



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

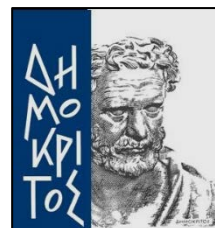
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΚΑΙ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ



Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Φυσική και Τεχνολογικές Εφαρμογές»

Σύγκριση πρότυπης σταθμικής μεθόδου με μέθοδο αυτόματης μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10}

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του Γκικούδη Χρήστου

Ερευνητικός Επιβλέπων:	Ακαδημαϊκός Επιβλέπων:
Θ. Μάγγος	Α. Παπαγιάννης
Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»	Τομέας Φυσικής, ΣΕΜΦΕ, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2015

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Καθ. Παπαγιάννης Αλέξανδρος (Επιβλέπων) Σ.Ε.Μ.Φ.Ε, ΕΜΠ

Δρ. Μάγγος Θωμάς, Ερευνητής , Χημικός ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

Αναπλ. Καθ. Εμμανουέλλα Ρεμουντάκη, Σ.Μ.Μ.Μ, ΕΜΠ

Copyright © Χρήστος Σ.Γκικούδης, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών (ΣΕΜΦΕ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Ευχαριστίες

Αρχικά θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές μου Δρ. Αλέξανδρο Παπαγιάννη και τον Δρ. Θωμά Μάγγο τόσο για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπό μου, αναθέτοντάς μου την εργασία, όσο και για την σημαντική βοήθεια τους σε όλο το διάστημα των πειραματικών και θεωρητικών «αναζητήσεων» μου μέχρι το πέρας αυτής. Ευχαριστώ επίσης και την συνάδελφό τους Δρ. Στέλλα Πατεράκη για την πολύτιμη επικουρική της υποστήριξη με τις γνώσεις της.

Από καρδιάς ευχαριστώ και όλους ανεξαιρέτως, τους καθηγητές μου σε αυτό το «ταξίδι» μου, αφού μου έδωσαν την ευκαιρία, μέσα από την επαφή μαζί τους σε καθημερινή βάση, όχι μόνο να με κάνουν λίγο καλύτερο και σοφότερο φυσικό αλλά ελπίζω και λίγο καλύτερο δάσκαλο-άνθρωπο και για τους δικούς μου μαθητές.

Το μεγαλύτερο όμως κέρδος μου που μου αφήνουν, είναι ότι μέσα από αυτή την πολύμηνη τριβή με τα μαθήματα και το πείραμα, εισήγαγα στα δύο μου μικρά παιδιά τις ώρες που με παρακολουθούσαν να διαβάζω, έννοιες όπως Πολυτεχνείο, Μετρήσεις, Ασκήσεις, Σωματίδια, Κβαντομηχανική ... Ίσως έτσι βάλω και εγώ ένα λιθαράκι για να μπορέσουν να είναι και αυτά κάποτε κοντά στο χώρο που υπηρετούν αυτές οι έννοιες και τα ιδανικά. Τον μοναδικό κόσμο των Θετικών Επιστημών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγο μου Βάσω για την συμπαράσταση της στην ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού.

**..Στη Μελίτα και τον Θοδωρή μου,
τους δύο «τρελούς μου επιστήμονες»...**

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Περίληψη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα χρόνιο πρόβλημα που απασχολεί όλα τα κράτη παγκοσμίως ανεπτυγμένα ή μη. Η δημιουργία νέων αναγκών παγκοσμίως, η αύξηση του καταναλωτισμού, η συνεχής εξάντληση των φυσικών πόρων, οδήγησε τόσο σε αύξηση των ρύπων όπως χαρακτηριστικά των PM_{10} / $PM_{2,5}$ όσο και στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε.

Αυτό καθιστά κράτη και επιστημονικές κοινότητες να βρίσκονται σε συνεχή εγρήγορση, μιας και για να γίνει μία ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων των σωματιδίων στη ζωή μας είναι απαραίτητη να είναι γνωστή η χρονική και χωρική διακύμανση του ρύπου.

Η μεταπτυχιακή εργασία εντάσσεται εν μέρει στις μελέτες που πραγματοποιεί η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) σε ανάθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για την προς έκδοση οδηγία που θα πραγματεύεται ακριβώς τον τρόπο λειτουργίας /συλλογής και τις αρχές που θα διέπουν τα Αυτόματα Συστήματα Παρακολούθησης των σωματιδίων PM .

Ακόμα η οδηγία θα οφείλει να περιέχει και επίδειξη ισοδυναμίας με την μέθοδο αναφοράς καθώς και όλα τα ποιοτικά τεστ που πρέπει να ακολουθούν τα όργανα για να πετύχουν τις προϋποθέσεις απόδοσης. Για το λόγο αυτό, έγινε πρώτον συλλογή δεδομένων συγκέντρωσης PM_{10} τόσο με την Μέθοδο Αναφοράς όσο και με το Αυτόματο Σύστημα Παρακολούθησης, δεύτερον μελέτη της ισοδυναμίας (equivalence) των δύο μεθόδων και κατάλληλη βαθμονόμησή (calibration) του εφόσον χρειαζόταν, μαζί φυσικά με όλα τα quality τεστ που απαιτούνταν για να θεωρούνται έγκυρες οι μετρήσεις. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ».

Η πιο ακριβής προσέγγιση στις συγκεντρώσεις των PM με την βοήθεια του Αυτόματου Συστήματος που χρησιμοποιήθηκε δεν σταματάει με το πέρας της εργασίας, αλλά συνεχίζεται και βελτιώνεται όσο το πλήθος των δεδομένων και μετρήσεων αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, όπως συλλέγονται από την επιστημονική ομάδα του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικών Ερευνών στην οποία είχα και ίδιος τη χαρά να αποτελέσω μέλος της στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής μεταπτυχιακής εργασίας .

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Summary

Air pollution is an issue that has remained a nagging problem for all states, invariably of their development. New needs being created worldwide, increase of consumption, as well as continuous depletion of natural resources, have all led to an increase in pollutants such as characteristics of PM₁₀/PM_{2,5} and to a degradation of the breathing air quality.

The current situation results in states' and scientific communities' constant vigilance for a more effective approach through analysis of the current environmental condition either in large or small scale, particularly in air. In order to achieve a quantitative assessment of the effects of particulate matters in the atmosphere, the temporal and spatial variation of pollutants should be known, as well as the exposure of the relevant population in this pollutant.

Vending machines (TEOM) is one of the tools for the investigation of air quality and measuring concentrations of PM₁₀. In this thesis a calibration concentration measuring of such an instrument has been effected, according to directions based on European standards and with the aid/comparison of data (PM₁₀ concentrations) of the standard reference method (Referents Method). The Calibration is an indispensable method as the machines, despite their usefulness, have a major error that should be corrected to collect more reliable measurements quickly and easily.

The measurements related to the standard method took place at the NCSR DEMOKRITOS in two periods (Warm/Cold). The calibration of the TEOM which is permanently installed in the same place, does not end here but it will be continued and will be improved as the number of measurements and data increase over the years.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
SUMMARY	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	11
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	15
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	19
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ (AEROSOL) ΚΑΙ PM.....	25
1.1 Κατηγοριοποίηση σωματιδίων (Με βάση)	25
1.1.1. Προέλευση αιωρούμενων σωματιδίων.....	25
1.1.1.1. Προέλευση από φυσικές πηγές :	25
1.1.1.2 Από ανθρωπογενείς πηγές :	28
1.1.2 Μηχανισμός σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων.....	28
1.1.2.1 Πυρηνοποίηση (nucleation).....	29
1.1.2.2 Συσσώρευση (accumulation).....	29
1.1.2.3 Συμπύκνωση (condensation).....	30
1.1.2.4 Συσσωμάτωση (coagulation)	30
1.1.3 Μέγεθος - Διάμετρος αιωρούμενων σωματιδίων	30
1.1.3.1 Διάκριση σωματιδίων με βάση το μέγεθος τους.....	32
1.2 Χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	35
1.3 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	37
1.3.1 Αιωρούμενα σωματίδια και αναπνευστικό σύστημα.....	38
1.3.2 Άμεσες επιπτώσεις.....	39
1.4 Επίδραση στο περιβάλλον	39
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ PM.....	41
2.1 Παγκοσμιες τιμές.....	41
2.2 Ασιατική ήπειρος : Ωκεανία	43
2.2.2 Ενδεικτική αναφορά : Κινεζική επικράτεια.....	44
2.3 Αμερικάνικη Ήπειρος	45
2.3.1 Ενδεικτική αναφορά : Η.Π.Α.....	45
2.3.2 Ενδεικτική αναφορά : Πόλη του Μεξικού.....	46
2.4 Ευρωπαϊκή επικράτεια	47
2.4.1 Μεσογειακές Χώρες.....	49
2.5 Ελληνική επικράτεια.....	50

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}

2.5.1 Ενδεικτική αναφορά : Αθήνα και Θεσσαλονίκη.....	50
2.5.2 Ορία ενημέρωσης και συναγερμού στην Ελλάδα.....	53
3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ).....	55
3.1 Χαρακτηριστικές κατευθύνσεις οδηγίας.....	56
3.2 Μέθοδος αναφοράς για τη δειγματοληψία και τη μέτρηση των PM_{10}	57
3.3 Απόδειξη ισοδυναμίας.....	57
3.4 Οριακές τιμές.....	58
4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ PM ΜΕ ΤΗΝ ΣΤΑΘΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ (ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ / RM) ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ EN12341/2014.....	61
4.1 Προσक्रούστες διαχωρισμού.....	61
4.2 Σταθμική μέθοδος.....	62
4.2.1 Επαλήθευση/ έλεγχος ποιότητας (QA/QC).....	64
4.2.2 Low Volume Systems, LVS.....	65
4.2.3 Σύστημα έλεγχου ροής.....	65
4.2.4 Φίλτρα / Υποδοχείς φίλτρων.....	66
4.2.5 Δειγματοληψία και ζύγιση.....	67
4.2.6 Διάρκεια δειγματοληψίας.....	67
4.2.7 Οδηγίες ζύγισης πριν και μετά την μέτρηση.....	67
4.2.8 Πηγές αβεβαιότητας στη συλλεγμένη σωματιδιακή μάζα.....	69
4.2.9 Αβεβαιότητες.....	70
4.2.9.1 Μεμονωμένες πηγές αβεβαιότητας.....	70
4.2.9.2 Ισοζύγιο αβεβαιότητας (Uncertainty budget).....	70
4.2.9.3 Διευρυμένη (expanded) αβεβαιότητα σε σχέση με τους στόχους ποιότητας δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	71
5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ PM ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	73
5.1 Κυριότερα πλεονέκτηματα / μειονέκτημα των AMS.....	73
5.2 Αυτόματα συστήματα καταγραφής αιωρούμενων σωματιδίων AMS.....	73
5.2.1 TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance).....	73
5.2.2 β -Attenuation Analysers.....	75
5.2.3 Optical analysers.....	77
5.3 Ισοδυναμία / Βαθμονομηση AMS με RM	79
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	81
6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ, ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ , ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	83
6.1 Περιοχή μετρήσεων.....	83
6.1.1 Η θέση του αυτόματου συστήματος (TEOM) καθώς και των δύο συστημάτων δειγματοληψίας μικρού όγκου (LVS).....	84

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

6.2 Οργανολογία	86
6.2.1 Συσκευές συλλογής δεδομένων.....	86
6.2.1.1 TEOM1400 – FDMS 8500C (PM ₁₀).....	86
6.2.1.2 Συστήματα δειγματοληψίας μικρού όγκου LVS3.1 DERENDA.....	90
6.2.1.3 Ζυγός ακρίβειας.....	92
6.2.1.4 Θερμόμετρο και Βαρόμετρο.....	94
6.2.1.5 Φίλτρα για τη συλλογή των σωματιδίων (σταθμική μέθοδος)	95
6.3 Δειγματοληψία	98
6.3.1 Περίοδος μετρήσεων.....	98
6.3.2 Μέθοδος δειγματοληψίας	98
6.4 Έλεγχος συστημάτων και διασφάλιση ποιότητας	100
6.4.1 Επεξήγηση (Πιν.6.2) απαιτούμενων ελέγχων σε Αυτόματο Σύστημα	103
6.4.2 Προβλήματα που προέκυψαν.....	108
7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	109
7.1 Κοινό διάγραμμα συγκεντρώσεων (μg/m ³) σε συνάρτηση των ημερών δειγματοληψίας των DER1 (EMFAB) / DER2 (PTFE) και TEOM	109
7.2 Αβεβαιότητα μεταξύ των δύο δειγματοληπτών της μεθόδου αναφοράς.....	111
7.3 Πίνακας αποτελεσμάτων (ισοβάθμισης / βαθμονόμησης) DERENDA 1 και 2 (average συγκεντρώσεων) και του TEOM για το σύνολο των μετρήσεων και στις δύο περιόδους.....	112
7.4 Πίνακας αποτελεσμάτων (ισοβάθμισης / βαθμονόμησης) DERENDA 1 και 2 (average συγκεντρώσεων) και του TEOM στην θερμή περίοδο (καλοκαίρι).....	116
7.5 Πίνακας αποτελεσμάτων (ισοβάθμισης / βαθμονόμησης) DERENDA 1 και 2 (average συγκεντρώσεων) και του TEOM στην ψυχρή περίοδο	119
7.8 Διάγραμμα ανάλυσης παλινδρόμησης των φίλτρων EMFAB (DER1) / PTFE (DER2) επι του συνόλου των μετρήσεων.....	122
7.9 Διάγραμμα ανάλυσης παλινδρόμησης των φίλτρων EMFAB (DER1) / PTFE (DER2) επι των μετρήσεων της θερμής περιόδου.	123
7.10 Διάγραμμα ανάλυσης παλινδρομησης των φίλτρων EMFAB (DER1) / PTFE (DER2) επι των μετρήσεων της ψυχρής περιόδου.	124
8ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : REGRESSION ANALYSIS.....	131
Π.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση	133
Π.2 Συντελεστής Συσχέτισης (r).....	135
Π.3 Σφάλματα εκτίμησης ή κατάλοιπα	136
Π.4 Βαθμοί ελευθερίας.....	136
Π.5 Πίνακας Ανάλυσης Διακυμάνσεων.....	137
Π.6 Συντελεστής προσδιορισμού (R ²).....	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/REFERENCES	139

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ 1.1: ΒΡΕΤΑΝΟΣ ΑΣΤΥΝΟΜΙΚΟΣ ΜΕ ΙΑΤΡΙΚΗ ΜΑΣΚΑ ΣΤΟ ΠΡΟΣΩΠΟ ΤΟΥ . (ΠΗΓΗ: HTTP://GREEK-HEALTH.GR)	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΚΟΝΤΑ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ 3/01/15. (ΠΗΓΗ : ΣΚΙΡΩΝ, Ε.Κ.Π.Α).....	25
ΕΙΚΟΝΑ 1.2: ΔΥΤΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΕΥΑΦΑΛΛΑΛΑΪΚΟΥΛΛ ΙΣΛΑΝΔΙΑ ,ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2010 . (ΠΗΓΗ:WWW.PHOTOVOLCANICA.COM)	26
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΓΑΛΕΣ ΦΩΤΙΕΣ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΤΟΥ 2007 ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟ ,ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 26/8 ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΟΥΡΥΦΟΡΟ TERRA ΤΗΣ NASA (ΠΗΓΗ:HTTP://EL.WIKIPEDIA.ORG)	27
ΕΙΚΟΝΑ 1.4 :ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ (ΠΗΓΗ : GOOGLE IMAGES)	28
ΕΙΚΟΝΑ 1.5: ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ , ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ. (ΠΗΓΗ: ELEMENTS.GEOSCIENCEWORLD.ORG)	29
ΕΙΚΟΝΑ 1.6 : ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥΣ.(ΠΗΓΗ :HINDS (1999))	30
ΕΙΚΟΝΑ 1.7: ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΚΑΤΑ ΟΓΚΟ, ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟ. (ΠΗΓΗ: HTTP://OCW.JHSPH.EDU/COURSES/PRINCIPLESINDUSTRIALHYGIENE/PDFs/LECTURE4.PDF)	32
ΕΙΚΟΝΑ 1.8: PM_{10} ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ. (ΠΗΓΗ: ΚΑΜΑΤΑΚΗ (2009)).	34
ΕΙΚΟΝΑ 1.9: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ PM ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΕΝΟΣ ΚΟΚΚΟΥ ΑΜΜΟΥ ΚΑΙ ΜΙΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΤΡΙΧΑ.(ΠΗΓΗ : WWW.THELANCET.COM).....	34
ΕΙΚΟΝΑ 1.10: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΟΥΣ. (ΠΗΓΗ: DATAFEDWIKI.WUSTL.EDU).....	35
ΕΙΚΟΝΑ 1.11: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥΣ. (ΠΗΓΗ: ΣΤΑΜΑΤΕΛΛΟΥ .Τ. ΖΩΓΟΥ. Ο (2010))	38
ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΕΠΙΠΕΔΑ PM_{10} (ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ) ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ ΑΠΟ ΤΟ 2008-2012.ΌΠΟΥ AMR: AMERICA, AFR: AFRICA; EMR: EASTERN MEDITERRANEAN, SEAR: SOUTH-EAST ASIA, WPR: WESTERN PACIFIC; LMI: LOW- AND MIDDLE-INCOME; HI: HIGH-INCOME. PM_{10} VALUES ARE REGIONAL URBAN POPULATION-WEIGHTED.(ΠΗΓΗ : WHO ,(2014))	41
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ PM_{10} ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2008-2012. (ΠΗΓΗ: WHO, (2014))	42
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM_{10} (ΕΤΗΣΙΩΝ ΜΕΣΩΝ ΟΡΩΝ) ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ 3ΕΤΗ ΑΠΟ ΤΟ 2009-2012 ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ. (ΠΗΓΗ: WHO ,(2014))	42
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΕΤΗΣΙΟΣ ΥΨΗΛΟΤΕΡΟΣ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ, ΕΤΗΣΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΗ-ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΙΝΕΖΙΚΗΣ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑΣ ΤΟ 2010. (ΠΗΓΗ: (LIU, ET AL., 2013)).	45
ΕΙΚΟΝΑ 2.5: 24ΩΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM_{10} ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ ΤΩΝ Η.Π.Α ΑΠΟ ΤΟ 1988-2008. (ΠΗΓΗ: U.S.EPA,(2010))..	45
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ PM_{10} ΤΟ 2006 ΣΕ 16 ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗΣ ΗΠΕΙΡΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟ ΤΟΥΣ .(ΠΗΓΗ : (MUNOZ & ALCAFUZ, 2012)).....	47
ΕΙΚΟΝΑ 2.7: ΕΤΗΣΙΟΙ ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM_{10} ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟ 2012. (ΠΗΓΗ: (HORALEK, ET AL., 2015)).....	49

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΕΙΚΟΝΑ 2.8: Α/ ΕΤΗΣΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM ₁₀ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΧΩΡΕΣ . Β/ ΤΙΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΑΦΡΙΚΑΝΙΚΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM ₁₀ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ Α . C/ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΕΠΙ ΤΗΣ % ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΑΦΡΙΚΑΝΙΚΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ Α . ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2001-2011. (ΠΗΓΗ: (PEY, ET AL., 2013))	50
ΕΙΚΟΝΑ 2.9: ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM ₁₀ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ Α.ΣΟΦΙΑΣ (ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ) ΚΑΙ ΠΑΝΟΡΑΜΑΤΟΣ (ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΧΡΩΜΑ) ΣΤΗ ΘΕΣ/ΝΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ 2001-2004. (ΠΗΓΗ: (ΚΑΤΡΑΓΚΟΥ, ET AL., 2009))	53
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΤΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ .(ΠΗΓΗ: ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ, (2010))	62
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΣΧΕΔΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ LVS ΜΕ ΠΑΡΟΧΗ 2,3 m ³ /h .(ΠΗΓΗ: ΟΔΗΓΙΑ EN12341/2014)	65
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΈΝΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ ΦΙΛΤΡΩΝ ΜΑΖΙ ΜΕ ΤΗΝ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΤΡΥΒΛΙΟ ΡΕΤΡΙ .(ΠΗΓΗ: GOOGLE IMAGES)	69
ΕΙΚΟΝΑ 5.1: ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΑΖΑΣ ΤΩΝ ΣΥΛΛΕΧΘΕΝΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ .(ΠΗΓΗ :ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ, (2010))	75
ΕΙΚΟΝΑ 5.2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΣ β-ΑΤΤΕΝΟΥΑΤΙΟΝ ANALYSER ,BAM -1020 (ΠΗΓΗ :/HTTP://ALG.UMBC.EDU/UMAP/BAM_INDEX.HTML)	77
ΕΙΚΟΝΑ 5.3: ΣΚΕΔΑΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ LASER .(ΠΗΓΗ DEPARTMENT OF PHYSICS AT THE UNIVERSITY COLLEGE CORK /HTTP://WWW.PHYSICS.UCC.IE/NICCHORMAIC/TYNDALL_EF.HTML)	79
ΕΙΚΟΝΑ 5.4: ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PM ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.(ΠΗΓΗ :DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS ,UK /HTTP://UK-AIR.DEFRA.GOV.UK)	79
ΕΙΚΟΝΑ 6.1: ΧΑΡΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ / ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» . (ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS)	83
ΕΙΚΟΝΑ 6.2: ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» / (1) ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΙΣΟΔΟΣ ΟΔΟΣ ΝΕΑΠΟΛΕΩΣ , (2) ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ I.N.RA.S.T.E.S ΚΑΙ (3) ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΟΙΚΙΣΚΟΥ.(ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS)	84
ΕΙΚΟΝΑ 6.3: ISOBOX . ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΤΕΟΜ ΜΑΖΙ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑ FDMS8500C ΕΝΩ ΣΤΗ ΚΟΡΥΦΗ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ ΕΞΕΡΧΕΤΑΙ Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INLET) ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΑΕΡΑ.	85
ΕΙΚΟΝΑ 6.4: ISOBOX: ΣΤΗ ΟΡΟΦΗ ΤΟΥ ΕΙΝΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟΙ ΟΙ ΔΥΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΕΣ ΤΥΠΟΥ DERENDA LVS 3.1. ΣΤΟΝ 1 ^ο ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΕΙΠΤΗ ΕΓΙΝΕ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ ENFAB ΕΝΩ ΣΤΟΝ 2 ^ο ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ WHATMAN PTFE	86
ΕΙΚΟΝΑ 6.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΥΠΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΕΟΜ1200Α-FDMS8500C . (ΠΗΓΗ: MANUAL ΟΙΚΟΥ THERMO SCIENTIFIC)	88
ΕΙΚΟΝΑ 6.6: Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ (INLET) ΤΟΥ ΑΕΡΑ /ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM ₁₀ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	89
ΕΙΚΟΝΑ 6.7: ΤΕΟΜ 1400Α /CONTROL UNIT ΚΑΙ FDMS 8500C ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ.	89
ΕΙΚΟΝΑ 6.8: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LVS 3.1 . (ΠΗΓΗ: MANUAL ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ NORBERT DERENDA)	90
ΕΙΚΟΝΑ 6.9: LVS 3.1 DERENDA ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	91
ΕΙΚΟΝΑ 6.10: ΑΝΤΛΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΓΑΝΩΝ /ΘΘΟΝΗ ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗΣ ΤΙΜΩΝ , ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ (ΠΙΕΣΗΣ, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ, ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ Κ.Α)	91
ΕΙΚΟΝΑ 6.11: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LVS 3.1 . (ΠΗΓΗ :MANUAL ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ NORBERT DERENDA)	92
ΕΙΚΟΝΑ 6.12: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΖΥΓΟΥ MX5. (ΠΗΓΗ: MANUAL ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ METTLER TOLEDO)	93

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΕΙΚΟΝΑ 6.13: Ο ΖΥΓΟΣ ΜΧ5 ΣΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΔΩΜΑΤΙΟ ΖΥΓΙΣΗΣ	93
ΕΙΚΟΝΑ 6.14: ΔΩΜΑΤΙΟ ΖΥΓΙΣΗΣ ΦΙΛΤΡΩΝ	94
ΕΙΚΟΝΑ 6.15: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΦΑΒ 7221 . (ΠΗΓΗ :MANUAL ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ PALL LIFE SCIENCEC)	96
ΕΙΚΟΝΑ 6.16: ΕΝΦΑΒ 7221 ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΑΣ	96
ΕΙΚΟΝΑ 6.17: ΡΤΦΕ 44ΜΜ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΑΣ	97
ΕΙΚΟΝΑ 6.18: (1) ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΟ ΦΙΛΤΡΟ ΡΤΦΕ, (2) ΕΝΦΑΒ, (3) ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΖΥΓΟΥ, (4) ΜΟΝΙΜΑ ΛΕΥΚΑ ΦΙΛΤΡΑ (BLANK) ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΖΥΓΙΣΗΣ ΚΑΙ (5) ΈΝΤΥΠΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 6.19:ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΥΤΩΝ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	100
ΕΙΚΟΝΑ 6.20: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΙΝΑΚΑ ΤΙΜΩΝ (ΟΘΟΝΗ ΤΕΟΜ) ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΚΟ (ACTUAL ΚΑΙ AUDIT) (ΠΗΓΗ: MANUAL ΟΙΚΟΥ THERMO SCIENTIFIC).....	107
ΕΙΚΟΝΑ 7.1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΣΕ ΜG/M ³ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΩΝ ΗΜΕΡΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	109

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ (FINE) ΚΑΙ ΧΟΝΤΡΟΚΟΚΚΩΝ (COARSE) ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ. (ΠΗΓΗ : WILSON AND SUH (1997))	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΣΕ PM ₁₀ ΓΙΑ ΤΟ 2013 ΣΕ ΑΣΙΑ-ΩΚΕΑΝΙΑ. (ΠΗΓΗ : WHO). 44	
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM ₁₀ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΞΙΚΟΥ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΜΕΣ ΜΕΡΕΣ (M-F), ΣΑΒΒΑΤΟΥ (SAT) ΚΑΙ ΚΥΡΙΑΚΗΣ (SUN). ΖΩΡΟΙ ΜΕΓΙΣΤΟΙ ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΙ ΗΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΗΜΕΡΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΑΘΜΟ (SE, SW, NW, CT) ΑΝΑ ΕΤΟΣ . Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΑΘΕ ΜΕΡΑΣ ΛΑΜΒΑΝΕΤΕ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ 7Π.Μ ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΑΠΟΓΕΥΜΑ . (ΠΗΓΗ: (STEPHENS, ET AL., 2008))	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3: ΤΙΜΕΣ ΜΕΣΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM ₁₀ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΕΠΙ ΤΗΣ % ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΧΩΡΑΣ ΤΗΣ ΕΕ ΤΩΝ 28 ΕΤΑΙΡΩΝ . 2012 . (ΠΗΓΗ: (HORALEK, ET AL., 2015))	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4: ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΣΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΛΥΚΟΒΡΥΣΗΣ ΚΑΙ ΓΟΥΔΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟ 9/2005 -8/2006 . (ΠΗΓΗ : (ΘΕΟΔΟΣΗ, ET AL., 2011))	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΣΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ 24ΩΡΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΣΕ MG/M ³ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ. (ΠΗΓΗ: ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ 2013 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΚΑ -ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ -Δ/ΝΣΗ ΕΑΡΘ- ΤΜΗΜΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ,(ΜΑΙΟΣ 2014))	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6: ΌΡΙΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ PM ₁₀ . (ΠΗΓΗ: ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ 2013 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΚΑ -ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ -Δ/ΝΣΗ ΕΑΡΘ- ΤΜΗΜΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ,(ΜΑΙΟΣ 2014))	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ PM ₁₀ ΣΕ MG/M ³ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΚΑΙ ΑΝΑ ΕΤΟΣ .(ΠΗΓΗ :ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ)	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ PM _{2.5} ΣΕ MG/M ³ ΑΝΑ ΕΤΟΣ .(ΠΗΓΗ :ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ)	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΟΙ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ . (ΠΗΓΗ:ΟΔΗΓΙΑ.....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΔΙΕΥΡΥΜΕΝΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟ . (ΠΗΓΗ:ΟΔΗΓΙΑ EN 12341:2014)	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΑΜΕ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ.....	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2: (ΣΕ ΔΥΟ ΣΕΛΙΔΕΣ) ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΕ AMS ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ TS 16450 ΤΟΥ WORKING GROUP	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ . ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ , ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ STDV ΓΙΑ ΤΟ ΤΕΟΜ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΥΟ DERENDA ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΟΔΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	109
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2: ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ DERENDA ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	111

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ρύπος είναι κάθε ουσία η οποία εκπέμπεται άμεσα ή έμμεσα από τον άνθρωπο στον αέρα του περιβάλλοντος και ενδέχεται να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. **Επομένως, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ρύποι.**

65 χρόνια πριν...

ΛΟΝΔΙΝΟ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1952... Λόγω του κρύου και των έντονων χιονοπτώσεων, οι Λονδρέζοι, προκειμένου να ζεσταθούν, έκαιγαν μεγάλες ποσότητες κάρβουνου (ορυκτού άνθρακα), με συνέπεια τη δημιουργία πυκνού νέφους καπνού σε όλη την πόλη και στις γύρω περιοχές.

Έτσι, σε συνδυασμό και με τις μετεωρολογικές παραμέτρους, δημιουργήθηκε ένα στρώμα αιθαλομίχλης ύψους 100-200 μέτρων, ενώ απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα τόνοι αιωρούμενων σωματιδίων.



Εικόνα Εισαγωγής 1.1: Βρετανός αστυνομικός με ιατρική μάσκα στο πρόσωπο του . (Πηγή: <http://greek-health.gr>)

Το στρώμα αυτό αιθαλομίχλης κάλυψε για τέσσερις ολόκληρες ημέρες το Λονδίνο και προκάλεσε το θάνατο τουλάχιστον 4.000 ανθρώπων καθώς και σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα σε τουλάχιστον 100.000 άτομα. Η ορατότητα περιοριζόταν σε περίπου 5 μέτρα, οι πολίτες κυκλοφορούσαν την ημέρα με φανάρια, φορούσαν μαντήλια και ιατρικές μάσκες (βλ.εικ.1.1) στα πρόσωπά τους (www.greek-health.gr, 2013)

17 χρόνια πριν...

...Παρά τις αναμφισβήτητες βελτιώσεις που επήλθαν σε σχέση με τη δεκαετία του '80, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνεχίζει να υφίσταται εξίσου σοβαρό, και εξίσου απειλητικό... Η υποδομή για τη συστηματική καταμέτρησή της απουσιάζει από τα επίσημα δίκτυα μέτρησης σε πολλές χώρες (ανάμεσά τους και η Ελλάδα), ενώ οι διαπιστώσεις των επιστημόνων κάθε άλλο παρά καθησυχαστικές είναι... Οι έρευνες ενοχοποιούν κυρίως τα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια μικρής διαμέτρου (γνωστά και ως PM_{10}), που εισχωρούν βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα. Τελευταία, κρίσιμα κρίνονται και τα σωματίδια με διάμετρο γύρω στα 2,5 μm ($PM_{2,5}$) γι' αυτό και σε ορισμένες χώρες, οι μετρήσεις των σωματιδίων αφορούν πλέον αυτές τις δύο κατηγορίες (PM_{10} και $PM_{2,5}$)... (Ψωμάς & Γεώργιας, 1988).

Σήμερα...

...Τα τελευταία δύο χρόνια οι επιστήμονες παρατηρούν στα μεγάλα αστικά κέντρα ότι η στροφή στη φθηνότερη θέρμανση με καυσόξυλα που καίγονται στα τζάκια και στις σόμπες προκαλεί σοβαρή αύξηση στις τιμές της αέριας ρύπανσης. Σημειώνεται, ότι ένα παραδοσιακό τζάκι εκλύει στην ατμόσφαιρα 30 φορές περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια από ότι ένας καλά συντηρημένος καυστήρας πολυκατοικίας με 25 διαμερίσματα... (ΚΕΕΛΠΝΟ, 2014)

Όπως αντιλαμβανόμαστε το πρόβλημα με τους ρύπους είναι διαχρονικό. Μπορεί οι επιστήμονες να έχουν στη διάθεση τους στη 2^η δεκαετία του 21^{ου} αιώνα μεγαλύτερη τεχνογνωσία, καλύτερα όργανα παρακολούθησης και καταγραφής των ρύπων, αλλά οι ρύποι παραμένουν και είναι ίσως και πιο επικίνδυνοι. Το μόνο που αλλάζει είναι η κύρια πηγή παραγωγής τους ανάλογα με τις συνθήκες (οικονομικές, γεωγραφικές, κλιματολογικές, πολιτικές κ.α) που επικρατούν στην κάθε χώρα αλλά και σε κάθε περιοχή ξεχωριστά.

Η μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων αποτέλεσε ερευνητικό αντικείμενο μόλις τα τελευταία 40-50 χρόνια. Η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και η επίπτωσή τους στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο ζήτημα για την επιστημονική κοινότητα παγκοσμίως. Αυτό οφείλεται στην ετερογένεια των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών τους, ανάλογα με την πηγή εκπομπής και τον μηχανισμό

δημιουργίας τους, καθώς επίσης και στις διαφορές των συγκεντρώσεών τους ανάλογα με την εποχή, την περιοχή και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Το πρώτο σημαντικό βήμα για την έρευνά τους είναι η καταγραφή των συγκεντρώσεών τους στις περιοχές ενδιαφέροντος. Η δειγματοληψία τους καθώς και η αξιοπιστία των μεθόδων καταγραφής (Αυτόματα Συστήματα Καταγραφής / AMS¹ , Σταθμική μέθοδος ή μέθοδος αναφοράς / RM²) είναι ακόμα και σήμερα μια πρόκληση εξαιτίας του γεγονότος ότι σημαντικό μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ημιπτητικά και μπορούν να αλλάζουν από την αέρια φάση στην σωματιδιακή φάση συναρτήσει της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, των διαδικασιών δειγματοληψίας και επεξεργασίας των δειγμάτων. Για αυτό και η παρακολούθηση των συγκεντρώσεων, η ισοδυναμία των αυτόματων μεθόδων μέτρησης με την σταθμική μέθοδο, η σωστή βαθμονόμηση των AMS και η επιτυχής τήρηση όλων των ποιοτικών παραμέτρων των οργάνων που θέτουν οι κατασκευαστές και οι οδηγίες των πιστοποιημένων οργανισμών είναι μια εργασία συνεχής και αδιάκοπη.

**ΣΤΙΣ ΥΠΑΝΑΠΤΥΚΤΕΣ ΧΩΡΕΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΓΟΥΜΕ ΝΑ ΠΙΝΟΥΜΕ ΤΟ
ΝΕΡΟ. ΣΤΙΣ ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΓΟΥΜΕ ΝΑ
ΕΙΣΠΝΕΟΥΜΕ ΤΟΝ ΑΕΡΑ.**

Από το περιοδικό "Changing Times"

¹ Automated Measuring System

² Reference Method

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ (AEROSOL) ΚΑΙ PM

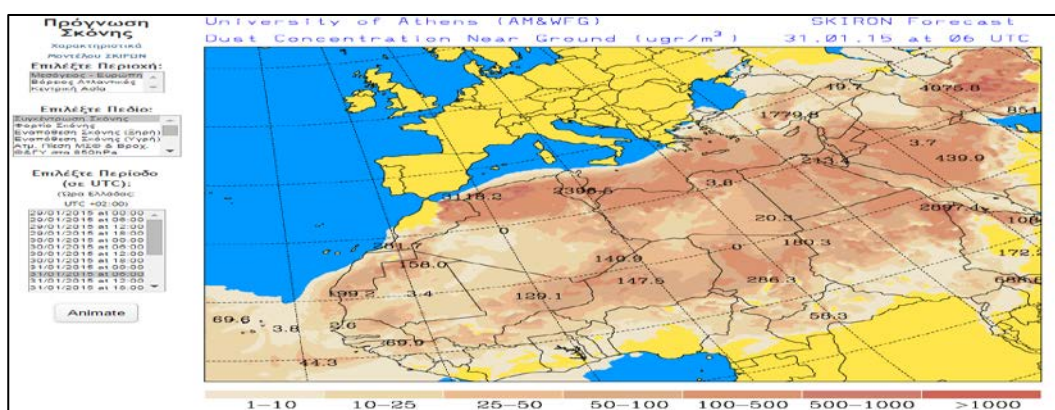
Η λέξη αερόλυμα είναι σύνθετη και προέρχεται από την λέξη αέρας και διάλυμα (aerosol=air+solution/διάλυμα). Τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα είναι το σύνολο των υγρών και στερεών μικροσωματιδίων (ένα μείγμα πολλών ρύπων) που αιωρούνται εντός ενός αερίου μέσου, όπου στην προκειμένη περίπτωση είναι ο αέρας. Για την καλύτερη προσέγγιση τους θα τα κατηγοριοποιήσουμε ανάλογα με την προέλευση τους, τον μηχανισμό δημιουργίας τους και το μέγεθός τους.

1.1 Κατηγοριοποίηση σωματιδίων (Με βάση:)

1.1.1. Προέλευση αιωρούμενων σωματιδίων.

1.1.1.1. Προέλευση από φυσικές πηγές :

- Έδαφος : Μεταφέρεται από αυτό η σκόνη με την επίδραση των ανέμων. Τα σωματίδια αυτά που παράγονται από φυσική ή χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων έχουν διάμετρο η οποία κυμαίνεται από 1μm έως 100μm περίπου. Επίσης τα σωματίδια μεταφέρονται μέσω ανέμων από τις ερήμους. Είναι χαρακτηριστική η διασυνοριακή ρύπανση των χωρών της Νοτίου Ευρώπης από την έρημο Σαχάρα.



Εικόνα 1.1: Παράδειγμα πρόγνωση συγκέντρωση σκόνης κοντά στο έδαφος στη περιοχή της Μεσογείου 3/01/15. (Πηγή : ΣΚΙΡΩΝ, Ε.Κ.Π.Α)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

- Εκρήξεις ηφαιστείων : Οι εκλύσεις σωματιδίων μιας έκρηξης μπορούν να είναι τέτοιου μεγέθους που να δημιουργήσουν διαταραχή στο περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή. Νέφη ηφαιστειακής σωματιδιακής ύλης παραμένουν στην ατμόσφαιρα πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα τεράστιες είναι και οι επιπτώσεις στην οικονομική και κοινωνική ζωή περιοχών του πλανήτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, το 2010 η έκρηξη του ηφαιστείου Eyjafjallajökull στην Ισλανδία (εικόνα 1.2) παρήγαγε ένα τεράστιο σύννεφο στάχτης και καπνού που διατάραξε σοβαρά τα αεροπορικά ταξίδια για έξι ημέρες και προκάλεσε την ταλαιπωρία δέκα εκατομμυρίων επιβατών, προκαλώντας την ακύρωση τουλάχιστον 100.000 πτήσεων. Μεταβολή στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρήθηκαν και πάνω από τον Ελλαδικό χώρο τις αμέσως επόμενες μέρες και συγκεκριμένα στον Αττικό ουρανό σύμφωνα με την μελέτη των: (Parayannis, et al., 2013).



Εικόνα 1.2: Δυτική πλευρά ηφαιστείου Eyjafjallajökull Ισλανδία ,Απρίλιος 2010 .
(Πηγή: www.photovolcanica.com)

- Η χλωρίδα: Πηγή εκπομπής βιογενούς ύλης η οποία αποτελείται από πρωτογενή σωματίδια, όπως τα θραύσματα φυτών, γύρη και τα μικροβιακά σωματίδια, καθώς και δευτερογενή σωματίδια που προέρχονται κυρίως από τη συμπύκνωση οργανικών ενώσεων.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Σημαντικός όμως παράγοντας παραγωγής σωματιδίων είναι και η καύση της χλωρίδας .

➤ **Ατελής καύση:** Παράγει σωματίδια καπνού, που είναι κυρίως σωματίδια άνθρακα σχηματιζόμενα κατά την ατελή καύση καιγόμενου υλικού, ή γενικότερα κατά την οξειδωση οργανικών ουσιών.

➤ **Τέλεια καύση:** Παράγει την ιπτάμενη τέφρα. Η ιπτάμενη τέφρα είναι το στερεό υπόλειμμα που μένει μετά την πλήρη καύση διάφορων στερεών ουσιών και κυρίως των διαφόρων ειδών λιθανθράκων. Η τέφρα αιωρείται κατά την καύση στερεών ουσιών, οι οποίες περιέχουν και διάφορα ανόργανα συστατικά ή συστατικά που κατά την καύση τους παράγουν ενώσεις μη πτητικές.

Οι εκτεταμένες πυρκαγιές μπορούν να δημιουργήσουν νέφος (αιθαλομίχλη) ικανό να προκαλέσει μείωση της ορατότητας και επίδραση στο ηλιακό φως σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από το σημείο της φωτιάς .



Εικόνα 1.3: Δορυφορική εικόνα από τις μεγάλες φωτιές τον Αύγουστο του 2007 στη δυτική και νοτιοδυτική Πελοπόννησο ,φωτογραφία 26/8 από τον δορυφόρο Terra της NASA (Πηγή:<http://el.wikipedia.org>)

Μια ακόμα σημαντική συνέπεια των καύσεων είναι ότι η εναπόθεση του καπνού στην λευκή επιφάνεια των πάγων, απορροφά την ακτινοβολία με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και το λιώσιμο αυτών.

- Φυσική μετατροπή ενός αερίου σε σωματίδιο: Οι πρόδρομες ενώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι αέρια τα οποία οξειδώνονται είτε στην αέρια φάση είτε στην υγρή φάση. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζονται προϊόντα χαμηλής πτητικότητας, τα οποία είτε συμπυκνώνονται σε προϋπάρχοντα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

σωματίδια ή σχηματίζουν νέα σωματίδια τα οποία αιωρούνται ξανά στην ατμόσφαιρα.

1.1.1.2 Από ανθρωπογενείς πηγές :

- Εκπομπές οχημάτων
- Στάχτη και αιθάλη από βιομηχανίες /τζάκια
- Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής / καύση λιγνιτών
- Χυτήρια
- Αγροτικές δραστηριότητες



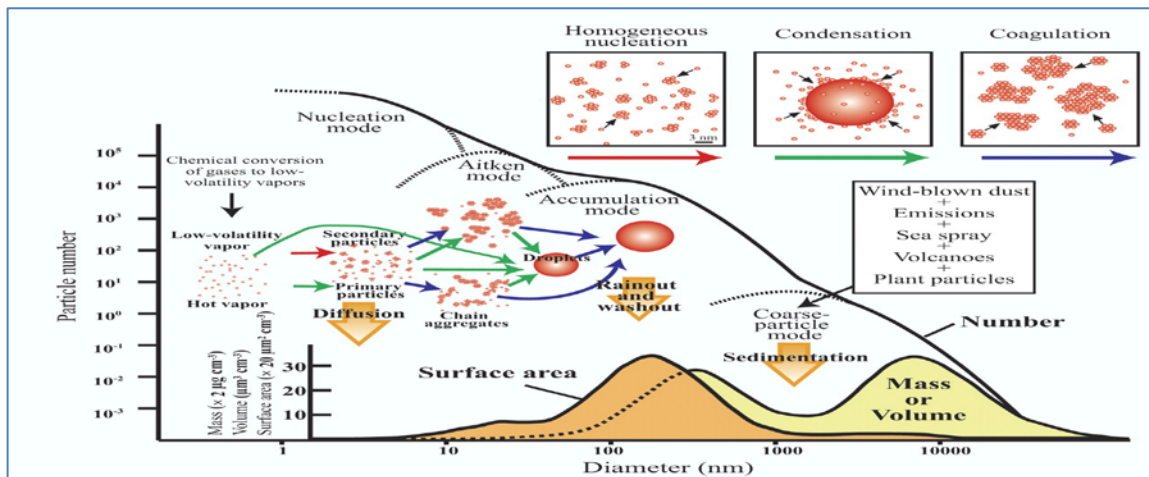
Εικόνα 1.4 :Ανθρωπογενείς πηγές (Πηγή : Google images)

1.1.2 Μηχανισμός σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων.

- Τα αιωρήματα που φτάνουν στην ατμόσφαιρα απευθείας λόγω εκπομπών φυσικών ή ανθρωπογενών λέγονται πρωτογενή (primary aerosol)
- Όταν δημιουργούνται μέσω μετατροπής μορίων αερίων σε σωματίδια λέγονται δευτερογενή (secondary aerosol). Τα δευτερογενή σωματίδια δημιουργούνται μέσω χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Στις χημικές αυτές αντιδράσεις παίρνουν μέρος αέρια (π.χ. ατμοσφαιρικό οξυγόνο, υδρατμοί), αντιδρώντα μόρια (π.χ. όζον, ελεύθερες ρίζες) και ρύποι (π.χ. SO₂, NO₂, οργανικά αέρια VOCs). Μετά την εκπομπή ή τον σχηματισμό τους, τα αιωρήματα υπόκεινται σε ποικίλες διεργασίες (πυρηνοποίηση, συσσώρευση, συμπύκνωση και συσσωμάτωση) που τα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

οδηγούν σε αλλαγή του μεγέθους και του σχήματός τους. Έτσι παίρνουμε μια κατανομή μεγεθών που κυμαίνεται από λίγα νανόμετρα ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) μέχρι μερικές δεκάδες μικρόμετρα ($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$). Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια τα συναντάμε επιπλέον σε διάφορα ανομοιόμορφα σχήματα.



Εικόνα 1.5: Σχηματισμός, συσσωμάτωση και απόθεση αιωρούμενων σωματιδίων. (Πηγή: elements.geoscienceworld.org)

1.1.2.1 Πυρηνοποίηση (nucleation)

Η πυρηνοποίηση είναι μια από τις βασικότερες διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και συμβάλει στη δημιουργία των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Η πυρηνοποίηση ορίζεται ως η μεταβολή της ύλης από μια φάση σε μια άλλη (π.χ. από την αέρια φάση στην υγρή). Η μεταβολή από την αέρια φάση στην υγρή φάση δεν γίνεται άμεσα αλλά διά μέσου της δημιουργίας μικρών συσσωματώσεων μορίων σε μορφή πυρήνων. Αυτή η κατάσταση της δημιουργίας μικρών σωματιδίων κατευθείαν από την αέρια φάση στην υγρή φάση δεν συμβαίνει εύκολα στην ατμόσφαιρα λόγω του ότι προϋπάρχουν συγκεντρώσεις σωματιδίων με αποτέλεσμα να υπάρχει πυρηνοποίηση πάνω στην επιφάνεια αυτών των σωματιδίων (Μασσαρά, 2011).

1.1.2.2 Συσσώρευση (accumulation)

Η διαδικασία η οποία συμβάλει στην αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων. Αυτή η διεργασία λαμβάνει χώρα για τα σωματίδια εκείνα που προέρχονται συνήθως από τα σωματίδια της περιοχής πυρηνοποίησης. Τα σωματίδια

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

πυρηνοποίησης ή Aitken αφού περάσουν τα στάδια της συσσωμάτωσης ή συμπύκνωσης σχηματίζουν τα λεπτόκοκκα σωματίδια, τα οποία με τη σειρά τους λόγω της συσσώρευσής τους στην ατμόσφαιρα, αυξάνουν το μέγεθός τους (Μασσαρά, 2011).

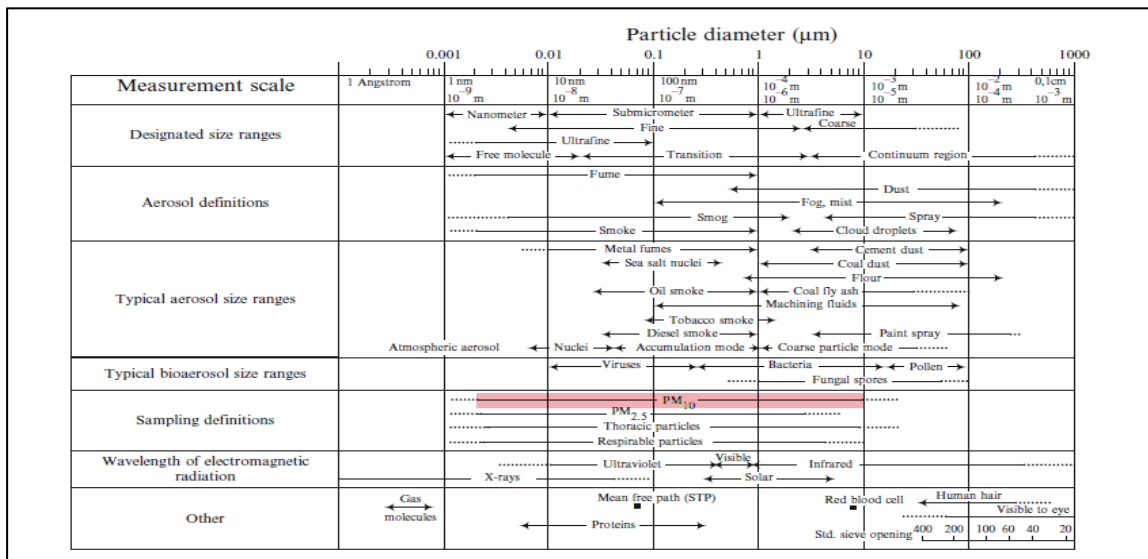
1.1.2.3 Συμπύκνωση (condensation)

Κατά τη διαδικασία αυτή οι ενώσεις που βρίσκονται στην αέρια φάση είναι δυνατό να μεταβούν στην υγρή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι υδρατμοί, οι οποίοι με την συμπύκνωση μεταβάλλονται σε νερό ή παγοκρυστάλλους.

1.1.2.4 Συσσωμάτωση (coagulation)

Είναι η διαδικασία, κατά την οποία αιωρούμενα σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους λόγω της σχετικής κίνησής τους, με αποτέλεσμα να σχηματίζουν σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου. Οι συγκρούσεις οδηγούν στην μείωση του αριθμού των σωματιδίων και σε αύξηση του μεγέθους τους. (Μασσαρά, 2011).

1.1.3 Μέγεθος - Διάμετρος αιωρούμενων σωματιδίων



Εικόνα 1.6 : Κατηγοριοποίηση σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθός τους. (Πηγή :Hinds (1999))

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Αρχικά οι μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αναφέρονταν στα ολικά σωματίδια TSP (Total Suspended Particulates) δίχως να γίνεται διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Τα TSP ποικίλουν γενικά σε μέγεθος από 0,01 μm έως και μερικές εκατοντάδες μm. Ωστόσο τα σωματίδια εκείνα με διαστάσεις άνω των 50 μm έχουν την τάση να επικάθονται στην επιφάνεια της γης πολύ εύκολα.

Η προσέγγιση των σωματιδίων όμως εξελίχθηκε και χωρίστηκαν σε επιμέρους κατηγορίες, καθώς είχαμε την ανάπτυξη της τεχνολογίας και κυρίως την ανακάλυψη των διαφορετικών επιπτώσεων αυτών ανάλογα με την διάμετρό τους (βλ.εικ.1.6).

Ο βασικός διαχωρισμός των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος της διαμέτρου βοηθάει στο συσχετισμό του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων και με άλλες παραμέτρους, όπως για παράδειγμα το μηχανισμό σχηματισμού τους, το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, τον πληθυσμό τους, τη μορφή τους, τις οπτικές ιδιότητες και τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων.

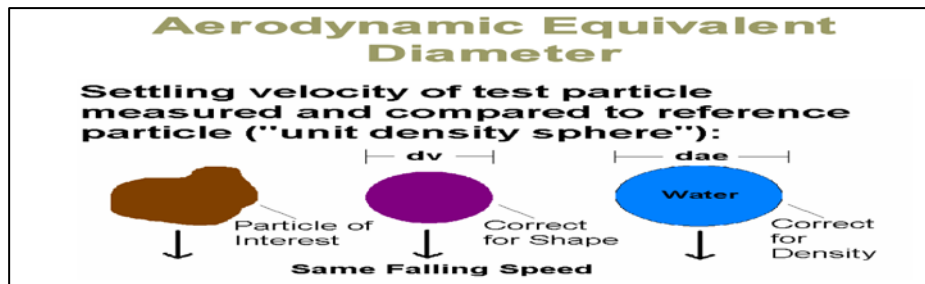
Οι περισσότερες φυσικοχημικές ιδιότητες των ατμοσφαιρικών σωματιδίων (π.χ. όγκος, εμβαδόν επιφανείας, ταχύτητα καθίζησης, διάχυση κατά Brown κ.λπ.) επειδή εξαρτώνται από το μέγεθός τους και το σχήμα τους καθιστούν απαραίτητη τη χρήση ενός συντελεστή διόρθωσης ή τον ορισμό μιας ισοδύναμης διαμέτρου .

Ο προσδιορισμός του μεγέθους τους γίνεται με την χρήση της ισοδύναμης διαμέτρου (equivalent diameter) όπου είναι η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο. Ανάλογα με το μέγεθος τους μπορούν να γίνουν αντιληπτά με το μάτι (μαύρος καπνός) ή είναι τόσο μικρά που γίνονται αντιληπτά μόνο με μικροσκόπιο.

Για σφαιρικό σωματίδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η φυσική του διάμετρος ενώ για σωματίδια άλλων σχημάτων μπορεί να γίνει χρήση της ισοδύναμης κατά όγκο διαμέτρου (volume equivalent diameter : d_v) όπου είναι η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει τον ίδιο όγκο με αυτά. Ακόμα μια χρήσιμη παράμετρος που εκφράζει το μέγεθος των σωματιδίων με ομοιόμορφο τρόπο

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

είναι η ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος (aerodynamic diameter : d_{ae}). Πρόκειται για τη διάμετρο μιας σφαίρας με πυκνότητα 1g/cm^3 όπου έχει την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης με το υπό εξέταση σωματίδιο (βλ.εικ.1.7). Η αεροδυναμική διάμετρος είναι πολύ χρήσιμη γιατί σχετίζεται με το χρόνο παραμονής του σωματιδίου στην ατμόσφαιρα αλλά και με την απόθεση τους στο αναπνευστικό σύστημα. (Λαζαρίδης, 2010):



Εικόνα 1.7: Ισοδύναμη κατά όγκο, αεροδυναμική διάμετρο. (Πηγή: <http://ocw.jhsph.edu/courses/PrinciplesIndustrialHygiene/PDFs/Lecture4.pdf>)

Για σωματίδια διαμέτρου μικρότερη των $0,5\mu\text{m}$ χρησιμοποιείται η ισοδύναμη θερμοδυναμική διάμετρος (thermodynamically equivalent diameter: d_{th}) που είναι η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου με τον ίδιο συντελεστή διάχυσης με το υπό εξέταση σωματίδιο (Pillinis & Pandis, 1995).

Τέλος έχουμε και την ισοδύναμη διάμετρος ηλεκτρικής κινητικότητας (electrical mobility equivalent diameter: d_b) όπου είναι η διάμετρος μίας σφαίρας που έχει την ίδια ηλεκτρική κινητικότητα με το εξεταζόμενο σωματίδιο.

1.1.3.1 Διάκριση σωματιδίων με βάση το μέγεθος τους

Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων, οι οποίοι με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε επιμέρους κλάσματα.

- **Λεπτόκοκκα (fine particles)** : Αναφέρονται σαν μικροσκοπικά ή λεπτά σωματίδια με ισοδύναμη διάμετρο μικρότερη των $2,5\mu\text{m}$. (Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται και τα νανοσωματίδια με διάμετρο από 1nm - 100nm). Αυτά διακρίνονται σε δύο επιμέρους περιοχές :
 - Την περιοχή πυρηνοποίησης τους (nuclei mode ή very fine nuclei).

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}

Τα σωματίδια στην περιοχή των πυρήνων (0,001-0,1 μ m) δημιουργούνται μέσω συμπύκνωσης ατμών κατά τη διάρκεια καύσεων ή μέσω πυρηνοποίησης και απομακρύνονται με συσσωμάτωση τους σε μεγαλύτερα σωματίδια.

- Την περιοχή συσσώρευσης (accumulation mode).

Τα σωματίδια στην περιοχή συσσώρευσης (0,1-2,5 μ m) προέρχονται από συσσωμάτωση σωματιδίων της περιοχής των πυρήνων ή από συμπύκνωση ατμών σε υπάρχοντα σωματίδια. Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης στη περιοχή αυτή είναι λιγότερο αποτελεσματικοί και σαν συνέπεια εμφανίζουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα.

Αποτελούνται κυρίως από χημικές ενώσεις του θείου (S), από αμμωνιακά άλατα (NH_4^+), από μόλυβδο (Pb), νιτρικά ιόντα (NO_3^-) και από οργανική ύλη συμπεριλαμβανομένης και της αιθάλης. Ακόμα πάνω τους συμπυκνώνονται τοξικές ουσίες όπως πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις, αρσενικό (As), σελήνιο (Se), κάδμιο (Cd) και ψευδάργυρος (Zn) (Χαραλάμπους, 2011).

Ο κυριότερος ρύπος αυτής της κατηγορίας είναι τα $PM_{2,5}$ (διάμετρο ίση με 2,5 μ m ή λιγότερο).

Τα $PM_{2,5}$ προκύπτουν από πολλές και διαφορετικές πηγές, όπως από τα καυσαέρια, από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης από οικιακές εστίες φωτιάς όπως τζάκια, φούρνοι κ.α. και για αυτό το λόγο η σύσταση τους ποικίλει. Δημιουργούνται ακόμα από αέρια πυρανάφλεξης, τα οποία μετατρέπονται με χημικό τρόπο σε σωματίδια.

- **Χοντρόκοκκα (coarse particle)** : Αναφέρονται σαν μεγάλα ή αδρά σωματίδια με ισοδύναμη διάμετρο μεγαλύτερη των 2,5 μ m.

Εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κυρίως μέσω μηχανικών διεργασιών και λόγω των μεγάλων ταχυτήτων εναπόθεσης που εμφανίζουν, έχουν μικρό χρόνο παραμονής.

Αποτελούνται κυρίως από σίδηρο (Fe), ασβέστιο (Ca) και πυρίτιο (Si).

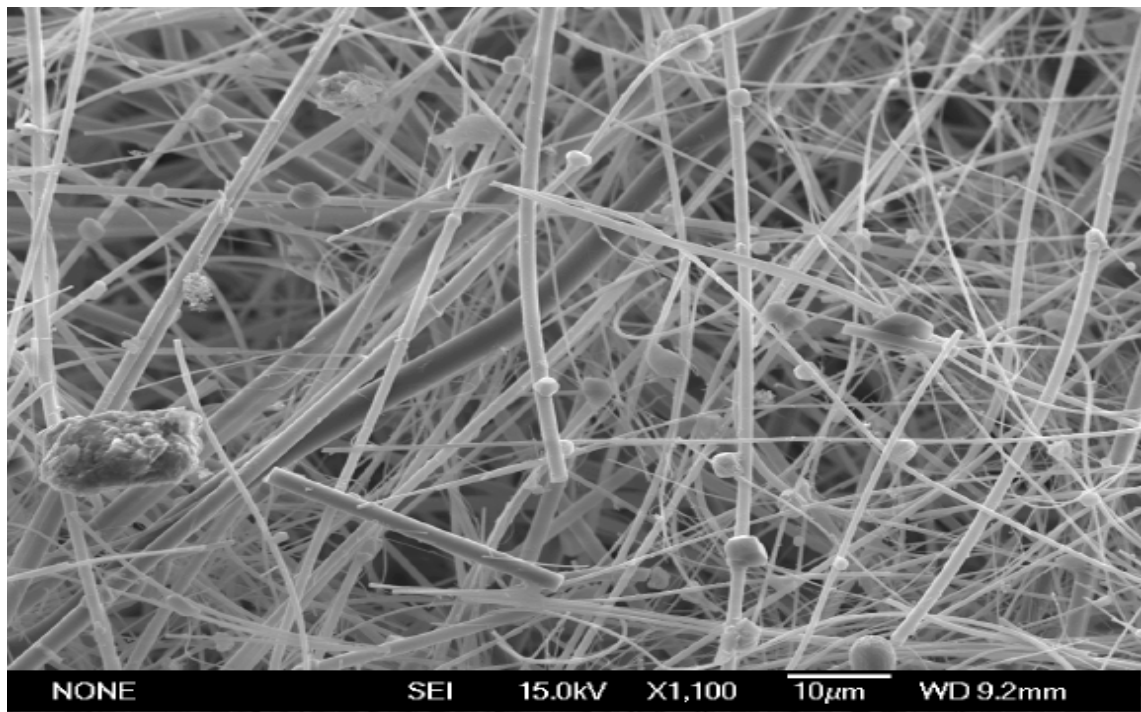
Ο κυριότερος ρύπος αυτής της κατηγορίας είναι τα PM_{10} (διάμετρο ίση με 10 μ m ή λιγότερο).

Τα PM_{10} παράγονται γενικά ως τυχαίο υποπροϊόν των διαφόρων χημικών ή φυσικών διεργασιών. Μπορούμε να τα πάρουμε από την σκόνη που μεταφέρεται με τον άνεμο, από οχήματα που κινούνται σε χωματόδρομους, από

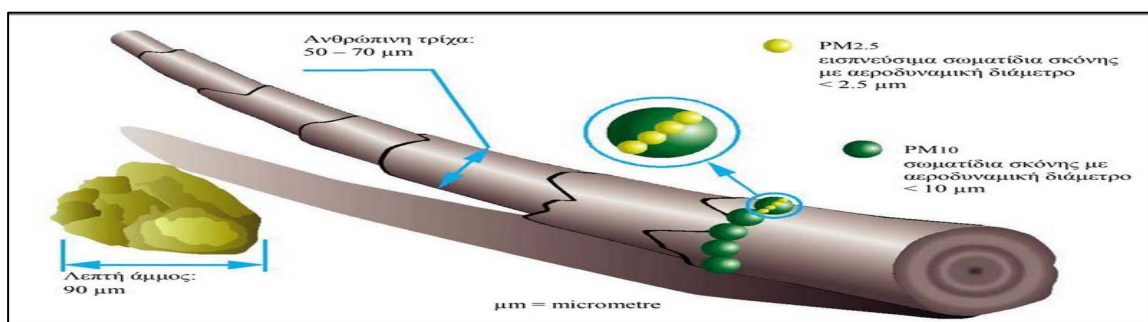
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

μηχανήματα βιομηχανικών συμπιέσεων, λιωσίματος/αλέσματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, κ.α. Γενικά σχηματίζονται υπό την επίδραση κυρίως μηχανικών δυνάμεων όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Δεν κατασκευάζονται σκόπιμα, αν και πολλές βιομηχανικές διαδικασίες χρησιμοποιούν τις πούδρες και τις σκόνες ως κανονική εισαγωγή στις διαδικασίες κατασκευής και επεξεργασίας. Όπως για παράδειγμα στους τομείς του τσιμέντου, του σιδήρου και του χάλυβα.

Αποτελούνται από λεπτομερώς διαχωρισμένη ανόργανη ύλη—ορυκτά, όπως οξειδία του Αργιλίου, Πυρίτιο, Σίδηρο και Κάλιο.



Εικόνα 1.8: PM₁₀ από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. (Πηγή: Καματάκη (2009)).

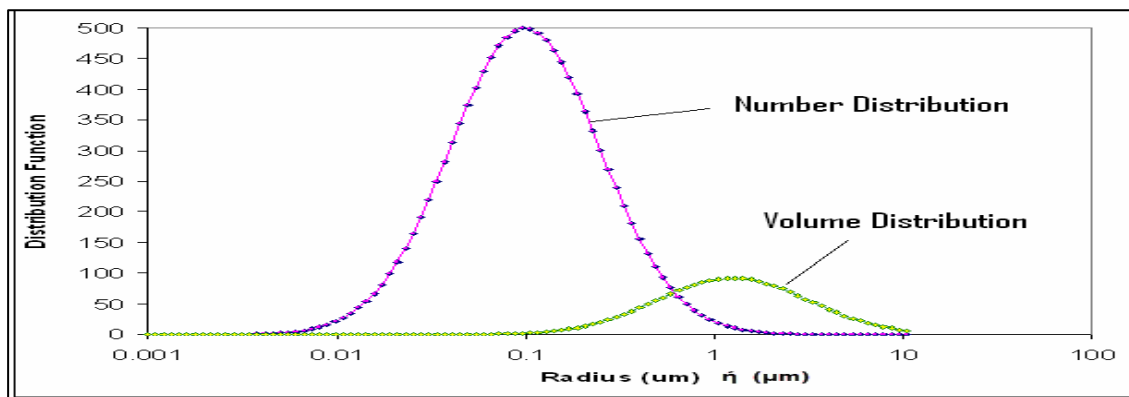


Εικόνα 1.9: Σύγκριση μεγέθους PM με τη διαμέτρου ενός κόκκου άμμου και μιας ανθρώπινη τρίχα. (Πηγή : www.thelancet.com)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Ακόμα τα λεπτόκοκκα σωματίδια είναι σε αφθονία αλλά με αμελητέα μάζα ενώ τα χονδροκόκκα έχουν μεγάλη μάζα, αλλά είναι πολύ λίγα σε αριθμό (βλ.εικ.1.10).

Τέλος ανάλογα με το μέγεθός τους τα σωματίδια έχουν και διαφορετικές οπτικές ιδιότητες.



Εικόνα 1.10: Κατανομή του πληθυσμού και του όγκου των σωματιδίων με βάση το μέγεθος της διαμέτρου τους. (Πηγή: datafedwiki.wustl.edu)

1.2 Χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

Οι χρόνοι ζωής ή χρόνοι παραμονής (lifetime) ή οι ρυθμοί καθίζησης των σωματιδίων αυτών εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τη διάμετρό τους, η οποία και καθορίζει την συμπεριφορά των σωματιδίων στις διεργασίες που λαμβάνουν μέρος. Επίσης είναι ένας σημαντικός και καλός δείκτης της επιβάρυνσης που προκαλούν τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και στο περιβάλλον.

Βασικός παράγοντας που παίζει ρόλο στον χρόνο παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι η ταχύτητα πτώσης αυτών. Η ταχύτητα πτώσης των αιωρούμενων σωματιδίων περιγράφεται από το νόμο του Stokes. Ο νόμος ισχύει για σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από την ελεύθερη διαδρομή των αερίων. Σύμφωνα με τον νόμο η οριακή ταχύτητα πτώσης των σωματιδίων στον αέρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ακτίνας τους, δηλαδή:

$$v_{op} = \frac{2g}{9} - \frac{(d - d')r^2}{n}$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

όπου g : επιτάχυνση της βαρύτητας

d : πυκνότητα του σωματιδίου

d' : πυκνότητα του μέσου πτώσης (ατμόσφαιρας)

n : συντελεστής ιξώδους του μέσου πτώσης

r : ισοδύναμη αεροδυναμική ακτίνα του σωματιδίου

Άλλος ένας παράγοντας που παίζει ρόλο είναι και η συγκέντρωση των υδρατμών κυρίως, αλλά και άλλων συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα τα οποία είναι χημικά δραστικά και επηρεάζουν την εξέλιξη της σύστασης και του μεγέθους των ατμοσφαιρικών σωματιδίων. (Τρουπλικιώτης, 2011).

Επιπρόσθετα, ένας παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο παραμονής είναι και ο τρόπος απομάκρυνσης τους από την ατμόσφαιρα καθώς αυτή γίνεται μέσω ξηρής είτε μέσω υγρής καθίζησης.

Για λεπτόκοκκα σωματίδια, που η διάμετρός τους κυμαίνεται μεταξύ 0,01 μ m και 1 μ m, ο χρόνος παραμονής τους είναι από μερικές μέρες έως μερικές εβδομάδες, σε αντίθεση με τα χοντρόκοκκα σωματίδια των οποίων ο χρόνος παραμονής τους κυμαίνεται από μερικές ώρες έως μερικές ημέρες.

Γενικά οι λόγοι που κάνουν πιο δυσμενείς τις συνθήκες διασποράς και απομάκρυνσης των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα είναι οι εξής :

- Η άπνοια ή οι ασθενείς άνεμοι σε μεγάλο ποσοστό.
- Ανακύκλωση των PM₁₀ και PM_{2,5} με τη θαλάσσια αύρα.
- Η ανομβρία (μικρή βροχόπτωση)
- Αστικές χαράδρες και κακή διασπορά ρύπων.
- Σημαντική έλλειψη πρασίνου .

Ως επίλογο του κεφαλαίου παραθέτουμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα (1.1) όπου αναγράφονται συνοπτικά τα στοιχεία που αφορούν τα αιωρούμενα σωματίδια.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

	Fine		Coarse
	Ultrafine	Accumulation mode	
Production process	Combustion High temperature processes Chemical reactions in the atmosphere		Brake of large particles
Formation	Nucleation Condensation Coagulation	Condensation Coagulation Chemical reactions of gasses inside/onto particles. Droplet evaporation at clouds/fogs. A solid core is existing inside the droplets	Mechanical breakup Spray evaporation Dust suspension Chemical reactions of gasses on/inside particles
Chemical composition	Sulphur Elemental carbon Metals Volatile organic compounds	Sulphur, nitrogen, ammonium and hydrogen ions Elemental carbon Large variation of organic chemical compounds Metals: compounds of Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, etc. water	Resuspended dust from roads or soil Suspended ash from incomplete burning of coal, oil and wood Nitrates and chlorines Oxides of soil constituents (Si, Al, Ti, Fe) CaCO ₃ , NaCl, sea droplets, pollen, bioaerols, debris of tires, brakes
Solubility	More solubility than the accumulation mode	Very soluble and deliquescent	Insoluble and not hygroscopic
Sources	Combustion, secondary formation in the atmosphere from gaseous precursors,	Combustion of coal, oil, gasoline, diesel, wood, Secondary formation from gaseous precursors NO _x , SO ₂ and organic compounds (e.g. terpenes) in the atmosphere.	Resuspension from industrial and soil dust, building construction, non controlled combustion of coal and oil, sea salt, biological sources.
Half life atmospheric time	Few minutes to hours	Days to weeks	Few minutes to hours
Removal processes	Growth to the accumulation mode, diffusion to rain droplets	Formation of cloud droplets, wet removal, dry deposition	Dry deposition, wet removal
Transport distance	< 1 up to several tens of km	Several 100 km up to few 1000 km	< 1 up to several tens of km

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά λεπτόκοκκων (fine) και χοντρόκοκκων (coarse) σωματιδίων. (Πηγή : Wilson and Suh (1997))

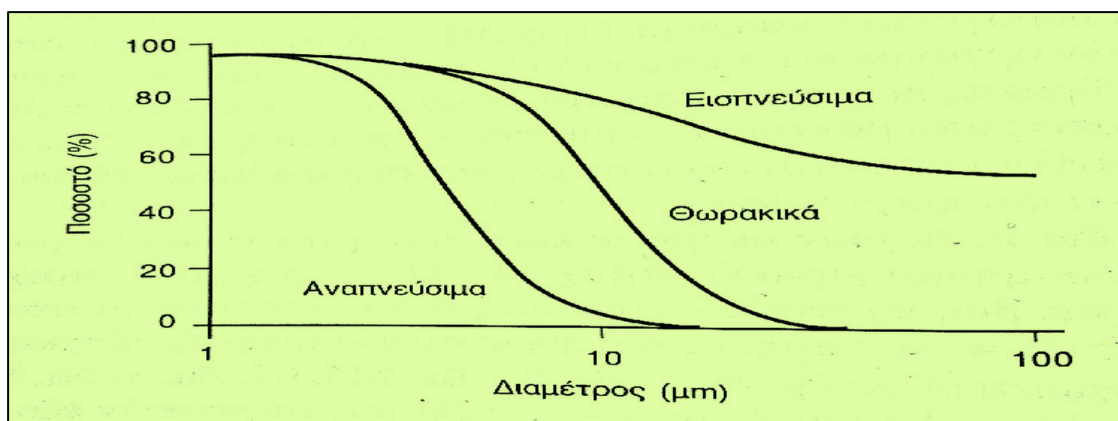
1.3 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία

Οι επιπτώσεις στην υγεία αφορούν κυρίως στο αναπνευστικό σύστημα των οργανισμών και την ικανότητα της αναπνευστικής διείσδυσης σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων και την απόθεσή τους στα διάφορα μέρη του συστήματος. Δευτερογενώς έρχονται και σε επαφή με το δέρμα.

1.3.1 Αιωρούμενα σωματίδια και αναπνευστικό σύστημα

Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα με βάση την ικανότητα διείσδυσης στις διαφορές περιοχές του αναπνευστικού συστήματος. Συγκεκριμένα :

- Εισπνεύσιμα είναι αυτά που μπορούν να εισέλθουν και να αποτεθούν στο τμήμα του αναπνευστικού συστήματος της περιοχής του κεφαλιού.
- Θωρακικά αυτά που διασχίζουν το λάρυγγα και τους πνεύμονες.
- Αναπνεύσιμα είναι το μέρος των θωρακικών που φτάνει στην περιοχή όπου γίνεται η ανταλλαγή των αερίων.



Εικόνα 1.11: Ταξινόμηση σωματιδίων με βάση την ικανότητα διείσδυσης τους σε σχέση με το μέγεθος τους. (Πηγή: Σταματέλλου .Τ. Ζώγου. Ο (2010))

Τα μεγαλύτερα σωματίδια γενικά φιλτράρονται στη μύτη και το λάρυγγα και δεν προκαλούν προβλήματα, αλλά τα σωματίδια PM₁₀ μπορούν να εγκατασταθούν στους βρόγχους και τους πνεύμονες και να προκαλέσουν προβλήματα υγείας. Σωματίδια με διάμετρο <math>< 2,5 \mu m</math> (PM_{2.5}), τείνουν να εισχωρήσουν σε περιοχές ανταλλαγής αερίων του πνεύμονα, ενώ τα πολύ μικρά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 0,1μm (ultrafine particles) μπορεί αν διαπεράσουν τους πνεύμονες να έχουν επιπτώσεις και σε άλλα όργανα. Παγκοσμίως υπάρχει η εκτίμηση ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση ευθύνεται για το 1,2% των συνολικών θανάτων στον πλανήτη μας ,δηλαδή περίπου 0,8 εκατομμύρια κάθε χρόνο.

1.3.2 Άμεσες επιπτώσεις

Παρακάτω αναφέρουμε μερικές άμεσες επιπτώσεις των σωματιδίων στην υγεία μας (Μασσαρά, 2011):

- Αυξημένος κίνδυνος καρδιαγγειακών επεισοδίων .
- Αύξηση πνευμονικών παθήσεων.
- Επιδείνωση κατάστασης ασθενών με στεφανιαία νόσο και κρίσεις στηθάγχης
- Ερεθισμός αναπνευστικού συστήματος (μύτη και φάρυγγας).
- Καρκίνος των πνευμόνων.
- Μεγάλη συσχέτιση με κρίσεις άσθματος και αλλεργίων.
- Πρόκληση φλεγμονών στους αεραγωγούς και στους πνεύμονες.
- Χρόνια βρογχίτιδα .

1.4 Επίδραση στο περιβάλλον

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα έχουν πολύ σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες όπως (Μασσαρά, 2011):

- Απορροφούν και διαχέουν την ορατή ακτινοβολία περιορίζοντας την ορατότητα της ατμόσφαιρας και συμβάλλοντας αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυξάνουν έτσι την θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των υδάτων και του εδάφους.
- Χρησιμεύουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης για τη δημιουργία νεφών.
- Έχουν σημαντικό ρόλο σε χημικές αντιδράσεις.
- Επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα το κλίμα.
- Συντελούν στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος, φαινόμενο άρρηκτα συνδεδεμένο με την αύξηση της έντασης της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV)
- Καθορίζουν την ποιότητα του αέρα.
- Μετατροπή λιμνών και ποταμών σε όξινης/α .
- Μεταβολή θρεπτικής ισορροπίας σε παράλια νερά και εκβολές ποταμών .
- Επηρεάζουν τη δημιουργία νεφικών σταγονιδίων και πυρήνων πάγου καθώς και την εν γένει ατμοσφαιρική χημεία.
- Ελάττωση του πληθυσμού των ζώων .
- Διάβρωση μνημείων.

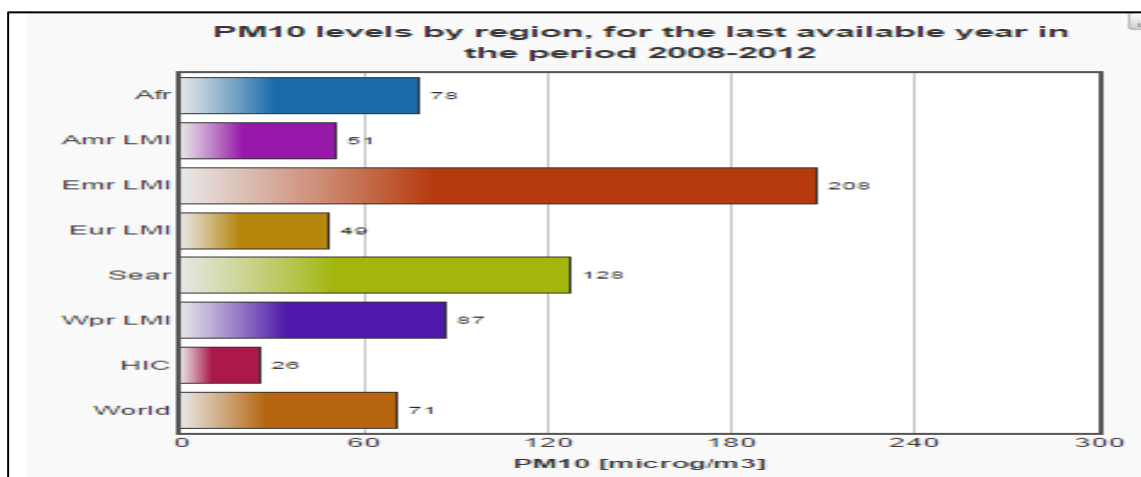
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ PM

Επιστημονικές ομάδες, πανεπιστήμια, ιδρύματα, οργανισμοί, περιβαλλοντικά ινστιτούτα σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν επικεντρωθεί στη μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων που αφορούν τον «κύκλο ζωής» τους και τις επιδράσεις τους στην καθημερινότητά μας. Υπάρχει ένας μεγάλος βιβλιογραφικός όγκος μελετών σε παγκόσμια κλίμακα καθώς και μελέτες που αφορούν τις συγκεντρώσεις σε πόλεις και περιοχές γενικότερα ανά τον κόσμο. Στις μελέτες αυτές γίνεται συσχέτιση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων με διάφορους παράγοντες όπως τις αναπνευστικές παθήσεις, τη θνησιμότητα, τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, καθώς φυσικά και διερεύνηση αιτιών που αυξάνουν/μειώνουν τις συγκεντρώσεις τους κ.α.

Στη συνέχεια παραθέτουμε χαρακτηριστικά τις συγκεντρώσεις των PM από διάφορα σημεία του πλανήτη μας. Οι αναφορές αυτές είναι προϊόν έγκυρων ερευνών και μετρήσεων ώστε να δώσουμε έναν «χάρτη παγκόσμιας συμπεριφοράς» των PM καθώς και τις αιτίες αύξησης των συγκεντρώσεων σε κάποιες των περιπτώσεων.

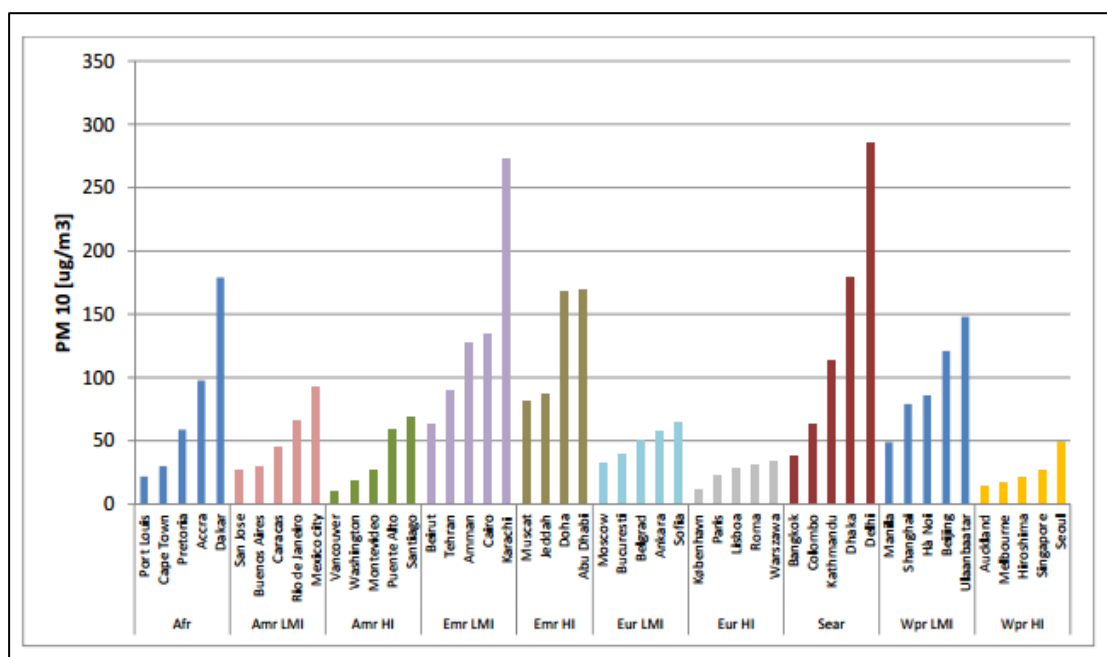
2.1 Παγκοσμιες τιμές



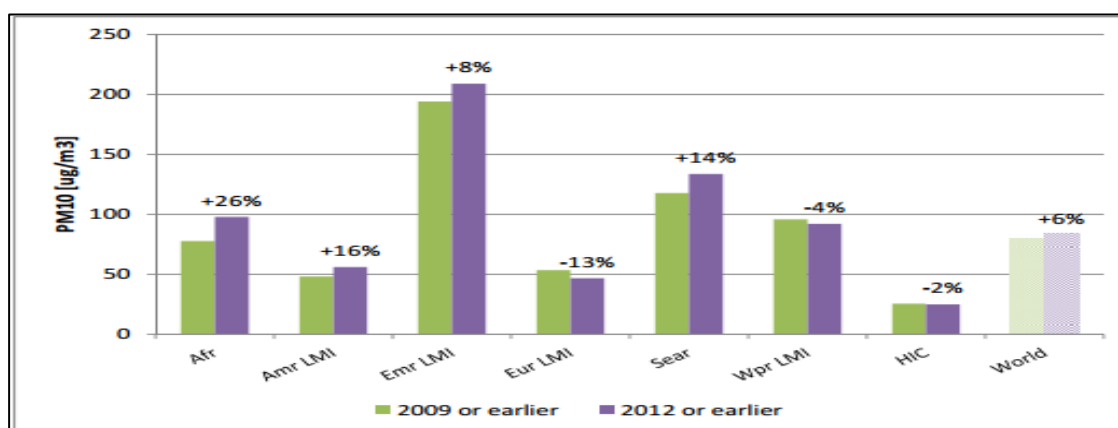
Εικόνα 2.1: Επίπεδα PM₁₀ (ετήσιες μέσες τιμές) σε παγκόσμια κλίμακα από το 2008-2012. Όπου Amr: America, Afr: Africa; Emr: Eastern Mediterranean, Sear: South-East Asia, Wpr: Western Pacific; LMI: Low- and middle-income; HI: high-income. PM₁₀ values are regional urban population-weighted. (Πηγή : WHO ,(2014))

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Από το 2008 μέχρι το 2012 ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων των PM₁₀ κυμάνθηκε από 26 μέχρι 208 µg/m³ με ένα παγκόσμιο μέσο όρο γύρω στα 71 µg/m³. Το παραπάνω διάγραμμα είναι προϊόν παρακολούθησης των συγκεντρώσεων των σωματιδίων σε 1600 πόλεις από 91 διαφορετικές χώρες .



Εικόνα 2.2: Ενδεικτικές περιοχές παγκοσμίως, καθώς και ετήσιες μέσες τιμές σε PM₁₀ από την περίοδο 2008-2012. (Πηγή: WHO, (2014))



Εικόνα 2.3: Σύγκριση συγκεντρώσεων PM₁₀ (ετήσιων μέσων όρων) σε μια περίοδο 3ετή από το 2009-2012 σε παγκόσμια κλίμακα. (Πηγή: WHO ,(2014))

Από το διάγραμμα της εικόνας (2.3) παρατηρούμε μια αύξηση στις περισσότερες των περιοχών του πλανήτη (Africa, South-East Asia κτλ) και γενικά μία αύξηση παγκοσμίως γύρω στο 6% μέσα στη τριετία 2009-2012.

2.2 Ασιατική ήπειρος : Ωκεανία

Σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσιεύθηκαν από τον οργανισμό των UN Agency World Health Organization (WHO), η Ulan Bataar (Μογγολία) είναι η πιο μολυσμένη πόλη στη Γη. Μέτρηση της ποιότητας του αέρα με βάση την μέση ετήσια τιμή συγκέντρωσης των PM₁₀ στην ατμόσφαιρα φτάνει 279 μg/m³. Ένας φοβερός αριθμός αν συγκριθεί με το 10 μg/m³ στην Canberra. Η πρωτεύουσα της Αυστραλίας είναι η λιγότερο ρυπασμένη πόλη της Ασίας-Ειρηνικού. Ακόμα και η σύγκριση με το 81 μg/m³ που καταγράφεται στη Σαγκάη (Κίνα) που είναι μια ιδιαίτερα μολυσμένη πόλη την κάνει να φαίνεται τεράστια συγκέντρωση.

Η ασιατική ήπειρος γενικά φιλοξενεί μερικές από τις πιο μολυσμένες πόλεις παγκοσμίως. Ludhiana στην Ινδία και Quetta στο Πακιστάν δίνουν αγώνα για τον τίτλο της δεύτερης πιο ρυπασμένης πόλης. Από τις δώδεκα πιο μολυσμένες πόλεις της Ασίας, η Ινδία και το Πακιστάν είναι στο «top» 11 της κατάταξης εξαιρώντας την Ulan Baatar. Το New Delhi φλερτάρει με 200 μg/m³ ενώ η παγκοσμίως φημισμένη τουριστική πόλη του Agra είναι επιπλέον διάσημη και για το δείκτη της ρύπανσης σε 165 μg/m³. Σύμφωνα με τους ειδικούς η διάβρωση του Taj Mahal είναι συνέπεια της ρύπανσης στην πόλη (Singh & Bhupendra, 2011).

Στη Νοτιοανατολική Ασία, ορισμένες πόλεις εξακολουθούν να παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Όπως στο Medan, η συγκέντρωση των PM₁₀ είναι γύρω στο 111 μg/m³, καθιστώντας την πρωτεύουσα της Βόρειας Σουμάτρας την πιο μολυσμένη στην Ινδονησία και στη Νοτιοανατολική Ασία. Ακολουθούν κατά πόδας η Yangon στη Μιανμάρ(πρώην Βιρμανία) με σωματιδιακή συγκέντρωση 96 μg/m³ η Mandalay (Μιανμάρ), Surabaya της Ινδονησίας. Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας (2.1) με της ετήσιες συγκεντρώσεις των PM₁₀ με βάση την WHO για το έτος 2013 της Ασιατικής ηπείρου και της Ωκεανίας .

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Οι πιο μολυσμένες πόλεις			Οι πιο "καθαρές" πόλεις		
City	Country	Annual mean PM10 ug/m ³			
Ulan Bataar	Mongolia	279			
Ludhiana	India	251			
Quetta	Pakistan	251		Tokyo	Japan
Peshawar	Pakistan	219		Brisbane	Australia
Kanpur	India	209		Christchurch	New Zealand
Lahore	Pakistan	200		Auckland	New Zealand
New Delhi	India	198		Perth	Australia
Karachi	Pakistan	193		Sydney	Australia
Islamabad	Pakistan	189		Wellington	New Zealand
Lucknow	India	186		Pekanbaru	Indonesia
Rawalpindi	Pakistan	185		Canberra	Australia
Indore	India	174			

Πίνακας 2.1: Κατάταξη των πόλεων με βάση τις συγκεντρώσεις σε PM₁₀ για το 2013 σε Ασία-Ωκεανία. (Πηγή: WHO)

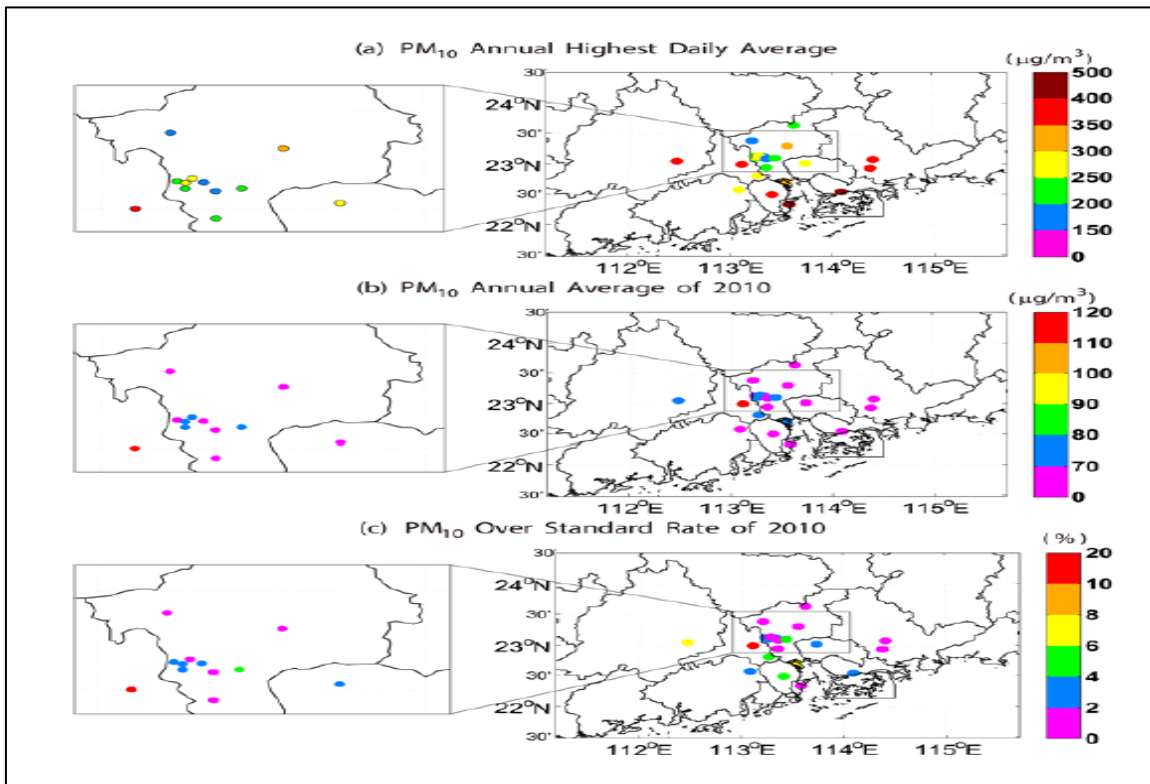
2.2.2 Ενδεικτική αναφορά : Κινεζική επικράτεια

Στην 3^η σε πληθυσμό πόλη της Κίνας το Guangzhou (νότιο-κεντρικά της Κίνας) η υψηλότερη μέση ημερήσια συγκέντρωση PM₁₀ είναι σημαντικά χαμηλότερη από ότι στις γύρω περιοχές: Foshan, Zhongshan, West Dongguan και Shenzhen (βλ.εικ.2.4a). Στο Zhongshan και τη Shenzhen, οι υψηλότερες καθημερινές συγκεντρώσεις PM₁₀ είναι 400 μg/m³ και άνω. Οι μετρήσεις είναι συνεπείς και με προηγούμενες μελέτες στην ευρύτερη περιοχή (Wang, et al., 2013) .

Στις περισσότερες περιοχές ο ετήσιος μέσος όρος είναι χαμηλότερος από τα όρια που προτείνει το NAAQS³. Σε μερικές περιοχές ο ετήσιος μέσος όρος είναι μεταξύ 70 και 80 μg/m³ (βλ.εικ.2.4b). Η υψηλότερη μέση ετήσια PM₁₀ συγκέντρωση, παρατηρείται στο Foshan, και είναι πάνω από 110 μg/m³. Το ποσοστό της non-attainment, με βάση καθημερινές συγκεντρώσεις PM₁₀, είναι επίσης χαμηλό στην περιοχή του Guangzhou (< 2% για τους περισσότερους χώρους) το 2010, (βλ.εικ.2.1c). (Liu, et al., 2013)

³ National Ambient Air Quality Standards

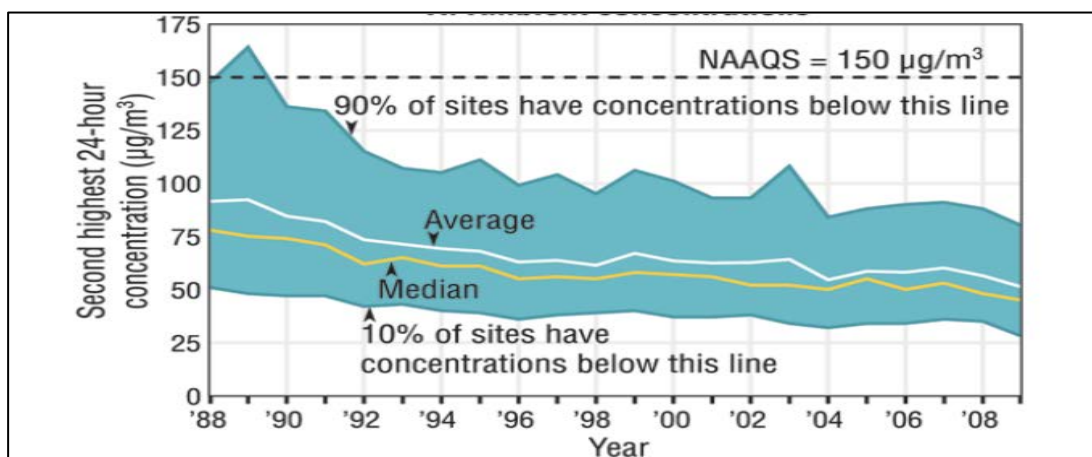
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 2.4: Ετήσιος υψηλότερος καθημερινός μέσος όρος, ετήσια συγκέντρωση και ποσοστό μη-επίτευξης οριακών καθημερινών τιμών στα αντιστοιχα τμήματα της κινεζικής επικράτειας το 2010. (Πηγή: (Liu, et al., 2013))

2.3 Αμερικάνικη Ήπειρος

2.3.1 Ενδεικτική αναφορά : Η.Π.Α



Εικόνα 2.5: 24ώρες συγκεντρώσεις PM₁₀ στην επικράτεια των Η.Π.Α από το 1988-2008. (Πηγή: U.S.EPA,(2010))

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Ο πίνακας (2.5) είναι αποτέλεσμα μετρήσεων σε 241 περιοχές παρακολούθησης από 163 πόλεις σε όλη την αμερικανική επικράτεια, σε ένα σύνολο 803 περιοχών που χρησιμοποιούνταν το 2009 για την μέτρηση των συγκεντρώσεων των PM₁₀ και μπορούν να μας προσφέρουν επαρκή δεδομένα από το 1988. Το 2009 η μέση αμερικάνικη 24ωρη συγκέντρωση ήταν 44% χαμηλότερη από το μέσο όρο του 1988. Όλα τα δεδομένα δείχνουν μια σταθερή μείωση στις 24ωρες συγκεντρώσεις των PM₁₀ κατά την περίοδο αυτή. Η μείωση αυτή ήταν πιο έντονη στην Βορειοδυτική Αμερική (πολιτείες του Oregon, Idaho, Montana, Washington⁴)

2.3.2 Ενδεικτική αναφορά : Πόλη του Μεξικού

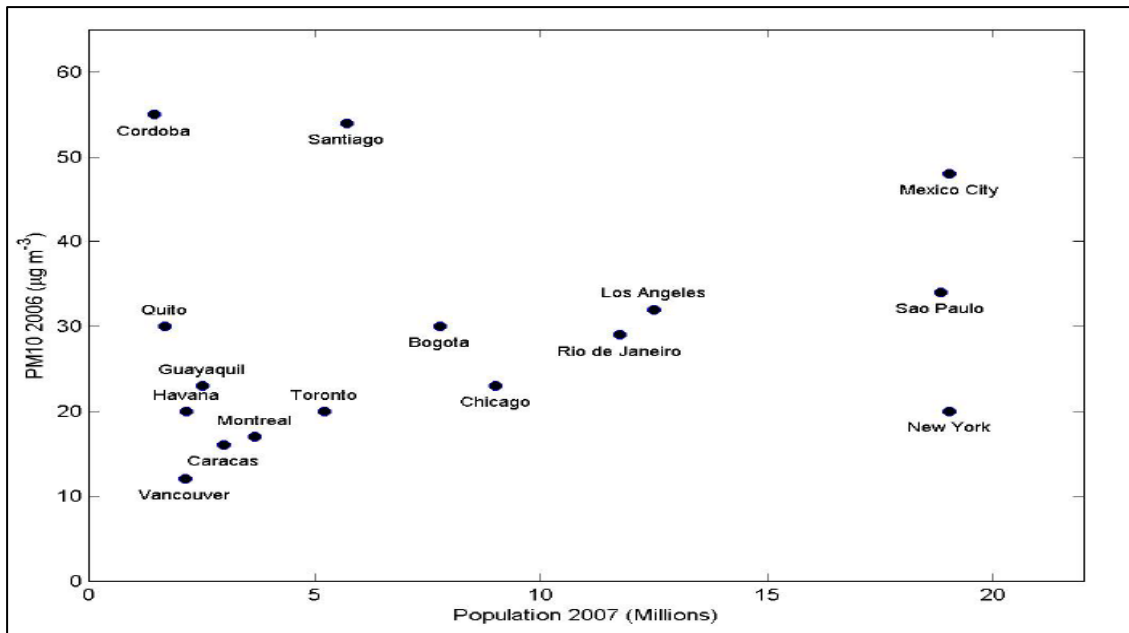
Οι συγκεντρώσεις ρύπων στην πόλη του Μεξικού δείχνουν ένα διακριτό μοτίβο σε εβδομαδιαίες μεταβολές παρόμοιο με εκείνο που παρατηρείται σε πολλές άλλες πόλεις του κόσμου . Μετρήσεις των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα , των οξειδίων του αζώτου, των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ , και του όζοντος συλλέγονται ανά ώρα πάνω από 22 χρόνια (1986-2007) σε 39 τοποθεσίες αστικού περιβάλλοντος (urban). Οι πρωινές συγκεντρώσεις του CO , των NO_x και των PM₁₀ είναι χαμηλότερες τα Σάββατα και ακόμα περισσότερο τις Κυριακές, σε σύγκριση με τις εργάσιμες ημέρες (Δευτέρα έως Παρασκευή) (Stephens, et al., 2008) .

Σύνολο συγκεντρώσεων				Αριθμός μετρήσεων ανά σταθμό , ανά έτος			
Year	PM ₁₀ μg m ⁻³			PM ₁₀			
	M-F	Sat	Sun	SE	SW	NW	CT
1986				0	0	0	0
1987				0	0	0	0
1988				0	0	0	0
1989				0	0	0	0
1990				0	0	0	0
1991				0	0	0	0
1992	131	125	91	134	119	0	259
1993	143	144	130	280	339	0	658
1994	89	92	71	364	345	0	671
1995	94	82	71	728	364	0	1092
1996	108	106	77	670	335	0	1005
1997	107	107	92	728	364	0	1092
1998	104	104	89	728	364	0	1092
1999	80	72	57	728	364	0	1092
2000	75	78	56	847	680	202	1124
2001	78	76	60	991	1012	325	1333
2002	79	68	57	890	1073	341	1091
2003	85	82	66	872	1064	345	1323
2004	80	68	58	724	1078	359	1132
2005	84	86	66	838	1081	363	1049
2006	78	70	61	1004	906	346	874
2007	76	74	54	1036	1044	364	822

Πίνακας 2.2: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM₁₀ στην πόλη του Μεξικού τις εργάσιμες μέρες (M-F), Σαββάτου (Sat) και Κυριακής (Sun). 3ωροι μέγιστοι μέσοι όροι από το σύνολο των σταθμών και ημερών του έτους καθώς και ημέρες παρακολούθησης σε κάθε σταθμό (SE, SW, NW, CT) ανά έτος . Ο μέσος όρος κάθε μέρας λαμβάνεται μεταξύ των τριών μεγαλύτερων τιμών από τις 7π.μ μέχρι το απόγευμα .(Πηγή: (Stephens, et al., 2008))

⁴ Η αναφορά είναι για την πολιτεία και όχι την πρωτεύουσα των Η.Π.Α Washington D.C

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 2.6: Πίνακας μέσων συγκεντρώσεων των PM₁₀ το 2006 σε 16 μεγάλες πόλεις της Αμερικανικής ηπείρου σε σχέση με το πληθυσμό τους. (Πηγή : (Munoz & Alcañiz, 2012))

2.4 Ευρωπαϊκή επικράτεια

Περίπου το 55% του πληθυσμού της Ευρώπης έχει εκτεθεί σε μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις άνω των 20 µg/m³. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εκτιμά ότι περίπου το 64-83% του αστικού πληθυσμού στην ΕΕ⁵ εκτίθεται σε επίπεδα πάνω από το επίπεδο αναφοράς.

Λίγο περισσότερο από το μισό (52%) του πληθυσμού της Ευρώπης το 2012 ζούσε σε περιοχές όπου η ετήσια μέση συγκέντρωση των PM₁₀ υπολογίστηκε μεταξύ των 20 και 40 µg/m³. Περίπου το 3,4% του πληθυσμού ζούσε σε περιοχές όπου σημειώθηκε υπέρβαση πάνω από 5% της ετήσιας οριακής τιμής, όπως η Βουλγαρία, Κύπρος, ΠΓΔΜ, Πολωνία και Σερβία (Horalek, et al., 2015).

⁵ Ευρωπαϊκή Ένωση

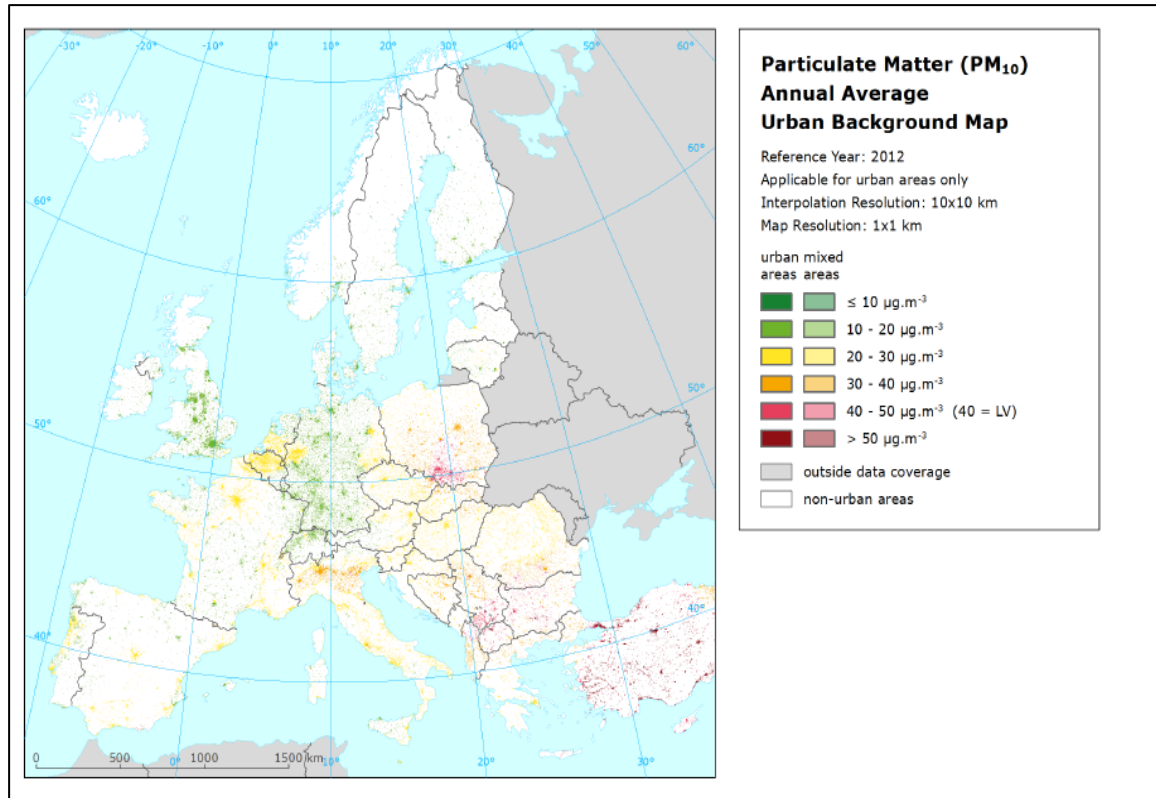
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Country	Population [inhbs . 1000]	PM ₁₀ annual average, exposed population [%]					
		< 10 µg.m ⁻³	10 - 20 µg.m ⁻³	20 - 30 µg.m ⁻³	30 - 40 µg.m ⁻³	40 - 45 µg.m ⁻³	> 45 µg.m ⁻³
Albania	2 865	0.0	8.3	27.1	61.4	3.2	
Andorra	78		10.5	8.4	81.1		
Austria	8 408	1.6	39.3	59.1			
Belgium	11 095		8.9	91.1			
Bosnia & Herzegovina	3 839		16.1	40.9	43.1		
Bulgaria	7 327	0.0	4.3	23.7	26.3	38.7	6.9
Croatia	4 276		9.5	85.9	4.5		
Cyprus	862		0.2	12.6	12.2	73.3	1.7
Czech Republic	10 505	0.0	13.5	73.8	8.4	4.3	
Denmark	5 581	0.1	99.3	0.6			
Estonia	1 325	27.0	73.0				
Finland	5 401	38.6	61.4				
France	63 379	0.1	42.0	56.5	1.5	0.0	
Germany	80 328	0.1	78.3	21.6			
Greece	11 123		3.5	71.3	20.3	1.4	3.6
Hungary	9 932		0.2	93.4	6.4		
Iceland	320	68.6	31.4				
Ireland	4 583	14.9	85.1	0.0			
Italy	59 394	0.1	15.5	55.4	28.9	0.1	
Latvia	2 045	2.3	54.2	43.5			
Liechtenstein	36	1.4	98.6				
Lithuania	3 004		87.4	12.6			
Luxembourg	525		100.0				
Macedonia, FYR of	2 060		6.2	14.5	16.1	30.4	32.7
Malta	418			100.0			
Monaco	37		0.1	99.9			
Montenegro	621	0.1	23.1	28.2	47.7	0.9	
Netherlands	16 730		24.3	75.7			
Norway	4 986	37.9	61.0	1.1			
Poland	38 538		5.3	37.4	37.6	19.7	
Portugal	10 542	0.4	42.7	56.8	0.1		
Romania	20 096		4.1	63.2	28.6	4.2	
San Marino	32		11.6	88.4			
Serbia (incl. Kosovo)	9 015	0.0	2.8	27.0	47.4	21.7	1.3
Slovakia	5 404		1.6	68.7	29.7	0.0	
Slovenia	2 055	0.0	12.8	87.2			
Spain	46 818	1.7	37.7	59.2	0.7	0.7	0.0
Sweden	9 483	19.1	80.9				
Switzerland	7 955	2.1	86.2	11.7			
United Kingdom	63 495	2.4	95.2	2.4			

Πίνακας 2.3: Τιμές μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων PM₁₀ ανα κατηγορίες και εκθεση του πληθυσμού επι της % σε σχέση με το συνολικό πληθυσμό της κάθε χώρας της ΕΕ των 28 εταίρων . 2012 . (Πηγή: (Horalek, et al., 2015))

Από τον πίνακα (2.4) παρατηρούμε για την Ελλάδα ότι το 71,3 % του πληθυσμού εκτίθεται σε ετήσιες συγκεντρώσεις από 20-30 µg/m³ ενώ το 91,6% σε συγκεντρώσεις από 20-40 µg/m³. Αυτό είναι λογικό αφού παραπάνω από τα ¾ του πληθυσμού ζει στα αστικά κέντρα και κατά κύριο λόγο στην Αθήνα και την Θεσσαλονίκη που συγκεντρώνουν την πλειοψηφία των πολιτών της χώρας.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 2.7: Ετήσιοι μέσοι όροι συγκεντρώσεων PM₁₀ σε αστικές ευρωπαϊκές περιοχές το 2012. (Πηγή: (Horalek, et al., 2015))

2.4.1 Μεσογειακές Χώρες

Ετήσιοι μέσοι όροι των PM₁₀ σε όλη τη Μεσογειακή Λεκάνη αντανακλούν την μεγάλη χωρική μεταβλητότητα με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου (21-24 μg/m³). Αντίθετα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις PM₁₀ (9-11 μg/m³) παρατηρούνται σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου από τα δυτικά προς τα ανατολικά της Μεσογείου.

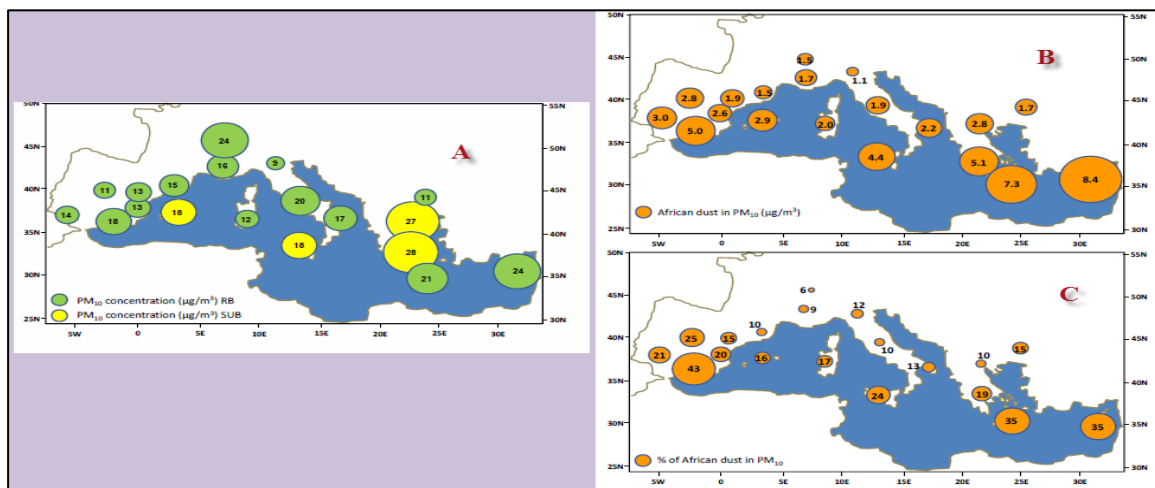
Συγκεντρώσεις ενδιάμεσες PM₁₀ καταγράφονται στο υπόλοιπο των τόπων με πιο υψηλές τιμές σε πυκνοκατοικημένες ή /και βιομηχανικές περιοχές, και στη Βόρεια Αφρική. Αυτή είναι η περίπτωση της Ρώμης (20 μg/m³), Viznar, κοντά στη Γρανάδα και την Βόρεια Αφρική (18μg/m³), Montseny, στην βιομηχανική περιοχή της Βαρκελώνης (15μg/m³).

Οι μέσες συγκεντρώσεις PM₁₀ σε περιστασιακά περιβάλλοντα είναι πολύ υψηλότερες σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη (27-28 μg/m³) από ό, τι στη Σικελία ή

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

τη Μαγιόρκα (18 μg/m³). Συνολικά, υπάρχει μία αύξηση των συγκεντρώσεων από ΒΔ προς ΝΑ της Μεσογείου λόγω της υψηλής επιρροής των ανθρωπογενών εκπομπών.

Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με το ότι οι χαμηλότερες συχνότητες σε γεγονότα Αφρικανικής σκόνης παρατηρούνται στην κεντρική, βόρειοανατολική Ισπανία, Σουηδία, Γαλλία και τη βόρεια Ιταλία (17-18%) σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στην Σικελία (37%), Κύπρος (34%, η οποία επηρεάζεται και από την σκόνη της ερήμου Negev της Μέσης Ανατολής), κεντρική Ιταλία, Ελλάδα (24%) εξηγούν την αύξηση των συγκεντρώσεων στην νοτιοανατολική Μεσόγειο. (Pey, et al., 2013)



Εικόνα 2.8: Α/ Ετήσιες συγκεντρώσεις PM₁₀ σε Ευρωπαϊκές Μεσογειακές χώρες . Β/ Τιμές συγκεντρώσεων συνεισφοράς της Αφρικανικής σκόνης στις τιμές των μέσων συγκεντρώσεων PM₁₀ του πίνακα Α . C/ ποσοστιαία επι της % συνεισφορά της Αφρικανικής σκόνης στις συγκεντρωτικές τιμές του πίνακα Α . Περίοδος 2001-2011. (Πηγή: (Pey, et al., 2013))

2.5 Ελληνική επικράτεια

2.5.1 Ενδεικτική αναφορά : Αθήνα και Θεσσαλονίκη

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα πάνω από τα μεγάλα αστικά κέντρα στην Ελλάδα είναι υψηλά σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές πόλεις που έχουν το ίδιο μέγεθος. Στα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας, Αθήνα και Θεσσαλονίκη, κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας (δηλαδή, 2001-2010) έχουμε μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM₁₀ σε αστικό (urban) περιβάλλον να κυμαίνονται στην Αθήνα από 32,3 έως 62,5 μg /m³ ενώ σε περιαστικό

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

(suburban) περιβάλλον από 21,5 έως 62,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αντίστοιχα στη Θεσσαλονίκη οι τιμές κυμαίνονται 41,7 έως 70,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τους αστικούς σταθμούς, και 23,4 έως 51,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τους περιαστιακούς. Ο υψηλότερος και ο χαμηλότερος μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων των PM₁₀ στους αστικούς σταθμούς της Αθήνας παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου / χειμώνα και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αντίστοιχα. Για το περιαστιακό περιβάλλον οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της άνοιξης και οι χαμηλότερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η Θεσσαλονίκη, το φθινόπωρο εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές και το καλοκαίρι τις χαμηλότερες τιμές τόσο για το αστικό όσο και για το περιαστιακό περιβάλλον.

Οι αστικοί σταθμοί στη Θεσσαλονίκη παρουσίασαν υψηλότερες συγκεντρώσεις PM₁₀, σε σύγκριση με εκείνους στην Αθήνα, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην πιο εντατική βιομηχανική δραστηριότητα στην πόλη. Η εποχική διακύμανση φαίνεται να είναι διαφορετική μεταξύ των αστικών και περιαστιακών σταθμών σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη (Triantafyllou & Biskos, 2012).

Σε μια άλλη εργασία στην Αττική (από τις 9/2005 μέχρι τις 8/2006) παρατηρήθηκαν ότι οι μέσες 24ωρες τιμές των PM₁₀ είναι 53,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (σταθμός Γουδιού :GOU) και 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (σταθμός Λυκόβρυσης :LYK). Οι τιμές βρέθηκαν να υπερβαίνουν ποσοστιαία κατά 44% και 51% την οριακή τιμή των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα στους δύο σταθμούς, καθώς και ο αριθμός των υπερβάσεων ήταν μεγαλύτερος από το κρίσιμο αριθμό των 35 φορών και στους δύο σταθμούς σε ένα ημερολογιακό έτος. Ακόμα και το όριο των 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ξεπεράστηκε κατά 79% και 72% σε κάθε περίπτωση. Υψηλές τιμές παρατηρήθηκαν και στα PM_{2,5} και PM₁ και στους δύο σταθμούς. Με βάση τη μελέτη παρατηρήθηκε και μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των τιμών των PM_{2,5} και PM₁₀ ($r=0,63$). Ο λόγος PM_{2,5} /PM₁₀ για την περιοχή του Γουδιού/ urban station ήταν 0,56 ενώ στο σταθμό της Λυκόβρυσης/ suburban station ήταν 0,37. Η μικρότερη τιμή στη περίπτωση της Λυκόβρυσης οφείλεται στην μορφολογία της περιοχής (κυρίως χωματοδρόμους και μεγάλα μη οικοδομήσιμα τμήματα) που ευνοούν της επαναιώρηση των τοπικών σωματιδίων του εδάφους (Theodosi, et al., 2011).

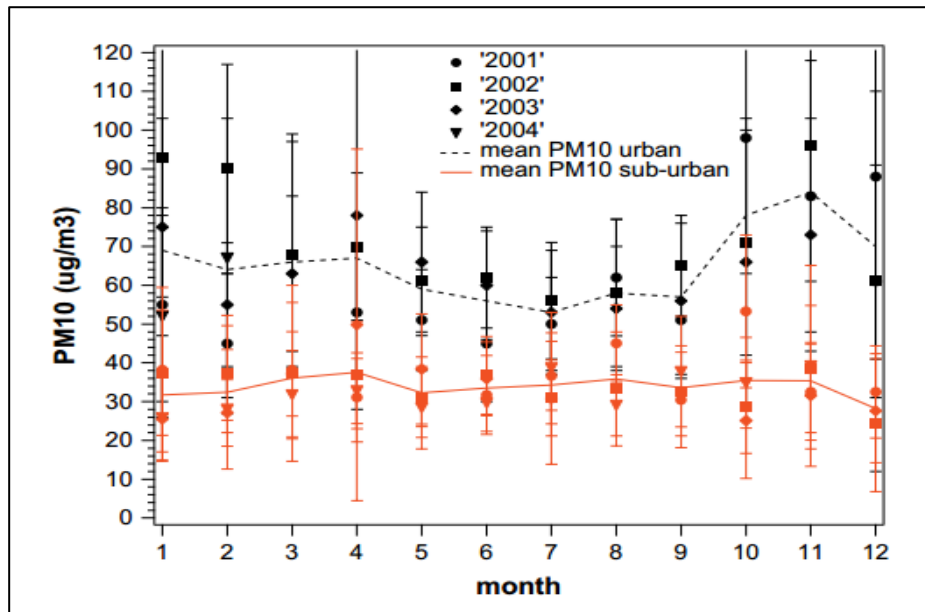
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Location		Average	Stdev	Median	Min	Max
This Study, Lykovrissi	PM ₁	18.6	9.1	16.9	3.1	58.9
	PM _{2.5}	23.5	10.8	21.8	4.6	71.2
	PM ₁₀	59.0	28.4	51.8	11.3	197.3
This Study, Goudi	PM ₁	20.2	7.4	18.7	8.2	43.8
	PM _{2.5}	29.4	10.3	28.4	11.5	67.7
	PM ₁₀	53.6	29.6	47.7	18.7	299.9

Πίνακας 2.4: Ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις PM και στατιστικά σε σταθμούς της Λυκόβρυσης και Γουδίου από το 9/2005 -8/2006 . (Πηγή : (Theodosi, et al., 2011))

Σχετικά με τη Θεσσαλονίκη σε μια άλλη εργασία διάρκειας τεσσάρων ετών (2001-2004) παρακολουθούμε τις μέσες μηνιαίες τιμές των PM₁₀ στους σταθμούς της Αγίας Σοφίας / urban station και του Πανοράματος / background urban station. Οι τυπικές αποκλίσεις της κάθε μηνιαίας μέσης τιμής δίδονται στο διάγραμμα (βλ.εικ. 2.9) ως ράβδοι σφάλματος. Στο αστικό περιβάλλον της Αγίας Σοφίας οι μέσες συγκεντρώσεις PM₁₀ κατά τη περίοδο που μελετήθηκαν ήταν υψηλότερη κατά 66 μg/m³ με υψηλότερες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στις αυξημένες ανθρωπογενείς δραστηριότητες (κεντρική θέρμανση, κίνηση). Αντίθετα η μέση μηνιαία τιμή των PM₁₀ στην υποαστική περιοχή του Πανοράματος είναι σημαντικά χαμηλότερη κατά μέσο όρο 34μg/m³. Η διαφορά στην μάζα μεταξύ των σταθμών θα μπορούσε να είναι η μέση συμβολή των τοπικών πηγών στη συνολική συγκέντρωση PM₁₀ στη Θεσσαλονίκη. Παρατηρήσεις αποκαλύπτουν ότι οι αστικές πηγές ακολουθούν ένα εποχικό πρότυπο με συμβολή περίπου κατά μέσο όρο 40μg/m³ κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος) και 20 μg/m³ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος-Αύγουστος) (Katragkou, et al., 2009).

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 2.9: Μέσες μηνιαίες τιμές συγκεντρώσεων PM₁₀ στους σταθμούς Α.Σοφίας (μαύρο χρώμα) και Πανοράματος (πορτοκαλί χρώμα) στη Θεσ/νίκη για το 2001-2004. (Πηγή: (Katragkou, et al., 2009))

Τέλος στον πίνακα (2.6) δίνονται οι μέσες ετήσιες 24ωρες συγκεντρώσεις των διαφόρων σταθμών της Αττικής από το 2001-2013. Ειδικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές της Αγίας Παρασκευής που προέρχονται από γειτονικό σταθμό σε σχέση με τον σταθμό μετρήσεων της δικιάς μας εργασίας εντός του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ».

	ΠΕΙ-1	ΜΑΡ	ΛΥΚ	ΑΓ-ΠΑΡ	ΑΡΙ	ΘΡΑ	ΚΟΡ	ΕΛΕ*
2001	58	55	60	47	55	31		
2002	62		62	38	54	34		
2003			58	37	56	32		
2004		29	63	40	58	33		
2005		46	53	41	53	33		
2006		48(2)	59(4)	34(5)	57(3)	27(4)		
2007	47(4)	48(2)	55(4)	28(3)	51(4)	213)		
2008	33(2)	48(3)	55(7)	28(3)	57(6)	27(3)	42(3)	
2009	35(3)	43(3)	43(5)	26(4)	49(4)	30(2)	32(4)	47(5)
2010	44(3)	41(3)	39(4)	28(2)	49(5)	37(4)	36(4)	48(3)
2011	44(1)	42(1)	30(1)	23(1)	42(1)	30(1)	22(1)	31(0)
2012	39(1)	31(0)	37(2)	23(1)	31(1)	27(1)	27(1)	37(1)
2013	37(5)	35(4)	42(5)	26(4)	40(8)	29(6)		38(9)

Με κόκκινη γραφή σημειώνονται οι υπερβάσεις της οριακής τιμής
 Στις παρενθέσεις εμφανίζεται η εκτιμώμενη συνεισφορά μεταφοράς σκόνης σε µg/m³ από απομακρυσμένες ξηρές περιοχές (π.χ. Σαχάρα) στη μετρούμενη συγκέντρωση της μέσης τιμής ΑΣ₁₀.
 *Η μέση τιμή προέκυψε από ενδεικτικές μετρήσεις ομαλά κατανομημένες στη διάρκεια του έτους

Πίνακας 2.5: Σύγκριση μέσων ετήσιων 24ωρων τιμών PM₁₀ σε µg/m³ ανά έτος με την οριακή τιμή. (Πηγή: Ετήσια έκθεση 2013 Ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ -ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - Δ/ΝΣΗ ΕΑΡΘ- ΤΜΗΜΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ,(ΜΑΙΟΣ 2014))

2.5.2 Ορία ενημέρωσης και συναγερμού στην Ελλάδα

Η κοινοτική νομοθεσία δεν διαθέτει όρια ενημέρωσης του πληθυσμού και συναγερμού για τα PM₁₀. Για αυτό το λόγο για την αντιμετώπιση της

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀**

ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αιωρούμενα σωματίδια, εκδόθηκε η ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272B/23-12-2013), η οποία θεσμοθετεί επίπεδα συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, καθορίζει μέτρα ενημέρωσης και προστασίας του πληθυσμού καθώς και μέτρα μείωσης εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, τη βιομηχανία-βιοτεχνία και την κυκλοφορία οχημάτων ανάλογα με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων.

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ
Αιωρούμενα Σωματίδια ΑΣ ₁₀	24 ώρες	51-75 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού
		76-100 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό
		101-150 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό, μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία
		>150 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό, μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία

Πίνακας 2.6: Όρια ενημέρωσης και συναγερμού για τα PM₁₀. (Πηγή: Ετήσια έκθεση 2013 Ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ -ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ -Δ/ΝΣΗ ΕΑΡΘ- ΤΜΗΜΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ,(ΜΑΙΟΣ 2014))

3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ⁶)

Το πρόβλημα των αιωρούμενων σωματιδίων, με το πέρασμα των χρόνων, γίνεται όλο και πιο έντονο και είναι συνεχώς στο επίκεντρο των συζητήσεων μεταξύ των επιστημόνων παγκοσμίως. Η σοβαρότητα του προβλήματος, αν και δεν αποτελεί σημερινό φαινόμενο, οδήγησε τους διεθνείς οργανισμούς να συνεργαστούν και να θεσπίσουν οδηγίες με σκοπό την αντιμετώπιση και τη μείωση του προβλήματος. Οι οδηγίες αυτές ενσωματώθηκαν πλήρως ή μερικώς από τα κράτη. Ένα τέτοιο νομοθετικό πλαίσιο έχει θεσπίσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση για τις χώρες μέλη, το οποίο εισήχθη και στο ελληνικό δίκαιο με μια σειρά υπουργικών αποφάσεων, προεδρικών διαταγμάτων και κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα οποία στηρίζουν τη διαχείριση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Οι νόμοι και οι οδηγίες που έχει εκδόσει η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση διαπραγματεύονται διάφορα είδη πρότυπα ελέγχου, διαχείρισης και ορίων προκειμένου να εξασφαλιστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η προστασία της ανθρώπινης υγείας και των οικοσυστημάτων ανάλογα με τον ρύπο, τα όρια εκπομπών για τους διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους, τον πρότυπο τρόπο μέτρησης των ρύπων σε κάθε περίπτωση, καθώς και τις προδιαγραφές αυτών των συστημάτων μέτρησης.

Θεμέλιο λίθο των κατευθυντήριων γραμμών αποτελεί η οδηγία 96/62/ΕΚ της 27^{ης} Σεπτεμβρίου του 1996 η οποία κατόπιν συμπληρώθηκε και με μια σειρά άλλων που ακολούθησαν όπως οδηγία 1999/30/ΕΚ του Συμβουλίου, της 22^{ας} Απριλίου 1999, σχετικά με τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και του μόλυβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος. Ακολούθως η οδηγία 2000/69/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16^{ης} Νοεμβρίου 2000, για τις οριακές τιμές του βενζολίου και του μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα, η οδηγία 2002/3/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 12^{ης}

⁶ Η οδηγία ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία σύμφωνα με την. Η.Π. 14122/549/Ε.103 –ΦΕΚ 30/3/2011 Αρ.Φύλλου 488

Φεβρουαρίου 2002, σχετικά με το όζον στην ατμόσφαιρα. Επίσης η απόφαση 97/101/ΕΚ του Συμβουλίου, της 27ης Ιανουαρίου 1997, καθιερώνει την διαδικασία για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων που προέρχονται από τα δίκτυα και τους μεμονωμένους σταθμούς μέτρησης της ρύπανσης του αέρα στα κράτη μέλη και επιβάλλει ουσιαστικά σε αυτά να ενσωματώσουν τις πλέον πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της υγείας και της επιστήμης. **Τέλος εκδόθηκε την 21η Μαΐου 2008 η πιο πρόσφατη Οδηγία (2008/50/ΕΚ) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου** όπου μερικά από τα σημαντικά σημεία της, παρουσιάζονται παρακάτω.

3.1 Χαρακτηριστικές κατευθύνσεις οδηγίας

- Θα πρέπει να υπάρχει κοινή προσέγγιση όσον αφορά την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με βάση κοινά κριτήρια εκτίμησης. Κατά την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος των πληθυσμών και των οικοσυστημάτων που εκτίθενται στη ρύπανση.

- Για να εξασφαλιστεί ότι, οι συλλεγόμενες πληροφορίες όσον αφορά την ποιότητα του αέρα είναι επαρκώς αντιπροσωπευτικές και συγκρίσιμες, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται τυποποιημένες τεχνικές μέτρησης και κοινά κριτήρια για τον αριθμό και την τοποθεσία των σταθμών μέτρησης όσον αφορά την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Δεδομένου ότι επιτρέπεται η χρησιμοποίηση και άλλων τεχνικών, για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, είναι απαραίτητο να καθοριστούν κριτήρια για τη χρήση και την απαιτούμενη ακρίβεια των εν λόγω τεχνικών.

- Οι σταθερές μετρήσεις θα πρέπει να είναι υποχρεωτικές σε ζώνες και οικισμούς όπου παρατηρείται υπέρβαση των μακροπρόθεσμων στόχων για το όζον ή των ορίων εκτίμησης για άλλους ρύπους. Οι πληροφορίες από σταθερές μετρήσεις μπορούν να συμπληρώνονται με τεχνικές προσομοίωσης ή/και

ενδεικτικές μετρήσεις προκειμένου να δίνεται η δυνατότητα ερμηνείας των στοιχείων του εκάστοτε σημείου ως προς τη γεωγραφική κατανομή της συγκέντρωσης. Η χρήση συμπληρωματικών τεχνικών εκτίμησης θα επιτρέψει επίσης τη μείωση του απαιτούμενου ελάχιστου αριθμού σταθερών σημείων δειγματοληψίας.

- Κρίνεται σκόπιμο να προβλεφθεί η δυνατότητα προσαρμογής στην επιστημονική και τεχνική πρόοδο τόσο των κριτηρίων και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα όσο και των πληροφοριών που θα πρέπει να παρέχονται.

3.2 Μέθοδος αναφοράς για τη δειγματοληψία και τη μέτρηση των PM₁₀

Η μέθοδος αναφοράς για τη δειγματοληψία και τη μέτρηση των σωματιδίων PM₁₀ περιγράφεται στο πρότυπο EN 12341:1999 το οποίο αντικαταστάθηκε από την οδηγία EN 12341:2014⁷ με τίτλο :

«Ποιότητα αέρα του περιβάλλοντος - Πρότυπη σταθμική μέθοδος μέτρησης για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης PM₁₀ ή PM_{2,5}» ή « Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter»

3.3 Απόδειξη ισοδυναμίας

- Κάθε κράτος-μέλος έχει το δικαίωμα να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε άλλη μέθοδο, εφόσον είναι σε θέση να αποδείξει ότι η μέθοδος αυτή καταλήγει σε αποτελέσματα ισοδύναμα με κάποια από τις μεθόδους που αναφέρονται στην οδηγία ή, όσον αφορά τα σωματίδια, οποιαδήποτε άλλη μέθοδο για την οποία το κράτος-μέλος μπορεί να αποδείξει ότι έχει συνεπή σχέση προς τη μέθοδο αναφοράς. Στις περιπτώσεις αυτές, οι

⁷ Για την συγκεκριμένη οδηγία και την σταθμική μέθοδο θα γίνει αναλυτική αναφορά στο 4^ο Κεφάλαιο

μετρήσεις/αποτελέσματα που λαμβάνουμε με τη μέθοδο αυτή πρέπει να διορθώνονται ώστε να παράγονται αποτελέσματα ισοδύναμα προς τα προκύπτοντα με τη χρήση της μεθόδου αναφοράς.

- Η Επιτροπή μπορεί να απαιτεί από το κράτος-μέλος να εκπονεί και να υποβάλλει έκθεση σχετικά με την απόδειξη ισοδυναμίας.
- Εάν το κράτος-μέλος χρησιμοποιεί προσωρινούς συντελεστές για κατά προσέγγιση ισοδυναμία, αυτοί επιβεβαιώνονται ή/και τροποποιούνται βάσει των οδηγιών της Επιτροπής.
- Τα κράτη-μέλη μεριμνούν, ώστε ανάλογα με την περίπτωση, οι αντίστοιχες διορθώσεις να εφαρμόζονται και αναδρομικά για τα δεδομένα μετρήσεων του παρελθόντος, με στόχο να βελτιωθεί η συγκρισιμότητα των δεδομένων.

3.4 Οριακές τιμές

Σε αντίθεση με τη μεγάλη προσπάθεια διαχείρισης και διασφάλισης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια PM στην ευρωπαϊκή νομοθεσία δεν προβλέπεται όριο συναγερμού, αλλά καθορίζεται οριακή τιμή για την προστασία της υγείας των ανθρώπων..

Η παλαιότερη θυγατρική Οδηγία της Ε.Ο.Κ (Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα) για τα PM, που είχε εκδοθεί το 1983, αναφερόταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) και πρότεινε τις παρακάτω τιμές:

- 80μg/m³ – Ετήσια τιμή (μέσος όρος 24ωρων μετρήσεων).
- 130μg/m³ –Τιμή χειμερινής περιόδου (μέσος όρος 24ωρων μετρήσεων).
- 250μg/m³ - 98^ο εκατοστημόριο των 24ωρων μετρήσεων του έτους.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Κατόπιν πέρασαν πολλά χρόνια με νέες οδηγίες που έρχονταν και συμπλήρωναν τις παλαιότερες, προσαρμοσμένες στα νέα δεδομένα της κάθε εποχής. **Στην πιο πρόσφατη Οδηγία (2008/50/ΕΚ) οι οριακές τιμές για τα PM₁₀ δίνονται στον πίνακα (3.1) ενώ για τα PM_{2.5} στον πίνακα (3.2) αντίστοιχα.**

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
Μόλυβδος			
Ημερολογιακό έτος	0,5 µg/m ³ ⁽³⁾	100 %	— ⁽³⁾
ΑΣ₁₀			
1 ημέρα	50 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50 %	— ⁽¹⁾
Ημερολογιακό έτος	40 µg/m ³	20 %	— ⁽¹⁾

Πίνακας 3.1: Οριακή τιμή PM₁₀ σε µg/m³ ανά ημέρα και ανά έτος .(Πηγή :Οδηγία 2008/50/ΕΚ)

PM_{2,5}			
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογιακό έτος	25 µg/m ³	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/m ³		1η Ιανουαρίου 2020
<small>⁽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 τεχνικός εκφυκτού και της εμπειρίας από την τιμή στόχο στα κράτη μέλη.</small>			

Πίνακας 3.2: Οριακή τιμή PM_{2,5} σε µg/m³ ανά έτος .(Πηγή :Οδηγία 2008/50/ΕΚ)

Σχετικά με τα PM₁₀ ήδη από το 2005 το ημερήσιο όριο ανέρχεται στα 50 µg/m³, όριο το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος και το περιθώριο ανοχής είναι 50%. Αναφορικά με την μέση ετήσια τιμή ανά ημερολογιακό έτος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 µg/m³, ενώ το περιθώριο ανοχής είναι 20%.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Για τα PM_{2,5} τέθηκαν εθνικοί στόχοι με βάση το Δείκτη Μέσης Έκθεση (ΔΜΕ) οι οποίοι πρέπει να έχουν επιτευχθεί μέχρι το 2020, τιμές στόχοι και οριακές τιμές. Ο δείκτης μέσης έκθεσης εκφράζεται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (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. Ο ΔΜΕ για το έτος αναφοράς 2010 είναι η μέση συγκέντρωση για τα έτη 2008, 2009 και 2010. Η τιμή στόχο που πρέπει να είχε επιτευχθεί μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2010 για τα PM_{2,5} είναι τα $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ετήσια βάση (1^ο στάδιο) ενώ η οριακή τιμή, που πρέπει να έχει επιτευχθεί μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2020, σε ετήσια βάση είναι τα $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2^ο στάδιο).

4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ PM ΜΕ ΤΗΝ ΣΤΑΘΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ (ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ /RM) ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ EN12341/2014

Για να υπολογίσουμε τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και συγκεκριμένα των PM έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι δειγματοληψίας με διαφορετικές τεχνικές όπως αυτή που βασίζεται στη διήθηση ή άλλες στην πρόσκρουση (όπως αυτή που περιγράφεται παρακάτω και σχετίζεται με την αρχή λειτουργίας των δειγματοληπτών της εργασίας μας) ή και στις θερμικές και ηλεκτροστατικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων.

Οι μέθοδοι αναφοράς που έχουν αναπτυχθεί στηρίζονται στον σταθμικό προσδιορισμό των αιωρούμενων σωματιδίων.

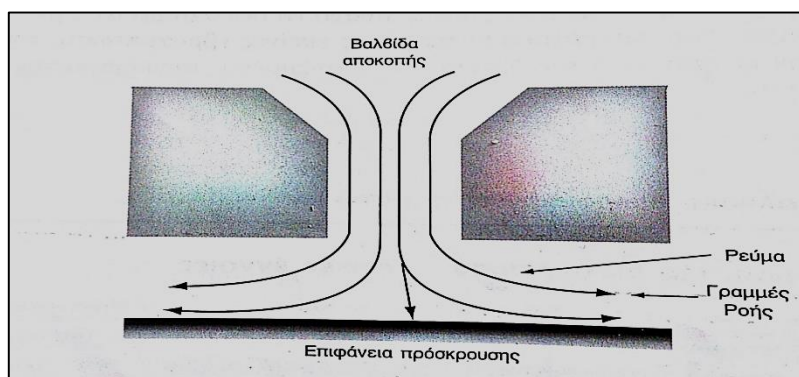
4.1 Προσκρούστες διαχωρισμού

Είναι από τις πιο παλιές μεθόδους συλλογής και μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων και όπως είναι προφανές από το όνομα της, βασίζεται στην αρχή της πρόσκρουσης.

Τα σωματίδια μέσω ροής, κατευθύνονται μέσα από μια οπή προς μια επιφάνεια πρόσκρουσης που μετατοπίζει σημαντικά την ροή. Όσα σωματίδια έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή δεν ακολουθούν την ροή και παραμένουν (κολλάνε) πάνω στην επίπεδη επιφάνεια ενώ τα υπόλοιπα κινούνται εκτός προσκρούστη. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε μια διαλογή σε δύο ομάδες σωματιδίων, αυτών με την μεγαλύτερη αεροδυναμική διάμετρο που παραμένουν στον προσκρούστη και αυτών με την μικρότερη που διαφεύγουν. Βέβαια φιλτράροντας κατάλληλα την έξοδο μπορούμε να συλλέξουμε και όσα σωματίδια δεν συνέλεξε ο προσκρούστης και να έχουμε μια εικόνα της κατανομής των σωματιδίων με βάση το μέγεθός τους.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Συνήθως κάνουμε χρήση διάταξης με συνεχόμενους προσκρούστες για να έχουμε ακόμα καλύτερη και πιο αντιπροσωπευτική κατανομή. Σε μια τέτοια διάταξη αρχικά διαχωρίζονται τα μεγάλα μεγέθους σωματίδια και μετά τα μικρότερα. Οι σπές που διαδέχονται η μία την άλλη, μικραίνουν σε μέγεθος για να αυξάνεται η ταχύτητα ροής που οδηγεί σε μείωση της διαμέτρου των σωματιδίων που πέφτουν στο προσκρούστη (Λαζαρίδης, 2010).



Εικόνα 4.1: Διατομή ενός προσκρούστη διαχωρισμού. (Πηγή: Λαζαρίδης, (2010))

4.2 Σταθμική μέθοδος

Η θυγατρική οδηγία (1999/30/ΕΚ) καθορίζει ότι μετρήσεις των PM₁₀ θα πρέπει να πραγματοποιούνται με τη μέθοδο αναφοράς, όπως ορίζονται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο EN12341/1999. Κατόπιν αυτό συμπληρώθηκε και με το πρότυπο EN14907/2006. Τέλος τα παραπάνω πρότυπα αντικαταστάθηκαν από ένα πιο σύγχρονο (από όπου προέρχονται και οι αναφορές) το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN12341/2014⁸.

Το πρότυπο περιγράφει μια μέθοδο υπολογισμού των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα (PM₁₀ ή τα PM_{2,5}) μέσα από δειγματοληψία με φίλτρα και ζύγιση σε ισορροπία.

Οι μετρήσεις γίνονται από δειγματολήπτες με σχέδια εισαγωγής, όπως καθορίζεται στο παράρτημα Α της οδηγίας (βλ.εικ.4.2), που λειτουργούν σε ονομαστική ροή 2,3 m³/h, σε μια περίοδο δειγματοληψίας ονομαστική 24 ωρών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράζονται σε mg/m³, όπου ο όγκος

⁸ Τίτλος οδηγίας : Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

του αέρα είναι ο όγκος σε συνθήκες περιβάλλοντος κοντά στην είσοδο (inlet) κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας.

Ο δειγματολήπτης συνδέεται άμεσα με ένα φίλτρο υπόστρωμα (substrate) και ελεγκτή ρυθμιζόμενης ροής. Μετά την ολοκλήρωση της περιόδου δειγματοληψίας διάρκειας περίπου 24 ωρών, η μάζα PM₁₀ που συλλέγεται στο φίλτρο προσδιορίζεται δια ζυγίσεως σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Φυσικά η ζύγιση του φίλτρου έχει προηγηθεί στις ίδιες συνθήκες και πριν την τοποθέτηση .

Η εφαρμογή του προτύπου είναι από περίπου 1 μg/m³ (δηλαδή το όριο ανίχνευσης της μεθόδου και εκφράζεται ως αβεβαιότητα) μέχρι και 150 μg/m³ για τα PM₁₀ ή τα 120 μg/m³ για τα PM_{2,5}.

Αυτό το Ευρωπαϊκό πρότυπο περιγράφει τις διαδικασίες και δίνει τις απαιτήσεις για τη χρήση των λεγόμενων διαδοχικών δειγματοληπτών (Sequential Samplers), εξοπλισμένο με έναν εναλλάκτη φίλτρων (filter changer). Διαδοχικοί δειγματολήπτες χρησιμοποιούνται συνήθως σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ωστόσο, αυτό το Ευρωπαϊκό πρότυπο δεν αποκλείει τη χρήση μονού (single) φίλτρου δειγματολήπτη⁹.

Η ροή του δειγματολήπτη που αναπτύσσεται είναι 2,3 m³/h και περιλαμβάνει περιορισμούς σχετικά με τη θερμοκρασία του φίλτρου τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά τη δειγματοληψία και τη δυνατότητα παρακολούθησης της, σε κρίσιμα σημεία στο σύστημα δειγματοληψίας.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η μέτρηση της συγκέντρωσης των PM₁₀ με τη μέθοδο αναφοράς δεν είναι ένα απόλυτο μέτρο της μάζας των PM₁₀ στην ατμόσφαιρα. Η μέθοδος αναφοράς έχει και θετικά και αρνητικά (για παράδειγμα, στα θετικά λαμβάνεται η αύξηση του particle-bound water ενώ στα αρνητικά η απώλεια των ημιπηκτικών ενώσεων στη διάρκεια της δειγματοληψίας). Γενικά παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης μπορεί να είναι:

⁹ Όπως αυτός της εργασίας μας.

- Απώλειες απόθεσης κλάσματος μέσα στις σωληνώσεις ανάμεσα στην είσοδο και στο φίλτρο.
- Μη ελεγχόμενες απώλειες, λόγω πτητικότητας τόσο ανάμεσα στις σωληνώσεις μεταξύ εισόδου και φίλτρου, όσο και πάνω στο φίλτρο σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή μεταξύ συλλογής και ζύγισης.
- Πιθανές αλλαγές στη μάζα των φίλτρων εξαιτίας του προσροφούμενου νερού, λανθασμένης απώλειας ή προσθήκης υλικού, άνωση ή στατικού ηλεκτρισμού.
- Ταχύτητα ροής.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες χαρακτηριστικές ενότητες της οδηγίας .

4.2.1 Επαλήθευση/ έλεγχος ποιότητας (QA/QC)¹⁰

Για την επίτευξη καλύτερων και πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων μέτρησης πρέπει να ακολουθούνται κάποιες διαδικασίες είτε σε κάθε μέτρηση είτε περιοδικά. Αυτές είναι:

Καθημερινές διαδικασίες :

- Χειρισμό και εγκλιματισμό (conditioning) του φίλτρου.
- Έλεγχος των συνθηκών του δωματίου ζύγισης.
- Έλεγχο ορθής λειτουργίας των οργάνων ζύγισης,
- Χρήση λευκών φίλτρων (blank).

Συχνές διαδικασίες:

- Χρήση μη επιφορτισμένων φίλτρων στο εσωτερικό της LVS¹¹ δίπλα σε αντλία (φίλτρα πεδίου)¹² .
- Τον έλεγχο και τη διακρίβωση ροής.
- Τη διακρίβωση ζυγού .
- Τη συντήρηση και τον έλεγχο του συστήματος δειγματοληψίας.

¹⁰ Quality Assurance / Quality Control

¹¹ Low Volume System

¹² Στην δίκης μας μετρήσεις γινόταν εφαρμογή τους 3 φορές την εβδομάδα ή ανά δύο ημέρες μετρήσεων.

να είναι σταθερός. Με βάση τα πρότυπα, η ροή οφείλει να είναι σε μια τιμή 2,3 m³/h (ή 38 L/min). Επιπλέον η μέση ταχύτητα ροής (average flowrate) κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας οφείλει να είναι στο 2% της ονομαστικής τιμής της, ενώ όλες οι στιγμιαίες ταχύτητες ροής (instantaneous value) κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, πρέπει να παραμένουν μέσα στο 5% της ονομαστικής ταχύτητας ροής. Η ταχύτητα ροής ανάγεται σε συνθήκες περιβάλλοντος σύμφωνα με τον νόμο των ιδανικών αερίων.

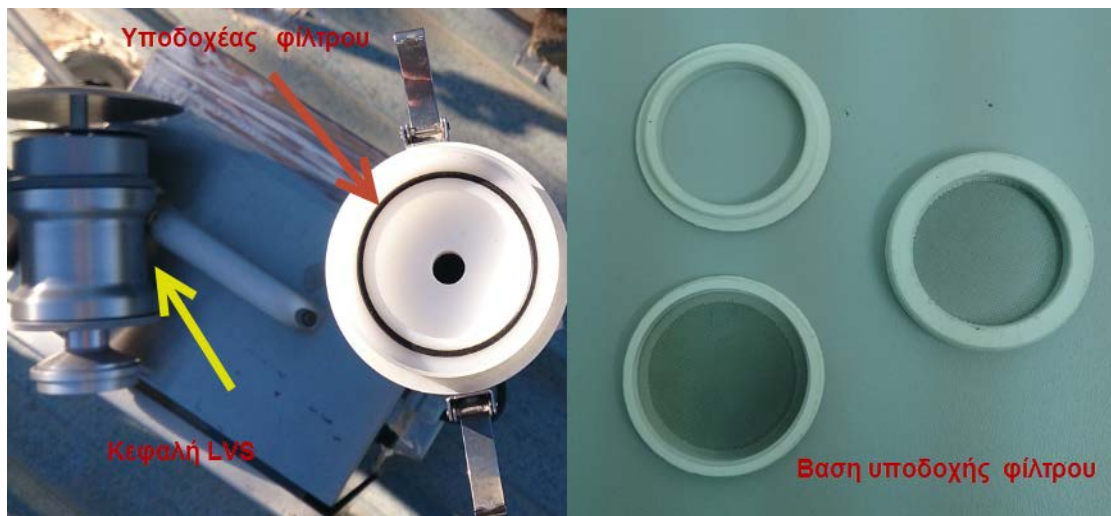
4.2.4 Φίλτρα / Υποδοχείς φίλτρων

Η επιλογή των φίλτρων εξαρτάται κάθε φορά από το είδος της μελέτης που θέλουμε να κάνουμε και από τα υπάρχοντα όργανα που έχουμε στο εργαστήριο μας. Για δειγματοληψία μεγάλου όγκου PM₁₀ πρέπει να χρησιμοποιηθούν φίλτρα με χαμηλή αντίσταση ροής ώστε να διατηρηθεί η απαιτούμενη ροή.

Τα προς χρήση φίλτρα είναι από υαλονήματα (glass fiber), ίνες quartz, PTFE ή υαλονήματα με επικάλυψη PTFE όπως τα ENFAB. Η επιλογή του κατάλληλου φίλτρου γίνεται με βάση το είδος της χημικής ανάλυσης στην οποία πρόκειται ενδεχομένως να υποβληθεί το δείγμα ή των απαιτήσεων του προγράμματος για το οποίο γίνονται οι μετρήσεις (όπως σύγκριση φίλτρων που έχει έμμεσα και το δικό μας πρόγραμμα). Τα φίλτρα έχουν διαχωριστική ικανότητα τουλάχιστον 99,5% για σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 0,3 μm.

Τέλος οι επίδρασεις από θερμικές πηγές, όπως ηλιακή ακτινοβολία ή τις ηλεκτρικές συσκευές (π.χ. την αντλία δειγματοληψίας), αλλά και τα ψυκτικά στοιχεία όπως ο κλιματισμός πρέπει να ελαχιστοποιούνται. Κατά τη διάρκεια περιόδων με μέση ωριαία θερμοκρασία περιβάλλοντος πάνω από 20°C, η θερμοκρασία του δείγματος φίλτρου δεν θα πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 5°C από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα γύρω από το δειγματολήπτη.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 4.3: Ένας από τους υποδοχείς φίλτρων μαζί με την βάση τους που χρησιμοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

4.2.5 Δειγματοληψία και ζύγιση

Οι ζυγίσσεις λαμβάνουν χώρα σε έναν ειδικά διαμορφωμένο χώρο/δωμάτιο με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να υπάρχει μία μονάδα κλιματισμού μόνιμα εγκατεστημένη για τον εγκλιματισμό των φίλτρων (conditioning). **Οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι συνεχώς υπό παρακολούθηση ώστε να είναι μεταξύ των 19°C με 20°C και 45% με 50% RH αντίστοιχα.** Στο θάλαμο για την ζύγιση θα είναι τοποθετημένος και ένας ζυγός ακριβείας με διακριτική ικανότητα $10^{-6}g=1\mu g$.

4.2.6 Διάρκεια δειγματοληψίας

Η χρονική διάρκεια της μέτρησης θα είναι $24h\pm 1h$ και πρέπει να καταγράφονται οι τιμές με ακρίβεια $\pm 5min$.

4.2.7 Οδηγίες ζύγισης πριν και μετά την μέτρηση

- Οι συνθήκες στο θάλαμο ζύγισης και η μάζα των φίλτρων καταγράφονται καθημερινά σε ειδικό έντυπο που είναι μόνιμα εντός του θαλάμου.
- Κατά την έναρξη κάθε σειράς μετρήσεων στον ζυγό (weighing session) εξετάζουμε την σωστή λειτουργία του.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

- Στο θάλαμο ζύγισης φυλάσσονται δύο λευκά φίλτρα αναφοράς (blank filter) του ίδιου μεγέθους και υλικού όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις. Τα βάρη τους καταγράφονται σε κάθε σειρά ζυγίσεων ως μέτρο των κλιματικών συνθηκών που επηρεάζουν το βάρος των φίλτρων.
- Τα νέα φίλτρα προς χρήση (μη επιφορτισμένα) εγκλιματίζονται στο θάλαμο ζύγισης τουλάχιστον 48h πριν. Τα φίλτρα ζυγίζονται δύο φορές ημερησίως ανά 12h, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι το βάρος του φίλτρου έχει σταθεροποιηθεί. Αν τα βάρη διαφέρουν περισσότερο από 40 µg, το συγκεκριμένο φίλτρο απορρίπτεται ή πάμε σε νέα ζύγιση.
- Τα λευκά **φίλτρα πεδίου** που θα πρέπει και αυτά να έχουν εγκλιματισθεί, ζυγίζονται πριν και μετά τη μεταφορά τους στη θέση που έχει τοποθετηθεί ο δειγματολήπτης μαζί με τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται για τη δειγματοληψία. Λευκά φίλτρα πεδίου χρησιμοποιούνται με συχνότητα ένα ανά δέκα συνεχόμενες 24ωρες δειγματοληψίες, εκτός εάν υπάρχει αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, υγρασία) οπότε αυτή η συχνότητα αυξάνει. **Τα φίλτρα πεδίου δεν χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση στις μετρούμενες μάζες των PM στα φίλτρα δειγματοληψίας επειδή η υπόθεση ότι οι διεργασίες που επηρεάζουν το φίλτρο πεδίου και το φίλτρο δειγματοληψίας είναι οι ίδιες, είναι απίθανο να ισχύει λόγω της ροής του αέρα που περνάει μέσα από το δεύτερο.**
- Όλα τα φίλτρα, προστατεύονται κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά στον υποδοχέα του φίλτρου, καθώς και κατά την επιστροφή τους στο θάλαμο ζύγισης σε ένα καθαρό γυάλινο τρυβλίο Petri ή σε παρόμοια δοχεία. Στις συνθήκες αποθήκευσης πρέπει επίσης να υπάρχει και η πρόληψη για αποφυγή συμπύκνωσης στα φίλτρα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη μεταφορά των θηκών (κασσέτες) με τα φίλτρα μέσα σε δροσερά κουτιά ή αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες (π.χ με parafilm).
- Τα επιφορτισμένα φίλτρα ζυγίζονται τουλάχιστον 48 ώρες μετά τη μεταφορά τους στο δωμάτιο ζύγισης, και ξανά μετά από άλλες 24h έως 72h. Αν η διαφορά βάρους είναι μεγαλύτερη από 60 µg, το αποτέλεσμα δεν λαμβάνεται υπόψη ή οδηγούμαστε σε μία 3^η μέτρηση μετά από περίοδο ≥24h.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 4.4: Τρυβλίο Petri .(Πηγή: google images)

4.2.8 Πηγές αβεβαιότητας στη συλλεγμένη σωματιδιακή μάζα

- Μεταβολές στη μάζα επειδή η απόδοση της επιλογής μεγέθους σωματιδίων διαφέρει από τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού .
- Απώλειες λόγω απόθεσης σωματιδίων στις σωληνώσεις και ικανότητας συλλογής του φίλτρου.
- Απώλειες ημιπτητικής σωματιδιακής ύλης (semi-volatile particulate matter) από το φίλτρο μεταξύ της διαδικασίας συλλογής και ζύγισης .
- Αλλαγές στη μάζα των φίλτρων μεταξύ των ζυγίσεων μη επιφορτισμένων και επιφορτισμένων φίλτρων εξαιτίας του περιεχομένου νερού .
- Μεταβολές στη μάζα της σωματιδιακής ύλης εξαιτίας του περιεχομένου νερού.
- Αλλαγές στην άνωση μεταξύ φορτισμένων και μη φίλτρων.
- Ακρίβεια του ζυγού, μετατόπιση του μηδενός (zero drift) και επίδραση στατικού ηλεκτρισμού κατά τη ζύγιση.
- Επικάθιση ή απώλεια ύλης μεταξύ των ζυγίσεων των φορτισμένων και μη φίλτρων .

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

4.2.9 Αβεβαιότητες

4.2.9.1 Μεμονωμένες πηγές αβεβαιότητας

Component	Symbol	Contribution
a) Mass ($m_l - m_u$)	u_m	63 μg
1) Inlet performance	u_{mip}	Negligible
2) Transport loss	u_{mtl}	Negligible
3) Filter efficiency	u_{mte}	Negligible
4) Loss of semi-volatiles	u_{msv}	Zero by convention
5) Balance: calibration	u_{mba}	$\frac{25}{\sqrt{3}}$ μg
6) Mass of unsampled filter:	u_{mu}	
i) Effect of humidity on blank filter	u_{mbb}	$\frac{40}{\sqrt{3}}$ μg
ii) Buoyancy	u_{mb}	$\frac{3}{\sqrt{3}}$ μg
iii) Static	u_{ms}	Negligible
iv) Balance: zero drift	u_{mzd}	$\frac{10}{\sqrt{3}}$ μg
7) Mass of sampled filter:	u_{ml}	
i) Effect of exposure on blank filter (field blank)	u_{mtb}	$\frac{60}{\sqrt{3}}$ μg
ii) Effect of humidity on particulate matter	u_{mhb}	$\frac{60}{\sqrt{12}}$ μg
iii) Hysteresis effects due to sorption of water vapour	u_{mh}	46 μg
iv) Interaction with gases	u_{mg}	Not considered
v) Buoyancy	u_{mb}	$\frac{3}{\sqrt{3}}$ μg
vi) Static	u_{ms}	Negligible
vii) Contamination	u_{mc}	Negligible
viii) Balance: zero drift	u_{mzd}	$\frac{10}{\sqrt{3}}$ μg
b) Flow	u_f	1,7 %
1) Calibration	u_{fc}	$\frac{3}{\sqrt{3}}$ %
2) Drift	u_{fd}	Negligible
c) Time	u_t	Negligible
d) Between-sampler variation	u_{bs}	$\frac{2}{\sqrt{3}}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικά οι μεμονωμένες πηγές αβεβαιότητας . (Πηγή:Οδηγία EN 12341:2014)

4.2.9.2 Ισοζύγιο αβεβαιότητας (Uncertainty budget)

Η συνδυασμένη αβεβαιότητα αυτή υπολογίζεται από τη χρήση του τύπου:

$$u_c^2 = \frac{u^2(m_l - m_u)}{(m_l - m_u)^2} + u(\varphi)^2 + \frac{u(t)^2}{t^2} + \frac{u_{bs}^2}{L^2}$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Όπου:

m_l = η μάζα του επιφορτισμένου φίλτρου (μετά τη δειγματοληψία) σε μg

m_u = η μάζα του μη επιφορτισμένου φίλτρου (πριν τη δειγματοληψία) σε μg

φ_a = η ογκομετρική ροή σε συνθήκες περιβάλλοντος σε $\mu\text{g}/\text{h}$

t = ο χρόνος δειγματοληψίας σε h

Αν ακολουθήσουμε την οδηγία 2008/50/EC η συνδυασμένη αβεβαιότητα για τα PM₁₀ για μια 24ωρη μέτρηση θα είναι 3,8%.

4.2.9.3 Διευρυμένη (expanded) αβεβαιότητα σε σχέση με τους στόχους ποιότητας δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Όλες οι μεμονωμένες αβεβαιότητες που αναφέρθηκαν πρέπει να συγκρίνονται με τα δεδομένα που περιγράφονται στην οδηγία 2008/50/EK, ιδίως όσον αφορά τις οριακές καθημερινές τιμές.

Για την ημερήσια οριακή τιμή, η διευρυμένη αβεβαιότητα σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% δίνεται από τον τύπο :

$$U=2u_c$$

Η μέση ετήσια συγκέντρωση των PM λαμβάνεται από το μέσο όρο τουλάχιστον $0,9 \times 365$ ημερήσιων τιμών, παίρνοντας υπόψη ότι τα στοιχεία αβεβαιότητας που συμβάλλουν τυχαία θα έχουν μια περιορισμένη επίπτωση. Για τους σκοπούς του παρόντος προτύπου και θεωρώντας ότι η παράμετρος της u_{bs} (τυπικής απόκλισης) αντιπροσωπεύει τυχαία εισφορές, ενώ άλλες συνεισφορές παραμένουν όπως ήταν για τις ημερήσιες τιμές. Η μέση ετήσια συνδιαστική σχετική αβεβαιότητα δίνεται από τον τύπο :

$$u_c^2 = \frac{u^2(m_l - m_u)}{(m_l - m_u)^2} + u(\varphi)^2 + \frac{u(t)^2}{t^2} + \frac{u_{bs}^2}{L^2 \times 0,9 \times 365}$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Στον πίνακα (4.2) δίνονται οι διευρυμένες αβεβαιότητες των ημερησίων και ετησίων οριακών τιμών από την πρότυπη μέθοδο και τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής ένωσης.

Limit value	EU uncertainty requirement %	Expanded relative uncertainty %
<i>PM₁₀</i>		
– daily: 50 µg/m ³	25	7,7
– annual: 40 µg/m ³	-	7,1
<i>PM_{2,5}</i>		
– daily: 30 µg/m ³ ^a	25	11,6
– annual: 25 µg/m ³	25	10,1

Πίνακας 4.2: Διευρυμένες αβεβαιότητες με την πρότυπη μέθοδο .
(Πηγή:Οδηγία EN 12341:2014)

5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ PM ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Εκτός από το σταθμικό προσδιορισμό έχουν αναπτυχθεί και μέθοδοι συνεχούς καταγραφής (Automated Measuring System/AMS) της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίες έχουν το πλεονέκτημα ότι δίνουν τη συγκέντρωση των PM σε συνάρτηση με το χρόνο. Η χρήση αυτών των αυτόματων μεθόδων καταγραφής διευρύνεται συνεχώς, όμως δεν είναι τόσο ακριβείς όσο η μέθοδος της σταθμικής ανάλυσης και για αυτό και χρειάζονται έλεγχο ισοδυναμίας με την αντίστοιχη σταθμική μέθοδο και calibration αν αυτό χρηστεί απαραίτητο.

5.1 Κυριότερα πλεονέκτηματα / μειονέκτημα των AMS

- Συνεχής καταγραφή και προσδιορισμού των PM.
- Μπορούν να δώσουν τη συγκέντρωση των PM σε συνάρτηση με το χρόνο.
- Δίνουν τα αποτελέσματα σε συντομότερο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα την άμεση ενημέρωση του κοινού και την άμεση λήψη μέτρων αν χρειαστεί.
- Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας αφού δεν χρειάζεται συνεχής ενασχόληση ατόμου ή ατόμων με την συσκευή .

Ενώ τα κυριότερο μειονέκτημα :

- Σημαντικό σφάλμα σε μετρήσεις γι' αυτό χρειάζονται την κατάλληλη βαθμονόμηση.
- **Δεν μπορεί να γίνει χημική ανάλυση των φίλτρων σε αντίθεση με την σταθμική μέθοδο για τον ακριβή προσδιορισμό των χημικών ενώσεων που επικάθονται στα φίλτρά.**

5.2 Αυτόματα συστήματα καταγραφής αιωρούμενων σωματιδίων AMS.

5.2.1 TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance)

Είναι αναλυτής μάζας που στηρίζεται στη μέθοδο της ταλάντωσης και χρησιμοποιείται ευρέως σε όλο τον κόσμο για τη μέτρηση συνεχούς

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

συγκέντρωσης PM. Το υλικό που ταλαντώνεται είναι ένα κομμάτι άδειου γυαλιού (κωνικός σωλήνας) από μέσα μήκους 100-150mm με ένα φίλτρο 13mm (PTFE-coated quartz filter) και μια βάση του φίλτρου που είναι τοποθετημένη στο πιο στενό άκρο του σωλήνα. Κατά την δειγματοληψία ενώ το πλατύ άκρο της γυάλινης βάσης είναι μόνιμα στερεωμένο το στενό άκρο ταλαντώνεται και καθώς η μάζα των σωματιδίων που συλλέγει το φίλτρο αυξάνεται οδηγεί σε μείωση της συχνότητας ταλάντωσης του γυαλιού. Ως εκ τούτου, οποιαδήποτε αλλαγή στη μάζα του σωλήνα, λόγω της εναπόθεσης των σωματιδίων επάνω στο μικρό φίλτρο, θα έχει ως αποτέλεσμα μια αλλαγή στην συχνότητα ταλάντωσης η οποία αποδεικνύεται ανάλογη με τη επιπλέον μάζα. Κάποια χαρακτηριστικά στοιχεία για το TEOM παρατίθενται παρακάτω.

- Η διαφορά στη συχνότητα ταλάντωσης του γυαλιού ανιχνεύεται ηλεκτρονικά και μετατρέπεται σε συγκέντρωση μάζας που εμφανίζεται στην οθόνη του TEOM. Η μεταβολή μάζας (Δm) σε συνάρτηση της αρχικής (f_i) και τελικής (f_f) συχνότητας ταλάντωσης του στοιχείου δίνεται από τη σχέση :

$$\Delta m = K_0 \left(\frac{1}{f_f^2} - \frac{1}{f_i^2} \right)$$

όπου K_0 είναι η σταθερά βαθμονόμησης που είναι χαρακτηριστική για κάθε στοιχείο (Λαζαρίδης, 2010).

- Επιπλέον το αεροζόλ περνά μέσα από το φίλτρο και κατά μήκος του σωλήνα με παροχή από 0,5- 5 L/min αφού έχει προηγηθεί ήδη ένας διαχωριστής της αρχικής ροής που είναι μεγαλύτερη από αυτή που περνάει από το φίλτρο.
- Τα όργανα μέτρησης 1400A¹³ παρέχουν μετρήσεις συγκέντρωσης σωματιδίων από 10min μέχρι 24h.
- Τα φίλτρα και το ταλαντευμένο γυαλί καλό είναι να διατηρούνται μικρότερα και ελαφριά, ώστε να έχουμε μέγιστη ευαισθησία.
- Υπάρχει μια σημαντική διαφορά στον τρόπο υπολογισμού των συγκεντρώσεων μεταξύ του Αμερικάνικου προτύπου και του Ευρωπαϊκού κατά την χρήση του TEOM. Αυτό έχει να κάνει με την ανάγκη για την εξάλειψη του φαινομένου της αλλαγής υγρασίας πάνω στη μετρούμενη μάζα. Έτσι για

¹³ ίδιου τύπου με αυτό του δικού μας πειράματος

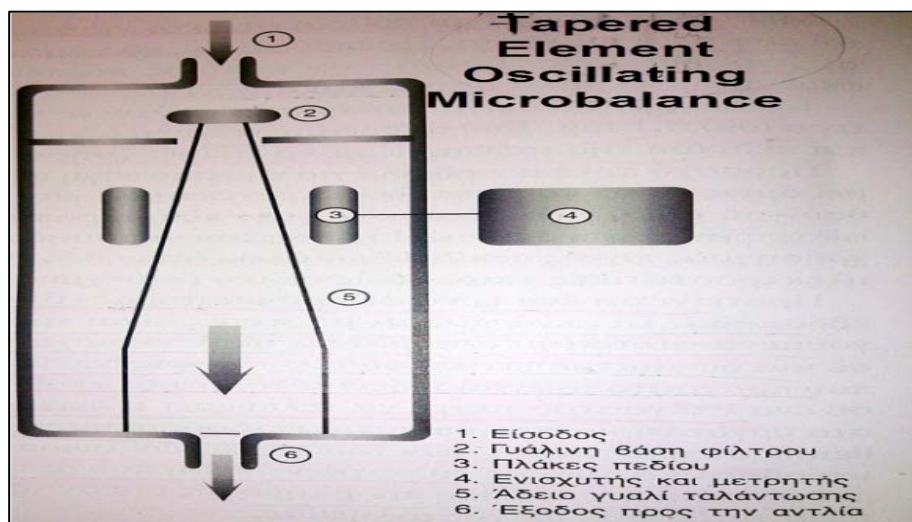
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

παράδειγμα κατά την USEPA γίνεται χρήση ενός συντελεστή προσαρμογής των μετρήσεων έτσι ώστε η τελική τιμή να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$1,03 * \text{TEOM ανάγνωση} + 3 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

Τη συγκεκριμένη ρύθμιση ακολουθούν και όλοι οι TEOM αναλυτές στη Μεγάλη Βρετανία (Green & Fuller, 2006).

- Εδώ και αρκετά χρόνια τα TEOM είναι εξοπλισμένα με ένα διαδοχικό σύστημα εξισορρόπησης (Sequential Equilibration System /SES) και ενσωματώνουν ένα dryer, που μειώνει τη σχετική υγρασία του ρεύματος αέρα του δείγματος. Ακόμα στις αρχές του 2002 αναπτύχτηκε, το Filter Dynamics Measurement System (FDMS) που μέτρα ανεξάρτητα του πτητικού συστατικού του εισερχόμενου αέρα δείγματος.



Εικόνα 5.1: Διατομή ενός μετρητή ταλάντωσης για τη μέτρηση μάζας των συλλεχθέντων σωματιδίων. (Πηγή :Λαζαρίδης, (2010))

5.2.2 β-Attenuation Analysers

Οι αναλυτές αυτοί είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των PM₁₀ σε εθνικά δίκτυα σε όλη την Ευρώπη. Ο αναλυτής β-εξασθένηση χρησιμοποιεί την μέτρηση της μείωσης στην ένταση των σωματιδίων β όταν περνάει μέσα από ένα φίλτρο που έχει συλλέξει τα σωματίδια ή από μια λεπτή πολυεστερική μεμβράνη (τύπου Mylar). Αυτή η μείωση στην ένταση είναι λόγω απορρόφησης β σωματιδίων από τη σκόνη που συλλέγεται (και το υλικό του φίλτρου). Ένας ανιχνευτής μετρά την ακτινοβολία

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

που προέρχεται από την πηγή β πριν και μετά τη συλλογή του δείγματος. Η διαφορά μεταξύ των δύο μετρήσεων, η οποία είναι ανάλογη της συγκεντρωμένης μάζας στο φίλτρο, μετατρέπεται σε συγκέντρωση μάζας που απεικονίζεται γραφικά στην οθόνη του οργάνου. Η σχέση μεταξύ της ακτινοβολίας που απορροφάται και της μάζας των σωματιδίων που συλλέγονται, ακολουθεί μια εκθετική σχέση που είναι ανεξάρτητη από τη χημική σύνθεση των τυπικών PM που βρέθηκαν στην ατμόσφαιρα. Μερικά ακόμα στοιχεία για τους αναλυτές β- ακτινοβολίας δίνονται παρακάτω.

- Η ραδιενεργός πηγή που χρησιμοποιείται είναι συνήθως ο Άνθρακας 14 (¹⁴C:ισότοπο του Άνθρακα με half-life 5730 years), το Κρυπτό 85 (⁸⁵Kr :ισότοπο του κρυπτό με half-life 10.756years) ή το Προμήθειο 147(¹⁴⁷Pm :ισότοπο του Προμήθειο με half-life 2.6234 years).
- Σε ορισμένες μονάδες το σωματίδιο μάζας μπορεί να παρακολουθείται συνεχώς, ενώ σε άλλες το δείγμα συλλέγεται μετά από μια διακριτική περίοδο (συνήθως 30 ή 60 λεπτά).
- Εκτός από την μέτρηση της μάζας, η μέτρηση του όγκου του αέρα δειγματοληψίας είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης σωματιδίων. Ο προσδιορισμός του όγκου συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση ελεγκτών ροής και συσκευών μέτρησης ροής, όπως και σε άλλες αυτόματες συσκευές παρακολούθησης.
- Οι μετρήσεις έχουν ακρίβεια $\pm 25\%$.
- Η επιλογή του μεγέθους συλλογής των σωματιδίων καθορίζεται από τον κολπίσκο εισαγωγής και τον ρυθμού ροής που χρησιμοποιείται. Ως εκ τούτου, β-εξασθένιση αναλυτές μπορούν να μετρήσουν τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP), PM₁₀ ή τα PM_{2.5} (ή άλλα κλάσματα μέγεθος). Ωστόσο τα όργανα αυτά είναι ακατάλληλα για μέτρηση των σωματιδίων με μεγαλύτερη αεροδυναμική διάμετρο από αυτή των 10μm, αφού απορροφούνται πλήρως από ακτινοβολία β.
- Σε ορισμένα συστήματα β-εξασθένιση έχουμε θέρμανση του συστήματος εισαγωγής με αποτέλεσμα τη μείωση της σχετικής υγρασίας του δείγματος και, συνεπώς, ελαχιστοποιεί την περιεκτικότητα σε νερό του αερολύματος μάζα.

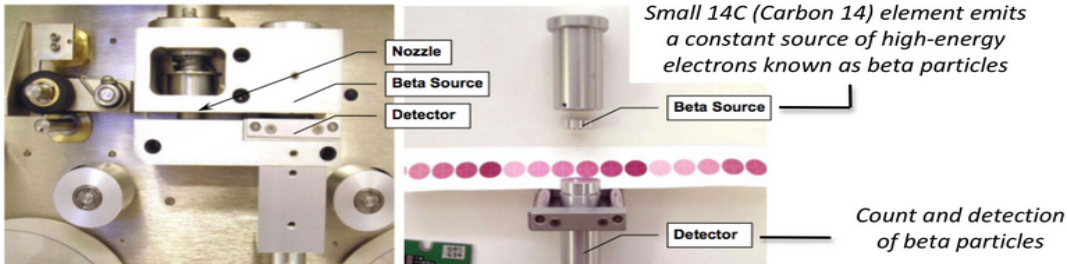
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Ωστόσο, αυτό είναι πιθανό να οδηγήσει σε απώλεια των ημιπτητικών υλικών, όπως και στο TEOM.

- Μελέτες πάνω σε δειγματοληψίες που έγιναν από β-εξασθένηση αναλυτές και δειγματοληψίες ακολουθώντας τη σταθμική μέθοδο (EC Working Group on Particulate Matter, 2001) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμιστικός συντελεστής για τον σταθμικό δειγματολήπτη ποικίλλει από μελέτη σε μελέτη. Ο συντελεστής εξαρτιόταν από το αν το δείγμα ήταν β-εξασθένησης αναλυτές που θερμαίνονται ή όχι, τη βαθμονόμηση του αναλυτή και την εποχή (χειμώνας ή καλοκαίρι).

Ωστόσο, σε γενικές γραμμές, ο παράγοντας ήταν κοντά στο ένα (1) σε συστήματα χωρίς θερμαινόμενη εισαγωγή και περίπου 1,3 με θερμαινόμενα στόμια εισόδου κατά την χειμερινή περίοδο ενώ πιο κοντά στο ένα (1) στη θερινή περίοδο.

BAM: Beta Attenuation Monitor



Small ¹⁴C (Carbon 14) element emits a constant source of high-energy electrons known as beta particles

Count and detection of beta particles

BAM-1020 Sample and Measurement Stations

1. New fresh unused spot on filter tape between Beta Source and detector and count of beta particles (8 min) = C₀,
2. Tape moves forward, same spot under nozzle, vacuum pump and spot loaded with ambient particle (42 min),
3. Tape moves backward, "dirty" spot back between Beta Source and detector and count of beta particles (8 min) = C₁,
4. Compare C₀ and C₁ => Degree of attenuation of the beta particle signal => determine the mass concentration of PM on the filter tape => determine the volumetric concentration of PM in ambient air.

Measurement: PM_{2.5} in μg/m³ in a 1 hour time cycle

Εικόνα 5.2: Χαρακτηριστικός β-attenuation analyser ,BAM -1020 (Πηγή :http://alg.umbc.edu/umap/bam_index.html)

5.2.3 Optical analysers

Εκτός από τα δύο παραπάνω συστήματα υπάρχουν και άλλες τεχνικές μέτρησης σωματιδίων. Μια από αυτές είναι η αξιοποίηση μιας εκ των ιδιοτήτων

των σωματιδίων δηλαδή των οπτικών, ηλεκτρικών, μοριακών πυρηνικών και μηχανικών. Από τις παραπάνω, οι οπτικές ιδιότητες των σωματιδίων αξιοποιούνται πιο συχνά στα όργανα που ονομάζουμε οπτικούς αναλυτές.

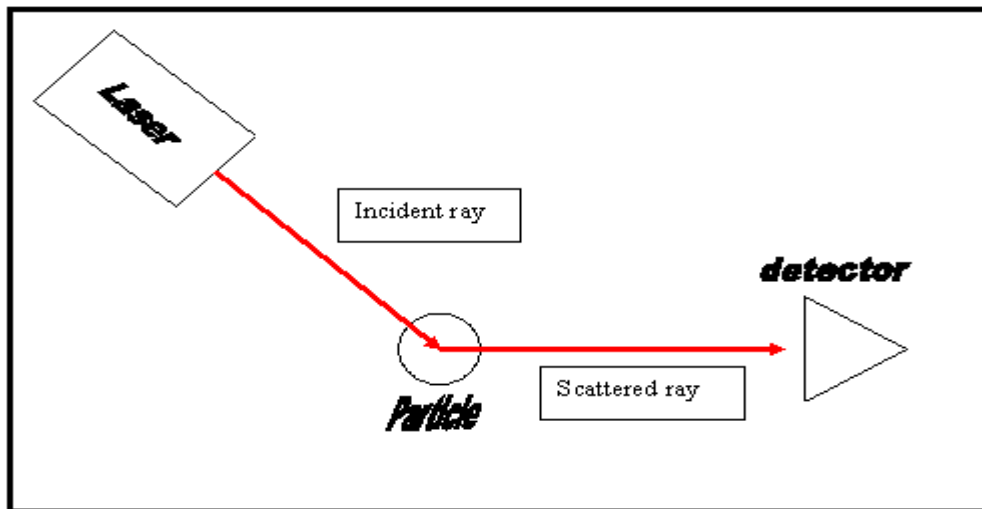
Υπάρχουν δύο είδη των συγκεκριμένων αναλυτών. Το πρώτο βασίζεται στην αλληλεπίδραση της δέσμης φωτός με τα σωματίδια θεωρώντας αυτά ως ένα ενιαίο σύνολο και γίνεται χρήση όταν μας ενδιαφέρει ένα συγκεκριμένο κλάσμα σωματιδίων όπως π.χ το εσπνεύσιμο κλάσμα σκόνης. Το δεύτερο στηρίζεται στη μέτρηση απόκρισης εξαιτίας κάθε ενός σωματιδίου χωριστά και γίνεται χρήση όταν μας ενδιαφέρουν επιμέρους συγκεντρώσεις για κάθε μέγεθος σωματιδίων (Λαζαρίδης, 2010).

Η βασική αρχή λειτουργίας αυτών των οργάνων, ανεξαρτήτου μοντέλου και εταιρίας κατασκευής, είναι ότι μια δέσμη φωτός εκπέμπεται και βομβαρδίζει σε ένα ειδικό κελί το ρεύμα των σωματιδίων. Η μείωση του εκπεμπόμενου φωτός μπορεί να οδηγήσει στον υπολογισμό της συγκέντρωσης του αερολύματος στο κελί. Για την ανίχνευση και την μέτρηση της εξασθένισης της δέσμης χρησιμοποιείται ένα φωτοηλεκτρικό κύτταρο.

Μερικά ακόμα χαρακτηριστικά δίνονται παρακάτω.

- Οπτικοί αναλυτές χρησιμοποιούν την αλληλεπίδραση μεταξύ αερομεταφερόμενων σωματιδίων και ορατού φωτός ή υπέρυθρη ακτινοβολία ή ακτίνα λέιζερ.
- Συχνά αυτοί οι αναλυτές είναι μικροί, ελαφρείς με μπαταρία και ως εκ τούτου είναι φορητές μονάδες πολύ χρήσιμες για βραχυπρόθεσμες μετρήσεις και απεικόνιση (screening) από διάφορες θέσεις της κατανομής σωματιδίων στο χώρο και το χρόνο. Οι φορητές μονάδες χρησιμοποιούνται συχνά για μελέτες και παρακολούθηση των σωματιδίων, σε εσωτερικούς χώρους όπως χώρους εργασίας.
- Τα όργανα που στηρίζονται στην σκέδαση του φωτός από τα σωματίδια, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση μικρότερων συγκεντρώσεων με καλύτερη ακρίβεια.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 5.3: Σκέδαση ακτίνας φωτός από σωματίδιο προερχόμενη από Laser. (Πηγή: Department of Physics at the University College Cork /http://www.physics.ucc.ie/nicchormaic/Tyndall_EF.html)

Technique	Advantages	Disadvantages	Estimated precision ^a
Filter-based gravimetric samplers	The reference method for PM ₁₀ specified in the EU First Daughter Directive.	High operating costs. Time resolution of the measurement is limited to 24-h. Reporting requirements of the EU First Daughter Directive cannot be met and results can only be provided some days after the sample was collected.	±2μg m ⁻³
TEOM analysers	Provide real-time data with short time resolution (<1 h) that can be used for public information. Improved precision compared to the reference method.	Preheated air stream causes a greater loss of semi-volatiles compared to the reference method. High capital cost.	± 0.5 μg m ⁻³
β-attenuation analysers	Provide real-time data with short time resolution (<1 h) that can be used for public information.	If a heated inlet is used some semi-volatile material may be lost. Unheated samplers may suffer from interference due to the presence of water. Analyser contains a radioactive source.	±3 μg m ⁻³ , but depends on analyser type
Optical analysers	Portable and often battery operated. Can measure several size fractions simultaneously.	Depends on assumptions about particle characteristics, which may vary from place to place and time to time.	Depends on analyser type

Εικόνα 5.4: Υπέρ και κατά των παραπάνω αυτόματων μεθόδων μέτρησης PM καθώς και της σταθμικής μεθόδου. (Πηγή :Department for Environment, Food & Rural Affairs ,UK /<http://uk-air.defra.gov.uk>)

5.3 Ισοδυναμία / Βαθμονομηση AMS με RM

Σε αντίθεση με τη σταθμική μέθοδο σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία για τον ακριβή τρόπο συλλογής και υπολογισμού των δεδομένων (συγκεντρώσεων) των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, για τα οποία έγινε

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο (4^ο), δεν υπάρχει κάτι αντίστοιχό για τα αυτόματα συστήματα. Δηλαδή μέχρι την στιγμή του πέρασ αυτής της εργασίας (6/2015) δεν υπάρχει ένα πρότυπο ισοδυναμίας (equivalence) του αυτόματου συστήματος καταγραφής με τη μέθοδο αναφοράς, και ένας οδηγός βαθμονόμησης των οργάνων αν αυτός κριθεί αναγκαίος. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει όμως ήδη αναθέσει αυτό το έργο στον αρμόδιο φορέα, την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) και αναμένεται. Στο πλαίσιο μέρους αυτών των μελετών εντάσσεται και η παρούσα διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η ισοδυναμία (equivalence) της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ της πρότυπης μεθόδου και της αυτόματης μεθόδου με την χρήση συγκεκριμένα του TEOM καθώς και η βαθμονόμηση αυτού για την καλύτερη προσέγγιση των αποτελεσμάτων. Ακόμα σκοπός μας είναι και ο έλεγχος όλων των ποιοτικών τεστ που πρέπει να περάσει επιτυχώς το TEOM για να διερευνούμε την αξιοπιστία των μετρήσεων. Η συγκεκριμένη εργασία λοιπόν εντάσσεται σε ένα πρόγραμμα που πραγματοποιούνταν και σε άλλες τρεις ακόμα Ευρωπαϊκές χώρες.

Συγκεκριμένα τον Απρίλιο του 2012 η Ε.Ε. ανέθεσε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN/TC264/WG15) να εξάγει μια οδηγία που να περιέχει τις αρχές (standard) που πρέπει να τηρούν τα Αυτόματα Συστήματα Παρακολούθησης (AMS) για την καταγραφή των PM. Η επιτροπή εξέδωσε ένα προσχέδιο (prCEN/TS16450) για τα AMS που συνδυάζει τις αρχές από τις ισχύοντες απαιτήσεις για τα αέρια και μια οδηγία επίδειξης ισοδυναμίας με την μέθοδο αναφοράς.

Ο σκοπός της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, αποσκοπούσε να καλυφθούν δύο στόχοι:

- A.** Την πρακτικότητα των ποιοτικών τεστ (QC checks) που προτείνει το πρότυπο για αξιοπιστία των μετρήσεων.
- B.** Το αν είναι εφικτό να τηρηθούν οι απαιτήσεις απόδοσης, αν συγκριθούν οι μετρήσεις που έγιναν στην ίδια περίοδο και στην ίδια ακριβώς περιοχή μεταξύ AMS και Μέθοδο Αναφοράς (με βάση την οδηγία EN12341). Δηλαδή αν έχουμε ισοδυναμία μεταξύ των μεθόδων μέσα στα πλαίσια συγκεκριμένης αβεβαιότητας.

Τα τέσσερα (4) Ευρωπαϊκά κράτη που πήραν μέρος στην έρευνα χρησιμοποίησαν ένα πλήθος διαφορετικών AMS. Η Ελλάδα, μία εκ των χωρών του προγράμματος έλαβε μέρος με μετρήσεις που εξελίχθησαν στην Αγία Παρασκευή και συγκεκριμένα στο ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» που αντιστοιχεί σε περιστασιακό περιβάλλον (suburban background).

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Τόσο στην περίπτωση των δικών μας μετρήσεων (Αθήνα) όπως και στην περίπτωση των Ολλανδών (χώρα / μέλος του προγράμματος) έγινε χρήση για την συλλογή δεδομένων συγκέντρωσης με βάση την Μέθοδο Αναφοράς από δύο δειγματολήπτες τύπου DERENDA LVS 3.1 (ροής αέρα 2,3 m³/h). Για τις αυτόματες μετρήσεις εμείς κάναμε χρήση του TEOM1400-FDMS8500c της Thermo Scientific ενώ η Ολλανδική ομάδα έκανε χρήση τριών διαφορετικών AMS (TEOM1400-FDMS8500c του οίκου Thermo Scientific, BAM 1020 του οίκου Met One Instrument Inc και Swan 5a Dual Channel του οίκου FAI Instruments).

Η συλλογή των μετρήσεων στην Αθήνα έγινε σε δύο περιόδους (Θερμή / Ψυχρή) που κράτησαν από το Μάιο 2014 μέχρι τον Ιανουάριο του 2015 και καλύφθηκαν 96 ημερολογιακές ημέρες. Οι δύο διαφορετικές περίοδοι που καλύφθηκαν είχαν ως σκοπό να αντλήσουμε δεδομένα για την διαφορετικότητα (εφόσον υπάρχει) της συμπεριφοράς των δύο τύπων φίλτρων (για τη RM) που χρησιμοποιήσαμε στην Αθήνα, καθώς και την εφαρμογή όλων των παραπάνω σε διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες προς την εξαγωγή πληροφοριών και συγκρίσεων.

Σχετικά με την ισοδυναμία και την βαθμονόμηση (υπολογιστικό κομμάτι), έγινε με βάση την αρχή της γραμμικής παλινδρόμησης ενώ ο ακριβής μαθηματικός φορμαλισμός που χρησιμοποιήθηκε περιγράφεται στο προσχέδιο του Working Group. Έτσι ο καθηγητής Dr. Ruben Beijk (ruben.beijk@rivm.nl) δημιούργησε το υπολογιστικό πρόγραμμα με τίτλο «Orthogonal regression and equivalence test utility» (έκδοση : version 2.9¹⁴) με εποπτεύον όργανο το RIMV¹⁵. Το πρόγραμμα αυτό ακολούθησαν όλοι οι εταίροι του προγράμματος για την εξαγωγή ποσοτικών αποτελεσμάτων.

¹⁴ Η τελευταία έκδοση που κάναμε χρήση για τους υπολογισμούς μας

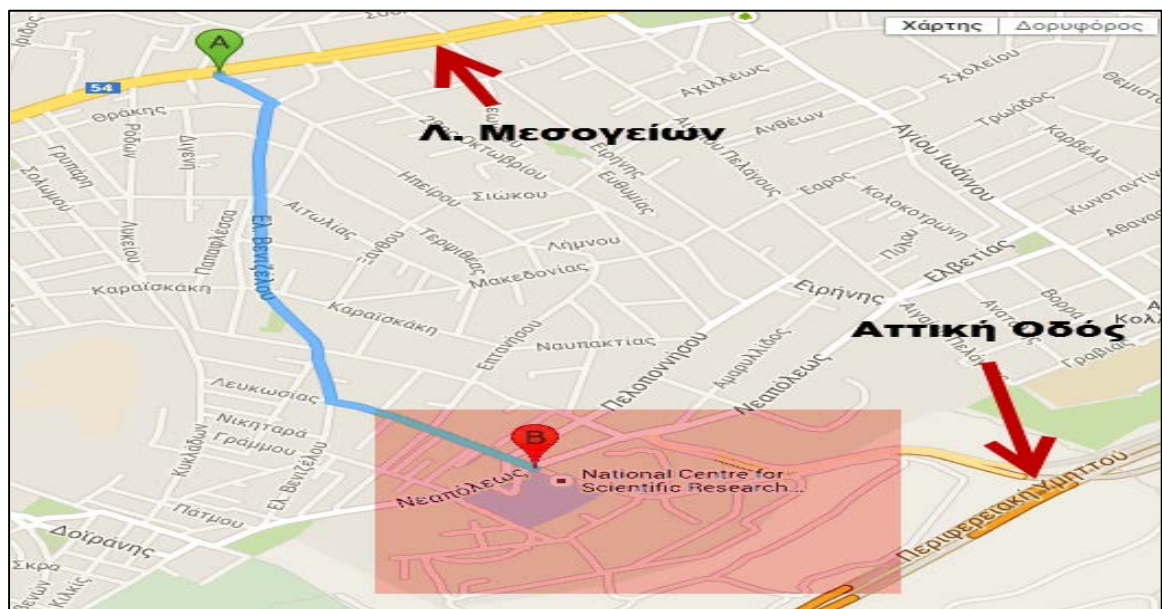
¹⁵ Dutch Institute of Public Health and the Environment, dep. Centre for Environment Monitoring

6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ, ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ , ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

6.1 Περιοχή μετρήσεων

Η θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είναι στο ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» που βρίσκεται στην Αγία Παρασκευή Αττικής .

Ο «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» βρίσκεται σε μια έκταση 600.000m² με κτιριακή επιφάνεια 40.000m². Είναι μέσα σε μια πευκόφυτη περιοχή στους πρόποδες του Υμηττού από την βορειοδυτική του πλευρά. Τα άνω όρια του Δημόκριτου τα οριοθετεί η Αττική οδός (Τμήμα Περιφερειακής Υμηττού) ενώ κάτω όρια (θέση κεντρικής εισόδου) η οδός Νεαπόλεως. Σε απόσταση 1,5 με 1,7 km παράλληλα στην κάτω πλευρά του «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΥ» είναι μια από τις πιο μεγάλες κυκλοφοριακές αρτηρίες της Αθήνας, η Λεωφόρος Μεσογείων.



Εικόνα 6.1: Χάρτης Αγίας Παρασκευής / ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» . (Πηγη: Google maps)

6.1.1 Η θέση του αυτόματου συστήματος (TEOM) καθώς και των δύο συστημάτων δειγματοληψίας μικρού όγκου (LVS)

Τα όργανα μας ήταν τοποθετημένα σε έναν οικίσκο τύπου ISOBOX που είναι μόνιμα τοποθετημένος μέσα στην πευκόφυτη περιοχή στις παρυφές του Υμηττού. Οι συντεταγμένες του οικίσκου είναι N37°59'42,8856'' , E23° 49'09.624'' (Γεωγραφικό πλάτος και μήκος αντίστοιχα).



Εικόνα 6.2: Εσωτερικό ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» / (1) Κεντρική είσοδος οδός Νεαπόλεως , (2) Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών Ι.Ν.ΡΑ.Σ.Τ.Ε.Σ και (3) Τοποθεσία οικίσκου.(Πηγή: Google maps)

Το ύψος που βρίσκεται είναι τα 290 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο σταθμός μας είναι τύπου **Περιστατικός –Υποβάθρου**. Τέτοιοι σταθμοί οροθετούνται σε αστικές περιοχές μακριά από πολυσύχναστους δρόμους και βιομηχανικές πηγές και δεν επηρεάζονται οι μετρήσεις των ρύπων άμεσα από τοπικές πηγές όπως η κυκλοφορία των οχημάτων και η βιομηχανία. Στις θέσεις αυτές **δεν αναμένεται να μετρηθούν μέγιστες τιμές των ρύπων**

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

αλλά αυτές που αντιπροσωπεύουν τη μέση συγκέντρωση μιας δεδομένης περιοχής .

Οι υπόλοιπες χώρες έκαναν μετρήσεις σε διαφορετικούς «τύπους» περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα η ομάδα των Ολλανδών, πραγματοποίησε μετρήσεις στην περιοχή του Reyndersweg, Noord Holland που αντιστοιχεί σε βιομηχανικό περιβάλλον (industrial).

Εικόνα 6.3: ISOBOX . Στο εσωτερικό είναι τοποθετημένο το ηλεκτρονικό τμήμα επεξεργασία δεδομένων του TEOM μαζί με την προσθετη μονάδα FDMS8500c ενώ στη κορυφή του οικίσκου εξέρχεται η εισαγωγή (inlet) του περιβάλλοντος αέρα.



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}



Εικόνα 6.4: ISOBOX: Στη οροφή του είναι τοποθετημένοι οι δύο δειγματολήπτες τύπου DERENDA LVS 3.1. Στον 1^ο δειγματολήπτη έγινε χρήση φίλτρων Enfab ενώ στον 2^ο χρήση φίλτρων Whatman PTFE

6.2 Οργανολογία

6.2.1 Συσκευές συλλογής δεδομένων

6.2.1.1 TEOM1400 – FDMS¹⁶ 8500C (PM_{10})

Το αυτόματο σύστημα παρακολούθησης που χρησιμοποιήσαμε είναι ένας αναλυτής μάζας με τη μέθοδο της ταλάντωσης TEOM όπου την αρχή λειτουργίας του έχουμε περιγράψει σε προηγούμενη ενότητα (βλ.5.2.1). Το όργανο μας είναι μόνιμα τοποθετημένο μέσα στον οικίσκο, σε χώρο που έχουμε περιγράψει παραπάνω. Πρόκειται για τον τύπο **TEOM1400A – FDMS 8500C (PM_{10})** του οίκου **THERMO SCIENTIFIC**.

✓ TEOM 1400A

- Παρέχει γρήγορα αποτελέσματα βραχυπρόθεσμης μέτρησης συγκεντρώσεων σε πραγματικό χρόνο.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σταθμούς παρακολούθησης ευρείας κλίμακας από περιοχές καθαρού υποβάθρου έως πολύ ρυπογόνου αστικού περιβάλλοντος.
- Το φίλτρο του υπόκειται σε άμεση παρακολούθηση χάρη στην τεχνολογία που διαθέτει.

¹⁶ Filter Dynamics Measurement System

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

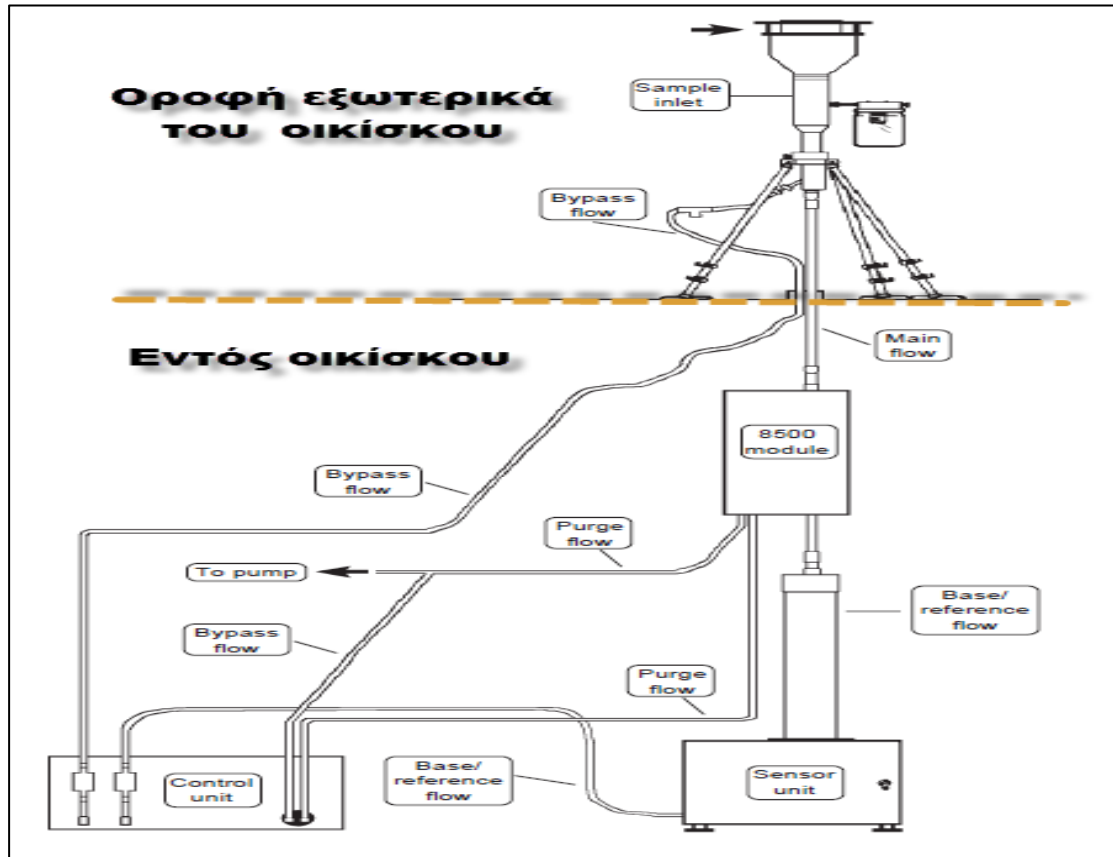
- Διαθέτει ενεργό ογκομετρικό έλεγχο ροής για να διατηρείται η ροή σταθερή καθώς και αισθητήρες για την μέτρηση της θερμοκρασία και της πίεσης.
- Ανιχνεύει ελάχιστο όριο 0,01 µg. Το όργανο έχει ακρίβεια ±1,5 µg/m³ για ωριαίο μέσο όρο ενώ ±5 µg/m³ για 10λέπτες μέσες τιμές συγκέντρωσης .
- Μπορεί να καταγράψει δεδομένα έως και 40 εβδομάδες όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται κάθε ώρα.
- Επιτρέπει στους χρήστες την ανάκτηση αποθηκευμένων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο καθώς και αλλαγές των παραμέτρων τόσο από μακριά όσο και στην τοποθεσία δειγματοληψίας.
- Έχει τρεις αναλογικές εξόδους που επιτρέπουν συνδέσεις με καταγραφείς δεδομένων.
- Είναι εγκεκριμένο από την U.S.EPA (έγκριση EQPM-1090-079) για την παρακολούθηση σωματιδίων αφού τηρεί τα απαιτούμενα κριτήρια καθώς και εγκεκριμένο από τον Γερμανικό Οργανισμός Επιθεώρησης και Πιστοποίησης (TÜV) για μετρήσεις TSP.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μετρήσεις PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ ή TSP σωματιδίων.

✓ **FDMS 8500c**

- Ο FDMS είναι ένας **dryer** με ειδικά σχεδιασμένο σωλήνα εισόδου που έρχεται απευθείας από την εξωτερική μονάδα του τμήματος του TEOM, και ελαχιστοποιεί τις πιθανές απώλειες σωματιδίων. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι υπάρχουν απώλειες των ημιπτητικών υλικών (semi-volatile) από τα συλλεγόμενα δείγματα. Το FDMS σχεδιάστηκε για να αντιμετωπίσει αυτές τις απώλειες σε πραγματικό χρόνο που χαρακτηρίζουν το ημιπτητικά και μη , υλικά του περιβάλλοντος αέρα κυρίως των PM_{2,5} που παρουσιάζονται κατά τις δειγματοληψίες. Έτσι το TEOM με την βοήθεια του FDMS μπορεί σε αληθινό χρόνο να μετρήσει και να διορθώσει τις συγκεντρώσεις των ημιπτητικών υλικών που συλλέγονται.
- Μειώνει την σχετική υγρασία της ροής του αέρα και με την χρήση εναλλάκτη θερμότητας διατηρεί τη θερμοκρασία του αέρα και του φίλτρου συλλογής στους 4° C.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

- Η σειρά «C» είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με παλαιότερες 8500B και προσφέρει καλύτερη απόδοση (Ambs, 2009)
- Κάποια χαρακτηριστικά τμήματα του FDMS αποτελούν το στόμιο ροής αέρα, ένας dryer, το σύστημα ανάλυσης και ελέγχου. Αποτελείται επίσης από ένα φίλτρο που είναι μέρος του TEOM καθώς και αισθητήρες υγρασίας.



Εικόνα 6.5: Διάγραμμα τυπικής εγκατάστασης TEOM1200A-FDMS8500c . (Πηγή: Manual οίκου THERMO SCIENTIFIC)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 6.6: Η εισαγωγή (inlet) του αέρα /σωματιδίων PM₁₀ στην οροφή του οικίσκου



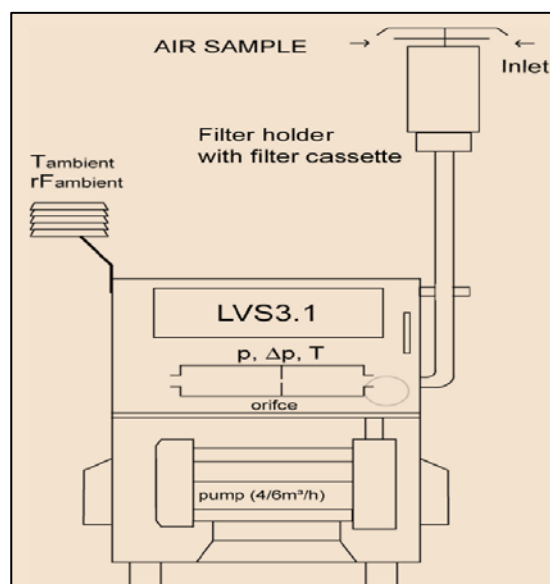
Εικόνα 6.7: TEOM 1400A /Control unit και FDMS 8500C εντός του οικίσκου.

6.2.1.2 Συστήματα δειγματοληψίας μικρού όγκου LVS3.1 DERENDA

Οι δειγματοληψίες σωματιδιακής φάσης έγιναν με δύο δειγματολήπτες μικρού όγκου με προσκρούστη αδράνειας Low-Volume small filter device LVS3.1/PSN3.1-15, του οίκου Norbert Derenda με υποδοχέα για το φίλτρο.

Οι μονάδες μικρού όγκου δειγματολήπτη κατασκευάστηκαν για τη συλλογή των σωματιδίων από τον περιβάλλον αέρα το 1976/77 και έχουν συνεχώς εξελιχθεί από τότε. Σήμερα ένας μεγάλος αριθμός μονάδων είναι σε χρήση παγκοσμίως. Οι συσκευές χρησιμοποιούν μια αντλία κενού για να οδηγήσουν τα σωματίδια μέσω του αέρα στην εισαγωγή του δειγματολήπτη. Τα σωματίδια στη συνέχεια ταξινομούνται κατά μέγεθος και στη συνέχεια τα PM₁₀ εναποτίθενται στο φίλτρο συλλογής. Η ταχύτητα μετάδοσης του αέρα ελέγχεται με ένα στόμιο μέτρησης που παρεμβάλλεται μεταξύ του φίλτρου και της αντλίας κενού και ρυθμίζεται με ακρίβεια καλύτερη από 2%.

Τύπος LVS 3.1 κατατάσσεται ως μονάδα αναφοράς σύμφωνα με το ευρωπαϊκά πρότυπα EN 12341 και EN 14907. Ο ρυθμός ροής του αέρα κατά τη συλλογή των κλασμάτων ανέρχεται σε 2,3 m³/h. Η συσκευή είναι εξοπλισμένη με μία 4m³ περιστροφική αντλία κενού (rotary vane vacuum pump). Το μέγιστο κενό στο φίλτρο είναι 300 mbar.

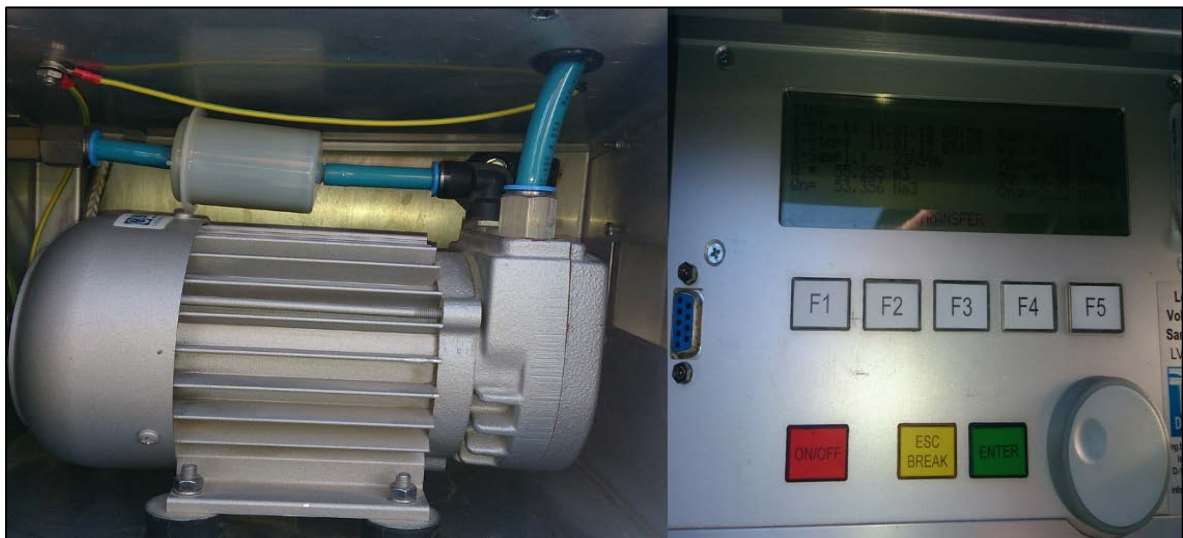


Εικόνα 6.8: Σχηματική εικόνα LVS 3.1 . (Πηγή: Manual του οίκου NORBERT DERENDA)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 6.9: LVS 3.1 DERENDA στην οροφή του οικίσκου



Εικόνα 6.10: Αντλία του δειγματολήπτη και πίνακας οργάνων /οθόνη απεικόνισης τιμών , διαφόρων παραμέτρων (πίεσης, θερμοκρασίας, ροής αέρα κ.α)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Air flow rate:	LVS3.1	controlled uncontrolled	1.0 to 3.0 m ³ /h (resp. Nm ³ /h) appr. 3.5 m ³ /h (resp. Nm ³ /h)
	MVS6.1	controlled uncontrolled	2.0 to 5.5 m ³ /h (resp. Nm ³ /h) appr. 6.0 m ³ /h (resp. Nm ³ /h)
Sampling time:		minimum maximum	0001 min 9999 min
Power supply:			230 V , 50/60 Hz
Main fuse:			2 x 2 A
Consumption:	LVS3.1		approx. 240 VA
	MVS6.1		approx. 300 VA
Filter diameter (standard):			47 mm
Diameter of loaded filter surface:			41 mm
Dimensions (external WxHxD)			
	LVS3.1/MVS6.1		300 x 400 x 250 mm
	PNS15		330 x 570 x 270 mm
	Mounting rack		800 x 540 x 400 mm
	Suction tube (LVS/MVS)		500 mm
	Total height (PNS)		1.650 mm
Weight			
	LVS 3.1		appr. 17 kg
	MVS 6.1		appr. 19 kg
	PNS15 without CS25		appr. 14 kg
	Mounting rack		appr. 5 kg
Noise level: (according to DIN 2058)			<< 35 dBA

Εικόνα 6.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά LVS 3.1 . (Πηγή :Manual του οίκου NORBERT DERENDA)

6.2.1.3 Ζυγός ακρίβειας

Για τον προσδιορισμό της μάζας των φίλτρων πριν και μετά την δειγματοληψία και γενικά όλων των φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας 0,001mg=1μg, τύπου MX5 του οίκου METTLER TOLEDO. Τα χαρακτηριστικά του ζυγού δίνονται παρακάτω. Ο ζυγός είναι τοποθετημένος σε ειδικό απομονωμένο χώρο στο Κέντρο Περιβαλλοντικών Ερευνών όπου οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας (RH) διατηρούνται σταθερές. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια μίας αυτόματης μονάδας που είναι μόνιμα τοποθετημένη στο ειδικό δωμάτιο ζύγισης και ρυθμίζει αυτές τις δύο παραμέτρους. Η μονάδα αυτή λειτουργεί σε 24ωρη βάση. Οι συνθήκες που επιβάλλαμε στις μετρήσεις μας είναι **19°C με 20°C θερμοκρασία δωματίου και υγρασία (RH) 45% με 50%.**

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Data for MX/UMX balances			
	MX2	MX5	
Readability	0.1 µg	1 µg	
Maximum load	500 mg	5100 mg	
Taring range	100 mg	0..5100 mg	
Repeatability			
At full load	0.25 µg	0.9 µg	
In range 0..2 g	0.25 µg	0.8 µg	
In range 2..5 g	—	0.9 µg	
Linearity			
Over the entire range	0.1 µg	±4 µg	
Within 500mg	0.5 µg	±2 µg	
Stabilization time			
Typical	16 s	9 .. 12 s	
Adjustment weights			
Number of built-in weights	2	2	
External weights	Selectable	Selectable	
Sensitivity			
Temperature drift (10..30 °C)	0.1 ppm/°C	±1.0 ppm/°C	
Long-term stability (proFACT)	0.1 ppm/year	±1.0 ppm/year	
Separation cell/electronics	Separated	Separated	
Dimensions			
Weighing cell (WxDxH) [mm]	287x113	128x287x113	
Control unit (WxDxH) [mm]	366x94	224x366x94	
Weighing pan dia. [mm]	36	27	
Effective height of draft shield [mm]	35	55	

Εικόνα 6.12: Χαρακτηριστικά ζυγού MX5. (Πηγή: Manual του οίκου METTLER TOLEDO)



Εικόνα 6.13: Ο ζυγός MX5 στο ειδικό δωμάτιο ζύγισης

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 6.14: Δωμάτιο ζύγισης φίλτρων

6.2.1.4 Θερμόμετρο και Βαρόμετρο

Για την σωστή βαθμονόμηση των οργάνων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό θερμόμετρο (οίκου Hobo Onset corporation) και ψηφιακό βαρόμετρο (οίκου Castle Group Ltd). Ακόμα έγινε χρήση οργάνου μέτρησης της σχετικής υγρασίας (οίκου Hobo Onset corporation) και της ροής του αέρα (οίκου Rota Yokogawa) τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται παρακάτω.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

INSTRUMENTS USED FOR CHECKING	
Temperature	
Brand	HOBO ONSET corporation
Type	Temperature Data Logger
Uncertainty (95%)	±0.6°C
Calibrated against	Standard Environmental Chamber
Calibrated by	Algosystems S.A.-Metrology Division
Calibration frequency	Every 18 months
Pressure	
Brand	Castle Group Ltd
Type	Digital Barometer
Uncertainty (95%)	0.58 hPa
Calibrated against	Sequence C of the recommendation 'DKD-R 6-1' (2003)
Calibrated by	Hellenic Institute of Metrology, Pressure Laboratory
Calibration frequency	Every 18 months
Relative Humidity	
Brand	HOBO ONSET corporation
Type	Relative Humidity Data Logger
Uncertainty (95%)	±2.3%-2.7%
Calibrated against	Standard Environmental Chamber
Calibrated by	Algosystems S.A.-Metrology Division
Calibration frequency	Every 18 months
Air Flow	
Brand	Rota Yokogawa
Type	Rotameter with measuring range 0.4-4m ³ /h
Uncertainty (95%)	±0.6% (4m ³ /h) -3% (0.4m ³ /h)
Calibrated against	Mercury Sealed Piston Prover and Bell Prover
Calibrated by	Hellenic Institute of Metrology, Laboratory of Fluid Flow
Calibration frequency	Every 18 months

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά οργάνων που χρησιμοποιήσαμε για τον έλεγχο των συσκευών.

6.2.1.5 Φίλτρα για τη συλλογή των σωματιδίων (σταθμική μέθοδος)

Στην εργασία μας κάναμε χρήση δύο τύπων φίλτρων για κάθε DERENDA ξεχωριστά. Η κάθε ομάδα από όλες τις χώρες του προγράμματος χρησιμοποίησαν είδη φίλτρων, διαφορετικά όλα μεταξύ τους. Άλλωστε ένας από τους σκοπούς του προγράμματος είναι να βρεθεί και ποιος/οι από τους συνολικά οκτώ (8) τύπους σε χρήση φίλτρων, με βάση την μέθοδο αναφοράς, ενδείκνυται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν και τους τύπους των μετρήσεων. Αυτό βέβαια δεν ανήκει στα πλαίσια της εργασίας μας που ασχολείται αποκλειστικά με τα δεδομένα που συλλέξαμε στο ΕΚΕΦΕ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

«ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ». Το μόνο που θα δούμε στις μετρήσεις είναι η σύγκριση των δύο τύπων φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην Αθήνα.

Οι τύποι φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των σωματιδίων με τη σταθμική μέθοδο με την χρήση των DERENDA (gravimetric sampler) είναι οι εξής :

- **Enfab (7221 TX40HI20WW, 47 mm)** : Τα φίλτρα Pallflex Enfab του οίκου PALL LIFE SCIENCEC είναι κατασκευασμένα από μικροίνες από βοριοπυριτικό γυαλί που ενισχύονται με γυαλί, ίνες και συνδετικό με PTFE. Αυτά τα φίλτρα διαθέτουν χαμηλή αντίσταση αέρα που τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε δοκιμές αερολυμάτων κρίσιμης δειγματοληψίας, όπως PM, καυσαέρια νηξελ κ.α. Επίσης είναι ανθεκτικά στο δίπλωμα. Χρησιμοποιήθηκαν στην DERENDA 1

Maximum Operating Temperature	260 °C (500 °F); air
Typical Aerosol Retention	99.95% (DOP)
Typical Air Flow Rate	68 L/min/cm ² at 0.7 bar (70 kPa, 10 psi)
Typical Filter Weight	5.0 mg/cm ²
Typical Thickness	178 μm (7 mils)
Typical Water Flow Rate	32 mL/min/cm ² at 0.35 bar (35 kPa, 5 psi)

Εικόνα 6.15: Χαρακτηριστικά Enfab 7221 . (Πηγή :Manual του οίκου PALL LIFE SCIENCEC)



Εικόνα 6.16: Enfab 7221 από τα δείγματα μας

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

- **PTFE:** Οι Whatman PTFE μεμβράνες είναι χημικά σταθερές και αδρανείς. Είναι κατάλληλες για εφαρμογές στις οποίες υπεισέρχονται επιθετικοί οργανικοί διαλύτες, ισχυρά οξέα και αλκάλια. Οι PTFE μεμβράνες είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για την προετοιμασία δειγμάτων για ανάλυση HPLC. Η υδρόφοβη φύση της μεμβράνης έχει επίσης εφαρμογές για την αποστείρωση του αέρα και του αερίου. Έχουν μεγάλη αντοχή σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες. Είναι το πιο διαδεδομένο διηθητικό χαρτί για συνήθεις εφαρμογές με μέτριο βαθμό διατήρησης και ροής. Καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εργαστηριακών εφαρμογών. Παραδοσιακά χρησιμοποιείται στους αναλυτικούς διαχωρισμούς για ιζήματα όπως το θειικό άλας μολύβδου, οξαλικού ασβεστίου και ανθρακικού ασβεστίου. Ακόμα χρησιμοποιείται στη γεωργία για την εδαφολογική ανάλυση, στη βιομηχανία τροφίμων, στην εκπαίδευση για τη διδασκαλία. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιείται και για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Χρησιμοποιήθηκαν στην DERENDA 2.



Εικόνα 6.17: PTFE 44mm από τα δείγματα μας .

6.3 Δειγματοληψία

6.3.1 Περίοδος μετρήσεων

Στην εργασία μας υπήρξαν δύο περίοδοι μετρήσεων της συγκέντρωσης των PM₁₀.

- Η καλοκαιρινή περίοδος (warm season) όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από τις 30/05//2014 μέχρι της 30/08/2014. Σε αυτή την περίοδο συλλέχθηκαν 52 έγκυρες μετρήσεις (Μπέσα, 2015)¹⁷.
- Η χειμερινή περίοδος (cold season) όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από τις 30/10//2014 μέχρι τις 10/01/2015. Σε αυτή την περίοδο συλλέξαμε 44 έγκυρες μετρήσεις.

Τελικά συλλέξαμε 96 μετρήσεις σε δύο περιόδους 6μηνης διάρκειας

6.3.2 Μεθοδος δειγματοληψίας

• Καθημερινά πραγματοποιούνταν 24ώρες δειγματοληψίες. Την θερμή περίοδο η αλλαγή των φίλτρων και η επανενεργοποίηση των δύο DERENDA γίνονταν στις 8:30 π.μ, ενώ την χειμερινή περίοδο στις 9:30 π.μ. Πριν από κάθε δειγματοληψία, τα φίλτρα τοποθετούνταν στο θάλαμο ζύγισης, ο οποίος έχει ελεγχόμενες συνθήκες όπως ήδη έχουμε αναφέρει για 48 ώρες, προκειμένου να εξισορροπηθούν. Με το πέρας των 48 ωρών ζυγίζονταν σε αναλυτικό ζυγό (1^η μέτρηση) και αφήνονταν για άλλες 24 ώρες προκειμένου να ξαναζυγιστούν (2^η μέτρηση). Οι δύο ζυγίσεις δεν έπρεπε να διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 40 μg, αλλιώς απορρίπτονταν. Το βάρος του κενού, αφόρτιστου φίλτρου ήταν ο μέσος όρος των δύο μετρήσεων. Στη συνέχεια τοποθετούνταν στον υποδοχέα φίλτρου του δειγματολήπτη και κατόπιν σε γυάλινο Τρυβλίο Petri. Η μεταφορά στο σημείο δειγματοληψίας γινόταν μέσα σε ισοθερμικό δοχείο. Από τον χάρτη στην εικόνα (6.2), η διακεκομμένη γραμμή είναι η διαδρομή που ακολουθούσαμε καθημερινά και ήταν περίπου

¹⁷ Διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία που έγινε στο Κέντρο Περιβαλλοντικών Ερευνών με σκοπό την σύγκριση των καλοκαιρινών τιμών μεταξύ DERENDA1/2 και TEOM καθώς και τη χημική ανάλυση όλων των φίλτρων συλλογής της περιόδου αυτής.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

250 με 300m από το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών μέχρι το χώρο που είναι το ISOBOX. Μετά την απομάκρυνσή τους από το δειγματολήπτη (πέρας μέτρησης), τα σετ των φίλτρων μεταφέρονταν στο εργαστήριο πάλι μέσα στο ισοθερμικό δοχείο προκειμένου η θερμοκρασία να μην ξεπεράσει τους 23 °C (Για λόγους υψηλών θερμοκρασίας η δειγματοληψία ξεκινούσε νωρίτερα την καλοκαιρινή περίοδο σε σχέση με τις μετρήσεις του φθινοπώρου-χειμώνα). Στη συνέχεια τα επιφορτισμένα φίλτρα τοποθετούνταν στο θάλαμο ζύγισης για άλλες 48 ώρες, και μετά ζυγίζονταν προκειμένου να υπολογιστεί η συγκέντρωση των σωματιδίων (1^η μέτρηση) ενώ μετά από άλλες 24 ώρες ξαναζυγίζονταν (2^η μέτρηση). Οι δύο ζυγίσεις δεν πρέπει να διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 60 µg, αλλιώς απορρίπτονταν. Το βάρος του επιφορτισμένου φίλτρου ήταν ο μέσος όρος των δύο μετρήσεων. Αν η διαφορά του ήταν ακόμα πάνω από 60µg παίρναμε και 3^η μέτρηση και στα δύο στάδια μετρήσεων (αφόρτιστο/ φορτισμένο). Στη συνέχεια το φίλτρο αποθηκευόταν σε Τρυβλίο Petri που εξαρχής έφερε έναν αύξοντα αριθμό για το φίλτρο δείγμα, ημερομηνία 1^η ζύγισης (αφόρτιστο) και είδος φίλτρου. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα φίλτρα πεδίου που τα τοποθετούσαμε ανά δύο ημέρες στο εσωτερικό των DERENDA κάτω και δίπλα στις αντλίες όρθια μέσα σε Τρυβλίο Petri.

- Τέλος στο θάλαμο ζύγισης είχαν τοποθετηθεί μόνιμα δύο λευκά φίλτρα ένα από κάθε τύπο τα οποία αφού είχαν εξισορροπηθεί ζυγίζονταν πριν και μετά από κάθε διαδικασία ζύγισης.
- Όλα τα παραπάνω δηλαδή βάρη των φίλτρων (φορτισμένων/ αφόρτιστων) σε µg, θερμοκρασία, εκατοστιαία (%) υγρασία στο χώρο ζυγίσεων, και οι ενδείξεις των DERENDA (όπως ακριβής χρονική διάρκεια ημερήσιας δειγματοληψίας κ.τ.λ) αναγράφονταν σε ειδικά έντυπα. Τα δεδομένα οδηγήθηκαν κατόπιν σε επεξεργασία μέσω υπολογιστικών προγραμμάτων που κάνουν χρήση της κατάλληλης μεθοδολογία-τύπων που αναφέρονται ακριβώς στην οδηγία **EN12341/2014**, υπολογίζοντας την συγκέντρωση των PM₁₀ σε καθημερινή βάση.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα 6.18: (1) Φορτισμένο φίλτρο PTFE, (2) ENFAB, (3) Τοποθέτηση φίλτρου σε εσωτερικό ζυγού, (4) Μόνιμα λευκά φίλτρα (Blank) στο θαλαμο ζύγισης και (5) Έντυπο καταγραφής

6.4 Έλεγχος συστημάτων και διασφάλιση ποιότητας

Ο έλεγχος τόσο του Αυτόματου Συστήματος (AMS) όσο και των δύο DERENDA έγινε σε δύο φάσεις. Η πρώτη ήταν πριν ξεκινήσουμε τις μετρήσεις της καλοκαιρινής περιόδου και η επόμενη πριν την έναρξη των μετρήσεων κατά την χειμερινή περίοδο .

Actions	2014												2015	
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB
Filter selection (WPS)														
Preparatory period (Site preparation, instrument performance characteristics requirements check)			OK											
Warm season period sampling campaign (valid data for a minimum of 50 days)					DONE									
preparation for the cold period campaign								OK						
Cold season period sampling campaign (valid data for a minimum of 50 days)										DONE				

Εικόνα 6.19:Χρονοδιαγραμμα προετοιμασίας συστημάτων και έλεγχου αυτών καθώς και περίοδο μετρήσεων

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Για τους δύο δειγματολήπτες LVS3.1 έγινε έλεγχος της ροής του αέρα και των ενδείξεων θερμοκρασίας, πίεσης, υγρασίας με τα όργανα που αναφέρονται στην ενότητα 6.2, ώστε να λείπουν με βάση τις οδηγίες .

Σχετικά με το TEOM έγιναν τέσσερις (4) έλεγχοι. Οι δύο αφορούσαν τους διαδικαστικούς ελέγχους ποιότητας του οργάνου και αν τηρεί τα κριτήρια πριν την έναρξη κάθε δειγματοληπτικής περιόδου, ενώ οι άλλοι δύο αφορούσαν ελέγχους αμέσως μετά την αποκατάσταση των προβλημάτων που προέκυψαν. Παρακάτω δίνονται σε πίνακες συγκεντρωτικά οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν στο AMS καθώς και τα αποτελέσματά τους .

Checks	TS 16450 Section	Frequency	Date	Result	Action criteria ^b	Pass/fail?
Checks of sensors for temperatures, pressure and/or humidity	8.4.4	Every 3 months ^c	2/4/2014	TEOM: 20.8 °C, Ambient: 20.4°C TEOM: 97.5 kPa, Ambient: 98.1 kPa TEOM: 53.4%, Ambient: 52%	± 2 °C ± 1 kPa ± 5 % RH	PASS PASS PASS
Checks of sensors for temperatures, pressure and/or humidity	8.4.4	Every 3 months ^c	23/6/2014	TEOM: 27.6 °C, Ambient: 27.9°C TEOM: 98.4 kPa, Ambient: 98.5 kPa TEOM: 32.8%, Ambient: 32.0%	± 2 °C ± 1 kPa ± 5 % RH	PASS PASS PASS
Checks of sensors for temperatures, pressure and/or humidity	8.4.4	Every 3 months ^c	29/10/2014	TEOM: 16.2 °C, Ambient: 15.8°C TEOM: 97.2 kPa, Ambient: 97.5 kPa TEOM: 80.8%, Ambient: 80.2%	± 2 °C ± 1 kPa ± 5 % RH	PASS PASS PASS
Checks of sensors for temperatures, pressure and/or humidity	8.4.4	Every 3 months ^c	19/11/2014	TEOM: 20.6 °C, Ambient: 20.4°C TEOM: 97.6 kPa, Ambient: 98.5 kPa TEOM: 65.5%, Ambient: 61.0 %	± 2 °C ± 1 kPa ± 5 % RH	PASS PASS PASS
Check of the AMS flow rate(s)	8.4.6	Every 3 months ^c	2/4/2014	TEOM INSTRUMENT USED Aux: 13.68 lt/min 13.66 lt/min Main: 3.00 lt/min 3.13 lt/min	± 5 % (Manual TEOM: ± 2%)	PASS
Check of the AMS flow rate(s)	8.4.6	Every 3 months ^c	23/6/2014	TEOM INSTRUMENT USED Aux: 13.68 lt/min 13.44 lt/min Main: 3.00 lt/min 3.04 lt/min	± 5 % (Manual TEOM: ± 2%)	PASS
Check of the AMS flow rate(s)	8.4.6	Every 3 months ^c	29/10/2014	TEOM INSTRUMENT USED Aux: 13.68 lt/min 13.64 lt/min Main: 3.00 lt/min 3.03lt/min	± 5 % (Manual TEOM: ± 2%)	PASS
Check of the AMS flow rate(s)	8.4.6	Every 3 months ^c	19/11/2014	TEOM INSTRUMENT USED Aux: 13.68 lt/min 16.54 lt/min Main: 3.00 lt/min 3.06lt/min	± 5 % (Manual TEOM: ± 2%)	PASS

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀**

<i>Checks</i>	<i>TS 16450 Section</i>	<i>Frequency</i>	<i>Date</i>	<i>Result</i>	<i>Action criteria^b</i>	<i>Pass/f ail?</i>
Leak check of the sampling system	8.4.8	Every year	2/4/2014	Main Flow: -0.05, Aux. Flow: 0.10	± 2,0 %	PASS
			23/6/2014	Main Flow: -0.04, Aux. Flow: 0.45	< 0,15 l/min	PASS
			29/10/2014	Main Flow: -0.06, Aux. Flow: 0.34	(Manual TEOM: Aux. Flow<0.6 l/min, Main Flow<0.15 l/min)	PASS
			19/11/2014	Main Flow:-0.05 Aux. Flow: 0.15		PASS
Zero check of the AMS reading	8.4.9	Every year	2/4/2014	1.5		PASS
			23/6/2014	0.2	± 3 µg/m ³	PASS
			29/10/2014	1.3		PASS
			19/11/2014	0.8		PASS
Calibration of the AMS flow rate(s)	8.4.7	Every year	2/4/2014	NOT ADJUSTED	± 1 %	
			23/6/2014			
			29/10/2014			
			19/11/2014			
Calibration of sensors for temperatures, pressure and/or humidity	8.4.5	Every year		NOT APPLICABLE	± 1,5 °C ± 0,5 kPa ± 3 % RH	
Check of the AMS mass measuring system ^d	8.4.10	As recommend ed by manufacture r and after repair, but at least every year	2/4/2014	Ko: Audit =14.775, Actual=14.794, 0.13%	± 3 %	PASS
			23/6/2014	Ko: Audit =14.760, Actual=14.754,0.23 %	(Manual TEOM: ± 2.5%)	PASS
			29/10/2014	Ko: Audit =14.796, Actual=14.794, 0.01%		PASS
			19/11/2014	Ko: Audit =14.752, Actual=14.794, 0.28%		PASS

Πίνακας 6.2: (Σε δύο σελίδες) Προβλεπόμενοι περιοδικοί έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν σε AMS με βάση το προσχέδιο οδηγιών TS 16450 του Working Group

6.4.1 Επεξήγηση (Πιν.6.2) απαιτούμενων ελέγχων σε Αυτόματο Σύστημα

Αν παρατηρήσουμε εκτενώς τον πίνακα (6.2) θα διαπιστώσουμε ότι όλα τα τεστ που πραγματοποιήσαμε στο TEOM και στις δύο περιόδους ήταν όλα επιτυχή (Pass). Στον πίνακα αναγράφονται αναλυτικά όλοι οι έλεγχοι και η ακριβής ημερομηνία διεξαγωγής τους. Συγκεκριμένα:

- Έλεγχος (check) κύριας (main) και βοηθητικής (Aux) ροής αέρα : Σε όλες τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα ήταν επιτυχή. Οι τιμές που μας έδινε το ίδιο το TEOM ήταν μέσα στο όριο που υπάρχει μέσα στην οδηγία προσχέδιο TS16450 του Working Group ($\pm 5\%$) καθώς και στην ποσοστιαία διαφορά που καθορίζει ο ίδιος ο κατασκευαστής μεταξύ του TEOM και του οργάνου μέτρησης της ροής ($\pm 2\%$) που χρησιμοποιούμε για σύγκριση (Rota Yokogawa Rotameter).

Ενδεικτικά αναφέρουμε μια μέτρηση έστω στις 23/6/2014. Η ένδειξη του TEOM για την κύρια (main) ροή ήταν 3 lt/min ενώ η ένδειξη του πρότυπου οργάνου μέτρησης (R.Y. Rotameter) ήταν 3,04 lt/min. Η διαφορά τους είναι κατά 1,31% μειωμένη στο TEOM σε σχέση με το πρότυπο ροόμετρο που είναι μέσα όμως στα όρια που θέτει ο κατασκευαστής $< 2\%$ και το προσχέδιο $< 5\%$. Όσον αφορά την βοηθητική ροή (Aux) οι ενδείξεις του TEOM ήταν 13,68 lt/min ενώ η ένδειξη του πρότυπου ροόμετρου ήταν 13,44 lt/min. Η διαφορά τους είναι κατά 1,78% αυξημένη στο TEOM σε σχέση με το πρότυπο ροόμετρο που είναι μέσα στα όρια που θέτει ο κατασκευαστής $< 2\%$ και το προσχέδιο $< 5\%$. **Η μόνη διαφοροποίηση** ήταν στις 2/4/2014 στην κύρια ροή αφού οι ενδείξεις του TEOM ήταν 3 lt/min ενώ η ένδειξη του πρότυπου ροόμετρου ήταν 3,13 lt/min. Η διαφορά τους είναι κατά 4,15% αυξημένη στο TEOM σε σχέση με το πρότυπο ροόμετρο που είναι μέσα στα όρια που θέτει το προσχέδιο $< 5\%$ ενώ είναι μεγαλύτερη από τα όρια που ορίζει ο κατασκευαστής στο manual $> 2\%$. Όμως η τιμή θεωρείται έγκυρη (Pass) αφού δεν καταστρατηγούνται τα όρια που θέτει το Working Group στο προσχέδιο. Γενικά οι μετρήσεις της ροής μπορούν να επηρεαστούν από τις διαφορές στην ταχύτητα ροής μεταξύ της κεφαλής δειγματοληψίας και του μετρητή ροής, από την πτώση της πίεσης πάνω από το φίλτρο, τον άνεμο, την επίδραση από τη θερμοκρασία και τη

πίεση στο μετρητή ροής καθώς και από τη διαρροή στις σωληνώσεις ή γύρω από τον υποδοχέα του φίλτρου.

- **Έλεγχος διαρροής ή στεγανότητας του συστήματος δειγματοληψίας (Leak check of the sampling system)** : Σε όλες τις περιπτώσεις οι έλεγχοι μας ήταν επιτυχείς. Οι τιμές που μας έδινε το ίδιο το TEOM ήταν μέσα στο όριο που υπάρχει μέσα στην οδηγία προσχέδιο TS16450 ($\pm 2\%$) για την κύρια και την βοηθητική ροή αέρα. Ακόμα τα αποτελέσματα του ελέγχου ήταν εντός του πεδίου τιμών που ορίζει και ο ίδιος ο κατασκευαστής δηλαδή για την κύρια ροή $< 0,15 \text{ lt/min}$ ενώ για την βοηθητική $< 0,6 \text{ l/min}$. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε την 2/4/14 το leak check για την κύρια ροή μας έδωσε τιμή $0,05 \text{ lt/min} < 0,15 \text{ lt/min}$ (κατασκευαστής) και κάτω από 2% **σε σχέση με την κύρια ροή** που μετρήθηκαν την ίδια μέρα αφού $|0,05/3,00|100\% = 1,66\% < 2\%$ (προσχέδιο). Ομοίως και για το leak check της βοηθητικής ροής έχουμε: $0,1 \text{ lt/min} < 0,6 \text{ lt/min}$ (κατασκευαστής) και κάτω από 2% σε σχέση με την κύρια ροή που μετρήθηκαν την ίδια μέρα αφού $|0,1/13,68|100\% = 0,73\% < 2\%$ (προσχέδιο). Γενικά εάν το πλήρες σύστημα (sample inlet, sampling line, measuring system) δεν μπορεί να ελεγχθεί για τεχνικούς λόγους, ο ρυθμός διαρροής μπορεί να προσδιοριστεί και χωριστά για κάθε στοιχείο της διαδρομής της ροής.

- **Βαθμονόμηση (calibration) της ροής αέρα**: Γίνεται μία φορά το χρόνο. Στην περίπτωση μας δεν έγινε αφού όπως αναφέραμε και παραπάνω για την ροή αέρα ήμασταν εντός ορίων .

- **Έλεγχος (check) αισθητήρων θερμοκρασίας , πίεσης και υγρασίας**: Σε όλες τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα ήταν επιτυχή. Οι τιμές που μας έδινε το ίδιο το TEOM ήταν μέσα στα όρια που υπάρχουν μέσα στην οδηγία προσχέδιο TS16450 καθώς και στη ποσοστιαία διαφορά που καθορίζει ο ίδιος ο κατασκευαστής μεταξύ του TEOM και των αντίστοιχων οργάνων μέτρησης της θερμοκρασία, πίεσης και υγρασίας. Τα όρια αυτά (διαφορά /εύρος) είναι $\pm 2^\circ \text{ C}$, $\pm 1 \text{ Kra}$ και $\pm 5\% \text{ RH}$ για τα παραπάνω φυσικά μεγέθη αντίστοιχα, με

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

βάση το προσχέδιο και 2°C, ± 1,33 Kpa και ±5%RH με βάση των κατασκευαστή.

Ενδεικτικά αναφέρουμε μια μέτρηση έστω στις 19/11/14. Η ένδειξη του TEOM για την θερμοκρασία ήταν 20,6°C ενώ του θερμομέτρου (HOBO ONSET) 20,4°C διαφορά 0,2° C < 2°C που θέτει η οδηγία και ο κατασκευαστής. Αντίστοιχα για την πίεση η διαφορά μεταξύ TEOM και μανόμετρου που χρησιμοποιήθηκε (Castle Group Ltd) ήταν |97.6 – 98.5| kPa = 0,9kPa < 1 kPa αλλά και μικρότερη από 1,33 kPa που ορίζουν προσχέδιο και κατασκευαστής αντίστοιχα. Τέλος για την υγρασία η διαφορά μεταξύ TEOM και υγρασίομετρο (HOBO ONSET) ήταν |65,5 – 61| %RH = 4,5 %RH < 5 %RH που ορίζουν προσχέδιο και κατασκευαστής .

- **Βαθμονόμηση (calibration) αισθητήρων πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας :** Δεν πραγματοποιήθηκε αφού αυτό είναι αδύνατο λόγω κατασκευής του αυτόματου συστήματος. Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικού του οργάνου και δεν ενδείκνυται το άνοιγμα του προς αποφυγή βλάβης ή ακόμα καταστροφής μέρους του hardware.

- **Σημείο ανάγνωσης μηδενικού σημείου του AMS (Zero check reading):**

Οι έλεγχοι ανάγνωσης του μηδενικού σημείου διενεργούνται κάθε χρόνο χρησιμοποιώντας την κατάλληλη μέθοδο. Μια κατάλληλη μέθοδος για τη δημιουργία zero air μπορεί να είναι με την εγκατάσταση ενός φίλτρου (HEPA) στην είσοδο του AMS μέχρι να πάρουμε ένδειξη δηλαδή να αποκτηθεί ένα σταθερό σήμα. Στους ελέγχους μας οι τιμές που έδωσαν αυτό το σήμα ήταν μέσα στα πλαίσια κατασκευαστή και προσχέδιας οδηγίας του WG¹⁸. Στις 23/6/14 η τιμή που είχαμε ήταν 1,5μg/m³ < 3 μg/m³ (κατασκευαστής / προσχέδιο).

- **Έλεγχος του συστήματος μέτρησης της συγκέντρωσης (Mass measuring system):** Το σύστημα μέτρησης AMS πρέπει να βαθμονομείται με τη συχνότητα που απαιτείται από τον κατασκευαστή για να εξασφαλιστεί η ορθή

¹⁸ Working Group

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

λειτουργία του. Η διενέργεια βαθμονόμησης διαφέρει μεταξύ των διαφόρων ειδών AMS. Για ορισμένα συστήματα, όπως οπτικά AMS η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει μόνο σε σχέση με τη μέθοδο αναφοράς ή με ένα άλλο, αλλά «καλά χαρακτηρισμένο» AMS. Γενικά ο κατασκευαστής προτείνει έναν τουλάχιστο ετήσιο έλεγχο ή έλεγχο μετά από κάθε επισκευή που θα προκύψει. Σχετικά με την βαθμονόμηση του μετατροπέα μάζας (mass transducer) στη σειρά 8500 FDMS προσδιορίζεται από φυσικές μηχανικές ιδιότητες του. Υπό κανονικές περιστάσεις, η βαθμονόμηση δεν αλλάζει σημαντικά κατά τη διάρκεια ζωής του οργάνου. Αν τα αποτελέσματα της διαδικασίας επαλήθευσης δείχνουν ότι η σταθερά βαθμονόμησης (Ko) έχει αλλάξει περισσότερο από 2,5% (κατασκευαστής) ή περισσότερο από 3% προσχέδιο οδηγία WG από την αρχική τιμή της, οφείλουμε να απευθυνθούμε στην κατασκευάστρια εταιρία. Στην ουσία συγκρίνουμε δύο τιμές :

A. Την Audit Ko : Η τιμή έλεγχου της βαθμονόμησης

B. Την Actual Ko : Πραγματική τιμή που έχει εισαχθεί από τον κατασκευαστή και με βάση την οποία γίνεται ο έλεγχος.

Στην περίπτωση μας όλοι οι έλεγχοι ήταν επιτυχείς αφού οι τιμές ήταν κάτω από τα κρίσιμα ποσοστά των <2,5% (κατασκευαστής) και κατά συνέπεια και του προσχεδίου <3%.

Ενδεικτικά αναφέρουμε μια μέτρηση έστω στις 19/11/14.

Τιμή Ko (Audit)= 14,752 και Ko (Actual)= 14,794

Η διαφορά μεταξύ τους είναι :

$$\begin{aligned} \left| \frac{Ko(Audit) - Ko(Actual)}{Ko(Actual)} \right| * 100\% &= \left| \frac{14.752 - 14.794}{14.794} \right| * 100\% = \\ &= \left| \frac{-42}{14.794} \right| * 100\% = 0,28\% < 2,5\% \end{aligned}$$

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀**

K0 Confirm	209.44188
>Filt Wght	0.07903
287.53182	209.44186
Audit K0	9683
Actual K0	9627
% Diff	0.58

The K0 Confirmation screen contains the following information:

209.44188	This field contains the current value of the calibration constant (K ₀).
Filt Wght	This field contains the weight (g) of the pre-weighed calibration verification filter.
287.53182	This field contains the oscillating frequency (hz) of the tapered element oscillating microbalance (TEOM) with a TEOM filter installed.
209.44186	This field contains the oscillating frequency (hz) of the tapered element oscillating microbalance (TEOM) without a TEOM filter installed.
Audit K0	This field contains the audit value of the calibration constant (K ₀).
Actual K0	This field contains the current calibration constant (K ₀) value that was entered into the monitor (by R&P or the user).
% Diff	This field contains the percentage difference between the audit value and the currently entered K ₀ value.

Εικόνα 6.20: Παράδειγμα πίνακα τιμών (οθόνη TEOM) και αποτελεσμάτων σύγκρισης της σταθερας K₀ (Actual και Audit) (Πηγή: Manual οίκου THERMO SCIENTIFIC)

Μερικές γενικές παρατηρήσεις:

- **Παρατήρηση (I):** Τα δεδομένα / συγκεντρώσεις από το TEOM συλλέγονταν ηλεκτρονικά από τον βάση δεδομένων του , κάθε δεύτερη μέρα της εβδομάδας (Δευτέρα) και οδηγούνταν προς επεξεργασία όπως και αυτές που συλλέξαμε με βάση της σταθμική μέθοδο.
- **Παρατήρηση (II):** Στη διάρκεια των δύο περιόδων μέτρησης το φίλτρο του TEOM αλλάχτηκε τρεις φορές (η μία ήταν κατά την επισκευή που έγινε στην διαδικασία μετρήσεων της ψυχρής περιόδου). Πρέπει να σημειωθεί ότι το TEOM των μετρήσεών μας συνέχιζε να καταγράφει και σε περιόδους όπου δεν λαμβάναμε μετρήσεις με βάση την μέθοδο αναφοράς (στο μεσοδιάστημα θερμής/ψυχρής περιόδου) κάτι που δικαιολογεί τις παραπάνω αλλαγές του 47mm φίλτρου της συσκευής.
- **Παρατήρηση (III):** Η θέση δειγματοληψίας (θέση isobox) είναι τέτοια ώστε οι μετρήσεις να μην αντιστοιχούν σε πολύ μικρά περιβάλλοντα που βρίσκονται κοντά στους δειγματολήπτες. Για το σκοπό αυτό η ροή του αέρα γύρω από το στόμια εισαγωγής (DERENDA 1/2, TEOM) είναι ελεύθερη από όλες τις διευθύνσεις και δεν υπήρχε κανένα εμπόδιο που να επιρεάζει τη ροή αυτή. Οι δειγματολήπτες είχαν απόσταση περίπου 1,5m ο ένας με τον άλλο σε μια τριγωνική νοητή διαταξη. Αυτό διασφαλίζει ότι δεν υπήρξαν παρεμβολές στις μετρήσεις από την παράλληλη λειτουργία των δειγματοληπτών και οι δειγματολήπτες μετρούσαν το ίδιο ρεύμα αέρα .

6.4.2 Προβλήματα που προέκυψαν

Το αυτόματο σύστημα καταγραφής TEOM1400A – FDMS 8500C (PM₁₀) εμφάνισε δύο προβλήματα λειτουργίας:

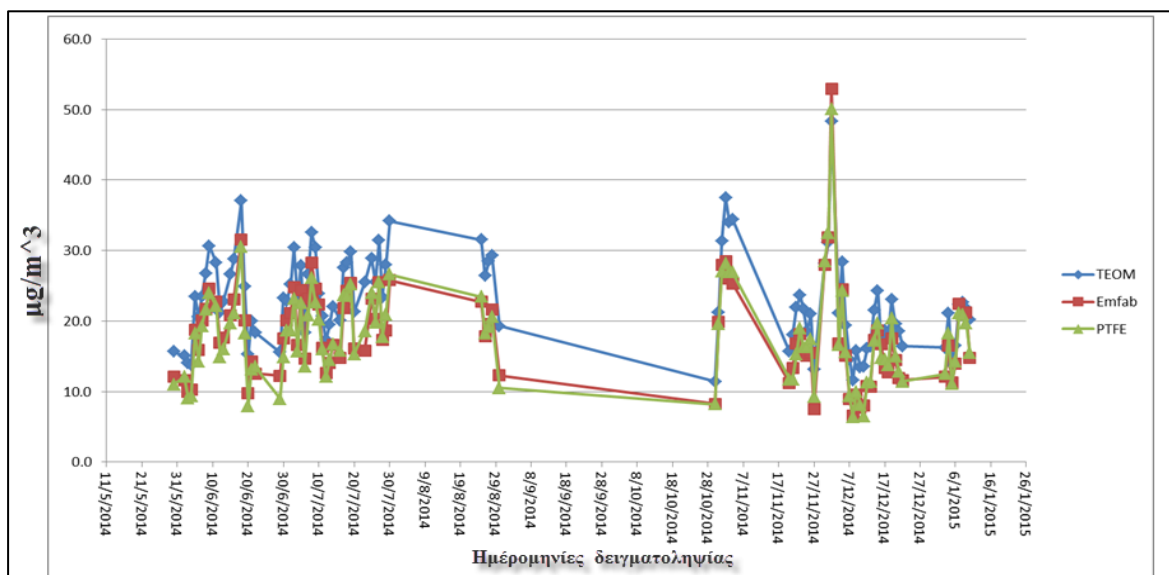
- Στις 18/10/2014 είχαμε ένα πρόβλημα στο σημείο ένωσης του φίλτρου με την αντλία με αποτέλεσμα να καθυστερήσει η έναρξη των μετρήσεων για την χειμερινή περίοδο για μερικές μέρες, μέχρι να γίνει αντικατάσταση του προβληματικού υλικού και τα απαραίτητα τεστ έλεγχο που προβλέπονται από τον κατασκευαστή και το προσχέδιο οδηγία του WG.
- Κατά την χειμερινή περίοδο και ενώ είχαμε ξεκινήσει μετρήσεις στις 11/11/2014 διαπιστώθηκε πρόβλημα στο TEOM με το air chiller dryer με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να σταματήσουν. Αφού έγινε η αντικατάσταση με νέο ανταλλακτικό και τα απαιτούμενα τεστ που ορίζουν ο κατασκευαστής και το προσχέδιο οδηγία του WG, στις 20/11/2014 συνεχίσαμε τις μετρήσεις που γίνονταν σε καθημερινή βάση .

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των PM₁₀ τόσο με την μέθοδο αναφοράς όσο και με την χρήση του TEOM συνεχίσαμε με ανάλυση αυτών των δεδομένων.

7.1 Κοινό διάγραμμα συγκεντρώσεων (μg/m³) σε συνάρτηση των ημερών δειγματοληψίας των DER1 (EMFAB) / DER2 (PTFE) και TEOM



Εικόνα 7.1: Συγκεντρώσεις σε μg/m³ σε συνάρτηση των ημερών δειγματοληψίας

μg/m ³	TEOM		EmFAB		PTFE	
	WARM	COLD	WARM	COLD	WARM	COLD
Average	24.3	21.2	19.0	17.0	18.3	17.2
Max	37.0	48.4	31.6	52.9	30.5	50.1
Min	13.8	11.4	9.80	6.55	7.90	6.44
STDV	5.52	7.43	5.08	8.40	5.17	8.09

Πίνακας 7.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων . Μέσος όρος , μέγιστες και ελάχιστες τιμές καθώς και STDV για το TEOM και τις δύο DERENDA για κάθε περίοδο μετρήσεων

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

- Σαν αρχικό συμπέρασμα από το διάγραμμα της εικόνας (7.1) παρατηρούμε γραφικά ότι τόσο οι δύο DERENDA όσο και το TEOM ακολουθούν την ίδια σχεδόν «τάση» σε σχέση με τις τιμές των συγκεντρώσεων. Όταν αυξάνονται/μειώνονται οι συγκεντρώσεις που υπολογίστηκαν με την μέθοδο αναφοράς (DER 1/2) τα ίδια ακριβώς συμβαίνουν και στις συγκεντρώσεις που υπολογίστηκαν με το TEOM.
- Οι συνολικές συγκεντρώσεις του TEOM των δύο περιόδων (θερμής και ψυχρής) κυμάνθηκαν από 11,4 μέχρι 48,4 μg/m³ (με μέση τιμή 22,9 μg/m³) ενώ με την μέθοδο των φίλτρων (DERENDA 1/2) οι τιμές κυμαίνονται από 6,44 μέχρι 52,9 μg/m³ (με μέση τιμή 17,9 μg/m³). Οι κορυφές (αυξημένες τιμές) των τιμών των συγκεντρώσεων (peaks) πιθανών οφείλεται κατά τους χειμερινούς μήνες στη χρήση κεντρικής θέρμανσης, αυξημένης κυκλοφορία αλλά κυρίως στην έντονη χρήση τζακιών στην περιοχή ενώ κατά την θερινή περίοδο στην μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα.
- Γενικά παρατηρούμε ότι το TEOM υπερεκτιμά τη συγκέντρωση των PM₁₀ κατά περίπου 5 μg/m³. Αυτό είναι άμεσα εμφανές στον Πίνακα (7.1) όπου οι τιμές του TEOM είναι πάντα μεγαλύτερες αυτών της σταθμικής μεθόδου με εξαίρεση κάποιες ημέρες κατά την χειμερινή περίοδο που μετρήσαμε άλλωστε και την πιο μεγάλη συγκέντρωση 52,9 μg/m³ (στις 2/12/2014).
- Οι τιμές της STDV (standard deviation : τυπική απόκλιση) μετρούν τη μέση διασπορά των τιμών γύρω από το μέσο αριθμητικό, συνεπώς είναι άμεσα συγκρίσιμη με τη μέση τιμή. Είναι προφανές ότι όσο μικρότερη είναι η τιμή της τυπικής απόκλισης τόσο μικρότερη είναι η διασπορά των τιμών. Παρατηρούμε από τη τελευταία στήλης του Πίνακα (7.1) ότι σε όλες των περιπτώσεων η διασπορά είναι μικρή αφού οι τιμές της τυπικής απόκλισης έχουν πεδίο τιμών από 5,08 μg/m³ μέχρι 8,40 μg/m³. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται κατά την χειμερινή περίοδο όπου άλλωστε αυτό είναι εμφανές και από το διάγραμμα που έχουμε μεγαλύτερο άνοιγμα στην «ψαλίδα» των τιμών των συγκεντρώσεων. Η πιο μεγάλη διασπορά 8,40 μg/m³ παρατηρείται για τις μετρήσεις των φίλτρων ENFAB κατά την χειμερινή περίοδο αφού μέσα σε αυτό το διάστημα έχουμε συλλέξει την πιο μεγάλη τιμή και μια από τις πιο μικρές τιμές του συνόλου των μετρήσεων.

7.2 Αβεβαιότητα μεταξύ των δύο δειγματοληπτών της μεθόδου αναφοράς

Η αβεβαιότητα μεταξύ των δειγματοληπτών της πρότυπης μεθόδου δίνεται από τη σχέση (1) :

$$u_{bs, RM}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i,1} - x_{i,2})^2}{2n} \quad (1)$$

Όπου : $x_{i,1}$, $x_{i,2}$ είναι τα ζεύγη των παράλληλων μετρήσεων και ο αριθμός των μετρήσεων.

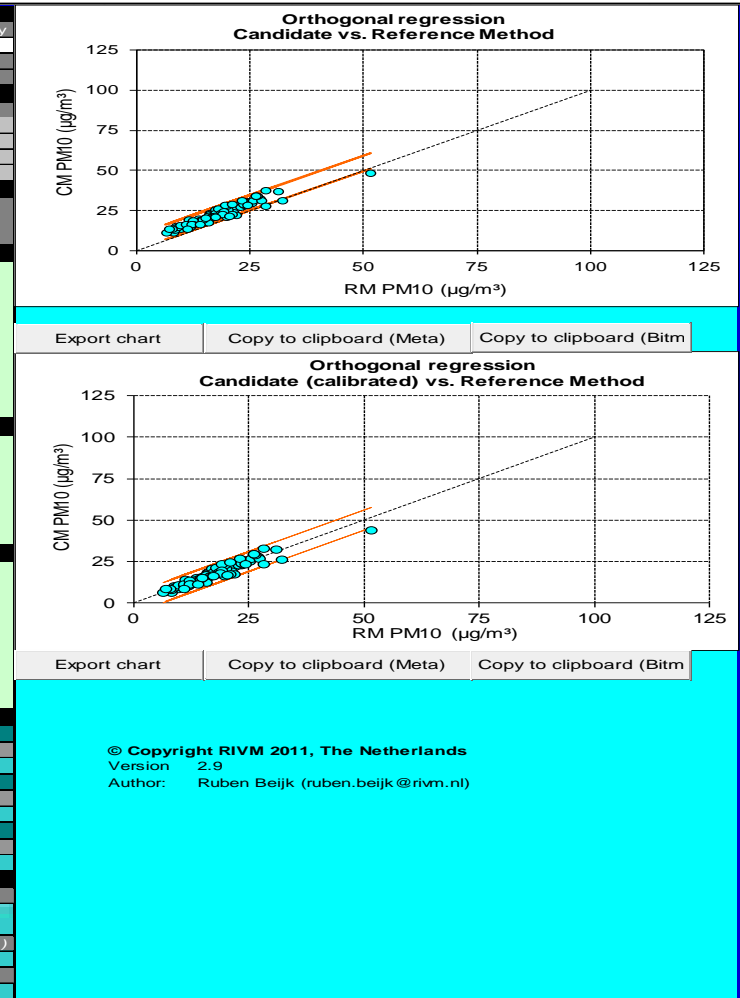
Η αβεβαιότητα μεταξύ των δειγματοληπτών της πρότυπης μεθόδου πρέπει να είναι $\leq 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με βάση την οδηγία προσχέδιο του Working Group αλλιώς έχουμε μια ένδειξη ακαταλληλότητας και θα έπρεπε να απορριφθούν οι μετρήσεις. Έτσι δεν μπορεί να έχουμε ισοδυναμία μεθόδου αναφοράς και AMS. Στην περίπτωση μας όμως όπως αυτό είναι εμφανές και από τον Πίνακα (7.2) η αβεβαιότητα είναι μικρότερη και στις δύο των περιπτώσεων (Θερινή και Ψυχρή περίοδος). Συγκεκριμένα η αβεβαιότητα μεταξύ μετρήσεων των οργάνων με την χρήση της σταθμικής περιόδου είναι αντίστοιχα $1,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $0,89 \mu\text{g}/\text{m}^3 < 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ έκαστη. Συμπερασματικά δεν τίθεται πρόβλημα ακαταλληλότητας των μετρήσεων των DERENDA 1 και 2

	WARM	COLD
Between RM uncertainty ($U_{bs, RM}^2$)	1.05	0.89
n=2		

Πίνακας 7.2: Αβεβαιότητα μεταξύ των μετρήσεων των δυο DERENDA με την μέθοδο αναφοράς

7.3 Πίνακας αποτελεσμάτων (ισοβάθμισης / βαθμονόμησης) DERENDA 1 και 2 (average συγκεντρώσεων) και του TEOM για το σύνολο των μετρήσεων και στις δύο περιόδους

GENERAL SETTINGS					
Substance	Unit	Limit value	RM uncertainty	Confidence Level	Max Uncertainty
PM10	µg/m³	50	1	0,975	25%
Starting month:	Spring	Summer	Fall	Winter	
	3	6	9	12	
DATA SELECTION					
Filter	Column	Value	Exclude instead of exclusive?	Status	
Filter 1	Year			Ignore	
Filter 2	Site			Ignore	
Filter 3	Something			Ignore	
Filter 4	Metainfo			Ignore	
CALIBRATION SETTING					
Calibration based on:	SLOPE AND INTERCEPT				
Comments:	OK				
	SLOPE AND INTERCEPT				
RAW DATA			RESULTS AFTER CALIBRATING		
Regression	1,015y + -5,334		N (Spring)	1	n
Regression (i=0)	0,801y		N (Summer)	51	n
N	96	n	N (Fall)	15	n
			N (Winter)	29	n
Outliers	3	n	Outliers	1	n
Outliers	3,1%	%	Outliers	1,0%	%
Mean CM	22,9	µg/m³	Mean RM	17,938	µg/m³
Mean RM	17,9	µg/m³	Mean CM	17,938	µg/m³
Number of RM > 0,6 * LV	3	n	Number of CM > 0,6 * LV	3	n
Number of RM > LV	1	n	Number of CM > LV	0	n
REGRESSION RESULTS (RAW)			REGRESSION RESULTS (CALIBRATED)		
Slope b	0,98474		Slope b	1,001	
Uncertainty of b	0,031		Uncertainty of b	0,031	
Intercept a	5,25212	significant	Intercept a	-0,014	
Uncertainty of a	0,591		Uncertainty of a	0,600	
r²	0,908		r²	0,908	
Slope b forced trough origin	1,248	significant			
Uncertainty of b (forced)	0,0156				
EQUIVALENCE TEST (RAW)			EQUIVALENCE TEST (CALIBRATED)		
Uncertainty of calibration	1,65	µg/m³	Calibration	1,015y -5,334	
Uncertainty of calibration (forced)	0,78	µg/m³	u(calibration)	1,652	µg/m³
Random term	1,78	µg/m³	Random term	2,46	µg/m³
Additional uncertainty (optional)	0,00	µg/m³	Additional uncertainty (optional)	0,00	µg/m³
Bias at LV	4,49	µg/m³	Bias at LV	0,02	µg/m³
Combined uncertainty	4,83	µg/m³	Combined uncertainty	2,46	µg/m³
Expanded relative uncertainty	19,3%	pass	Expanded relative uncertainty	9,8%	pass
Ref sampler uncertainty	1,00	µg/m³	Ref sampler uncertainty	1,00	µg/m³
Limit value	50	µg/m³	Limit value	50	µg/m³
STATISTICAL INFORMATION					
Raw data, free intercept					
dxdy	dyy	dxx	rss	u(b)	
4017	4155	4279	392	0,031	
Raw data, slope forced trough origin					
Sxy	Syy	Sxx	u(b)[MaxLike] i=0	u(b_forced)	
43482	54572	35170	0,016	0,016	
Calibrated, free intercept					
dxdy	dyy	dxx	rss	u(b)	
4080	4285	4279	404	0,031	
BACKGROUND AUTOMATION					
Chart descriptions	Conf. Lvl List		Calibration List		Sdev of all calibrations in use
Description x-axis	RM PM10 (µg/	97,5%			0
Description y-axis	CM PM10 (µg/	97,5%			0,01561
Conf. Lvl	Calibration Type	Filter List	Free regression		
2,28	-2	Exclude	Trough origin		
Calibration uncertainty	Calibration_a	Calibration_b	u(bs_reference)	Cl Regression	Cl Calibrated
1,65	-5,334	1,015	1,00	4,65	5,98



Για την εξαγωγή ποσοτικών αποτελεσμάτων εισάγαμε τα δεδομένα/τιμές συγκεντρώσεων στο υπολογιστικό πρόγραμμα του Dr. Ruben Beijk «Orthogonal regression and equivalence test utility» (έκδοση /version 2.9). Το πρόγραμμα ακολουθεί όλα τα ευρωπαϊκά πρότυπα που ορίζουν οι οδηγίες (Μέθοδος Αναφοράς) όσο και ότι ορίζει η οδηγία προσχέδιο (prCEN/TS16450) για την Αυτόματη Μέθοδο. Ακολουθώντας έτσι το μαθηματικό φορμαλισμό που περιγράφεται σε οδηγίες προτύπων και προσχέδιου του Working Group κάνουμε ισοβάθμιση (equivalance) των μεθόδων, βλέπουμε την συσχέτιση τους και προχωράμε σε βαθμονόμηση (εξαγωγή της κατάλληλης συνάρτησης διόρθωσης των τιμών των συγκεντρώσεων) του TEOM εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο με βάση τις συνθήκες και τα δεδομένα.

Ουσιαστικά η σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων του AMS και του μέσου όρου (average) των αποτελεσμάτων της μεθόδου αναφοράς γίνεται χρησιμοποιώντας την τεχνική της παλινδρόμηση (ορθογώνιος παλινδρόμηση)

Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε , με τις κατάλληλες ρυθμίσεις (οριακές τιμές κ.λπ.) επιτρέπει / προσφέρει την δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων και για σωματίδια άλλων μεγεθών όπως των $PM_{2.5}$ και όχι μόνο για τα PM_{10} όπως στην εργασία μας.

Επεξήγηση πίνακα :

Σύνολο μετρήσεων 96 (και των δύο περιόδων)

Ισοδυναμία μεθόδων (equivalence)

- Παρατηρούμε ότι έχουμε τρεις (3) τιμές (outliers) τις μεθόδου αναφοράς πιο πάνω από τις τιμές του TEOM (3,1% επί του συνόλου των μετρήσεων).
- Τρεις τιμές (μέθοδος αναφοράς) πάνω από το 60% της οριακής τιμής (Limit Value/LV) δηλαδή μεγαλύτερες $> 0,6 \cdot 50 = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ εκ των οποίων η μία από αυτές ήταν και μεγαλύτερη από τη LV δηλαδή $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Άλλωστε αυτή η τιμή ξεχωρίζει μόνη της στα πάνω διαγράμματα του πίνακα (7.3).

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

- Η τιμή 5,25 της τομής (intercept) με τον άξονα yy' είναι σημαντικά (significant) διαφορετική από την τιμή 0 για αυτό και θα οδηγηθούμε σε διόρθωση μέσω της βαθμονόμησης.

Αντίθετά η τιμή της κλίσης (slope) είναι εντός των ορίων που θέτει η οδηγία προσχέδιο του WG αφού έχει τιμή είναι 0,98 τιμή κοντά στο 1

Για να γίνουν δεκτά τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει για τους συντελεστές a και b στην εξίσωση που προκύπτει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

A. Το a να μην είναι σημαντικά διαφορετικό από το 0: $|a| \leq 2 u(a)$.

B. Το b να μην είναι σημαντικά διαφορετικό από το 1: $|b - 1| \leq 2 u(b)$.

Όπου : u(a) και u(b) η αβεβαιότητα της τομής και της κλίσης αντίστοιχα

Διορθώσεις δεν γίνονται :Αν η τιμή της κλίσης b έχει πεδίο τιμών μεταξύ των $0,980 \leq b \leq 1,020$ και /ή τιμή της τομής a έχει πεδίο τιμών μεταξύ των $-1,0 \mu\text{g} / \text{m}^3 \leq a \leq 1,0 \mu\text{g} / \text{m}^3$.

- Η διευρυμένη αβεβαιότητα είναι όμως μέσα στα όρια που θέτουν οι οδηγίες δηλαδή 19,3% <25%. Για αυτό το λόγο είναι επιτυχής/ pass.

- Η Bias σχετικά με την οριακή τιμή είναι +4,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Bias είναι η συστηματική ή επίμονη παραμόρφωση μιας διαδικασίας μέτρησης που προκαλεί σφάλματα σε μία κατεύθυνση. Είδαμε στον πίνακα (7.1) άλλωστε μια επίμονη των τιμών του TEOM περίπου 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ προς τα πάνω (+) από τις τιμές που δίνει η Μέθοδος Αναφοράς .

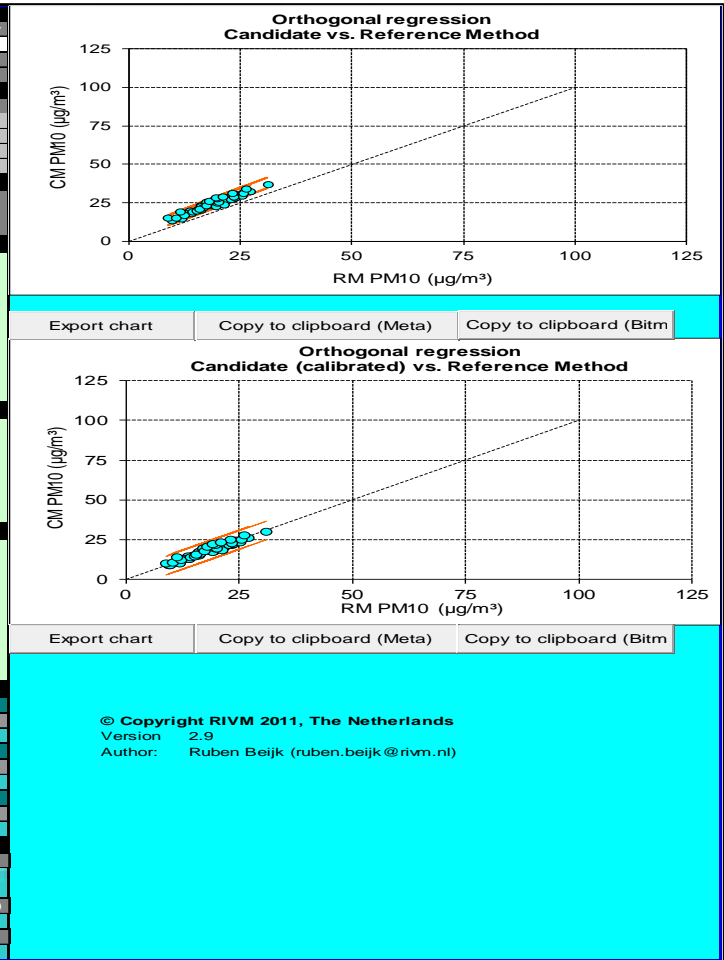
- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ήταν σε συμφωνία μεταξύ τους. Η συσχέτιση μεταξύ τους είναι ικανοποιητική αφού ο συντελεστής συσχέτισης r (correlation coefficient) είναι $r^2=0,908$. Αυτό σημαίνει ότι το $(0,908)^2 \cdot 100\% = 82,44\%$ της μεταβλητότητας των παρατηρήσιμων τιμών του TEOM (Y_i) ερμηνεύεται από την παλινδρόμηση τους επί των τιμών της μεθόδου αναφοράς (X_i)

Βαθμονόμηση (calibration)

- Παρατηρούμε ότι μετά την βαθμονόμηση έχουμε ένα μόνο outliers (1/96 ≈ 1% επί του συνόλου των μετρήσεων).
- Τρεις τιμές πάνω από το 60% της οριακής τιμής (Limit Value/LV) δηλαδή μεγαλύτερη > 0,6*50=30 μg/m³ αλλά μικρότερη όλης από LV δηλαδή < 50 μg/m³.
- Η τιμή -0,014 της τομής (intercept) με τον άξονα yy' καθώς και η τιμή 1,001 της κλίσης (slope) είναι εντός των ορίων που αναφέραμε παραπάνω και με πολύ καλή ακρίβεια.
- Η διευρυμένη αβεβαιότητα έπεσε μετά την βαθμονόμηση στο 9,8% << 25% για αυτό και θεωρείται επιτυχής (pass).
- Η προκατάληψη είναι σχεδόν μηδενική 0,02 αφού έχει εξανεμιστεί η διαφορά των τιμών που εμφάνιζε το TEOM προς τα πάνω (Mean CM=17.938 μg/m³ και Mean RM=17.938).
- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων είναι σε ισχυρή συμφωνία μεταξύ τους. Ο συντελεστής συσχέτισης r (correlation coefficient) είναι $r^2=0,908$

7.4 Πίνακας αποτελεσμάτων (ισοβάθμισης / βαθμονόμησης) DERENDA 1 και 2 (average συγκεντρώσεων) και του TEOM στην θερμή περίοδο (καλοκαίρι)

GENERAL SETTINGS					
Substance	Unit	Limit value	RM uncertainty	Confidence Level	Max Uncertainty
PM10	µg/m³	50	1	0,975	25%
Starting month:	Spring	Summer	Fall	Winter	
	3	6	9	12	
DATA SELECTION					
Filter 1	Column	Value	Exclude instead of exclusive?		Status
Filter 2	Year				Ignore
Filter 3	Site				Ignore
Filter 4	Something				Ignore
	Metainfo				Ignore
CALIBRATION SETTING					
Calibration based on:	SLOPE AND INTERCEPT		OK		
Comments:	SLOPE AND INTERCEPT				
RAW DATA			RESULTS AFTER CALIBRATING		
Regression	0,919y + -3,729		N (Spring)	51	n
Regression (i=0)	0,773y		N (Summer)	1	n
N	52	n	N (Fall)	0	n
Outliers	0	n	N (Winter)	0	n
Outliers %	0,0%	%	Outliers	0,0%	%
Mean CM	24,3	µg/m³	Mean CM	18,624	µg/m³
Mean RM	18,6	µg/m³	Mean RM	18,624	µg/m³
Number of RM > 0,6 * LV	1	n	Number of CM > 0,6 * LV	1	n
Number of RM > LV	0	n	Number of CM > LV	0	n
REGRESSION RESULTS (RAW)			REGRESSION RESULTS (CALIBRATED)		
Slope b	1,08862	significant	Slope b	0,997	
Uncertainty of b	0,040		Uncertainty of b	0,037	
Intercept a	4,05914	significant	Intercept a	0,056	
Uncertainty of a	0,767		Uncertainty of a	0,704	
r²	0,933		r²	0,933	
Slope b forced trough origin	1,294	significant			
Uncertainty of b (forced)	0,0137				
EQUIVALENCE TEST (RAW)			EQUIVALENCE TEST (CALIBRATED)		
Uncertainty of calibration	2,13	µg/m³	Calibration	0,919y -3,729	
Uncertainty of calibration (forced)	0,69	µg/m³	u(calibration)	2,130	µg/m³
Random term	1,04	µg/m³	Random term	2,30	µg/m³
Additional uncertainty (optional)	0,00	µg/m³	Additional uncertainty (optional)	0,00	µg/m³
Bias at LV	8,49	µg/m³	Bias at LV	-0,09	µg/m³
Combined uncertainty	8,55	µg/m³	Combined uncertainty	2,30	µg/m³
Expanded relative uncertainty	34,2%	fail	Expanded relative uncertainty	9,2%	pass
Ref sampler uncertainty	1,02	µg/m³	Ref sampler uncertainty	1,02	µg/m³
Limit value	50	µg/m³	Limit value	50	µg/m³
STATISTICAL INFORMATION					
Raw data, free intercept					
dx/dy	dyy	dx/dx	rss		u(b)
1383	1555	1319	106		0,040
Raw data, slope forced trough origin					
Sxy	Syy	Sxx		u(b)[MaxLike] i=0	u(b) forced
24948	32344	19355		0,014	0,014
Calibrated, free intercept					
dx/dy	dyy	dx/dx	rss		u(b)
1271	1312	1319	89		0,037
BACKGROUND AUTOMATION					
Chart descriptions	Conf. Lvl List	Calibration List	Stdev of all calibrations in use		
Description x-axis	RM PM10 (µg/	97,5%		0	0,01373
Description y-axis	CM PM10 (µg/	97,5%	Free regression		
Conf. Lvl	Calibration Type	Filter List	Trough origin	Calib. In use (a)	Calib. In use (b)
2,31	-2	Exclude		-3,729	0,919
Calibration uncertainty	Calibration_a	Calibration_b	u(bs_reference)	CI Regression	CI Calibrated
2,13	-3,729	0,919	1,02	3,37	5,96



Επεξήγηση πίνακα :

Σύνολο μετρήσεων 52 (θερμή περίοδος)

Ισοδυναμία μεθόδων (equivalence)

- Παρατηρούμε ότι **δεν** έχουμε τιμές (outliers) τις μεθόδου αναφοράς πιο πάνω από τις τιμές του TEOM (0% επί του συνόλου των μετρήσεων).
- Μία μόνο τιμή (μέθοδος αναφοράς) είναι πιο πάνω από το 60% της οριακής τιμής (Limit Value/LV) δηλαδή μεγαλύτερες $> 0,6 \cdot 50 = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αλλά μικρότερη από $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Άλλωστε αυτή η τιμή ξεχωρίζει μόνη της στο πάνω διάγραμμα του πίνακα (7.4)
- Η τιμή 4,05 της τομής (intercept) με τον άξονα yy' είναι σημαντικά (significant) διαφορετική από την τιμή 0 για αυτό και θα οδηγηθούμε σε διόρθωση μέσω της βαθμονόμησης. Το ίδιο συμβαίνει και με την κλίση (slope) αφού έχει τιμή 1,08 που είναι αρκετά εκτός των ορίων.
- Η διευρυμένη αβεβαιότητα είναι εκτός των ορίων που θέτουν οι οδηγίες δηλαδή $34,2\% > 25\%$. Για αυτό το λόγο και θεωρήται ανεπιτυχής/ fail.
- Το Bias σχετικά με την οριακή τιμή είναι $+8,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Είδαμε (πίνακας 7.1) άλλωστε μια επιμονή των τιμών του TEOM έως και $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ προς τα πάνω κατά τη θερμή περίοδο.
- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ήταν σε συμφωνία μεταξύ τους. Η συσχέτιση μεταξύ τους είναι πολύ ικανοποιητική αφού ο συντελεστής συσχέτισης r (correlation coefficient) είναι $r^2=0,933$

Βαθμονόμηση (calibration)

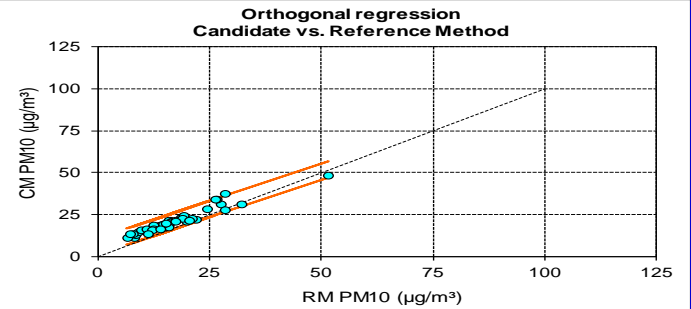
- Μετά την βαθμονόμηση δεν θα είχαμε outliers (0% επί του συνόλου των μετρήσεων).
- Μια τιμή παραμένει πιο πάνω από το 60% της οριακής τιμής (Limit Value/LV) αλλά μικρότερη από το $< 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Η τιμή 0,056 της τομής (intercept) με τον άξονα yy' καθώς και η τιμή 0,997 της κλίσης (slope) είναι εντός των ορίων που αναφέραμε παραπάνω και με πολύ καλή ακρίβεια.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

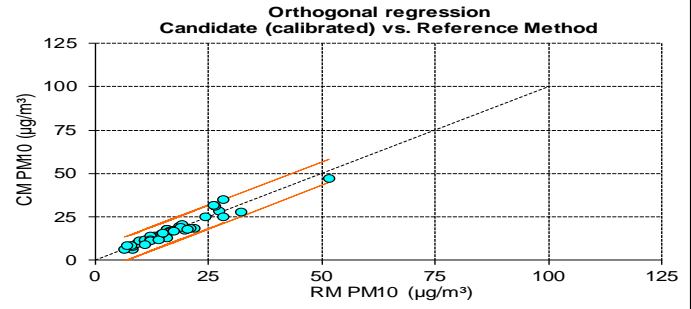
- Η διευρυμένη αβεβαιότητα έπεσε μετά την βαθμονόμηση στο 9,2% << 25% για αυτό και θεωρείται επιτυχής (pass) .
- Το Bias είναι σχεδόν μηδενικό -0,09 αφού έχει εξανεμιστεί η διαφορά των τιμών που εμφάνιζε το TEOM προς τα πάνω αλλά αντίθετα μετά την βαθμονόμηση βλέπουμε και μια ελάττωση σε σχέση με τις τιμές της Μεθόδου Αναφοράς.
- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων είναι σε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους. Ο συντελεστής συσχέτισης r (correlation coefficient) είναι $r^2=0,933$

7.5 Πίνακας αποτελεσμάτων (ισοβάθμισης / βαθμονόμησης) DERENDA 1 και 2 (average συγκεντρώσεων) και του TEOM στην ψυχρή περίοδο

GENERAL SETTINGS					
Substance	Unit	Limit value	RM uncertainty	Confidence Level	Max Uncertainty
PM10	µg/m³	50	1	0,975	25%
Starting month:	Year	Summer	Fall	Winter	
	3	6	9	12	
DATA SELECTION					
Filter 1	Column	Value	Exclude instead of exclusive?		Status
Filter 2	Year				Ignore
Filter 3	Site				Ignore
Filter 4	Something				Ignore
	Metainfo				Ignore
CALIBRATION SETTING					
Calibration based on:	SLOPE AND INTERCEPT				
Comments:	SLOPE AND INTERCEPT				
OK					
RAW DATA			RESULTS AFTER CALIBRATING		
Regression	1,111y + -6,477		N (Spring)	0	n
Regression (i=0)	0,842y		N (Summer)	0	n
N	44		N (Fall)	15	n
			N (Winter)	29	n
Outliers	2		Outliers	0	n
Outliers	4,5%		Outliers	0,0%	%
Mean CM	21,2 µg/m³		Mean CM	17,127 µg/m³	µg/m³
Mean RM	17,1 µg/m³		Mean RM	17,127 µg/m³	µg/m³
Number of RM > 0,6 * LV	2		Number of CM > 0,6 * LV	4	n
Number of RM > LV	1		Number of CM > LV	0	n
REGRESSION RESULTS (RAW)			REGRESSION RESULTS (CALIBRATED)		
Slope b	0,89994	significant	Slope b	1,004	
Uncertainty of b	0,038		Uncertainty of b	0,043	
Intercept a	5,82875	significant	Intercept a	-0,073	
Uncertainty of a	0,729		Uncertainty of a	0,811	
r²	0,924		r²	0,924	
Slope b forced trough origin	1,188	significant			
Uncertainty of b (forced)	0,0273				
EQUIVALENCE TEST (RAW)			EQUIVALENCE TEST (CALIBRATED)		
Uncertainty of calibration	2,06 µg/m³		Calibration	1,111y -6,477	
Uncertainty of calibration (forced)	1,37 µg/m³		u(calibration)	2,058 µg/m³	µg/m³
Random term	1,84 µg/m³		Random term	2,94 µg/m³	µg/m³
Additional uncertainty (optional)	0,00 µg/m³		Additional uncertainty (optional)	0,00 µg/m³	µg/m³
Bias at LV	0,83 µg/m³		Bias at LV	0,14 µg/m³	µg/m³
Combined uncertainty	2,01 µg/m³		Combined uncertainty	2,95 µg/m³	µg/m³
Expanded relative uncertainty	8,1%	pass	Expanded relative uncertainty	11,8%	pass
Ref sampler uncertainty	1,00 µg/m³		Ref sampler uncertainty	1,00 µg/m³	µg/m³
Limit value	50 µg/m³		Limit value	50 µg/m³	µg/m³
STATISTICAL INFORMATION					
Raw data, free intercept					
dx _{dy}	dy _y	dx _x	r _{ss}	u(b)	
2524	2373	2906	184	0,038	
Raw data, slope forced trough origin					
S _{xy}	S _{yy}	S _{xx}	u(b)[MaxLike] i=0		u(b, forced)
18531	22226	15312	0,027		0,027
Calibrated, free intercept					
dx _{dy}	dy _y	dx _x	r _{ss}	u(b)	
2805	2930	2906	228	0,043	
BACKGROUND AUTOMATION					
Chart descriptions		Conf. Lvl List	Calibration List	Stdev of all calibrations in use	
Description x-axis	RM PM10 (µg/	97,5%		0	
Description y-axis	CM PM10 (µg/	97,5%		0,02735	
Conf. Lvl	Calibration Type	Filter List	Free regression		
2,32	-2	Exclude	Trough origin	Calib. In use (a)	Calib. In use (b)
				-6,477	1,111
Calibration uncertainty	Calibration a	Calibration b	u(b _{s, reference})	CI Regression	CI Calibrated
2,06	-6,477	1,111	1,00	4,86	6,81



Export chart Copy to clipboard (Meta) Copy to clipboard (Bitm



Export chart Copy to clipboard (Meta) Copy to clipboard (Bitm

© Copyright RIVM 2011, The Netherlands
Version 2.9
Author: Ruben Beijck (ruben.beijck@rivm.nl)

Επεξήγηση πίνακα :

Σύνολο μετρήσεων 44 (ψυχρή περίοδος)

Ισοδυναμία μεθόδων (equivalence)

- Παρατηρούμε ότι έχουμε δύο (2) τιμές (outliers) τις μεθόδου αναφοράς πιο πάνω από τις τιμές του TEOM ($2/44 \approx 4,5\%$ επί του συνόλου των μετρήσεων) .
- Δύο τιμές πιο πάνω από το 60% της οριακής τιμής (Limit Value/LV) δηλαδή μεγαλύτερες $> 0,6 \cdot 50 = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ εκ των οποίων η μια από αυτές είναι και μεγαλύτερη από $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Τιμή που ξεχωρίζει μόνη της στο πάνω διάγραμμα του πίνακα (7.5)
- Η τιμή 5,82 της τομής (intercept) με τον άξονα yy' είναι σημαντικά (significant) διαφορετική από την τιμή 0 γι' αυτό και θα οδηγηθούμε σε διόρθωση μέσω της βαθμονόμησης. Το ίδιο συμβαίνει και με την κλίση (slope) αφού έχει τιμή 0,89 που είναι εκτός των ορίων.
- Η διευρυμένη αβεβαιότητα είναι πολύ μικρή και εντός των ορίων που θέτουν οι οδηγίες δηλαδή $8,1\% \ll 25\%$. Για αυτό το λόγο και οι μετρήσεις από θέμα αβεβαιοτήτων θεωρούνται επιτυχείς (pass).
- Το Bias σχετικά με την οριακή τιμή είναι πολύ μικρό: $0,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ήταν σε συμφωνία μεταξύ τους. Η συσχέτιση μεταξύ τους είναι πολύ ικανοποιητική αφού ο συντελεστής συσχέτισης r (correlation coefficient) είναι $r^2 = 0,924$

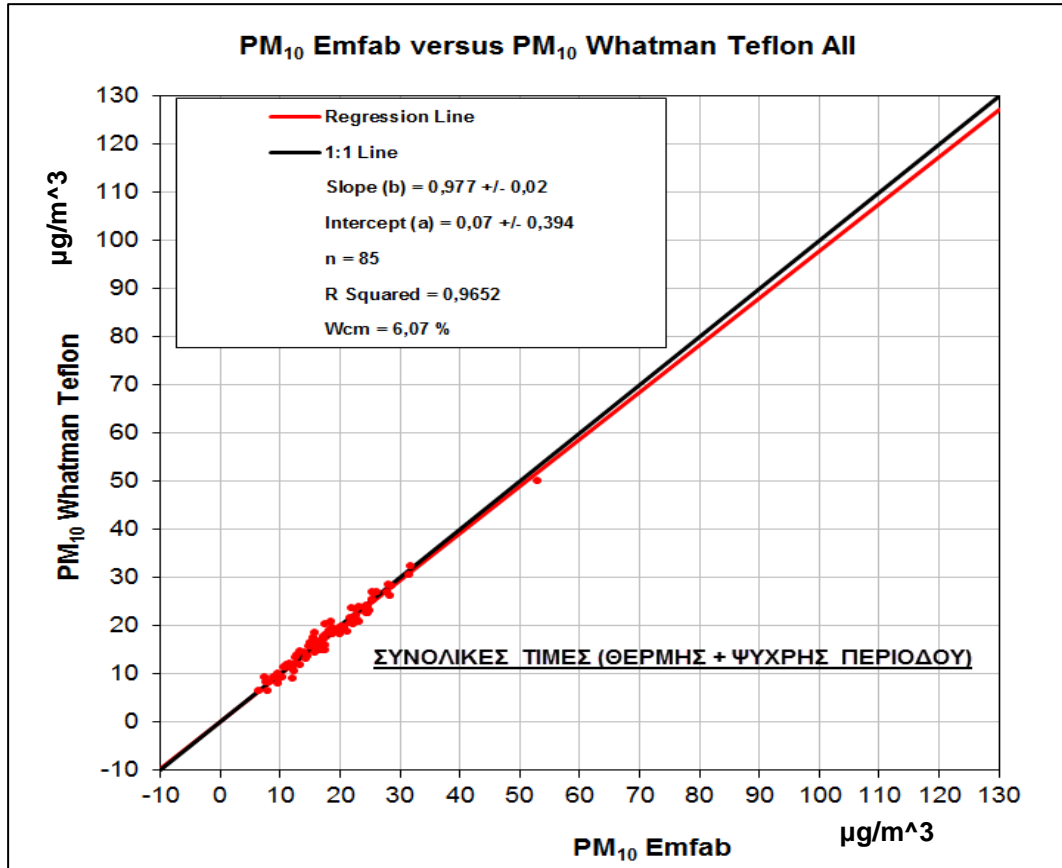
Βαθμονόμηση (calibration)

- Μετά την βαθμονόμηση δεν έχουμε outliers (0% επί του συνόλου των μετρήσεων).
- Τέσσερις τιμές παραμένουν πιο πάνω από το 60% της οριακής τιμής (Limit Value/LV) αλλά όλες μικρότερες από το $< 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Η τιμή 0,811 της τομής (intercept) με τον άξονα yy' καθώς και η τιμή 1,004 της κλίσης (slope) είναι εντός των ορίων που αναφέραμε παραπάνω και με πολύ καλή ακρίβεια.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

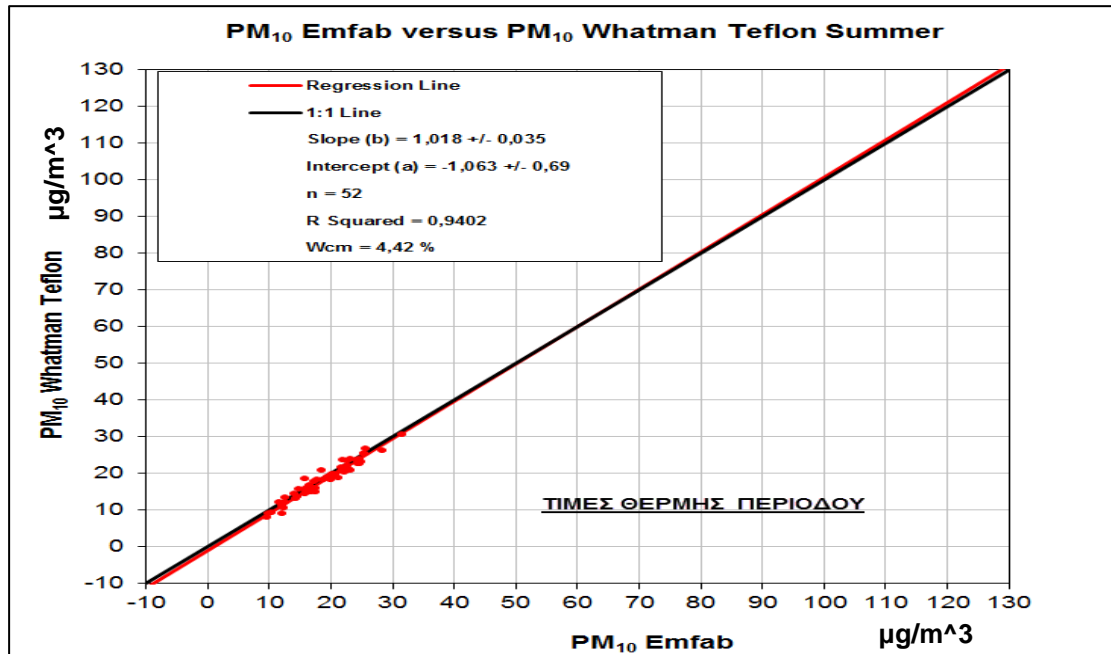
- Η διευρυμένη αβεβαιότητα αυξήθηκε ελάχιστα μετά την βαθμονόμηση στο 11,8% όμως παραμένει αρκετά χαμηλότερη από το 25% για αυτό και θεωρείται επιτυχής (pass) .
- Το Bias είναι πολύ μικρό: 0,14 μg/m³.
- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων είναι σε συμφωνία μεταξύ τους. Ο συντελεστής συσχέτισης r (correlation coefficient) είναι $r^2=0,924$.

7.8 Διάγραμμα ανάλυσης παλινδρόμησης των φίλτρων EMFAB (DER1) / PTFE (DER2) επί του συνόλου των μετρήσεων.



- Περίοδος μετρήσεων από 30/5/14 μέχρι 19/12/14. Σύνολο μετρήσεων 85.
- Οι τιμές της κλίσης 0,977 καθώς και η τιμή της τομής 0,07 μg/m³ είναι αντίστοιχά πολύ κοντά στο 1 και το 0. Ακόμα η διασπορά των τιμών είναι πολύ μικρή.
- Φαίνεται ξεκάθαρα ότι τελικά οι δύο τύποι φίλτρων που χρησιμοποιήσαμε λειτούργησαν πολύ καλά (μεγάλη συσχέτιση) χωρίς να επηρεάσουν τις μετρήσεις μας. Άλλωστε ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of Determination) είναι $R^2=0,9652$.

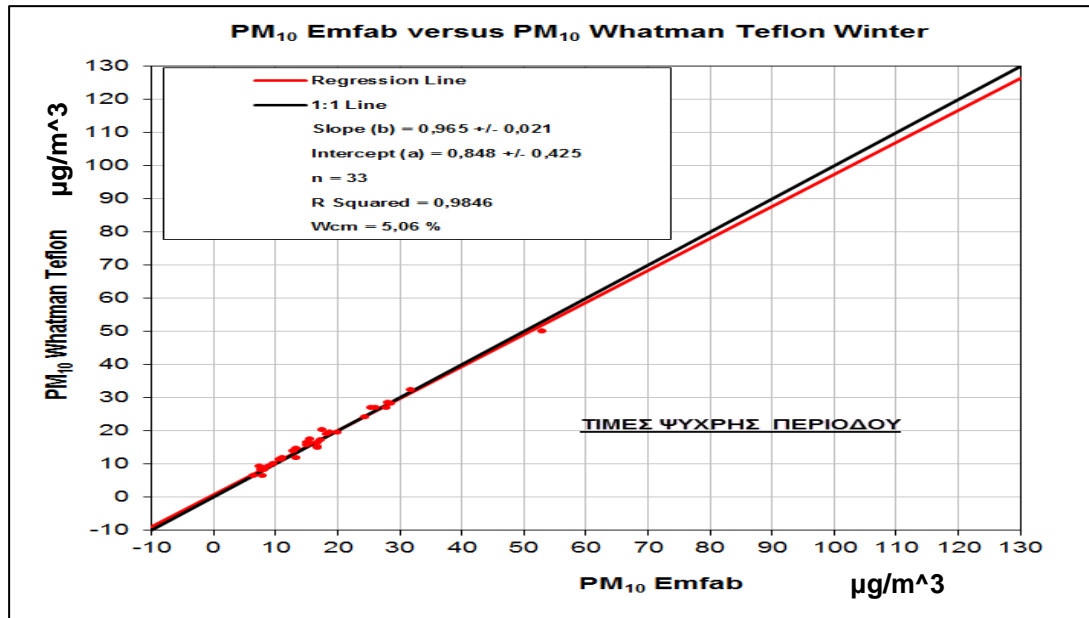
7.9 Διάγραμμα ανάλυσης παλινδρόμησης των φίλτρων EMFAB (DER1) / PTFE (DER2) επί των μετρήσεων της θερμής περιόδου.



- Περίοδος μετρήσεων από 30/5/14 μέχρι 30/08/14 . Σύνολο μετρήσεων 52.
- Οι τιμές της κλίσης 1,018 είναι πολύ κοντά στο 1 .Η τιμή της τομής -1,063 μg/m³ είναι πολύ λίγο διαφοροποιημένη από την τιμή του 0 . Ακόμα διασπορά των τιμών είναι πολύ μικρή .
- Τελικά οι δύο τύποι φίλτρων που χρησιμοποιήσαμε λειτούργησαν πολύ καλά (μεγάλη συσχέτιση) χωρίς να επηρεάσουν τις μετρήσεις μας. Άλλωστε ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of Determination) είναι R²=0,9402

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

7.10 Διάγραμμα ανάλυσης παλινδρομησης των φίλτρων EMFAB (DER1) / PTFE (DER2) επί των μετρήσεων της ψυχρής περιόδου.



- Περίοδο μετρήσεων από 30/10/14 μέχρι 19/12/14 . Σύνολο μετρήσεων 33.
- Οι τιμές της κλίσης 0,965 είναι πολύ κοντά στο 1 .Η τιμή της τομής -0,848 μg/m³ είναι πολύ λίγο διαφοροποιημένη από την τιμή του 0 . Ακόμα διασπορά των τιμών είναι πολύ μικρή .
- Οι δύο τύποι φίλτρων που χρησιμοποιήσαμε έχουν μεγάλη συσχέτιση χωρίς να επηρεάσουν τις μετρήσεις μας . Άλλωστε ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of Determination) είναι R²=0,9846

8ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της εν λόγω μεταπτυχιακής εργασίας είναι τα εξής :

- Το αυτόματο σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής των συγκεντρώσεων PM₁₀ (TEOM-FDMS) πληροί τις απαιτήσεις των χαρακτηριστικών επιδόσεων, τους περιορισμούς καθώς και από τις τεχνικές προδιαγραφές που θέτει το προσχέδιο οδηγίας του WG και ο κατασκευαστής του οργάνου. Το αυτόματο σύστημα πέρασε τα εξής τεστ με επιτυχία:

- ✓ Έλεγχος διαρροής ή στεγανότητας του συστήματος δειγματοληψίας (Leak check of the sampling system). **Διαφοροποίηση** είχαμε μόνο στις 2/4/2014 στην κύρια ροή. Η διαφορά είναι κατά 4,15% αυξημένη στο TEOM σε σχέση με το πρότυπο ροόμετρο που είναι μέσα στα όρια που θέτει το προσχέδιο < 5% ενώ είναι μεγαλύτερη από τα όρια που ορίζει ο κατασκευαστής στο manual > 2%. Όμως η τιμή θεωρείται έγκυρη (Pass) αφού δεν καταστρατηγούνται τα όρια του που θέτει το Working Group στο προσχέδιο. Άλλωστε τα όρια που θα θέτει το πρότυπο είναι πιο διευρυμένα σε σχέση με αυτά του εκάστοτε κατασκευαστή γιατί απευθύνεται σε πλήθος συσκευών και όχι σε μια μεμονωμένη.
- ✓ Βαθμονόμηση (calibration) της ροής αέρα.
- ✓ Έλεγχος (check) αισθητήρων θερμοκρασίας , πίεσης και υγρασίας.
- ✓ Σημείο ανάγνωσης μηδενικού σημείου του AMS (Zero check reading).
- ✓ Έλεγχος του συστήματος μέτρησης της συγκέντρωσης (Mass measuring system).

Σημείωση: Βαθμονόμηση (calibration) αισθητήρων δεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί αφού αυτό είναι αδύνατο λόγω κατασκευής του αυτόματου συστήματος .

Συνολικές μετρήσεις DERENDA 1/2 και TEOM

- Όπως ήταν αναμενόμενο οι συγκεντρώσεις με την μέθοδο αναφοράς (χρήση φίλτρων EMFAB/PTFE) δεν ξεπέρασαν την τιμή των 30μg/m³ αφού ο σταθμός μας είναι σταθμός προαστιακού υποβάθρου. Σε όποιες περιπτώσεις συνέβη (χειμερινή περίοδο κυρίως) οφείλονταν σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Η αύξηση των τιμών των συγκεντρώσεων τους χειμερινούς μήνες οφείλεται κυρίως στη χρήση κεντρικής θέρμανσης, αυξημένης κυκλοφορία αλλά στην περίπτωση μας στην έντονη χρήση τζακιών ενώ κατά την θερινή περίοδο στην μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τον καταλληλο άνεμο οδήγησαν σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις συνήθεις στον χώρο του πειράματος αυξάνοντας τις τιμές καταγραφής.
- Οι συνολικές συγκεντρώσεις του TEOM των δύο περιόδων (θερμής και ψυχρής) κυμάνθηκαν από 11,4 μέχρι 48,4μg/m³ (με μέση τιμή 22,9 μg/m³) ενώ με την μέθοδο των φίλτρων 6,44 μέχρι 52,9 μg/m³ (με μέση τιμή 17,9 μg/m³). Γενικά παρατηρούμε ότι το TEOM υπερεκτιμά τη συγκέντρωση των PM₁₀ κατά περίπου 5 μg/m³. Οι τιμές του TEOM είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερες αυτών της σταθμικής μεθόδου με εξαίρεση τρεις ημέρες κατά την χειμερινή περίοδο που μετρήσαμε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις με τα μέθοδο αναφοράς (outliers / 3.1% επί του συνόλου των μετρήσεων). Μετά την βαθμονόμηση είχαμε μόνο ένα outlier.
- Με την μέθοδο αναφοράς είχαμε μόνο 3 τιμές πάνω από τα όρια (0,6*LV=0,6*50=30 μg/m³) μια από τις οποίες και μεγαλύτερη από 50μg/m³ σε σύνολο 96 μετρήσεων. Μετά την βαθμονόμηση είχαμε μόνο μία με πεδίο τιμών 30 μg/m³ < c < 50 μg/m³.
- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ήταν σε συμφωνία μεταξύ τους. Η συσχέτιση μεταξύ τους είναι ικανοποιητική r²=0,908. Χρειάζεται όμως βαθμονόμηση (calibration) του TEOM αφού η κλίση/ slope μπορεί να μην

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

διαφέρει πολύ από το 1 μιας και $b=0,98$ αλλά η τομή /intercept διαφέρει σημαντικά από το μηδέν αφού $a=5,25$ (significant).

- Η διευρυμένη αβεβαιότητα ήταν $19,3\% < 25\%$ (μέγιστη τιμή που θέτει τα πρότυπα) για αυτό και οι τιμές είναι δεκτές (pass) το οποίο με τη βαθμονόμηση του TEOM πέφτει στο $9,8\%$

- Μετά την βαθμονόμηση η πρωτοβάθμια συνάρτηση που διορθώνει τις τιμές του αυτόματου συστήματος και για τις δύο περιόδους παρακολούθησης είναι η εξής:

$$C_{\text{real}} = 1,015 C_{\text{TEOM}} - 5,334 \quad (c \rightarrow \mu\text{g}/\text{m}^3)$$

- Οι δύο τύποι φίλτρων που χρησιμοποιήσαμε δεν επηρεάζουν τις μετρήσεις μας καθώς η συσχέτιση τους είναι πάρα πολύ καλή $R^2=0,9652$ (Συνολικές μετρήσεις) όμως το ίδιο καλές είναι και στις επιμέρους περιόδους .

- Ακόμα η αβεβαιότητα των δύο δειγματοληπτών με την μέθοδο αναφοράς ήταν $1,05$ και $0,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά τη διάρκεια της θερινής και της χειμερινής περιόδου αντίστοιχα. Το πρότυπο ορίζει ότι η u_{RS} πρέπει να είναι $< 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το οποίο και συμβαίνει.

Μετρήσεις θερμής περιόδου DERENDA 1/2 και TEOM

- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ήταν σε συμφωνία μεταξύ τους. Η συσχέτιση μεταξύ τους είναι ικανοποιητική $r^2=0,933$ (Πίνακας 4). Χρειάζεται όμως βαθμονόμηση (calibration) του TEOM αφού η κλίση/ slope διαφέρει από το 1 (significant) μιας και $b=1,08$ αλλά η τομή /intercept διαφέρει σημαντικά από το μηδέν αφού $a=4,05$ (significant).

- Η διευρυμένη αβεβαιότητα ήταν $34,2\% > 25\%$ (μέγιστη τιμή που θέτει τα πρότυπα) για αυτό και οι τιμές δεν παίρνουν (fail) αλλά με την κατάλληλη

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

διόρθωση /βαθμονόμηση του TEOM πέφτει στο 9,2% . Ίσως ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις είναι οι υψηλές θερμοκρασίες της εποχής και η απώλεια ημιπτητικών ουσιών από την συλλογή ως την ζύγιση με βάση την μέθοδο αναφοράς κάτι που δεν το αντιμετωπίζουμε στο TEOM με τη χρήση του FDMS.

- Ακόμα η αβεβαιότητα των δύο δειγματοληπτών με την μέθοδο αναφοράς ήταν 1,05 κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου αντίστοιχα. Το πρότυπο ορίζει ότι η u_{RS} πρέπει να είναι $< 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το οποίο και συμβαίνει.

- Μετά την βαθμονόμηση η πρωτοβάθμια συνάρτηση που διορθώνει τις τιμές του αυτόματου συστήματος και για τις δύο περιόδους παρακολούθησης είναι η εξής:

$$C_{\text{real}} = 0,919 C_{\text{TEOM}} - 3,729 \quad (c \rightarrow \mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Μετρήσεις χειμερινής περιόδου DERENDA 1/2 και TEOM

- Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ήταν σε συμφωνία μεταξύ τους. Η συσχέτιση μεταξύ τους είναι ικανοποιητική $r^2=0,924$. Χρειάζεται όμως βαθμονόμηση (calibration) του TEOM αφού η κλίση/ slope διαφέρει από το 1 (significant) μιας και $b= 0,89994$ αλλά η τομή /intercept διαφέρει σημαντικά από το μηδέν αφού $a=5,82875$ (significant).

- Η διευρυμένη αβεβαιότητα ήταν 8,1 % $< 25\%$ (μέγιστη τιμή που θέτουν τα πρότυπα) για αυτό και οι τιμές παίρνουν (pass). Με την κατάλληλη διόρθωση /βαθμονόμηση του TEOM ανεβαίνει λίγο στο 11,8% χωρίς κάποια σημαντική επίπτωση.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

- Η αβεβαιότητα μεταξύ των μετρήσεων με την μέθοδο αναφοράς των DERENDA 1 /2 ήταν 0,98 μg/m³ κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Το πρότυπο ορίζει ότι η u_{RS} πρέπει να είναι < 1,5 μg/m³ το οποίο και συμβαίνει.
- Μετά την βαθμονόμηση η πρωτοβάθμια συνάρτηση που διορθώνει τις τιμές του αυτόματου συστήματος και για τις δύο περιόδους παρακολούθησης είναι οι εξής:

$$C_{real} = 1,111 C_{TEOM} - 6,477 \quad (c \rightarrow \mu g/m^3)$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

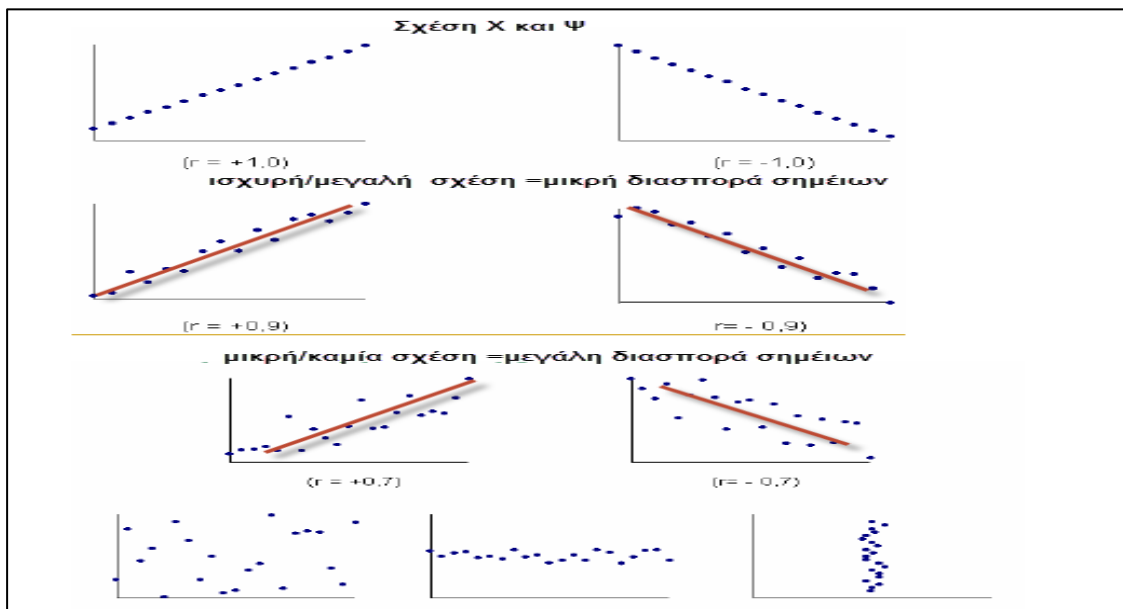
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : Regression Analysis

Με την ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis), εξετάζουμε τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με σκοπό την πρόβλεψη των τιμών της μιας, μέσω των τιμών της άλλης (ή των άλλων). Σε κάθε πρόβλημα παλινδρόμησης διακρίνουμε δύο είδη μεταβλητών: **τις ανεξάρτητες** ή ελεγχόμενες ή επεξηγηματικές (independent, predictor, casual, input, explanatory variables) και **τις εξαρτημένες** ή απόκρισης (dependent, response variables). Σε πειραματικές έρευνες, ανεξάρτητη μεταβλητή X είναι εκείνη την οποία μπορούμε να ελέγξουμε, στην περίπτωση μας οι τιμές από τις DERENDA 1 και 2, δηλαδή, να καθορίσουμε τις τιμές της (Μέθοδος αναφοράς). Εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι εκείνη στην οποία αντανακλάται το αποτέλεσμα των μεταβολών στις ανεξάρτητες μεταβλητές, στην περίπτωση μας οι τιμές του TEOM (Αυτόματο σύστημα). Σε μη πειραματικές έρευνες (δειγματοληψίες) η διάκριση μεταξύ ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών δεν είναι πάντοτε σαφής γιατί καμία μεταβλητή δεν είναι ελεγχόμενη αλλά όλες είναι τυχαίες (π.χ. οι ώρες μελέτης των φοιτητών ενός πανεπιστημιακού τμήματος και η απόδοση τους σε ένα τεστ).

Αν θεωρήσουμε δύο μεταβλητές X , Y και αυτές συνδέονται με μια σχέση της μορφής $Y = f(X)$ μέσω της οποίας, για κάθε τιμή της X μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς την τιμή της Y , δηλαδή, αν οι τιμές της Y δεν υπόκεινται σε σφάλματα, τότε λέμε ότι οι δύο μεταβλητές συνδέονται με τη συναρτησιακή προσδιοριστική (deterministic) σχέση $Y = f(X)$. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα σημεία του διαγράμματος διασποράς βρίσκονται όλα πάνω στην καμπύλη που έχει εξίσωση $Y = f(X)$ και όσες φορές και αν επαναλάβουμε το πείραμα θέτοντας το X στο ίδιο επίπεδο $X = x_i$, θα παίρνουμε πάντα την ίδια τιμή για το Y .

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}

Αν όμως η σχέση των δύο μεταβλητών δεν προσδιορίζονται πλήρως (μη προσδιοριστική σχέση) μεταξύ μεταβλητών ονομάζονται στοχαστικές, στατιστικές (stochastic, probabilistic) σχέσεις. Στην περίπτωση αυτή, αν επαναλάβουμε το πείραμα πολλές φορές θέτοντας το X στο ίδιο επίπεδο $X = x_i$ τότε στην τιμή x_i της X δεν αντιστοιχεί μια μόνο τιμή y_i της Y αλλά, γενικά, αντιστοιχεί ένα πλήθος διαφορετικών τιμών της Y . Σε μια στοχαστική σχέση το διάγραμμα διασποράς είναι, γενικά, ένα νέφος σημείων το οποίο πολλές φορές καθορίζει μια ιδεατή γραμμή η οποία δίνει μια πρώτη εικόνα της σχέσης που συνδέει τις δύο μεταβλητές. Η σχέση μάλιστα μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι τόσο περισσότερο ισχυρή όσο πιο κοντά στην ιδεατή γραμμή βρίσκονται τα σημεία του διαγράμματος διασποράς (Εικ.παρ.1).



Εικόνα παραρτηματος 1: Συσχέτιση και διαγράμματα διασποράς. (Πηγή : users.auth.gr/dkugiu/Teach/DataAnalysis)

Για να περιγράψουμε τη στοχαστική εξάρτηση δύο μεταβλητών X και Y προσπαθούμε να βρούμε, όπως και στην προσδιοριστική εξάρτηση, μια σχέση μεταξύ των X και Y η οποία όμως τώρα δε θα δίνει ακριβή αλλά προσεγγιστική μόνο εικόνα της εξάρτησης των X και Y και τα σημεία του διαγράμματος διασποράς των X και Y δε θα βρίσκονται πάνω, αλλά, γύρω από μια καμπύλη. Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της στοχαστικής εξάρτησης δύο μεταβλητών είναι η **μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων** και

με την εφαρμογή της μπορούμε να μελετήσουμε την πιο απλή μορφή στοχαστικής εξάρτησης, τη γραμμική.

Π.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Αν το διάγραμμα διασποράς δύο μεταβλητών X και Y έχει μορφή επιμήκους κεκλιμένης έλλειψης ή πλατυσμένου J , η σχέση των X και Y είναι κατά προσέγγιση γραμμική. Στην περίπτωση αυτή έχουμε την απλούστερη μορφή παλινδρόμησης, την απλή γραμμική παλινδρόμηση όπου υπάρχει μόνο μια ανεξάρτητη μεταβλητή X και η εξαρτημένη μεταβλητή Y μπορεί να προσεγγισθεί ικανοποιητικά από μια γραμμική συνάρτηση του X .

Η γραμμική σχέση $Y = \alpha + \beta \cdot X$ δε μπορεί, ασφαλώς, να περιγράψει τη γραμμική στοχαστική εξάρτηση των μεταβλητών X και Y αφού αν, για παράδειγμα, X είναι η τιμή ενός προϊόντος και Y είναι η ζήτηση του προϊόντος αυτού, και διατηρήσουμε τη X στο ίδιο επίπεδο $X = x_i$ τότε οι αντίστοιχες τιμές του Y θα είναι φυσικά διαφορετικές στις διάφορες επαναλήψεις. Επιπλέον, συμβαίνει να παρατηρούνται και σφάλματα μέτρησης των τιμών της Y (λόγω οργάνων ή ελλιπούς πληροφόρησης). Έτσι, για $X = x_1$ το αντίστοιχο Y είναι μια τυχαία μεταβλητή Y_1 που ακολουθεί κάποια κατανομή. Ομοίως, για $X = x_2$ θα έχουμε κάποια άλλη κατανομή Y_2 κ.ό.κ.

Η στατιστική μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε ονομάζεται απλή ανάλυση παλινδρόμησης μιας και υπάρχουν μόνο δύο (2) μεταβλητές. Ο σκοπός είναι να περιγράψει τη σχέση μεταξύ των X και Y με ένα υπόδειγμα που έχει την εξής μορφή:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

όπου Y_i είναι η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, X_i είναι η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής, β_0 είναι το σημείο τομής του άξονα της Y από τη γραμμή παλινδρόμησης, β_1 είναι η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης και ε_i είναι το σφάλμα ή το κατάλοιπο (Errors of estimation ή Residual), δηλαδή η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής της Y και της τιμής της πρόβλεψης που προκύπτει από το υπόδειγμα.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Το υπόδειγμα $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$ βασίζεται σε τέσσερις υποθέσεις:

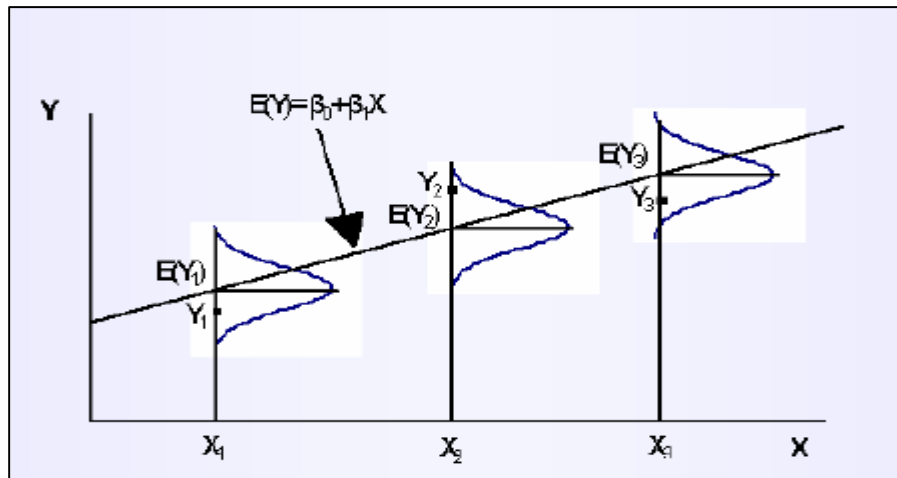
- Οι ατομικές παρατηρήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες.
- Για κάθε συγκεκριμένη τιμή της X αντιστοιχούν πολλές τιμές της Y (στο δείγμα φυσικά περιλαμβάνεται μία) που κατανέμονται κανονικά.
- Για μέγεθος δείγματος n αντιστοιχούν n κανονικές κατανομές της Y με την ίδια μεταξύ τους διακύμανση σ_ε^2 .
- Ο μέσος της κάθε κανονικής κατανομής της Y_i ισούται με $E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i$.
- Όλοι οι μέσοι βρίσκονται σε μια ευθεία γραμμή που αποτελεί την γραμμή παλινδρόμησης του πληθυσμού.
- Σύμφωνα με την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων, οι εξισώσεις που δίνουν τις τιμές του α και του β είναι:
- Η εξίσωση για το β_1 είναι:

$$\beta_1 = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

- Ενώ η εξίσωση που μας δίνει το β_0 είναι:

$$\beta_0 = \frac{\sum Y}{n} - \beta_1 \frac{\sum X}{n}$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀



Εικόνα παραρτηματος 2: The normal of simple Regression model. (Πηγή: users.auth.gr/dkugiu/Teach/DataAnalysis)

Π.2 Συντελεστής Συσχέτισης (r)

Η ποσοτική μέτρηση της έντασης (γραμμικής) σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών ονομάζεται συντελεστής συσχέτισης r (correlation coefficient)

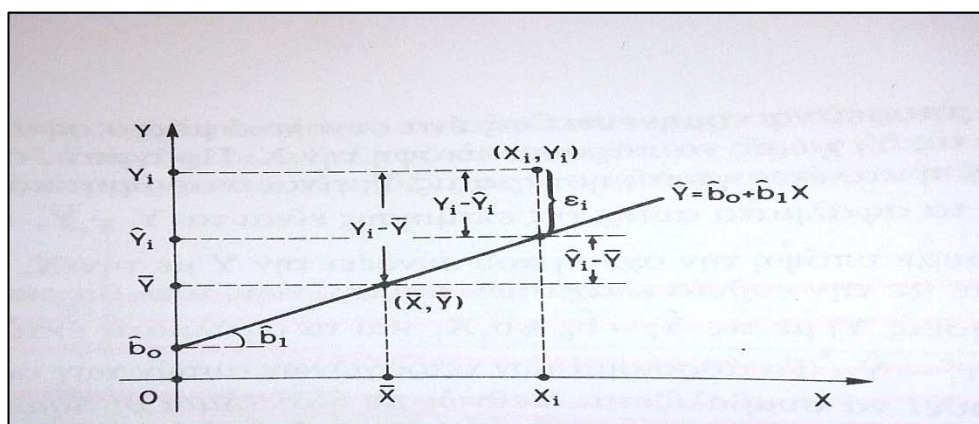
- Το εύρος τιμών του συντελεστή συσχέτισης είναι από -1,00 έως +1,00.
- Τιμές κοντά στο -1,00 και 1,00 υποδεικνύουν τέλεια (ισχυρή) συσχέτιση.
- Τιμές του δείκτη κοντά στο 0 υποδηλώνουν ότι οι δύο μεταβλητές δεν σχετίζονται γραμμικά.
- Αρνητικές τιμές υποδεικνύουν αρνητική συσχέτιση, ενώ θετικές τιμές υποδεικνύουν θετική συσχέτιση.
- Η συσχέτιση μεταξύ δυο μεταβλητών μπορεί να είναι: Τέλεια θετική (αρνητική), έντονη θετική (αρνητική), ασθενής θετική (αρνητική)
- Ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{(n-1)s_x s_y} = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n(\sum X^2) - (\sum X)^2) [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

Π.3 Σφάλματα εκτίμησης ή κατάλοιπα

- SST: Sum of Squares Total / Ολικό άθροισμα τετραγώνων και δίνεται από τη σχέση : $SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$
- SSR: Regression Sum of Squares /Αθροισμα τετραγώνων της παλινδρόμησης και δίνεται από τη σχέση : $SSR = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
- SSE: Error Sum of Squares /Αθροισμα τετραγώνων των σφαλμάτων και δίνεται από τη σχέση : $SSE = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$
- Ισχύει : **SST= SSR +SSE**

Όπου \hat{Y}_i : εκτιμώμενες τιμές , Y_i : παρατηρούμενες τιμές και \bar{Y} : μέση τιμή παρατηρούμενων τιμών



Εικόνα παραρτήματος 3: Η ευθεία στο παραπάνω σχήμα είναι η εκτιμημένη ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης και τα κατάλοιπα είναι τα εκτιμημένα σφάλματα. (Πηγή: Ζαχαροπούλου, (2011))

Π.4 Βαθμοί ελευθερίας

Οι βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom) που αντιστοιχούν σε ένα άθροισμα τετραγώνων, είναι το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών Y_i που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του. Γενικά οι βαθμοί ελευθερίας μιας συνάρτησης είναι το πλήθος των ανεξάρτητων επιλογών που καταλήγουν σε μια ορισμένη τιμή της συνάρτησης. Για κάθε στατιστική, δηλαδή συνάρτηση των παρατηρήσεων Y_i που υπεισέρχεται στον ορισμό ενός αθροίσματος τετραγωνικών αποκλίσεων των Y_i χάνεται και ένας βαθμός ελευθερίας. Έτσι οι

βαθμοί ελευθερίας που αντιστοιχούν στο SSE για παράδειγμα είναι n-2 αφού ισχύει: $SSE = \sum \hat{\varepsilon}_i = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_i)^2$. Χάνεται ένας βαθμός ελευθερίας για μια από τις παραμέτρους $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$. (Ζαχοπούλου, 2011).

Π.5 Πίνακας Ανάλυσης Διακυμάνσεων

Η ανάλυση της διακύμανσης (ANalysis Of VAriance – ANOVA) είναι μία στατιστική μέθοδος με την οποία, η μεταβλητότητα που υπάρχει σ' ένα σύνολο δεδομένων, διασπάται στις επιμέρους συνιστώσες της με στόχο την κατανόηση της σημαντικότητας των διαφορετικών πηγών προέλευσής της. Στην πραγματικότητα, η ANOVA περιλαμβάνει μία ομάδα στατιστικών μεθόδων καταλλήλων για την ανάλυση δεδομένων που προκύπτουν από πειραματικούς σχεδιασμούς.

Τα δεδομένα ενός δείγματος ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε παρατηρήσεις (observational sampling) ή σε πειραματικά (designed sampling). Στην πρώτη κατηγορία, ο στατιστικός ερευνητής απλά παρατηρεί τις τιμές που εμφανίζονται χωρίς να έχει δυνατότητα επέμβασης στις αντίστοιχες μεταβλητές. Αντίθετα στη δεύτερη κατηγορία, ο στατιστικός ερευνητής προσπαθεί να ελέγξει τα επίπεδα μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων (independent) μεταβλητών, προκειμένου να προσδιορίσει την επίδραση που έχουν πάνω στην υπό μελέτη μεταβλητή που καλείται εξαρτημένη (dependent) ή απόκριση (response).

Στόχος κάθε στατιστικού πειράματος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών πάνω στην απόκριση. Οι μεταβλητές αυτές αναφέρονται συνήθως σαν παράγοντες (factors) και μπορεί να είναι είτε ποσοτικές είτε ποιοτικές. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις ενδεχομένως να ενδιαφερόμαστε για την επίδραση που έχουν πάνω στην απόκριση περισσότερες της μιας ανεξάρτητες μεταβλητές.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Πηγή μεταβλητότητας (source of variation)	Άθροισμα τετραγώνων (sum of squares)	Βαθμοί ελευθερίας (β.ε) (Degrees of freedom) D.F.	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean square)
Παλινδρόμηση (Regression)	$\Sigma(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	1	SSR/1
Σφάλμα (Error)	$\Sigma(\hat{Y}_i - Y_i)^2$	n-2	SSE/(n-2)
Ολική (Total)	$\Sigma(Y_i - \bar{Y})^2$	n-1	SST/(n-1)

Εικόνα παραρτηματος 4 : Πίνακας ανάλυσης διακύμανσεων . (Πηγή: Ζαχαροπούλου ,(2011))

Π.6 Συντελεστής προσδιορισμού (R^2)

Ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of Determination) παριστάνει το ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής, το οποίο εξηγείται από την ανεξάρτητη μεταβλητή.

- Ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίζεται υψώνοντας στο τετράγωνο τον συντελεστή συσχέτισης ($r^2=R^2$) ή υπολογίζεται ως :

$$R^2 \equiv \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

- Το εύρος του συντελεστή προσδιορισμού είναι από 0 έως 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$). Όσο πιο κοντά βρίσκεται στη μονάδα, τόσο μεγαλύτερη είναι συγκριτικά η ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου παλινδρόμησης. Αν υπάρχει τέλεια προσαρμογή πάνω στην ευθεία των ελάχιστων τετραγώνων, δηλαδή όλα τα δεδομένα (σημεία) περνάνε πάνω από την ευθεία τότε $R^2=1$. Αντίθετα αν η ευθεία των ελάχιστων τετραγώνων εκφυλίζεται σε μία ευθεία παράλληλη στον άξονα των X τότε $R^2=0$.

Για παράδειγμα όταν ο $r=0,5$ τότε μόνο το $(0,5)^2 \cdot 100\% = 25\%$ της μεταβλητότητας των παρατηρήσιμων τιμών Y_i ερμηνεύεται από την παλινδρόμηση τους επί των X_i ενώ αν το $r=0,9$ το ποσοστό ανεβαίνει στο 81%.

- Ο συντελεστής προσδιορισμού δεν μας παρέχει καμία πληροφορία για την κατεύθυνση ή την σχέση μεταξύ των μεταβλητών.

Βιβλιογραφία/References

Ambs, J., 2009. Comparison of the performance of the Thermo Scientific TEOM 1400A with 8500C FDMS and the TEOM 1400A with 8500B FDMS monitors for the measurement of $PM_{2.5}$. European Aerosol Conference 2009 ,Karlsruhe, Germany

Daecon, A. et al., 1997. Analysis and interpretation of measurements of suspended particulate matter at urban background sites in the United Kingdom, *Science of the total Environment*, Volume 203, Issue 1, 17-36, Elsevier

Fernades, P. et al., 2001. Evaluation of human exposure to ambient PM_{10} in the metropolitan area of Mexico City using a GIS-Based Methodology. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Volume 51, Issue 11, 1586-1593, Taylor & Francis.

Gehrig, R. & Buchmann, B., 2003. Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment*, Volume 37, Issue 19, 2571-2580 ,Elsevier.

Gerasopoulos, E. et al., 2006. Origin and variability of particulate matter (PM_{10}) mass concentrations over the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, Volume 40, Issue 25, 4679-4690 ,Elsevier.

Green, D. et al., 2001. Evaluation of TEOM 'correction factors' for assessing the EU Stage 1 limit values for PM_{10} . *Atmospheric Environment*, Volume 35, Issue 14, 2589-2593 ,Elsevier.

Green, D. et al., 2006. The implications of tapered element oscillating microbalance (TEOM) software configuration on particulate matter measurements in the UK and Europe. *Atmospheric Environment*, Volume 40, Issue 29, 5608-5616 ,Elsevier.

Horalek, J. et al., 2015. European air quality maps of PM and ozone for 2012 and their uncertainty , European Topic Centre.

Katragkou, E. et al., 2009. PM_{10} regional transport pathways in Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, Volume 43, Issue 5, 1079-1085, Elsevier.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

Kim, H. et al., 2011. Characteristics of aerosol types during large-scale transport of air pollution over yellow Sea region and at Cheongwon, Korea in 2008. Environmental Monitoring and Assessment, Volume 184, Issue 4, 1973-1984, Springer.

Liu, H. et al., 2013. Feasibility and difficulties of China's new air quality standard compliance : PDR case of PM_{2,5} and ozone from 2010 to 2025. Atmospheric Chemistry and Physics, Volume 13, 12013-12027.

Makra, L. et al., 2011. Monitoring the long-range transport effects on urban PM₁₀ levels using 3D clusters of backward trajectories. Atmospheric Environment, Volume 45, Issue 16, 2630-2641, Elsevier

Munoz, R. & Alcañal, R., 2012. Variability of urban aerosols over Santiago, Chile: Comparison of surface PM₁₀ concentrations and remote sensing with Ceilometer and Lidar. Aerosol and Air Quality Research, Volume 12, 8-19.

Papayannis, A. et al., 2013. Optical, microphysical, mass and geometrical properties of aged volcanic particles observed over Athens, Greece, during the Eyjafjallajökull eruption in April 2010 through synergy of Raman lidar and sunphotometer measurements. Atmospheric Chemistry and Physics, Volume 13, 9303-9320.

Pey, J. et al., 2013. African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001–2011: PM₁₀ concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. Atmospheric Chemistry and Physics, Volume 13, 1395-1410.

Pillinis, C. & Pandis, S. N., 1995. Physical, chemical and optical properties of atmospheric aerosols. Airborne particulate matter-The Handbook of Environmental Chemistry, Volume 4, 99-124, Springer.

Riccio, A. et al., 2007. The application of a trajectory classification procedure to interpret air pollution measurements in the urban area of Naples. Science of the Total Environment, Volume 376, Issue 1-3, 198-214, Elsevier.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}

Saliba, N. et al., 2010. Origin and variability of particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) mass concentrations over an Eastern Mediterranean city. *Atmospheric Research*, Volume 97, Issue 1-2, 106-114, Elsevier.

Singh, R. & Bhupendra, S. S., 2011. Composition, seasonal variation, and sources of PM_{10} from world heritage site Taj Mahal, Agra. *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 184, Issue 10, 5945-5956, Springer.

Stephens, S. et al., 2008. Weekly patterns of Mexico City's surface concentrations of CO, NO_x , PM_{10} and O_3 during 1986–2007. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Volume 8, 5313-5325.

Theodosi, C. et al., 2011. Mass and chemical composition of size-segregated aerosols (PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10}) over Athens, Greece: local versus regional sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Volume 11, 11895-11911.

Triantafyllou, E. & Biskos, G., 2012. Overview of the temporal variation of PM_{10} mass concentrations in the two major cities in Greece: Athens and Thessaloniki. *Global NEST Journal*, Vol 14, No 4, 431-441.

Vardoulakis, S. & Kassomenos, P., 2008. Source and factors affecting PM_{10} levels in two European cities: Implications for local air management. *Atmospheric Environment*, Volume 42, Issue 17, 3949-3963, Elsevier.

Wang, X. et al., 2013. Emission controls and changes in air Guangzhou during the Asian Games. *Atmospheric Environment*, Volume 76, 81-93, Elsevier.

Zogou, O. & Stamatelos, A., 2012. Analysis of data from ambient PM_{10} concentration monitoring in Volos in the period 2005-2010. *American Journal of Environmental Engineering*, Volume 2, Issue 4, 97-108.

Δημητρίου, Κ., 2013. Σωματίδια PM_{10} και $PM_{2.5}$ στην Ευρώπη: Τοπικές πηγές, ατμοσφαιρική μεταφορά, επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα. Εθνικό αρχείο διδακτορικών διατριβών.

Ζαχοπούλου, Χ., 2011. Στατιστική. Μέθοδοι -Εφαρμογές. Θεσ/νική, Εκδόσεις Σοφία.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10}

Καματάκη, Ε., 2009. Μεγάλης κλίμακας μεταφορά σωματιδιακής ύλης στη Θεσσαλονίκη .Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.Τμήμα Φυσικής / Αριστοτέλειο Παν/μιο. Ψηφιακή βιβλιοθήκη Αριστοτελείου Παν/μιου.

Λαζαρίδης, Μ., 2010. Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας. 2η Έκδοση ,Εκδόσεις Τζιόλα.

Μασσαρά, Β., 2011. Αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα της Πάτρας.Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.Τμήμα Βιολογία Παν/μιου Πατρών. Εθνικό κέντρο τεκμηρίωσης (openarchives.gr)

Μπέσα, Μ., 2015. Συγκριτική μελέτη της πρότυπης σταθμικής μεθόδου μέτρησης PM_{10} με τη μέθοδο αυτόματης καταγραφής.Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.Σ.Ε.Μ.Φ.Ε /Ε.Μ.Π-ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ"

Παπαγεωργίου, Κ., 2012. Εκτίμηση της προσωπικής εκθέσης υποομάδων πληθυσμού της Αθήνας σε αιωρούμενα σωματίδια συνεισφορά εσωτερικών και εξωτερικών πηγών εκπομπής. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.Τμήμα Χημικών Μηχανικών /Ε.Μ.Π - Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας / Παν/μιο Πειραιά.Ψηφιακή βιβλιοθήκη Παν/μιο Πειραιώς(Διώνη).

Τρουπλικιώτης, Α., 2011. Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$ στην ατμόσφαιρα:Σύγκριση των μεθόδων αναφοράς με αυτόματες μεθόδους.Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.Τμήμα Χημείας / Αριστοτέλειο Παν/μιο. Ψηφιακή βιβλιοθήκη Αριστοτελείου Παν/μιου.

Χαραλάμπους, Ν., 2011. Παρακολούθηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης με συστήματα Laser και ηλιακά φωτόμετρα στη περιοχή της Λεμεσού. Πτυχιακή εργασία.Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και μηχανικών Γεωπληροφορικής/ Τεχνολογικό Παν/μιο Κύπρου.Ιδρυματικό καταθετήριο Τεχνολογικού Παν/μιου Κύπρου(ΚΤΙΣΙΣ)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΤΑΘΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM₁₀

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

www.abc.net.au

www.helexpo.gr

www.air-quality.gr

www.kathimerini.gr

www.econews.gr

www.keelpno.gr

www.elinyae.gr

www.sipe-rtd.info

www.elot.gr

www.theguardian.com

www.epa.gov

www.ypeka.gr

www.ec.europa.eu/eurostat

www.who.int

www.greek-health.gr

www.greenpeace.org

www.eea.europa.eu

(Ψωμάς, Σ. & Γεώργιας, Κ.)

www.jhsph.edu

