένων δραστηριοτήτων με τιμές για το αντίστοιχο επίπεδο άσκησης **Χαρακτηριστικά εκτεθειμένου ατόμου**: ▪ Παράμετροι φυσιολογίας του αναπνευστικού, ▪ Επίπεδο άσκησης για διαφορετικές δραστηριότητες και περιβάλλοντα έκθεσης (κατηγοριοποιημένο σε ήπια εργασία, κοπιαστική εργασία, ανάπαυση, ύπνος, ή άλλο καθορισμένο από τον χρήστη), και ▪ Άλλα: Τρόπος εισπνοής (μύτη, στόμα), φύλλο, ηλικία	**Έκθεση** **Δόση:** ▪ Ολικό και τοπικό κλάσμα εναπόθεσης των εισπνεόμενων σωματιδίων ▪ Προφίλ εφαρμοσμένης ολικής και τοπικής δόσης κατά την διάρκεια της έκθεσης **Παραμονή/Συγκράτηση (**κατά την έκθεση και μετά**):** ▪ συγκράτηση σωματιδίων (εσωτερική δόση) στην τραχεοβρογχική και κυψελιδική περιοχή των πνευμόνων, τις λέμφους και μάζα σωματιδίων που μεταφέρεται στο αίμα και το γαστροεντερικό σύστημα

Εικόνα 4 Δεδομένα εισόδου και αποτελέσματα του μοντέλου ExDoM (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

Το μοντέλο ExDoM έχει σχεδιαστεί για τον υπολογισμό της έκθεσης, δόσης και συσσώρευσης σωματιδίων στο ΑΑΣ κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το πέρας της έκθεσης για συνθήκες μεταβαλλόμενης έκθεσης. Ο υπολογισμός της εναπόθεσης σωματιδίων στο ΑΑΣ γίνεται βάσει της προσέγγισης ICRP66 με τη βοήθεια ημιεμπειρικών εξισώσεων ενώ ο καθαρισμός των σωματιδίων από το ΑΑΣ με την προσέγγιση των Gradon κ.α. (1996). Οι δύο προσεγγίσεις συνδυάστηκαν στο μοντέλο ExDoM και επιπλέον έγινε επέκταση τους για τον ταυτόχρονο υπολογισμό της έκθεσης, της εφαρμοσμένης και της εσωτερικής δόσης για διάφορες κατανομές σωματιδίων απ' ευθείας από πειραματικά δεδομένα (συγκέντρωσης μάζας, αριθμού, κατανομής μάζας σωματιδίων). Επιπλέον το μοντέλο μπορεί να υπολογίσει έμμεσα την εναπόθεση και τον καθαρισμό από το ΑΑΣ για τα χημικά συστατικά των σωματιδίων που είναι πολύ σημαντικό για την μελέτη των επιπτώσεων στην υγεία από αιωρούμενα σωματίδια. Το πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί στη γλώσσα προγραμματισμού Fortran 90 και λειτουργεί σε περιβάλλον Windows σε command prompt (απαιτήσεις: το ελάχιστο 5MB αποθηκευτικού χώρου για τα αρχεία εξόδου). Συστήνεται η χρήση του σε υπολογιστή με γρήγορη CPU και μνήμη RAM για ταχύτερη εξαγωγή των αποτελεσμάτων της εσωτερικής δόσης.

Το μοντέλο ExDoM έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να λειτουργεί διαδραστικά. Έτσι κατά την λειτουργία του ο χρήστης καλείται να επιλέξει από προκαθορισμένες τιμές τις επιθυμητές τιμές παραμέτρων, να εισάγει τα ονόματα των απαραίτητων αρχείων για την εφαρμογή και να καθορίσει τη ροή του προγράμματος (παρουσιάστηκε στο σχήμα της εικόνας 4).

Οι δυνατότητες του μοντέλου ExDoM να προσομοιώνει τους μηχανισμούς εναπόθεσης και καθαρισμού σωματιδίων από το αναπνευστικό σύστημα σχετίζονται με την ορθότητα και εγκυρότητα του θεωρητικού μοντέλου της ICRP που υλοποιείται. Το μοντέλο αυτό έχει ελεγχθεί με πειραματικές μετρήσεις και προσομοιώσεις ετών και η ορθότητα του δεν εξετάζεται. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί πως όσο αφορά την εναπόθεση έχει βρεθεί ότι το μοντέλο θεωρεί τους αεραγωγούς του αναπνευστικού συστήματος ως ευθείες και δεν υπολογίζει με ακρίβεια την απόθεση στις διακλαδώσεις ως αποτέλεσμα της καμπυλότητας των αγωγών (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010) .

6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

6.1 Πεδίο δειγματοληψίας

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε εσωτερικό χώρο του εργοστασίου μηχανικής ανακύκλωσης και κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ.) του Καλλικρατικού Δήμου Χανίων (πρώην Δήμου Ακρωτηρίου), στην περιοχή Κουρουπητός, ΒΑ του κρατικού αερολιμένα Χανίων.

Το εργοστάσιο σήμερα διαχειρίζεται από τη ΔΕΔΙΣΑ Α.Ε. (ΟΤΑ) η οποία είναι Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦοΔΣΑ) με έτος ίδρυσης το 1993. Μετατράπηκε σε ανώνυμη εταιρεία (ΟΤΑ) το 2009 και διοικείται από Γενική Συνέλευση με μετόχους τους δήμους που μισθώνουν ουσιαστικά τις υπηρεσίες της. Να σημειωθεί επίσης ότι η λειτουργία του εργοστασίου γίνεται σε πενθήμερη βάση. (ΔΕΔΙΣΑ, 2012)

Ο χώρος που επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή των μετρήσεων είναι η αίθουσα χειροδιαλογής του ανακυκλώσιμου υλικού. Είναι μια μακρόστενη αίθουσα διαστάσεων 33m x 12m στην οποία υπάρχουν δύο ταινίες μεταφοράς αποβλήτων. Η πρώτη ταινία δέχεται 40 τόνους ανακυκλώσιμων υλικών ημερησίως και λειτουργεί συνεχώς από τις 6.30 το πρωί έως τις 21.00 το βράδυ. Το προσωπικό που απασχολείται σε αυτήν την ταινία είναι 28 άτομα επιφορτισμένα με το καθήκον να διαχωρίζουν τα υλικά που διέρχονται από μπροστά τους και να τα προωθούν σε κατάλληλες ταινίες συγκέντρωσης αυτών. Υπάρχουν δύο βάρδιες γι' αυτήν την εργασία. Η πρώτη αποτελείται από 14 άτομα προσωπικού που έχουν ως ώρα εκκίνησης της βάρδιάς τους τις 6.30 το πρωί και ώρα λήξης αυτής τις 14.30 το μεσημέρι, με ένα διάλειμμα διάρκειας μισής ώρας στις 9.45. Η δεύτερη βάρδια αποτελείται πάλι από 14 άτομα προσωπικού με ώρα εκκίνησης τις 14.30, ένα διάλειμμα μισής ώρας στις 17.30 και αναχώρηση στις 21.30. Το διάστημα 21.00 με 21.30 λαμβάνει χώρα καθαρισμός του χώρου.

Η δεύτερη ταινία χρησιμεύει στη μεταφορά ογκωδών αντικειμένων ποσότητας 100 τόνων ημερησίως από το ρεύμα των σύμμεικτων αποβλήτων με αποτέλεσμα να υπάρχει η παρουσία οργανικού υλικού παράλληλα με το ανακυκλώσιμο. Λειτουργεί μόνο από την έναρξη λειτουργίας του εργοστασίου (6.30) έως το διάστημα μεταξύ 10.30 και 11.00. Σε αυτή τη διαδικασία απασχολείται ένα άτομο το οποίο στη συνέχεια μεταβαίνει στη γραμμή της ανακύκλωσης έως το τέλος της βάρδιας στις 14.30.

Εικόνα 5 Άποψη της αίθουσας χειροδιαλογής.

Η εικόνα 5 είναι απεικόνιση της χειροδιαλογής κατά την ώρα λειτουργίας της ταινίας ανακύκλωσης. Στα δεξιά διακρίνεται τμήμα της ταινίας του σύμμεικτου απορρίμματος.

Οι τιμές συγκέντρωσης μάζας ΑΣ που προκύπτουν κατά την απουσία του προσωπικού από τις ταινίες μετά το πέρας της δεύτερης βάρδιας και πριν την αρχή της πρώτης βάρδιας χρησιμεύουν στη διαμόρφωση του προφίλ της συγκέντρωσης υποβάθρου μέσα στην αίθουσα.

Η επιλογή έγινε λόγω του ότι πέραν από το γεγονός ότι η ποιότητα του αέρα είναι σχετικά επιβαρυμένη σε πολλούς χώρους του εργοστασίου, υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση προσωπικού σε αυτόν τον χώρο με αυξημένη χρονική διάρκεια παραμονής (7ώ. και 30λ. και 6ώ. και 30λ. για την κάθε βάρδια αντίστοιχα). Να σημειωθεί τέλος ότι στην αίθουσα λειτουργεί εξαερισμός τα συστήματα του οποίου βρίσκονται επάνω από την κάθε ταινία καθώς και φυσικός αερισμός ο οποίος πραγματοποιείται με φυσική ροή του αέρα από τα ανοικτά παράθυρα και πόρτες της αίθουσας.

6.2 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν

Στην παρούσα πειραματική διαδικασία το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το DustTrak Aerosol Monitor Model 8520 και το λογισμικό με το οποίο οι μετρήσεις

μεταφέρθηκαν σε επεξεργάσιμη μορφή έγινε με το πρόγραμμα TRAKPRO Data Analysis Software της εταιρείας TSI. Διαθέτει έναν αισθητήρα σκέδασης φωτός στις 90° και δίοδο laser, εύρος 0,001-100 mg/m^3, σταθερότητα μηδενισμού ±0,001mg/m^3 για 24 ώρες χρησιμοποιώντας χρονική σταθερά 10 δευτερολέπτων (TSI, 2005).

6.2.1 Γενικά

Το DustTrak διαθέτει 4 καταστάσεις (modes) λειτουργίας: Survey, LOG1, LOG2, LOG3. Μόλις η συσκευή τεθεί σε λειτουργία θα βρίσκεται σε κατάσταση Survey, η οποία χρησιμοποιείται για να εμφανίζει στην οθόνη real-time ενδείξεις και να προσδιορίζει στατιστικά στοιχεία όπως η μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή. Η LOG1 καταγράφει δεδομένα για μετέπειτα ανάλυση χρησιμοποιώντας ένα σταθερό πρωτόκολλο, ενώ οι LOG2 και LOG3 λειτουργίες πραγματοποιούν την ίδια διεργασία μέσω ενός πρωτοκόλλου που καθορίζεται από το χρήστη. Το λογισμικό TRAKPRO χρησιμοποιείται για ανάλυση των δεδομένων που αποκτήθηκαν μέσω των LOG modes, αλλά όχι σε δείγματα από την κατάσταση Survey (TSI, 2005).

.

6.2.2 Οδηγίες λήψης μετρήσεων

Προετοιμασία οργάνου (Διαδικασία βαθμονόμησης και τοποθέτηση κεφαλής)

- *Βαθμονόμηση (μηδενισμός) οργάνου*

Το DUSTTRAK απαιτείται να βαθμονομείται κάθε μέρα, πριν από εκτενείς μετρήσεις και έπειτα από μια σημαντική περιβαλλοντική αλλαγή που θα υποστεί το όργανο όπως μετακίνηση από περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις σε περιβάλλον με χαμηλές και αλλαγές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που υπερβαίνουν τους 8 ^oC.

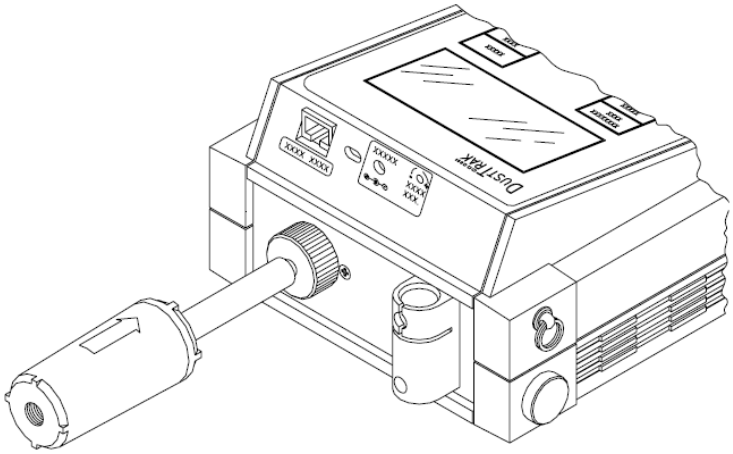
Επίσης η TSI παρέχει ένα χρονοδιάγραμμα με βάση το οποίο θα έπρεπε να εκτελείται συντήρηση στα διάφορα μέρη του οργάνου.

Πίνακας 3 Χρονοδιάγραμμα συντήρησης DustTrak (TSI, 2005).

Αντικείμενο	Συχνότητα
Μηδενισμός	Καθημερινά (ή πριν από διαρκή τεστ)
Καθαρισμός κεφαλής 10 μm	350hr. στα 1 mg/m^3
Αντικατάσταση εσωτερικών φίλτρων	700hr. στα 1 mg/m^3 *
Επιστροφή στο εργοστάσιο για καθαρισμό και βαθμονόμηση	Ετήσιο*

* Όταν χρειάζεται να γίνει αλλαγή φίλτρων ή καθαρισμός του σωλήνα δειγματοληψίας, εμφανίζεται στην οθόνη το μήνυμα «SERVICE 4» ή «SERVICE 5»

Για το μηδενισμό του οργάνου στο εργαστήριο χρειάζεται αυτό να λειτουργεί σε κατάσταση Survey. Τοποθετούμε το φίλτρο μηδενισμού όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα και πιέζουμε συνεχώς το κουμπί TIME CONSTANT έως ότου αναβοσβήσει η ένδειξη "10" οπότε και αφήνουμε. Περιμένουμε 10-60 δευτερόλεπτα ώστε η ένδειξη να σταθεροποιηθεί στο μηδέν με αποδεκτό εύρος μεταξύ -0.001 και +0.001 mg/m^3. Σε διαφορετική περίπτωση πιέζουμε σταθερά το κουμπί CALIBRATE και περιμένουμε η αντίστροφη μέτρηση που εμφανίζεται στην οθόνη να φτάσει στο μηδέν, οπότε και απελευθερώνουμε αμέσως. Έτσι εμφανίζεται το μήνυμα "CALIBRATE ZERO" και πατώντας το κουμπί SAMPLE ξεκινά μια αντίστροφη μέτρηση 60 δευτερολέπτων. Όταν ολοκληρωθεί κι αυτή η μέτρηση θα εμφανίζεται η τρέχουσα σταθερά βαθμονόμησης. Πιέζουμε το CALIBRATE ξανά και επιστρέφουμε σε κατάσταση Survey. Έτσι η διαδικασία μηδενισμού του οργάνου έχει ολοκληρωθεί (TSI, 2005).

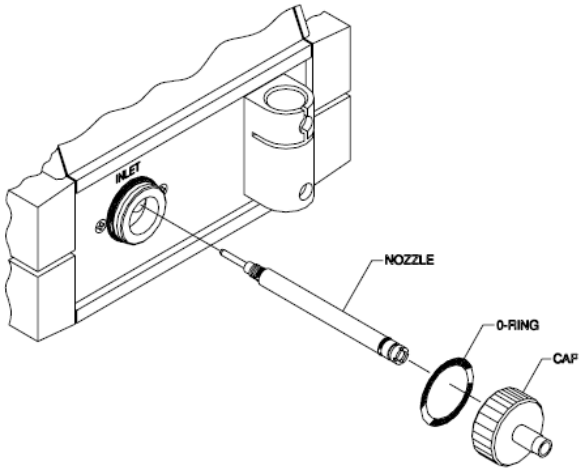


Εικόνα 6 Έλεγχος μηδενισμού του DustTrak (TSI, 2005).

- *Καθαρισμός και τοποθέτηση της κεφαλής των 10μm*

Η κεφαλή των 10μm χρειάζεται να καθαρίζεται τακτικά είτε όπως αναφέρεται στο παραπάνω χρονοδιάγραμμα είτε όταν υπάρχει αλλαγή από πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε χαμηλές. Όταν χρειάζεται καθαρισμός της κεφαλής θα εμφανίζεται το μήνυμα "SERVICE 4" κατά την ενεργοποίηση του οργάνου. Για τον καθαρισμό πρέπει να βρισκόμαστε σε ένα σχετικά καθαρό περιβάλλον (συγκέντρωση aerosol κάτω από 0.1mg/m^3). Ενώ το όργανο είναι απενεργοποιημένο αφαιρούμε την κεφαλή και το O-ring (βλέπε Εικόνα 7) το οποίο συνήθως μένει μέσα σε αυτήν. Κατόπιν χρησιμοποιούμε το μεταλλικό εργαλείο αφαίρεσης του σωλήνα δειγματοληψίας ώστε να τον ξεβιδώσουμε από το εσωτερικό της εισόδου του οργάνου. Με το αγκίστρι αυτού του εργαλείου τραβάμε το σωλήνα έξω και καθαρίζουμε με μια βαμβακερή μπατονέτα το εσωτερικό τμήμα της εισόδου του οργάνου, την κεφαλή, το O-ring και τα άκρα του σωλήνα. Η μπατονέτα μπορεί να εμβαπτιστεί σε νερό ή σε ελαφρύ διαλύτη (ισοπροπανόλη). Το εσωτερικό μπορεί επίσης να καθαριστεί με τη βούρτσα

που παρέχεται μαζί με ένα ελαφρύ διαλύτη. Στεγνώνουμε το σωλήνα φυσώντας με συμπιεσμένο αέρα ή αφήνοντάς τον να στεγνώσει καλά. Επανατοποθετούμε τα μέρη του οργάνου και πραγματοποιούμε μηδενισμό. Ο καθαρισμός έχει ολοκληρωθεί (TSI, 2005).



Εικόνα 7 Προβολή της συναρμολόγησης της εισόδου (TSI, 2005).

Λειτουργία οργάνου

Βήμα 1: ON/OFF

Εφόσον βεβαιωθούμε ότι το όργανο είναι συνδεδεμένο με κάποια πηγή ρεύματος, πατάμε το κουμπί ON/OFF ώστε να εκκινήσει αυτό να λειτουργεί. Το DUSTTRAK monitor αμέσως ξεκινάει έναν εσωτερικό έλεγχο ο οποίος κρατά περίπου 10 δευτερόλεπτα και κατόπιν εισέρχεται σε κατάσταση Survey.

Βήμα 2: TIME CONSTANT

Την πρώτη φορά που θα χρειαστεί να πάρομε μια μέτρηση πατούμε στιγμιαία το κουμπί TIME CONSTANT ώστε να δούμε την τρέχουσα χρονική σταθερά. Για να την αλλάξουμε πιέζουμε συνεχόμενα το κουμπί έως ότου δούμε στην οθόνη την επιθυμητή ένδειξη, οπότε και αφήνουμε το κουμπί ελεύθερο.

Η χρονική σταθερά είναι μια περίοδος εξαγωγής μέσου όρου. Δηλαδή ενώ το όργανο προβάλει ενδείξεις κάθε δευτερόλεπτο, η κάθε ένδειξη αποτελεί το μέσο όρο της τελευταίας περιόδου. Οι διαθέσιμες χρονικές περίοδοι όπως διαμορφώνονται από το εργοστάσιο είναι 1, 5, 10, 15 ,30 δευτερόλεπτα.

Βήμα 3: SAMPLING MODE

Στη συνέχεια πατούμε το κουμπί SAMPLING MODE το οποίο μας επιτρέπει να επιλέξουμε μια από τις 4 καταστάσεις λειτουργίας. Στην επιλογή Survey εμφανίζεται η τρέχουσα μέτρηση στην οθόνη. Στις επιλογές LOG μαζί με τη μέτρηση εμφανίζεται

σταθερά η κατάσταση η οποία είναι επιλεγμένη (δηλαδή LOG 1, LOG 2, LOG 3) μαζί με το ποσοστό της διαθέσιμης μνήμης του οργάνου.

Βήμα 4: LOGGING INTERVAL

Επίσης την πρώτη φορά που πραγματοποιείται μέτρηση, κατόπιν της επιλογής LOG 1, ρυθμίζουμε το διάστημα καταγραφής μετρήσεων. Το διάστημα καταγραφής μετρήσεων καθορίζει τη συχνότητα καταγραφής δεδομένων στην εκάστοτε κατάσταση λειτουργίας. Για να ρυθμιστεί αυτή η παράμετρος πατούμε στιγμιαία το κουμπί LOGGING INTERVAL ώστε να δούμε το τρέχον διάστημα. Κατόπιν πιέζοντας συνεχώς το κουμπί το ίδιο κουμπί έως ότου εμφανιστεί η επιθυμητή παράμετρος.

Εκτός από συχνότητα καταγραφής αποτελεί και περίοδο εξαγωγής μέσου όρου. Δηλαδή σε περίπτωση περιόδου 30 λεπτών, οι μετρήσεις θα καταγράφονται κάθε 30 λεπτά και κάθε μέτρηση θα αποτελεί τη μέση τιμή που μετρήθηκε σε ένα διάστημα 30 λεπτών. Τα προκαθορισμένα διαστήματα που διαθέτει το όργανο είναι 1 δευτερόλεπτο, 1 λεπτό, 5 λεπτά, 15 λεπτά και 30 λεπτά.

Βήμα 5: SAMPLE

Αφού ολοκληρώσουμε όλες τις παραπάνω διαδικασίες, πατώντας μια φορά το κουμπί SAMPLE το όργανο εκκινεί τη διαδικασία της καταγραφής των μετρήσεων.

(TSI, 2005)

6.3 Διαδικασία δειγματοληψίας

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων γινόταν, κάθε φορά πριν από την τοποθέτηση του οργάνου στο χώρο δειγματοληψίας, καθαρισμός της κεφαλής των 10μm, του σωλήνα δειγματοληψίας καθώς και μηδενισμός του οργάνου.

Κατόπιν το όργανο τοποθετούνταν εντός της αίθουσας χειροδιαλογής του ΕΜΑΚ στο πλησιέστερο δυνατό σημείο προς τους εργαζόμενους, αλλά πρωτίστως σε ασφαλές και σταθερό σημείο για το ίδιο το όργανο. Λόγω του μεγέθους της αίθουσας και της κατανομής των εργατών στην ταινία χειροδιαλογής, το όργανο δεν ήταν δυνατό να βρίσκεται κοντά στο σύνολο των εργατών. Επιπλέον σταθερά σημεία στήριξης, τα οποία να μην αποτελούν συχνό πέρασμα του προσωπικού αλλά και η τροφοδοσία του οργάνου να μην παρεμποδίζει τις διεργασίες που τελούνταν στο χώρο αυτό της εγκατάστασης, βρίσκονταν σε απόσταση 4 μέτρων από την ταινία χειροδιαλογής και 1 μέτρου από την ταινία για το σύμμεικτο.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε time constant ενός δευτερολέπτου σε λειτουργία LOG1. Λόγω του ότι το όργανο κατέγραφε σε 24-ωρη βάση για 3 έως 4 ημέρες συνεχόμενα, επιλέχθηκε το διάστημα των 5 λεπτών ως

καταλληλότερο για την καταγραφή και μετέπειτα επεξεργασία των μετρήσεων. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις στο χώρο των μετρήσεων δημιουργούσαν την ανάγκη συχνής βαθμονόμησης του οργάνου. Γι' αυτό τηρούταν το συγκεκριμένο διάστημα στο τέλος του οποίου το όργανο επέστρεφε στο εργαστήριο ώστε να γίνουν οι απαραίτητοι καθαρισμοί.

Η περίοδος των μετρήσεων αφορά κυρίως τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για αυτούς τους μήνες είναι για τα έτη 2011 και 2012. Επίσης υπάρχουν και μετρήσεις κατά την περίοδο του Ιουλίου του 2010. Οι ημέρες διεξαγωγής των μετρήσεων επιλέχθηκαν τυχαία και τελικά καταγράφηκαν μετρήσεις ικανές να περιγράψουν έναν εργάσιμο μήνα, ήτοι 22 εργάσιμες ημέρες εντός ενός ημερολογιακού μήνα 30 ημερών. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αριθμό ήταν πολλές περισσότερες από τις απαιτούμενες. Παρόλαυτα διάφορες δυσλειτουργίες στο πεδίο (πτώση τάσης ρεύματος, χοντρά συσσωματώματα στην είσοδο του οργάνου, βλάβη του οργάνου κ.α.) οδήγησαν όχι μόνο στην παραπάνω αύξηση, αλλά και στην παράταση της περιόδου των μετρήσεων.

7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7.1Εισαγωγή

Στόχος αυτής της επεξεργασίας είναι η κατασκευή του προφίλ της διακύμανσης της συγκέντρωσης των ΑΣ στην αίθουσα της χειροδιαλογής κατά τις ώρες που βρίσκεται εργατικό προσωπικό σε αυτήν και έπειτα η παράθεση διαπιστώσεων αναφορικά με τα αποτελέσματα αυτά. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στην εκτέλεση του ExDoM, του οποίου τα αποτελέσματα θα σχολιαστούν επίσης.

Αρχικά όμως τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις στην αίθουσα χειροδιαλογής του ΕΜΑΚ θα παρουσιαστούν σε πίνακες και κατόπιν σε διαγράμματα απεικόνισης της διάμεσου τιμής (median), μέγιστης και ελάχιστης όπως προέκυψαν αυτές από την επεξεργασία των δεδομένων σε λογισμικό επεξεργασίας φύλλων δεδομένων, τόσο για ένα πλήρες εικοσιτετράωρο στην αίθουσα όσο και για κάθε βάρδια ξεχωριστά. Δηλαδή από το σύνολο των 22 ημερών που περιλαμβάνουν ενδείξεις του οργάνου ανά 5 λεπτά, εξήχθησαν οι διάμεσοι, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές για κάθε ένα διάστημα 5 λεπτών ξεχωριστά. Επίσης ως πίνακας και διάγραμμα θα υπάρχει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο απασχολείται η κάθε βάρδια και επιπλέον η περίοδος κατά την οποία δε λειτουργούν οι γραμμές (21.30 - 06.30 της επομένης) ώστε να αποτυπωθεί η συγκέντρωση υποβάθρου.

Η επιλογή της διαμέσου έναντι του μέσου όρου έγινε λόγω των μεγάλων αποκλίσεων στις τιμές που καταγράφηκαν στις διάφορες μέρες των μετρήσεων και αφορούσαν το ίδιο χρονικό διάστημα. Ο αριθμητικός μέσος όρος και συχνά αντικαθιστάται από την διάμεσο (median). Για συμμετρικές κατανομές όπως η κανονική κατανομή, η μέση τιμή και η διάμεσος θα έχουν την ίδια τιμή που είναι η διάμεσος που διέρχεται από τον άξονα συμμετρίας της κατανομής. Η κατανομή των δεδομένων είτε στατιστικών είτε από μετρήσεις συχνά αποκλίνει από την κανονική κατανομή και η διάμεσος έχει την ιδιότητα να μην επηρεάζεται από εξαιρετικά μεγάλες ή μικρές τιμές (Hinds, 1999; EMEP, 2001).

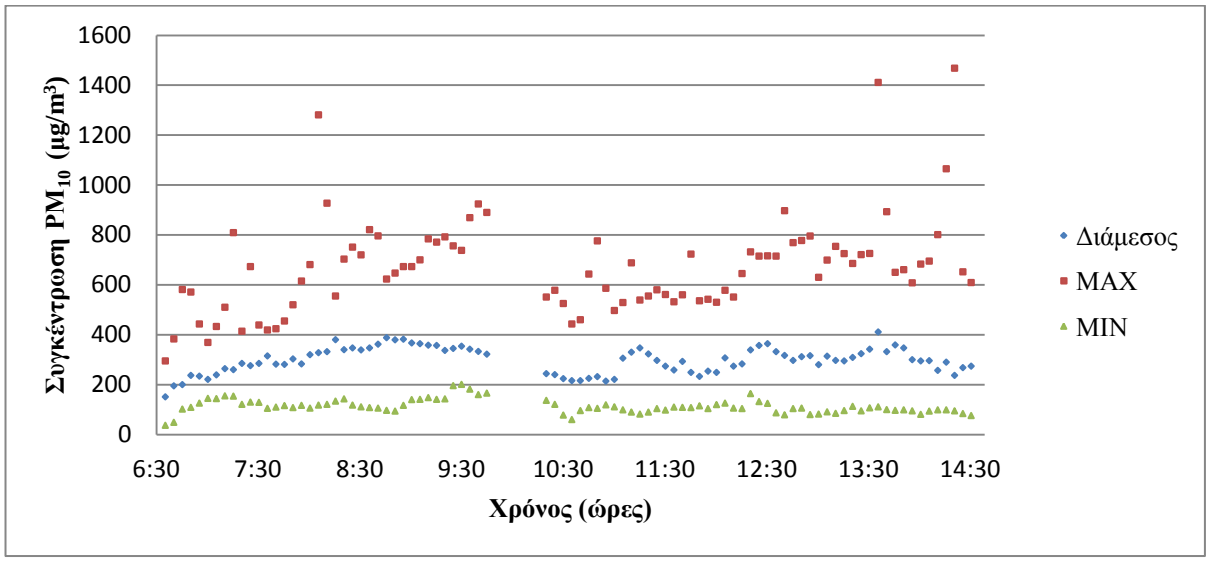
7.2 Ανάλυση Πειραματικών Δεδομένων

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν οι πίνακες των δεδομένων που προέκυψαν κατόπιν υπολογισμών σε πρόγραμμα επεξεργασίας φύλλων δεδομένων. Στους πίνακες αυτούς βρίσκονται τα δεδομένα σε συγκεντρώσεις PM_{10} όπου αποτυπώνεται η διάμεσος (median), η μέγιστη (MAX) και η ελάχιστη (MIN) τιμή ανά χρονικά διαστήματα 5 λεπτών. Κάτω από κάθε πίνακα βρίσκεται το αντίστοιχο γράφημα καθώς και ο σχολιασμός τους με κάποια πρώτα συμπεράσματα. Οι μετρήσεις του οργάνου βάσει των οποίων υπολογίστηκαν οι παρακάτω τιμές αφορούν

22 ημέρες μετρήσεων για τις οποίες υπάρχουν επαρκή δεδομένα τόσο για τις 2 βάρδιες, όσο και για τις περιόδους μη λειτουργίας της γραμμής χειροδιαλογής.

Πίνακας 4 Διάμεσος της συγκέντρωσης των ΑΣ PM_{10} για την 1η βάρδια.

Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3			Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3			Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3		
	MEDIAN	MAX	MIN		MEDIAN	MAX	MIN		MEDIAN	MAX	MIN
6:35	151	295	37	9:05	364	700	141	12:05	307	578	126
6:40	195	383	49	9:10	358	784	148	12:10	274	551	106
6:45	200	581	102	9:15	357	771	141	12:15	283	645	104
6:50	237	571	109	9:20	337	792	143	12:20	339	732	164
6:55	234	443	126	9:25	345	756	196	12:25	357	715	132
7:00	221	369	145	9:30	354	738	201	12:30	364	716	125
7:05	239	433	144	9:35	342	869	182	12:35	332	715	87
7:10	264	510	155	9:40	333	924	160	12:40	317	897	79
7:15	260	809	154	9:45	322	890	166	12:45	297	769	104
7:20	285	414	121	10:20	244	551	137	12:50	312	778	106
7:25	276	673	130	10:25	240	578	121	12:55	316	796	80
7:30	285	439	129	10:30	224	525	78	13:00	280	630	82
7:35	315	419	105	10:35	216	443	60	13:05	314	699	91
7:40	282	424	110	10:40	216	460	96	13:10	297	754	85
7:45	281	455	116	10:45	225	643	108	13:15	295	725	96
7:50	303	520	108	10:50	232	776	105	13:20	309	686	113
7:55	283	615	117	10:55	214	586	119	13:25	324	721	95
8:00	320	681	106	11:00	221	497	111	13:30	342	726	107
8:05	328	1281	118	11:05	306	529	99	13:35	411	1411	111
8:10	332	927	121	11:10	330	688	90	13:40	332	893	100
8:15	380	555	134	11:15	347	539	82	13:45	359	650	97
8:20	340	703	143	11:20	323	555	90	13:50	347	661	99
8:25	347	751	118	11:25	297	580	104	13:55	300	608	95
8:30	339	720	111	11:30	274	561	98	14:00	295	683	81
8:35	347	821	108	11:35	259	532	110	14:05	296	695	94
8:40	362	796	106	11:40	293	560	109	14:10	257	801	99
8:45	388	623	97	11:45	249	723	108	14:15	290	1065	99
8:50	380	647	94	11:50	233	536	115	14:20	237	1468	95
8:55	382	673	117	11:55	254	542	104	14:25	268	652	84
9:00	367	673	140	12:00	249	530	120	14:30	274	609	76

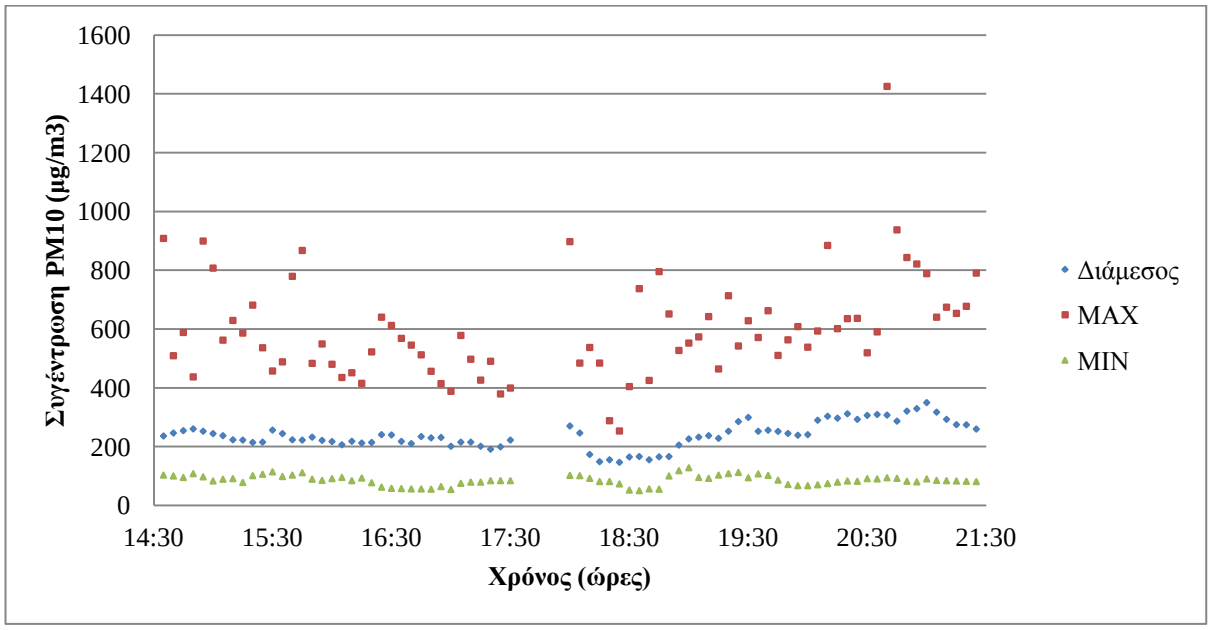


Διάγραμμα 3 Διάμεσος, μέγιστη και ελάχιστη τιμή της συγκέντρωσης ΑΣ PM_{10} για την 1η βάρδια.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρεί κανείς τις σχετικά μεγάλες διακυμάνσεις που παρουσιάζουν οι μέγιστες τιμές της συγκέντρωσης των PM_{10} και που φτάνουν να ξεπερνούν τα 1400 μg/m^3. Από την άλλη παρατηρούμε τις τιμές της διάμεσου να αυξάνονται σταδιακά από την έναρξη της λειτουργίας της γραμμής χειροδιαλογής και για λίγο περισσότερο από την πρώτη ώρα λειτουργίας αυτής. Μετά από το διάλειμμα οι συγκεντρώσεις φαίνεται να έχουν μειωθεί και σε σχέση με τις συγκεντρώσεις πριν τη βάρδια να παραμένουν σχετικά χαμηλότερα χωρίς πολύ μεγάλη διαφορά. Αυτό ίσως να οφείλεται στην παύση λειτουργίας της γραμμής του σύμμεικτου. Παρόλαυτα φαίνεται πως έως και το τέλος της βάρδιας οι συγκεντρώσεις δεν έχουν μειωθεί σημαντικά ενώ μετά την πρώτη ώρα από το διάλειμμα, η καμπύλη της διαμέσου αποκτά τη μορφή μιας περιοδικής ημιτονοειδούς συνάρτησης με συνεχείς αυξομειώσεις, καταλήγοντας σε σχετικά σταθερές συγκεντρώσεις προς το τέλος της βάρδιας. Η καμπύλη για τις ελάχιστες συγκεντρώσεις κινείται αυξητικά στην αρχή και στην πορεία σταθεροποιείται με εξαίρεση τα διαστήματα λίγο πριν και λίγο μετά το διάλειμμα.

Πίνακας 5 Διάμεσος της συγκέντρωσης των ΑΣ PM_{10} για την 2η βάρδια.

Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3			Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3			Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3		
	MEDIAN	MAX	MIN		MEDIAN	MAX	MIN		MEDIAN	MAX	MIN
14:35	236	908	103	16:45	234	512	56	19:25	285	542	106
14:40	246	509	100	16:50	229,5	456	55	19:30	299	628	97
14:45	254	588	95	16:55	231	414	64	19:35	260,5	571	107
14:50	260	437	108	17:00	201	388	54	19:40	261	662	102
14:55	252	899	97	17:05	215	578	75	19:45	234,5	510	86
15:00	244	807	83	17:10	215	497	79	19:50	244,5	563	71
15:05	237	562	89	17:15	201	426	79	19:55	236	608	67
15:10	206	629	91	17:20	191	490	84	20:00	240,5	538	67
15:15	234	586	78	17:25	199	379	84	20:05	289,5	593	70
15:20	224	681	101	17:30	222	399	84	20:10	303	884	74
15:25	238	536	107	18:05	246	484	101	20:15	296,5	601	79
15:30	256	457	110	18:10	173	537	92	20:20	300	635	83
15:35	244	488	101	18:15	148,5	484	81	20:25	290,5	636	92
15:40	223	779	99	18:20	155	288	81	20:30	306	519	91
15:45	222	867	102	18:25	146,5	253	73	20:35	309	554	81
15:50	232	483	95	18:30	164,5	404	52	20:40	307	1425	83
15:55	221	549	89	18:35	166	737	50	20:45	286,5	937	86
16:00	217	480	90	18:40	155	425	56	20:50	320,5	843	92
16:05	206	435	93	18:45	165	795	55	20:55	329	821	83
16:10	218	451	90	18:50	166	651	100	21:00	349,5	788	83
16:15	212	415	94	18:55	205	527	118	21:05	316	640	87
16:20	214	522	77	19:00	226	552	128	21:10	293	674	84
16:25	240,5	640	62	19:05	232	573	89	21:15	283	653	83
16:30	239,5	612	58	19:10	237	642	92	21:20	280,5	677	82
16:35	217,5	568	57	19:15	228	464	98	21:25	253	790	81
16:40	210	545	56	19:20	252	713	85	21:30	217	344	79

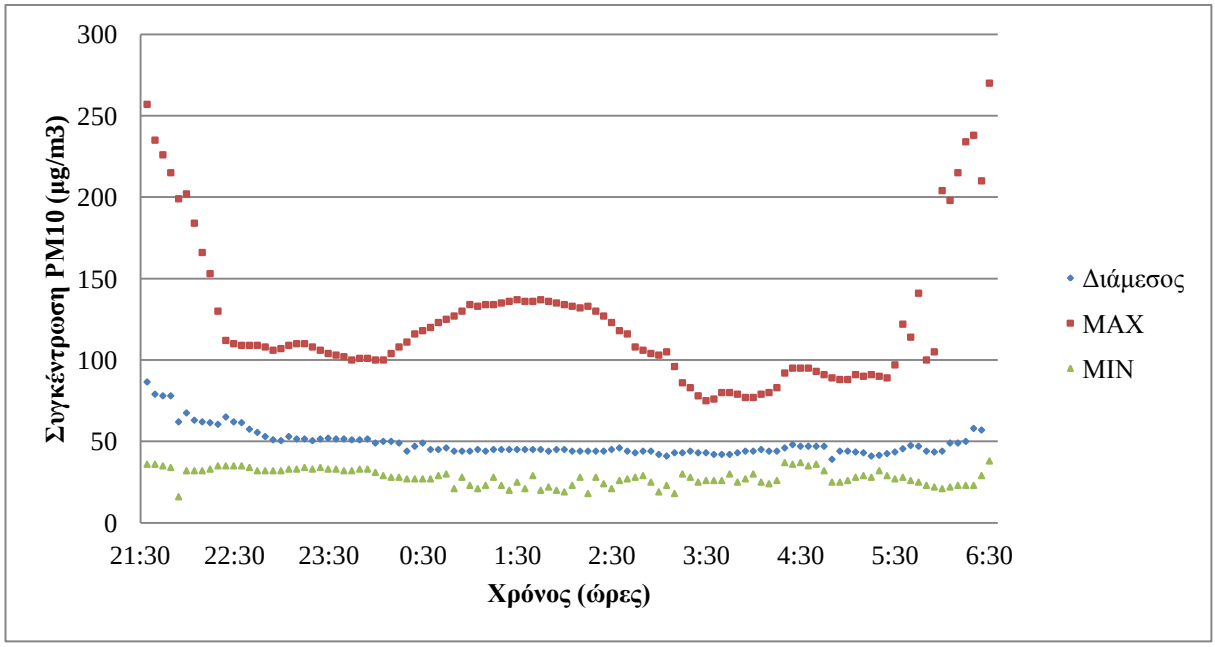


Διάγραμμα 4 Διάμεσος, μέγιστη και ελάχιστη τιμή της συγκέντρωσης ΑΣ PM_{10} για την 2η βάρδια.

Και σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις είναι σχετικά ακανόνιστα κατανεμημένες με τη μέγιστη τιμή να ξεπερνάει τα 1400 μg/m^3. Σε σχέση με το προηγούμενο διάγραμμα οι συγκεντρώσεις που παρατηρούνται και για τις 3 εξεταζόμενες παράμετρους είναι χαμηλότερες για τη 2^η βάρδια. Εδώ πάλι παρατηρείται για τη διάμεσο ότι έχει σταθερότερες τιμές κατά τις πρώτες ώρες λειτουργίας, ενώ κατά τις τελευταίες δύο ώρες λειτουργίας παρατηρείται μια αύξηση για ένα διάστημα 1 ώρας η οποία εξαλείφεται προς τη λήξη της βάρδιας.

Πίνακας 6 Διάμεσος της συγκέντρωσης των ΑΣ PM_{10} για τις ώρες πριν και μετά τις βάρδιες. Οι ώρες με πράσινο φόντο αντιπροσωπεύουν τις τιμές που προέκυψαν για τις ώρες διαλείμματος των εργαζομένων.

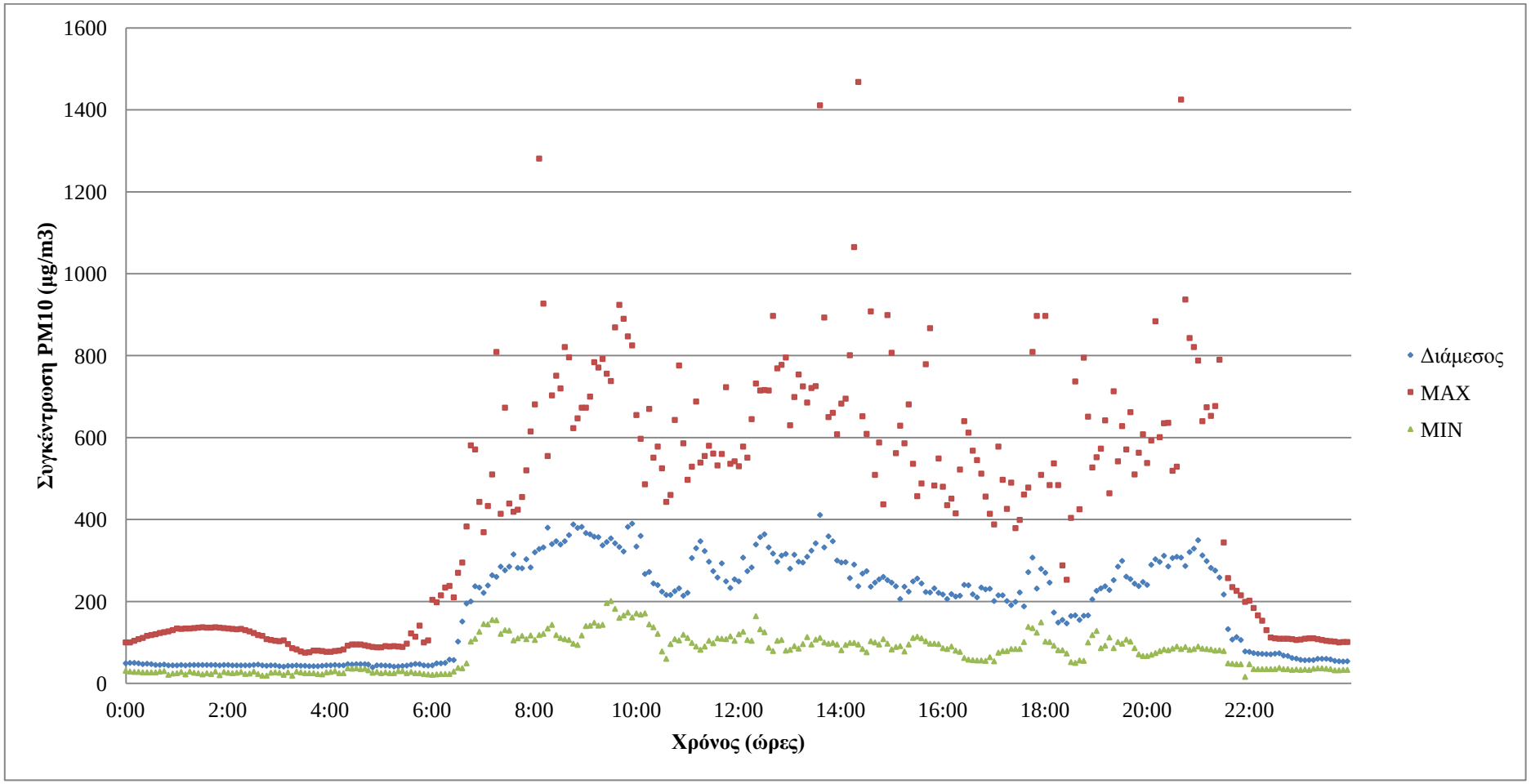
Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3			Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3			Χρόνος	Συγκέντρωση ΑΣ, μg/m^3		
	MEDIAN	MAX	MIN		MEDIAN	MAX	MIN		MEDIAN	MAX	MIN
0:00	51	100	31	3:20	44	83	27	9:55	390	825	161
0:05	50	100	29	3:25	45	78	27	10:00	334	655	171
0:10	51	104	28	3:30	44	75	22	10:05	360	597	168
0:15	51	108	28	3:35	43	76	28	10:10	267	486	171
0:20	48	111	27	3:40	43	80	27	10:15	272	670	144
0:25	48	116	27	3:45	43	80	27	17:35	188	461	101
0:30	48	118	27	3:50	44	79	29	17:40	271,5	478	138
0:35	46	120	27	3:55	45	77	30	17:45	307	809	135
0:40	46	123	29	4:00	44	77	22	17:50	232	897	124
0:45	47	125	30	4:05	46	79	26	17:55	280	509	149
0:50	46	127	28	4:10	45	80	23	18:00	270	897	102
0:55	47	130	26	4:15	45	83	27	21:35	133	257	49
1:00	46	134	23	4:20	47	92	37	21:40	107	235	48
1:05	46	133	22	4:25	47	95	36	21:45	113	226	47
1:10	46	134	25	4:30	48	95	37	21:50	106	215	47
1:15	47	134	28	4:35	49	95	35	21:55	78	199	16
1:20	46	135	21	4:40	46	93	36	22:00	77	202	47
1:25	46	136	28	4:45	47	91	32	22:05	74	184	35
1:30	46	137	26	4:50	43	89	29	22:10	73	166	35
1:35	46	136	22	4:55	47	88	28	22:15	72	153	35
1:40	46	136	21	5:00	48	88	26	22:20	72	130	35
1:45	47	137	20	5:05	47	91	25	22:25	71	112	35
1:50	47	136	30	5:10	47	90	29	22:30	73	110	35
1:55	46	135	26	5:15	43	91	28	22:35	74	109	38
2:00	46	134	18	5:20	43	90	31	22:40	68	109	35
2:05	45	133	26	5:25	44	89	26	22:45	67	109	35
2:10	45	132	19	5:30	45	97	25	22:50	62	108	33
2:15	46	133	28	5:35	47	122	28	22:55	61	106	34
2:20	46	130	21	5:40	49	114	26	23:00	58	107	33
2:25	46	127	27	5:45	49	141	25	23:05	57	109	34
2:30	47	123	19	5:50	47	100	23	23:10	57	110	33
2:35	47	118	27	5:55	47	105	22	23:15	57	110	36
2:40	47	116	26	6:00	47	204	21	23:20	60	108	37
2:45	45	108	18	6:05	50	198	22	23:25	60	106	37
2:50	46	106	25	6:10	50	215	23	23:30	60	104	36
2:55	45	104	25	6:15	52	234	23	23:35	59	103	35
3:00	43	103	19	6:20	64	238	23	23:40	55	102	32
3:05	43	105	25	6:25	58	210	29	23:45	54	100	32
3:10	44	96	18	6:30	102	270	38	23:50	54	101	33
3:15	44	86	30	9:50	382	847	173	23:55	54	101	33



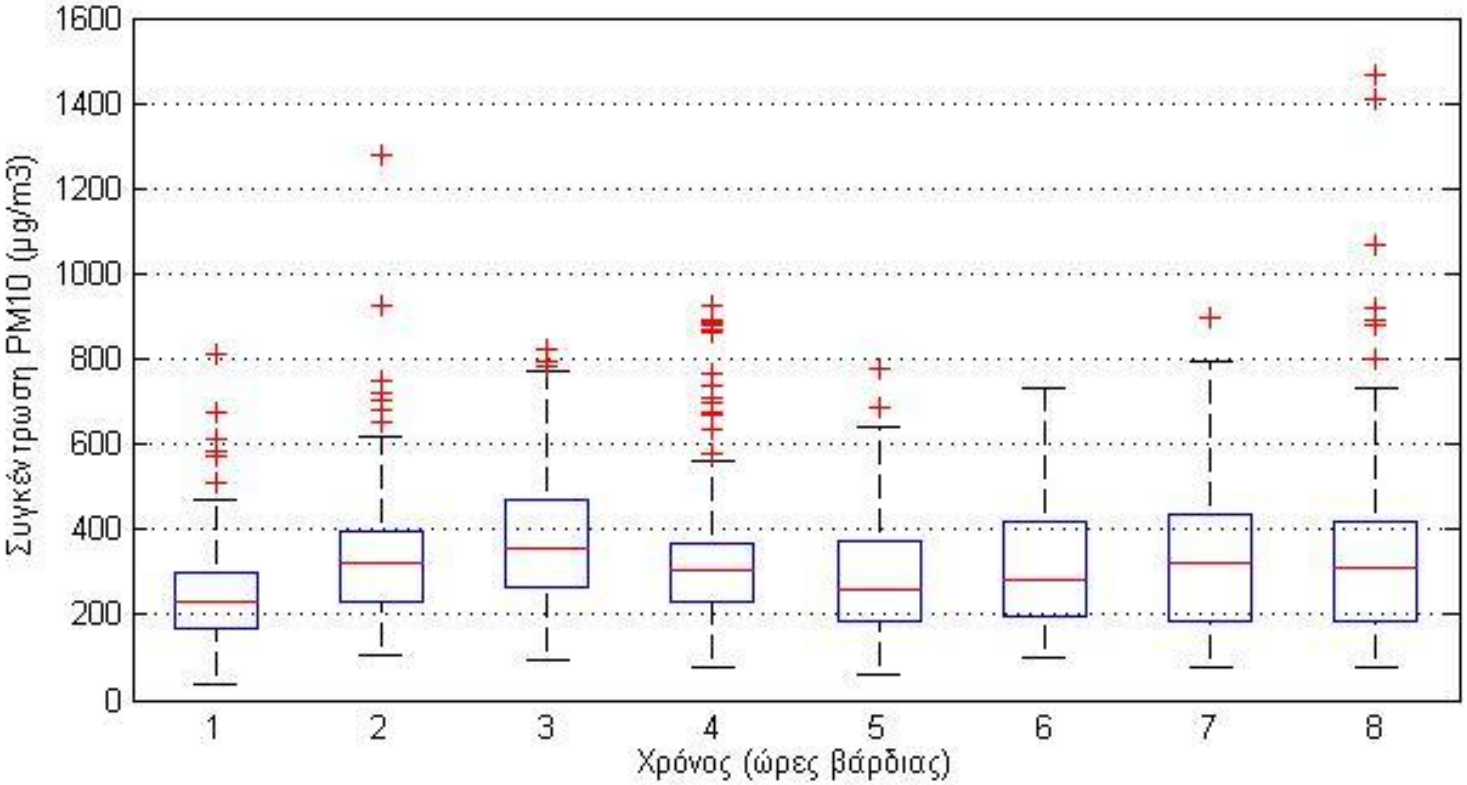
Διάγραμμα 5 Διάμεσος, μέγιστη και ελάχιστη τιμή της συγκέντρωσης ΑΣ PM_{10} για τις ώρες πριν και μετά τις βάρδιες. Δεν περιλαμβάνονται οι μετρήσεις από τα διαλείμματα των εργαζομένων.

Σε αυτό το διάγραμμα απεικονίζονται οι ενδείξεις για τις βραδινές ώρες κατά τις οποίες δεν τελείται κάποια δραστηριότητα στην αίθουσα. Οι συγκεντρώσεις σταδιακά μειώνονται μετά τη λήξη της δεύτερης βάρδιας έως ένα ελάχιστο σταθερό πλατό. Αυτό το πλατό διαταράσσεται για τις μέγιστες συγκεντρώσεις για κάποιο λόγο και επομένως δημιουργείται η καμπύλη που παρατηρείται στο διάστημα λίγο πριν τις 0:30 και έως τις 3:00 περίπου. Έπειτα σταθεροποιούνται για ένα χρονικό διάστημα περίπου 2,5 ωρών και στη συνέχεια εμφανίζουν αυξητική τάση καθώς πλησιάζουμε στην έναρξη λειτουργίας του εργοστασίου.

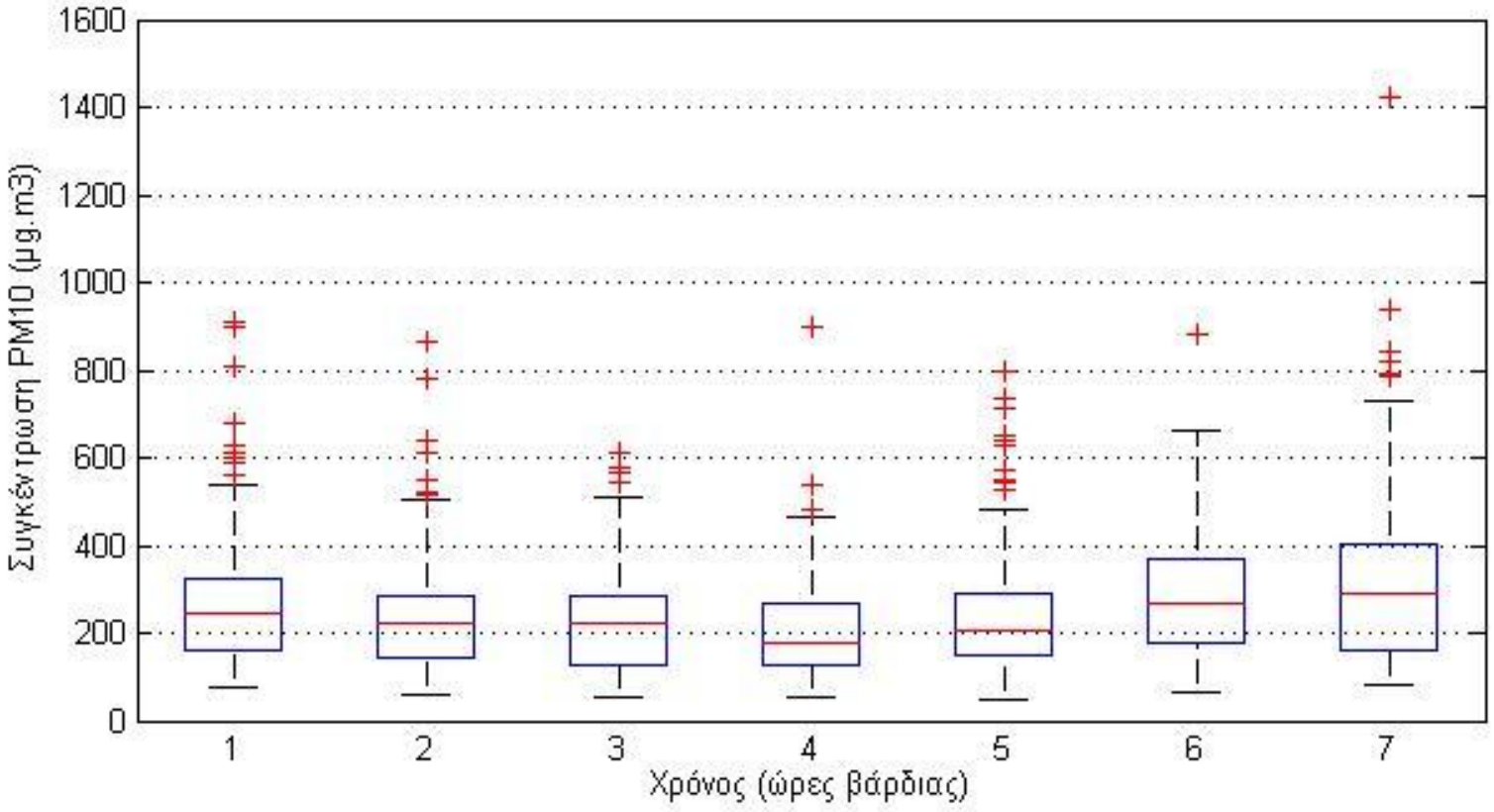
Από τη μορφή της καμπύλης για τις διάμεσες τιμές θα μπορούσαμε να ορίσουμε ως τιμή υποβάθρου για την αίθουσα τα 45 $\mu g/m^3$. Είναι η μέση τιμή του πλατό που φτάνουν οι συγκεντρώσεις στις 0:35 και το οποίο διατηρείται έως τις 4:30.



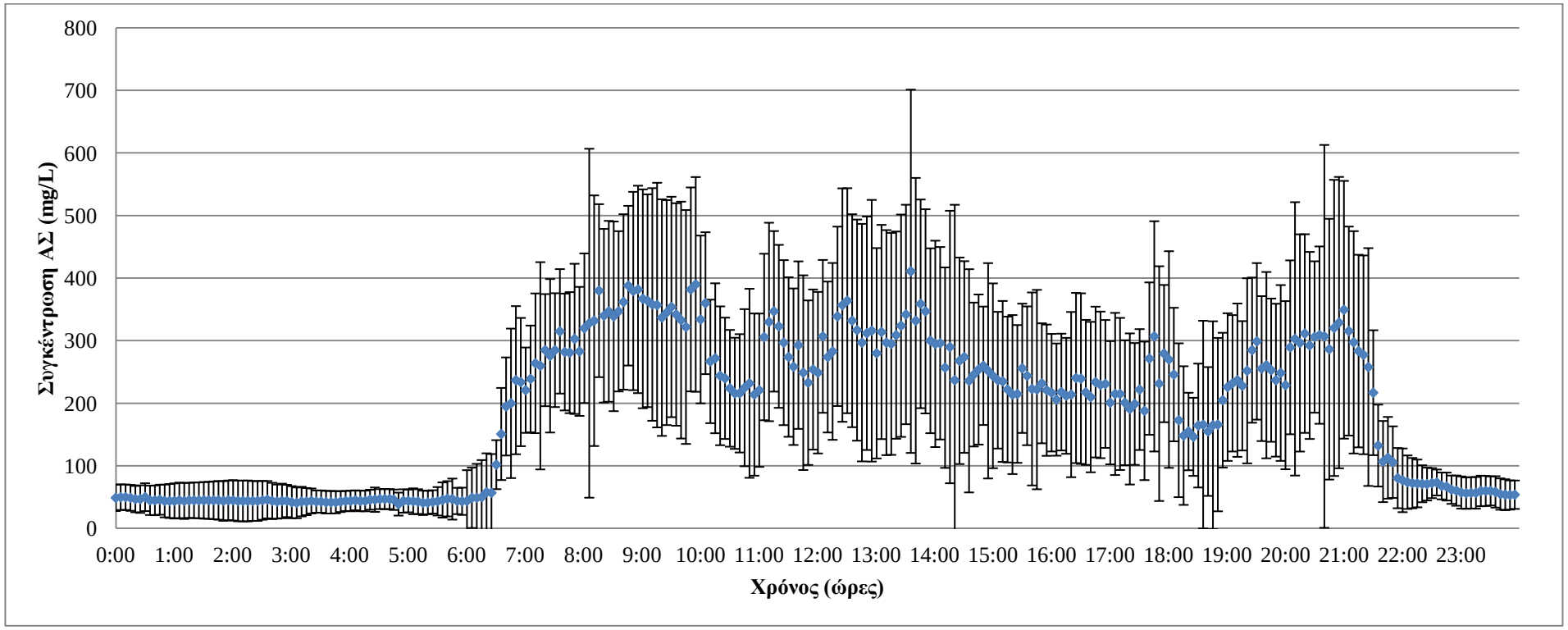
Διάγραμμα 6 Συγκεντρωτική απεικόνιση των συγκεντρώσεων σωματιδίων PM_{10} στην εγκατάσταση συναρτήσει του χρόνου για 24 ώρες.



Διάγραμμα 7 Απεικόνιση για την 1η βάρδια της διάμεσου τιμής (κόκκινη γραμμή), του πρώτου και τρίτου τεταρτημορίου (όρια κουτιού), του πρώτου και τρίτου τεταρτημορίου (όρια κουτιού) των μέγιστων και ελάχιστων αποδεκτών τιμών (τα όρια των γραμμών που προεκτείνονται από τα κουτιά) και των τιμών που αποτελούν πιθανές έκτοπες τυιμές (κόκκινοι σταυροί).



Διάγραμμα 8 Απεικόνιση για την 2η βάρδια της διάμεσου τιμής (κόκκινη γραμμή), του πρώτου και τρίτου τεταρτημορίου (όρια κουτιού) των μέγιστων και ελάχιστων αποδεκτών τιμών (τα όρια των γραμμών που προεκτείνονται από τα κουτιά) και των τιμών που αποτελούν πιθανές έκτοπες τυιμές (κόκκινοι σταυροί).



Διάγραμμα 9 Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης (μαύρες μπάρες) παράλληλα με την ημερήσια διάμεσο συγκέντρωσης PM_{10} (μπλε κουκκίδες) για μια περίοδο 24 ωρών.

Το διάγραμμα 6 αποτελεί μια ενιαία απεικόνιση των διαγραμμάτων 3,4 και 5 όπου έχουν προστεθεί οι συγκεντρώσεις κατά το διάλειμμα των εργαζομένων. Σε αυτό το διάγραμμα γίνεται περισσότερο προφανής η διαφορά που υπάρχει για τις δύο βάρδιες. Ότι δηλαδή η πρώτη βάρδια δέχεται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά την εργασία της από τη δεύτερη. Ενώ επιπλέον φαίνονται η χαρακτηριστική αύξηση κατά την έναρξη της λειτουργίας του εργοστασίου και η χαρακτηριστική πτώση της συγκέντρωσης κατά το κλείσιμο. Η διαφορά στις συγκεντρώσεις για τις δύο βάρδιες οφείλεται στην απουσία λειτουργίας της ταινίας του σύμμεικτου κατά την απογευματινή βάρδια. Η ταινία αυτή βρίσκεται σε λειτουργία μόνο τις πρωινές ώρες από τις 6.30 έως και το διάστημα 10.30 με 11 το πρωί. Η λειτουργία και των δύο ταινιών μαζί οδηγεί στην ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων για την πρώτη βάρδια συγκριτικά με τη δεύτερη. Επίσης παρουσιάζεται η τυπική απόκλιση που παρουσιάζουν οι μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας παράλληλα με την καμπύλη της διαμέσου σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε ότι για τις μικρές ώρες της ημέρας έχει τη μορφή της καμπύλης για τα μέγιστα του διαγράμματος 5. Ενώ, κατά τις εργάσιμες πια ώρες υπάρχει έως και εικοσαπλάσια σχεδόν διακύμανση της τυπικής απόκλισης με τις περισσότερες να βρίσκονται από 4 φορές έως 10 φορές πάνω από αυτήν για τις μη εργάσιμες ώρες. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει πως οι συνθήκες των δειγματοληψιών τις ώρες που λειτουργούν οι γραμμές της χειροδιαλογής έχουν μικρό βαθμό σταθερότητας αυξάνοντας έτσι το βαθμό δυσκολίας μιας πιθανής μοντελοποίησης των συνθηκών που επικρατούν στο χώρο αυτό .

Το 7^{ο} διάγραμμα με τη σειρά του είναι ένα θηκόγραμμα (box plot), το οποίο δημιουργήθηκε σε περιβάλλον αριθμητικών υπολογισμών, και αφορά στις συγκεντρώσεις κατά τις ώρες που εργάζεται η πρώτη βάρδια και με το κάθε ένα από τα κουτιά να αφορά μετρήσεις για την κάθε ώρα που βρίσκονται εργαζόμενοι στο χώρο της χειροδιαλογής. Στα κουτιά αυτά η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει τη διάμεσο, ενώ το μπλε περίγραμμα οριοθετεί το ανώτερο και το κατώτερο τεταρτημόριο αντίστοιχα. Η περιοχή αυτή επίσης καλείται ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR – Inter-Quartile Range). Οι γραμμές που προεκτείνονται από τα κουτιά ορίζουν τις μέγιστες τιμές που δεν αποτελούν έκτοπες μετρήσεις (outliers) και οι κόκκινοι σταυροί δείχνουν τα δεδομένα που ξεπερνούν αυτό το όριο και αποτελούν πιθανές έκτοπες μετρήσεις. Η ύπαρξη αυτών των μετρήσεων που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή οφείλεται στο μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν από το όργανο. Είτε επειδή σημειώνονταν κάποιες αυξήσεις από την καθορισμένη λειτουργία των ταινιών χειροδιαλογής στη συγκέντρωση της αίθουσας, είτε επειδή η συγκέντρωση αυξήθηκε από διαφορετικούς παράγοντες όπως η κίνηση του προσωπικού στο χώρο, προκύπτουν οι ενδείξεις με τον κόκκινο σταυρό στο διάγραμμα. Εδώ φαίνεται πως η διάμεσος αυξάνεται μέχρι και πριν το διάλειμμα (την τέταρτη ώρα δηλαδή), ενώ κατόπιν μειώνεται έως ότου σταθεροποιείται σχετικά κατά τις τελευταίες ώρες της βάρδιας.

Το 7^{ο} διάγραμμα είναι ακριβώς η ίδια απεικόνιση για τη δεύτερη βάρδια. Οι διάμεσοι για τη δεύτερη βάρδια είναι σαφώς χαμηλότερες από ότι για την πρώτη βάρδια. Ενώ και η απόσταση των περισσότερων τιμών σχετικά με το IQR είναι πιο

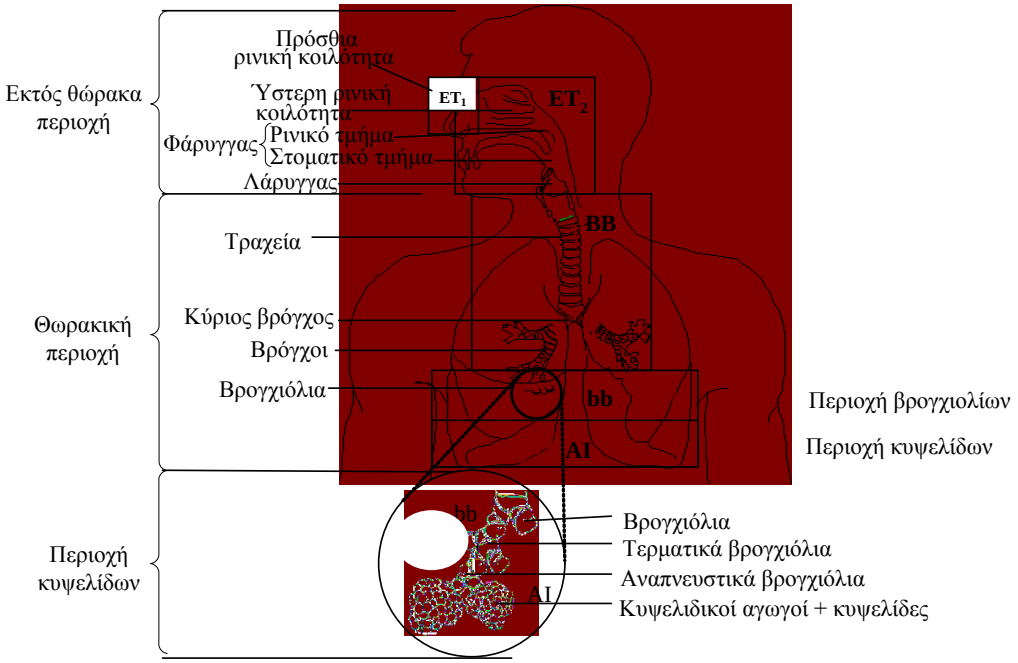
μικρές για τη δεύτερη από ότι για την πρώτη βάρδια. Για το δεύτερο αυτό διάγραμμα διαμέσων το ύψος των τιμών για τη διάμεσο μειώνεται από την έναρξη της βάρδιας έως την τέταρτη ώρα που αντιστοιχεί στην ώρα διαλείμματος. Παρόλαυτα, κατόπιν του διαλείμματος η διάμεσος αυξάνει σταθερά έως και το τέλος της βάρδιας, τα τελευταία λεπτά της οποίας συντελούνται οι εργασίες στην ταινία χειροδιαλογής έχουν ολοκληρωθεί και συντελούνται οι απαραίτητοι καθαρισμοί της αίθουσας από το προσωπικό.

Στο διάγραμμα 9 που αποτελεί και το τελευταίο για αυτήν την ενότητα, παρουσιάζεται η τυπική απόκλιση που παρουσιάζουν οι μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας παράλληλα με την καμπύλη της διαμέσου σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε ότι για τις μικρές ώρες της ημέρας έχει τη μορφή της καμπύλης για τα μέγιστα του διαγράμματος 5. Ενώ, κατά τις εργάσιμες πια ώρες υπάρχει έως και εικοσαπλάσια σχεδόν διακύμανση της τυπικής απόκλισης με τις περισσότερες τιμές να βρίσκονται από 4 φορές έως 10 φορές πάνω από αυτήν για τις μη εργάσιμες ώρες. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει πως οι συνθήκες των δειγματοληψιών τις ώρες που λειτουργούν οι γραμμές της χειροδιαλογής έχουν μικρό βαθμό σταθερότητας αυξάνοντας έτσι το βαθμό δυσκολίας μιας πιθανής μοντελοποίησης των συνθηκών που επικρατούν στο χώρο αυτό .

7.3 Εφαρμογή του μοντέλου ExDoM

Το μοντέλο θα εφαρμοστεί για κάθε βάρδια ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα θα εκτελεστεί για την περίοδο ενός εργάσιμου μήνα (22 εργάσιμες ημέρες) 30 ημερών και θα υπολογιστεί η δόση σε συγκεκριμένες περιοχές του αναπνευστικού συστήματος. Αυτές είναι η πρόσθια ρινική κοιλότητα (ET_1), η ύστερη ρινική κοιλότητα με το στόμα, το λάρυγγα και το φάρυγγα (ET_2), η τραχειοβρογχική περιοχή (TB) η οποία χωρίζεται στην τραχεία και τους πρωτεύοντες βρόγχους (BB) και τους βρόγχους που ακολουθούν μαζί με τους τελικούς (bb) και τέλος στην κυψελιδική περιοχή (Al). Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει σχηματικά τις περιοχές αυτές στο ανθρώπινο σώμα.

Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις παραπάνω αναφερθείσες περιοχές του αναπνευστικού συστήματος μπορούν να βρεθούν στην τελική έκθεση του προγράμματος «Βασική Έρευνα 2006, Ανάπτυξη Μοντέλου Προσδιορισμού Δόσης Αιωρούμενων Σωματιδίων στο Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα» των Λαζαρίδη Μιχάλη και Αλεξανδροπούλου Βικτωρίας.



Εικόνα 8 Ανατομία του αναπνευστικού συστήματος (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

7.3.1 Τιμές εισόδου

Αρχικά θα παρουσιαστεί η διαδικασία υπολογισμού των τιμών εισόδου στο μοντέλο. Όπως αναφέρεται και παραπάνω το αρχείο εισόδου συγκεντρώσεων του μοντέλου περιλαμβάνει δεδομένα σε ωριαία βάση. Από τις μετρήσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, εξήχθη η διάμεσος τιμή για κάθε μια από τις εργάσιμες ώρες για αμφότερες τις βάρδιες. Επιπλέον, για τις ώρες κατά τις οποίες οι εργαζόμενοι δε βρίσκονται στο εργοστάσιο, χρησιμοποιήθηκαν συγκεντρώσεις ΑΣ που λήφθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης που βρίσκεται εντός της Πολυτεχνειούπολης στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου Χανίων. Παρόλαυτα από το σταθμό απουσιάζουν δεδομένα για τις χρονολογίες 2011 και 2012. Ως εκ τούτου στον υπολογισμό των συγκεντρώσεων υποβάθρου για τις ημέρες που ανήκουν στις παραπάνω χρονολογίες, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το 2010. Πιο συγκεκριμένα εξήχθη ο ωριαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων σωματιδίων PM_{10} για τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Ιούλιο του 2010. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, χρησιμοποιήθηκαν καταλλήλως εντός του αρχείου εισόδου των συγκεντρώσεων στο μοντέλο. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν τις τιμές υποβάθρου για τις οποίες υπολογίστηκε επίσης η δόση που δέχεται ένα άτομο όταν δεχτεί θεωρητικά για 24 ώρες τη συγκέντρωση υποβάθρου.

Έτσι προέκυψαν οι ακόλουθοι πίνακες τόσο για την κάθε βάρδια όσο και για τη μέση ωριαία συγκέντρωση των μηνών του 2010.

Πίνακας 7 Ωριαίες διάμεσοι τιμές για την 1η βάρδια.

Ημέρα		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
6.30	**7.30**	184	288	175	267	224	214	202	267	314	157	348	272	145	171	191	216	203	186	231	315	301	303
7.30	**8.30**	543	305	199	212	269	310	217	410	419	281	337	482	148	216	372	205	429	118	329	339	329	328
8:30	**9:30**	471	158	140	196	358	400	349	594	622	403	388	700	250	362	316	238	370	262	346	380	271	468
9:30	**10:30**	325	333	291	192	281	346	315	430	704	225	324	536	207	363	258	291	281	250	319	342	240	474
10:30	**11:30**	456	147	152	119	171	338	232	323	288	203	263	497	141	266	364	253	221	265	268	171	212	377
11:30	**12:30**	431	146	139	127	134	367	193	274	536	270	475	422	218	242	283	208	380	323	425	312	163	378
12:30	**13:30**	462	104	132	212	129	372	162	215	482	143	667	342	324	527	310	194	312	280	327	679	181	338
13:30	**14:30**	347	152	111	166	117	345	253	332	435	305	608	539	324	394	267	145	151	351	310	351	99	268

Πίνακας 8 Ωριαίες διάμεσοι τιμές για τη 2η βάρδια.

Ημέρα		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
14:30	15:30	135	114	156	103	262	208	252	231	224	266	119	312	370	207	195	302	562	313	166	317	354	191
15:30	16:30	120	114	145	121	227	261	222	131	226	241	98	317	296	154	164	275	409	342	171	251	272	257
16:30	17:30	64	136	122	131	339	243	158	98	248	246	100	287	388	150	101	264	261	303	118	201	295	370
17:30	18:30	153	207	318	145	223	353	115	181	198	229	133	364	304	157	121	144	94	88	135	166	220	262
18:30	19:30	235	124	257	210	226	282	154	182	310	163	134	232	214	341	163	102	160	204	180	250	322	338
19:30	20:30	408	159	209	86	349	493	188	257	379	218	182	270	330	285	118	135	506	236	193	292	345	250
20:30	21:30	374	270	117	85	413	665	200	90	380	296	114	333	401	293	159	318	225	205	380	354	393	361

Πίνακας 9 Μέσες ωριαίες τιμές συγκεντρώσεων PM_{10} για το 2010.

Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g/m^3$)						
Από	**Μέχρι**	**Μάρτιος**	**Απρίλιος**	**Μάιος**	**Ιούνιος**	**Ιούλιος**
0:30	**1:30**	25	46	33	48	63
1:30	**2:30**	25	42	39	34	51
2:30	**3:30**	28	41	32	30	32
3:30	**4:30**	28	44	33	38	38
4:30	**5:30**	33	44	33	21	64
5:30	**6:30**	31	39	33	24	71
6:30	**7:30**	18	33	21	15	12
7:30	**8:30**	17	35	22	13	9
8:30	**9:30**	18	25	17	14	9
9:30	**10:30**	22	20	20	19	15
10:30	**11:30**	24	25	28	22	25
11:30	**12:30**	24	31	30	23	29
12:30	**13:30**	27	29	31	33	32
13:30	**14:30**	46	33	35	28	39
14:30	**15:30**	44	36	42	24	34
15:30	**16:30**	28	32	40	24	26
16:30	**17:30**	32	29	38	26	28
17:30	**18:30**	36	28	35	40	27
18:30	**19:30**	41	36	35	42	28
19:30	**20:30**	42	48	47	40	46
20:30	**21:30**	36	44	43	75	78
21:30	**22:30**	38	43	47	65	66
22:30	**23:30**	34	43	38	67	41

23:30	**0:30**	40	41	37	78	39

7.3.2 Εφαρμογή του μοντέλου ExDoM

Σε αυτό το σημείο θα περιγραφεί η εκτέλεση του μοντέλου ExDoM όπως ακριβώς εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή κατά την εκτέλεσή του.

```
THE PROGRAM CALCULATES THE DEPOSITION AND CLEARANCE
OF AEROSOL PARTICLES IN THE HUMAN RESPIRATORY TRACT.

PARTICLE DOSE CALCULATION <NUMBER CONCENTRATIONS? Y/N>
N
```

Εικόνα 9 Απάντηση στην ερώτηση αν θα χρησιμοποιηθούν αριθμητικές συγκεντρώσεις με Ναι/Οχι (Y/N).

```
CALCULATE DOSE FOR VARIABLE EXPOSURE
<REQUIRES INPUT FILE WITH DATA ON HOURLY BASIS>? <Y/N>
Y
```

Εικόνα 10 Απάντηση στην ερώτηση εάν θα χρησιμοποιηθούν αρχεία εισόδου με δεδομένα σε ωριαία βάση.

```
EXPOSURE DURATION <HOW MANY DAYS OF AVAILABLE DATA IN
INPUT FILE>?
9
```

Εικόνα 11 Διάρκεια της έκθεσης. Μέγιστος αριθμός συνεχόμενων ημερών που μπορεί να δεχτεί το μοντέλο είναι οι 9. Επομένως πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις (2 για 9 ημέρες και 1 για 3 ημέρες) για κάθε μια ομάδα μελέτης.

```
GIVE TIME AFTER INITIAL INTAKE TO CALCULATE THE
RETENTION IN EACH REGION<IN DAYS>:
9
```

Εικόνα 12 Χρόνος κατόπιν της αρχικής πρόσληψης για τον υπολογισμό της εναπόθεσης σε κάθε περιοχή. Σε αυτήν την εργασία δε μελετάται η εναπόθεση και η τιμή είναι ίδια για τη διάρκεια της έκθεσης.

```
SELECT EXPOSED SUBJECT:
ADULT: (1) MALE        (2) FEMALE
15Y:   (3) MALE        (4) FEMALE
CHILD: (4) 10Y         (6) 5Y
BABY:  (7) 1Y          (8) 3 MONTHS
(9) USER DEFINED
1
```

Εικόνα 13 Προσδιορισμός του λήπτη. Επιλέχτηκε ενήλικας άντρας.

```
SELECT BREATHING TYPE: (1)NOSE (2)MOUTH
1
```

Εικόνα 14 Επιλογή τύπου εισπνοής. Επιλέχτηκε εισπνοή από τη μύτη.

```
GIVE PARTICLE DENSITY:
1.5
```

Εικόνα 15 Επιλογή πυκνότητας σωματιδίων σε g/cm^3. Επιλέχτηκε η πυκνότητα 1.5g/cm^3 ως μέση πυκνότητα των σωματιδίων. Αποτελεί τη μέση τιμή της πυκνότητας για ατμοσφαιρικά σωματίδια (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

```
GIVE PARTICLE SHAPE FACTOR:
1
```

Εικόνα 16 Παράγοντας σχήματος. Επιλέχτηκε το 1 ως τυπική τιμή (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

```
GIVE INPUT FILE (EXPOSURE DATA):
tt.txt
```

Εικόνα 17 Όνομα αρχείου εισόδου για τα δεδομένα. Είναι της μορφής name.txt

```
GIVE 1 FOR TOTAL CONCENTRATION OR
2 FOR DIFFERENT CONCENTRATIONS FOR THE TWO MODES:
1
```

Εικόνα 18 Επιλογή συνολικής συγκέντρωσης καθώς οι μετρήσεις αφορούν ένα κλάσμα (mode).

```
GIVE INFILE (IMPACTOR DATA):
mass.txt
```

Εικόνα 19 Εισαγωγή του ονόματος αρχείου με τα δεδομένα για την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

```
GIVE NUMBER OF IMPACTOR STAGES:
8
```

Εικόνα 20 Εισαγωγή του πλήθους των σταδίων του δειγματολήπτη. Πλέον και με αυτήν την παράμετρο μπορεί το μοντέλο μπορεί να εκτελεστεί.

```
 GIVE PARTICLE ABSORPTION BEHAVIOR CLASS(F/M/S/U:for user defined):
n
   1    1
   1    2
   1    3
   1    4
   1    5

   .    .

   .    .
   9   20
   9   21
   9   22
   9   23
   9   24
   1
   2
   3
   4
   5
   6
   7
   8
   9
MATERIAL (ug) IN SOURCE COMPONENTS AFTER     9.0 DAYS:

ET2    surface fluid:                0.6100E+00
       Particles in airway wall:     0.1759E+00

LNet   All Transformations:          0.1283E+01

BB     Mucous gel:                   0.1192E+02
       Mucous sol:                   0.2064E+00
       Particles in airway wall:     0.4787E+01

bb     Mucous gel:                   0.4856E+02
       Mucous sol:                   0.8054E+00
       Particles in airway wall:     0.4113E+03

       Alveolar Interstitium:        0.4770E+03
LNth   All Transformations:          0.8072E-03

 GI Tract:  5.038257332315021E-002
 BLOOD    :   96.0176678296104

 SUM:   1052.53086688326


 Hourly Daily Dose printed on RESULTSDOSE.txt
 Daily Dose printed on DAILYSUMDOSE.txt
 Retention results printed on RetentionMODE.txt files
```

Εικόνα 21 Η εκτέλεση του μοντέλου έχει ολοκληρωθεί και πληροφορούμαστε για την τοποθεσία των αποτελεσμάτων (αρχεία εξόδου RESULTDOSE.txt, DAILYSUMDOSE.txt και RetentionMODE.txt)

7.4 Αποτελέσματα

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ExDoM σε τρεις περιπτώσεις. Η κάθε μια από τις περιπτώσεις αυτές αφορά ενήλικα

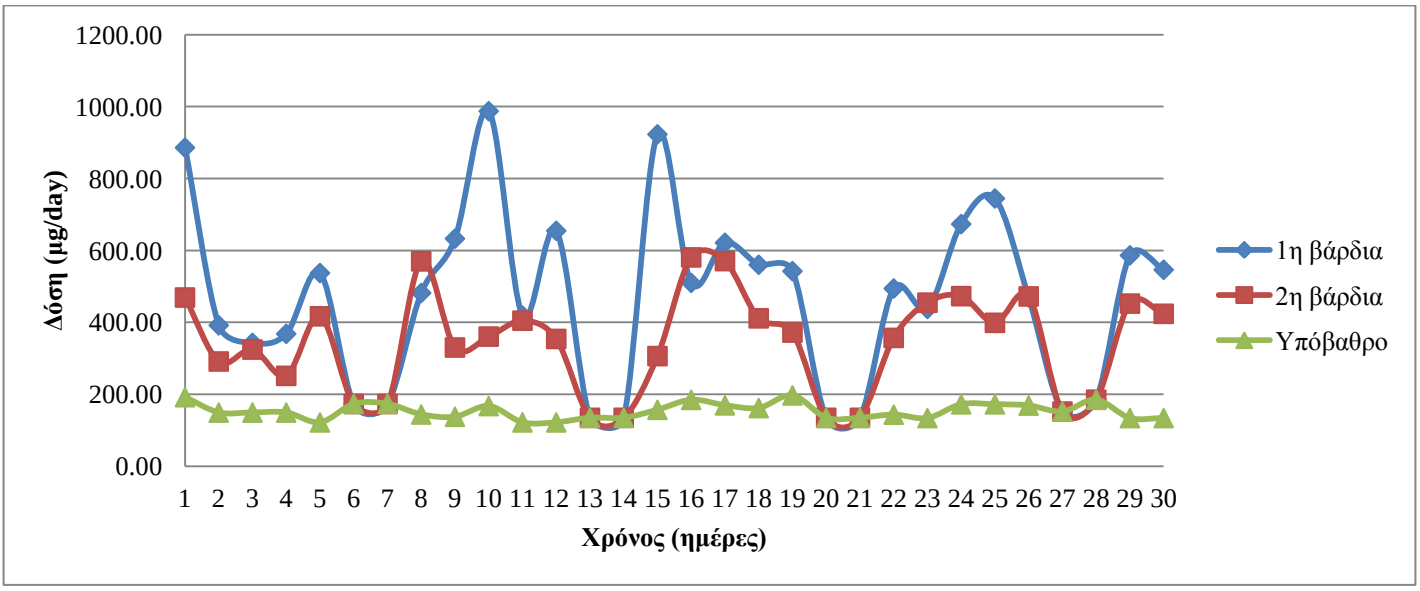
άντρα ο οποίος εργάζεται για την πρώτη βάρδια, για τη δεύτερη και για την περίπτωση που κάποιος δέχεται τη συγκέντρωση υποβάθρου. Επομένως μετά από περίοδο έκθεσης 30 ημερών (22 εργάσιμες ημέρες και 8 ημέρες αργίας) σημειώθηκαν οι μέγιστες (MAX) και οι ελάχιστες τιμές (MIN) της δόσης για κάθε περίπτωση καθώς και ο μέσος όρος αυτής.

Πίνακας 10 Αποτελέσματα μοντέλου αναφορικά με τη δόση των ΑΣ στις διάφορες περιοχές του αναπνευστικού.

Δόση στις περιοχές αναπνευστικού σωλήνα (μg/day)						
	ET1			ET2		
	MAX	MIN	Μέση τιμή	MAX	MIN	Μέση τιμή
1η βάρδια	260	32	114±62	320	37	136±75
2η βάρδια	141		83±34	170		99±42
Υπόβαθρο	52	29	37±6	64	34	44±9
	BB			bb		
	MAX	MIN	Μέση τιμή	MAX	MIN	Μέση τιμή
1η βάρδια	25	3	12±6	92	14	46±23
2η βάρδια	15		9±3	58		33±13
Υπόβαθρο	5	3	4±1	18	13	15±2
	Al			Συνολικά		
	MAX	MIN	Μέση τιμή	MAX	MIN	Μέση τιμή
1η βάρδια	317	48	160±80	987	135	468±244
2η βάρδια	199		118±48	581		342±139
Υπόβαθρο	63	44	53±6	197	122	154±22

Οι ελάχιστες τιμές είναι σε όλους τους τομείς του αναπνευστικού ίδιες καθώς παρατηρούνται κατά τις ημέρες απουσίας των εργαζόμενων από το εργοστάσιο και οι οποίες είναι κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί υπάρχουν οι καμπύλες για τη συνολική δόση στον αναπνευστικό σωλήνα και για τις τρείς περιπτώσεις που εξετάζονται, ενώ διαγράμματα με τη δόση στα επιμέρους διαμερίσματα του αναπνευστικού παρατίθενται στο παράρτημα.

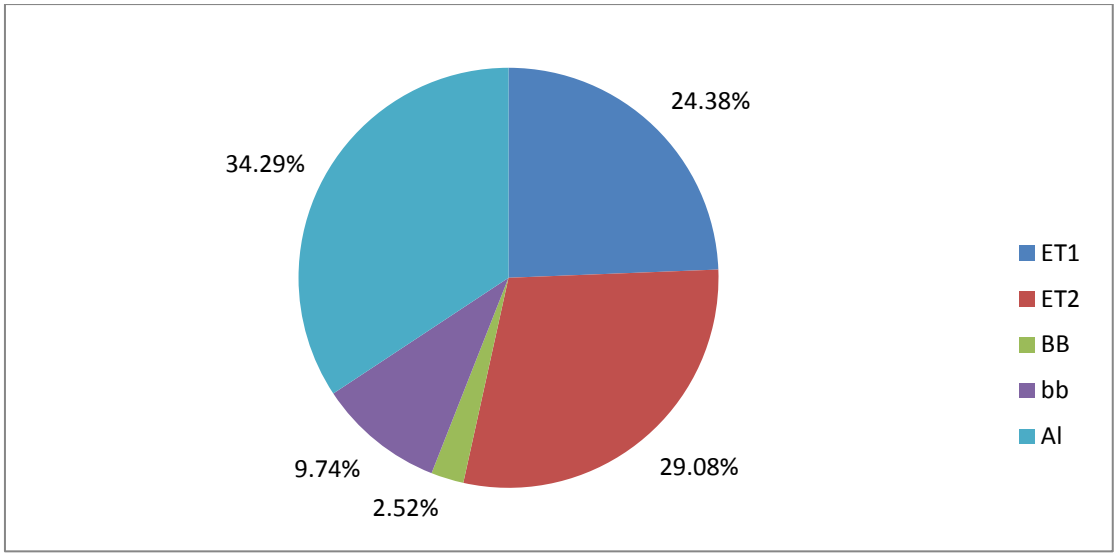


Διάγραμμα 10 Συνολική δόση στον αναπνευστικό σωλήνα για την πρώτη βάρδια, τη δεύτερη βάρδια και για την έκθεση σε συγκεντρώσεις υποβάθρου.

Η εικόνα που παίρνει κανείς από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι σε γενικές γραμμές οι εργαζόμενοι της 1^{ης} βάρδιας δέχονται μεγαλύτερο αριθμό σωματιδίων από τις δύο άλλες περιπτώσεις. Παρόλαυτα και για τις δύο βάρδιες η δόση βρίσκεται ψηλότερα από τη δόση για τη συγκέντρωση υποβάθρου.

Επίσης η δόση σε κάθε έναν από τους τομείς του ΑΑΣ διαφέρουν σημαντικά με άλλες περιοχές να δέχονται περισσότερη δόση των ΑΣ και άλλες λιγότερο. Η μεγαλύτερη δόση σημειώνεται στην περιοχή του στόματος, του λάρυγγα και του φάρυγγα. Ακολουθούν η κυψελιδική περιοχή, η περιοχή της πρόσθιας ρινικής κοιλότητας, η περιοχή των τελικών βρόγχων, η κυψελιδική περιοχή και τέλος η περιοχή της τραχείας με τους πρωτεύοντες βρόγχους.

Κάτι τέτοιο γίνεται καλύτερα αντιληπτό από το διάγραμμα τύπου πίτας που ακολουθεί με την ποσοστιαία κατανομή της δόσης στα διάφορα τμήματα του αναπνευστικού σωλήνα η οποία είναι ίδια και για τις 3 περιπτώσεις.



Διάγραμμα 11 Ποσοστιαία κατανομή της δόσης στον αναπνευστικό σωλήνα.

Από τους υπολογισμούς που προηγήθηκαν βρέθηκε πως η μέση τιμή για την πρώτη βάρδια είναι 468±244 μg/day, για τη δεύτερη βάρδια 342±139 μg/day και για τη δόση υποβάθρου 154±22 μg/day. Δηλαδή η αύξηση της δόσης που δέχεται ο εργαζόμενος στην πρώτη βάρδια είναι κατά 204% μεγαλύτερη από αυτήν που δέχεται ένας άνδρας εκτεθειμένος στη δόση υποβάθρου και κατά 37% μεγαλύτερη από έναν εργαζόμενο της δεύτερης βάρδιας. Από την άλλη, ο εργαζόμενος για τη δεύτερη βάρδια δέχεται κατά περίπου 123% μεγαλύτερη δόση από ότι ο άνδρας που δεν εργάζεται στο εργοστάσιο.

8 ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη των συγκεντρώσεων ΑΣ του κλάσματος PM_{10} που παρατηρούνται στην αίθουσα χειροδιαλογής στο ΕΜΑΚ της ΔΕΔΙΣΑ Α.Ε. στον Κουρουπητό Χανίων και κατόπιν ο υπολογισμός της δόσης στους εργαζόμενους που δραστηριοποιούνται σε αυτήν την αίθουσα. Για τη μέτρηση των PM_{10} χρησιμοποιήθηκε ο μετρητής μάζας σωματιδίων DustTrak της εταιρείας TSI, ενώ για τον προσδιορισμό της δόσης των σωματιδίων στο ΑΑΣ τα αποτελέσματα εξήχθησαν κατόπιν εκτέλεσης του μοντέλου προσδιορισμού δόσης ExDoM το οποίο αναπτύχθηκε από την Δρ. Αλεξανδροπούλου Βικτωρία το 2006.

Οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στην αίθουσα χειροδιαλογής κατά τα διαστήματα στα οποία βρίσκονται εργαζόμενοι στο χώρο αυτό υποδηλώνουν πως ο χώρος αυτός επιβαρύνεται από τη λειτουργία των ταινιών χειροδιαλογής. Ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια εργασίας της πρώτη βάρδιας, οι συγκεντρώσεις είναι γενικά υψηλότερες από ότι για τη δεύτερη. Στην πρώτη βάρδια σημειώθηκε μέγιστη τιμή συγκέντρωσης τα 1468 $\mu g/m^3$, ελάχιστη τα 37 $\mu g/m^3$ και διάμεσο τα 295 ± 160 $\mu g/m^3$. Για τη δεύτερη βάρδια παρατηρήθηκε μέγιστη τιμή τα 1425 $\mu g/m^3$, ελάχιστη τα 50 $\mu g/m^3$, και διάμεσος τα 222 ± 128 $\mu g/m^3$. Να σημειωθεί ότι για τις ώρες κατά τις οποίες δε λειτουργούν οι ταινίες οι συγκεντρώσεις παρουσιάζονται χαμηλότερες με μέγιστη τιμή τα 344 $\mu g/m^3$, ελάχιστη τα 16 $\mu g/m^3$ και διάμεσο τιμή τα 48 ± 35 $\mu g/m^3$. Η κύρια διαφορά στο χώρο κατά τη δραστηριοποίηση των εργαζομένων κατά το πρωινό και το βραδινό διάστημα είναι η λειτουργία της ταινίας μεταφοράς του σύμμεικτου αποβλήτου η οποία λειτουργεί για ορισμένες ώρες. Η ταινία αυτή λειτουργεί για ένα μεγάλο διάστημα κατά τις πρωινές ώρες και αποτελεί ίσως τον κυριότερο παράγοντα στη διαφοροποίηση που παρατηρείται μεταξύ των δύο διαστημάτων εργασίας. Χαρακτηριστική είναι επίσης η διακύμανση που υπάρχει στις μετρήσεις οδηγώντας σε μεγάλη τυπική απόκλιση κατά τις ώρες λειτουργίας. Κάτι τέτοιο οδηγεί στο συμπέρασμα πως οι συνθήκες εντός της αίθουσας περιγράφονται από μεγάλη αστάθεια. Οι παράγοντες που μπορούν να οδηγούν σε αυτό το αποτέλεσμα είναι η μεταβλητότητα στην ποιότητα του αποβλήτου, ο αερισμός της αίθουσας με το άνοιγμα θυρών διαφορετικές σε αριθμό και σε θέση μέσα στην αίθουσα, αλλά και στην κίνηση του προσωπικού κοντά από το όργανο δειγματοληψίας.

Έτσι επομένως, με την εκτέλεση του μοντέλου ExDoM προέκυψε το αποτέλεσμα ότι οι εργαζόμενοι κατά την πρωινή βάρδια δέχονται μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων από αυτούς που εργάζονται για την απογευματινή. Παρατηρώντας επίσης τις συγκεντρώσεις υποβάθρου, οι πρωινές συγκεντρώσεις (που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για την απογευματινή βάρδια) κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα από τις απογευματινές (χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για την πρωινή βάρδια). Οπότε και αυτός ο παράγοντας συνέβαλε στην έξοδο υψηλότερων δόσεων από το μοντέλο για την πρωινή βάρδια σε σχέση με την απογευματινή.

Επιπλέον παρατηρήθηκε ποιες περιοχές του αναπνευστικού επιβαρύνονται περισσότερο κατά την παραμονή στους χώρους της χειροδιαλογής όσο λειτουργούν οι ταινίες. Τη μεγαλύτερη επιβάρυνση τη δέχεται η στοματοφαρυγγική περιοχή με 34,29% της συνολικής δόσης να καταλήγει σε αυτήν και τη λιγότερη η τραχειοβρογχική περιοχή με 2,52% αντίστοιχα.

Ενώ τέλος, βρέθηκε πως η δόση σε έναν εργαζόμενο της πρώτης βάρδιας και σε έναν της δεύτερης, είναι κατά 204% και 123% μεγαλύτερη από ότι η δόση που δέχεται κάποιος όταν εκτεθεί στις συγκεντρώσεις υποβάθρου. Επομένως παρατηρείται σημαντικός κίνδυνος αύξησης των φλεγμονών του αναπνευστικού, της νοσηλείας στο νοσοκομεία για θέματα του αναπνευστικού, των καρδιοπνευμονικών προβλημάτων και των συνολικών θανάτων που βασίζονται στην έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια. Έτσι, για τους εργαζόμενους στην αίθουσα χειροδιαλογής κρίνεται απαραίτητο να ζητήσουν και να χρησιμοποιήσουν κάθε αποτελεσματικό μέσο προστασίας το οποίο μπορεί να τους παρέχει η εταιρεία.

Κρίνεται πως οι μελετητικές δυνατότητες τόσο της αίθουσας της χειροδιαλογής ιδιαίτερα αλλά και του συνολικού εργοστασίου δεν εξαντλούνται με αυτήν τη μελέτη. Η αίθουσα της χειροδιαλογής μπορεί να μελετηθεί περαιτέρω όσον αφορά την αέρια ρύπανση για τον υπολογισμό του κλάσματος των σωματιδίων που βρίσκονται σε αυτόν το χώρο, τη συμβολή της κάθε λειτουργίας στην τελική ρύπανση, στην πυκνότητα των οργανικών, ανόργανων και συνολικών σωματιδίων, τη χημική σύσταση ων σωματιδίων κ.ά.

Κλείνοντας, μια προτεινόμενη λύση για τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης στο χώρο της χειροδιαλογής και ιδιαίτερα κατά την πρωινή βάρδια είναι ο διαχωρισμός του χώρου δραστηριοποίησης των εργαζόμενων από την ταινία μεταφοράς του σύμμεικτου αποβλήτου η οποία δεν απαιτεί μεγάλο αριθμό προσωπικού για την εύρυθμη λειτουργία της (ένα άτομο) και τυχαίνει να λειτουργεί για ορισμένες ώρες της ημέρας (4 - 4,5). Ένας πιθανός τρόπος για να πραγματοποιηθεί αυτό είναι με κάποιο δομικό υλικό το οποίο να εμποδίζει την επαναιώρηση των αιωρούμενων σωματιδίων και να αποτελεί τόσο οικονομικά, όσο και αισθητικά ικανοποιητική λύση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Brunekreef, B., & Holgate, S. T., Air pollution and health, The Lancet, Vol. 360, 2002, p. 1233–1242

- C. K. Chau, W. K. Hui, M.S. Tse, Evaluation of Health benefits for Improving Indoor Air Quality in Workplace, Envrironment International, Vol. 33, Issue 2, February 2007, p. 186-198

- Eileen Abt, Helen H. Suh, Geore Allen, Petros Koutrakis, Characterization of Indoor Particle Sources, Environmental Health Perspectives, Vol.108, No. 1, 2000, pp. 35-44

- Environmental Protection Agency (EPA), Air Quality Criteria for Particulate Matter, EPA/600/P-99/002aF, Volume I, 2004

- Environmental Protection Agency (EPA), National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), 2011

- European Commission (EC), Directive 2008/50/EC, 2008

- European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis, Norwegian Institute for Air Research, 2001, Kjeller (Norway)

- Koren H. (2005), Illustrated Dictionary and Resource Directory of Environmental health and Occupational Safety, 2nd Edition, CRC Press LLC, Florida

- Frank B. Knight, Essentials of Brownian Motion and Diffusion, American Mathematical Society, Mathematical surveys; no. 18, 1981

- Gloria J. Hathaway, Nick H. Proctor (2004), Proctor and Hughes' Chemical Hazards of the Workplace, John Wiley & Sons, INC., Hoboken, New Jersey

- James H. Vincent (1995), Aerosol Science for Industrial Hygienists, Pergamon Press, Elsevier Science Limited, Netherlands, Amsterdam

- James H. Vinvent & Charles F. Clement, Ultrafine particles in workplace atmospheres, Philosophical Transactions: Mathematical, Psysical and Engineering Sciences, Vol. 358, No. 1775, Ultrafine Particles in the Atmosphere (Oct. 15, 2000), pp. 2673-2682

- Jeremy Colls (2002), Air Pollution, Spon Press, London

- Lidia Morawska, Tunga Salthammer (2003), Indoor Environment Airborne Particles and Settled Dust, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

- Marco Maroni, Bernd Seifert, Thomas Lindvall (1995), Indoor Air Quality: A Comprehensive Reference Book, Elsevier Science B.V., Amsterdam

- Miller, K. A., Siscovick, D. S., Sheppard, L., Shepherd, K., Sullivan, J. H., Anderson, G. L., Kaufman J. D., Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women, New England Journal of Medicine, Vol. 356, 2007, p. 447–458

- Mihalis Lazaridis, Ian Colbeck (2010), Human Exposure to Pollutants via Dermal Absorption and Inhalation, Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht

- National Council for Occupational Safety and Health (COSH), http://www.coshnetwork.org/node/353, last time accessed June 2012

- Operation and Service Manual (2005), Model 8520 DUSTTRAK Aerosol Monitor, TSI

- Paul A. Baron, Klaus Willeke (2005), Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications, John Wiley & Sons, INC., New York

- Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., Thurston G. D., Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, JAMA, Vol. 287, 2002, p. 1132–1141

- Qing Yu Meng, Barbara J. Turpin, Leo Korn, Clifford P. Weisel, Maria Morandi, Steven Colome, Junfeng (Jim)Zh Ang, Thomas Stock, Dalia Spektor, Arthur Winer, Lin Zhang, Jong Hoon Lee, Robert Giovanetti, William Cui, Jaymin Kwon, Shahnaz Alimokhtari, Derek Shendell, Jennifer Jones, Corice Farrar And Silvia Maberti, Influence of ambient (outdoor) sources on residential indoor and personal PM2.5 concentrations: Analyses of RIOPA data, Journal of Exposure Analysis & Environmental Epidemiology (2005) 15, 17-28.

- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), The Appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineers and adventitious products of nanotechnologies, European Commission, 2006

- S.I.V. Sousa, J.C.M. Pires, E.M. Martins, J.D.N. Fortes, M.C.M. Alvim-Ferraz, F.G. Martins, Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro — Part II: Health Assessment, Environment International, Vol. 44, 2012, p. 18-25

- Viktoria Aleksandropoulou, Mihalis Lazaridis, Development and application of a model (ExDoM) for calculating the respiratory tract dose and retention of particles under variable exposure conditions, Air Quality, Atmosphere & Health, Springer Netherlands, 2010

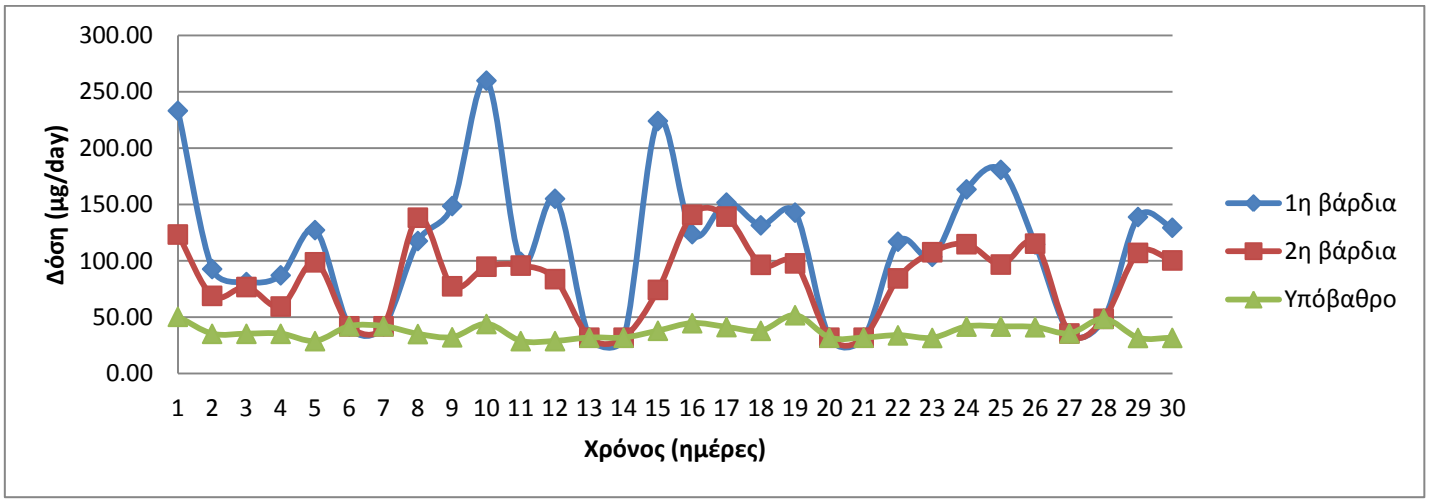
- William C. Hinds (1999), Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, John Wiley & Sons, INC., New York.

- World Health Organization (WHO), Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen, Dioxide and Sulfur Dioxide, 2006

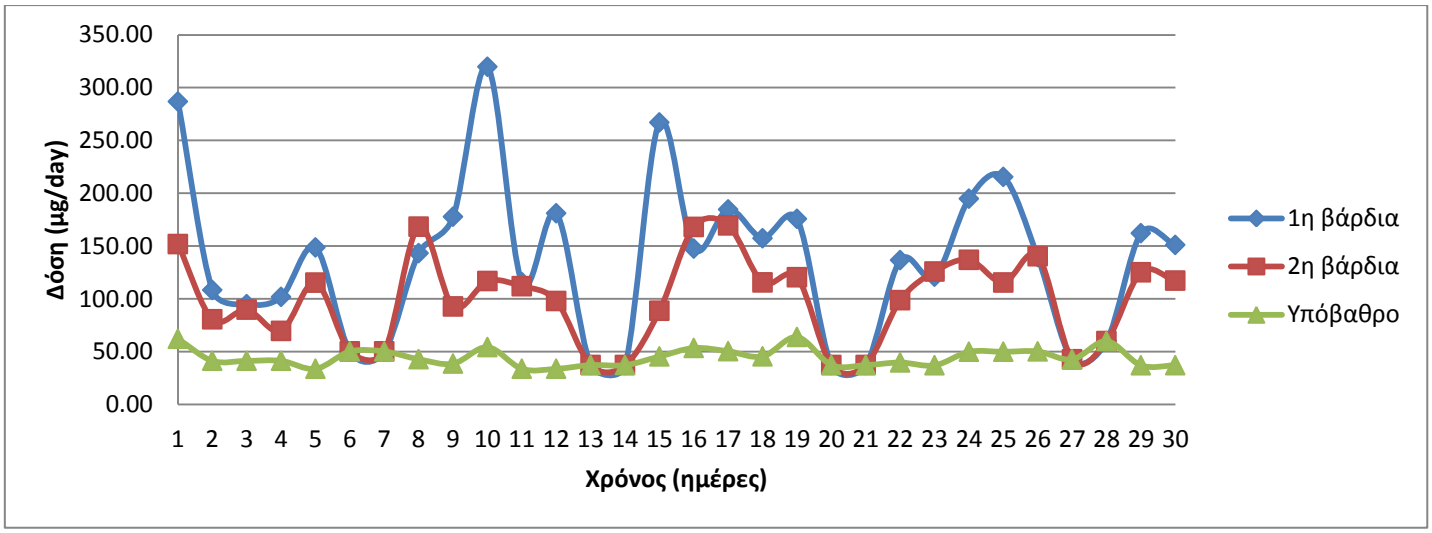
- Μιχάλης Λαζαρίδης (2008), Ποιότητα Αέρα σε Εσωτερικούς Χώρους, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

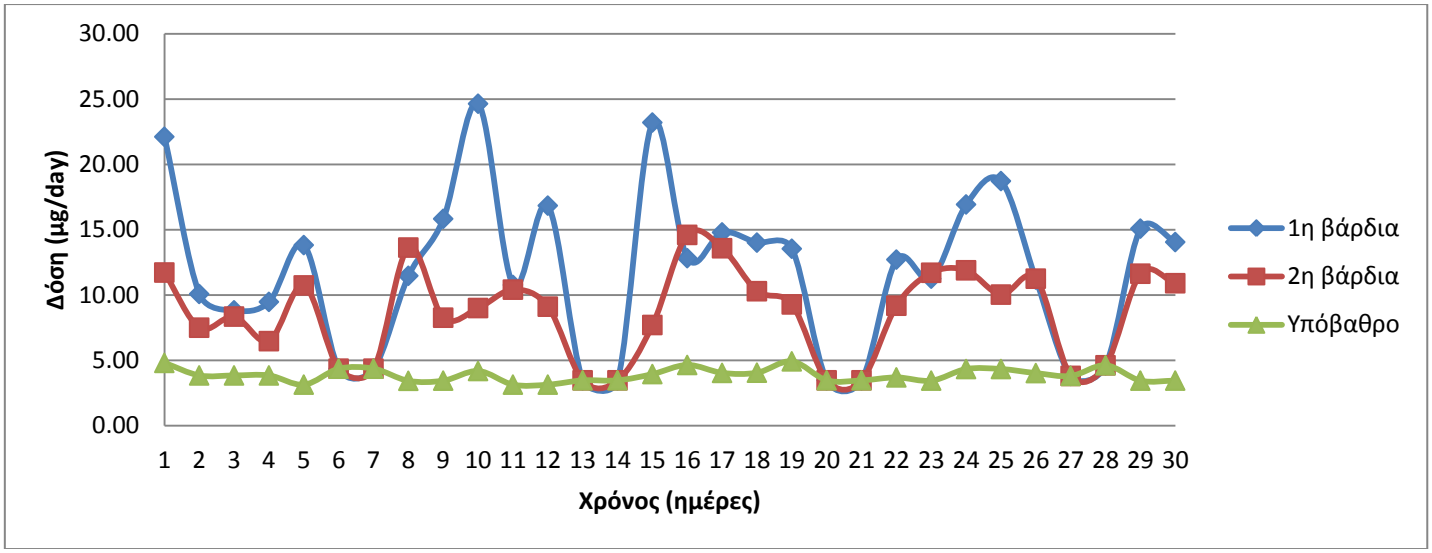
Τα διαγράμματα που παρατίθενται παρακάτω δημιουργήθηκαν από τα αποτελέσματα του μοντέλου ExDoM για τη δόση στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στην εργασία, δηλαδή για την πρώτη βάρδια, τη δεύτερη και τη δόση από τις συγκεντρώσεις υποβάθρου. Παρουσιάζονται από τα ανώτερα διαμερίσματα του αναπνευστικού προς τα κατώτερα.



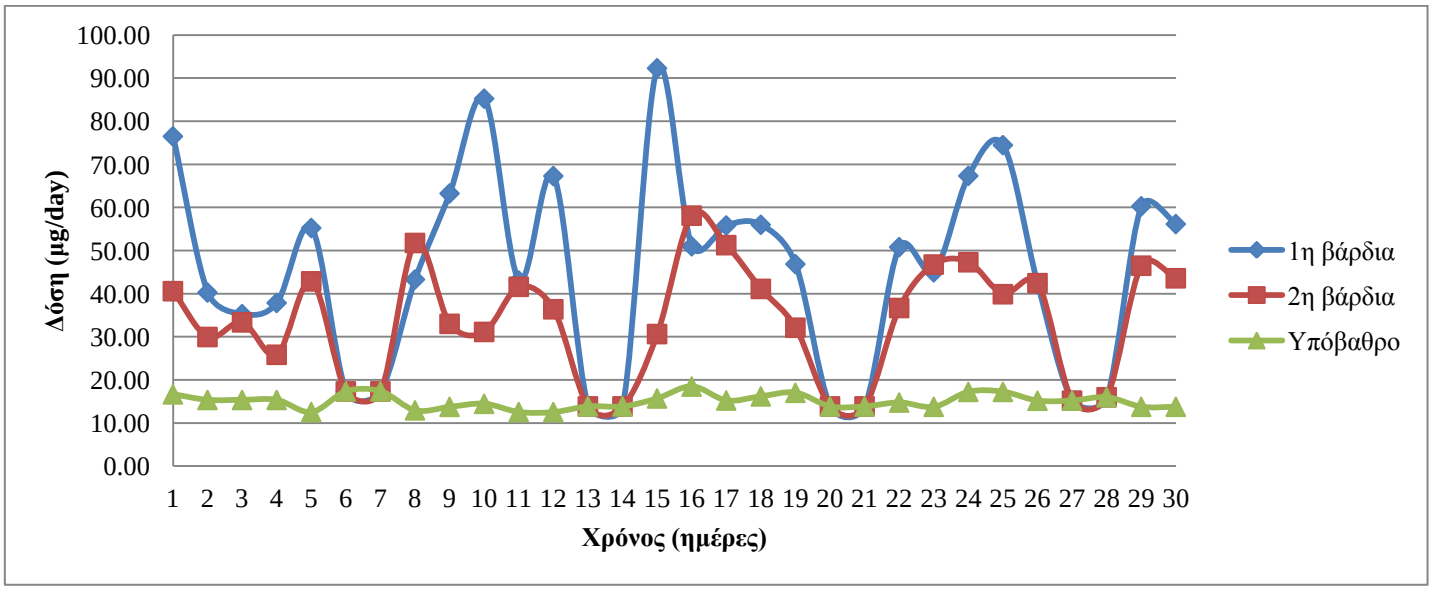
Διάγραμμα 12 Δόση στην περιοχή ET1.



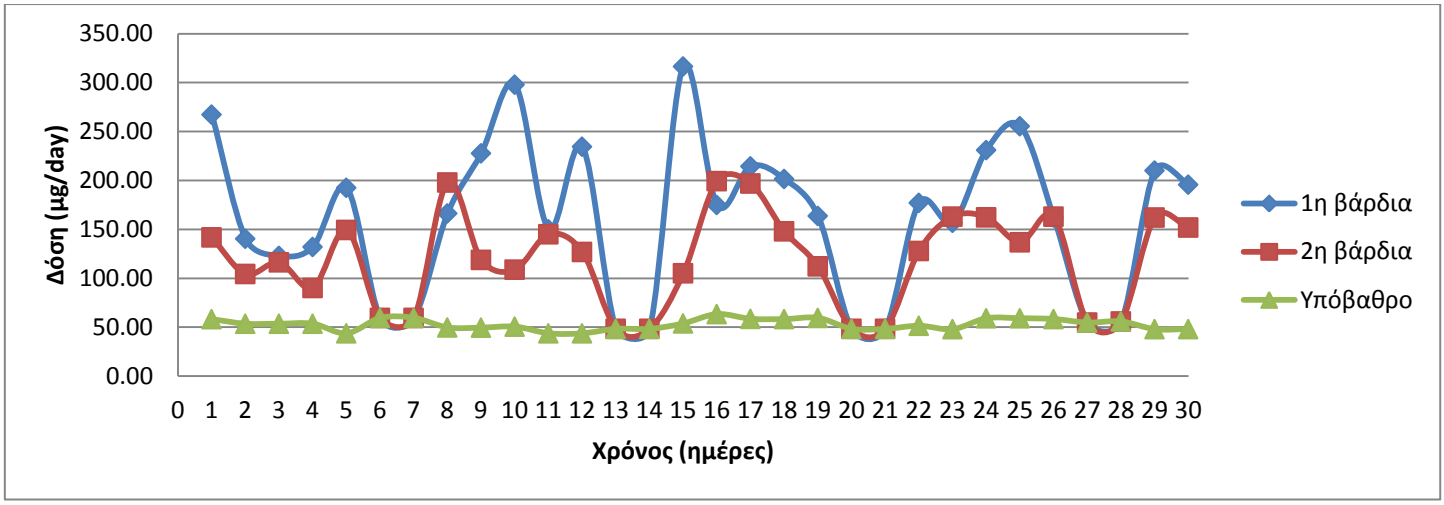
Διάγραμμα 13 Δόση στην περιοχή ET2.



Διάγραμμα 14 Δόση στην περιοχή BB.



Διάγραμμα 15 Δόση στην περιοχή bb.



Διάγραμμα 16 Δόση στην περιοχή Al.