ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, Α΄ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΤΟΜΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»
MSc: "Environment and Health. Capacity building for decision making"

Επιστημονική Υπεύθυνη ΠΜΣ
Πολυξένη Νικολοπούλου-Σταμάτη, Καθ. Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ

Διευθυντής ΠΜΣ
Νικόλαος Καβαντζάς, Καθ. Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ

Τίτλος ΜΔΕ *:* «Μελέτη των τεχνικών μέτρησης της συγκέντρωσης ΑΣ10 με σκοπό την ακριβέστερη εκτίμηση των επιπτώσεων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα»

Title of Master's Thesis: "Technical study of measuring PM10 with a view of a sharper impact assessment in human respiratory system"

Όνομα: ΚΑΖΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ
Αρ. μητρώου: 20130030
Επάγγελμα/ή Ιδιότητα: Περιβαλλοντολόγος

Επιβλέπων καθηγητής ΜΔΕ: (Κωνσταντίνος Ελευθεριάδης – Ερευνητής Α' στο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος")

ΑΘΗΝΑ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Προτού ξεκινήσω την περιγραφή της εργασίας θα ήθελα να εκφράσω από τη θέση αυτή, τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου σε όλους όσους βοήθησαν με τη στήριξη και τις χρήσιμες συμβουλές τους έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον κύριο Κωνσταντίνο Ελευθεριάδη, τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση του θέματος, όσο και για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια των 15 μηνών που δούλευα υπό την εποπτεία του.

Επιπροσθέτως, αισθάνομαι ιδιαίτερη ανάγκη να ευχαριστήσω την κυρία Ευαγγελία Διαπούλη (ερευνήτρια του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος"), τον κύριο Πρόδρομο Φετφατζή (επιστημονικό προσωπικό του εργαστηρίου) και την κυρία Βασιλική Βασιλάτου (υποψήφια διδάκτορα), νιώθοντας μεγάλη ευγνωμοσύνη που μοιράστηκαν μαζί μου τις γνώσεις και την εμπειρία τους.

Τέλος, είμαι σίγουρος ότι δε θα είχα καταφέρει τίποτα από όλα αυτά, χωρίς την πνευματική και ψυχική στήριξη της οικογένειας μου και των δικών μου ανθρώπων**.**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή με τίτλο «Μελέτη των τεχνικών μέτρησης της συγκέντρωσης ΑΣ10 με σκοπό την ακριβέστερη εκτίμηση των επιπτώσεων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα», πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού τμήματος σπουδών «Περιβάλλον και Υγεία: Διαχείριση περιβαλλοντικών θεμάτων με επιπτώσεις στην Υγεία», για το διάστημα μεταξύ Απριλίου του 2015 και Αυγούστου του 2016. Την πορεία της εργασίας επέβλεπε καθ' όλη τη διάρκεια της, ο υπεύθυνος έρευνας του «Εργαστηρίου Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος» κ. Κωνσταντίνος Ελευθεριάδης.

Τις τελευταίες δεκαετίες η ατμοσφαιρική ρύπανση και συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια, αποτελούν ένα πεδίο έρευνας, το οποίο διαρκώς διευρύνεται. Η ενημέρωση της κοινωνίας βελτιώνεται και γίνεται πληρέστερη με την πάροδο των ετών, κι αυτό οφείλεται στο πλήθος των ερευνών επάνω στα αιωρούμενα σωματίδια, που διεξάγονται σε όλο τον κόσμο.

Με βάση αυτές τις έρευνες πραγματοποιούνται και πολλές επιδημιολογικές μελέτες, οι οποίες συνδέουν τη έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, με σοβαρές επιπτώσεις για την υγεία. Οι συνέπειες αυτής της έκθεσης εντοπίζονται κυρίως στο αναπνευστικό σύστημα, στο καρδειαγγειακό σύστημα και στο κυκλοφορικό σύστημα, προκαλώντας νοσήματα, δυσλειτουργίες και καρκινογενέσεις.

Η τήρηση της ενδεδειγμένης διαδικασίας σε μία μελέτη αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και η σωστή συντήρηση των οργάνων, εξασφαλίζουν την εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων. Από την ορθότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται πολλές φορές και η ακρίβεια των εκτιμήσεων των επιπτώσεων στην υγεία.

Στην παρούσα εργασία συγκρίνουμε δύο διαφορετικές τεχνικές μέτρησης μάζας ΑΣ10 με απώτερο σκοπό τον έλεγχο της απόδοσης των τεχνικών αλλά και τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης μεταξύ των αποτελεσμάτων που δίνουν. Έπειτα θα υπολογίσουμε την ποσοστιαία εναπόθεση της τυπικής απόκλισης στο κάθε στάδιο του ανθρώπινου αναπνευστικού. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα δείχνει σε τι βαθμό μπορεί, η απόκλιση αυτή, να επηρεάσει (ή να αλλάξει) τον υπολογισμό της εναπόθεσης των σωματιδίων στους πνεύμονες για τα ΑΣ10.

ABSTRACT

This thesis entitled as "Study of the techniques of concentration PM10 measurement to more accurately estimate the impact on the human respiratory system", was part of the Master's program of study: "Environment and Health: Managing environmental issues with an impact on health". The research was carried out during the period between April 2015 and August 2016. Through the course of this research I was supervised by the Director of Research of the "Laboratory of Environmental Radioactivity", Mr. Konstantinos Eleftheriadis.

In recent decades, air pollution, and especially airborne particles, are a research field, which is constantly expanding. The information of the public is enhanced over the years, and this is due to the rising number of researches upon the airborne particles performed all over the world.

Based on these researches are conducted also many epidemiological studies that connect the exposure of the human body in particulate matter concentrations, with a serious impact on health. The effects of this exposure are mainly focused on the respiratory system, cardio system and the circulatory system, causing diseases, dysfunctions and cancer.

Compliance with the appropriate procedure in such a study, as well as proper maintenance of the instruments, ensure more reliable results and conclusions. The accuracy in the estimations of the health impact depends on how reliable are these results.

In this paper we compare two different mass measurement techniques for PM10 with a view to test the performance of each of these techniques and calculating the standard deviation between the results which are derived. Then we are going to calculate the percentage deposition of the standard deviation in each stage of the human respiratory tract. This result shows to what extent, this difference affects (or changes) the estimation of particle deposition in the lungs for PM10.

Α. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Α.1 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Α.1.1 Γενικά στοιχεία

Η γήινη ατμόσφαιρα, όπως υποστηρίζεται σήμερα, δημιουργήθηκε πριν από περίπου 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια, με αρχική σύνθεση το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το άζωτο (N_2), τους υδρατμούς (H_2O) και το υδρογόνο (H_2). Ύστερα από μακροχρόνιες διεργασίες μεταξύ της ξηράς, των ωκεανών και των αερίων της ατμόσφαιρας, η σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας σταθεροποιήθηκε πριν από περίπου 400 εκατομμύρια χρόνια (Παπαγιάννης, 2005).

Η σύσταση της ατμόσφαιρας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος και στις διάφορες φυσικο-χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν. Έτσι, η επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος με πολυάριθμους ανθρωπογενείς ρύπους παίζει πλέον ενεργό ρόλο στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή (Παπαγιάννης, 2005).

Α.1.2 Η σημασία της ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα είναι απαραίτητη για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα, η ατμόσφαιρα:

- Παρέχει οξυγόνο για τους ανθρώπους και τα ζώα, άζωτο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών και διοξείδιο του άνθρακα για τη φωτοσύνθεση των φυτών
- Απορροφάει την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και μειώνει τη διαφορά των ακραίων θερμοκρασιών μεταξύ ημέρας και νύχτας
- Μας προστατεύει από την βλαβερή συμπαντική ακτινοβολία
- Λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς του νερού, όντας ένα βασικό κομμάτι του υδρολογικού κύκλου
- Αποτελεί το μέσον στη διάδοση του ήχου
- Διαχέει το φως
- Προκαλεί τους χρωματισμούς του ουρανού και των νεφών, καθώς χωρίς αυτή ο ουρανός θα ήταν σκοτεινός
- Δημιουργεί τα καιρικά φαινόμενα και κατά συνέπεια το κλίμα στις διάφορες περιοχές του πλανήτη

Α.1.3 Χημική σύσταση της ατμόσφαιρας

Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα μεταβάλλεται ανάλογα με τον τόπο, με την πάροδο του χρόνου και ανάλογα με το υψόμετρο. Γενικότερα, η σύσταση της ατμόσφαιρας μέχρι τα 100 χιλιόμετρα από το έδαφος, θεωρείται ομοιογενής (κατά μέσο όρο).

Επίσης, υπάρχουν και κάποιοι φυσικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πυρκαγιές των δασών, η κίνηση των αέριων μαζών και τα θαλάσσια ρεύματα.

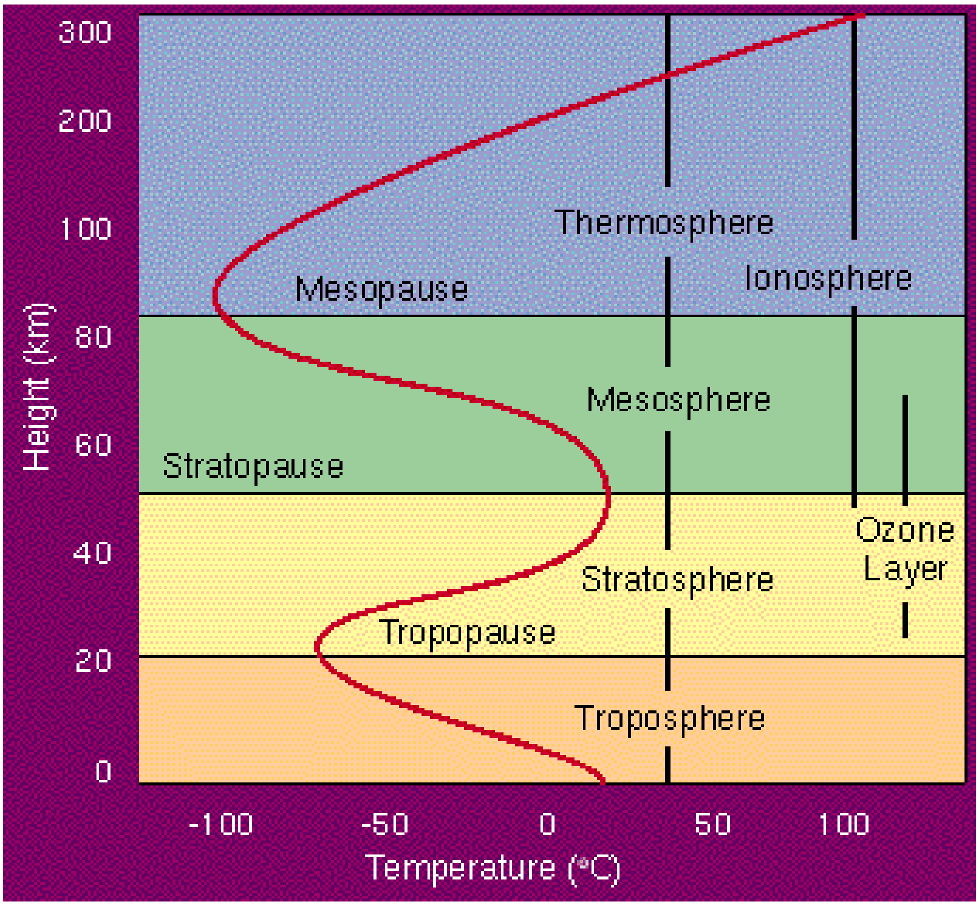
Η γήινη ατμόσφαιρα αποτελείται από ένα μίγμα αερίων ή καλύτερα από ένα μίγμα ξηρού αέρα και υδρατμών. Ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας με τη σειρά του αποτελείται από διάφορα αέρια, εκ των οποίων τα τρία πρώτα (αντιπροσωπεύουν το 99.97% της σύστασης της ατμόσφαιρας) παρουσιάζουν σταθερή αναλογία ανάμιξης στην ατμόσφαιρα (Triplet and Roche, 1986). Οι υδρατμοί αποτελούν το τέταρτο πιο συνηθισμένο αέριο της ατμόσφαιρας που βρίσκεται στα χαμηλότερα στρώματά της, με μεταβλητή συγκέντρωση. Τα κυριότερα αέρια από τα οποία αποτελείται ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Αέριο	***Ογκομετρική Σύνθεση***
Άζωτο (N_2)	78.09
Οξυγόνο (O_2)	20.95
Αργόν (Ar)	0.93
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	~0.03
Νέον (Ne)	$1.8x10^{-3}$
Ήλιον (He)	$5.24x10^{-4}$
Κρυπτόν (Kr)	$1.0x10^{-4}$
Υδρογόνο (H_2)	$5.0x10^{-5}$
Ξένο (Xe)	$8.0x10^{-6}$
Όζον (O_3)	$1.0x10^{-6}$
Ραδόνιο (Rn)	$6.0x10^{-18}$

Πίνακας 1 : Σύνθεση ατμοσφαιρικού αέρα

Α.1.4 Δομή της ατμόσφαιρας

Η διαστρωμάτωση της ατμόσφαιρας συμβάλλει καθοριστικά στην ύπαρξη ζωής. Υπάρχουν όμως διάφοροι τρόποι διαχωρισμού των στρωμάτων αυτών. Το πιο κοινό και ευρέως γνωστό επιστημονικό μοντέλο είναι αυτό σύμφωνα με το οποίο η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε τέσσερα βασικά στρώματα, ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας καθ’ ύψος (Εικόνα 1). Τα στρώματα αυτά, ξεκινώντας από την επιφάνεια της γης, είναι η τροπόσφαιρα, η στρατόσφαιρα, η μεσόσφαιρα και η θερμόσφαιρα.



Εικόνα 1 : Τα στρώματα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας καθ' ύψος

Η τροπόσφαιρα είναι το κοντινότερο στρώμα στην επιφάνεια της γης και συνεπώς το σημαντικότερο, καθώς αποτελεί το αέριο στρώμα που ουσιαστικά περιβάλλει τους έμβιους οργανισμούς, ανταλλάσσοντας θερμότητα, θρεπτικά συστατικά και νερό με την επιφάνεια. Περιέχει το 85 - 90% της μάζας της ατμόσφαιρας και εκτείνεται από το έδαφος έως την τροπόπαυση η οποία ευρίσκεται σε ύψος 10-18 χλμ.3 ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου (πχ. 6-8 χλμ. ύψος στους Πόλους, 12 χλμ. στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και ~18 χλμ. ύψος στον Ισημερινό) (Παπαγιάννης, 2005). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας λαμβάνει χώρα το σύνολο σχεδόν των διεργασιών για τη δημιουργία και την εξέλιξη των καιρικών φαινομένων.

Η στρατόσφαιρα είναι το στρώμα, το οποίο βρίσκεται πάνω από την τροπόσφαιρα και διαχωρίζεται από αυτήν μέσω ενός ορίου που ονομάζεται τροπόπαυση και είναι το σημείο όπου η θερμοκρασία αρχίζει να αυξάνεται. Η στρατόσφαιρα περιέχει τη στοιβάδα του όζοντος και για αυτό το λόγο θεωρείται ως η προστατευτική ζώνη των ζώντων οργανισμών έναντι της βλαβερής υπεριώδους ακτινοβολίας. Μαζί με την τροπόσφαιρα αποτελούν την κατώτερη ατμόσφαιρα και περιλαμβάνουν το 99,9 % της συνολικής μάζας των αερίων. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι λόγω της καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος (στρατόσφαιρα) και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (τροπόσφαιρα), η κατώτερη ατμόσφαιρα αποτελεί το κύριο πεδίο ενδιαφέροντος για την περιβαλλοντική κοινότητα.

Η μεσόσφαιρα εκτείνεται σε ύψος μέχρι τα 80 – 90 χλμ. περίπου και ξεκινάει από τη στρατόπαυση που θεωρείται ως η ζώνη οριοθέτησης που τη διαχωρίζει από τη στρατόσφαιρα (Andrews, 2000). Το συγκεκριμένο στρώμα της ατμόσφαιρας είναι το ψυχρότερο, καθώς παύει να υπάρχει το στρώμα του όζοντος, λαμβάνοντας τιμές μέχρι και -90 ^{o} C (Παπαγιάννης, 2005). Το ανώτερο και ψυχρότερο σημείο του στρώματος είναι η μεσόπαυση, η οποία μπορεί να αγγίξει θερμοκρασίες χαμηλότερες των -100 ^{o} C με αποτέλεσμα να θεωρείται ως το ψυχρότερο σημείο ολόκληρης της ατμόσφαιρας.

Τέλος, η θερμόσφαιρα εκτείνεται από την μεσόπαυση έως τα 110 χλμ. ύψος περίπου και χαρακτηρίζεται γενικά από: την αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους, λόγω της απορρόφησης της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το οξυγόνο και το άζωτο, και την ελάχιστη κατακόρυφη ανάμιξη των αερίων μαζών της. Η θερμοκρασία της θερμόσφαιρας εξαρτάται άμεσα από την ηλιακή δραστηριότητα. Μεταξύ της μεσόσφαιρας και της θερμόσφαιρας ευρίσκεται η *ιονόσφαιρα*, στην οποία παρατηρείται μερικός *ιονισμός* των ατμοσφαιρικών συστατικών από την ηλιακή ή την σωματιδιακή ακτινοβολία. Η ιονόσφαιρα εκτείνεται από τα 80 έως τα 300 χλμ. Περίπου (Παπαγιάννης, 2005).

Α.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΉ ΡΥΠΑΝΣΗ

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται κάθε ανεπιθύμητη αλλαγή των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του αέρα, με αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής και της σύστασης του. Γενικότερα, σύμφωνα με τον Δ. Μελά (1997), οι αλλοιώσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και επιφέρει σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Ως φυσικό επακόλουθο, η ατμοσφαιρική υποβάθμιση λόγω της ρύπανσης μπορεί να έχει ακόμα και οικονομικές ή πολιτιστικές συνέπειες, μειώνοντας την ποιότητα ζωής και κατ' επέκταση αποπροσανατολίζοντας μια κοινωνία από το στόχο της οικονομικής και πολιτιστικής ανάπτυξης.

Οι σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO_2, CO), οι μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις (NMVOCs), το μεθάνιο (CH_4), τα οξείδια και το υποξείδιο του αζώτου (NO_x, N_2O), η αμμωνία (NH_3), το διοξείδιο του θείου (SO_2), τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter, ΑΣ), τα βαρέα μέταλλα, οι έμμονοι οργανικοί ρύποι (Persistent Organic Pollutants), οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) και τα παράγωγά τους, οι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες (Aliphatic Hydrocarbons) (Manahan, 2005).

Α.2.1 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Κάθε ένας άνθρωπος μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαρκής πηγή ρύπανσης που επηρεάζει το ατμοσφαιρικό περιβάλλον με την πλειοψηφία των δραστηριοτήτων του κατά τη διάρκεια της ζωής του. Από την άλλη πλευρά, ουσίες που επηρεάζουν την ατμόσφαιρα εκλύονται και από πληθώρα φυσικών διεργασιών του περιβάλλοντος. Γι' αυτό το λόγο οι πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης διαχωρίζονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

Οι κύριες φυσικές πηγές είναι:

- Τα ηφαίστεια (αιωρούμενα σωματίδια, SO_2, CH_4, H_2S)
- Οι πυρκαγιές των δασών (αιωρούμενα σωματίδια, CO_2, CO)
- Οι ωκεανοί και οι θαλάσσιες εκτάσεις (NaCl, $SO_4^{=}$)
- Η βιολογική αποσύνθεση φυτών και ζώων (υδρογονάνθρακες, NH_3, H_2S)
- Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια)
- Τα φυτά και τα δέντρα (υδρογονάνθρακες)
- Η σκόνη εδάφους

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- Οι βιομηχανικές πηγές (επεξεργασία και καύση)
- Η παραγωγή και μεταφορά ενέργειας
- Οι μεταφορές με Μ.Μ.Μ. (Μέσα Μαζικής Μεταφοράς)
- Η κεντρική θέρμανση

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίσθηκαν και αυτό διότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων συγκεντρώνονται κυρίως στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε αυτές τις περιοχές, να είναι μεγαλύτερες από τα επιτρεπτά όρια (Κουϊμτζής και συν., 1998).

Οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα προκαλούν βραχυπρόθεσμες καθώς και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Σε αυτές συγκαταλέγονται η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, η αύξηση της οξύτητας των υδάτινων αποδεκτών και των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, οι φθορές σε κτίρια, η καταστροφή της στιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα, η αύξηση της θερμότητας του πλανήτη λόγω του φαινόμενου του θερμοκηπίου, οι κλιματικές αλλαγές και τέλος η έκθεση του ανθρώπου και του οικοσυστήματος σε επικίνδυνες χημικές ουσίες με άμεσες επιπτώσεις στην υγεία (Manahan, 2005).

Οι ρύποι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα είτε στην αέρια (με τη μορφή αερίων ή ατμών), είτε στη στερεή κατάσταση (με τη μορφή αιωρούμενων στερεών σωματιδίων ή σταγονιδίων), οπότε αντίστοιχα ονομάζονται αέριοι ή σωματιδιακοί ρύποι (Κουϊμτζής και συν., 1998). Οι κύριες πηγές αέριων ρύπων περιλαμβάνουν τους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας, τα μέσα μεταφοράς, τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Λαζαρίδης, 2005). Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται κυρίως από τη βιομηχανική καύση, την παραγωγή ενέργειας, τις μεταφορές.

Α.3 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Α.3.1 Γενικά στοιχεία

Αιωρούμενα σωματίδια ή αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη (Particulate matter, ΑΣ), είναι όλα τα στερεά σωματίδια και σταγονίδια με μέγεθος διαμέτρου μεγαλύτερο των απλών μορίων ($2x10^{-4}$ μm. περίπου) αλλά μικρότερο από 500 μm.. Σε αντίθεση με τα αέρια, τα σωματίδια βρίσκονται σε υγρή ή στερεή κατάσταση και αποτελούν μια συνάθροιση μορίων και ατόμων, τα οποία είναι δεσμευμένα μεταξύ τους (Wark et al., 1998; Manahan, 1994).

Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία πηγών και έχουν ένα σημαντικό εύρος διαφορετικών μορφολογικών, χημικών, φυσικών και θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών. Μπορούν να δημιουργηθούν από πολλά διαφορετικά υλικά, όπως μέταλλα, αιθάλη και σκόνη. Η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη μπορεί, επίσης, να περιέχει και θειικά σωματίδια. Η σκόνη εδάφους, τα σταγονίδια της θάλασσας, ο καπνός, η ομίχλη, η κάπνα και η ιπτάμενη τέφρα είναι διάφορες κατηγορίες αιωρούμενων σωματιδίων (Natural Resources Defense Council, 1996d).

Τα σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων ονομάζονται αερολύματα (αεροζόλ) (Κουϊμτζής και συν., 1998) και είναι ένα σύνολο υγρών ή στερεών μικροσωματιδίων που αιωρούνται εντός ενός αέριου μέσου, συνήθως αέρα, με διάμετρων από 0,001 μm έως 100 μm.

Στην ατμόσφαιρα έχουν ανιχνευθεί συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ως προς τη μάζα, από μερικά μg/m^3 μέχρι αρκετές εκατοντάδες μg/m^3 σε ατμοσφαιρικά επιβαρυμένες περιοχές (Seinfeld and Pandis, 2006). Ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως το μέγεθος τους, το ατμοσφαιρικό στρώμα στο οποίο βρίσκονται, η κατακόρυφη κατανομή των υδρατμών στην ατμόσφαιρα και η κατακόρυφη κατανομή άλλων συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα τα οποία είναι χημικά δραστικά και επηρεάζουν την εξέλιξη της σύστασης και του μεγέθους των ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Έχει παρατηρηθεί ότι για μικρά σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0,01 και 1 μm, ο χρόνος παραμονής τους είναι περίπου ίσος με μία εβδομάδα στην κατώτερη ατμόσφαιρα και φθάνει τα δύο χρόνια στη στρατόσφαιρα. Τα σωματίδια μπορούν να μεταφέρονται μέσω της ατμόσφαιρας σε μεγάλες αποστάσεις από τις πηγές εκπομπής τους. Για το λόγο αυτό, μπορούν να επηρεάζουν τους βιογεωχημικούς κύκλους των στοιχείων στη φύση (Ρεμουντάκη, 2004).

A.3.2 Χημική σύσταση

Η χημική σύσταση των σωματιδίων, λόγω και της αξιοσημείωτης ποικιλίας που υπάρχει, προδίδει συνήθως και την πηγή από την οποία προέρχονται. Πιο συγκεκριμένα, τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από μια ανόργανη φάση (στερεό ανόργανο υλικό, υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα, στοιχειακός άνθρακας, κ.ά.) και μία οργανική φάση (οργανικός άνθρακας, ετεροάτομα) και από νερό.

Η ανόργανη φάση αποτελείται κυρίως από ενώσεις S, N, H και ιόντα αμμωνίου καθώς και από στοιχειακό άνθρακα, ο οποίος προέρχεται από την ατελή καύση των καυσίμων. Σε μικρότερο ποσοστό συμμετέχουν διάφορα μέταλλα (ιχνοστοιχεία), τα οποία προέρχονται είτε από την κίνηση των οχημάτων, είτε από βιομηχανικές διεργασίες (π.χ. εξόρυξη και άλεση ορυκτών, είτε από την επαναιώρηση εδαφικού υλικού από την επίδραση του ανέμου στην ξηρά.

Η οργανική φάση αποτελείται από οργανικό άνθρακα ο οποίος παράγεται από προϊόντα καύσης, από βιολογικές διεργασίες των μικροοργανισμών, των φυτών και των ζώων καθώς και από την οξείδωση αρωματικών ενώσεων, υδρογονανθράκων και πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC’s).

Η χημική σύσταση των σωματιδίων επηρεάζει άμεσα την αλληλεπίδραση τους με την ηλιακή ακτινοβολία. Τα χημικά συστατικά των αερολυμάτων αλλάζουν το δείκτη διάθλασης τους, καθορίζοντας την ποσότητα του φωτός που θα σκεδαστεί ή που θα απορροφηθεί.

Επίσης, στην περίπτωση της αιθαλομίχλης, που αποτελεί συχνό φαινόμενο τα τελευταία χρόνια, η σύσταση των σωματιδίων αποτελείται από διοξείδιο του θείου, νιτρικά, μονοξείδιο του άνθρακα, σκόνη που περιέχει μέταλλα, οργανική ύλη και στοιχειακό άνθρακα (ή αλλιώς μαύρο άνθρακα). Τα σωματίδια, λόγω του θείου, έχουν υγροσκοπικό χαρακτήρα και όταν υπάρχει υψηλή υγρασία και χαμηλή θερμοκρασία, τότε το διοξείδιο του θείου μετατρέπεται σε θειικό άλας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρείται ένα κίτρινο χρώμα στην ατμόσφαιρα και μείωση της ορατότητας.

A.3.3 Πηγές εκπομπής

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι πηγές απ’ όπου εκπέμπονται τα αιωρούμενα σωματίδια ποικίλουν και είναι πολλές. Ωστόσο, όπως συνηθίζεται στις πηγές ρύπανσης, οι επιστήμονες τις χωρίζουν σε δύο κύριες κατηγορίες, τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς (Andrae et al., 1997).

A.3.3.1 Φυσικές πηγές

Φυσικές πηγές καλούνται αυτές στις οποίες κατά τις διεργασίες εκπομπής δε λαμβάνει μέρος καμία ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων που εκλύονται από φυσικές πηγές, είναι πολύ υψηλότερες από αυτές των ανθρωπογενών (Pacyna, 1995). Μερικές από τις σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι (:Querol et al., 2004):

- Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, όπου εκλύονται αερολύματα θειικού οξέος σε μεγάλη ποσότητα και μπορούν να φτάσουν σε αρκετά μεγάλη απόσταση από την πηγή διαταράσσοντας το ατμοσφαιρικό περιβάλλον
- Η επιφάνεια της γης, όπου υλικά του φλοιού (όπως η σκόνη από επαναιώρηση, σκόνη από ερήμους κ.ά.) μεταφέρονται μέσω των ανέμων προκαλώντας προβλήματα στην ορατότητα και κατ' επέκταση στην υγεία
- Οι φυσικές διεργασίες, από τις οποίες παράγονται βιογενή οργανικά αερολύματα (όπως θραύσματα φύλλων, γύρη, σπόρια, βακτήρια, μύκητες, μούχλα, ιοί κ.ά.)
- Η επιφάνεια των ωκεανών, από την οποία μεταφέρονται σταγονίδια νερού με διάφορα άλατα υπό την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας
- Οι πυρκαγιές των δασών που δημιουργούνται με φυσικό τρόπο, οι οποίες εκλύουν ποσότητες ρύπων με τη μορφή καπνού και ιπτάμενης τέφρας. Όταν είναι εκτεταμένες μπορεί να προκαλέσουν νέφος ή αιθαλομίχλη, με αποτέλεσμα τη μείωση της ορατότητας και την επίδραση στο ηλιακό φως
- Ο μηχανισμός μετατροπής ενός αερίου σε σωματίδιο, όπου σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό οι πρόδρομες ενώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι αέρια, τα οποία οξειδώνονται είτε στην αέρια φάση είτε στην υγρή φάση. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται προϊόντα χαμηλής πτητικότητας, τα οποία είτε συμπυκνώνονται σε προϋπάρχοντα σωματίδια είτε σχηματίζουν νέα σωματίδια τα οποία επαναιωρούνται στην ατμόσφαιρα.

A.3.3.1.1 Σκόνη από τις ερήμους (Desertdust)

Ο παγκόσμιος κύκλος των αεροζόλ από τη σκόνη των ερήμων ανταποκρίνεται έντονα στις διαταράξεις που συμβαίνουν στο κλίμα, και ως αποτέλεσμα επηρεάζει κι αυτός με τη σειρά του το κλίμα και τη βιοχημεία του.

Τα σωματίδια της σκόνης των ερήμων (όπως η σκόνη που έρχεται συχνά στη χώρα μας από τη Σαχάρα), όπως και τα αερολύματα που περιέχουν μέταλλα, είναι σωματίδια που αιωρούνται και μεταφέρονται μέσα στην ατμόσφαιρα, και προέρχονται συνήθως από περιοχές με εύκολα διαβρώσιμα εδάφη, μικρή ποσότητα βλάστησης και δυνατούς ανέμους.

Η σκόνη αλληλεπιδρά με τα υγρά σύννεφα ή τα σύννεφα πάγου, τροποποιώντας έτσι τις οπτικές ιδιότητες και το χρόνο ζωής τους (DeMott et al., 2003;Mahowald and Kiehl, 2003) και επηρεάζοντας, επίσης, τη διαδικασία της βροχόπτωσης (Creamean et al., 2013).

Τα σωματίδια σκόνης παρασύρονται και μεταφέρονται διαμέσου της ατμόσφαιρας, ακολουθώντας μια συγκεκριμένη διαδικασία (Marticorena and Bergametti, 1995; Kok et al., 2012). Καταρχήν, οι δυνατοί άνεμοι αναγκάζουν τα σωματίδια διαμέτρου 100 – 200 μm, να κινηθούν κοντά στην επιφάνεια του εδάφους σε βαλλιστική τροχιά (‘saltation’) (Bagnold, 1941; Alfaro et al., 1998b). Ύστερα, τα μεγάλα αυτά σωματίδια κατά την πορεία τους συγκρούονται με το έδαφος, αφαιρώντας (ξεκολλώντας) από αυτό μικρότερα σωματίδια. Τέλος, τα μικρότερα αυτά σωματίδια (διαμέτρου μικρότερης των 50 μm περίπου), όντας πιο ελαφριά, παρασύρονται στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (boundary layer) μέσω του οποίου μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις (Prospero, 1996; Grousset et al., 2003).

Όσον αφορά τη ανθρώπινη υγεία, η εισπνοή των σωματιδίων σκόνης ενέχει σοβαρούς κινδύνους. Όπως αναφέρεται και αναλυτικότερα στα παρακάτω κεφάλαια, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των αεροζόλ, τόσο περισσότερες πιθανότητες έχει να φτάσει στην περιοχή του πνεύμονα όπου γίνεται η ανταλλαγή αερίων (κυψελίδες) (Brunekreef and Holgate, 2002).

Για όλους τους παραπάνω λόγους λοιπόν, τα σωματίδια σκόνης θεωρούνται πολύ σημαντικά για την ανθρώπινη υγεία, το κλίμα αλλά και τη βιοχημεία.

Α.3.3.1.2 Η εμφάνιση της Αφρικανικής σκόνης στην ατμόσφαιρα της Αθήνας

Η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας παρουσιάζει σημαντικό πρόβλημα αέριας ρύπανσης και μπορεί να θεωρηθεί ως αντιπροσωπευτικό δείγμα σχετικά με του τύπους των πηγών εκπομπής, παγκοσμίως (Karabasiou et al.,2009).

Πρόσφατες έρευνες αναφέρουν ότι η αφρικανική σκόνη συνεισφέρει περίπου 10 $\mu g/m^3$ στη μέση ετήσια συγκέντρωση $ΑΣ_{10}$, όπως καταγράφεται από δίκτυα ποιότητας του αέρα, στην ανατολική Μεσόγειο και 2 έως 4 $\mu g/m^3$ στη δυτική Μεσόγειο (Escudero et al., 2010).

Ανάλογα με τη διαδρομή που ακολουθούν οι αέριες μάζες, η σύσταση των αερολυμάτων διαφέρει για κάθε σημείο της Μεσογείου. Για παράδειγμα, τα σωματίδια σκόνης από την έρημο, που καταλήγουν στη Βαρκελώνη, θα έχουν πιθανότατα επιβαρυνθεί από ανθρωπογενείς πηγές μετάλλων περνώντας πάνω από την Ιβηρική Χερσόνησο, σε αντίθεση με εκείνα που φτάνουν στην Αθήνα, τα οποία ακολουθούν τη διαδρομή πάνω από τη Μεσόγειο (Samoli et al., 2011).

Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της σκόνης από τη Σαχάρα έχουν σημαντική επιρροή στη χημεία των αερολυμάτων της Μεσογείου. Από τη σωματιδιακή ύλη που μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, περίπου 3.9 εκατομμύρια τόνοι σκόνης μεταφέρεται από τη Σαχάρα στην περιοχή της Μεσογείου και αιωρούνται σε ύψος 1.5 με 2.5 χιλιόμετρα (Löye-Pilot et al., 1986).

A.3.3.1.3 Γύρη

Τα οργανικά αερολύματα θεωρούνται ως ένας πολύ σημαντικός τομέας της ατμοσφαιρικής σωματιδιακής ύλης, αλλά δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς ο αντίκτυπος που έχουν στη χημική-μεταφορά και στα κλιματικά μοντέλα (Fuzzi 2006; Heald 2011). Ένα σημαντικό τμήμα των πρωτογενών οργανικών αερολυμάτων είναι και η γύρη (Skjøth et al. 2008). Οι πηγές των βιογενών οργανικών αερολυμάτων (όπως η γύρη) βρίσκονται εκεί όπου λαμβάνουν χώρα βιολογικές δραστηριότητες και είναι εκτεθειμένες σε ανέμους.

Τα σωματίδια της γύρης είναι διαμέτρου 10 – 100 μm και συνδέονται με αρκετές αλλεργικές ασθένειες, όπως το άσθμα και η αλλεργική ρινίτιδα (Bachert et al., 2004). Ένα χαρακτηριστικό της ευαισθησίας στη γύρη, είναι το μοτίβο εμφάνισης αυτής της ευαισθησίας, την περίοδο δηλαδή όπου η γύρη βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα. Γενικότερα, η γνώση της περιεκτικότητας των βιολογικών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (όπως η γύρη, τα σπόρια και τα υπολείμματα τους), είναι πολύ σημαντική για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των αλλεργικών ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος.

A.3.3.2 Ανθρωπογενείς πηγές

Όταν σε κάποια πηγή συμμετέχει άμεσα ή έμμεσα ο ανθρώπινος παράγοντας, τότε η πηγή αυτή θεωρείται ανθρωπογενής. Στις κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται:

- Η επαναιώρηση της σκόνης που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. η κίνηση των οχημάτων, αγροτικές δραστηριότητες κ.ά.)
- Τα προϊόντα που εκπέμπονται από κινητήρες εσωτερικής καύσης (π.χ. αυτοκίνητα, λεωφορεία κ.ά.)
- Οι μηχανικές διεργασίες, όπως η καταστροφή εδαφικών υλικών, και ψεκασμοί
- Η καύση των αστικών απορριμμάτων
- Οι εμπρησμοί των δασών
- Οι εκπομπές βιομηχανικής ‘σκόνης’, στην οποία κατατάσσονται κυρίως σωματίδια με σχετικά μεγάλο μέγεθος, περίπου πάνω από 2.5 μm αεροδυναμικής διαμέτρου, προερχόμενα από την ατελή καύση ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, οι εκπομπές βιομηχανικής ‘σκόνης‘ προέρχονται και από άλλες διεργασίες όπως είναι για παράδειγμα η καύση λιγνιτών για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η παρασκευή τσιμέντου, η μεταλλουργία και η καύση στερεών αποβλήτων.

Α.3.4 Ταξινόμηση των αιωρούμενων σωματιδίων

Η ταξινόμηση της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης γίνεται, συνήθως, με τρία βασικά κριτήρια: τον τρόπο σχηματισμού, το μέγεθος και τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό.

Α.3.4.1 Τρόπος σχηματισμού

Τα σωματίδια διακρίνονται σε πρωτογενή και δευτερογενή, ανάλογα με την προέλευση τους και το μηχανισμό σχηματισμού τους.

Τα πρωτογενή σωματίδια προέρχονται από τις πρωτογενείς πηγές και εκπέμπονται κατευθείαν από αυτές, με τις συγκεντρώσεις τους να παραμένουν ανάλογες με την εκλυόμενη ποσότητα. Οι πρωτογενείς αυτές πηγές είναι είτε ανθρωπογενείς (καύση χλωρίδας, βιομηχανική σκόνη, αγροτικές δραστηριότητες, ανθρώπινες κατασκευές, κίνηση οχημάτων κ.ά.), είτε φυσικές (θραύσματα φυτών, σκόνη από το έδαφος, εκρήξεις ηφαιστείων κ.ά.).

Παρόλο που η κατανομή των πρωτογενών σωματιδίων με βάση το πλήθος είναι μεγαλύτερη σε μεγέθη μεταξύ 0.1μm και 1μm, η κύρια μάζα τους αποτελείται από σωματίδια μεγαλύτερα του 1μm. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των σωματιδίων αυτών είναι ότι, λόγω του μεγάλου μεγέθους τους δε συσσωματώνονται εύκολα για τη δημιουργία δευτερογενών μεγαλύτερων σωματιδίων.

Μια ακόμα σημαντική κατηγορία πρωτογενών σωματιδίων είναι αυτή του στοιχειακού άνθρακα (elemental carbon). Δημιουργείται μέσω της καύσης και τα σωματίδια του είναι μικρά, μεγέθους 5nm – 20nm. Τα σωματίδια αυτά όμως, λόγω του μικρού μεγέθους τους, συσσωματώνονται γρήγορα μεταξύ τους δημιουργώντας μεγαλύτερα σωματίδια.

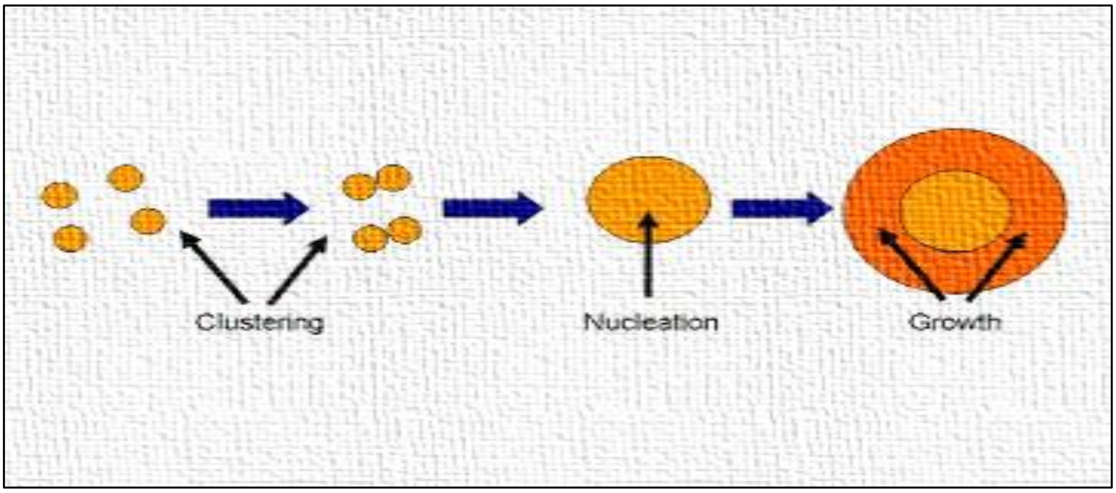
Τα δευτερογενή σωματίδια δημιουργούνται μέσω χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και έχουν ως αποτέλεσμα τη μετατροπή των αερίων που εκπέμπονται άμεσα από τις πηγές. Σχηματίζονται μέσα σε λίγες ώρες και το μέγεθος τους κυμαίνεται μεταξύ 0.1μm και 1μm.

Οι κύριες πρόδρομες ενώσεις των δευτερογενών σωματιδίων είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), η αμμωνία (NH_3) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Επίσης, υπάρχουν και αρκετές πτητικές ενώσεις (VOC_s) που έχουν τη δυνατότητα να μετασχηματιστούν σε σωματίδια μέσω έντονων φωτοχημικών αντιδράσεων.

Όσον αφορά τώρα το μηχανισμό σχηματισμού τους, τα σωματίδια ακολουθούν μια σειρά διεργασιών, η οποία συνήθως είναι αλληλένδετη με το μέγεθος τους. Οι διεργασίες αυτές χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

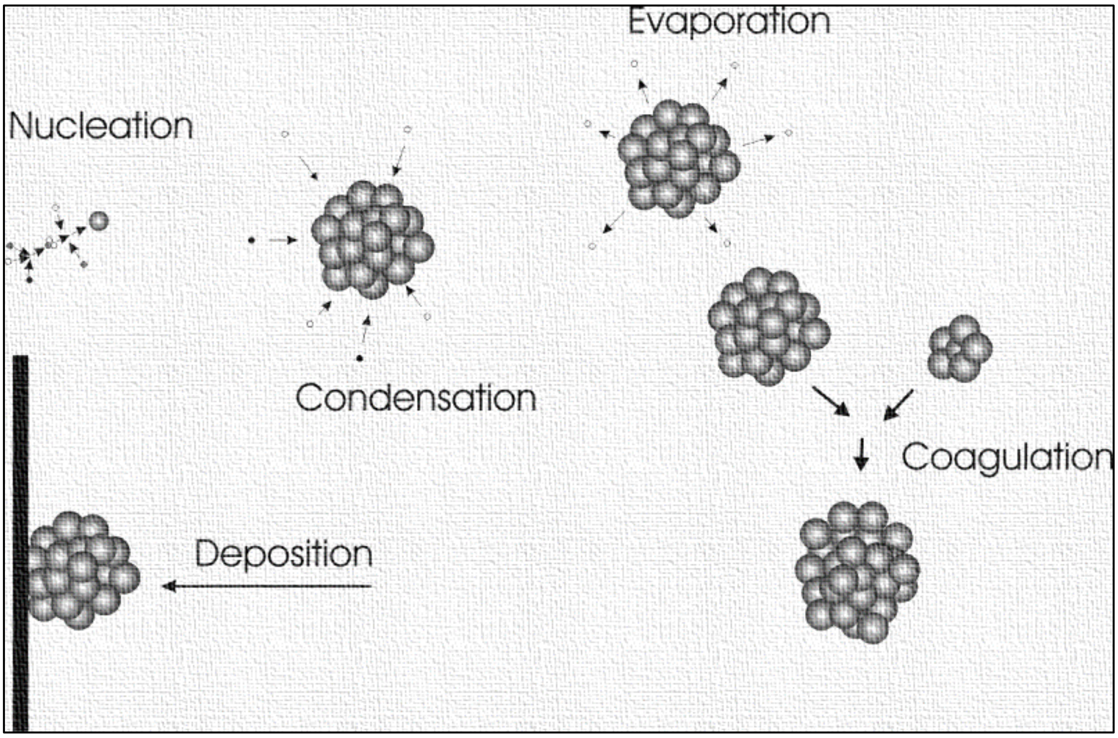
1. Την πυρηνοποίηση (nucleation) → ορίζεται ως η μεταβολή της ύλης από μια φάση σε μια άλλη (π.χ. από την αέρια φάση στην υγρή) και είναι μία από τις βασικότερες διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα, συμβάλωντας στη δημιουργία των σωματιδίων. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2, η μεταβολή από

την αέρια φάση στην υγρή φάση δεν γίνεται άμεσα αλλά μέσω της δημιουργίας μικρών συσσωματώσεων μορίων σε μορφή πυρήνων. Η πυρηνοποίηση που γίνεται χωρίς προϋπάρχοντα σωματίδια ονομάζεται ομογενής πυρηνοποίηση (homogeneous nucleation), ενώ όταν προϋπάρχουν σωματίδια ονομάζεται ετερογενής πυρηνοποίηση (heterogeneous nucleation).



Εικόνα 2 : Διαδικασία πυρηνοποίησης

2. Τη συμπύκνωση (condensation) → είναι η διαδικασία, κατά την οποία ενώσεις που βρίσκονται στην αέρια φάση είναι δυνατό να μεταβούν στην υγρή. Ένα παράδειγμα είναι οι υδρατμοί, οι οποίοι με την συμπύκνωση μεταβάλλονται σε νερό ή παγοκρυστάλλους. Αυτή η διαδικασία, είναι μια από τις διαδικασίες στις οποίες βασίζεται ο μηχανισμός σχηματισμού για τα λεπτόκοκκα σωματίδια (Εικόνα 3).
3. Την εξάτμιση (evaporation) → είναι η αντίθετη διαδικασία από τη συμπύκνωση και λαμβάνει χώρα κάτω από ακόρεστες συνθήκες.
4. Τη συσσωμάτωση (coagulation) → τα αιωρούμενα σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους λόγω της σχετικής κίνησής τους, με αποτέλεσμα να σχηματίζουν μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια (Εικόνα 3). Σαν αποτέλεσμα των συγκρούσεων αυτών είναι η μείωση του αριθμού των σωματιδίων και η αύξηση του μεγέθους τους. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που οδηγούν στο φαινόμενο της συσσωμάτωσης. Όταν η σχετική κίνηση μεταξύ των σωματιδίων προέρχεται από την κίνηση Brown, η διεργασία ονομάζεται θερμική συσσωμάτωση (thermal coagulation). Και όταν η σχετική κίνηση των σωματιδίων μπορεί να προέρχεται από εξωτερικές δυνάμεις όπως τη βαρύτητα, τα αεροδυναμικά φαινόμενα ή τις ηλεκτρικές δυνάμεις, αυτή η διεργασία ονομάζεται κινηματική συσσωμάτωση.



Εικόνα 3:Διαδικασίες σχηματισμού σωματιδίων (πυρηνοποίηση-συμπύκνωση-συσσωμάτωση)

Α.3.4.2 Μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων

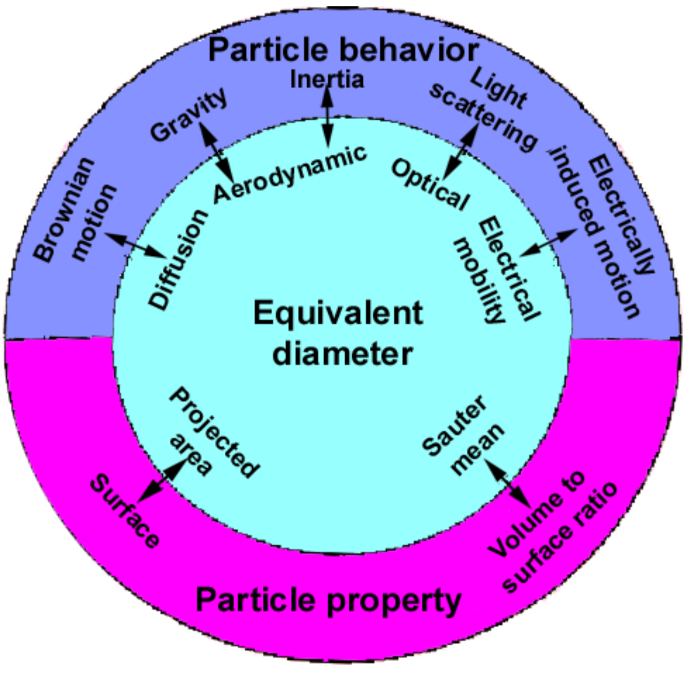
Όπως προαναφέρθηκε, τα αερολύματα ή αεροζόλ είναι τα υγρά ή στερεά σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και μπορεί να είναι αναμεμειγμένα με αέρια. Ένας ακόμα τρόπος που μπορούν να ταξινομηθούν τα αερολύματα είναι το μέγεθος τους.

Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια εκτείνονται σε αρκετές τάξεις μεγέθους ανάλογα με τη διάμετρο τους. Μπορεί να ξεκινούν από λίγα νανόμετρα (nm) και να φτάνουν τα εκατοντάδες μικρόμετρα (μm). Τα σταγονίδια από τα νέφη και οι σταγόνες της βροχής μπορεί να φτάσουν σε ακόμα μεγαλύτερα μεγέθη και γι' αυτό το λόγο συνήθως αντιμετωπίζονται ξεχωριστά. Αν και δεν είναι όλα τα σωματίδια σφαιρικού σχήματος, ωστόσο συνήθως χαρακτηρίζονται σύμφωνα με την ισοδύναμη σφαιρική διάμετρο (Bart Verheggen, 2009).

Ως ισοδύναμη διάμετρος (equivalent diameter) ορίζεται η διάμετρος της σφαίρας που έχει την ίδια τιμή μίας συγκεκριμένης ιδιότητας με αυτή ενός σωματιδίου ακανόνιστου σχήματος. Για μη σφαιρικά σωματίδια μπορεί κανείς να ορίσει διάφορους τύπους ισοδύναμης διαμέτρου (Seinfeld & Pandis, 2006) (Εικόνα 4). Τα σημαντικότερα από αυτά, βάσει της συχνότητας χρησιμοποίησης τους, είναι τα εξής:

- Η διάμετρος ισοδύναμης μάζας (mass equivalent diameter), D_m, που είναι η διάμετρος μίας στερεάς σφαίρας που έχει την ίδια μάζα και πυκνότητα με το ακανόνιστου σχήματος σωματίδιο. Δίνεται από τον τύπο $D_m=(6m_p/\pi\rho_\rho)^{1/3}$, όπου m_p και ρ_ρ είναι η μάζα και η πυκνότητα του σωματιδίου, αντίστοιχα.

- Η κλασική αεροδυναμική διάμετρος (classical aerodynamic diameter), D_a, που ορίζεται ως η διάμετρος μίας σφαιρικής σταγόνας νερού (ως εκ τούτου πυκνότητας 1 g/cm3) που έχει την ίδια τελική ταχύτητα πτώσης (οριακή ταχύτητα) στον αέρα με το εξεταζόμενο σωματίδιο. Για ένα σφαιρικό σωματίδιο η αεροδυναμική διάμετρος συνδέεται με τη γεωμετρική διάμετρο D_p, σύμφωνα με τον τύπο $D_a=D_p(\rho_\rho/\rho_o)^{1/2}$, όπου D_p είναι η γεωμετρική διάμετρος, ρ_o είναι η πυκνότητα αναφοράς 1 g/cm3, και ρ_ρ η πυκνότητα του σωματιδίου, αντίστοιχα.
- Η αεροδυναμική διάμετρος του Stokes (Stokes aerodynamic diameter), D_s, που είναι η διάμετρος μίας σφαίρας που έχει την ίδια πυκνότητα και ταχύτητα καθίζησης με το σωματίδιο. Η διάμετρος του Stokes επιτρέπει την τυποποίηση σωματιδίων διαφόρων σχημάτων μέσω σφαιρών που εμφανίζουν την ίδια αεροδυναμική ιδιότητα (ταχύτητα καθίζησης).
- Η διάμετρος ισοδύναμης ηλεκτρικής κινητικότητας (electrical mobility equivalent diameter), Db, που είναι η διάμετρος μίας σφαίρας που έχει την ίδια ηλεκτρική κινητικότητα με το εξεταζόμενο σωματίδιο.
- Η θερμοδυναμικά ισοδύναμη διάμετρος (thermodynamically equivalent diameter) ή διάμετρος διάχυσης, D_{th}, που ορίζεται ως η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει τον ίδιο συντελεστή διάχυσης με το σωματίδιο που ενδιαφέρει (Pillinis and Pandis, 1995).



Εικόνα 4 : Προσδιορισμός ισοδύναμης διαμέτρου

Συνήθως ως κριτήριο προσδιορισμού της ισοδύναμης διαμέτρου χρησιμοποιείται η φυσική συμπεριφορά του σωματιδίου, δηλαδή η διάμετρος Stokes (D_s) ή η αεροδυναμική διάμετρος (D_a). Η αεροδυναμική διάμετρος συσχετίζεται με τη διάμετρο Stokes με την παρακάτω προσεγγιστική και απλοποιημένη εξίσωση:

$D_a = D_s \cdot \rho_p^{1/2}$

όπου ρ_p είναι η πυκνότητα του σωματιδίου.

Σωματίδια με το ίδιο πρακτικό μέγεθος και σχήμα, αλλά με διαφορετική πυκνότητα, θα έχουν το ίδιο αριθμό Stokes όχι όμως και τις ίδιες αεροδυναμικές διαμέτρους. Για σωματίδια μεγαλύτερα από 0.5 μm χρησιμοποιείται η αεροδυναμική διάμετρος, διότι από αυτή εξαρτάται η μεταφορά του σωματιδίου από αέρια ρεύματα, η συλλογή στους δειγματολήπτες και η εναπόθεση μέσα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

Α.3.4.2.1 Κατηγοριοποίηση με βάση την αεροδυναμική διάμετρο

Τα αερομεταφερόμενα σωματίδια ή αεροζόλ τα οποία είναι μικρότερα από 100 μm ονομάζονται ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particulate Matter, TSP). Τα TSP εισέρχονται συστηματικά στην ατμόσφαιρα από πολλές πηγές, ανθρωπογενείς ή φυσικές.

Οι ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνουν:

- Τη χρήση μέσων μεταφοράς
- Τα προϊόντα καύσης από τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων
- Τις βιομηχανικές δραστηριότητες
- Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν:

- Το έδαφος (σκόνη από τις ερήμους κ.ά.)
- Βακτήρια και ιούς
- Μύκητες και μούχλα
- Γύρη και σπόρια
- Σωματίδια άλατος από την εξάτμιση του θαλασσινού νερού

Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων, τα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα. Αυτά με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε επιμέρους κλάσματα (Εικόνα 5):

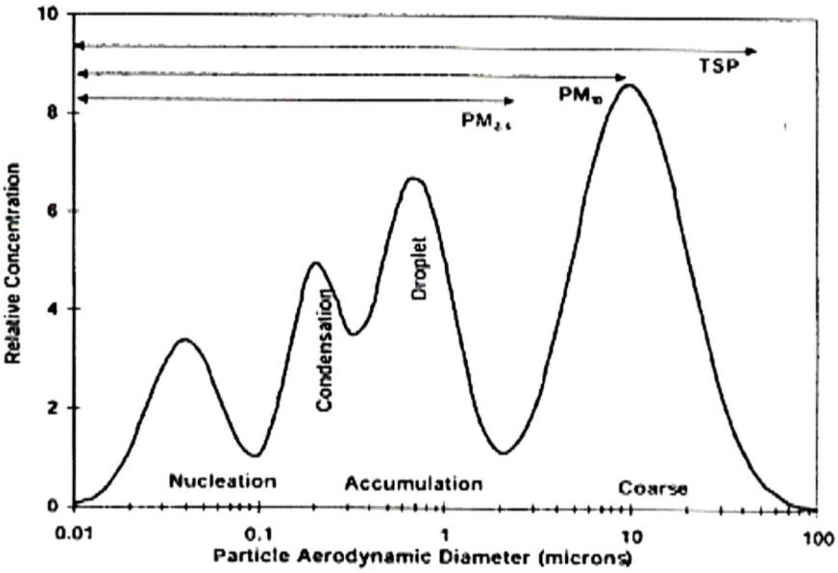
1. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια (fine mode), που καλούνται όλα τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο <= 2.5μm. Τα σωματίδια αυτά παράγονται συνήθως δευτερογενώς από αέριες ενώσεις και διαχωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο κλάσματα:
    - Το κλάσμα συσσώρευσης (accumulation mode or accumulation range). Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από 0.05 έως 2.5 μm και παράγονται από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων (υποκατηγορίας πυρήνα) και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές.

Παρουσιάζουν χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από 7 έως 30 ημέρες και χωρίζονται με τη σειρά τους σε σταγονίδια (droplet mode) και συμπυκνώματα (condensation mode).

- Το κλάσμα πυρήνα ή υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων (nuclei mode/ultra-fine). Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από 0.01 έως 0.05 μm και προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης. Παρουσιάζουν μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα γιατί συσσωματώνονται μεταξύ τους ή με λίγο μεγαλύτερα σωματίδια, προς σχηματισμό σωματιδίων μεγαλύτερης διαμέτρου. Όπως και τα σωματίδια του κλάσματος συσσώρευσης, έτσι κι αυτά χωρίζονται σε δύο επιμέρους ομάδες : τα σωματίδια πυρήνα Aitken (Aitken nuclei) και τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (ultra-fine nuclei).

2. Τα χονδρόκοκκα σωματίδια (coarse mode). Ως χονδρόκοκκα καλούνται τα αιωρούμενα σωματίδια που έχουν αεροδυναμική διάμετρο > 2.5 μm και παράγονται με μηχανικούς τρόπους. Τα μεγαλύτερα σωματίδια, όπως για παράδειγμα τα σωματίδια διαμέτρου 10 μm, μπορούν να αιωρούνται για 10 με 20 ώρες πριν καθιζάνουν στο κάτω μέρος της τροπόσφαιρας. Αντίστοιχα τα μικρότερα σωματίδια (διαμέτρου 0.1 – 1 μm) έχουν τη δυνατότητα να απομακρύνονται έως αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα από το σημείο εκπομπής τους. Μάλιστα, ένα μικρό ποσοστό από αυτά είναι δυνατόν να φτάσει έως και το άνω τμήμα της τροπόσφαιρας (περίπου 8 με 15 χλμ. ύψος) και να μείνει αιωρούμενο μέχρι και ένα έτος (EEA & WHO 1999a, EPA 1996, Chow 1995).

Τα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα σωματίδια διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο σχηματισμού, στη χημική σύσταση, στην εναπόθεση, στις οπτικές τους ιδιότητες, στη διαδικασία μετατροπής και στην ικανότητα τους να διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα.



Εικόνα 5 : Ιδανική κατανομή κατά μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων της εξωτερικής

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η κατηγοριοποίηση των σωματιδίων, σύμφωνα με το εύρος της αεροδυναμικής διαμέτρου, για τη μέτρηση τους από τους επιστήμονες, γίνεται ως εξής (Πίνακας 1):

- Τα $ΑΣ_{10}$ → που ανήκουν στα χονδρόκοκκα και είναι τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μέχρι 10 μm.
- Τα $ΑΣ_{2.5}$ → που ανήκουν στα λεπτόκοκκα και είναι τα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 2.5 μm.
- Τα $ΑΣ_{1}$ → που ανήκουν επίσης στα λεπτόκοκκα σωματίδια, αλλά έχουν αεροδυναμική διάμετρο μόνο μέχρι 1 μm.

Χαρακτηρισμός Σωματιδίων			Εύρος Αεροδυναμικής Διαμέτρου
Χονδρόκοκκα (Coarse)		PM10	<=10 μm
Λεπτόκοκκα (Fine)	Συσσώρευσης (Accumulation)	PM2.5	<=2.5 μm
		PM1	<=1 μm
	Aitken	Ultra Fine	<=0.1 μm
	Πυρηνοποίησης (Nucleation)		>=0.001 μm

Πίνακας 2 : Κατηγορίες των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με τη διάμετρο

Τέλος, υπάρχει και η κατηγορία $ΑΣ_{coarse}$, στην οποία εντάσσονται τα χονδρόκοκκα σωματίδια (coarse) διαμέτρου 2.5 μm έως 10 μm.

Α.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Πλήθος ερευνών έχει διεξαχθεί τις τελευταίες δεκαετίες, επάνω στα αιωρούμενα σωματίδια και τις επιπτώσεις που προκαλούν στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στο περιβάλλον. Όσο περνούν τα χρόνια και με την αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας εξάγονται πολύ σημαντικά συμπεράσματα που μας δίνουν τη δυνατότητα τόσο πρόληψης των επιδράσεων, όσο και βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος και της υγείας μας.

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στον άνθρωπο σχετίζονται άμεσα με το μέγεθος τους και την ικανότητα διείσδυσης στον ανθρώπινο οργανισμό, κυρίως μέσω του αναπνευστικού συστήματος. Από την άλλη πλευρά, η παρουσία των σωματιδίων αυτών στο περιβάλλον επιδρά αρνητικά στο κλίμα και κατ’ επέκταση και σε διαφόρων ειδών οικοσυστήματα.

A.4.1 Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

A.4.1.1 Γενικά στοιχεία

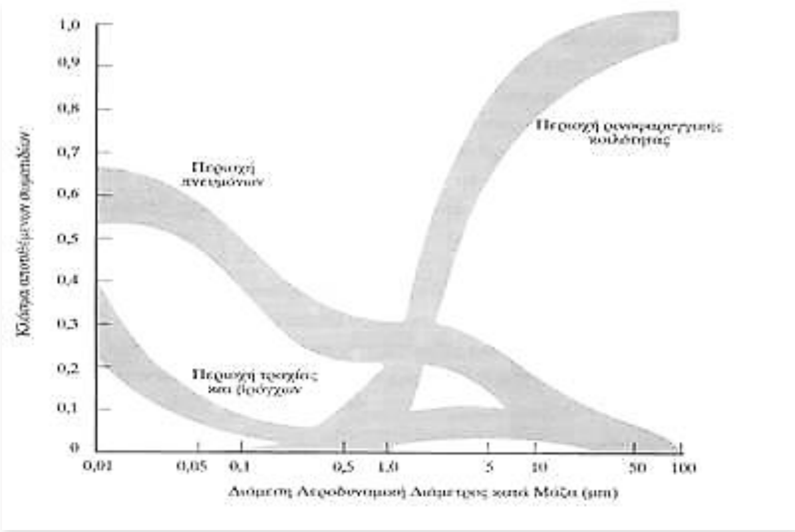
Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία έχουν γίνει αντικείμενο έντονης μελέτης τα τελευταία χρόνια. Η έκθεση σε ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια έχει συσχετιστεί με την αύξηση της θνησιμότητας και των εισαγωγών σε νοσοκομεία εξαιτίας αναπνευστικών και καρδειαγγειακών παθήσεων (Brunekreef and Holgate, 2002).

Ένας ενήλικας αναπνέει περίπου 10.000 λίτρα αέρα κάθε μέρα. Άρα, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα που αναπνέουμε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και στη ποιότητα της ζωής. Σήμερα, η ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις μας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, ειδικά για αυτούς που ζουν στα αστικά κέντρα, και θεωρείται υπεύθυνη για μεγάλο αριθμό θανάτων.

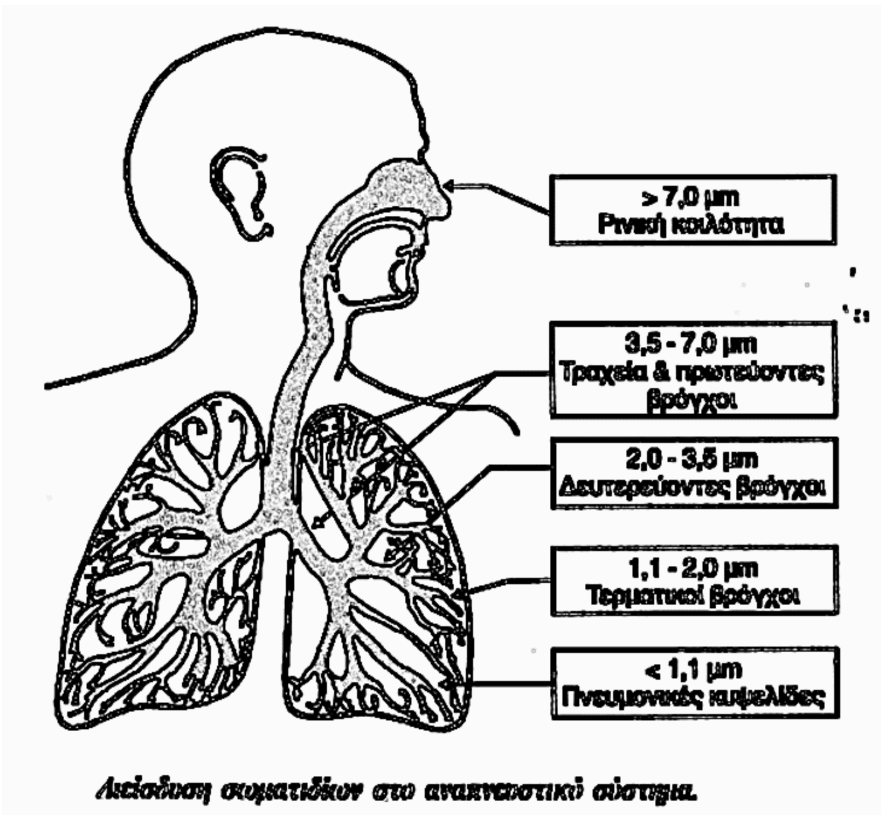
Η έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια ($ΑΣ_{10}$, $ΑΣ_{2.5}$ και Ultra-fine particles) συνδέεται με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, όπως έχουν αποδείξει πολλές επιδημιολογικές μελέτες (Pope and Dockery, 2006; Pope et al., 2002; Von Klot et al., 2002; Katsouyanni et al., 2001; Goldberg et al., 2001; Penttinen et al., 2001; Peters 2000; Pope 2000a & b; Pekkanen et al., 1997; Peters et al., 1997b).

Το αναπνευστικό μας σύστημα είναι σαν ένα φίλτρο. Οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στη διήθηση (φιλτράρισμα) ισχύουν και εδώ. Η κολλώδης επιφάνεια των τοιχωμάτων των αεραγωγών του αναπνευστικού μας συστήματος δεν αφήνει να προχωρήσει πιο μέσα ένα σωματίδιο αν κατακαθίσει σε αυτήν. Οι πιο σημαντική μηχανισμοί είναι: η πρόσκρουση, η καθίζηση λόγω βαρύτητας, η διάχυση και η ανάσχεση της πορείας του σωματιδίου.

Η ικανότητα του αναπνευστικού συστήματος να προστατεύεται από τη σωματιδιακή ύλη καθορίζεται κυρίως από το μέγεθος των σωματιδίων. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια, τόσο πιο πολύ αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησης τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων (Εικόνα 6). Πιο συγκεκριμένα, όπως δείχνει και η Εικόνα 7, τα σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου των 7 μm εναποτίθενται στη ρινική κοιλότητα, 3.5 με 7 μm στην τραχεία και τους πρωτεύοντες βρόγχους, 2 με 3.5 μm στους δευτερεύοντες βρόγχους, 1.1 με 2 μm στους τερματικούς βρόγχους και τα σωματίδια μικρότερα του 1.1 μm στις πνευμονικές κυψελίδες



Εικόνα 6 : Προβλέψεις απόθεσης σωματιδίων στα διάφορα μέρη του αναπνευστικού συστήματος που βασίζονται σε προσομοίωση (Spengler and Wilson, 1996)



Εικόνα 7 : Διείσδυση των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους

Ωστόσο, δεν είναι μονάχα το πλήθος των σωματιδίων σε ένα συγκεκριμένο εύρος διαμέτρου που είναι σημαντικό, αλλά και η χημική σύσταση του αερολύματος. Η χημική σύσταση είναι εκείνη που καθορίζει κατά κύριο λόγο το πως θα αντιδράσει ένα ανθρώπινο όργανο ή σημείο όταν έρθει σε επαφή με τα σωματίδια. Είναι γνωστό ότι πολλά σωματίδια λειτουργούν ως μεταφορείς άλλων σωματιδίων ή αερίων χημικών ουσιών τα οποία απορροφώνται ή προσροφώνται στο αρχικό σωματίδιο. Αυτά τα μεταφερόμενα χημικά είδη μπορούν να προκαλέσουν διάφορα προβλήματα υγείας (Oberdorster et al., 1995).

Εκτός από κάποιες ελαφριές επιπτώσεις όπως επίμονος βήχας, φλέγματα, αδιαθεσία και ζαλάδες, οι συνέπειες μπορούν να είναι πολύ πιο επώδυνες με την πρόκληση ή επιδείνωση προβλημάτων στο αναπνευστικό σύστημα, στο καρδιαγγειακό σύστημα, στο κυκλοφορικό σύστημα, στο DNA, στα έμβρυα μέσω της έκθεσης των εγκύων και στο ανοσοποιητικό σύστημα (Νικολοπούλου-Σταμάτη, 2008). Πιο συγκεκριμένα:

- Πνευμονικές παθήσεις → Τα αιωρούμενα σωματίδια από τη στιγμή που εισέλθουν μέσα στον πνεύμονα, θα εγκλωβιστούν και θα φαγοκυτταρωθούν από τα μακροφάγα κύτταρα, τα οποία «σκουπίζουν» τον πνεύμονα. Θα ήταν καλά αν δεν ακολουθούσαν εσωτερικές διαδικασίες των μακροφάγων, δηλαδή η έκκριση κάποιων ουσιών που ευνοούν την ανάπτυξη φλεγμονών και επιβαρύνουν την υγεία γενικότερα. Τα μακροφάγα κύτταρα παράγουν ακόμα ουσίες που ενεργοποιούν την ανάπτυξη του συνδετικού ιστού. Ο συνδετικός ιστός φυσιολογικά στον άνθρωπο είναι λίγος, χαλαρός και λεπτός και χρησιμεύει στο να στηρίζει τα κύτταρα. Οι ουσίες αυτές που εκκρίνονται όταν τα μακροφάγα έχουν ερεθιστεί από τα αιωρούμενα σωματίδια, προκαλούν την ανάπτυξη συνδετικού ιστού σε μεγάλες ποσότητες με αποτέλεσμα όπου αυτό συμβεί να μειώνεται η ελαστικότητα του πνεύμονα και έτσι να μην γίνεται σωστά η ανταλλαγή των αερίων, δηλαδή της οξυγόνωση του πνεύμονα. Σε βάθος χρόνου αναπτύσσονται φλεγμονές και χάνεται η κινητικότητα του πνεύμονα. Έτσι σταδιακά προκαλούνται χρόνιες βλάβες, όπως η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια από την οποία πάσχουν πολλοί Έλληνες.
- Καρδιαγγειακό σύστημα → Οι επιπτώσεις δυστυχώς δεν περιορίζονται μόνο στο αναπνευστικό, αλλά επιδρούν και στο καρδιοαγγειακό σύστημα. Δηλαδή έχουμε «επίθεση» αυτών των μικροσωματιδίων μέσα στα αγγεία της καρδιάς με αποτέλεσμα να έχουμε στενώσεις σε αυτά τα αγγεία που προκαλούν αύξηση και πάχυνση του λείου μυϊκού συστήματος του τοιχώματος του αγγείου, με αποτέλεσμα ένα αγγείο που φαίνεται φυσιολογικό και δεν έχει αθηρωμάτωση να είναι στην πραγματικότητα φραγμένο και να μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα. Οι ρύποι αυτοί περνάνε μέσα στο κυκλοφοριακό σύστημα, δημιουργούν στενώσεις αγγείων –για το λόγο αυτό κατεβαίνει και η ηλικία εμφράγματος σε μικρότερες ηλικίες και ακόμα και σε μη καπνίζοντες.
- Κυκλοφορικό σύστημα → Τα μικρά σωματίδια $ΑΣ_{2.5}$ δεν απομακρύνονται από το αναπνευστικό σύστημα, ξεπερνούν τα αντανακλαστικά του φτερνίσματος και του βήχα και κατεβαίνουν στις κυψελίδες και διεισδύουν μέσα στο κυκλοφοριακό σύστημα του ανθρώπου, με αποτέλεσμα το αίμα να τα πηγαίνει παντού. Έτσι

μπορεί να έχουμε τοξικότητα σε όλα τα όργανα του οργανισμού κι όχι μόνο στο αναπνευστικό.

- Επιπτώσεις στο DNA → Υπάρχουν μελέτες που καταδεικνύουν διαφορές μεταξύ των ανθρώπων που ζουν στην ύπαιθρο και αυτών που ζουν στις πόλεις στον βλεννογόνο της ρινικής κοιλότητας σε επίπεδο ιστού, κυττάρου αλλά και DNA, που σημαίνει ότι η έκθεση σε ρύπους αφήνει αποτυπώματα στον άνθρωπο. Το γεγονός ότι δεν υπάρχουν πάντα ορατά συμπτώματα σε όσους εκτίθενται στα αιωρούμενα σωματίδια, , δεν σημαίνει ότι δεν έχουν υποστεί βλάβες.
- Κίνδυνος για το έμβρυο → Κίνδυνος ελλοχεύει για την κυοφορούσα γυναίκα, μιας και στο έμβρυο προκαλούνται βλάβες που δεν φαίνονται άμεσα από την επίδραση των ρύπων. Συνδέονται δε με συγγενείς ανωμαλίες που φαίνονται στο βάθος του χρόνου. Εκτός από τα αιωρούμενα σωματίδια, συνήθως υπάρχουν κι άλλοι ρύποι στην ατμόσφαιρα όπως τα οξείδια του αζώτου, το οξείδιο του θείου, το όζον, αλλά και οι διοξίνες. Πρόσφατα συνδέεται η συγγενής ανωμαλία του λαγόχειλου με την έκθεση σε διοξίνες.
- Ανοσοποιητικό σύστημα → Ο χρόνιος ερεθισμός από τους αέριους ρύπους προκαλεί ακόμα και επιβάρυνση στο ανοσοποιητικό σύστημα και δημιουργεί τις προϋποθέσεις να αναπτυχθούν κι άλλοι νόσοι στον άνθρωπο όπως ο καρκίνος.

Η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση και συγκεκριμένα σε αερολύματα, μπορεί να είναι βραχυχρόνια ή μακροχρόνια και να έχει άμεσες αλλά και χρόνιες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι βραχυχρόνιες επιδράσεις της αύξησης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία έχουν σχέση τόσο με την αύξηση της θνησιμότητας που συνδέεται με αναπνευστικά και καρδιακά περιστατικά, όσο και με την αύξηση των εισαγωγών για περίθαλψη σε σχέση με τα παραπάνω προβλήματα τις συγκεκριμένες μέρες. (Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, 1996).

Οι βραχυχρόνιες, οξείες επιπτώσεις της αύξησης των ΑΣ αφορούν κυρίως στην υγεία ευαίσθητων κοινωνικών ομάδων. Συγκεκριμένα οι μεγαλύτεροι σε ηλικία αλλά και άτομα με προϋπάρχοντα αναπνευστικά, καρδιακά προβλήματα, οι διαβητικοί και τα παιδιά είναι πιο ευαίσθητοι στις επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Gouveia et al., 2000, Dockery, 2001, Goldberg et al., 2001). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα βραχυχρόνια περιστατικά, και ιδίως τα οξέα, είναι δυνατόν να οδηγήσουν και σε μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία ενός ατόμου. Αυτό το ενδεχόμενο αφορά κυρίως τα παιδιά. Για παράδειγμα, η έκθεση των παιδιών σε υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη των πνευμόνων δημιουργώντας αναστρέψιμη ανεπάρκεια στη λειτουργία τους, σταδιακή μείωση του ρυθμού ανάπτυξης τους, αλλά και πιθανότητα εμφάνισης πνευμονικής ανεπάρκειας μακροπρόθεσμα (Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2011).

Οι ρύποι δεν είναι τοξικοί μόνο στις μεγάλες πυκνότητες. Ο βαθμός της ρύπανσης μπορεί να συνδέεται στατιστικά με την αύξηση της θνησιμότητας, αλλά μπορούν να προκαλέσουν βλάβες και σε μικρότερες πυκνότητες και ποσότητες. Έρευνες δείχνουν ότι προκαλούνται χρόνιες βλάβες, οι οποίες σταδιακά αθροίζονται, επαυξάνονται και δημιουργούν ένα συγκεντρωτικό αποτέλεσμα. Άρα έχουμε και τις κρυφές βλάβες που φαίνονται σε μάκρος χρόνου. Αυτή η επιβάρυνση γίνεται στις ευπαθείς ομάδες ,δηλαδή στις νεαρές ηλικίες αλλά και τους υπερήλικες. Ειδικότερα δε, στους ανθρώπους που πάσχουν από άσμα ή αυτοί που έχουν χρόνιες πνευμονικές παθήσεις.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2013), υπάρχουν επαρκή στοιχεία μελετών για την επίδραση της βραχυχρόνιας έκθεσης σε $AΣ_{10}$, ιδιαίτερα στο αναπνευστικό σύστημα. Όσον αφορά τη θνησιμότητα, ως αποτέλεσμα μακροχρόνιας έκθεσης, τα μικρότερα σωματίδια $AΣ_{2.5}$ είναι ισχυρότερος παράγοντας κινδύνου από τα μεγαλύτερα σωματίδια $AΣ_{coarse}$. Για όλες τις αιτίες θανάτου, υπολογίζεται ότι υπάρχει μια αύξηση 0.2 με 0.6 % για κάθε 10μg/m^3 $AΣ_{10}$ (Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2006, Samoli et al., 2008). Επίσης, η μακροχρόνια έκθεση σε $AΣ_{2.5}$ σχετίζεται με μια αύξηση 6 με 10 % ανά 10 μg/m^3 $AΣ_{2.5}$ του μακροπρόθεσμου κινδύνου θνησιμότητας λόγω καρδιοπνευμονικών προβλημάτων (Beelen et al., 2008, Krewski et al., 2009, Pope et al., 2002).

Οι μελέτες πάνω στις επιπτώσεις που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια στην ανθρώπινη υγεία επικεντρώνονται, παραδοσιακά, στα $AΣ_{10}$ και $AΣ_{2.5}$ σωματίδια. Τα τελευταία χρόνια όμως μελετώνται και τα χονδρόκοκκα $AΣ_{coarse}$. Μελέτες χρονοσειρών που συνδέουν τη σωματιδιακή ύλη με τη θνησιμότητα, έχουν δημοσιεύσει στοιχεία για κάποιες περιοχές όπου τα $AΣ_{coarse}$ παρουσιάζουν έντονη επίδραση στα ημερήσια ποσοστά θνησιμότητας. Αν και στις περισσότερες μελέτες αστικών περιοχών την ισχυρότερη επίδραση την έχουν τα λεπτόκοκκα σωματίδια (Brunekreef and Forsberg, 2005).

Σε μελέτες που αφορούν τις εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω χρόνια αποφρακτικής πνευμονοπάθειας, άσθματος και αναπνευστικών προβλημάτων, τα $AΣ_{coarse}$ έχουν ισχυρότερη ή το ίδιο ισχυρή βραχυχρόνια επίδραση με τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Αυτό υποδηλώνει ότι τα χρονδόκοκκα (coarse) σωματίδια μπορούν να ενεργοποιήσουν δυσμενής διαδικασίες και αντιδράσεις μέσα στους πνεύμονες, οι οποίες με τη σειρά τους θα οδηγήσουν στην εισαγωγή του ατόμου στο νοσοκομείο (Brunekreef and Forsberg, 2005).

Α.4.1.2 Αιωρούμενα σωματίδια και καρκίνος

Η ρύπανση του εξωτερικού αέρα είναι ένα περίπλοκο μίγμα που περιέχει κάποιες γνωστές καρκινογόνες ουσίες με αποτέλεσμα πολλές μελέτες, των τελευταίων 50 χρόνων, να θεωρούν ότι αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του πνεύμονα. Επανεξετάσεις και αναλύσεις των παλαιών στοιχείων που έχουν συλλεχθεί, σχετικά με τη ρύπανση του αέρα στην ατμόσφαιρα αλλά και στους εσωτερικούς χώρους, έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι ενισχύεται ο κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου στους πνεύμονες, ιδιαίτερα με την έκθεση σε σωματίδια. Παρόλα αυτά, τα στοιχεία θεωρούνταν μη επαρκή γιατί δε μπορούσαν να προσδιορίσουν ποιο συστατικό συγκεκριμένα ενίσχυε τον κίνδυνο αυτό (Samet and Cohen, 2006).

Η IARC (International Agency for Research on Cancer) πρόσφατα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η έκθεση σε αέριους ρύπους και αιωρούμενα σωματίδια (PM) σε εξωτερικούς χώρους έχει καρκινογόνες συνέπειες για τον άνθρωπο (IARC, Group 1) και προκαλεί καρκίνο των πνευμόνων (IARC, in press; Loomis et al. 2013). Καθοριστικό ρόλο στο να καταλήξει σε αυτό το συμπέρασμα η IARC, είχε η αξιολόγηση των επιδημιολογικών μελετών επάνω στην έκθεση των πολιτών στην εξωτερική αέρια ρύπανση σε επίπεδο σωματιδίων.

Σε μια κοινή έρευνα που διεξήχθη από 17 διαφορετικές ερευνητικές ομάδες, τα συμπεράσματα που αντλήθηκαν από την επεξεργασία ατομικών δεδομένων επιβεβαίωσαν την άποψη για τη σχέση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τον καρκίνο του πνεύμονα. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα έδειξε ότι η έκθεση σε αιωρούμενα σωματιδιακή ύλη αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του πνεύμονα, ιδιαίτερα του αδενοκαρκινώματος, ακόμα και σε συγκεντρώσεις κάτω από επιτρεπόμενο όριο (40 $\mu g/m^3$ για τα σωματίδια $ΑΣ_{10}$ και 25 $\mu g/m^3$ για τα σωματίδια $ΑΣ_{2.5}$) (Raaschou-Nielsen et al., 2013).

Α.4.2 Επιδράσεις στο περιβάλλον

Α.4.2.1 Γενικά στοιχεία

Εκτός από τον άνθρωπο, τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν αρνητικά και στο περιβάλλον. Αυτός θεωρείται και ο κύριος λόγος που τα ανεπτυγμένα κράτη προσπαθούν να μειώσουν τις συγκεντρώσεις των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων σωματιδίων ορίζοντας πρότυπα με ανώτατα όρια συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα.

Από το σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλεί η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη, οι σημαντικότερες επιδράσεις τους είναι στην ορατότητα της ατμόσφαιρας, στη ρύπανση και καταστροφή υλικών και κατασκευών, στη χλωρίδα και την πανίδα και στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας (άμεσα ή έμμεσα).

Α.4.2.2 Ορατότητα

Η μείωση του βαθμού ορατότητας είναι η πιο εύκολα αντιληπτή επίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων, και ιδιαίτερα των λεπτόκοκκων, στο περιβάλλον και γενικότερα η πιο άμεση και εμφανής επίπτωση της αστικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Τα μικρά λεπτόκοκκα σωματίδια απορροφούν και προκαλούν σκέδαση στο φως με αποτέλεσμα να μειώνεται η ορατότητα (Seinfeld and Pandis, 1998). Μάλιστα, τα μικρά σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο από 0,3 μm μέχρι 1 μm έχουν την μεγαλύτερη και πιο καθοριστική συνεισφορά στο φαινόμενο αυτό. Για παράδειγμα, σε πολλά μέρη των Ηνωμένων Πολιτειών το οπτικό φάσμα έχει υποστεί μείωση έως και 70%. Οι περισσότερες πόλεις, όπως το Λάγκος, αντιμετωπίζουν υψηλού επιπέδου μείωση της ορατότητας, εξαιτίας των υψηλών εκπομπών και των δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών (Oluwafemi, 1996).

Η ορατότητα είναι ένας πολύτιμος φυσικός πόρος, από την πλευρά της αισθητικής αξίας και των οικονομικών οφελών (Brookshire et al., 1978). Ένας από τους βασικούς λόγους που η μείωση της ορατότητας παραμένει ένα επίμονο πρόβλημα, είναι η έλλειψη μεθόδων που θα μπορούν να αποσαφηνίσουν την ποσοτική συνεισφορά των διάφορων πηγών στο φαινόμενο αυτό (Ying et al., 2004). Σε μια ατμόσφαιρα μιας αρχαίας - πρωτόγονης εποχής, η ορατότητα θα περιοριζόταν μόνο εξαιτίας της σκέδασης του φωτός από τα μόρια των αερίων (Rayleigh scattering), με αποτέλεσμα να μπορούμε να βλέπουμε σε εύρος 300 χλμ. περίπου (Ying et al., 2004).

Παλαιότερες μελέτες έχουν δείξει ότι τα δευτερογενή σωματίδια συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση της ορατότητας σε περιοχές που έχουν ρύπανση. Τα δευτερογενή αυτά σωματίδια μαζί με τα αέρια προκαλούν σκέδαση ή απορροφούν το φως, με αποτέλεσμα τη μείωση του οπτικού φάσματος και τον αποχρωματισμό του ουρανού. Οι αναλύσεις που έγιναν σε αυτές τις μελέτες δείχνουν ότι η σκέδαση του φωτός μαζί με το θείο, τα νιτρικά, τον άνθρακα και τα ιόντα αμμωνίου, είναι οι βασικές πηγές του προβλήματος της ορατότητας (Ying et al., 2004).

A.4.2.3 Ρύπανση και καταστροφή υλικών

Ένα σημαντικό κομμάτι της σωματιδιακής ρύπανσης είναι και η ρύπανση των τεχνητών επιφανειών. Αυτό το πρόβλημα επηρεάζει κατά κύριο λόγο το αστικό περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια η διαδικασία καθαρισμού, βαφής και επισκευής των εκτεθειμένων σε σωματίδια επιφανειών αποτελεί ένα αρκετά μεγάλο οικονομικό βάρος, το οποίο οι κυβερνήσεις και οι ιδιοκτήτες υποχρεώνονται να σηκώνουν.

Η εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων στις επιφάνειες των κτιρίων αλλά και των έργων τέχνης και ιστορικών μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς σωματίδια μπορούν να επιδεινώσουν την κατάσταση τους και να προκαλέσουν ζημιές, αλλοιώνοντας την εξωτερικής τους εμφάνιση και μειώνοντας τη διάρκεια ζωής τους (Hamilton and Mansfield, 1993; Nazaroff and Cass, 1991). Η χημική και φυσική υποβάθμιση των υλικών που συμβαίνει εξαιτίας παραγόντων όπως ο ήλιος, ο αέρας, η διακύμανση της θερμοκρασίας και η υγρασία, οξύνεται από την παρουσία των σωματιδίων. Εκτός αυτού, τα σωματίδια έχουν την ιδιότητα να απορροφούν όξινα αέρια όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), με αποτέλεσμα να επιταχύνουν τη χημική υποβάθμιση των διάφορων υλικών (Butlin *et al.*, 1992; Cobourn *et al.*, 1993).

Τέλος, όσον αφορά το οικονομικό σκέλος του προβλήματος, υπάρχουν διάφοροι τύποι οικονομικής επιβάρυνσης. Όλοι τους όμως υπηρετούν δύο κοινούς στόχους, την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής ή την αποκατάσταση του εκάστοτε υλικού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μια σειρά διαδικασιών, όπως η αντικατάσταση ενός υλικού με ένα ακριβότερο καλύτερης ποιότητας, ο καθαρισμός και η συνεπής συντήρηση ενός ευαίσθητου υλικού.

Παρόλ' αυτά, ο υπολογισμός του κόστους δε θεωρείται εύκολη διαδικασία. Αυτό συμβαίνει, κυρίως, λόγω της δυσκολίας και της αβεβαιότητας που υπάρχει στο διαχωρισμό των επιδράσεων των ρύπων στα υλικά, από τις επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν εξαιτίας των καιρικών διεργασιών. Σημαντικές προσπάθειες γίνονται επίσης, να ποσοτικοποιηθούν τα επίπεδα έκθεσης στους ρύπους, στα οποία παρατηρείται καταστροφή και υποβάθμιση στα υλικά.

Α.4.2.4 Χλωρίδα και πανίδα

Η χλωρίδα αντιδρά με την αέρια ρύπανση σε ένα ευρύ φάσμα συγκεντρώσεων των ρύπων αυτών (Stern *et al.*, 1984). Οι αέριοι ρύποι εισχωρούν στον φυτικό οργανικό σύστημα με άμεσο ή έμμεσο τρόπο.

Η άμεση δίοδος για τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μέσω των φύλλων του φυτού. Εισχωρούν στο οργανισμό διαμέσου των στομάτων που διαθέτουν τα φύλλα και διαχέονται μέσα σε αυτά. Ο έμμεσος τρόπος προσβολής του φυτού, είναι μέσω των ριζών του. Η εναπόθεση των ρύπων στο έδαφος και στα επιφανειακά νερά μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά στην περιοχή του φυτού. Αυτό μεταβάλλει την κατάσταση του εδάφους και, συνεπώς, οδηγεί σε μία έμμεση επίδραση των αέριων ρύπων στα φυτά και στη βλάστηση γενικότερα (Levith, 1972).

Με αυτόν τον τρόπο και λόγω της αλληλένδετης σχέσης μεταξύ χλωρίδας και πανίδας, επηρεάζονται σημαντικά και τα ζώα σε ένα οικοσύστημα. Μέσω της τροφικής αλυσίδας, μια ουσία που μπορεί να είναι τοξική (όπως τα βαρέα μέταλλα) για ένα ζωικό οργανισμό, εισέρχεται στο οργανικό σύστημα του ζώου που θα καταναλώσει το μολυσμένο φυτό. Αυτό με τη σειρά του θα γίνει τροφή για ένα μεγαλύτερο ζώο, φτάνοντας έτσι μέχρι και στον άνθρωπο.

Α.4.2.5 Ακτινοβολία

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα άμεσα, μέσω της σκέδασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, ή έμμεσα, μέσω των πυρήνων συμπύκνωσης των σύννεφων (Cloud Condensation Nuclei, CCN) (Εικόνα 8). Πιο συγκεκριμένα, αυτό συμβαίνει ως εξής:

1. Άμεσα

Τα ατμοσφαιρικά αεροζόλ επηρεάζουν άμεσα τη συνολική ακτινοβολία που περιέχεται στη γη, σκεδάζοντας και απορροφώντας την ηλιακή και θερμική ακτινοβολία (Haywood and Shine, 1997). Έτσι, σε αντίθεση με τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία προκαλούν μόνο θέρμανση, τα αεροζόλ, ανάλογα με τις ιδιότητες τους, μπορούν να προκαλέσουν και ψύξη της ατμόσφαιρας εκτός από θέρμανση.

Με τον όρο σκέδαση του φωτός περιγράφεται η αναδιανομή του εισερχόμενου φωτός σε ακανόνιστες διευθύνσεις (όχι παράλληλες), στο ίδιο μήκος κύματος με τις προσπίπτουσες δέσμες φωτός. Η σκέδαση που προκαλείται από λεπτόκοκκα σωματίδια του κλάσματος συσσώρευσης (accumulation mode) ονομάζεται σκέδαση Mie (το μήκος κύματος του φωτός είναι περίπου ίδιο ή λίγο μικρότερο από τη διάμετρο των σωματιδίων). Ενώ στα μικρότερα σωματίδια του ίδιου κλάσματος προκαλείται σκέδαση Rayleigh (το μήκος κύματος του προσπίπτοντος φωτός είναι μεγαλύτερο από τη διάμετρο των σωματιδίων). Στη σκέδαση Mie το φως αντανακλάται προς τα πάνω (προς το διάστημα) με αποτέλεσμα να μη φτάνει ποτέ την επιφάνεια της γης. Έτσι λοιπόν, η σκέδαση του φωτός από τα αεροζόλ προκαλεί το φαινόμενο της ψύξης (cooling effect). Γενικότερα, η σκέδαση του φωτός μπορεί να γίνει από πολλούς τύπους αεροζόλ, από τα οποία όμως τα πιο αποδοτικά θεωρούνται τα αεροζόλ, φυσικά ή ανθρωπογενή, που περιέχουν άνθρακα ή θείο.

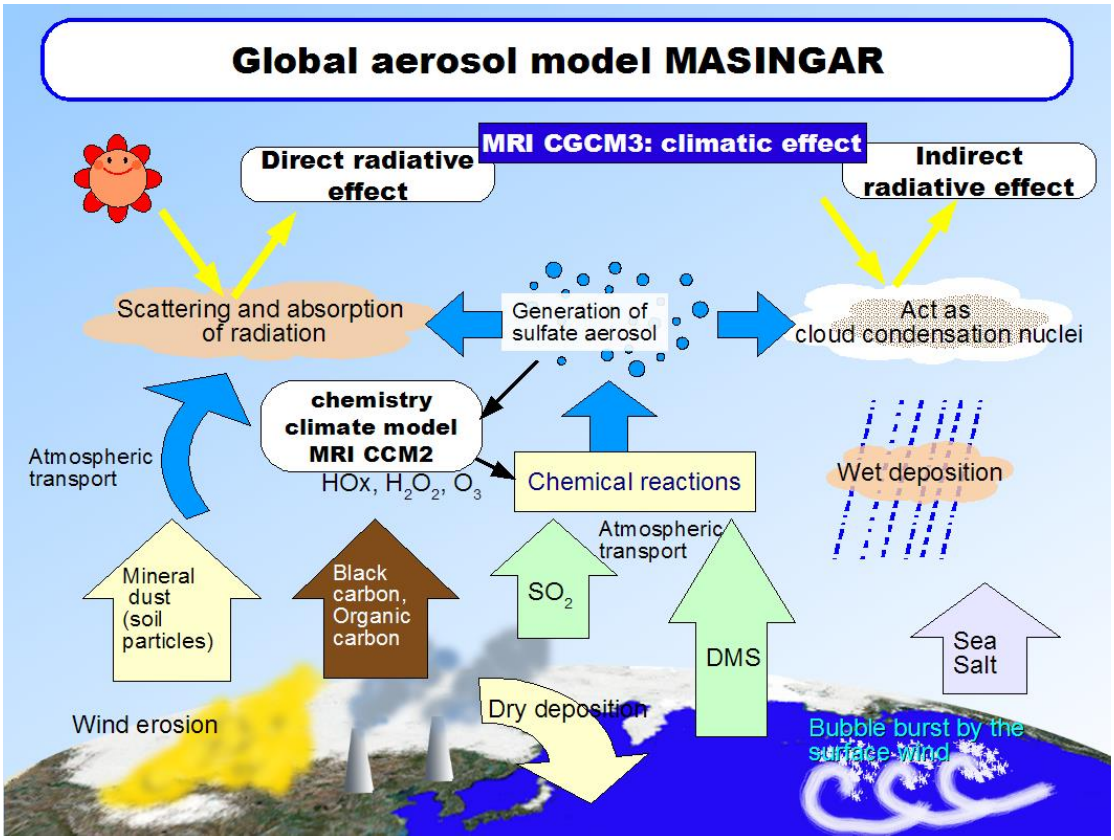
Με τον όρο απορρόφηση του φωτός περιγράφεται η απορρόφηση του προσπίπτοντος φωτός από τα αερομεταφερόμενα σωματίδια και η μετατροπή του σε θερμική ενέργεια, προκαλώντας θέρμανση του αεροζόλ αλλά και του αέρα που το περιβάλει. Αυτό οδηγεί σε μείωση της ποσότητας του φωτός που φτάνει στην επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα την ψύξη της (cooling effect). Παρόλα αυτά, τα αερολύματα που προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές έχουν την ιδιότητα να απορροφούν περισσότερο φως και να συγκεντρώνονται στην κατώτερη ατμόσφαιρα, προκαλώντας ολική θέρμανση της γης (Andreae, 2001; Jacobson, 2001). Επίσης, ένα στρώμα από τέτοιου είδους αερολύματα επάνω από τους ωκεανούς μπορεί να μειώσει τους ρυθμούς εξάτμισης και να προκαλέσει πρόβλημα στον υδρολογικό κύκλο (Ramanathan *et al.*, 2001).

2. Έμμεσα

Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα μπορούν επίσης να επηρεάσουν έμμεσα το ισοζύγιο ακτινοβολίας της γης και το κλίμα, αλλάζοντας τις μικροφυσικές ιδιότητες των σύννεφων και τη διάρκεια ζωής τους (Kaufman et al., 2005b), τροποποιώντας έτσι το μηχανισμό βροχόπτωσης. Αυτό συμβαίνει διότι τα σωματίδια δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης στο σύννεφο. Το έμμεσο αυτό φαινόμενο μπορεί να χωριστεί, σύμφωνα με τους επιστήμονες, σε δύο σκέλη.

Το πρώτο σκέλος είναι αποτέλεσμα της αύξησης στη συγκέντρωση των πυρήνων συμπύκνωσης στα σύννεφα (CCN). Για μια δεδομένη ποσότητα νερού, η αύξηση στον αριθμό CCN εξαιτίας της ρύπανσης και της καύσης οδηγεί σε αύξηση της ποσότητας μικρότερων σταγονιδίων, αφού το διαθέσιμο νερό θα πρέπει να κατανεμηθεί σε περισσότερους πυρήνες σταγονιδίων (Twomey, 1991). Τα μικρότερα αεροζόλ σκεδάζουν πιο συχνά προς τα πίσω (προς την πηγή) την ακτινοβολία σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα, προκαλώντας το φαινόμενο Albedo των νεφών (cloud Albedo effect) το οποίο με τη σειρά του προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας.

Το δεύτερο σκέλος είναι αποτέλεσμα του αυξανόμενου βαθμού ματαίωσης των βροχοπτώσεων και της επιμήκυνσης του χρόνου ζωής των νεφών εξαιτίας της συνεχώς αυξανόμενης συγκέντρωσης των πυρήνων συμπύκνωσης, οι οποίοι αποτρέπουν τα σταγονίδια από το να φτάσουν ένα όριο ακτίνας 14 μm (Albrecht, 1989). Για να δημιουργηθεί βροχή οι σταγόνες θα πρέπει να ξεπεράσουν το όριο ακτίνας των 14 μm. Το δεύτερο σκέλος θεωρείται, από τους Haywood και Boucher (2000), ως ένας βασικός παράγοντας της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 8 : Πηγές, διεργασίες και αλληλεπιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με το περιβάλλον

Α.5 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΌ ΠΛΑΙΣΙΟ

Με τη συνεχή αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, η παγκόσμια κοινότητα έπρεπε να θεσπίσει και να διαμορφώσει κανόνες και οδηγίες που αφορούν τη μείωση τους και την προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Το 1979 η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (US Environmental Protection Agency, US EPA) χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τη συγκέντρωση των $ΑΣ_{10}$ ως μέτρο για την αξιολόγηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και τέθηκαν όρια και στόχοι. Το 2000 μετά από μελέτες που έδειξαν τα επιβλαβή αποτελέσματα των αιωρούμενων σωματιδίων στη δημόσια υγεία άρχισαν να χρησιμοποιούνται και τα $ΑΣ_{2,5}$ για τα οποία τέθηκαν στόχοι όχι όμως και όρια.

Στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε μία γενική οδηγία το 1996 σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (1996/62/ΕΚ). Αυτή η οδηγία, η οποία θεωρείται θεμέλιος λίθος της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα πρότυπα ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος, προβλέπει τον καθορισμό οριακών τιμών και των επιπέδων συγκέντρωσης των ρύπων, τα οποία καθορίζονται βάσει των οδηγιών του παγκόσμιου οργανισμού υγείας (WHO) για τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, με στόχο την αποτροπή, πρόληψη ή μείωση των επιβλαβών αποτελεσμάτων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον συνολικά. Οι κατευθυντήριες τιμές που δίνονται τίθενται ως μακροπρόθεσμες προφυλάξεις για την υγεία και το περιβάλλον, με δυνατότητα τον ορισμό νέων βελτιωμένων στόχων με σκοπό την εξασφάλιση της καλύτερης ποιότητας της ατμόσφαιρας για τις επόμενες γενιές. Η συγκεκριμένη οδηγία πλαίσιο ακολουθήθηκε από μια σειρά θυγατρικών οδηγιών όπως οι 1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ, 2002/3/ΕΚ, 2004/107/ΕΚ, 97/101/ΕΚ.

Η νέα και πιο πρόσφατη οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008, τέθηκε σε ισχύ από τις 11 Ιουνίου 2008 για 'την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη'. Οι παραπάνω οδηγίες αναθεωρούνται και ενσωματώνονται στην οδηγία αυτή, έτσι ώστε να περικλείονται οι πλέον πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της επιστήμης και της υγείας.

Με τις παραπάνω νομοθετικές πράξεις θεσπίζονται διαφόρων ειδών πρότυπα ελέγχου, διαχείρισης και ορίων προκειμένου να εξασφαλιστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η προστασία της ανθρώπινης υγείας και των οικοσυστημάτων ανάλογα με τον ρύπο. Στην οδηγία-πλαίσιο αναφέρονται αρκετοί ορισμοί για τα όρια. Οι ορισμοί αυτοί διευκολύνουν την καλύτερη κατανόηση των νομοθετημάτων αλλά και των πινάκων που περιέχονται. Μερικοί από αυτούς είναι:

- Η οριακή τιμή → όπου ορίζεται το επίπεδο που έχει καθοριστεί βάσει επιστημονικών γνώσεων, με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο σύνολο του περιβάλλοντος, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί εντός δεδομένης προθεσμίας χωρίς εν συνεχεία υπερβάσεις.

- Το περιθώριο ανοχής → που είναι το ποσοστό της οριακής τιμής, κατά το οποίο επιτρέπεται να γίνεται υπέρβαση της, σύμφωνα με τους όρους της παρούσας οδηγίας.
- Η τιμή στόχος → όπου είναι το καθορισμένο επίπεδο με σκοπό να αποφεύγονται, να προσλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο σύνολο του περιβάλλοντος, που επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν εντός δεδομένης χρονικής περιόδου.
- Ο εθνικός στόχος μείωσης της έκθεσης → δηλαδή η ποσοστιαία μείωση της μέσης έκθεσης του πληθυσμού ενός κράτους μέλους που καθορίζεται για το έτος αναφοράς με στόχο να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, η οποία πρέπει να επιτευχθεί, ει δυνατόν, εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου.

Σε ότι αφορά τα $ΑΣ_{10}$, ήδη από το 2005 το ημερήσιο όριο ανέρχεται στα 50 $\mu g/m^3$, όριο το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος και το περιθώριο ανοχής είναι 50%. Η μέση ετήσια τιμή ανά ημερολογιακό έτος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 $\mu g/m^3$, ενώ το περιθώριο ανοχής είναι 20% (Πίνακας 3).

Η αυστηρότητα του καινούργιου αυτού προτύπου οφείλεται στο γεγονός ότι η υπέρβαση των ορίων των $ΑΣ_{10}$ δεν προκαλείται πάντα από ανθρωπογενείς πηγές (Rodriguez et al., 2001). Στη Νότια Ευρώπη, οι φυσικές πηγές $ΑΣ_{10}$ μπορεί να προκαλέσουν αρκετές φορές την υπέρβαση των ορίων. Παλαιότερες μελέτες στη δυτική μεσόγειο έχουν δείξει, ότι οι φυσικές πηγές σωματιδίων, όπως η σκόνη από τη Σαχάρα, εισβάλουν στις αέριες μάζες και παρεμβαίνουν στην παρακολούθηση των επιπτώσεων που προκαλούν οι ανθρωπογενείς πηγές στα επίπεδα των $ΑΣ_{10}$ (Querol et al., 1998).

$ΑΣ_{10}$

1 ημέρα	50 $\mu g/m^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50 %	— (1)
Ημερολογιακό έτος	40 $\mu g/m^3$	20 %	— (1)

(1) Ισχύει ήδη από 1ης Ιανουαρίου 2005.

Πίνακας 3 : Οριακή τιμή για τα $ΑΣ_{10}$

Όσον αφορά τα $ΑΣ_{2.5}$, τέθηκαν εθνικοί στόχοι με βάση το Δείκτη Μέσης Έκθεσης (ΔΜΕ) οι οποίοι πρέπει να έχουν επιτευχθεί μέχρι το 2020, τιμές στόχοι και οριακές τιμές (Πίνακας 4). Ο δείκτης μέσης έκθεσης εκφράζεται σε $\mu g/m^3$ (ΔΜΕ) και υπολογίζεται με μετρήσεις από μη εκτεθειμένες αστικές τοποθεσίες σε ζώνες και οικισμούς ανά την επικράτεια κράτους μέλους. Πρέπει να υπολογίζεται ως κυλιόμενη ετήσια μέση συγκέντρωση για τρία ημερολογιακά έτη όλων των σημείων δειγματοληψίας.

Στόχος μείωσης της έκθεσης σε σχέση με τον ΔΜΕ το 2010		Έτος κατά το οποίο πρέπει να επιτευχθεί ο στόχος μείωσης της έκθεσης
Αρχική συγκέντρωση σε μg/m³	Στόχος μείωσης σε %	2020
< 8,5 = 8,5	0 %	
> 8,5 — < 13	10 %	
= 13 — < 18	15 %	
= 18 — < 22	20 %	
≥ 22	Όλα τα δέοντα μέτρα προς επίτευξη 18 μg/m³	

Πίνακας 4 : Εθνικοί στόχοι που έχουν τεθεί για τα $ΑΣ_{2.5}$ με βάση την οδηγία 2008/50/ΕΚ.

Για τις οριακές τιμές των $ΑΣ_{2.5}$ υπάρχουν δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο η οριακή τιμή, που έπρεπε να έχει επιτευχθεί μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2015, σε ετήσια βάση είναι τα 25 μg/m³. Ενώ στο δεύτερο στάδιο η οριακή τιμή, που πρέπει να έχει επιτευχθεί μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2020, σε ετήσια βάση είναι τα 20 μg/m³ (Πίνακας 5).

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογιακό έτος	25 μg/m³	20 % στις 11 Ιουνίου 2008, μειούμενο έως την 1η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0 % έως την 1η Ιανουαρίου 2015	1η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 (¹)			
Ημερολογιακό έτος	20 μg/m³		1η Ιανουαρίου 2020
(¹) Στάδιο 2 — Ενδεικτική οριακή τιμή που θα επανεξετασθεί από την Επιτροπή το 2013 υπό το φως περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον, του τεχνικώς εφικτού και της εμπειρίας από την τιμή στόχο στα κράτη μέλη.			

Πίνακας 5 : Οριακή τιμή για τα $ΑΣ_{2,5}$

Β. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Β.1 ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας προσφέρει σήμερα στους επιστήμονες την πολυτέλεια να διαθέτουν μια μεγάλη ποικιλία οργάνων και τεχνικών, ικανών να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τη μέτρηση και την καταγραφή των αιωρούμενων σωματιδίων και λοιπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Το πρώτο και βασικότερο στάδιο οποιασδήποτε καταγραφής ή ανάλυσης είναι η δειγματοληψία. Βασικός στόχος κάθε δειγματοληψίας είναι η συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος. Κανένα αναλυτικό αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από την ακρίβεια και την ευαισθησία της μεθόδου που εφαρμόζεται, δε μπορεί να θεωρηθεί χρήσιμο εάν το δείγμα δεν είναι αντιπροσωπευτικό. Το πείραμα που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία αφορά δειγματοληψία σωματιδιακής ύλης.

Η δειγματοληψία σωματιδιακής ύλης στηρίζεται στα φαινόμενα της διήθησης, της πρόσκρουσης, της διάχυσης, της φυγοκέντρισης, της βαρυντικής κατακάθισης και της ηλεκτροστατικής και θερμικής κατακρήμνισης. Συνεπώς, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως η σύσταση και το μέγεθος του σωματιδίου, την ταχύτητα ροής του δείγματος και, φυσικά, από το σκοπό της εκάστοτε εργασίας.

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης μάζας επιτυγχάνεται με τη συλλογή όλων των σωματίδιων από ένα γνωστό όγκο αέρα και μετρηθεί η ολική μάζα τους. Η μέτρηση της μάζας γίνεται με ζύγισμα (πριν και μετά) των φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν για το διαχωρισμό. Για να λάβουμε υπόψη μας στους υπολογισμούς την πιθανή απορρόφηση υδρατμού (λόγω της υδρόφιλης συμπεριφοράς των σωματιδίων και των φίλτρων), το φιλτράρισμα γίνεται γενικά σε καθορισμένες συνθήκες (Τ=19 – 21 ^{o}C και 45 – 50% σχετική υγρασία).

Οι μέθοδοι αναφοράς που έχουν αναπτυχθεί στηρίζονται στο σταθμικό προσδιορισμό των αιωρούμενων σωματιδίων (Gravimetric Method). Εκτός όμως από το σταθμικό προσδιορισμό έχουν αναπτυχθεί και μέθοδοι συνεχούς καταγραφής της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (όπως η μέθοδος απορρόφησης β – ακτινοβολίας , η μέθοδος ταλάντωσης χορδής και η πιεζοηλεκτρική ταλάντωση), οι οποίες έχουν το πλεονέκτημα ότι δίνουν τη συγκέντρωση των ΑΣ σε συνάρτηση με το χρόνο. Η χρήση αυτών των αυτόματων μεθόδων καταγραφής διευρύνεται συνεχώς, όμως δεν είναι τόσο ακριβείς όσο οι μέθοδοι σταθμικής ανάλυσης.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, που διεξήχθη στο χώρο του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος σε εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος, ακολουθήθηκε η σταθμική μέθοδος προσδιορισμού για τα $ΑΣ_{10}$, σύμφωνα με το πρότυπο EN 12341, με σκοπό τον υπολογισμό της συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων που συλλέχθηκαν.

B.1.1 Σταθμικός προσδιορισμός των αιωρούμενων σωματιδίων

Η μέθοδος στηρίζεται στη ζύγιση του μέσου συλλογής των σωματιδίων (φίλτρου ή δοχείου) πριν και μετά τη δειγματοληψία, Πριν από τη ζύγιση η συλλεγμένη σωματιδιακή ύλη φυλάσσεται σε περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας και υγρασίας (π.χ. σε ξηραντήρα) μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους (Harvey, 2000).

Με τη συγκεκριμένη μέθοδο μπορούν να προσδιοριστούν:

- Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) → δηλαδή τα σωματίδια με διάμετρο <15 μm, χωρίς όμως να αποκλείονται και μεγαλύτερα (μέχρι και 50 μm) ανάλογα με τον τύπο του δειγματολήπτη και τις επικρατούσες συνθήκες.
- Τα εισπεύσιμα ή αναπνεύσιμα σωματίδια → δηλαδή το κλάσμα αιωρούμενων σωματιδίων που μπορεί να εισέλθει στο αναπνευστικό μας σύστημα. Τα σωματίδια αυτά έχουν διάμετρο μέχρι 10 μm, επειδή η τιμή αυτή επιτρέπει την κατασκευή συστημάτων εκλεκτικής δειγματοληψίας περισσότερο αντιπροσωπευτικών και λιγότερο εξαρτημένων από την επίδραση του ανέμου.

  Με βάση το γεγονός ότι μόνο σωματίδια μικρότερα από 3.5 μm έχουν τη δυνατότητα να φθάνουν στις περιοχές ανταλλαγής αερίων του αναπνευστικού συστήματος προτάθηκε και μία δεύτερη οριακή διάμετρος στα 2.5 μm. Η τιμή αυτή, μολονότι οδηγεί σε υποεκτίμηση των σωματιδίων που φθάνουν στις κυψελίδες των πνευμόνων, επιλέχθηκε για λόγους ευκολίας, επειδή ήδη αποτελούσε οριακή διάμετρο σε διάφορα συστήματα εκλεκτικής δειγματοληψίας σωματιδίων. Έτσι, τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο < 2.5 μm αποτελούν εξ ορισμού το κλάσμα των αναπνεύσιμων σωματιδίων.

  Για τη δειγματοληψία των εισπνεύσιμων ή αναπνεύσιμων σωματιδίων χρησιμοποιούνται δειγματολήπτες μεγάλου, μεσαίου ή μικρού όγκου με ειδική κεφαλή οριακής διαμέτρου 10 μm και 2.5 μm.

- Τα μικρά ή μεγάλα σωματίδια → Επειδή η κατανομή της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων παρουσιάζει ένα ελάχιστο στην περιοχή των 2.5 μm τα σωματίδια με d<2.5 μm ονομάζονται συνήθως μικρά σωματίδια (fine particles), ενώ αυτά με d>2.5μm μεγάλα σωματίδια (coarse particles). Το κλάσμα των μικρών σωματιδίων περιλαμβάνει τα σωματίδια πυρήνωσης και συσσωμάτωσης και είναι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης. Το κλάσμα των μεγάλων σωματιδίων περιλαμβάνει σωματίδια με d>10μm και προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από φυσικές πηγές.

Η δειγματοληψία με διήθηση (filtration) στηρίζεται στον εξαναγκασμό του ατμοσφαιρικού αέρα να περάσει μέσα από ένα σύστημα μικροσκοπικών οπών (φίλτρο). Το φίλτρο μπορεί να αποτελείται από επικαλυπτόμενες ίνες (φίλτρα ινών υάλου ή κυτταρίνης), από οργανικές μεμβράνες με καθορισμένο μέγεθος πόρων (μεμβράνες οξικής/νιτρικής κυτταρίνης, πολυκαρβονικές μεμβράνες, μεμβράνες Teflon) ή τέλος, από κόκκους ή πορώδες γυαλί.

Η συγκράτηση των σωματιδίων στο φίλτρο είναι αποτέλεσμα διαφόρων μηχανισμών, όπως ανάσχεση, διάχυση και πρόσκρουση λόγω αδράνειας. Με απ' ευθείας ανάσχεση συγκρατούνται τα σωματίδια με διαστάσεις μεγαλύτερες από το μέγεθος των πόρων του διηθητικού υλικού, ενώ τα πολύ μικρά σωματίδια συγκρατούνται, κυρίως με διάχυση. Τα σωματίδια με ενδιάμεσες διαστάσεις συγκρατούνται εκλεκτικά με πρόσκρουση. Η κατακάθιση μεγάλων σωματιδίων (εδαφική σκόνη που επαναιωρείται, κατακερματισμένη φυτική ύλη, έντομα κ.α.) αποφεύγεται με χρήση προστατευτικού καλύμματος.

Ο τύπος του φίλτρου που επιλέγεται για μια δειγματοληψία αεροζόλ εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως την ικανότητα συλλογής σωματιδίων ορισμένου μεγέθους, τη δυνατότητα περαιτέρω ανάλυσης της χημικής σύστασης των σωματιδίων, το κόστος κ.ά. .

Η ικανότητα ενός φίλτρου να συγκρατεί τα διαφόρων μεγεθών σωματίδια που υπάρχουν στον αέρα που εισέρχεται στο δειγματολήπτη, εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων του, το μέγεθος των σωματιδίων, την ταχύτητα διήθησης και την ποσότητα των ήδη συλλεγμένων σωματιδίων. Χαμηλή ταχύτητα δειγματοληψίας ευνοεί τη συγκράτηση μικρών σωματιδίων λόγω διάχυσης. Αύξηση της ταχύτητας δειγματοληψίας ελαττώνει τη διάχυση αλλά αυξάνει την αδράνεια των σωματιδίων επομένως τη συγκράτησή τους λόγω πρόσκρουσης. Όσο μικραίνει το μέγεθος των πόρων ενός φίλτρου, τόσο η ικανότητα συλλογής μεγαλώνει, αλλά ταυτόχρονα ελαττώνεται η ταχύτητα διήθησης.

Συνήθως, η ικανότητα συλλογής αναφέρεται σε καθαρά φίλτρα. Όμως, τα σωματίδια που συσσωρεύονται πάνω στο φίλτρο κατά τη δειγματοληψία αυξάνουν την ικανότητα συλλογής. Ταυτόχρονα, αλλά σε μικρότερο βαθμό, μεγαλώνει και η αντίσταση του φίλτρου.

B.1.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση

Ο εξωτερικός ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται από την ειδικά διαμορφωμένη, για σωματίδια διαμέτρου 10 μm, κεφαλή του δειγματολήπτη με γνωστή και σταθερή ταχύτητα ροής. Το κλάσμα $ΑΣ_{10}$ συλλέγεται σε φίλτρο για γνωστή χρονική περίοδο περίπου 24 ωρών. Η μάζα των $ΑΣ_{10}$ προσδιορίζεται με ζύγιση του φίλτρου σε σταθερές συνθήκες πριν και μετά τη συλλογή της σωματιδιακής ύλης.

Στους σημαντικούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα μιας μέτρησης, περιλαμβάνονται:

- Οι απώλειες στην απόθεση των μη-πτητικών $ΑΣ_{10}$ μέσα στις σωληνώσεις κατά τη διαδρομή που διανύεται, από την είσοδο στην κεφαλή μέχρι το φίλτρο
- Οι μη ελεγχόμενες απώλειες που μπορεί να υπάρξουν, λόγω της πτητικότητας των ημι-πτητικών $ΑΣ_{10}$, τόσο στις σωληνώσεις μεταξύ κεφαλής και φίλτρου, όσο και κατευθείαν από το φίλτρο κατά το χρονικό διάστημα από τη συλλογή του μέχρι τη ζύγιση

- Μεταβολές στη μάζα σωματιδιακής ύλης εξαιτίας του περιεχόμενου νερού → Μια ακόμα περιοριστική συνθήκη είναι να έρθει η συλλεγόμενη σωματιδιακή ύλη σε ένα ορισμένο επίπεδο περιεχομένου νερού με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας πριν και κατά τη διάρκεια της ζύγισης. Η επίδραση αυτού στην αβεβαιότητα της μέτρησης ποσοστικοποιείται από τον περιορισμό στην αλλαγή της μάζας των μεμονωμένων ζυγίσεων των επιφορτισμένων φίλτρων.

- Μεταβολές στις επιδράσεις της άνωσης μεταξύ των ζυγίσεων των επιφορτισμένων και μη φίλτρων → Η πυκνότητα του αέρα, η οποία προκαλεί την επίδραση της άνωσης στο βάρος των φίλτρων, προσδιορίζεται κατά κύριο λόγο από την πίεση και τη θερμοκρασία του αέρα. Από αυτά μόνο η θερμοκρασία ελέγχεται. Η επίδραση της αλλαγής των συνθηκών μεταξύ των περιόδων ζύγισης αξιολογείται από τη δοκιμή πεδίου.

- Η επίδραση των δυνάμεων στατικού ηλεκτρισμού κατά τη ζύγιση → Το φορτίο στατικού ηλεκτρισμού είναι γνωστό ότι μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη ζύγιση των φίλτρων PTFE. Ωστόσο, αυτό θεωρείται ότι ελέγχεται από τη σωστή χρήση του αποφορτιστή στατικού ηλεκτρισμού. Ανάλογη επίδραση δεν αναμένεται όταν χρησιμοποιούνται φίλτρα quartz. Οποιαδήποτε επίδραση θεωρείται ότι συμπεριλαμβάνεται στη διακύμανση που προσδιορίζεται στη δοκιμή πεδίου.

- Η επιμόλυνση του φίλτρου ή η απώλεια μάζας μεταξύ των ζυγίσεων των επιφορτισμένων ή μη επιφορτισμένων φίλτρων → Είναι δυνατόν να εισαχθούν σημαντικά σφάλματα στο βάρος της συλλεγόμενης σωματιδιακής ύλης εξαιτίας απωλειών φίλτρου ή σωματιδιακής ύλης κατά το χειρισμό και τη μεταφορά ή προσθήκης ύλης μη συλλεγμένης κατά τη δειγματοληψία.

- Οι μεγάλες διακυμάνσεις στην ταχύτητα ροής → Η μέτρηση της ροής μπορεί να βασίζεται σε διαφορετικές αρχές της φυσικής, που έχουν διαφορετικούς παράγοντες που επιδρούν. Οι παράμετροι που χρειάζεται να ελεγχθούν καθορίζονται από το χρήστη στην κάθε περίπτωση.

Υπάρχουν δύο παράγοντες της αβεβαιότητας της ροής, ο πρώτος προέρχεται από την ακρίβεια του πρότυπου ογκομέτρου που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση και ο δεύτερος από οποιαδήποτε απόκλιση, λόγω απρόβλεπτου παράγοντα, από την απαιτούμενη ταχύτητα ροής κατά την περίοδο των μετρήσεων.

B.1.2 Διαδικασία μετρήσεων ΑΣ$_{10}$ σε ατμοσφαιρικό αέρα σύμφωνα με τις οδηγίες προσδιορισμού

Σκοπός της μελέτης είναι η μέτρηση της συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm. Για τη μεθοδολογία της στρατηγικής της δειγματοληψίας για τη διασφάλιση αντιπροσωπευτικών μετρήσεων, την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τον έλεγχο ποιότητας των δεδομένων αναφορικά με τη στατιστική τους σημασία για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ποιότητα αέρα, πρέπει να ακολουθούνται οι κατευθυντήριες οδηγίες και η μεθοδολογία που αναπτύσσονται στην Οδηγία - Πλαίσιο για την Ποιότητα του Αέρα (96/62/EC), μαζί με τις "Θυγατρικές" Οδηγίες (97/101/EC, 1999/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC, 2004/107/EC), καθώς και οι γενικές αρχές δειγματοληψίας που τίθενται στο ISO 17025 και το EN12341.

B.1.2.1 Εξοπλισμός που απαιτείται σύμφωνα με τις οδηγίες

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι ο εξής:

1. Διακριβωμένο παχύμετρο διακριτικής ικανότητας 0.1 mm
2. Μονάδα διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας και υγρασίας στο χώρο των ζυγών (κλιματιστικό), διακριτικής ικανότητας 0.1 ºC, 0.1 RH
3. Διακριβωμένοι μετρητές θερμοκρασίας-υγρασίας, διακριτικής ικανότητας 0.03 ºC, 0.03 % RH, για τον έλεγχο των συνθηκών
4. Αναλυτικός ζυγός διακριβωμένος για το εύρος 0-80 g πέντε δεκαδικών
5. Δειγματολήπτες για ΑΣ$_{10}$ που ακολουθούν τα κριτήρια του συστήματος (ο δειγματολήπτης αποτελείται από διακριβωμένο μανόμετρο διακριτικής ικανότητας 10 mbar, αντλία κενού ροής πάνω από 8 m^3/h, ακροφύσια κρίσιμης ροής)

B.1.2.2 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό PM$_{10}$ είναι φίλτρα quartz και κυρίως τεφλόν όταν πρόκειται να γίνει προσδιορισμός συγκέντρωσης μάζας.

B.1.2.3 Ζύγιση

Για να γίνει ο υπολογισμός της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων, γίνεται ζύγιση των φίλτρων πριν (μη επιφορτισμένων) και μετά (επιφορτισμένων) τη διαδικασία της δειγματοληψίας. Το φίλτρο έχει στατικά φορτία που επηρεάζουν τη ζύγιση. Γι’ αυτό το λόγο τα φίλτρα περνάνε από το ηλεκτρόδιο (Mettler Toledo) πριν τη ζύγιση.

Β.1.2.3.1 Διαδικασία ζύγισης πριν τη δειγματοληψία

Τα φίλτρα πριν την έναρξη της διαδικασίας ζύγισης πρέπει να μείνουν τουλάχιστον 48 ώρες στο χώρο των ζυγών υπό σταθερές συνθήκες. Γίνεται έλεγχος των συνθηκών με το θερμοϋγρόμετρο που υπάρχει στο χώρο των ζυγών. Ο μέγιστος χρόνος παραμονής στο χώρο ζυγών φαίνεται στον πίνακα 6. Ύστερα καταγράφονται και αποθηκεύονται τα δεδομένα όπως ορίζει το πρότυπο. Αν βρίσκονται εντός των ορίων που θέτει το πρότυπο EN 12341 (20±1 ºC, 45-50 % RH), τότε μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία ζύγισης. Αν όχι, θα πρέπει να ξεκινήσει η διαδικασία με στόχο την επισκευή του κλιματιστικού μηχανήματος.

Γίνεται ενεργοποίηση του ζυγού, του γωνιακού ηλεκτροδίου και του ηλεκτροδίου σχήματος → U. Ύστερα ελέγχονται τα προς ζύγιση φίλτρα για κομμάτια που ίσως λείπουν ή τρύπες, σημειώνονται οι παρατηρήσεις στο βιβλίο ζυγίσεων και συμπληρώνονται οι κωδικοί των φίλτρων, οι ημερομηνία και η ώρα, στο βιβλίο ζυγίσεων. Κατόπιν, γίνεται βαθμονόμηση του ζυγού χρησιμοποιώντας τα εσωτερικά βάρη του. Αν εμφανιστεί μήνυμα ότι η διαδικασία βαθμονόμησης δεν ολοκληρώθηκε, επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

Μόλις η βαθμονόμηση γίνει με επιτυχία, σημειώνεται στο βιβλίο ζυγίσεων. Τα φίλτρα περνούν από το σύστημα ιονισμού για μερικά δευτερόλεπτα και ύστερα το φίλτρο τοποθετείται στο δίσκο του ζυγού. Μόλις σταθεροποιηθεί η ένδειξη (όταν εμφανιστεί το ‘’g’’ στο ζυγό), καταγράφεται το αποτέλεσμα στο φύλλο ζυγίσεων. Αφού αφαιρεθεί το φίλτρο και καταγραφεί πάλι η ένδειξη του ζυγού μετά τη σταθεροποίηση της, επαναλαμβάνεται η ζύγιση του ίδιου φίλτρου για δεύτερη φορά και καταγράφεται πάλι το αποτέλεσμα στο βιβλίο ζυγίσεων.

Τα φίλτρα πρέπει να ζυγιστούν ξανά μετά από τουλάχιστον άλλες 12 ώρες (m_{c2}), παραμονής των φίλτρων στον χώρο των ζυγών. Η διαφορά των ζυγίσεων θα πρέπει να ακολουθεί την παρακάτω φόρμουλα : $|m_{c,1}-m_{c,2}| \leq 40\mu g$. Αν δεν ισχύει η φόρμουλα, το φίλτρο αφήνεται για περεταίρω χρόνο στον χώρο των ζυγών για περίοδο μεγαλύτερη των 24ωρών και ξανά - ζυγίζεται το φίλτρο (m_{c3}), τότε θα πρέπει να ισχύει το εξής: $|m_{c,2}-m_{c,3}| \leq 40\mu g$.

Αν πάλι το φίλτρο δεν ικανοποιεί την παραπάνω σχέση τότε θεωρείται μη έγκυρο το φίλτρο.

Β.1.2.3.2 Διαδικασία ζύγισης μετά τη δειγματοληψία

Τα φίλτρα μετά τη δειγματοληψία θα πρέπει να μείνουν στον χώρο των ζυγών για χρόνο ≥ 48 ωρών και μετά ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως. Όμως η διαφορά μεταξύ των δύο ζυγίσεων θα πρέπει να ακολουθεί τον τύπο: $|m_{s1}-m_{s2}| \leq 60\mu g$.

Η μάζα του δειγματοληπτούμενου φίλτρου θα πρέπει να είναι ο μέσος όρος των δύο συνεχόμενων μετρήσεων.

Κάθε 10 φίλτρα δείγματος θα ζυγίζεται και 1 blank, το οποίο είναι στο χώρο των ζυγών για κλιματισμό και θα ξανά- ζυγίζεται για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει αύξηση μάζας σε σχέση με την τελευταία φορά που μετρήθηκε. Είναι αποδεκτή η διαφορά μέχρι 40μg. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αλλαγή της μάζας έως 40μg για τα blank φίλτρα είναι ίση για μετρούμενη συγκέντρωση με 0.7μg/m^3 (σε κανονική ροή για 24 ώρες δειγματοληψία).

ΦΙΛΤΡΑ	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
Φίλτρα ζυγισμένα που δεν έχει γίνει δειγματοληψία	**2 μήνες**
Φίλτρα μετά τη δειγματοληψία και blank φίλτρα πεδίου στο δειγματολήπτη	**1 μήνας**
Φίλτρα μετά τη δειγματοληψία και blank φίλτρα πεδίου στο δωμάτιο ζύγισης	**1 μήνας**

Πίνακας 6 : Μέγιστος χρόνος αποθήκευσης των φίλτρων

B.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΊΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΆΜΑΤΟΣ

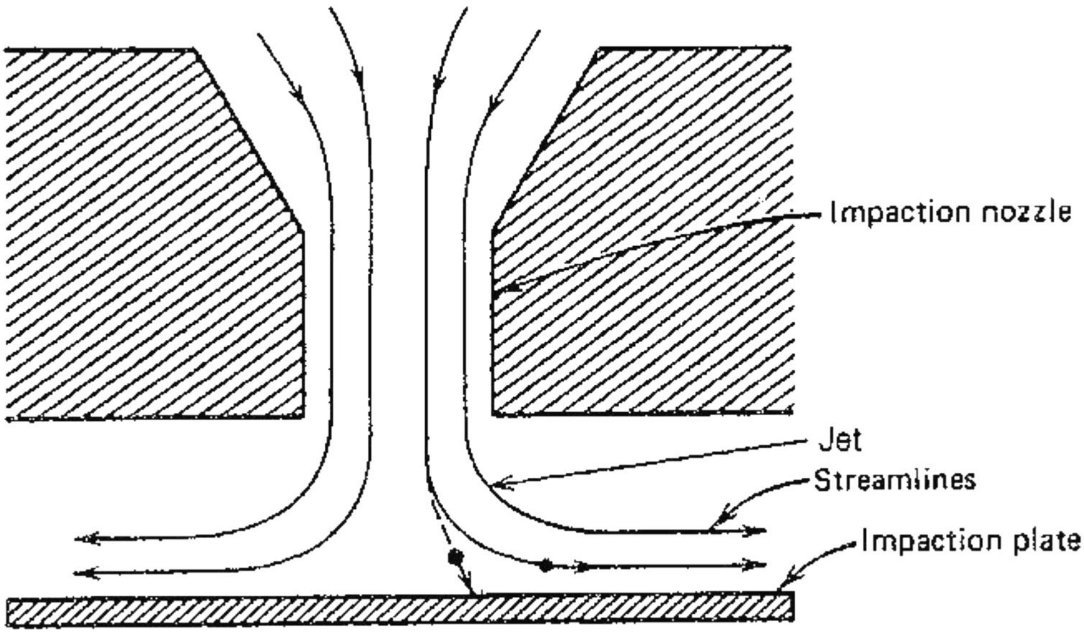
B.2.1 Αδρανειακή πρόσκρουση (Inertial Impaction)

Η πρόσκρουση είναι μια ειδική περίπτωση καμπυλόγραμμης κίνησης που εφαρμόζεται εκτενώς στη συλλογή και στη μέτρηση των αερολυμάτων. Εξαιτίας της σημαντικότητας της, η πρόσκρουση έχει αναλυθεί, θεωρητικά αλλά και πειραματικά, όσο καμία άλλη διαδικασία διαχωρισμού των σωματιδίων.

Όλοι οι αδρανειακοί προσκρουστήρες λειτουργούν βάσει της ίδια αρχής. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 9, το αερόλυμα περνάει μέσα από το στόμιο της κεφαλής (nozzle) και το ρεύμα εξόδου (jet) το στρέφει κατά μιας επίπεδης πλάκας που βρίσκεται στη βάση. Η επίπεδη αυτή πλάκα, που ονομάζεται βάση πρόσκρουσης (impaction plate), εκτρέπει τη ροή του αέρα προκαλώντας μια απότομη στροφή 90^o . Τα σωματίδια, των οποίων η αδράνεια υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο, δεν είναι σε θέση να ακολουθήσουν τις γραμμές ροής (streamlines) που έχουν δημιουργηθεί και προσκρούουν στην επίπεδη πλάκα. Οι προδιαγραφές, σύμφωνα με τις οποίες έχει κατασκευαστεί η κεφαλή, καθορίζουν ποιο είναι το ανώτατο όριο αεροδυναμικής διαμέτρου των σωματιδίων που θα εισέλθουν στο δειγματολήπτη (στο παρόν πείραμα τα ΑΣ$_{10}$). Έτσι λοιπόν, τα μικρότερα σωματίδια από το όριο αυτό θα παραμείνουν στις γραμμές ροής και θα εισέλθουν, ενώ τα μεγαλύτερα θα προσκρούσουν στην επίπεδη πλάκα λόγω αδράνειας, όπως περιγράφεται παραπάνω.

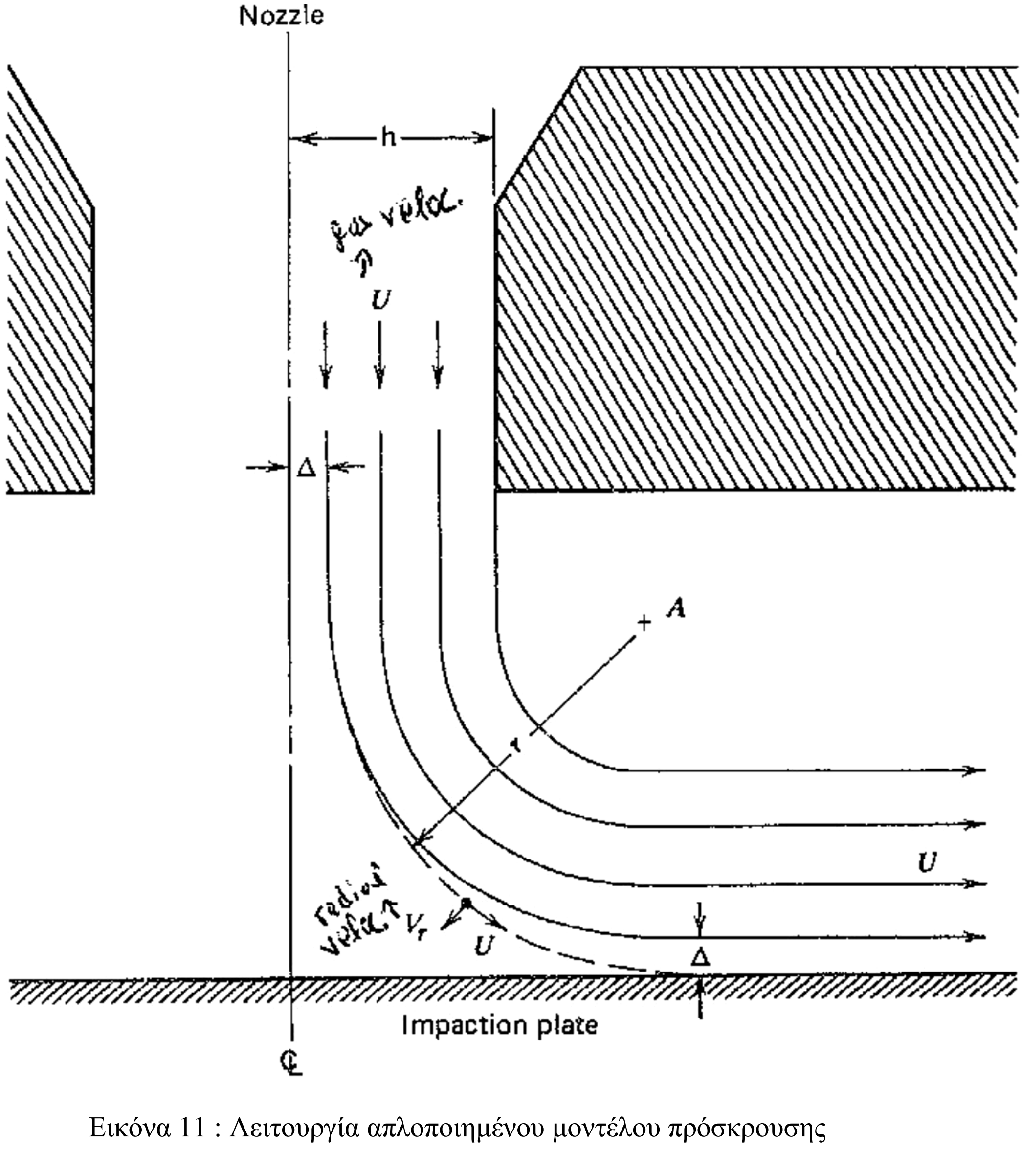
Η θεωρία της πρόσκρουσης επιχειρεί να εξηγήσει την καμπύλη του σχήματος της απόδοσης συλλογής με την αεροδυναμική διάμετρο του εκάστοτε σωματιδίου (Εικόνα 10). Η παράμετρος που διέπει την απόδοση συλλογής είναι ο αριθμός Stokes ή αλλιώς παράμετρος πρόσκρουσης, ο οποίος είναι ένας αδιάστατος αριθμός που χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά των αερομεταφερόμενου σωματιδίου σε μια ρευστή ροή, και στη συγκεκριμένη περίπτωση ορίζεται ως ο λόγος της απόστασης ακινητοποίησης του σωματιδίου με μέση ταχύτητα εξόδου από το στόμιο, U, προς την ακτίνα του ρεύματος εξόδου, D_j / 2 :

$$\text{Stk} = \frac{\tau U}{Dj/2}$$



Εικόνα 10 : Όψη διατομής του προσκρουστήρα αδράνειας

Η απλοποιημένη και κατά προσέγγιση ανάλυση που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 11), βοηθάει στην επεξήγηση της διαδικασίας πρόσκρουσης και τη σημασία των σχετικών παραμέτρων που περιέχονται. Για να γίνει αυτή η ανάλυση είναι απαραίτητη η υπόθεση ότι η ταχύτητα της ροής είναι ομοιόμορφη στο ρεύμα εξόδου και ότι οι γραμμές ροής σχηματίζουν τόξα με το κέντρο τους στο Α. Ένα σωματίδιο που εξέρχεται από το στόμιο κατά μήκος των γραμμών ροής, υφίσταται μία φυγόκεντρο δύναμη που του το ωθεί να κινηθεί προς τη βάση πρόσκρουσης. Στην περίπτωση παρέκκλισης και απομάκρυνσης του σωματιδίου από τις γραμμές ροής, το σωματίδιο αυτό θα παρεκκλίνει από την αρχική γραμμή ροής του με μία σταθερή ακτινική ταχύτητα, V_r , όπου r είναι η ακτίνα της κυρτότητας της γραμμής ροής. Η ολική μετατόπιση της ακτίνας, Δ, του σωματιδίου από την αρχική του γραμμή ροής του, είναι προϊόν της ακτινικής του ταχύτητας και του χρόνου που απαιτείται για διέλθει από το κυρτό κομμάτι (quarter circle) της γραμμής ροής. Όλα τα σωματίδια που θα περάσουν από το στόμιο μέσα στην απόσταση Δ από την κεντρική γραμμή του, θα καταλήξουν να προσκρούσουν στην επίπεδη πλάκα.



Εικόνα 11 : Λειτουργία απλοποιημένου μοντέλου πρόσκρουσης

B.2.1.1 Το φαινόμενο της αναπήδησης (Bounce effect)

Οι προσκρουστήρες σαν αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα έχουν πολύ υψηλότερες ταχύτητες στο ρεύμα εξόδου σε σχέση με τους συμβατικούς προσκρουστήρες. Έτσι λοιπόν, το φαινόμενο της αναπήδησης τον σωματιδίων μπορεί να αποδειχθεί σημαντικό πρόβλημα.

Στην απλοποιημένη ανάλυση και περιγραφή της αδρανειακής πρόσκρουσης, που έγινε παραπάνω, θεωρήθηκε ότι τα σωματίδια κολλούν και μένουν πάνω στην επίπεδη πλάκα μετά την πρόσκρουση. Για τα υγρής μορφής σωματίδια, αυτή η υπόθεση είναι σχεδόν πάντα σωστή. Τα στερεά και μη υγρά σωματίδια, όμως, μπορεί να αναπηδήσουν μόλις συγκρουστούν με τη βάση πρόσκρουσης ή μπορεί να κολλήσουν στην αρχή και στη συνέχεια να ξεκολλήσουν λόγω του ρεύματος αέρα που διέρχεται. Το αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις όμως είναι το ίδιο. Τα σωματίδια με μεγαλύτερη διάμετρο από το επιτρεπόμενο ανώτατο όριο (10 μm στο πείραμα που διενεργήθηκε), σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κεφαλής, μπορεί να εισέλθουν στο δειγματολήπτη μαζί με τα μικρότερα και να καταλήξουν στο φίλτρο.

Η πιθανότητα αναπήδησης ενός σωματιδίου εξαρτάται από τη σύσταση του, την ταχύτητα του και το είδος της επιφάνειας όπου προσκρούει. Καλύπτοντας την πλάκα στη βάση πρόσκρουσης με μια λεπτή στρώση ελαίου, λιπαντικού ή γράσου, μειώνεται η πιθανότητα αναπήδησης. Σε αυτού είδους υλικά, που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για αυτό το σκοπό, περιλαμβάνονται:

- Το silicone stopcock ή γράσο υψηλού κενού (high-vacuum grease)
- Το ειδικό γράσο Apiezon L
- Η βαζελίνη (petroleum jelly)
- Το έλαιο σιλικόνης (silicone oil)

Για να επιτευχθεί η λεπτή στρώση, τα υλικά αυτά συχνά διαλύονται με διαλύτες όπως το τολουόλιο (C_7H_8) ή το κυκλοεξάνιο (C_6H_{12}). Ύστερα, απλώνονται με πινέλο ή ψεκάζονται πάνω στην επιφάνεια της πλάκας και αφήνονται μέχρι να στεγνώσουν.

Ακόμα όμως και με την επικάλυψη της επιφάνειας της επίπεδης πλάκας με τέτοιου είδους υλικά που επιτρέπουν στα σωματίδια να κολλούν, η αναπήδηση δεν αποτρέπεται πλήρως. Αυτό συμβαίνει επειδή όσο περισσότερα σωματίδια κολλούν και γεμίζουν την επιφάνεια, τόσες περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν για τα εισερχόμενα σωματίδια να προσκρούσουν πάνω σε ένα ήδη κολλημένο σωματίδιο αντί για το υλικό επικάλυψης.

Β.2.2 Περιγραφή της τοποθεσίας

Το πειραματικό μέρος του πειράματος έλαβε χώρα στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών ‘Δημόκριτος’ (Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος) και συγκεκριμένα στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος.

Το Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος (37^{o}59΄56.7” N, 23^{o}49΄05.5” E) ξεκίνησε να λειτουργεί από τα τέλη της δεκαετίας του ’50 ως ανεξάρτητη δημόσια υπηρεσία με την επωνυμία **Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών ‘Δημόκριτος’**. Το 1985 πήρε τη σημερινή του επωνυμία και έγινε αυτοδιοικούμενο ΝΠΔΔ, υπό την εποπτεία της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης. Το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» βρίσκεται στην Αγία Παρασκευή Αττικής, σε μια έκταση 540.000 τ.μ. με κτιριακή επιφάνεια 40,000 τ.μ. .

Τα πειράματα διεξάχθηκαν στο σταθμό που ανήκει στο Εργαστήριο Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος και βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του Δημόκριτου, ενώ οι αναλύσεις και η επεξεργασία των δειγμάτων έγινε στο χώρο του Εργαστηρίου (στο ανατολικό τμήμα του Δημόκριτου).

Βασικό χαρακτηριστικό του σταθμού είναι η τοποθεσία του, καθώς περιβάλλεται από δέντρα, βρίσκεται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από τα αστικά κέντρα και είναι απομονωμένος έτσι ώστε να επηρεάζεται όσο το δυνατόν λιγότερο από ρύπους που εκλύονται μέσα στο χώρο του Δημόκριτου, είτε από εργασίες άλλων τμημάτων, είτε από τις εσωτερικές μετακινήσεις με μέσα μεταφοράς (Εικόνα 12).

Εικόνα 12 : Απεικόνιση της τοποθεσίας του σταθμού του Εργαστηρίου Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος (μέσω του google earth)

B.2.3 Συσκευές, Υλικά και Προγράμματα

Κατά το πειραματικό μέρος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα υλικά, προγράμματα και συσκευές:

- Ένας αυτοσχέδιος (Custom) δειγματολήπτης (Standard) χαμηλού όγκου (Low – Volume, 38 L/min) με προσκρουστήρα αδράνειας στην κεφαλή και δύο υποδοχές για φίλτρα, προσαρμοσμένος στο 'Δημόκριτο'
- Ένας αυτοσχέδιος δειγματολήπτης (Thermogel) χαμηλού όγκου (Low – Volume, 22 L/min) με προσαρμοσμένο (πειραματικό) προσκρουστήρα αδράνειας και δύο υποδοχές για φίλτρα, προσαρμοσμένος στο 'Δημόκριτο'
- Το λογισμικό PLC για την καταγραφή των δεδομένων από τους δειγματολήπτες, τη ρύθμιση παραμέτρων και την εισαγωγή εντολών που εξυπηρετούσαν το σκοπό του πειράματος
- Το πρόγραμμα MPPD, το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, και υπολογίζει την ποσοστιαία εναπόθεση των σωματιδίων στο αναπνευστικό (ανώτερο αναπνευστικό, τραχειοβρογχική περιοχή, κυψελίδες κ.ά.) για συγκεκριμένη ποσότητα συγκέντρωσης
- Συστήματα καταγραφής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της πίεσης (ατμοσφαιρικής και εσωτερικής) και της σχετικής υγρασίας, ενσωματωμένα στους δειγματολήπτες
- Φίλτρα τεφλόν PTFE Whatman πολυπροπυλενίου και Teflo Whatman με λεπτό δακτύλιο, για συλλογή $ΑΣ_{10}$
- Πλαστικά τρυβλία (petri) για την αποθήκευση των φίλτρων
- Λαβίδες για τη συλλογή των φίλτρων
- Ισοθερμικό δοχείο για τη μεταφορά των φίλτρων
- Αναλυτικός ζυγός ακρίβειας πέντε δεκαδικών ψηφίων σε γραμμάρια, της εταιρείας Sartorius
- Ένα σύστημα ηλεκτροδίου σχήματος U, της εταιρείας Mettler Toledo
- Ένα σύστημα καταγραφής και ρύθμισης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στο χώρο των ζυγίσεων

B.2.3.1 Δειγματολήπτης αναφοράς Standard (Reference sampler)

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας έγιναν δειγματοληψίες από δύο δειγματολήπτες ταυτόχρονα. Ο ένας δειγματολήπτης ήταν ο Standard, χαμηλού όγκου (Low – Volume) με επίπεδο προσκρουστήρα αδράνειας στην κεφαλή (Εικόνα 13) και δύο υποδοχείς για φίλτρα. Η επίπεδη βάση πρόσκρουσης είχε επικαλυφθεί με πινέλο από ένα λεπτό στρώμα silicone oil, με στόχο τη συγκράτηση των μεγαλύτερων από 10 μm σωματιδίων και την αποφυγή του φαινομένου της αναπήδησης. Η επιφάνεια της πλάκας έπρεπε να καθαρίζεται, σύμφωνα με τις οδηγίες, κάθε 10 με 15 ημέρες και να ανανεώνεται με υλικό. Το διάστημα μέχρι τον επόμενο καθαρισμό (10 με 15 ημέρες) καθορίζεται, κυρίως, από το επίπεδο κορεσμού της πλάκας σε σωματίδια, και συνεπώς αλλάζει από περίοδο σε περίοδο, ανάλογα με τα φαινόμενα (σκόνη από τη Σαχάρα, γύρη κ.ά.).

Εικόνα 13 : Η βάση πρόσκρουσης στην κεφαλή του Standard

Για τις δειγματοληψίες, ο Standard βαθμονομήθηκε και εφαρμόστηκε ροή περίπου 39 lpm (λίτρα ανά λεπτό σε συνθήκες 20 ^{o}C και 1 atm) για τη συλλογή των αιωρούμενων σωματιδίων.

Ο συγκεκριμένος δειγματολήπτης διαθέτει αισθητήρες για την καταγραφή της ατμοσφαιρικής πίεσης, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, στης σχετικής υγρασίας και της εσωτερικής πίεσης στο φίλτρο. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων καταγράφονται κάθε 15 λεπτά και αποθηκεύονται στην κάρτα μνήμης (Memory card) που διαθέτει ο δειγματολήπτης.

Η συλλογή των δεδομένων που αποθηκεύτηκαν γίνεται μέσω του προγράμματος PLC, καθώς ο δειγματολήπτης διαθέτει θύρα που του δίνει τη δυνατότητα να συνδέεται, μέσω καλωδίου, με έναν κοντινό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στον υπολογιστή, μέσω του PLC, για να μπορούν να επεξεργαστούν και να αναλυθούν. Σε περίπτωση μη λειτουργίας του PLC, η συλλογή των δεδομένων μπορεί να γίνει και χειροκίνητα με την αφαίρεση της κάρτας μνήμης.

Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε (και στους δύο δειγματολήπτες) το πρόγραμμα όπου η δειγματοληψία διαρκεί 24 ώρες, 00:00 το πρωί με 23:59 το βράδυ. Μετά το πέρας των 24 ωρών, η δειγματοληψία σταματάει για ελάχιστα δευτερόλεπτα και το πρόγραμμα αλλάζει αυτόματα υποδοχέα. Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία συνεχίζεται (ουσιαστικά γίνεται επανεκκίνηση) με το καινούργιο φίλτρο που έχει τοποθετηθεί στο δεύτερο υποδοχέα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον ερευνητή να συλλέξει το επιφορτισμένο φίλτρο από τον πρώτο υποδοχέα και να τοποθετήσει ένα καινούργιο. Το Σαββατοκύριακο, γίνεται 48ώρη δειγματοληψία με το ίδιο φίλτρο (00:00 το πρωί του Σαββάτου με 23:59 το βράδυ της Κυριακής).

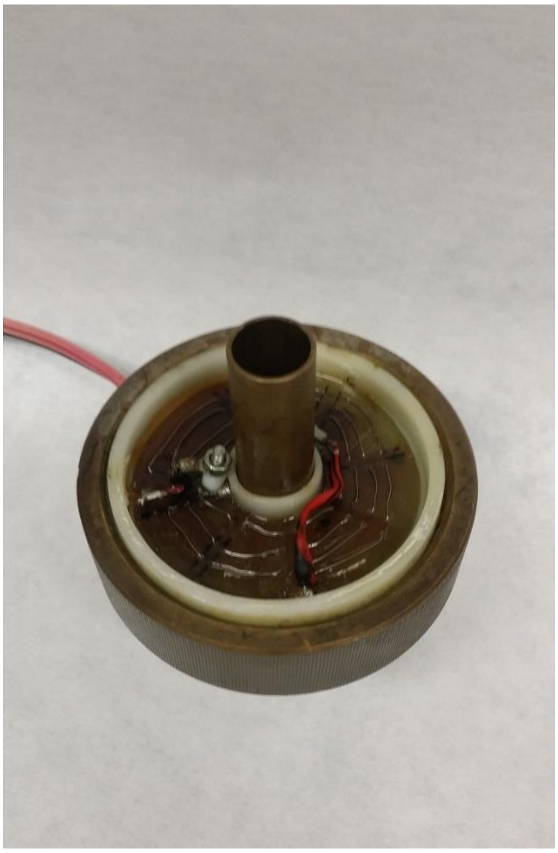
Β.2.3.2 Δειγματολήπτης Thermogel

Ο δεύτερος δειγματολήπτης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Thermogel, χαμηλού όγκου και δύο υποδοχείς για φίλτρα. Ο Thermogel βαθμονομήθηκε και εφαρμόστηκε ροή 22 lpm (λίτρα ανά λεπτό σε συνθήκες 20 ^{o}C και 1 atm) από την κεφαλή, για τη συλλογή αιωρούμενων σωματιδίων.

Β.2.3.2.1 Πειραματική κεφαλή του Thermogel

Στην κεφαλή του συγκεκριμένου δειγματολήπτη χρησιμοποιήθηκε ουσιαστικά η τεχνική της αδρανειακής πρόσκρουσης, όμως η κατασκευή της διέφερε από αυτήν του Standard.

Σε αντίθεση με την επίπεδη μεταλλική πλάκα που διέθετε ο δειγματολήπτης αναφοράς, στην κεφαλή του Thermogel, στη θέση της βάσης πρόσκρουσης, υπήρχε ένα μικρό ‘δοχείο’ βάθους περίπου ενός εκατοστού (Εικόνα 14). Ολόκληρο το εσωτερικό του ‘δοχείου’ καλύφθηκε με το παχύρευστο μη πτητικό υλικό (γράσο) Apiezon L, μέχρι την κορυφή των τοιχωμάτων (Εικόνα 15), έτσι ώστε η επιφάνεια του να βρίσκεται στην κατάλληλη απόσταση από τα ακροφύσια του πάνω μέρους της κεφαλής, απ’ όπου εισέρχονταν τα σωματίδια.



Εικόνα 14 : Η κεφαλή του Thermogel πριν τοποθετηθεί το υλικό

Εικόνα 15 : Η κεφαλή του Theromgel μετά την τοποθέτηση του Apiezon L

Στον πυθμένα του 'δοχείου' ήταν τοποθετημένες κάποιες μεταλλικές αντιστάσεις (Εικόνα 14), οι οποίες συνδέονταν, μέσω καλωδίου, με ένα εξωτερικό τροφοδοτικό. Το τροφοδοτικό, όταν βρισκόταν σε λειτουργία, έστελνε ρεύμα στις αντιστάσεις με αποτέλεσμα να θερμαίνονται. Οι πυρακτωμένες αντιστάσεις, με τη σειρά τους, ζέσταιναν το υλικό μέσα στο δοχείο, μέχρι να το υγροποιήσουν.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το τροφοδοτικό ήταν συνδεδεμένο έμμεσα (μέσω του δειγματολήπτη) με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου ήταν εγκατεστημένο το πρόγραμμα PLC. Ο υπολογιστής ρυθμίστηκε ώστε να στέλνει ένα συνεχόμενο 'παλμό', μέσω του PLC, στο τροφοδοτικό, έτσι ώστε να βρίσκεται σε συνεχόμενη λειτουργία για 15 λεπτά και να κρατάει τις αντιστάσεις θερμές για αυτό το διάστημα. Ο 'παλμός' αυτός ήταν προγραμματισμένος να στέλνεται κάθε 1 ώρα αυτόματα από το PLC, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει δέσμευση για χειροκίνητη λειτουργία.

Ο σκοπός της συγκεκριμένης κατασκευής ήταν να εφαρμοστεί μια τεχνική που θα αποτρέπει το φαινόμενο της αναπήδησης των σωματιδίων (bounce effect), χωρίς όμως να υπάρχει η ανάγκη καθαρισμού της βάσης πρόσκρουσης κάθε 10 με 15 ημέρες, όπως υπήρχε στο δειγματολήπτη αναφοράς.

Η πειραματική αυτή τεχνική λειτουργούσε με τον εξής απλό τρόπο: Μόλις το υλικό (Apiezon L) θερμαινόταν και υγροποιούταν, τα μεγαλύτερα και βαρύτερα σωματίδια που είχαν κολλήσει στην επιφάνεια της βάσης, κατευθύνονταν προς τον πάτο λόγω βάρους. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα ότι μετά το πέρας των 15 λεπτών όπου η θέρμανση σταματούσε, το υλικό γινόταν εκ νέου παχύρευστο έχοντας την επιφάνεια του καθαρή από σωματίδια.

Β.2.3.3 Μοντέλο δοσιμετρίας σωματιδίων πολλαπλής διαδρομής (MPPD)

Οι αλγόριθμοι σε αυτό το λογισμικό υπολογίζουν την εναπόθεση και την εκκαθάριση στα αερολύματα μονοδιασποράς και πολυδιασποράς στην αναπνευστική οδό των ανθρώπων σε ενήλικες και παιδιά (μόνο εναπόθεση) για σωματίδια που κυμαίνονται από πολύ λεπτά (0,01 μm) έως και χονδρόκοκκα (20 microns). Τα μοντέλα βασίζονται σε μονής και πολλαπλής διαδρομής για την παρακολούθηση της ροής του αέρα και τον υπολογισμό εναπόθεσης του αερολύματος. Η μέθοδος μονής διαδρομής υπολογίζει την εναπόθεση σε ένα τυπικό μονοπάτι ανά γενεά των αεραγωγών, ενώ η μέθοδος πολλαπλής διαδρομής υπολογίζει την εναπόθεση σωματιδίων σε όλους τους αεραγωγούς των πνευμόνων και παρέχει συγκεκριμένες πληροφορίες για κάθε αεραγωγό. Μέσα σε κάθε αεραγωγό η εναπόθεση υπολογίζεται θεωρητικά η οποία προέρχεται από την απόδοση εναπόθεσης με διάχυση, καθίζηση και ενσφήνωση εντός του αεραγωγού ή του αεραγωγού διακλάδωσης. Η διήθηση των αερολυμάτων από το κεφάλι προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας εμπειρικές συναρτήσεις απόδοσης..

Παρέχονται τρεις επιλογές για την εξιδανίκευση της γεωμετρίας του ανθρώπινου πνεύμονα στον ενήλικα. Η πρώτη επιλογή χρησιμοποιεί μια συμμετρική γεωμετρία για το σύνολο του πνεύμονα, η δεύτερη επιλογή περιλαμβάνει δομική λοβιακή μεταβολή, αλλά αντιμετωπίζει τη γεωμετρία σε κάθε λοβό του πνεύμονα με ένα συμμετρικό τρόπο και η τρίτη επιλογή υπολογίζει την εναπόθεση σωματιδίων με ένα ασύμμετρο μοντέλο της τραχειοβρογχικής περιοχής που δημιουργήθηκε από τον Koblinger και τον Hofmann (1990). Και τα τρία μοντέλα έχουν κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας μορφομετρικά δεδομένα από τους Yeh και Schum (1980).

Για κάθε ηλικία υπάρχει συγκεκριμένη γεωμετρία του πνεύμονα οι οποίες διατίθενται με 10 διακριτές τιμές από 3 μηνών ως 21 ετών. Ωστόσο υπάρχει ένα εξιδανικευμένο συμμετρικό μοντέλο απλής διαδρομής, καθώς και ένα λοβιακό συμμετρικό μοντέλο πολλαπλής διαδρομής, τα οποία είναι διαθέσιμα για χρήση με την αντίστοιχη ρύθμιση της ηλικίας. Οι δομές των πνευμόνων σε συγκεκριμένες ηλικιακές ομάδες είναι βασισμένες στα δεδομένα του Mortensen et al. (1983, 1988).

Ο χρήστης του μοντέλου ορίζει τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων σωματιδίων, το σενάριο αναπνοής, τις παραμέτρους αναπνοής, τη λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα (FRC) και τον όγκο του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος (URT). Το σύνολο των αρχείων του υπολογιστή δίνει τη γεωμετρία των πνευμόνων τα οποία περιλαμβάνονται με το πακέτο λογισμικού, αλλά αυτά τα αρχεία δεν μπορούν να τροποποιηθούν από το χρήστη.

Τα αποτελέσματα δίνονται σε γραφικές παραστάσεις και σε μορφή κειμένου. Τα δεδομένα προσομοίωσης διατίθενται για το σύνολο της περιφερειακής και λοβώδης εναπόθεσης αλλά και ως συνάρτηση του αριθμού γενεάς των αεραγωγών.

Αυτή η έκδοση του λογισμικού περιλαμβάνει τους υπολογισμούς της εκκαθάρισης των σωματιδίων στον πνεύμονα μετά την εναπόθεση. Δύο τύποι εκκαθάρισης είναι διαθέσιμες στο χρήστη: α) Το ποσό εκκαθάρισης ανά ημέρα κατά τη διάρκεια μετά την έκθεση και τη διατήρηση της μάζας στη τραχειοβρογχική και πνευμονική περιοχή, β) οι λεμφαδένες κατά τη διάρκεια της έκθεσης και μετά την έκθεση.

Οι υπολογισμοί του αερολύματος μπορούν να γίνουν είτε για μονοδιασπορά είτε σε λογαριθμοκανονική κατανομή πολυδιασποράς. Ακόμη οι υπολογισμοί μπορούν να πραγματοποιηθούν για μονοδιεσπαρμένα μεγέθη σωματιδίων που κυμαίνονται από υπέρλεπτα μέσω των χονδρόκοκκων, έτσι ώστε να ληφθεί μια γραφική παράσταση της εναπόθεσης προς το μέγεθος των σωματιδίων

Υπάρχουν διάφορα μοτίβα αναπνοής που μπορούν να προσομοιωθούν όπως το ενδοτραχειακό, ρινικό, εκ του στόματος, και σε συνδυασμό ρινικής και στοματικής αναπνοής (στοματο-ρινικό). Το σενάριο έκθεσης μπορεί να είναι σταθερό ή μεταβλητό, στο μεταβλητό σενάριο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει διαφορετικά πρότυπα αναπνοής, είτε σε ωριαία βάση κατά τη διάρκεια της ημέρας είτε μεταβαλλόμενη διάρκεια του χρόνου για ανάλογες δραστηριότητες. Τέλος, ρυθμίζεται η εισπνευσιμότητα του σωματιδίου όπου περιλαμβάνεται ως επιλογή.

Β.2.3.3.1 Λεπτομέρειες του Μοντέλου

Η κατασκευή των μοντέλων για τη ροή του αέρα την εναπόθεση και την εκκαθάριση των σωματιδίων στους πνεύμονες των ζώων και των ανθρώπων απαίτησε εξιδανίκευση της μορφομετρίας του πνεύμονα σε διάφορους βαθμούς. Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο μοντέλο μεταξύ των άλλων για τη δομή διακλάδωσης του αεραγωγού στον αρουραίου και στον άνθρωπο είναι ο συμμετρικός πνεύμονας σε κάθε γενιά (Weibel, 1963; Yeh et al., 1979). Αυτό επιτρέπει την προσομοίωση για τη μέση περιφερειακή εναπόθεση αλλά δεν παρέχει εκτίμηση εντοπισμού ή ανομοιογένειας στα πρότυπα εναπόθεσης. Αν και η κατώτερη αναπνευστική οδός του ανθρώπου μπορεί εύλογα να χαρακτηριστεί με ένα συμμετρικό τρόπο, υπάρχουν σημαντικές ασυμμετρίες στις ανώτερες αναπνευστικές οδούς, όπως η θωρακική κοιλότητα που οδηγεί σε διαφορετικά πρότυπα εναπόθεσης, καθώς και στην κατανομή της ροής του αέρα προς τους διάφορους λοβούς των πνευμόνων. Λόγω της ασύμμετρης φύσης των πνευμόνων στους αρουραίους αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα στις προβλέψεις της εναπόθεσης.

Αυτό το λογισμικό βασίζεται σε μια μέθοδο πολλαπλής διαδρομής (Anjilvel και Asgharian, 1995) που είναι ικανό να ενσωματώνει όλες τις ασυμμετρίες της δομής διακλάδωσης του αεραγωγού εφόσον οι μορφομετρικές λεπτομέρειες είναι διαθέσιμες. Όταν δίδεται μια συμμετρική γεωμετρία, όπως το μοντέλο Weibel, οι υπολογισμοί μειώνουν τα σφάλματα σε σχέση με μια μέθοδο μονής διαδρομής.

Το κύριο εμπόδιο στη μοντελοποίηση εναπόθεσης αερολύματος στον πνεύμονα είναι η έλλειψη γνώσης της δομής διακλάδωσης των αεραγωγών και η εκτίμηση εναπόθεσης της εξατομικευμένης διακύμανσης στα πρότυπα της δομή των αεραγωγών. Διαθέσιμη λεπτομερής μορφομετρική χαρτογράφηση μέχρι το επίπεδο των τερματικών βρογχιολίων υπάρχει για τον αρουραίο Long-Evans, η οποία δεν παρουσιάζει σημαντική ενδοατομική διακύμανση.(Menache et al., 1991). Από την άλλη πλευρά για τον ανθρώπινο πνεύμονα λεπτομερή δεδομένα δεν είναι ακόμη πλήρως διαθέσιμα. Raabe et al. (1976) πραγματοποίησε περιορισμένες μετρήσεις για την άνω αναπνευστική οδό του ανθρώπου. Τα δεδομένα τους χρησιμοποιήθηκαν από Koblinger και Hofmann (1985) έτσι ώστε να δημιουργήσουν μια στοχαστική δομή του πνεύμονα. Οι στοχαστικοί πνεύμονες χρησιμοποιήθηκαν από Asgharian et al. (2001a) για να παραχθεί ένα μοντέλο εναπόθεσης σωματιδίων στον άνθρωπο, πολλαπλής διαδρομής. Σε αυτό το λογισμικό δέκα τύποι από στοχαστικούς πνεύμονες έχουν επιλεγεί να εκπροσωπήσουν τον γενικό ανθρώπινο πληθυσμό. Η πρώτη περίπτωση έχει πολύ μικρό αριθμό αεραγωγών στους πνεύμονες ενώ η δεύτερη έχει πολύ μεγάλο αριθμό αεραγωγών. Για κάθε μοντέλο προστέθηκαν στην περιοχή των τερματικών βρογχιολίων οι κυψελίδες, όπου κατείχαν περίπου τον ίδιο όγκο του πνεύμονα.

Β.2.4 Διαδικασία της δειγματοληψίας

Στο πλαίσιο του πειράματος, πραγματοποιήθηκαν 24ώρες δειγματοληψίες $ΑΣ_{10}$ με ώρα έναρξης τις 00:00 και για τους δύο δειγματολήπτες (Thermogel και Standard). Για να εξεταστεί η επιρροή διαφορετικών καιρικών συνθηκών στο πείραμα, η δειγματοληψία διεξήχθη κατά τα χρονικά διαστήματα από 7/12/15 έως 27/1/16 και από 8/3/16 έως 26/4/16 (χωρίς τις ημέρες 15-16-17/3/16). Κατά τα χρονικά διαστήματα αυτά, λειτουργούσαν και οι δύο δειγματολήπτες ταυτόχρονα. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι και οι δύο δειγματολήπτες ήταν τοποθετημένοι στον ίδιο χώρο και οι κεφαλές τους, απ' όπου εισερχόταν η αέρια μάζα, βρισκόντουσαν στο ίδιο ύψος από την επιφάνεια του εδάφους.

Η ζύγιση πριν και μετά τη δειγματοληψία, για τον υπολογισμό της μάζας και κατ' επέκταση της συγκέντρωσης, έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω (παράγραφος Β.1.2.3).

Πριν από την έναρξη των δειγματοληψιών για κάθε ένα από τα δύο χρονικά διαστήματα, έγινε βαθμονόμηση των δειγματοληπτών σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα (ογκόμετρο στην κεφαλή, ροόμετρο συνδεδεμένο με την εισαγωγή αέρα κ.ά.).

Η συντήρηση του Thermogel γινόταν κάθε 10 με 15 ημέρες και αφορούσε τον καθαρισμό της κεφαλής από μεγάλου μεγέθους αντικείμενα (όπως μύγες, ζωύφια κ.ά.), που τυχαία υπήρχε περίπτωση να έχουν εισχωρήσει και τη συμπλήρωση της κεφαλής με υλικό σε περίπτωση που είχε υπάρξει απώλεια.

Όσον αφορά το δειγματολήπτη Standard, ο σκοπός του πειράματος επέβαλλε να μη συντηρείται τακτικά η κεφαλή του, όπως ορίζουν τα πρότυπα. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη κεφαλή καθαρίστηκε και λιπάνθηκε μία φορά κατά την έναρξη των χειμερινών δειγματοληψιών (7/12/15 – 27/1/16) και μία φορά κατά την έναρξη των εαρινών (8/3/16 – 26/4/16).

Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας χωρίζεται σε δύο σκέλη.

Το πρώτο σκέλος είναι η σύγκριση δύο διαφορετικών τεχνικών διαχωρισμού των σωματιδίων, που εφαρμόστηκαν σε κεφαλές για $ΑΣ_{10}$. Το αποτέλεσμα αυτή της σύγκρισης θα δείξει κατά πόσο η καινούργια πειραματική τεχνική που εφαρμόστηκε μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματική και αξιόπιστη, ή έστω άξια περεταίρω ανάλυσης.

Το δεύτερο σκέλος αφορά την εύρεση της τυπικής απόκλισης, ανάμεσα στους δύο δειγματολήπτες, για τις συγκεντρώσεις των $ΑΣ_{10}$ που μετρήθηκαν, με απώτερο στόχο τον υπολογισμό και την απεικόνιση της ποσοστιαίας εναπόθεσης στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η τυπική απόκλιση αφορά κυρίως τα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου από 10 μ.m. και πάνω, και αυτό συμβαίνει λόγω ανεπαρκούς συντήρησης της κεφαλής (καθαρισμός, λίπανση), ιδιαίτερα τις ημέρες με αυξημένη συγκέντρωση μεγάλων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα εξαιτίας Αφρικανικής σκόνης, γύρης κ.ά..

Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα δείχνει σε τι βαθμό μπορεί, η απόκλιση αυτή, να επηρεάσει (ή να αλλάξει) τον υπολογισμό της εναπόθεσης των σωματιδίων στους πνεύμονες για τα $ΑΣ_{10}$.

Ειδικότερα, οι στόχοι της μελέτης αυτής είναι:

- Σύγκριση των συγκεντρώσεων των δύο δειγματοληπτών
- Διερεύνηση των παραμέτρων, οι οποίες μπορεί να επηρέασαν τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων (πίεση, υγρασία, θερμοκρασία, απορρόφηση νερού από το σωματίδιο)
- Υπολογισμός της τυπικής απόκλισης της διαφοράς των συγκεντρώσεων μεταξύ των δύο δειγματοληπτών και εξέταση του βαθμού στον οποίο επιβεβαιώνεται η αποτελεσματικότητα της πειραματικής θερμαινόμενης κεφαλής
- Υπολογισμός της ποσοστιαίας εναπόθεσης της τυπικής απόκλισης (για τα μεγάλα σωματίδια κοντά στα 10 μ.m.) στο κάθε στάδιο του ανθρώπινου αναπνευστικού, έτσι ώστε φανεί πόσο μπορεί να επηρεάσει την αρχική εκτίμηση εναπόθεσης των $ΑΣ_{10}$ στον πνεύμονα

Γ.1 ΧΕΙΜΕΡΙΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (Δεκέμβριος 2015 – Ιανουάριος 2016)

Το πρώτο μέρος των μετρήσεων που έγιναν στο Ε.Κ.Φ.Ε. Δημόκριτος, διεξήχθη κατά τη χειμερινή περίοδο για τους μήνες Δεκέμβρη 2015 και Ιανουάριο 2016, και συγκεκριμένα για το χρονικό διάστημα από 7/12/2015 έως 27/01/2016. Οι μετρήσεις έγιναν ταυτόχρονα και στους δύο δειγματολήπτες, με βάση τη διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο Β.2.4.

Γ.1.1 Η σχέση των συγκεντρώσεων των ΑΣ$_{10}$ με τη σχετική υγρασία (RH %) και το συντελεστή e

Αρχικά υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων που συλλέχθηκαν, τους δύο αυτούς μήνες, από τον κάθε δειγματολήπτη. Ύστερα έγινε σύγκριση μεταξύ τους για να ελεγχθεί η μεταβολή στα δεδομένα και η διακύμανση των συγκεντρώσεων με την πάροδο των ημερών και όσο η κεφαλή του τυπικού δειγματολήπτη (standard) έμενε ακαθάριστη χωρίς λίπανση, ευνοώντας θεωρητικά το φαινόμενο της αναπήδησης (bounce effect) και επιτρέποντας όλο και περισσότερα σωματίδια μεγαλύτερα από 10 μ.m. να φτάσουν στο φίλτρο.

Επόμενο βήμα ήταν να ελεγχθεί η επιρροή της σχετικής υγρασίας στη μεταβολή των συγκεντρώσεων και στη διακύμανση τους.

Για να ερευνηθεί περεταίρω η διαφορά των δεδομένων συγκέντρωσης ανάμεσα στους δύο δειγματολήπτες, έγινε απόπειρα εκτίμησης της περιεκτικότητας των δειγμάτων. Αυτό εξαρτάται από την ικανότητα των σωματιδίων να συγκρατούν το νερό κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες σχετικής υγρασίας (υδροσκοπικότητα) (Colbeck, 2008; Bezantakos et al., 2013). Η ικανότητα αυτή έχει ως βασικό γνώμονα τη χημική σύσταση των σωματιδίων με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα ανόργανα σωματίδια, τα οποία μπορούν να απορροφήσουν σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες νερού από τα οργανικά. Επίσης, η υγρασία μπορεί να επηρεάσει και το μέσο δειγματοληψίας. Στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα τεφλόν. Τα συγκεκριμένα φίλτρα έχει αποδειχθεί ότι απορροφούν πολύ μικρές ποσότητες υγρασίας και σε συνδυασμό με τη σταθμική μέθοδο που ακολουθήθηκε, όπου τα επιφορτισμένα φίλτρα επιστρέφουν και αποθηκεύονται σε θάλαμο συγκεκριμένων πρότυπων συνθηκών (υγρασία 50% ±5% και θερμοκρασία 20 $^oC \pm 1\ ^oC$), αυτές οι μικρές ποσότητες έχουν απομακρυνθεί μέχρι τη ζύγιση του φίλτρου (Triantafyllou et al., 2016). Η ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα που μπορεί να απορροφηθεί από τα σωματίδια και τα φίλτρα δίνεται από τη σχέση:

$$e = RH * e_s , \quad (1)$$

όπου RH είναι η μέση σχετική υγρασία (%) στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, και e_s είναι η μέγιστη πίεση των υδρατμών (mbar).

Για μία συγκεκριμένη τιμή της θερμοκρασίας, T (K), το e_s μπορεί να υπολογιστεί από την τροποποιημένη εμπειρική σχέση των Magnus – Tetens (Salby, 1996):

$$\log e_s = 9.4041 - \frac{2354}{T} \quad (2)$$

Η ποσότητα του νερού στην ατμόσφαιρα (e) μπορεί να κανονικοποιηθεί διαιρώντας με τις τιμές των συγκεντρώσεων. Το αποτέλεσμα αυτής της κανονικοποιήσης δίνει τη διαθέσιμη ποσότητα νερού που θα μπορούσε ενδεχομένως να αλληλεπιδράσει με την κάθε μονάδα της συλλεγμένης μάζας. Για τη διαίρεση του συντελεστή e προτιμήθηκε η συγκέντρωση του δειγματολήπτη Thermogel (thrg), λόγω κυρίως της εσκεμμένης μη συντήρησης της κεφαλής του δειγματολήπτη αναφοράς (Std).

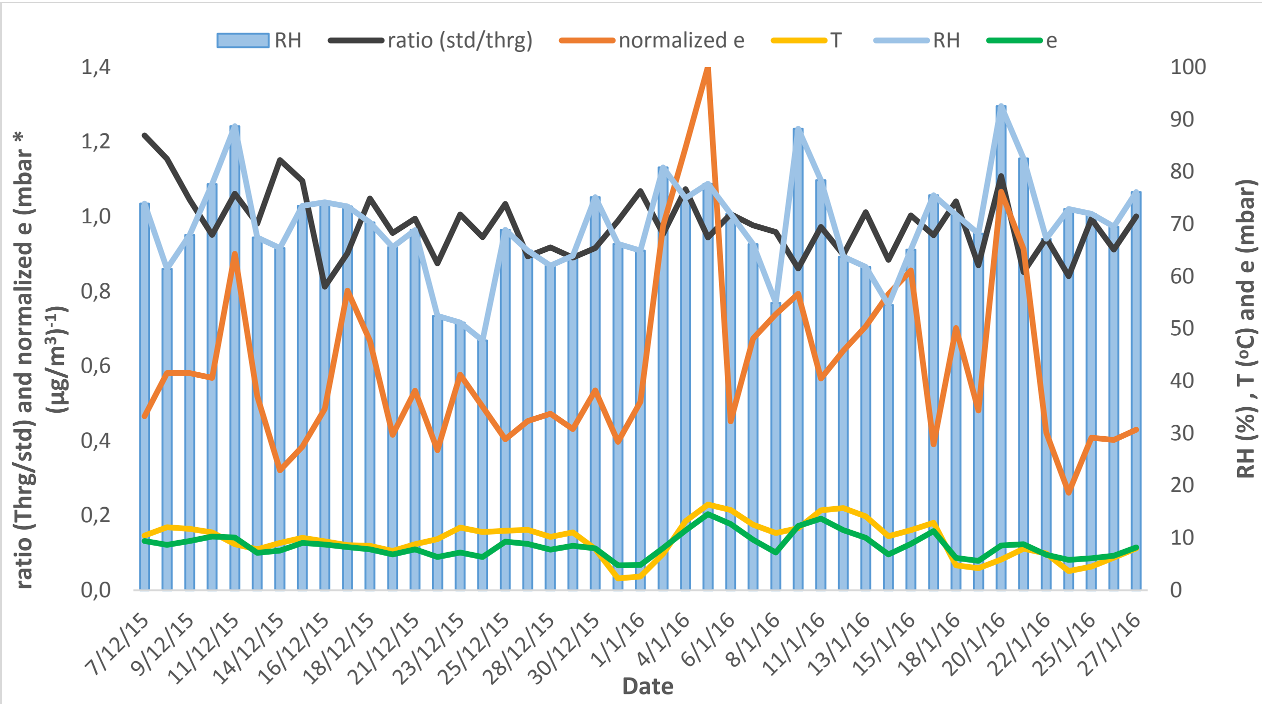
Όπως προαναφέρθηκε, η κεφαλή του δειγματολήπτη αναφοράς έχει καθαριστεί και λιπανθεί μόνο μία φορά μερικές ημέρες πριν από την εκκίνηση των χειμερινών μετρήσεων (1/12/15), με αποτέλεσμα ευνοείται το φαινόμενο της αναπήδησης των μεγάλων σωματιδίων (≥ 10 μ.m. περίπου) που εισέρχονται. Ειδικότερα, το υλικό (silicon oil) μετά το πέρας 10 – 15 ημερών έχει κορεστεί και έχει αρχίσει να χάνει σταδιακά την κολλητική του ιδιότητα. Σαν αποτέλεσμα λοιπόν, όλο και περισσότερα σωματίδια μεγέθους ≥ 10 μ.m. να αναπηδούν, μετά την πρόσκρουση στην επιφάνεια του, και να εισέρχονται στο δειγματολήπτη, καταλήγοντας στο φίλτρο. Όσο περισσότερο υγρό έχει απορροφήσει λοιπόν ένα σωματίδιο, τόσο περισσότερο μειώνεται η πιθανότητα αναπήδησης του (bounce effect) κατά την πρόσκρουση στην πλάκα της κεφαλής. Αυτά τα ‘υγρά σωματίδια’ υπάρχει πιθανότητα να επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν, κυρίως από το δειγματολήπτη αναφοράς (std).

Στον πίνακα 7 αναγράφονται οι συγκεντρώσεις των δύο δειγματοληπτών για κάθε μέρα δειγματοληψίας, καθώς και η σχετική υγρασία, η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος, ο λόγος των δύο συγκεντρώσεων (standard/thermogel), ο συντελεστής e και η διαθέσιμη ποσότητα νερού για κάθε μονάδα μάζας (normalized e) , για τις ημερομηνίες της χειμερινής περιόδου μετρήσεων.

Date	(thermogel) (μg/m³)	(standard) (μg/m³)	ratio (std/thrg)	RH (%)	Tatm (°C)	e (mbar)	normalized e
7/12/15	20.12	24.49	1.22	73.88	10.43	9.37	0.47
8/12/15	14.93	17.24	1.15	61.45	12.03	8.67	0.58
9/12/15	16.13	16.86	1.05	67.94	11.69	9.37	0.58
10/12/15	18.04	17.15	0.95	77.63	11.04	10.26	0.57
11/12/15	11.19	11.88	1.06	88.71	8.81	10.08	0.90
12/12/15 - 13/12/15	13.77	13.50	0.98	67.43	7.82	7.16	0.52
14/12/15	23.57	27.14	1.15	65.41	9.05	7.55	0.32
15/12/15	23.54	25.80	1.10	73.48	9.99	9.04	0.38
16/12/15	18.03	14.65	0.81	74.17	9.36	8.75	0.49
17/12/15	10.24	9.24	0.90	73.37	8.60	8.21	0.80
18/12/15	11.68	12.25	1.05	70.27	8.47	7.80	0.67
19/12/15 - 20/12/15	16.38	15.66	0.96	65.57	7.51	6.81	0.42
21/12/15	14.60	14.51	0.99	68.82	8.77	7.80	0.53
22/12/15	16.97	14.84	0.87	52.42	9.76	6.35	0.37
23/12/15	12.48	12.55	1.01	51.18	11.98	7.20	0.58
24/12/15	12.89	12.18	0.95	47.72	11.11	6.33	0.49
25/12/15	23.00	23.77	1.03	68.89	11.34	9.29	0.40
26/12/15 - 27/12/15	19.55	17.46	0.89	64.89	11.51	8.85	0.45
28/12/15	16.37	15.01	0.92	62.07	10.17	7.73	0.47
29/12/15	19.61	17.45	0.89	63.96	11.04	8.45	0.43
30/12/15	14.95	13.68	0.92	75.14	7.86	8.00	0.53
31/12/15	12.00	11.86	0.99	66.20	2.26	4.76	0.40
1/1/16	9.50	10.15	1.07	64.91	2.61	4.79	0.50
2/1/16 - 3/1/16	8.28	7.90	0.95	80.78	6.96	8.08	0.98
4/1/16	9.64	10.35	1.07	74.95	13.19	11.42	1.18
5/1/16	10.39	9.81	0.94	77.67	16.35	14.56	1.40
6/1/16	27.94	28.12	1.01	71.93	15.32	12.61	0.45
7/1/16	14.32	13.98	0.98	66.13	12.52	9.64	0.67
8/1/16	9.76	9.35	0.96	54.97	10.93	7.21	0.74
9/1/2016 - 10/1/16	15.49	13.33	0.86	88.20	11.82	12.28	0.79
11/1/16	24.16	23.48	0.97	78.36	15.26	13.68	0.57
12/1/16	17.89	16.06	0.90	63.77	15.71	11.47	0.64
13/1/16	14.18	14.34	1.01	61.81	14.11	10.01	0.71
14/1/16	8.65	7.65	0.88	54.50	10.31	6.86	0.79
15/1/16	10.34	10.37	1.00	65.09	11.47	8.85	0.86
16/1/2016 - 17/1/16	28.97	27.53	0.95	75.52	12.89	11.29	0.39
18/1/16	8.75	9.11	1.04	71.76	4.72	6.14	0.70
19/1/16	11.70	10.17	0.87	68.18	4.19	5.62	0.48
20/1/16	8.03	8.90	1.11	92.55	5.84	8.57	1.07
21/1/16	9.65	8.22	0.85	82.50	7.91	8.81	0.91
22/1/16	16.00	15.07	0.94	67.18	7.03	6.75	0.42
23/1/2016 - 24/1/16	22.17	18.63	0.84	72.84	3.63	5.78	0.26
25/1/16	14.91	14.81	0.99	71.93	4.53	6.08	0.41
26/1/16	16.42	14.96	0.91	69.52	6.20	6.60	0.40
27/1/16	19.07	19.08	1.00	76.10	8.02	8.19	0.43

Πίνακας 7 : Τα δεδομένα που μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν για την περίοδο 7/12/15 - 27/01/16

Στο Διάγραμμα 1 γίνεται μια σύνθετη απεικόνιση της διακύμανσης όλων των δεδομένων του παραπάνω πίνακα.



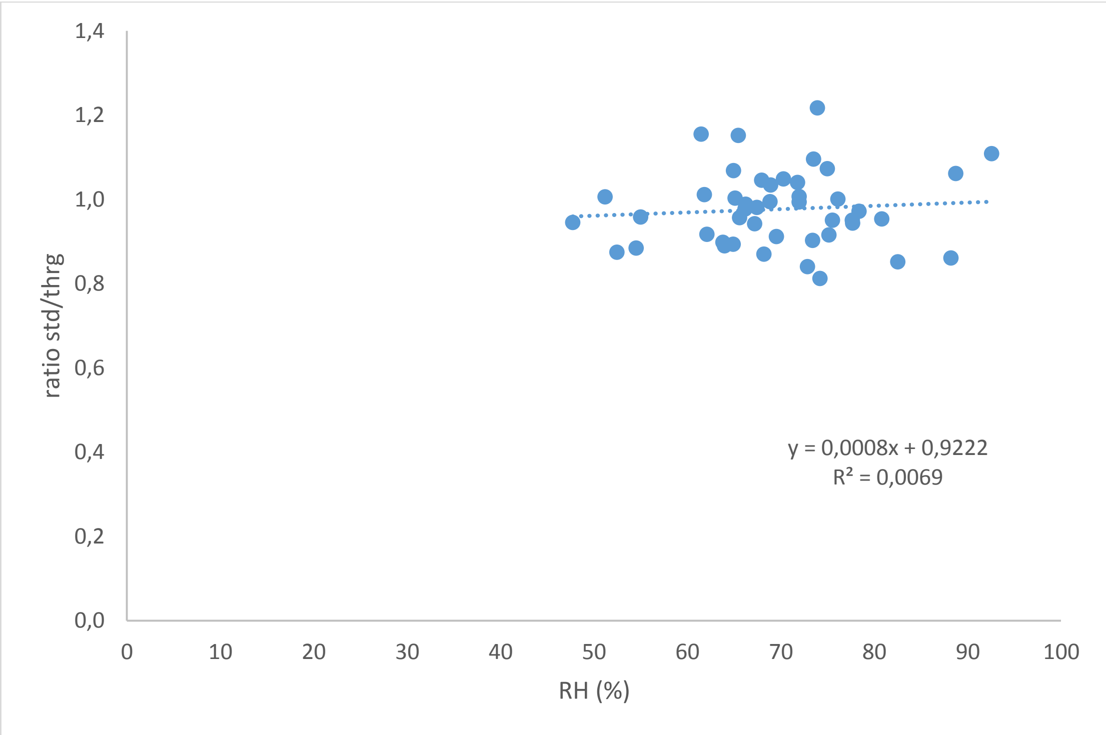
Διάγραμμα 1 : Ημερήσια μεταβολή του λόγου των συγκεντρώσεων (std/thrg), της σχετικής υγρασίας (RH), της ποσότητας νερού στην ατμόσφαιρα (e), της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (T) και της διαθέσιμης ποσότητας νερού ανά μονάδα (normalized e)

Με μια πρώτη ματιά στη συνολική διακύμανση των τιμών, δε μπορούν να βγουν ξεκάθαρα συμπεράσματα. Παρατηρώντας και συνδυάζοντας όμως τις ακραίες τιμές ορισμένων παραμέτρων του διαγράμματος, βγαίνουν κάποια λογικά και αξιοσημείωτα συμπεράσματα.

Αρχικά, εντοπίζοντας μερικές από τις υψηλότερες τιμές του λόγου των συγκεντρώσεων (ratio std/thrg) για τις ημερομηνίες 7/12/15, 8/12/15, 14/12/15 και 15/12/15 (Διάγραμμα 1), παρατηρούμε ότι παρόλο που ο συντελεστής e, όπως και η θερμοκρασία για την εποχή, δεν κυμαίνεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα (7,5 με 9,5 mbar και θερμοκρασία 9 με 12 ^{o}C), η διαθέσιμη ποσότητα νερού για κάθε μονάδα (normalized e) έχει χαμηλές τιμές (0,3 με 0,6 περίπου) και μάλιστα στις 14/12/15 παρουσιάζει τη δεύτερη μικρότερη τιμή της σε ολόκληρο το διάγραμμα (0,32 mbar*(μg/m^3)$^{-1}$). Αυτό μας επιτρέπει να υποθέσουμε ότι μεγαλύτερα από 10 μ.m. σωματίδια δεν απορρόφησαν αρκετό νερό ώστε να τα εμποδίσει να αναπηδήσουν κατά την πρόσκρουση, και έτσι έχουν εισέλθει και καταλήξει στα φίλτρα του standard δειγματολήπτη με αποτέλεσμα να έχει αισθητά μεγαλύτερη συγκέντρωση από το thermogel.

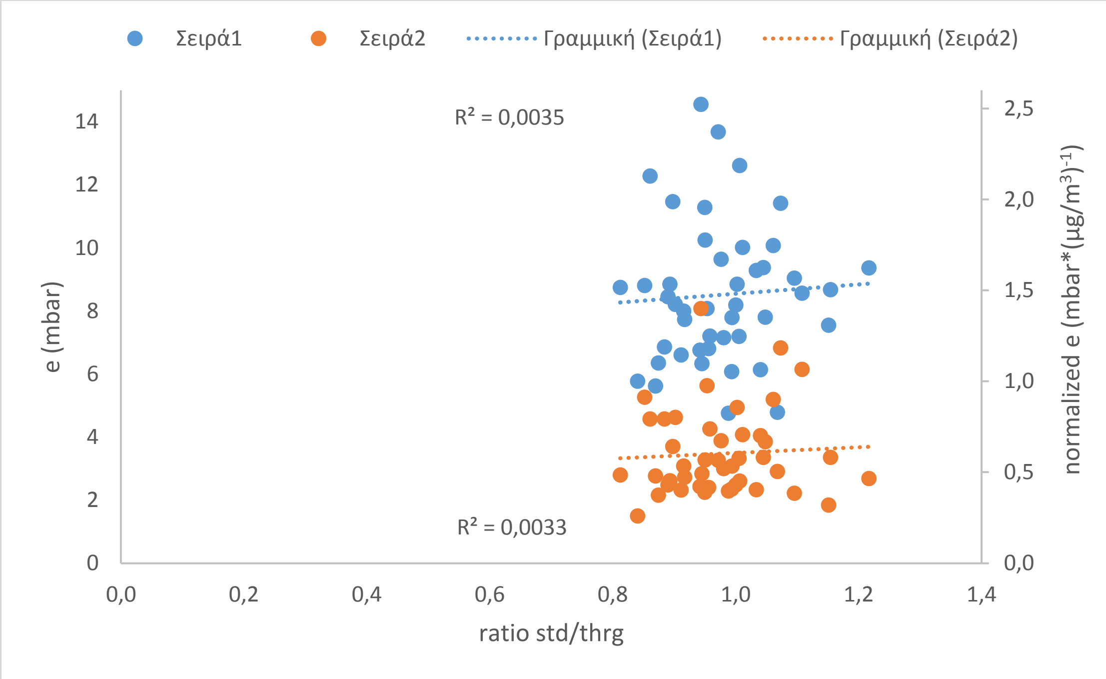
Έπειτα, για τις ημερομηνίες 4 και 5/01/16 παρατηρούμε ότι οι τιμές του normalized e είναι οι δύο υψηλότερες του διαγράμματος με τις τιμές των δύο συγκεντρώσεων να μην απέχουν πολύ μεταξύ τους έχοντας λόγο (ratio std/thrg) κοντά στο 1 (1,07 και 0,94 αντίστοιχα). Η μεγάλη ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη για κάθε μονάδα μάζας είναι πιθανό να 'υγροποιεί' τα σωματίδια, με αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα των 10 μ.m. να κολλάνε κατά την πρόσκρουση και να μην εισέρχονται στο δειγματολήπτη.

Στο διάγραμμα 2 απεικονίζεται ο λόγος των συγκεντρώσεων και η μέση σχετική υγρασία κάθε ημέρας, σε διασπορά. Δεν υπάρχει ξεκάθαρη γραμμική τάση ανάμεσα στις δύο παραμέτρους (ελαφρώς αυξητική), ούτε κάποια συσχέτιση (regression) με $R^2 = 0.0069$.



Διάγραμμα 2 : Συσχέτιση μεταξύ λόγου (ratio std/thrg) και σχετικής υγρασίας (RH %)

Στο σύνθετο διάγραμμα διασποράς 3 που ακολουθεί βλέπουμε ότι δεν υπάρχει χαρακτηριστική τάση, τόσο μεταξύ του λόγου και της ποσότητας νερού στην ατμόσφαιρα, όσο και μεταξύ του λόγου και του normalized e. Οι τιμές του e και του normalized e, μάλιστα, έχουν σχεδόν την ίδια πολύ ασθενή συσχέτιση με το λόγο. Το γεγονός αυτό μας δείχνει ότι η ποσότητα νερού και κατ' επέκταση η υγροποίηση κάποιων σωματιδίων δεν ευθύνεται ή δεν αποτελεί από μόνη της κάποιο σημαντικό παράγοντα, για την αυξομείωση των συγκεντρώσεων στη σύγκριση ανάμεσα στους δύο δειγματολήπτες.



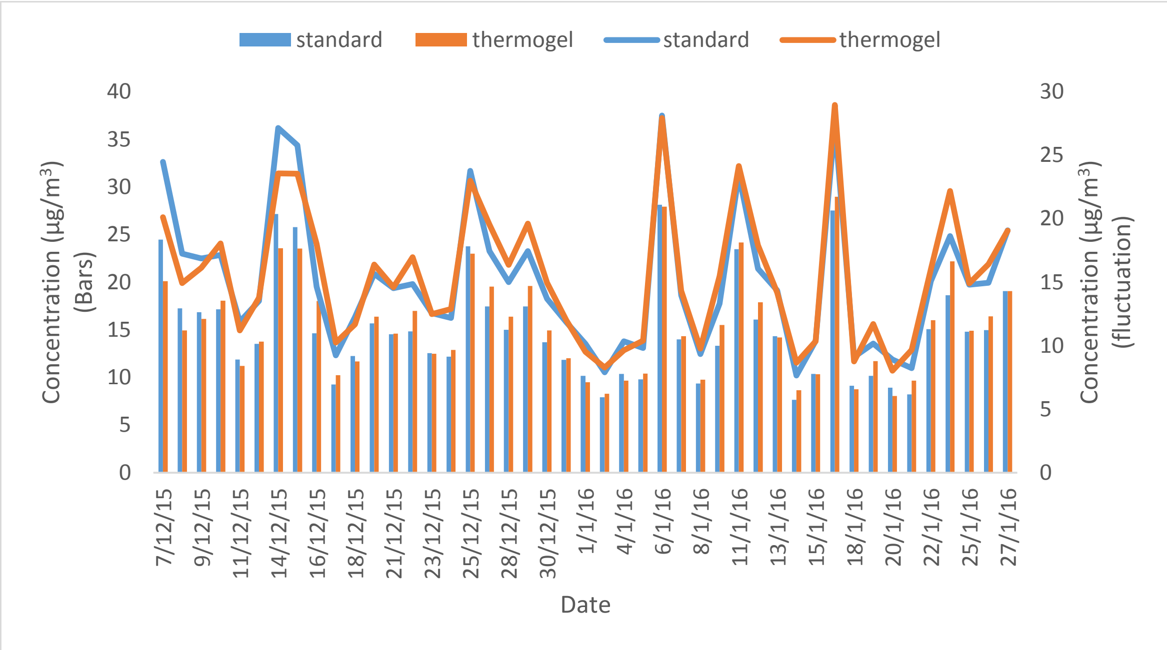
Διάγραμμα 3 : Συσχέτιση του λόγου (ratio std/thrg) με το e και το normalized e

Στο διάγραμμα 4 βλέπουμε τη διακύμανση των συγκεντρώσεων και στο διάγραμμα 5 τη συσχέτιση τους.

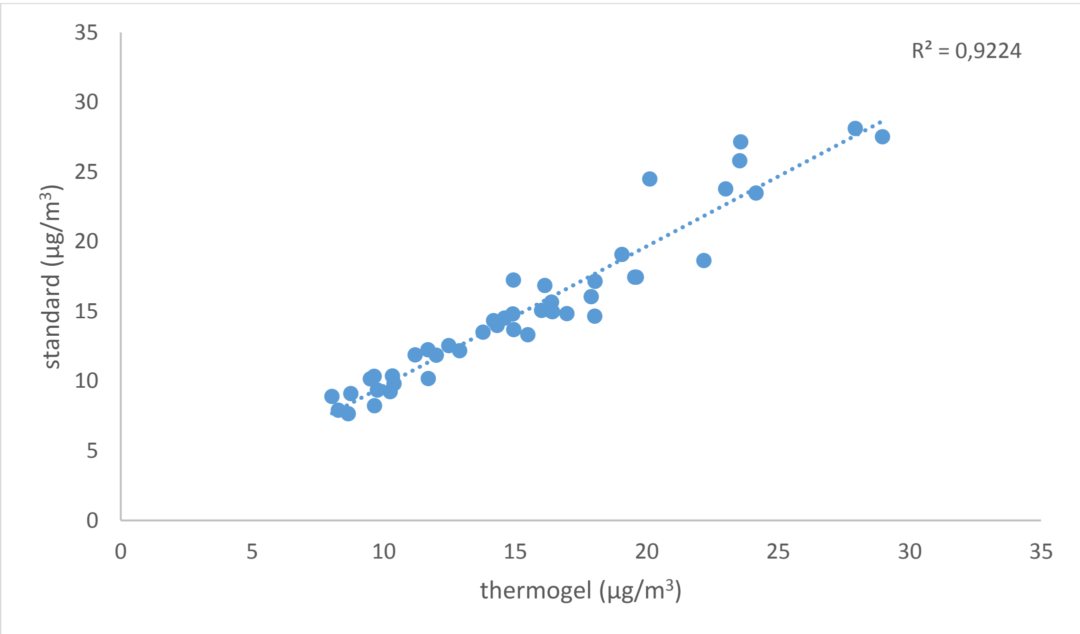
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4, κατά τις πρώτες μέρες των μετρήσεων (μέχρι τις 15/12/15) φαίνεται να υπάρχει διαφορά μεταξύ των συγκεντρώσεων, με τον τυπικό δειγματολήπτη (standard) να μετράει μεγαλύτερη συγκέντρωση σωματιδίων σχεδόν για όλες τις ημέρες. Στις υπόλοιπες ημέρες όμως δεν παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο, με τις συγκεντρώσεις είτε να εναλλάσσονται, είτε να κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα.

Όσον αφορά το διάγραμμα διασποράς (Διάγραμμα 5), υπάρχει μια αυξητική τάση με πολύ καλή συσχέτιση $R^2 = 0.92$. Η τάση είναι φυσιολογικά αυξητική, καθώς πρόκειται για δύο παρόμοιους δειγματολήπτες $ΑΣ_{10}$ και ο μη καθαρισμός της κεφαλής του standard δε θα μπορούσε να δημιουργήσει τόσο μεγάλη απόκλιση ώστε να επηρεάσει την τάση των δύο συγκεντρώσεων. Μία αξιόλογη παρατήρηση που θα μπορούσε να γίνει σε αυτό το διάγραμμα είναι η μεγαλύτερη διασπορά που φαίνεται να υπάρχει σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 20 $μg/m^3$. Επειδή οι μετρήσεις σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις δεν είναι πολλές, δε μπορούν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα. Παρόλ' αυτά μπορούμε να υποθέσουμε ότι τις ημέρες που υπάρχει υψηλή συγκέντρωση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, υπάρχουν και περισσότερα μεγάλα σωματίδια (≥ 10 μ.m.). Τα σωματίδια αυτά εισχωρούν στον δειγματολήπτη αναφοράς, λόγω του φαινομένου της αναπήδησης, προκαλώντας αύξηση στη μάζα που συλλέγεται και δημιουργώντας μια πιο διακριτή διαφορά ανάμεσα στις δύο συγκεντρώσεις. Κίνητρο για να γίνει η παραπάνω υπόθεση αποτέλεσε, εκτός από τη διασπορά που παρατηρήθηκε, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του Standard δειγματολήπτη σε σύγκριση με το Thermogel για τις περισσότερες ημέρες όπου οι συγκεντρώσεις και των δύο ξεπερνούσαν τα 20 μg/m^3 (Πίνακας 7).

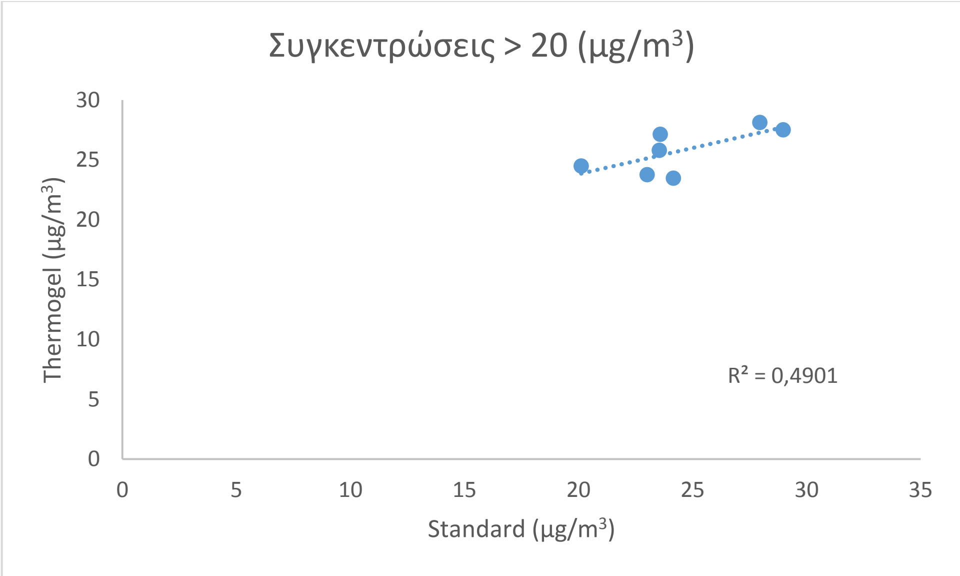
Στο διάγραμμα 6 βλέπουμε ότι η συσχέτιση μεταξύ των δύο δειγματοληπτών μειώνεται σημαντικά για τις συγκεντρώσεις πάνω από 20 μg/m^3 (R^2 = 0.49)



Διάγραμμα 4 : Διακύμανση των συγκεντρώσεων και ραβδόγραμμα (στον αριστερό άξονα είναι η συγκέντρωση για τις ράβδους και στον δεξιό για τη διακύμανση)



Διάγραμμα 5 : Διάγραμμα διασποράς μεταξύ των συγκεντρώσεων



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα διασποράς των συγκεντρώσεων πάνω από 20 μg/m^3

Γ.2 ΕΑΡΙΝΈΣ ΜΕΤΡΉΣΕΙΣ (Μάρτιος 2016 – Απρίλιος 2016)

Το δεύτερο σκέλος των μετρήσεων, διεξήχθη κατά την εαρινή περίοδο για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του 2016 και συγκεκριμένα για το χρονικό διάστημα 08/03/16 – 26/04/16. Λόγω κάποιων δυσκολιών στη λειτουργία των προγραμμάτων που χρησιμοποιούνταν, δεν έγιναν μετρήσεις για τις ημερομηνίες από 15/03/16 έως και 17/03/16. Οι μετρήσεις, όπως και κατά τη χειμερινή περίοδο, έγιναν ταυτόχρονα και για τους δύο δειγματολήπτες σύμφωνα με τη διαδικασία που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για τις εαρινές μετρήσεις αξίζει να σημειωθεί ότι μεσολάβησε και η περίοδος όπου υπήρχε γύρη στην ατμόσφαιρα. Λόγω του μεγάλου μεγέθους σωματιδίων, από τα οποία αποτελείται η γύρη, έγινε και ξεχωριστή επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Γ.2.1 Η σχέση των συγκεντρώσεων των ΑΣ$_{10}$ με τη σχετική υγρασία (RH %) και το συντελεστή e

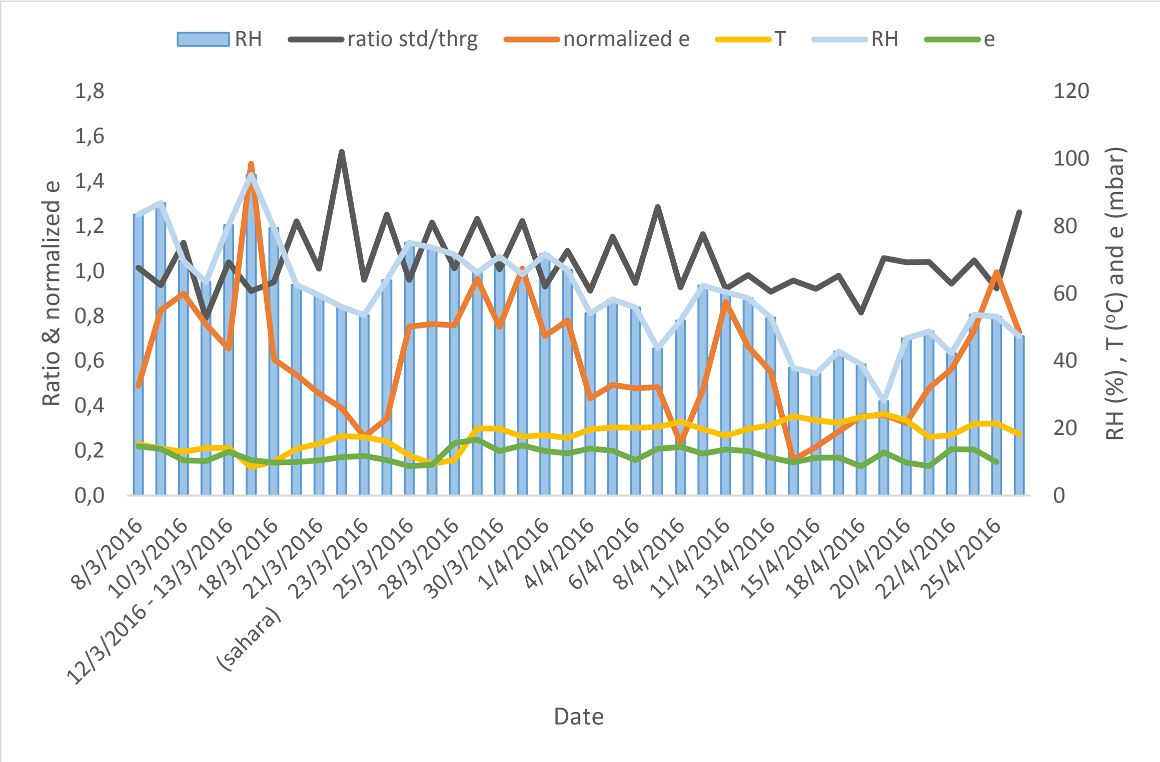
Ακολουθώντας, βήμα προς βήμα, την ίδια διαδικασία με τη χειμερινή περίοδο, έγινε επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων καθώς και υπολογισμός και απεικόνιση της σχέσης των συγκεντρώσεων με τη σχετική υγρασία και το συντελεστή για τη διαθέσιμη ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα (e).

Η κεφαλή του Standard καθαρίστηκε κατά την έναρξη των μετρήσεων (08/03/16), όπως συνέβη και πριν την έναρξη της χειμερινής περιόδου δειγματοληψιών, και έκτοτε δεν καθαρίστηκε ξανά ούτε λιπάνθηκε, μέχρι το πέρας των μετρήσεων (26/04/16).

Στον πίνακα 8 εμπεριέχονται όλα τα δεδομένα που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν κατά την εαρινή περίοδο. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 7 μg/m^3 περίπου μέχρι 70 μg/m^3, χωρίς να υπολογίζονται οι ακραίες τιμές για τις 23/3/16 (πάνω από 250 μg/m^3). Η ημερήσια μεταβολή των δεδομένων αυτών, απεικονίζεται στο σύνθετο διάγραμμα που ακολουθεί τον πίνακα (Διάγραμμα 7). Οι ημερομηνίες που εμφανίζονται με καφέ χρώμα στον πίνακα, υποδεικνύουν τις ημέρες όπου υπήρχε αφρικανική σκόνη στην ατμόσφαιρα, σύμφωνα με τα μοντέλα Hysplit και Skiron (.

Date	(thermogel) C (μg/m^3)	(standard) C (μg/m^3)	ratio std/thrg	RH (%)	T ° C	e	norm. e
8/3/2016	29.91	30.35	1.01	83.37	15.31	14.60	0.49
9/3/2016	16.87	15.80	0.94	86.81	13.96	13.92	0.83
10/3/2016	11.68	13.15	1.13	69.58	13.04	10.50	0.90
11/3/2016	13.51	10.68	0.79	63.40	14.15	10.30	0.76
12/3/2016 - 13/3/2016	19.92	20.68	1.04	80.22	14.15	13.03	0.65
14/3/2016	7.16	6.52	0.91	95.15	8.48	10.57	1.48
18/3/2016	16.19	15.39	0.95	79.43	10.08	9.84	0.61
19/3/2016 - 20/3/2016	18.56	22.66	1.22	62.54	13.89	9.98	0.54
21/3/2016	23.09	23.31	1.01	59.47	15.40	10.48	0.45
22/3/2016	29.40	44.99	1.53	56.02	17.67	11.43	0.39
(sahara) 23/3/2016	261.46	251.16	0.96	53.60	17.43	10.77	0.26
24/3/2016	34.48	43.11	1.25	63.97	16.10	11.80	0.34
25/3/2016	13.99	13.44	0.96	75.02	11.94	10.52	0.75
26/3/2016 - 27/3/2016	11.49	13.98	1.22	73.58	9.52	8.78	0.76
28/3/2016	12.07	12.21	1.01	71.51	10.56	9.14	0.76
29/3/2016	16.19	19.95	1.23	66.23	19.93	15.61	0.96
30/3/2016	22.20	22.37	1.01	70.96	19.90	16.68	0.75
31/3/2016	13.08	15.99	1.22	65.67	17.45	13.22	1.01
1/4/2016	20.96	19.51	0.93	71.62	17.97	14.90	0.71
2/4/2016 - 3/4/2016	16.91	18.43	1.09	66.99	17.10	13.18	0.78
4/4/2016	28.91	26.38	0.91	54.18	19.65	12.54	0.43
5/4/2016	28.31	32.63	1.15	58.14	20.23	13.96	0.49
6/4/2016	27.91	26.41	0.95	55.88	20.13	13.33	0.48
7/4/2016	21.91	28.15	1.28	43.70	20.37	10.59	0.48
8/4/2016	59.70	55.40	0.93	51.98	21.97	13.91	0.23
9/4/2016 - 10/4/2016	30.79	35.83	1.16	62.30	19.70	14.46	0.47
11/4/2016	14.42	13.28	0.92	60.45	17.80	12.44	0.86
12/4/2016	20.62	20.23	0.98	58.61	19.78	13.68	0.66
13/4/2016	24.05	21.82	0.91	52.83	20.94	13.26	0.55
14/4/2016	70.24	67.29	0.96	37.93	23.55	11.20	0.16
15/4/2016	45.70	42.08	0.92	36.20	22.35	9.92	0.22
16/4/2016 - 17/4/2016	39.29	38.47	0.98	42.79	21.59	11.19	0.28
18/4/2016	32.10	26.18	0.82	39.00	23.27	11.32	0.35
19/4/2016	24.12	25.49	1.06	28.07	24.28	8.67	0.36
20/4/2016	39.59	41.10	1.04	46.62	22.37	12.80	0.32
21/4/2016	20.45	21.29	1.04	48.74	17.44	9.80	0.48
22/4/2016	15.64	14.76	0.94	42.26	17.99	8.80	0.56
23/4/2016 - 24/4/2016	18.75	19.65	1.05	53.67	21.31	13.79	0.74
25/4/2016	13.79	12.72	0.92	53.07	21.41	13.72	0.99
26/4/2016	13.80	17.40	1.26	47.29	18.27	10.03	0.73

Πίνακας 8 : Πίνακας δεδομένων για Μάρτιο - Απρίλιο 2016 (Date, Concentration, ratio std/thrg, RH, T, e, normalized e)

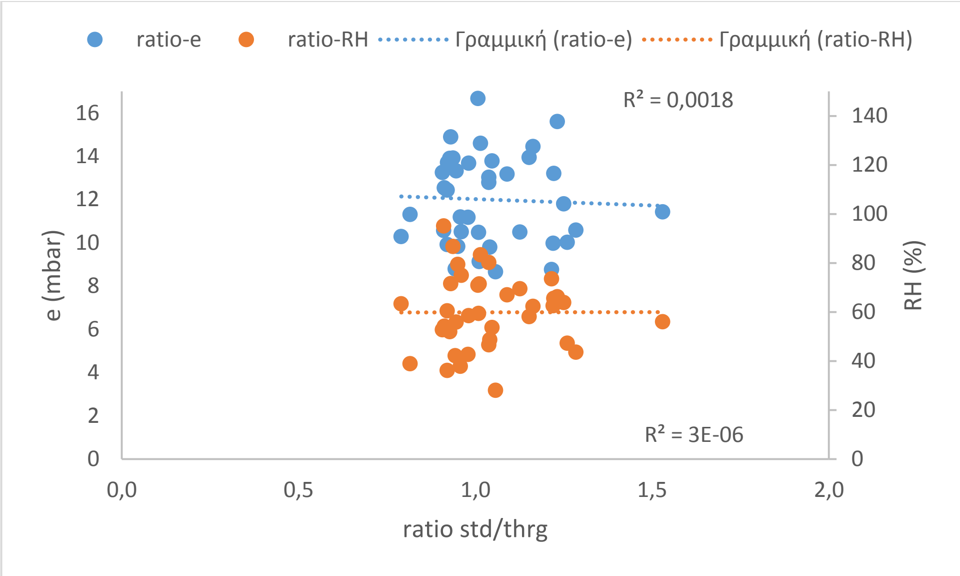


Διάγραμμα 7 : Μεταβολή και διακύμανση των παραμέτρων (RH, ratio, normalized e, T, e) για Μάρτιο - Απρίλιο 2016

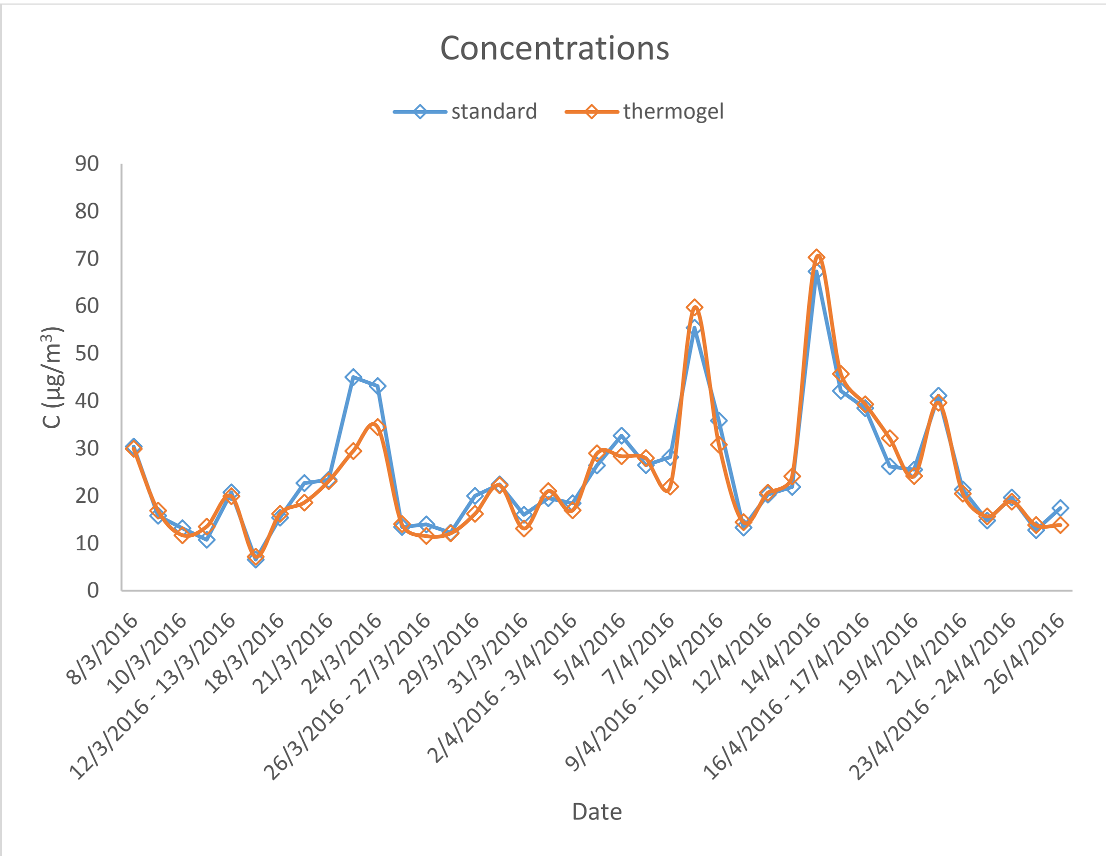
Στο διάγραμμα 7 παρατηρούμε ότι για το διάστημα 19/3/16 με 10/4/16 ο λόγος των συγκεντρώσεων (ratio std/thrg) παρουσιάζει μια ιδιαίτερη διακύμανση, που όμως μακροσκοπικά δε φαίνεται να έχει κάποια σχέση με τη μεταβολή των υπόλοιπων παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η διακύμανση αυτή του λόγου υποδεικνύει ότι για εκείνο το διάστημα οι δύο δειγματολήπτες παρουσίαζαν εναλλάξ μεγαλύτερες τιμές μέρα παρά μέρα, έχοντας περίπου την ίδια διαφορά μεταξύ τους ανεξάρτητα από το ποιος είχε μεγαλύτερη συγκέντρωση κάθε φορά.

Γι' αυτό το λόγο, ο λόγος των συγκεντρώσεων αποτελεί έναν πολύ σημαντικό δείκτη για τη σύγκριση των δύο δειγματοληπτών, καθώς μας δίνει άμεση εικόνα για τη μεταξύ τους σχέση. Επίσης, εξετάσαμε σε τι βαθμό επηρεάζεται ο λόγος από τη σχετική υγρασία και τη διαθέσιμη ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα.

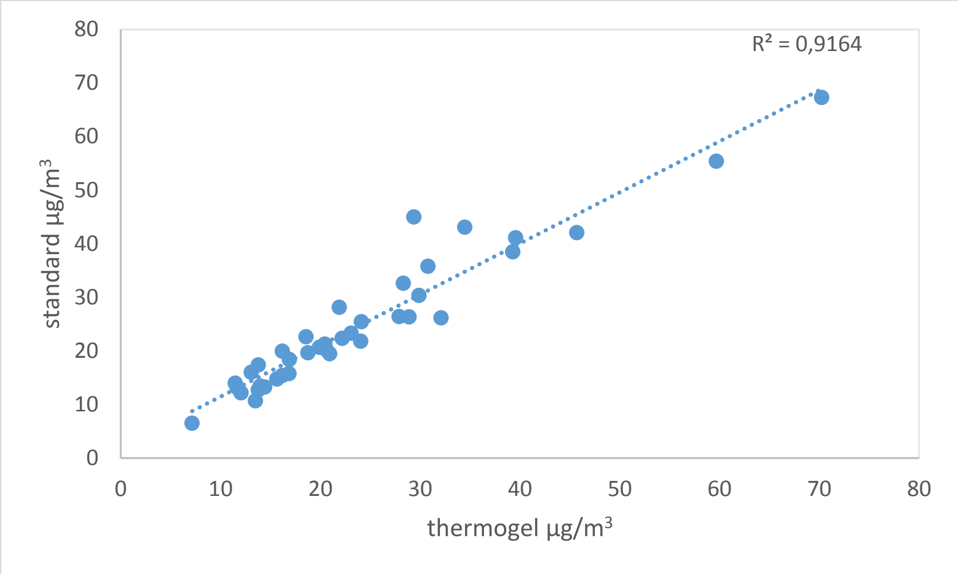
Όμως η σύνθετη γραφική απεικόνιση του λόγου των συγκεντρώσεων με τη σχετική υγρασία και με την ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα (Διάγραμμα 8), δείχνει ότι δεν υπάρχει κάποια σχέση, ούτε ξεκάθαρη τάση μεταξύ των τιμών.



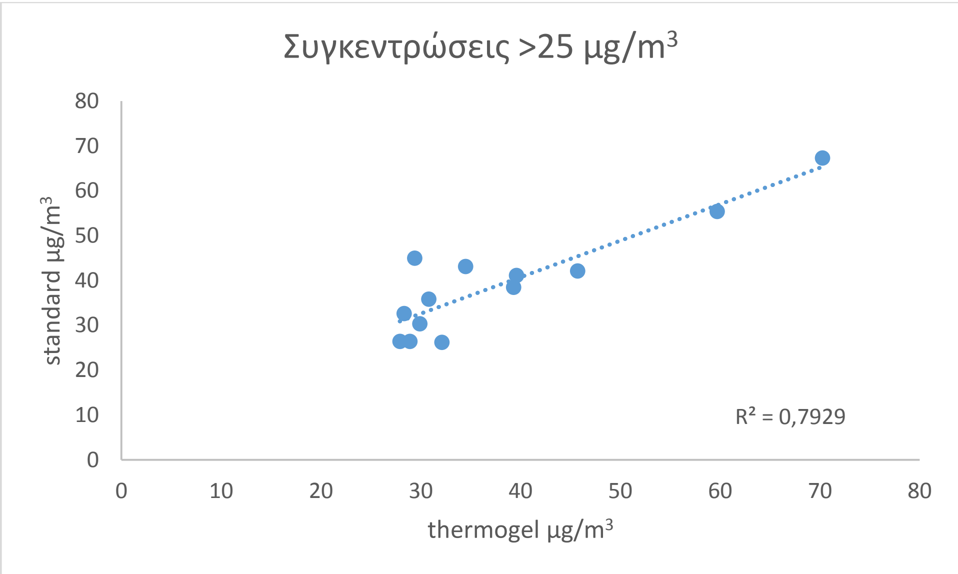
Διάγραμμα 8 : Συσχέτιση του λόγου (ratio std/thrg) με τη σχετική υγρασία (RH) και με την ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα (e) (χωρίς την ακραία τιμή με σκόνη από τη Σαχάρα στις 23/3/16)



Διάγραμμα 9 : Η μεταβολή των συγκεντρώσεων του Thermogel και του Standard (χωρίς τις τιμές για 23/3/16)



Διάγραμμα 10 : Συσχέτιση των τιμών του Thermogel και του Standard (χωρίς την τιμή για 23/3/16)



Διάγραμμα 11 : Απεικόνιση της συσχέτισης για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 25 μg/m^3

Στο διάγραμμα 9 φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων δεν αποκλίνουν ιδιαίτερα μεταξύ τους. Επίσης, παρατηρείται παρόμοια διακύμανση και η συσχέτιση τους (Διάγραμμα 10) είναι πολύ καλή ($R^2 \approx 0.91$).

Όπως και στις χειμερινές μετρήσεις, έτσι κι εδώ φαίνεται να υπάρχει εμφανώς μεγαλύτερη διασπορά κατά τις ημέρες όπου η συγκέντρωση ξεπερνά τα 25 μg/m^3 (15 ημέρες). Στο διάγραμμα 11 βλέπουμε ότι υπάρχει εξασθένηση της συσχέτισης για τις συγκεντρώσεις ≥25 μg/m^3 , η οποία όμως είναι σχετικά μικρή ($R^2 = 0.79$, από 0.91). Ανατρέχοντας στον Πίνακα 8, όπου μπορούμε να δούμε αναλυτικά τις τιμές των συγκεντρώσεων για τις συγκεκριμένες ημέρες, παρατηρούμε ότι, σε αντίθεση με το χειμώνα, οι τιμές του Standard είναι μεγαλύτερες από του Thermogel μόνο στις μισές ημέρες περίπου (στις 8 από τις 15 ημέρες). Αυτή η αναλογία δε μας επιτρέπει να υιοθετήσουμε την ίδια υπόθεση (όπως με τις χειμερινές τιμές), δηλαδή ότι το φαινόμενο της αναπήδησης επιδρά εντονότερα στην κεφαλή του Standard όταν έχουμε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων.

Οι αρκετές υψηλές συγκεντρώσεις που παρατηρούνται κατά τις εαρινές μετρήσεις, οφείλονται σε μεγάλο ποσοστό στην αφρικανική σκόνη που υπήρχε στην ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε ότι σχεδόν όλες οι ημέρες που μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις, συμπίπτουν με την έλευση της σκόνης από τη Σαχάρα (Sahara dust) (Πίνακας 8). Ιδιαίτερα στις 23/3/16 η συγκέντρωση της σκόνης από τη Σαχάρα ήταν τόσο υψηλή, που πιθανότατα οι δειγματολήπτες και τα φίλτρα δεν ήταν σε θέση να μας δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα λόγω υπερκορεσμού. Αυτός είναι ο βασικός λόγος που η συγκεκριμένη ημέρα δεν έχει συμπεριληφθεί στα περισσότερα διαγράμματα.

Γ.2.2 Περίοδος με σωματίδια γύρης στην ατμόσφαιρα

Κατά το χρονικό διάστημα των εαρινών μετρήσεων μεσολάβησε μια περίοδος περίπου 20 ημερών όπου υπήρχε έντονη παρουσία σωματιδίων γύρης στην ατμόσφαιρα.

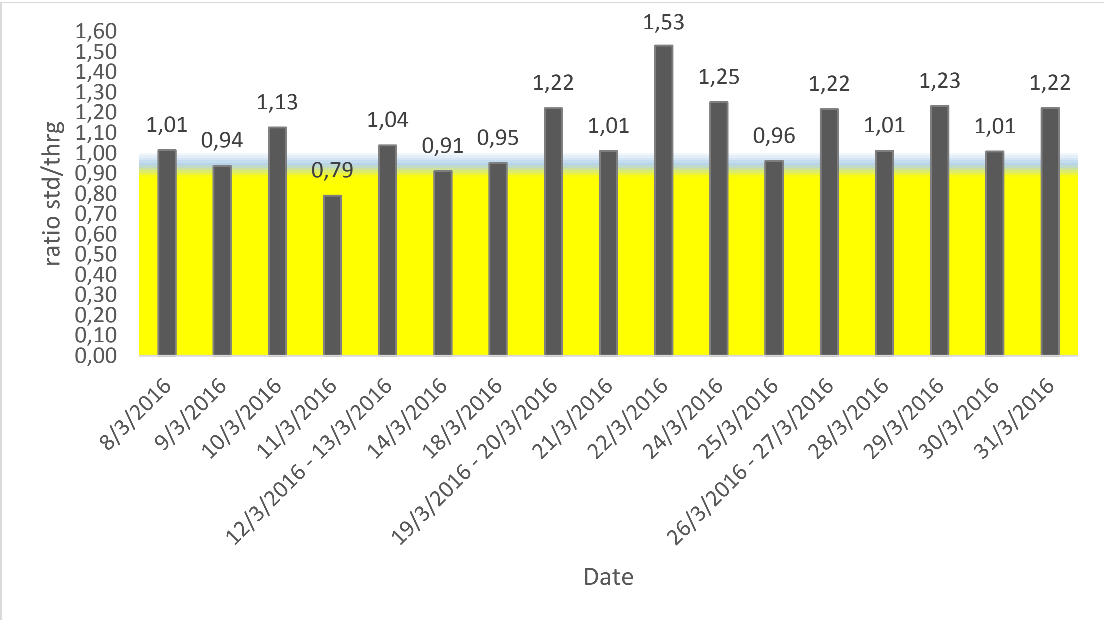
Λόγω της θέσης που βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του Ε.Κ.ΕΦ.Ε. Δημόκριτος (με έντονο το φυσικό στοιχείο) και ειδικότερα του σταθμού όπου έλαβαν χώρα οι δειγματοληψίες, ο ατμοσφαιρικός αέρας που εισερχόταν στους δειγματολήπτες περιείχε πληθώρα σωματιδίων γύρης. Αυτό δημιουργούσε ένα ιδανικό περιβάλλον για τη σύγκριση των δύο κεφαλών και γενικότερα για το στόχο του πειράματος, καθώς πρόκειται για σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου από 10 μm.

Στον πίνακα 9 περιέχονται οι τιμές των συγκεντρώσεων, ο λόγος τους (ratio std/thrg), η διαθέσιμη ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα (e) και η διαθέσιμη ποσότητα νερού για κάθε μονάδα μάζας (normalized e), για το χρονικό διάστημα όπου υπήρχε γύρη στην ατμόσφαιρα. Όπως φαίνεται στον πίνακα, οι συγκεντρώσεις για το Standard δειγματολήπτη κυμαίνονται από 7 μg/m^3 περίπου μέχρι 45 μg/m^3, ενώ για το Thermogel από 7 μέχρι 35 μg/m^3.

Date	(thermogel) C (μg/m3)	(standard) C (μg/m3)	ratio std/thrg	RH (%)	T o C	e	norm. e
8/3/2016	29.94	30.39	1.01	83.37	15.31	14.60	0.49
9/3/2016	16.83	15.74	0.94	86.81	13.96	13.92	0.83
10/3/2016	11.73	13.22	1.13	69.58	13.04	10.50	0.90
11/3/2016	13.55	10.71	0.79	63.40	14.15	10.30	0.76
12/3/2016 - 13/3/2016	19.78	20.54	1.04	80.22	14.15	13.03	0.66
14/3/2016	7.23	6.61	0.91	95.15	8.48	10.57	1.46
18/3/2016	16.10	15.25	0.95	79.43	10.08	9.84	0.61
19/3/2016 - 20/3/2016	18.65	22.76	1.22	62.54	13.89	9.98	0.54
21/3/2016	23.05	23.27	1.01	59.47	15.40	10.48	0.45
22/3/2016	29.27	44.81	1.53	56.02	17.67	11.43	0.39
(sahara) 23/3/2016	260.01	249.39	0.96	53.60	17.43	10.77	0.04
24/3/2016	34.67	43.35	1.25	63.97	16.10	11.80	0.34
25/3/2016	14.03	13.49	0.96	75.02	11.94	10.52	0.75
26/3/2016 - 27/3/2016	11.51	14.00	1.22	73.58	9.52	8.78	0.76
28/3/2016	12.09	12.21	1.01	71.51	10.56	9.14	0.76
29/3/2016	16.21	20.00	1.23	66.23	19.93	15.61	0.96
30/3/2016	22.23	22.46	1.01	70.96	19.90	16.68	0.75
31/3/2016	13.07	15.91	1.22	65.67	17.45	13.22	1.01

Πίνακας 9 : Πίνακας δεδομένων για την περίοδο της γύρης

Για την περίοδο της γύρης ελέγξαμε και συγκρίναμε τις συγκεντρώσεις για την κάθε ημέρα υπολογίζοντας το λόγο τους (ratio std/thrg) (Διάγραμμα 12).



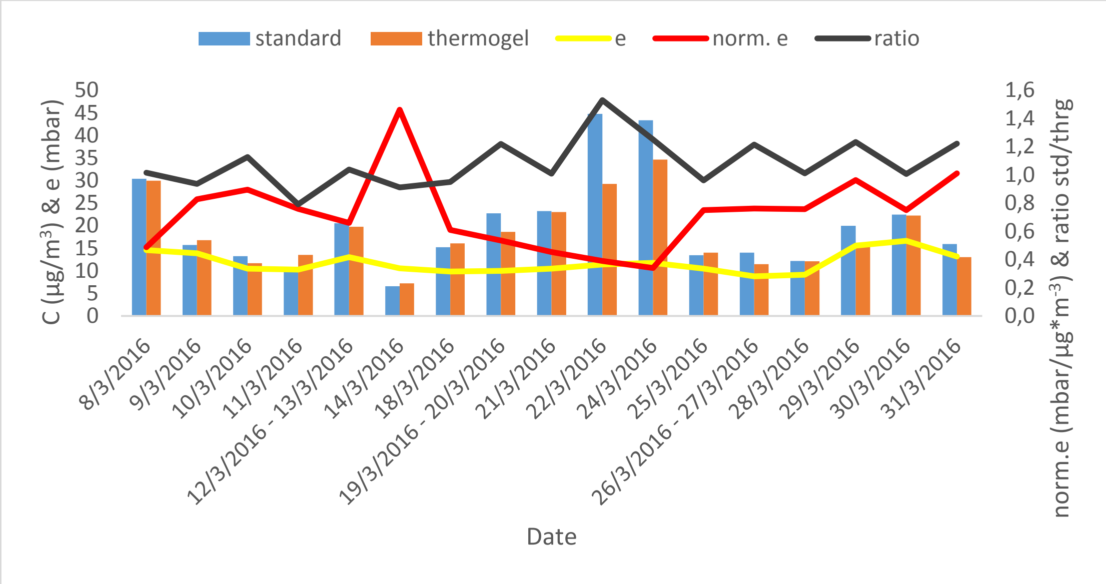
Διάγραμμα 12 : Απεικόνιση του λόγου των συγκεντρώσεων για την περίοδο της γύρης. Με κίτρινο χρώμα είναι η περιοχή όπου ο λόγος είναι μικρότερο από 0.95 και με γαλάζιο χρώμα είναι η περιοχή όπου ο λόγος είναι κοντά στη μονάδα (0.95-1)

Για τις πρώτες 10 ημέρες (8/3/16 – 18/3/16 και συνολικά 7 μετρήσεις) φαίνεται να μην έχει σταθερά υψηλότερη συγκέντρωση κάποιος από τους δύο δειγματολήπτες, με το λόγο να είναι κάποιες μέρες πάνω από 1, κάποιες κάτω από 1 και τις υπόλοιπες κοντά στη μονάδα. Από τις 19/3/16 και μέχρι το τέλος της περιόδου, παρατηρούμε ότι τις περισσότερες μέρες ο λόγος βρίσκεται σταθερά πάνω από το 1 (πάνω από τη γαλάζια περιοχή) και τις υπόλοιπες πολύ κοντά στη μονάδα (μέσα στη γαλάζια περιοχή ή ελάχιστα πάνω). Αυτό σημαίνει ότι μετά τις πρώτες 10 ημέρες, είτε οι δύο συγκεντρώσεις βρίσκονται στο ίδιο περίπου επίπεδο, είτε ότι η συγκέντρωση του δειγματολήπτη αναφοράς (Standard) είναι υψηλότερη από του Thermogel.

Παρά το σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, οι υψηλές συγκεντρώσεις μεγάλων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα κατά την περίοδο της γύρης μας έδωσαν τη δυνατότητα να ελέγξουμε με μεγαλύτερη αξιοπιστία τη λειτουργία της πειραματικής κεφαλής του Thermogel, και το αποτέλεσμα επιβεβαίωσε σε μεγάλο βαθμό την αρχική μας θεωρία.

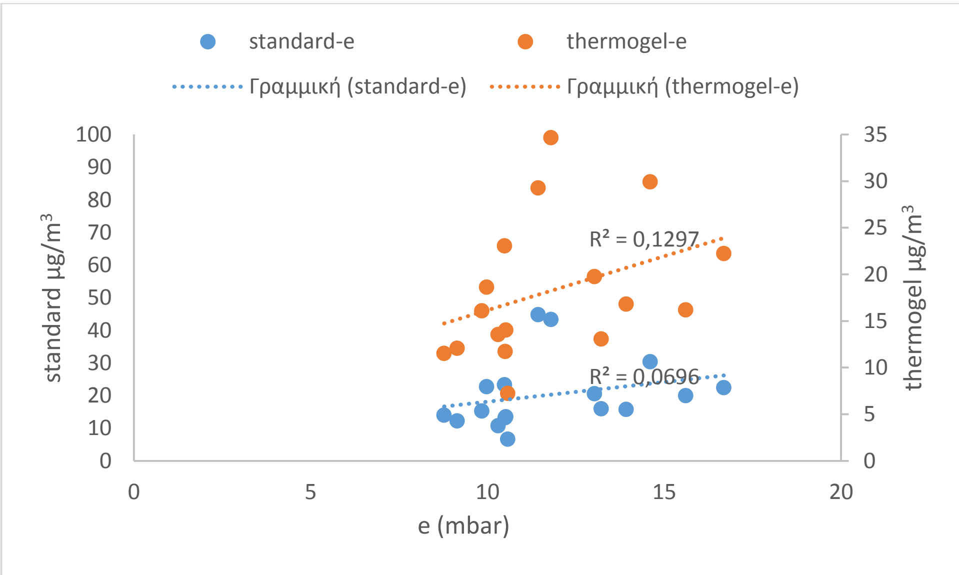
Με δεδομένο ότι η τυπική κεφαλή του Standard καθαρίστηκε και λιπάνθηκε στην αρχή των μετρήσεων (8/3/16), μπορούμε να υποθέσουμε ότι, παρά την υψηλή συγκέντρωση σωματιδίων λόγω γύρης, ήταν σε θέση να λειτουργεί για τις πρώτες 7 με 10 μέρες, αποτρέποντας την αναπήδηση. Με την πάροδο των ημερών όμως και κυρίως λόγω του κορεσμού της βάσης πρόσκρουσης με σωματίδια, πολλά μεγάλα σωματίδια γύρης (από 10 μ.m. και πάνω) αναπηδούσαν επάνω στη βάση πρόσκρουσης καταλήγοντας στο φίλτρο. Αυτό, πιθανότατα, οδήγησε στη σταθερά υψηλότερη συγκέντρωση που παρατηρείται στον Standard, στις τελευταίες 10 μετρήσεις (Διάγραμμα 12).

Στο διάγραμμα 13 μπορούμε, εκτός από το λόγο των συγκεντρώσεων, να παρατηρήσουμε και πως επηρεάζονται οι συγκεντρώσεις ανάλογα με τη μεταβολή της διαθέσιμης ποσότητας νερού στην ατμόσφαιρα (e) και της διαθέσιμης ποσότητα νερού για κάθε μονάδα (normalized e). Όταν η διαθέσιμη ποσότητα νερού ανά μονάδα βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο, βλέπουμε μια χαρακτηριστική αύξηση της συγκέντρωσης του Standard δειγματολήπτη έναντι του Thermogel. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα μεγαλύτερα από 10 μm σωματίδια δεν είναι αρκετά υγρά ώστε να κολλήσουν στην κορεσμένη βάση πρόσκρουσης της κεφαλής του Standard, και ως συνέπεια αναπηδούν και καταλήγουν στο φίλτρο.



Διάγραμμα 13 : Σύνθετη απεικόνιση των ομαδοποιημένων συγκεντρώσεων και της μεταβολής των ratio std/thrg, e και normalized e.

Στο διάγραμμα 14 παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των δύο δειγματοληπτών δεν επηρεάζονται άμεσα από τη διαθέσιμη ποσότητα νερού που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, με τη συγκέντρωση του Thermogel να έχει μια σχετικά αυξητική τάση και μια λιγότερο ασθενή συσχέτιση από τη συγκέντρωση του Standard (R^2=0.1297 και R^2=0.0696 αντίστοιχα).



Διάγραμμα 14 : Συσχέτιση μεταξύ του e (mbar) και των δύο συγκεντρώσεων

Γ.3 Η ΣΥΜΒΟΛΉ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΊΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΜΌΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΆΤΩΝ

Με σκοπό την καλύτερη και πληρέστερη αξιολόγηση της πιθανής συγκράτησης ή απώλειας νερού (ή και άλλων ουσιών) από τα σωματίδια, έγιναν περεταίρω αναλύσεις των παραμέτρων που συμβάλουν σε αυτό το γεγονός.

Όπως έχει φανεί από τις μέχρι τώρα αναλύσεις, η θερμοκρασία ή η σχετική υγρασία δε μπορούν από μόνες τους να εξηγήσουν τη διαφορά μεταξύ των μετρήσεων των δύο δειγματοληπτών.

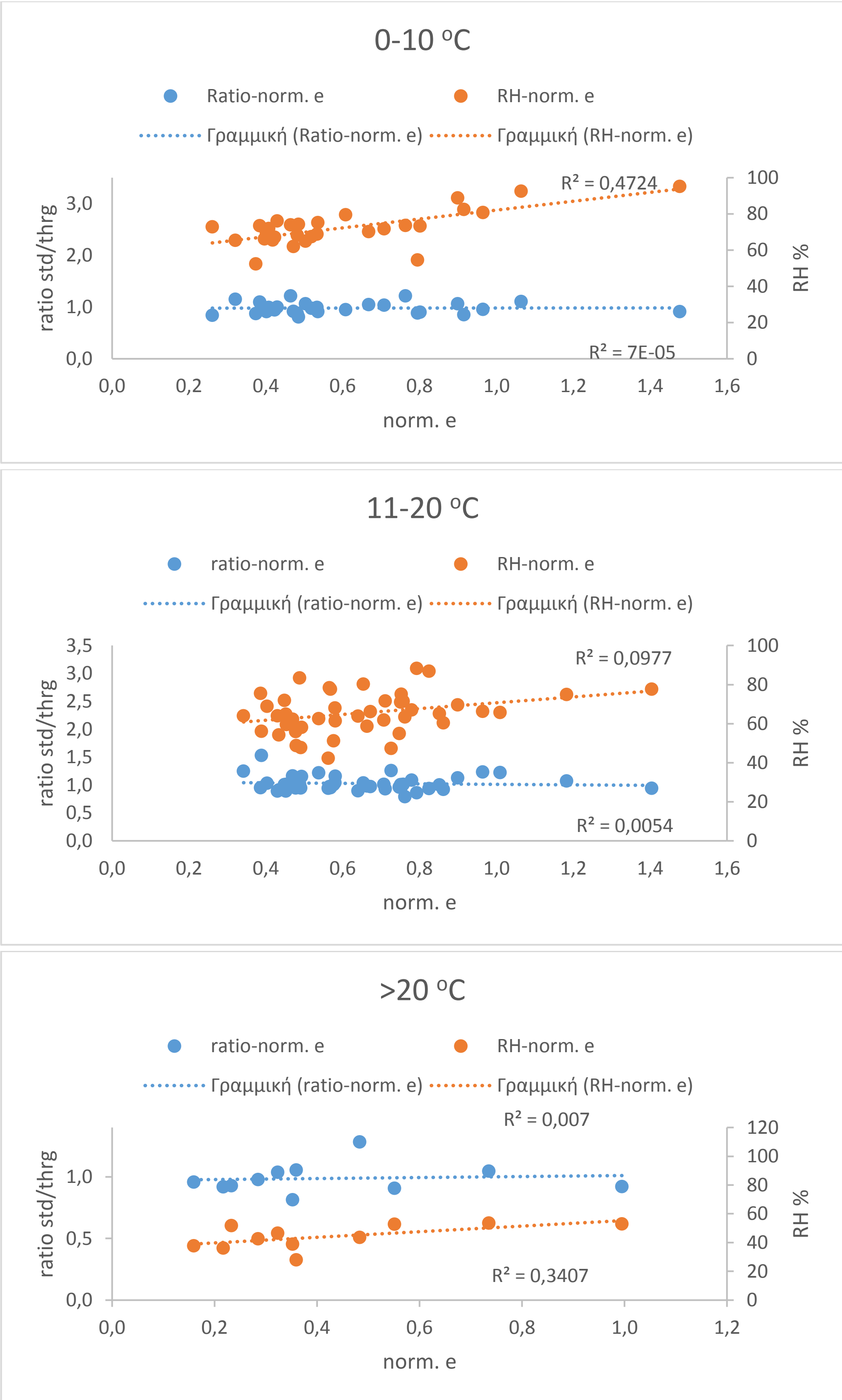
Σύμφωνα με τις βασικές θερμοδυναμικές εκτιμήσεις, η θερμοκρασία αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο για πτητικές και ημι-πτητικές ουσίες (Dassios and Pandis, 1999). Γι' αυτό το λόγο χωρίσαμε το σύνολο των μετρήσεων (Δεκέμβρη, Ιανουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο) σε τρία εύρη θερμοκρασιών : 0-10 ^oC, 11-20 ^oC και πάνω από 20 ^oC, ελπίζοντας να αντλήσουμε χρήσιμες πληροφορίες για τη μεταβολή του λόγου των συγκεντρώσεων συναρτήσει της σχετική υγρασίας (RH) και του διαθέσιμου υγρού που δύναται να αλληλεπιδράσει με κάθε μονάδα συγκέντρωσης (normalized e).

Στον Πίνακα 10 φαίνονται αναλυτικά οι θερμοκρασίες με αύξουσα σειρά και οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων που μας ενδιαφέρουν, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η ημέρα με την υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση σκόνης από την Αφρική (23/3/16). Παρατηρούμε ότι από το σύνολο των συγκεντρώσεων, η πλειοψηφία βρίσκεται στο εύρος 11-20 ^oC. Με θερμοκρασίες πάνω από 20 ^oC, διαθέτουμε το μικρότερο πλήθος τιμών καθώς δεν έγιναν πειράματα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Tatm (°C)	(thermogel) (μg/m3)	(standard) (μg/m3)	ratio (std/thrg)	RH (%)	e (mbar)	normalized e
2.26	12.00	11.86	0.99	66.20	4.76	0.40
2.61	9.50	10.12	1.07	64.91	4.79	0.50
3.63	22.14	18.61	0.84	72.84	5.78	0.26
4.19	11.66	10.16	0.87	68.18	5.62	0.48
4.53	14.91	14.81	0.99	71.93	6.08	0.41
4.72	8.68	8.99	1.04	71.76	6.14	0.71
5.84	8.05	8.91	1.11	92.55	8.57	1.06
6.20	16.42	14.96	0.91	69.52	6.60	0.40
6.96	8.37	8.00	0.96	80.78	8.08	0.97
7.03	15.96	15.05	0.94	67.18	6.75	0.42
7.51	16.31	15.58	0.96	65.57	6.81	0.42
7.82	13.79	13.50	0.98	67.43	7.16	0.52
7.86	14.93	13.64	0.91	75.14	8.00	0.54
7.91	9.63	8.20	0.85	82.50	8.81	0.92
8.02	19.07	19.08	1.00	76.10	8.19	0.43
8.47	11.68	12.25	1.05	70.27	7.80	0.67
8.48	7.16	6.52	0.91	95.15	10.57	1.48
8.60	10.24	9.24	0.90	73.37	8.21	0.80
8.77	14.62	14.56	1.00	68.82	7.80	0.53
8.81	11.21	11.91	1.06	88.71	10.08	0.90
9.05	23.54	27.10	1.15	65.41	7.55	0.32
9.36	18.03	14.65	0.81	74.17	8.75	0.49
9.52	11.49	13.98	1.22	73.58	8.78	0.76
9.76	16.97	14.84	0.87	52.42	6.35	0.37
9.99	23.54	25.80	1.10	73.48	9.04	0.38
10.08	16.19	15.39	0.95	79.43	9.84	0.61
10.17	16.39	15.07	0.92	62.07	7.73	0.47
10.31	8.62	7.63	0.88	54.50	6.86	0.79
10.43	20.15	24.52	1.22	73.88	9.37	0.46
10.56	12.07	12.21	1.01	71.51	9.14	0.76
10.93	9.64	9.28	0.96	54.97	7.21	0.75
11.04	18.04	17.15	0.95	77.63	10.26	0.57
11.04	19.64	17.48	0.89	63.96	8.45	0.43
11.11	12.89	12.18	0.95	47.72	6.33	0.49
11.34	23.00	23.74	1.03	68.89	9.29	0.40
11.47	10.38	10.41	1.00	65.09	8.85	0.85
11.51	19.55	17.46	0.89	64.89	8.85	0.45
11.69	16.15	16.86	1.04	67.94	9.37	0.58
11.82	15.49	13.33	0.86	88.20	12.28	0.79
11.94	13.99	13.44	0.96	75.02	10.52	0.75
11.98	12.48	12.55	1.01	51.18	7.20	0.58
12.03	14.93	17.26	1.16	61.45	8.67	0.58
12.52	14.34	13.95	0.97	66.13	9.64	0.67
12.89	29.18	27.75	0.95	75.52	11.29	0.39
13.04	11.68	13.15	1.13	69.58	10.50	0.90
13.19	9.66	10.36	1.07	74.95	11.42	1.18
13.89	18.56	22.66	1.22	62.54	9.98	0.54
13.96	16.87	15.80	0.94	86.81	13.92	0.83
14.11	14.16	14.32	1.01	61.81	10.01	0.71
14.15	19.92	20.68	1.04	80.22	13.03	0.65
14.15	13.51	10.68	0.79	63.40	10.30	0.76
15.26	24.19	23.51	0.97	78.36	13.68	0.57
15.31	29.91	30.35	1.01	83.37	14.60	0.49
15.32	28.10	28.28	1.01	71.93	12.61	0.45
15.40	23.09	23.31	1.01	59.47	10.48	0.45
15.71	17.92	16.08	0.90	63.77	11.47	0.64
16.10	34.48	43.11	1.25	63.97	11.80	0.34
16.35	10.37	9.78	0.94	77.67	14.56	1.40
17.10	16.91	18.43	1.09	66.99	13.18	0.78
17.44	20.45	21.29	1.04	48.74	9.80	0.48
17.45	13.08	15.99	1.22	65.67	13.22	1.01
17.67	29.40	44.99	1.53	56.02	11.43	0.39
17.80	14.42	13.28	0.92	60.45	12.44	0.86
17.97	20.96	19.51	0.93	71.62	14.90	0.71
17.99	15.64	14.76	0.94	42.26	8.80	0.56
18.27	13.80	17.40	1.26	47.29	10.03	0.73
19.65	28.91	26.38	0.91	54.18	12.54	0.43
19.70	30.79	35.83	1.16	62.30	14.46	0.47
19.78	20.62	20.23	0.98	58.61	13.68	0.66
19.90	22.20	22.37	1.01	70.96	16.68	0.75
19.93	16.19	19.95	1.23	66.23	15.61	0.96
20.13	27.91	26.41	0.95	55.88	13.33	0.48
20.23	28.31	32.63	1.15	58.14	13.96	0.49
20.37	21.91	28.15	1.28	43.70	10.59	0.48
20.94	24.05	21.82	0.91	52.83	13.26	0.55
21.31	18.75	19.65	1.05	53.67	13.79	0.74
21.41	13.79	12.72	0.92	53.07	13.72	0.99
21.59	39.29	38.47	0.98	42.79	11.19	0.28
21.97	59.70	55.40	0.93	51.98	13.91	0.23
22.35	45.70	42.08	0.92	36.20	9.92	0.22
22.37	39.59	41.10	1.04	46.62	12.80	0.32
23.27	32.10	26.18	0.82	39.00	11.32	0.35
23.55	70.24	67.29	0.96	37.93	11.20	0.16
24.28	24.12	25.49	1.06	28.07	8.67	0.36

Πίνακας 10 : Οι θερμοκρασίες κάθε ημέρας μέτρησης σε αύξουσα σειρά και οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων (C, ratio std/thrg, RH, e, normalized e)

Στο διάγραμμα 15 φαίνεται η σχέση του διαθέσιμου νερού ανά μονάδα συγκέντρωσης με το λόγο των συγκεντρώσεων και με τη σχετική υγρασία αντίστοιχα, για τα τρία εύρη θερμοκρασιών.



Διάγραμμα 15 : Συσχέτιση μεταξύ του normalized e και του λόγου ratio (std/thrg) (μπλε κουκίδες), ή της σχετικής υγρασίας (RH) (καφέ κουκίδες)

Για τη σχετική υγρασία παρατηρείται θετική γραμμική τάση και για τα τρία εύρη, με το συντελεστή συσχέτισης να είναι ισχυρότερος στις χαμηλές (<10 °C) και τις υψηλές θερμοκρασίες (>20 °C), με το R^2 να ισούται με 0.47 και 0.35 αντίστοιχα.

Από την άλλη πλευρά, ο λόγος των συγκεντρώσεων φαίνεται να επηρεάζεται ελάχιστα ή καθόλου από την ποσότητα νερού (norm. e) και στα τρία εύρη θερμοκρασιών.

Γ.4 Η ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΩΝ

Στο δεύτερο σκέλος του πειράματος, έχοντας αναλύσει και συγκρίνει εκτενώς τα αποτελέσματα και τη λειτουργία των δύο δειγματοληπτών, επιχειρήσαμε να υπολογίσουμε την τυπική απόκλιση που έχουν, μεταξύ τους, τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν από τους Thermogel και Standard.

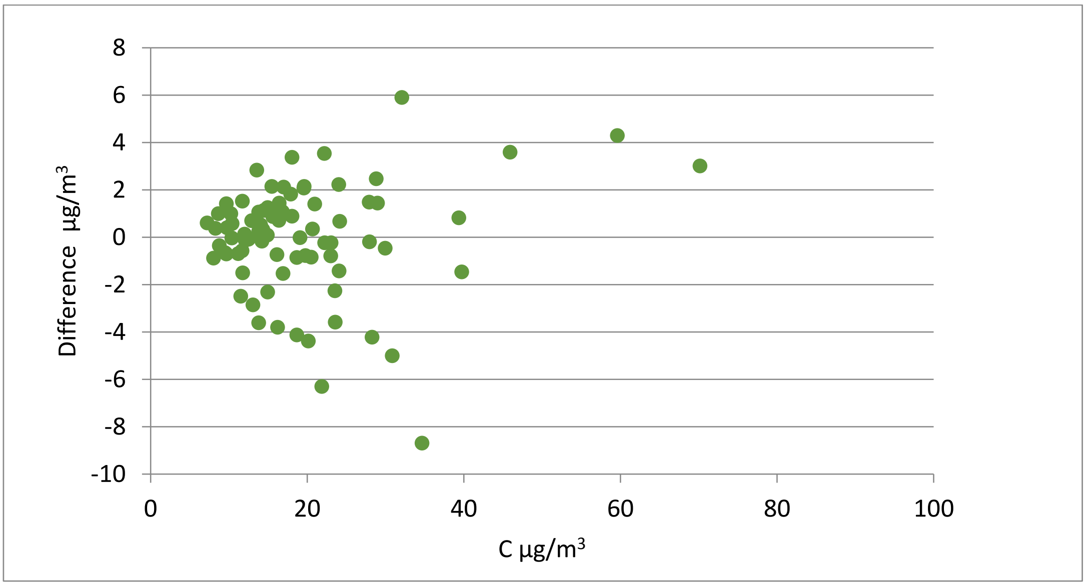
Υπολογίσαμε τη διαφορά των συγκεντρώσεων για κάθε ημέρα αφαιρώντας τη συγκέντρωση του Standard από του Thermogel και βρήκαμε την τυπική τους απόκλιση (Standard Deviation), η οποία ήταν περίπου ±2.3 μg/m^3 για το σύνολο των τιμών και ±2.7μg/m^3 για τις μέρες με γύρη (Πίνακας 11).

Date	(thermogel) (μg/m3)	(standard) (μg/m3)	Difference μg/m^3 (thrg-std)
7/12/2015	20.12	24.49	-4.37
8/12/2015	14.93	17.24	-2.31
9/12/2015	16.13	16.86	-0.73
10/12/2015	18.04	17.15	0.89
11/12/2015	11.19	11.88	-0.68
12/12/15 - 13/12/15	13.77	13.50	0.27
14/12/2015	23.57	27.14	-3.57
15/12/2015	23.54	25.80	-2.26
16/12/2015	18.03	14.65	3.39
17/12/2015	10.24	9.24	1.00
18/12/2015	11.68	12.25	-0.56
19/12/15 - 20/12/15	16.38	15.66	0.72
21/12/2015	14.60	14.51	0.09
22/12/2015	16.97	14.84	2.13
23/12/2015	12.48	12.55	-0.07
24/12/2015	12.89	12.18	0.71
25/12/2015	23.00	23.77	-0.77
26/12/15 - 27/12/15	19.55	17.46	2.09
28/12/2015	16.37	15.01	1.36
29/12/2015	19.61	17.45	2.16
30/12/2015	14.95	13.68	1.27
31/12/2015	12.00	11.86	0.14
1/1/2016	9.50	10.15	-0.65
2/1/16 - 3/1/16	8.28	7.90	0.38
4/1/2016	9.64	10.35	-0.70
5/1/2016	10.39	9.81	0.59
6/1/2016	27.94	28.12	-0.18
7/1/2016	14.32	13.98	0.33
8/1/2016	9.76	9.35	0.41
9/1/2016 - 10/1/16	15.49	13.33	2.16
11/1/2016	24.16	23.48	0.68
12/1/2016	17.89	16.06	1.83
13/1/2016	14.18	14.34	-0.16

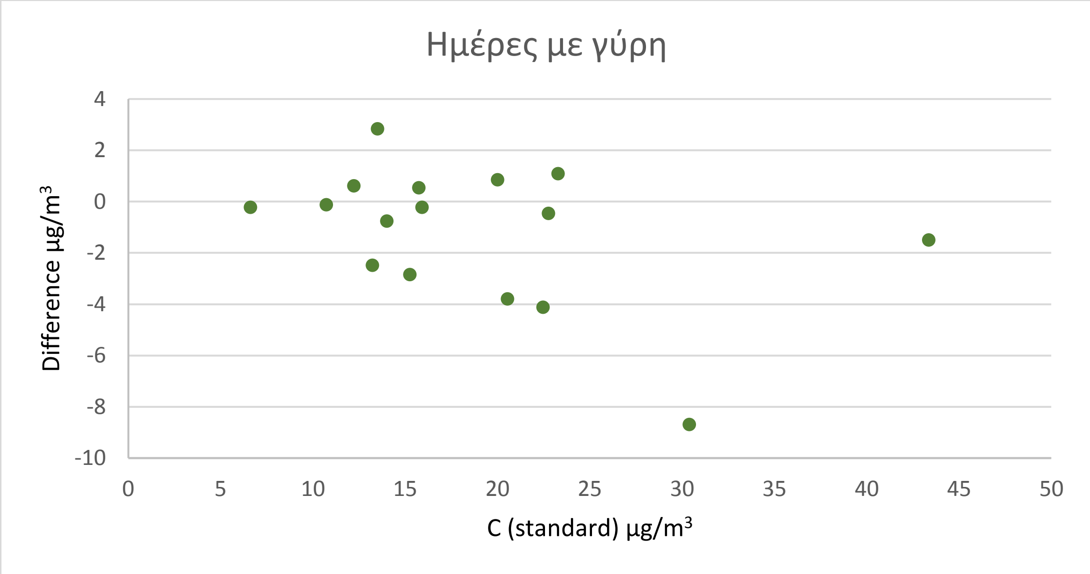
14/1/2016	8.65	7.65	1.00
15/1/2016	10.34	10.37	-0.03
16/1/2016 - 17/1/16	28.97	27.53	1.45
18/1/2016	8.75	9.11	-0.35
19/1/2016	11.70	10.17	1.53
20/1/2016	8.03	8.90	-0.87
21/1/2016	9.65	8.22	1.43
22/1/2016	16.00	15.07	0.93
23/1/2016 - 24/1/16	22.17	18.63	3.54
25/1/2016	14.91	14.81	0.09
26/1/2016	16.42	14.96	1.46
27/1/2016	19.07	19.08	-0.01
8/3/2016	29.94	30.39	-0.46
9/3/2016	16.83	15.74	1.09
10/3/2016	11.73	13.22	-1.49
11/3/2016	13.55	10.71	2.84
12/3/16 - 13/3/16	19.78	20.54	-0.76
14/3/2016	7.23	6.61	0.62
18/3/2016	16.10	15.25	0.86
19/3/16 - 20/3/16	18.65	22.76	-4.12
21/3/2016	23.05	23.27	-0.22
22/3/2016	29.27	44.81	-15.54
(sahara) 23/3/2016	260.01	249.39	10.62
24/3/2016	34.67	43.35	-8.68
25/3/2016	14.03	13.49	0.54
26/3/16 - 27/3/16	11.51	14.00	-2.49
28/3/2016	12.09	12.21	-0.12
29/3/2016	16.21	20.00	-3.80
30/3/2016	22.23	22.46	-0.23
31/3/2016	13.07	15.91	-2.85
1/4/2016	20.94	19.53	1.41
2/4/16 - 3/4/16	16.91	18.43	-1.52
4/4/2016	28.82	26.35	2.47
5/4/2016	28.27	32.48	-4.21
6/4/2016	27.91	26.41	1.50
7/4/2016	21.86	28.14	-6.29
8/4/2016	59.61	55.31	4.30
9/4/16 - 10/4/16	30.84	35.83	-4.99
11/4/2016	14.46	13.31	1.15
12/4/2016	20.65	20.29	0.36
13/4/2016	24.02	21.79	2.23
14/4/2016	70.14	67.12	3.01
15/4/2016	45.91	42.31	3.60
16/4/16 - 17/4/16	39.35	38.51	0.83
18/4/2016	32.06	26.15	5.91
19/4/2016	24.04	25.45	-1.41
20/4/2016	39.71	41.16	-1.46
21/4/2016	20.51	21.34	-0.84
22/4/2016	15.58	14.70	0.88
23/4/16 - 24/4/16	18.65	19.49	-0.84
25/4/2016	13.79	12.72	1.08
26/4/2016	13.80	17.40	-3.60
			St. D. = 2.3

Πίνακας 11 : Πίνακας τιμών των συγκεντρώσεων (thermogel και standard), των διαφορών τους (Difference) για το σύνολο των μετρήσεων. Με χρώμα ξεχωρίζουν οι ημερομηνίες με παρουσία γύρης (κίτρινο) και αφρικανικής σκόνης (καφέ). Στο κάτω μέρος του πίνακα, με κίτρινο χρώμα, απεικονίζεται η τυπική απόκλιση των διαφορών (St.D.).

Έπειτα, δημιουργήσαμε ένα διάγραμμα διασποράς με τις διαφορές αυτές και τις τιμές των συγκεντρώσεων του Standard. Στο διάγραμμα 16 φαίνεται το σύνολο των μετρήσεων, ενώ στο διάγραμμα 17 απεικονίζονται μόνο οι ημέρες με παρουσία γύρης στην ατμόσφαιρα. Σκοπός των απεικονίσεων αυτών ήταν να παρατηρήσουμε το πλήθος των τιμών που βρίσκονται εκτός του εύρους της τυπικής απόκλισης και πιο συγκεκριμένα, σε πόσες από αυτές υπερτερεί η συγκέντρωση του Standard έναντι του Thermogel.



Διάγραμμα 16 : Διάγραμμα διασποράς του συνόλου των τιμών του Standard (C μg/m^3) με τις αντίστοιχες τιμές των διαφορών (Difference). Στα δεδομένα δεν περιλαμβάνονται οι τιμές στις 22/3/16 (λόγω πολύ μεγάλης διαφοράς των συγκεντρώσεων, η οποία δεν δικαιολογείται) και στις 23/3/16 (λόγω υπερβολικά μεγάλης συγκέντρωσης σκόνης από τη Σαχάρα στην ατμόσφαιρα).



Διάγραμμα 17 : Διάγραμμα διασποράς των τιμών του Standard με τις αντίστοιχες τιμές των διαφορών (Difference), κατά την περίοδο της γύρης. Δεν περιλαμβάνονται οι τιμές στις 22/3/16 (αφύσικα μεγάλη διαφορά) και στις 23/3/16 (υπερβολικά μεγάλη συγκέντρωση σκόνης).

Με δεδομένο ότι η τυπική απόκλιση (χωρίς τις δύο τιμές που δε συμπεριλήφθηκαν) βρέθηκε περίπου ± 2.3 μg/m^3 για το σύνολο των τιμών και ± 2.7 μg/m^3 για τις ημέρες με γύρη, παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των διαφορών και στα δύο διαγράμματα βρίσκεται εντός του πλαισίου.

Όσον αφορά τις τιμές που βρίσκονται εκτός των τυπικών αποκλίσεων, παρατηρούμε ότι, και στα δύο διαγράμματα, τα περισσότερα σημεία παρουσιάζουν αρνητική διαφορά, γεγονός που σημαίνει ότι στην πλειοψηφία των συγκεκριμένων ημερών, η συγκέντρωση του Standard είναι μεγαλύτερη από αυτή του Thermogel.

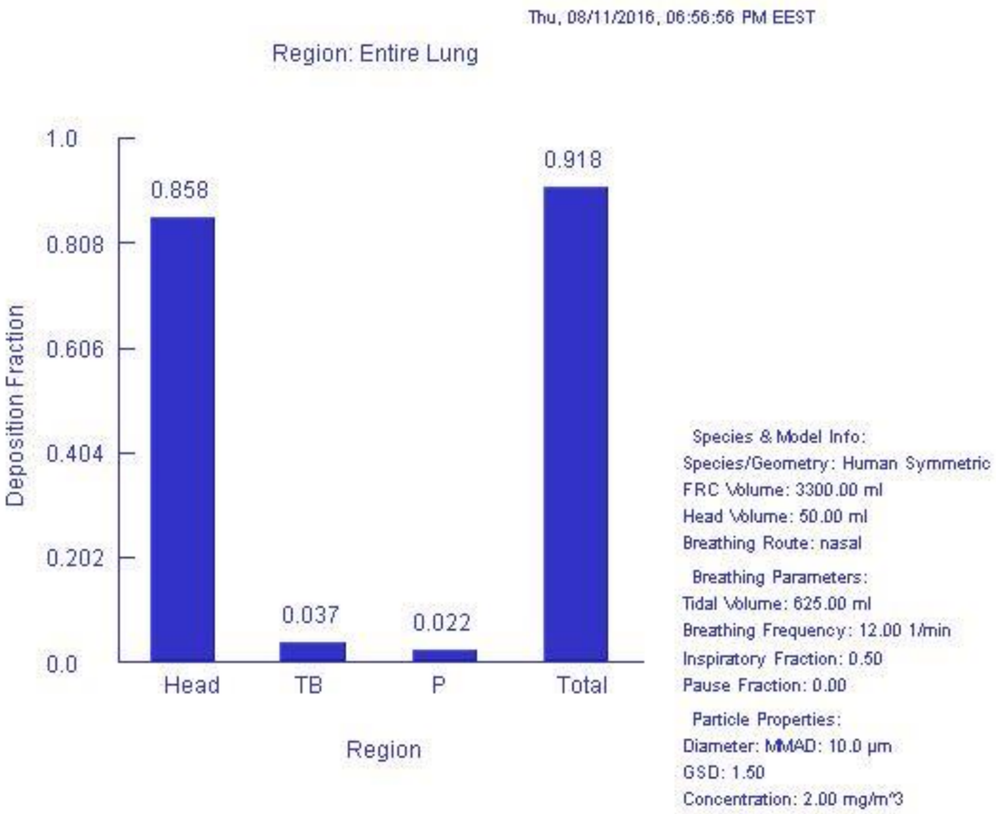
Στο διάγραμμα 16 μπορούμε να ισχυριστούμε ότι υπάρχει ένδειξη καλύτερης και πιο σωστής λειτουργίας της πειραματικής κεφαλής από την τυπική, χωρίς όμως τα αποτελέσματα να μας δίνουν μια ισχυρή επιβεβαίωση (λόγω του ότι υπάρχουν και αρκετά σημεία που υπερτερεί η συγκέντρωση του Thermogel).

Στο διάγραμμα 17 το αποτέλεσμα είναι πιο ξεκάθαρο, καθώς από το σύνολο των 16 σημείων, τα 5 βρίσκονται εκτός του εύρους της τυπικής απόκλισης και από αυτά, τα 4 έχουν αρνητική διαφορά (δηλαδή η συγκέντρωση του Standard είναι υψηλότερη). Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί στο 25% του δείγματος. Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που αναφέραμε παραπάνω (υποκεφάλαιο για την περίοδο της γύρης), μας επιτρέπει να ισχυριστούμε με μεγαλύτερη βεβαιότητα ότι κατά την περίοδο της γύρης εισχωρούσαν από την κεφαλή του Standard σωματίδια μεγαλύτερα από 10 μm , πιθανότατα λόγω του φαινομένου της αναπήδησης.

Γ.5 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ 10μm ΣΤΟ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Σαν τελευταίο βήμα της ανάλυσης, επιχειρήσαμε να ελέγξουμε σε τι ποσοστό μπορεί να επηρεάζει η τυπική απόκλιση, που υπολογίσαμε, την εναπόθεση και την κατανομή στο ανθρώπινο αναπνευστικό. Για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα MPPD.

Στο διάγραμμα 18 απεικονίζονται τα αποτελέσματα που μας έδωσε το MPPD για συγκέντρωση $ΑΣ_{10}$ ίση με 2 μg/m^3 και γεωμετρική τυπική απόκλιση (GSD) 1.5. Η συγκεκριμένη γεωμετρική τυπική απόκλιση μας εξασφαλίζει ότι ο υπολογισμός που έγινε αφορά σωματίδια με ένα εύρος γύρω από τα 10 μm, έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι ορθότερο περιέχοντας τις αποκλίσεις που σίγουρα υπάρχουν σε μία δειγματοληψία, καθώς είναι σίγουρο ότι δε θα πρόκειται για σωματίδια με διάμετρο ακριβώς 10 μm.



Διάγραμμα 18 : Εναπόθεση των σωματιδίων $ΑΣ_{10}$ για τυπική απόκλιση 2 μg/m^3. Ο γεωμετρική τυπική απόκλιση είναι 1.5 και οι υπόλοιπες παράμετροι αντιστοιχούν στο ρυθμό αναπνοής του ανθρώπου όταν είναι σε ηρεμία.

Το αποτέλεσμα αφορά ενήλικες με κανονικό ρυθμό αναπνοής (δηλαδή είναι σε ηρεμία) και δείχνει ότι το 92% περίπου της συγκέντρωσης των σωματιδίων της τυπικής απόκλισης, θα εισέλθουν στο αναπνευστικό σύστημα.

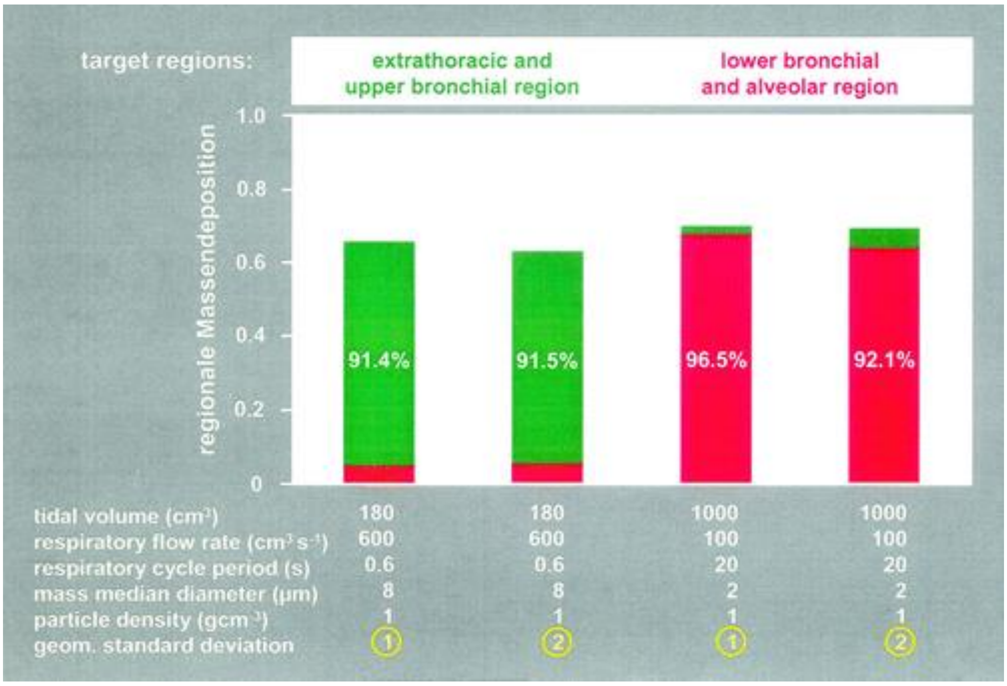
Από αυτό το 92% που θα εισέλθει, το 86% θα εναποτεθεί στο ανώτερο αναπνευστικό, το 4% θα φτάσει στο τραχειοβρογχικό σύστημα και μόλις το 2% θα καταλήξει στο κατώτερο αναπνευστικό και τις κυψελίδες.

Από τα αποτελέσματα αυτά μπορούμε να υπολογίσουμε και την κατανομή της συνολικής ποσότητας σωματιδίων που θα φτάσουν στον πνεύμονα. Το 93.5 % περίπου θα μείνει στο ανώτερο αναπνευστικό ενώ μόλις το 6.5 % θα καταλήξει βαθύτερα.

Γνωρίζοντας ότι τα σοβαρότερα προβλήματα στο αναπνευστικό προκαλούνται όταν τα σωματίδια εισχωρούν στην τραχεία ή βαθύτερα, το συγκεκριμένο ποσοστό (6 % βαθύτερα από το ανώτερο αναπνευστικό) δε μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα σημαντικό ή ανησυχητικό. Αυτό οφείλεται, εκτός από το μικρό ποσοστό, και στην ποσότητα της συγκέντρωσης που μπορεί να αποκλίνει, όπου είναι σχετικά μικρή (2 μg/m^3).

Ο Joachim Heyder (2004) μελέτησε την εναπόθεση των σωματιδίων που εισέρχονται στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η μελέτη αφορούσε, εκτός από σωματίδια της ατμόσφαιρας, και σωματίδια που εισπνέουν οι άνθρωποι για την καταπολέμηση ασθενειών του αναπνευστικού.

Στο διάγραμμα 19 σύμπτυξε τις περιοχές του αναπνευστικού σε 2 ομάδες (άνω βρογχική – εξωθωρακική περιοχή και κάτω βρογχική περιοχή – κυψελίδες). Για τα μεγάλα σωματίδια μεγέθους 8 μm και με την πυκνότητα του πλήθους τους να είναι 1 μg/m^3, η εναπόθεση γίνεται στην άνω βρογχική και στην εξωθωρακική περιοχή, σε ποσοστό 91.5 % περίπου. Μάλιστα, το ποσοστό εναπόθεσης παραμένει σχεδόν το ίδιο ακόμα και όταν αυξάνεται το εύρος μεγέθους γύρω από τα 8 μm, με το διπλασιασμό της γεωμετρικής τυπικής απόκλισης (GSD).



Διάγραμμα 19 : Εναπόθεση σωματιδίων 8 και 2 μm, σε δύο ομάδες περιοχών του πνεύμονα

Δ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν βασική πηγή προβλημάτων για την ανθρώπινη υγεία, δημιουργώντας πολλά και σοβαρά προβλήματα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

Η δειγματοληψία και οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται, είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης τους στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια την εκτίμηση του πιθανού κινδύνου που προκύπτει για τον άνθρωπο. Η σωστή και επαρκής εκτίμηση του κινδύνου μπορεί, με τη σειρά της, να οδηγήσει στις απαραίτητες ενέργειες πρόληψης.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία προσπαθήσαμε, κατ' αρχήν, να αποδείξουμε τη σημασία της σωστής συντήρησης και λειτουργίας της κεφαλής, τόσο για το διαχωρισμό των σωματιδίων, όσο και για την ορθότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Συγκρίνοντας δύο διαφορετικές τεχνικές διαχωρισμού των $ΑΣ_{10}$ στην κεφαλή, υπολογίσαμε παράλληλα και την τυπική απόκλιση που υπάρχει στις μεταξύ τους συγκεντρώσεις. Στο τέλος, γνωρίζοντας την τυπική αυτή απόκλιση, επιχειρήσαμε να ελέγξουμε σε τι βαθμό επηρεάζει τον υπολογισμό της εναπόθεσης και της κατανομής των σωματιδίων στον ανθρώπινο πνεύμονα.

Από το σύνολο της πειραματικής διαδικασίας που διενεργήθηκε, αντλήσαμε μερικά χρήσιμα και διδακτικά συμπεράσματα.

Δ.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΩΝ

Η σύγκριση των συγκεντρώσεων των δειγματοληπτών έδειξε μια ισχυρή συσχέτιση τόσο για τις χειμερινές, όσο και για τις εαρινές μετρήσεις. Το R^2 ήταν υψηλό και στις δύο περιπτώσεις (0.92 και 0.91 αντίστοιχα) (διαγράμματα 5 και 10). Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε αντίθεση με την αρχική μας υπόθεση ότι όσο περνούν οι μέρες και παραμένει χωρίς συντήρηση η κεφαλή του Standard, τόσο θα αυξάνεται η συγκέντρωση του σε σχέση με του Thermogel. Γι' αυτό το λόγο εξετάσαμε και ορισμένες παραμέτρους, όπως η διαθέσιμη ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα (e), που πιστεύαμε ότι μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Σε αντίθεση με τις εαρινές, στις χειμερινές μετρήσεις η διαθέσιμη ποσότητα νερού ανά μονάδα (normalized e) φάνηκε να έχει επηρεάσει ορισμένες από τις τιμές των συγκεντρώσεων (Διάγραμμα 1). Τις ημέρες όπου ο Standard παρουσίασε σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση από το Thermogel (7/12/15 – 8/12/15 – 14/12/15), το normalized e είχε χαμηλή τιμή (0.47, 0.58 και 0.32 αντίστοιχα), που σημαίνει ότι τα σωματίδια είναι πιθανό να μην είχαν απορροφήσει αρκετή ποσότητα νερού ώστε να αποτραπεί η αναπήδηση τους.

Στις 4/1/16 και 5/1/16 όπου το normalized e έχει τις υψηλότερες τιμές, οι συγκεντρώσεις δεν έχουν κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Αυτό είναι ένα μικρό δείγμα, που ενισχύει την υπόθεση μας ότι αρκετές ημέρες τα σωματίδια μπορεί να είχαν απορροφήσει ποσότητα νερού ικανή για να μη τους επιτρέψει να αναπηδήσουν κατά την πρόσκρουση.

Σε συγκεντρώσεις >20 μg/m^3 για τις χειμερινές και >25 μg/m^3 για τις εαρινές μετρήσεις παρατηρήσαμε ότι υπάρχει μεγαλύτερη διασπορά στις τιμές και η συσχέτιση είναι χαμηλότερη (σημαντικά χαμηλότερη στις χειμερινές μετρήσεις). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στις μεγάλες συγκεντρώσεις εισέρχονται και περισσότερα μεγάλα σωματίδια (πάνω από 10 μm). Σε αρκετές περιπτώσεις τα σωματίδια αυτά είναι πιθανόν να εισχωρούν από την κεφαλή του Standard, εξαιτίας του φαινομένου της αναπήδησης, και να καταλήγουν στο φίλτρο. Χαρακτηριστικό είναι επίσης ότι στην πλειοψηφία αυτών των ημερών οι τιμές συγκεντρώσεων του Standard υπερτερούν έναντι των αντίστοιχων του Thermogel, με την πλειοψηφία αυτή όμως να είναι οριακή.

Δ.1.1 Σύγκριση των συγκεντρώσεων κατά τις ημέρες με γύρη

Τα ασφαλέστερα και σημαντικότερα συμπεράσματα εξάχθηκαν κατά την ανάλυση των δεδομένων που πήραμε κατά την περίοδο της γύρης στην ατμόσφαιρα (8/3/16 με 31/3/16).

Για τις 10 πρώτες ημέρες της περιόδου αυτής, κανένας από τους δειγματολήπτες δεν παρουσίασε σταθερά μεγαλύτερη συγκέντρωση έναντι του άλλου. Τις τελευταίες 13 μέρες όμως, παρατηρήθηκε μία σταθερά μεγαλύτερη συγκέντρωση από τον Standard δειγματολήπτη (Διάγραμμα 12). Δεδομένου ότι τις πρώτες 10 ημέρες η κεφαλή του Standard είχε συντηρηθεί σωστά, το αποτέλεσμα αυτό δείχνει απόλυτα λογικό.

Γνωρίζοντας ότι η γύρη αποτελείται κυρίως από σωματίδια μεγαλύτερα των 10 μm, μπορούμε να υποθέσουμε ότι μετά το πέρας των 10 ημερών πολλά από τα σωματίδια γύρης δε μπορούσαν πλέον να συγκρατηθούν στη βάση πρόσκρουσης της κεφαλής του Standard. Η επιφάνεια της βάσης έχοντας κορεστεί από σωματίδια, επέτρεπε στα μεγάλα σωματίδια να αναπηδήσουν και να καταλήξουν στο φίλτρο, αυξάνοντας τη συγκέντρωση που έδινε ο Standard δειγματολήπτης.

Δ.1.2 Η τυπική απόκλιση της διαφοράς των δύο συγκεντρώσεων

Αφού αφαιρέσαμε τη συγκέντρωση του Standard από τη συγκέντρωση του Thermogel για κάθε ημέρα δειγματοληψίας, υπολογίσαμε την τυπική απόκλιση των διαφορών αυτών. Για το σύνολο του δείγματος, η τυπική απόκλιση είναι περίπου ±2.3 μg/m^3 και για τις ημέρες της γύρης περίπου ±2.7 μg/m^3 .

Οι περισσότερες τιμές, για το σύνολο των μετρήσεων, βρίσκονται εντός του εύρους της τυπικής απόκλισης (Διάγραμμα 16). Μόλις 20 από τις 83 τιμές βρίσκονται εκτός (ή οριακά εκτός) της τυπικής απόκλισης και από αυτές οι 12 δείχνουν μεγαλύτερη συγκέντρωση του Standard. Ο αριθμός αυτός αποτελεί το 60% των τιμών εκτός του εύρους και μας δείχνει μια μικρή τάση του Standard προς μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, χωρίς να είναι όμως να επιβεβαιώνει την αρχική μας υπόθεση καθώς πρόκειται μόλις για το 14.5% του συνολικού δείγματος.

Στις συγκεντρώσεις πάνω από 40 μg/m^3, παρατηρήθηκε ότι ο Thermogel παρουσιάζει πάντα μεγαλύτερη συγκέντρωση. Παρόλο που μόνο 3 ημέρες μετρήθηκαν τόσο υψηλές τιμές, μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις, είτε ο Standard χάνει σωματίδια κατά τη δειγματοληψία, είτε η κεφαλή του Thermogel δεν προλαβαίνει να απορροφήσει τα σωματίδια και κατά συνέπεια εισέρχονται και σωματίδια >10μm .

Δ.1.2.1 ***Η τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων κατά τις ημέρες με γύρη***

Για τις ημέρες με γύρη η τυπική απόκλιση της διαφοράς βρέθηκε περίπου ±2.7 μg/m^3 . Από τις 16 διαφορές που έχουμε συνολικά στις ημέρες της γύρης, οι 5 βρίσκονται εκτός του εύρους της τυπικής απόκλισης. Από αυτές τις 5 διαφορές, οι 4 είναι αρνητικές (25% του συνολικού δείγματος και 80% των τιμών εκτός του εύρους), υποδηλώνοντας μεγαλύτερη συγκέντρωση του Standard έναντι του Thermogel, και μόλις 1 είναι θετική (6.25% του δείγματος και 20% των τιμών εκτός του εύρους) (Διάγραμμα 17).

Τα ποσοστά αυτά μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι λόγω της παρουσίας πολλών σωματιδίων πάνω από 10 μm εκείνη την περίοδο, η κεφαλή του Standard δεν είχε τη δυνατότητα να κάνει επιτυχημένο διαχωρισμό. Υπήρξαν αρκετές ημέρες όπου σωματίδια >10 μm κατέληξαν στο φίλτρο, πιθανότατα λόγω του φαινομένου της αναπήδησης.

Δ.1.3 Γενικά συμπεράσματα .

Με εξαίρεση την περίοδο της γύρης, τα αποτελέσματα της υπόλοιπης περιόδου του πειράματος δεν ήταν τα αναμενόμενα. Συμπεριλαμβάνοντας και παραμέτρους όπως η διαθέσιμη ποσότητα νερού (e), η σχετική υγρασία (RH%) και η πίεση, δεν μας δόθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία ώστε να επιβεβαιωθεί σε μεγάλο βαθμό η αρχική μας υπόθεση ότι ο Thermogel δειγματολήπτης λειτουργεί εμφανώς καλύτερα από το Standard.

Κατά την περίοδο της γύρης τόσο η σύγκριση των τιμών των συγκεντρώσεων, όσο και η ανάλυση της διαφοράς των συγκεντρώσεων αυτών συμπεριλαμβανομένης της τυπικής απόκλισης, υποδεικνύουν καλύτερη και ομαλότερη λειτουργία της κεφαλής του Thermogel έναντι του Standard.

Για την υπόλοιπη περίοδο του πειράματος, τα αποτελέσματα δεν ήταν τόσο ξεκάθαρα. Πριν την έναρξη του πειράματος αναμέναμε τη συγκέντρωση του Standard να είναι σταθερά μεγαλύτερη από του Thermogel, από ένα χρονικό σημείο και έπειτα. Σε αρκετές περιπτώσεις τα αποτελέσματα έδειχναν να είναι τα επιθυμητά ή μπορούσαν να δικαιολογηθούν εξετάζοντας άλλες παραμέτρους που ενδεχομένως τα επηρέασαν. Υπήρξαν όμως και περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση του Thermogel ήταν σταθερά μεγαλύτερη από του Standard.

Είναι πιθανό στην κεφαλή του Standard να μη λαμβάνει χώρα μόνο το φαινόμενο της αναπήδησης, αλλά λόγω του μη καθαρισμού της βάσης πρόσκρουσης να χάνονται και σωματίδια μικρότερα από 10 μm. Εξαιτίας της μη συντήρησης της κεφαλής τα σωματίδια που συσσωρεύτηκαν δημιούργησαν ένα στρώμα, το οποίο υπάρχει περίπτωση να έχει μειώσει το ιδανικό ύψος από το σημείο εισόδου (Nozzle) μέχρι τη βάση (Impaction plate) (Εικόνα 11). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα τα σωματίδια <10 μm, τα οποία υπό κανονικές συνθήκες θα κατέληγαν στο φίλτρο, να προσέκρουσαν στο στρώμα που δημιουργήθηκε και να χάθηκαν.

Δ.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ 10μm ΣΤΟ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Γνωρίζοντας ότι τα σωματίδια της γύρης έχουν διάμετρο από 10 μm και πάνω και ότι το αναπνευστικό μας σύστημα, είναι πολύ πιθανό να μη μπορέσει να τα αποβάλλει τα σωματίδια μέχρι 11 μm (διάμετρο) θα εναποτεθούν: το 86% στη ρινοφαρυγγική κοιλότητα, το 4% στο τραχειοβρογχικό σύστημα και 2% στην πνευμονική περιοχή.

Επίσης, αποδείχθηκε ότι για την ακριβέστερη εκτίμηση των επιπτώσεων των $ΑΣ_{10}$ στο αναπνευστικό, χρησιμοποιώντας τη σταθμική μέθοδο δειγματοληψίας, χρειάζεται επιμελής συντήρηση της κεφαλής. Η μη σωστή συντήρηση οδηγεί σε λανθασμένη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος δειγματοληψίας, δίνοντας αποτελέσματα, των οποίων η ανάλυση θα δώσει με τη σειρά της ανακριβείς εκτιμήσεις.

Η σημασία της σωστής λειτουργίας του συστήματος δειγματοληψίας και η εξαγωγή ακριβέστερων εκτιμήσεων, αυξάνεται όσο μεγαλώνει και το χρονικό διάστημα των μετρήσεων.

Δ.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Από το πείραμα που διεξήχθη βγήκαν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για τη λειτουργία της πειραματικής κεφαλής του Thermogel, όσο και για τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθείται ώστε οι εκτιμήσεις των επιπτώσεων στο αναπνευστικό να έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Παρόλα αυτά, και οι δύο περιπτώσεις χρήζουν περεταίρω ανάλυσης με σκοπό την καλύτερη τεκμηρίωση και την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

Για τον έλεγχο της πειραματικής κεφαλής προτείνεται μεγαλύτερη χρονική περίοδος δειγματοληψίας. Η συνεχής παρακολούθηση της κεφαλής και η ανάλυση των αποτελεσμάτων για ένα ημερολογιακό έτος θα μπορούσε να δώσει πολύ χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά τη λειτουργία και την απόδοση της. Κατά τους μήνες με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος το υλικό που χρησιμοποιείται (Apiezon L) θα λιώνει και θα υγροποιείται ευκολότερα, δίνοντας τη δυνατότητα στον ερευνητή να ελέγξει αποκλειστικά την απόδοση της. Για τους μήνες όπου η θερμοκρασία θα είναι χαμηλή και το υλικό δε θα λιώνει εύκολα ή θα στερεοποιείται πολύ γρήγορα, θα δοθεί η ευκαιρία στον ερευνητή να κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις στη λειτουργία της (ρύθμιση του προγράμματος ώστε να θερμαίνονται οι αντιστάσεις για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα), έτσι ώστε να έχει υψηλότερη και καλύτερη απόδοση.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας των εκτιμήσεων όσον αφορά τις επιπτώσεις των ΑΣ$_{10}$ στο αναπνευστικό σύστημα, προτείνεται μεγαλύτερη χρονική διάρκεια του πειράματος. Περισσότερες ημερήσιες μετρήσεις θα προσέδιδαν μεγαλύτερη εγκυρότητα στα αποτελέσματα και συγκεκριμένα στον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης και κατά συνέπεια στην κατανομή της στον πνεύμονα.

Ακόμα, προτείνεται και η αντίστοιχη μελέτη, με σκοπό την ακριβέστερη εκτίμηση των επιπτώσεων στο ανθρώπινο αναπνευστικό, για τα ΑΣ$_{2.5}$. Τα ΑΣ$_{2.5}$ βρίσκονται σε εξίσου μεγάλες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα και θεωρούνται πιο επικίνδυνα, καθώς έχουν την ικανότητα να διεισδύουν στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Λόγω αυτής της ικανότητας τους, η οποιαδήποτε απόκλιση στην εκτίμηση των επιπτώσεων θα είναι ακόμη πιο σημαντική.

Ε. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Albrecht, B. . "Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness". *Science, 245*(1989), pp. 1227–1230.

Alfaro, S., Gaudichet, A., Gomes, L., & Maille, M. . "Mineral aerosol production by wind erosion:aerosol particle sizes and binding energies". *25*(1998b), pp. 991-994.

Andrae, M., & Crutzen, J. . "Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry". *Science, 76*(1997), pp. 1052-1058.

Andreae, M. . "The Dark Side of Aerosols". *Nature, 409*(2001), pp. 671-672.

Andrews, D. (2000). *An Introduction to ATMOSPHERIC PHYSICS* (Second Edition ed.). New York: Cambridge University Press.

Anjilvel, S., & Asgharian, B. . "A multiple-path model of particle deposition in the rat lung". *Appl. Toxicol., 28*(1995), pp. 41-50.

Asgharian, B., Hofmann, W., & Miller, F. . "Mucociliary clearance of insoluble particles from the tracheobronchial airways of the human lung". *J. Aerosol. Sci., 32*(2001a), pp. 817-832.

Bagnold, R. A. . "The physics of blown sand and desert dunes". *18*(1994), pp. 91-96.

Beelen, R., Hoek, G., van den Brandt, P., Goldbohm, R., Fischer, P., Schouten, L., & et al. . "Long-term exposure to traffic-related air pollution and lung cancer risk". *Epidemiology, 19*(2008), pp. 702-710.

Bezantakos, S., Barmpounis, K., Giamarelou, M., Bossioli, E., Tombrou, M., Mihalopoulos, N., . . . Biskos, G. . Chemical composition and hygroscopic properties of aerosol particles over the Aegean Sea. *Atmos. Chem. Phys., 13*(2013), pp. 11595–11608.

Brookshire, D., d’Arge, R., Schultze, W., & Thayer, M. (1978). *Experiments in Valuing Non-market Goods: A Cash Study of Alternative Benefit Measures of Air Pollution Control in the South Coast Air Basin of Southern California.* Report prepared for the Environmental Protection Agency under Contract No R805059010.

Brunekreef, B., & Forsberg, B. . "Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health". *Eur. Respir. J., 26*(2005), pp. 309-318.

Butlin, R., Coote, A., Devenish, M., Hughes, I., Hutchens, C., Irwin, G., . . . Yates, T. . "Preliminary Results from the Analysis of Metal Samples from the National Materials Exposure Programme (NMEP)". *Atmospheric Environment 26B*(1992), pp. 199-206.

Cobourn, W., Gauri, K., Tambe , S., Li, S., & Saltik, E. . "Laboratory Measurements of Sulphur dioxide Deposition Velocity on Marble and Dolomite Stone Surfaces". *Atmospheric Environment , 27B*(1993), pp. 193-201.

Colbeck, I. (2008). Fractal Geometry of Aerosol Particles. Στο *Biophysical Chemistry of Fractal Structures and Processes in Environmental Systems* (Τόμ. 11). doi:10.1002/9780470511206.ch9

Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. (1996). "Health effects of outdoor air pollution". *Am. J. Respir. Crit. Care Med., 153*, pp. 3-50 and 477-498.

Creamean, J., Suski, K., Rosenfeld, D., Cazorla, A., De Mott, P., Sullivan, R., . . . Prather, K. . Dust and Biological Aerosols from the Sahara and Asia Influence Precipitation in the Western U.S. *Science, 339*(2013), pp. 1572-1578. doi:10.1126/science.1227279

De Mott, P., Cziczo, D., Prenni, A., Murphy, D., Kreidenweis, S., Thomson, D., . . . Rogers, D. . "Measurements of the concentration and composition of nuclei for cirrus formation". *Proceedings of the National Academy of Sciences, 100*(2003), pp. 14655-14660.

Dockery, D. . "Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution". *Environmental health perspectives, 109*(2001), pp. 483-486.

Goldberg, D., Lupo, T., Caputi, M., Barton, C., & Seeber, L. (2001). In situ stress and fracture evaluation from borehole televiewer and core data in the Newark Rift Basin. Στο *Advances in Triassic-Jurassic Rift Geoscience.* Columbia Univ.

Gouveia, A., & Davies, S. . "Inclusion of an extruded dehulled pea seed meal in diets for juvenile European sea bass (Dicentrarchus labrax)". *Aquaculture, 182*(2000), pp. 183-193.

Grousset, F., Ginoux, P., Bory, A., & Biscaye, P. . Case Study of Chinese dust plume reaching the French Alps. *Geophys. Res. Lett., 30*(2003).

Hamilton, R., & Mansfield, T. . "The Soiling Materials in The Ambient Atmosphere". *Atmos. Environ., 27A*(1993), pp. 1369-1374.

Harvey, J., Krupa, S., Gefvert, C., Choi, J., Mooney, R., & Giddings, J. . "Interaction between ground water and surface water in the northern Everglades and relation to water budgets and mercury cycling: Study methods and appendixes". *U.S. Geol. Survey*(2000), pp. 16-17.

Haywood, J., & Boucher, O. . "Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review". *Rev. Geophys., 38*(2000), pp. 513–543.

Haywood, J., & Shine, K. . "The Effects of an Anthropogenic Sulphate and Soot Aerosol on the Clear-sky Planetary Radiation Budget". *Geophys. Res. Lett, 22*(1995), pp. 603-606.

Heyder, J. (2004). Deposition of inhaled Particles in the Human Respiratory Track and Consequenses for Regional Targeting in Respiratory Drug Delivery. *Nineteenth Transatlantic Airways Conference. 1*, pp. 315-320. Proceedings American Thoracic Society.

Hofmann, W., & Koblinger, L. . "Monte Carlo Modeling of Aerosol Deposition in Human Lungs. Part II: Deposition Fractions and their Sensitivity to Parameter Variations". *J. Aerosol Sci., 21*(1990), pp. 675–688.

Jacobson, M. . "Strong Radiative Heating due to the Mixing State of Black Carbon in Atmospheric Aerosols". *Nature, 409*(2001), pp. 695-697.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis , A., Le Tertre, A., Monopolis, Y., & et al. . "Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project". *Epidemiology, 12*(2001), pp. 521-531.

Kaufman, Y., Remer, L., Tanre, D., Li, R.-R., Kleidman, R., Mattoo, S., . . . Koren, I. . "A critical examination of the residual cloud contamination and diurnal sampling effects on MODIS estimate of aerosol over ocean". *IEEE Trans. on Geoscience & Remote, 43*(2005b), pp. 2886–2897.

Koblinger, L., & Hofmann, W. . "Analysis of Human Lung Morphometric Data for Stochastic Aerosol Deposition Calculations". *Phys. Med. Biol., 30*(1985), pp. 541-556.

Kok, J., Parteli, E., Michaels, T., & Karam, D. . The physics of wind-blown sand and dust. *Reports on Progress in Physics, 75*(2012). doi:10.1088/0034-4885/75/10/106901

Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., & et al. . "Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality". *Res. Rep. Health Eff. Inst., 140*(2009), pp. 5-114.

Levith, J. (1972). *"Responses of Plants to Environmental Stresses".* New York: Academic Press.

Loomis, D., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., & et al. . The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol., 14*(2013), pp. 1262-1263.

Mahowald, N., & Kiehl, L. . Mineral aerosol and cloud interactions. *Geophys. Res. Lett., 30*(2003). doi:10.1029/2002GL016762

Manahan, S. (1994). *Environmental Chemistry* (6 εκδ.). New York: Lewis Publishers.

Manahan, S. (2005). *Environmental Chemistry* (8 εκδ.). CRC Lewis Publishers.

Marticorena, B., & Bergametti, G. . Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 100*(1995), pp. 16415-16430. doi:10.1029/95JD00690

Menache, M., Patra, A., & Miller, F. . "Airway structure variability in the Long-Evans rat lung". *Neurosci. Biobehav. Rev, 15*(1991), pp. 63-69.

Natural Resources Defence Council. (1996b). *"Danger in the Air: Thousands of Early Deaths could be Averted with Cleaner Air Standard".* Retrieved from http://www.nrdc.org/find/aibresum.html

Nazarroff, W., & Cass, G. . "Protecting Museum Collections from Soiling Due to Deposition of Airborne Particles". *Atmos. Environ. , 25A*(1991), pp. 841-852.

Nicolopoulou-Stamati, P., Hens, L., Howard, C., & Van Larebeke, L. (2004). *Cancer as an Environmental Disease.* Kluwer Academic Publishers.

Oberdoster, G., Gelein, R., Ferin, J., & Weiss, B. . "Association of pariculate air pollution and acute mortality: Involvement of ultrafine particles?". *Inhal. Toxicol., 7*(1995), pp. 111-124.

Oluwafemi, C. . "Movements and Climate Perturbations Among the Cruff of Guinness. Some Observations and Model Computations". *AJSJ, 8*(1996), pp. 1-4.

. *Outdoor Air Pollution.* In press, WHO, International Agency for Research on Cancer.

Pacyna. (1995). Airborn particulate matter. Στο *The Handbook of Environmental Chemistry* (Τόμ. 4, pp. 69-97). Berlin: Springer.

Pekkanen, J., Timonen, K., Ruuskanen, J., Repone, A., & Mirme, A. . "Effects of ultrafine and fine particles in urban air on peak expiratory flow among children with asthmatic symptoms". *Environ. Res., 74*(1997), pp. 24-33.

Penttinen, P., Timonen, K., Tiittanen, P., Mirme, A., Ruuskanen, J., & Pekkanen, J. . "Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics". *European Respiratory Journal, 17*(2001), pp. 428-435.

Peters, A., Wichmann, H., Tuch, T., Heinrich, J., & Heyder, J. . "Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles". *Am. J. Respir. Crit. Care Med., 155*(1997), pp. 1376-1383.

Peters, J., & Michael, A. . "Changes in the kinetics of dopamine release and uptake have differential effects on the spatial distribution of extracellular dopamine concentration in rat striatum". *J. Neurochem., 74*(2000), pp. 1563-1573.

Pope, C., & Dockery, D. (2006). "Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect". *Journal of the Air and Waste Management Association, 56*, pp. 709-742.

Pope, C., Burnett, R., Thun, M., Calle , E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. . Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA, 287*(2002), pp. 1132-1141. doi:10.1001/jama.287.9.1132

Pope, H., Gruber, A., Mangweth, B., Bureau, B., deCol, C., Jouvent, R., & Hudson, J. . "Body image perception among men in three countries". *American journal o f Psychiatry, 157*(2000a), pp. 1297-3001.

Pope, H., Phillips, K., & Olivardia, R. (2000b). *The Adonis Complex: The secret crisis o f male body obsession.* New York: The Free Press.

Prospero, J. (1996). Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean and Mediterranean: And overview. Στο *The Impact ofDesert Dust Across the Mediterranean* (pp. 133-151).

Querol, X., Alastuey, A., Puicercus, J., Mantilla, E., Miro, J., Lopez-Soler, A., . . . Artiñano, B. . "Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: particulate levels and sources". *Atmospheric Environment, 32*(1998), pp. 1963–1978.

Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C., Artinano, B., Hansson, H., Harrison, R., . . . Schneider, J. . Speciation and origin of PM10 and PM2. 5 in selected European cities. *Atmospheric Environment, 8*(2004), pp. 6547-6555.

Raabe, O., Yeh, H., Schum, G., & Phalen, R. (1976). *"Tracheobronchial Geometry: Human, Dog, Rat, Hamster".* Lovelace Foundation Report LF-53, New Mexico.

Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z., Beelen, R., Samoli, E., Stafoggia, M., Weinmayr, G., & et al. . "Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)". *Lancet Oncol., 14*(2013), pp. 813-822.

Ramanathan, V., Crutzen, P., Lelieveld, J., Mitra, A., Althausen, D., Anderson, J., & et al. . "Indian Ocean Experiment: An Integrated Analysis of the Climate Forcing and Effects of the Great Indo-Asian". *Journal of Geophys. Res. Atmos., 106*(2001), pp. 28371-28398.

Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., & Kakaliagou, O. . "Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in southern and eastern Spain". *Atmos. Environ., 35*(2001), pp. 2433–2447.

Salby, M. (1996). *Fundamentals of Atmosheric Physics.* U.S.A.: Academic Press.

Samoli, E., Peng, R., Ramsay, T., & Katsouyanni, K. . Acute Effects of Ambient Particulate Matter on Mortality in Europe and North America: Results from the APHENA Study". *Environmental Health Perspectives, 116*(2008), pp. 1480-1486. doi:10.1289/ehp.11345

Seinfeld, J., & Pandis, S. (1998). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change.* New York: John Wiley & Sons Inc.

Seinfeld, J., & Pandis, S. (2006). *"Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change"* (2nd Edition εκδ.). New Jersey: John Wiley & Sons.

Spengler, J., & Wilson, R. (1996). *Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects.* Cambridge: Harvard University Press.

Stern, A., Boubel, R., & Turner, D. (1984). *Fundamental of Air Pollution* (2nd εκδ.). Academic Press.

Triantafyllou, E., Diapouli, E., Tsilibari, E., Adamopoulos, A., Biskos, G., & Eleftheriadis, K. . "Assessment of factors influencing PM mass concentration measured by Gravimetric & Beta Attenuation techniques at a suburban site". *Atmos. Environ., 131*(2016), pp. 409-417.

Twomey, S. . "Aerosols, Clouds and Radiation, Atmospheric Environment Part A". *General Tropics, 25*(1991), pp. 2435-2442.

US Environmental Protection Agency. . *National Ambient Air Quality Standards.*

Von Klot, S., Wolke, G., Tuch, T., Heinrich, J., Dockery, D., Schwartz , J., . . . Peters, A. . Increased asthma medication use in association with ambient fine and ultrafine particles. *Eur Respir J, 20*(2002), pp. 691-702.

Wark, K., Warner, C., & Davis, W. (1998). Air Pollution-Its Origins and Control. United States: Addison-Wesley.

Weibel, E. (1963). *Morphometry of the Human Lung.* New York: Academic Press.

Yeh, H., & Schum, G. . "Models of Human Lung Airways and their Application to Inhaled Particle Deposition". *Bull. Math. Biol., 42*(1980), pp. 461-480.

Yeh, H., Schum, G., & Duggan, M. . " Anatomical models of me tracheobronchial and pulmonary regions of the rat". *Anat. Rec., 242*(1979), pp. 483-492.

Ying, Q., Mysliwiec, M., & Kleeman, M. . "Source Apportionment of Visibility Impairment Using a Three-Dimensional Source-Oriented Air Quality Model". *Environ. Sci. Technology, 38*(2004), pp. 1089 – 1101.

(2006). *"Air quality guidelines: global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide".* WHO, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

(2010). *"Carcinogenic to humans-Group 1".* WHO, International Agency for Research on Cancer.

(2011). *"Exposure to air pollution (particulate matter) in outdoor air".* WHO, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κουιμτζή Θ., Φυτιανού Κ., Σαμαρά Κ., Χημεία περιβάλλοντος, , University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 1998.

Λαζαρίδης Μ., Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005.

Μελάς Δ., Διασπορά Αερίων Ρύπων, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 52 σ., 1997

Νικολοπούλου-Σταμάτη, Π., Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους. Περιβάλλον 21, 2008.

Παπαγιάννης , Α. (2005). ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΗΙΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ. Στο *ΦΥΣΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ* (σσ. 4-12). Αθήνα.

Ρεμουντάκη Ε., Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων. Τόμος ΄Γ. Εκδότης ΕΑΠ, Πάτρα (2004). σσ. 95-279