

“ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ”

Η εργασία υποβάλλεται για την μερική κάλυψη των απαιτήσεων με στόχο την απόκτηση διπλώματος Μ.Δ.Ε (MASTER) στην «Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων», με εξειδίκευση στα «Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος».

Από
ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΚΑΙ
ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΑΡΒΑΝΙΔΗΣ ΣΥΜΕΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ , Ε.Μ.Π.
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2000

69



00140614

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ.ΕΙΣ.	40614
COMP.	24274 η 22766
ΤΑΞΙΝ.	363.73 ΣΑ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι παραγωγικές δραστηριότητες μιας βιομηχανίας της Αθήνας, που εκτελεί και εργασίες εξωτερικών αμμοβολών – βαφών, στάθηκε η αφορμή για την εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο συγκεκριμένο εργασιακό περιβάλλον. Η παρούσα διπλωματική εργασία προσπαθεί να συνδέσει την εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου από την έκθεση εργαζομένων σε αιωρούμενα σωματίδια και την επιβάρυνση του ευρύτερου περιβάλλοντος από τα PM_{10} – $PM_{2,5}$ – TSP.

Στην προσπάθεια όσο το δυνατό πιο επιτυχημένης και ολοκληρωμένης διπλωματικής εργασίας, πολύτιμοι αρωγοί στάθηκαν η επιβλέπουσα λέκτορας καθηγήτρια Κα. Α. Χαλουλάκου, στην οποία εκφράζω τον αμέριστο σεβασμό και εκτίμησή μου, οι συνάδελφοι διπλωματικοί σπουδαστές Γ. Γρίβας και Β. Κανούτα οι οποίοι απασχολούνταν στην έδρα της καθώς και τα στελέχη του βιομηχανικού χώρου που έγιναν οι μετρήσεις για τις χρήσιμες πληροφορίες τους. Όλους αυτούς θα ήθελα να τους ευχαριστήσω θερμά και ελπίζω ότι η παρούσα εργασία θα αποβεί χρήσιμη και εποικοδομητική, σε περίπτωση που ανατρέξουν σε αυτή. Ελπίζω η διπλωματική αυτή να είναι η αρχή για να γίνουν και πιο εκτεταμένες μελέτες, πέρα από το ποσοτικό και για το ποιοτικό είδος των PMs που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
	Πρόλογος	1
	Περιεχόμενα	2
	Περίληψη	4
Κεφ1.	Αιωρούμενα σωματίδια	6
1.1	Εισαγωγή	6
1.2	Ταξινόμηση	7
1.2.1	Ανάλογα του τρόπου σχηματισμού	7
1.2.2	Ανάλογα του μεγέθους	8
1.2.3	Ανάλογα της διεισδυτικότητας στον οργανισμό	11
1.3	Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων	14
1.3.1	Εισαγωγή	14
1.3.2	Ανθρωπογενείς πηγές	14
1.3.3	Φυσικές πηγές	16
1.4	Χημική σύσταση	19
1.5	Διασπορά αιωρούμενων σωματιδίων	22
κεφ2.	Προβλήματα από τα αιωρούμενα σωματίδια	23
2.1	Εισαγωγή	23
2.1.1	Επιπτώσεις στην ορατότητα και το κλίμα	23
2.1.2	Επιπτώσεις στα υλικά	24
2.2	Επιπτώσεις στην υγεία	25
2.2.1	Επιδημιολογικές μελέτες	29
2.3	Πυριτίαση	32

κεφ3	Πρότυπα ποιότητας	34
3.1	Εισαγωγή	34
3.2	Πρότυπα ποιότητας κατά ΠΟΥ	35
3.3	Πρότυπα ποιότητας κατά USEPA	37
3.4	Πρότυπα ποιότητας για την Ε.Ε	40
3.5	Ορια έκθεσης εργαζομένων	43
3.5.1	Επικίνδυνες ουσίες	44
3.5.2	Διαδικασία αμμοβολών - βαφών	50
κεφ4.	Όργανα και μέθοδοι μέτρησης	57
4.1	Εισαγωγή	57
4.2	Μέθοδοι μέτρησης και ανάλυσης	59
4.3	Φίλτρα δειγματοληψίας	61
4.3.1	Κριτήρια επιλογής και τύποι φίλτρων	61
4.3.2	Αλληλεπιδράσεις σωματιδίων με τα υλικά των φίλτρων	63
4.4	Χαρακτηριστικά των θέσεων δειγματοληψίας	65
4.5	Ανάλυση σφαλμάτων μέτρησης	66
4.6	Το όργανο δειγματοληψίας και τα χαρακτηριστικά του	68
4.7	Η μέθοδος ζύγισης	73
κεφ5.	Πειραματικό μέρος	74
5.1	Θέση δειγματοληψίας	74
5.2	Πειραματική διαδικασία	75
5.3	Μετεωρολογία	87
5.4	Συμπεράσματα	90
5.5	Προτάσεις	93
Παράρτημα	Κατάλογος σχημάτων-γραφημάτων-πινάκων	96
	Αρχείο διευθύνσεων και εντάσεων ανέμων από το	
	Αστεροσκοπείο	101
	Πίνακες Επικινδύνων χημικών παραγόντων	
	Βιβλιογραφία	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους βασικότερους ρύπους της εποχής μας. Οι πρώτες αναφορές για αυτά γίνονται στην Αγγλία του 14^{ου} αιώνα σχετικά με προβλήματα καπνού και αιθάλης. Η βιομηχανική επανάσταση και τα προϊόντα της συνεισέφεραν σημαντικά στη διόγκωση του προβλήματος, που άρχισε να μελετάται συστηματικά μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.

Οι πρώτες αξιόπιστες μέθοδοι μέτρησης εμφανίστηκαν τη δεκαετία του '50 όπου μετρούσαν το σύνολο των αιωρούμενων σωματιδίων. Αργότερα ομαδοποιήθηκαν με διάφορους τρόπους (μέγεθος, σύσταση, τρόπο σχηματισμού, φυσικοχημικές ιδιότητες κτλ.) και τελικά σήμερα το πλέον χρησιμοποιούμενο κριτήριο είναι αυτό του μεγέθους τους. Σωματίδια που μπορούν να αιωρηθούν για σημαντικό χρονικό διάστημα έχουν μέγεθος έως και 100μ, όμως επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία είναι αυτά που έχουν μέγεθος μέχρι 10μ. Αυτά καλούνται PM₁₀ και έχει αποδειχθεί ότι είναι το κύριο κλάσμα των σωματιδίων που εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα για αυτό και καλούνται και εισπνεύσιμα. Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε ένα πιο μικρό και επικίνδυνο κλάσμα τα PM_{2,5} τα οποία καταφέρνουν να διεισδύσουν σε μεγάλο βάθος του αναπνευστικού συστήματος, μέχρι τις κυψελίδες. Οι πρώτες οριακές τιμές για τα μεν PM₁₀ εμφανίστηκαν το 1987, για τα δε PM_{2,5} το 1997.

Η παρούσα εργασία εξετάζει την ποιότητα της ατμόσφαιρας, ενός πιθανά επιβαρημένου περιβάλλοντος από αιωρούμενα σωματίδια, σε μια βιομηχανική μονάδα της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών. Η βιομηχανία αυτή απασχολεί περίπου 2.000 εργαζόμενους και κατασκευάζει - επισκευάζει μεγάλες μεταλλικές κατασκευές. Για τις μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε δειγματολήπτης της εταιρείας Rupperecht & Patashnic Co και τύπος Partisol Plus / model 2025 Sequential Sampler, ο οποίος τοποθετήθηκε στη οροφή ισόγειου κτηρίου εντός της εγκατάστασης. Για την καλύτερη αποτίμηση της ποιότητας του εργασιακού περιβάλλοντος και την πιθανή διαπίστωση εποχικότητας του φαινομένου των αιωρούμενων σωματιδίων εκτελέστηκαν δύο σειρές μετρήσεων:

- Η θερινή περίοδος: όπου μετρήσαμε $PM_{2,5}$ (20 έως 24 Ιουλίου), PM_{10} (25 Ιουλίου έως 1 Αυγούστου και 5 Αυγούστου έως 19 Αυγούστου) και TSP (2 έως 3 Αυγούστου)
- Η χειμερινή περίοδος: όπου μετρήσαμε PM_{10} (27 Οκτωβρίου έως 1 Νοεμβρίου και από 10 έως 22 Νοεμβρίου) και TSP (24 Νοεμβρίου έως 3 Δεκεμβρίου)

Ακολούθως έγινε εκτίμηση του ασφαλούς ορίου έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια από το υλικό αμμοβολής (TLV-TWA για 8ωρη καθημερινή εργασία, πέντε φορές την εβδομάδα) και σύγκριση με τις καταμετρημένες στη βιομηχανία τιμές. Από τη σύγκριση αυτή διαπιστώνουμε την υποβάθμιση του εργασιακού περιβάλλοντος και τα προβλήματα που αυτή επιφέρει στους εργαζόμενους.

Τέλος γίνονται προτάσεις τόσο για την πληρότερη εκτίμηση του προβλήματος όσο και για τους πιθανούς τρόπους αντιμετώπισής του.

Κεφ 1. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

{#1, §3}

Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από ποικιλία πηγών και έχουν σημαντικό εύρος μορφολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών. Αναφέρονται για παράδειγμα μερικά είδη σωματιδίων:

- *αιθάλης που παράγονται από καύση πετρελαιοειδών,*
- *άλατος που προέρχονται από την θάλασσα,*
- *σκόνης από το έδαφος και εργασίες αμμοβολής*
- *σε υγρή φάση από ψεκασμούς,*
- *με πυρήνα στερεό που είναι καλυμμένος από υγρή φάση*
- *από ανόργανες ενώσεις και μέταλλα*
- *από οργανικές ενώσεις*
- *υγροσκοπικά με χημικά δεσμευμένο νερό κα.*

Η διάμετρός τους διαφέρει από μερικά νανόμετρα μέχρι 100 μ και σχετίζεται άμεσα από τον τρόπο σχηματισμού και εκπομπής τους. Σωματίδια που προέρχονται από διαδικασίες καύσης μπορούν να έχουν μέγεθος από 0,003μ έως 1μ, αυτά που προέρχονται από φωτοχημικές διεργασίες από 0,003μ έως 2μ, ενώ η σκόνη που παίρνει ο αέρας (γύρη, τσιμεντόσκη) είναι μεγέθους πάνω από 2μ.

1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

{#2, #3}

Η ταξινόμηση γίνεται ανάλογα του κριτηρίου που επιλέγουμε όπως κατηγορίες:

- ανάλογα του τρόπου σχηματισμού
- ανάλογα το μέγεθος
- ανάλογα τη διεισδυτικότητα στον οργανισμό

1.2.1 Ανάλογα του τρόπου σχηματισμού

Ανάλογα του τρόπου σχηματισμού όπως τα αιωρούμενα σωματίδια κατατάσσονται σε:

- *Σκόνη (Dust)*: μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μετά από σύνθλιψη, τριβή ή έκρηξη. Μέγεθος 1,0 – 10,0μ
- *Καπνός (Smoke)*: μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση οργανικών υλών. Μέγεθος 0,5 – 1,0μ
- *Ιπτάμενη Τέφρα (Fly Ash)*: μικρά μη καύσιμα ορυκτά ή μεταλλικά σωματίδια που εκπέμπονται από όπως καπνοδόχους κατά όπως καύσεις. Μέγεθος 1,0 – 1.000μ
- *Αιθάλη (Fumes)*: μικρά στερεά σωματίδια που σχηματίζονται από τη συμπύκνωση ατμών, αποτελούμενα συχνά από οξειδία μετάλλων όπως οξειδία του ψευδαργύρου ή του μολύβδου. Μέγεθος 0,03 – 0,3μ
- *Σταγονίδια (Spray)*: υγρά σωματίδια που σχηματίζονται από το ράντισμα υγρών όπως φυτοφάρμακα ή χρωματισμός. Μέγεθος 10 – 1000μ
- *Ομίχλη (Mist)*: υγρά σωματίδια που σχηματίζονται από τη συμπύκνωση ατμών. Η ομίχλη που μεταβάλλει την ορατότητα ονομάζεται Fog. Μέγεθος 0,1 – 10μ

1.2.2. Ανάλογα του μεγέθους

{#1 (3.7–3.10), #4 (324-325), #5}

Το μέγεθος είναι καθοριστικός παράγοντας για την κινητική συμπεριφορά των σωματιδίων. Τα μεγάλα καθιζάνουν εύκολα ενώ τα μικρά αιωρούνται για περισσότερο χρόνο και επηρεάζονται περισσότερο των καιρικών συνθηκών. Τα διάφορα σχήματα που υπάρχουν κάνουν αδύνατη την κοινή έκφρασή τους ως προς το μέγεθος, για αυτό και χρησιμοποιείται «Ισοδύναμη Διάμετρος Σωματιδίου». Επειδή το μέγεθος αυτό είναι συμβατικό υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί και τρόποι προσδιορισμού όπως:

- *γεωμετρικά με ηλεκτρονική μικροσκοπία*
- *από τη σκέδαση που προκαλεί στο φως*
- *από την ηλεκτρική ευκινησία*
- *από την ταχύτητα εναπόθεσης*
- *από την αεροδυναμική του συμπεριφορά*
- *από τη φυσική του συμπεριφορά*

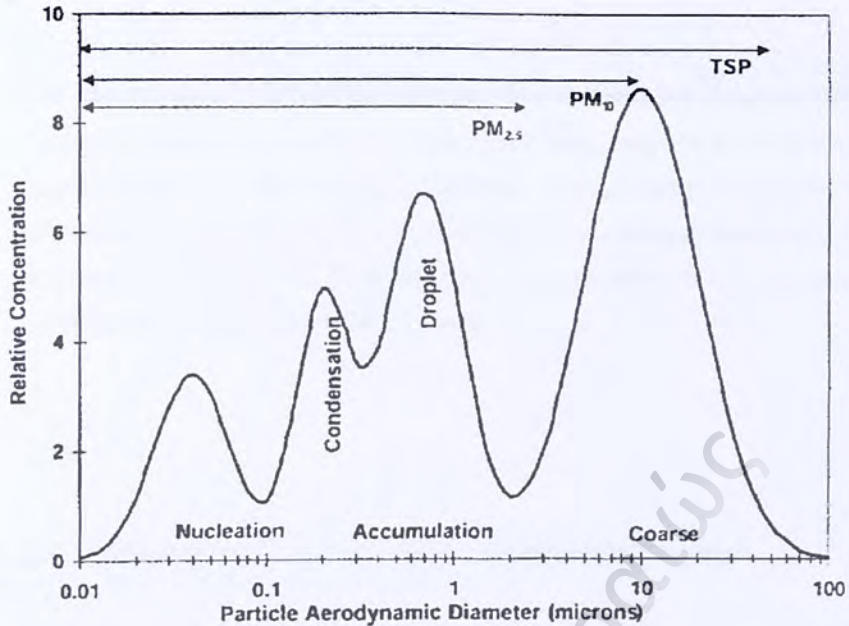
Συνήθως χρησιμοποιείται ως κριτήριο καθορισμού της ισοδύναμης διαμέτρου, αυτό της φυσικής συμπεριφοράς που για μέτρο χρησιμοποιεί τη διάμετρο Stoke (D_p) ή την αεροδυναμική διάμετρο (D_a). Η πρώτη (D_p) βασίζεται στον προσδιορισμό της αντίστασης που εφαρμόζεται στο σωματίδιο κατά την κίνησή του μέσα σε ρευστό με διαφορετική ταχύτητα. Σωματίδια με ίδια διάμετρο Stoke (D_p) και ίδια πυκνότητα έχουν την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης. Αντίστοιχα η (D_a) εξαρτάται από την πυκνότητα του σωματιδίου και ορίζεται ως «η διάμετρος σφαίρας πυκνότητας 1g/cm^3 που έχει την ίδια τελική ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο». Έτσι σωματίδια με το ίδιο πραγματικό μέγεθος και σχήμα αλλά με διαφορετικές πυκνότητες, θα έχουν ίδια διάμετρο Stoke αλλά διαφορετικές αεροδυναμικές διαμέτρους.

Αεροδυναμική διάμετρος χρησιμοποιείται για σωματίδια μεγαλύτερα από 0,5μ διότι από αυτή εξαρτάται η μεταφορά του από αέρια ρεύματα, η συλλογή του στους δειγματολήπτες και η εναπόθεσή του στο αναπνευστικό σύστημα. Με βάση λοιπόν αυτό το κριτήριο θα ταξινομήσουμε τα αιωρούμενα σωματίδια ως προς το μέγεθος και στο εξής όπου αναφέρεται διάμετρος θα εννοείται η αεροδυναμική.

Η ταξινόμηση λοιπόν ανάλογα του μεγέθους είναι:

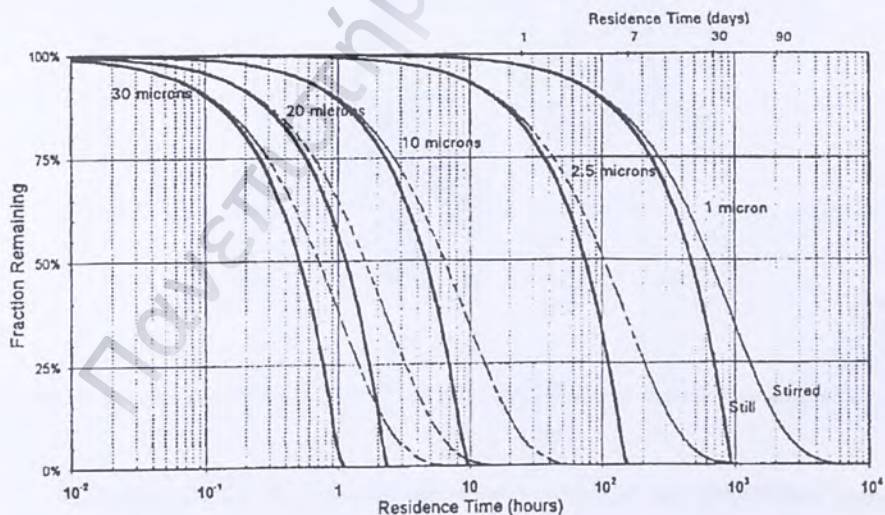
Ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particles, TSP) είναι το μέγεθος που καλύπτει το σύνολο των αιωρούμενων και περιέχουν σωματίδια που έχουν διάμετρο από 0,01μ έως μερικές εκατοντάδες. Τα TSP ομαδοποιούνται στα εξής επιμέρους κλάσματα:

1. *Λεπτόκκοκα (Fine Mode)*: που έχουν διάμετρο μέχρι 2,5μ και με τη σειρά τους χωρίζονται σε:
 - Υποκατηγορία πυρήνα (nuclei mode / nuclei range): είναι σωματίδια που προέρχονται από πηγές καύσης ή συμπυκνώματά της, με μέγεθος 0,01 – 0,05μ.
 - Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range): που παράγονται από συσσωματώσεις μικροτέρων και έχουν μέγεθος από 0,05 – 2,5μ. Αυτά έχουν χρόνο αιώρησης στην ατμόσφαιρα από 7 – 30 ημέρες.



Σχ1-1«Ιδανική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων ατμόσφαιρας κατά μέγεθος»{#9 (2.2)}

2. *Χονδρόκοκκα (Coarse Mode)*: που παράγονται συνήθως με μηχανικούς τρόπους και με διάμετρο μεγαλύτερη των 2,5μ. Τα σωματίδια με διάμετρο 10μ μπορούν να αιωρούνται για 10 – 20 ώρες πριν την καθίζησή τους.

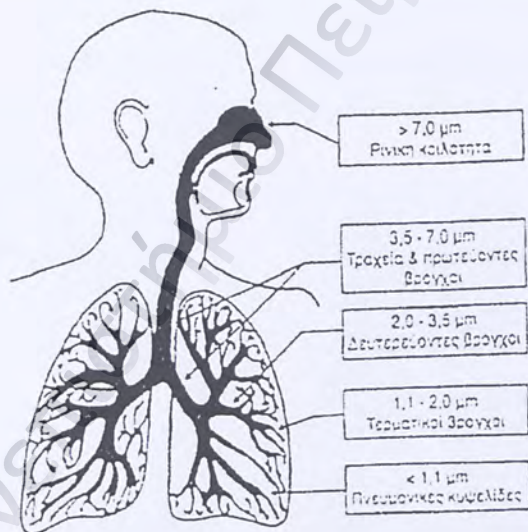


Γρ1-2«Χρόνος αιώρησης σωματιδίων συναρτήσει της διαμέτρου τους. Τα στοιχεία αναφέρονται σε μέγιστο ύψος 100 μέτρα και στις περιπτώσεις που γίνεται ανάδευση του αέρα stirred (β) ή όχι (α) still» {#9 (2.3)}

Στο κάτω τμήμα της τροπόσφαιρας που η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι περίπου 7m/sec τα σωματίδια ανάλογα του μεγέθους τους μπορούν να ταξιδέψουν από μερικά μέχρι και εκατοντάδες χιλιόμετρα, ενώ μπορούν να αιωρούνται για μεγάλους χρόνους (έως 1 έτος). Κλασικό είναι το παράδειγμα του ατυχήματος στο πυρηνικό εργοστάσιο του Chernobyl όπου τα σωματίδια ^{137}Cs μπορούσαν να ανιχνευθούν για περισσότερο από 2 μήνες.

1.2.3. Ανάλογα της διεισδυτικότητας στον οργανισμό

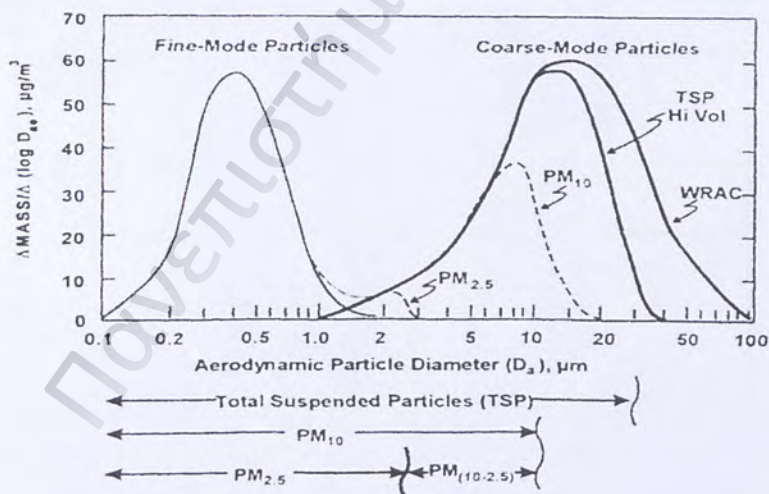
{#2, #7 §2, #3}



Σχ1-3 «Η θέση εναπόθεσης στο αναπνευστικό σύστημα αναλόγως του μεγέθους των σωματιδίων» {#17}

Η διεισδυτικότητα, η συμπεριφορά και οι επιπτώσεις των σωματιδίων στον οργανισμό είναι ένα θέμα που ακόμα μελετάται και δεν έχει καταλήξει σε οριστικά συμπεράσματα. Ωστόσο, τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία σωματιδίων παρουσιάζονται παρακάτω.

- Τα εισπνεύσιμα σωματίδια PM_{10} : είναι τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο έως 10μ. Με τους σημερινούς δειγματολήπτες μέτρησής τους, είναι αδύνατον να μην συνυπολογισθούν και κάποια με μεγαλύτερη διάμετρο. Για αυτό και ο ακριβής ορισμός τους ΕΕ είναι « PM_{10} νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται από στόμιο επιλεγέντος μεγέθους ώστε να συγκρατείται το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10μ». Τα PM_{10} εισέρχονται από το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα (ρινοφάρυγγας) και τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 7μ κατακάθονται εκεί. Συμπεριλαμβάνονται τους ρύπους – κριτήρια τόσο στην ΕΕ όσο και τους ΗΠΑ για αυτό και μετρούνται συστηματικά .
- Τα θωρακικά σωματίδια : είναι το κλάσμα των PM_{10} που διαπερνά το ρινοφάρυγγα και έχουν μέγεθος μικρότερο από 7μ.
- Τα αναπνεύσιμα σωματίδια $PM_{2,5}$: με αεροδυναμική διάμετρο 2,5μ και τάση να διεισδύουν έως τα βάθη των πνευμόνων. Τα τελευταία χρόνια συμπεριελήφθησαν τους ρύπους-κριτήρια και άρχισε η συστηματική τους μέτρηση.



Γρ1-4 «Μια ιδανική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων όπου φαίνονται τα λεπτόκοκκα και τα χονδροκόκκα σωματίδια καθώς και τα κλάσματα PM_{10} και $PM_{2,5}$ » {#1 (3.10)}

1.3 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

1.3.1 Εισαγωγή

{#4 (328), #7 (5), #6, #8}

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ο πιο εμφανής αέριος ρύπος αφού είναι άμεσα συνδεδεμένος με το νέφος που δημιουργείται. Οι πηγές των σωματιδίων κατατάσσονται σε :

- *Πρωτογενείς:* πηγές που εκπέμπουν κατευθείαν στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια αυτά παράγονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Φυσικές δραστηριότητες είναι τα θαλάσσια αερολύματα (sea spray), η επανααιώρηση σωματιδίων, σκόνη ηφαιστειών, σκόνη από επίσης έρημους κα. Ανθρωπογενείς δραστηριότητες αντίστοιχα είναι οι εκπομπές από καύσεις (παραγωγή ηλεκτρισμού, βιομηχανικοί και αστικοί λέβητες, αυτοκίνητα), φορτοεκφορτώσεις Α' υλών, ορυχεία, λατομεία, εργασίες αμμοβολών, ψεκασμοί, εμπρησμοί δασών
- *Δευτερογενείς:* που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα. Μπορούν να προέρχονται επίσης από φυσικές ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Είναι δυνατόν με φυσικές διεργασίες να παραχθούν διοξείδιο του θείου ή αέρια αμμωνία τα οποία αντιδρούν με άλλα φυσικά στοιχεία σχηματίζοντας σωματίδια.

1.3.2. Ανθρωπογενείς Πηγές

{#7 (6 - 9)}

- *Εκπομπές από την κίνηση οχημάτων:* όλα τα οχήματα με την κυκλοφορία τους παράγουν πρωτογενώς και δευτερογενώς αιωρούμενα σωματίδια. Τα καυσαέρια, η φθορά ελαστικών και φρένων, θεωρούνται για τις αστικές περιοχές η βασικότερη πηγή PM₁₀. Οι μηχανές ντίζελ κυρίως, παράγουν μεγάλες ποσότητες από αιθάλη (σωματίδια στοιχειακού άνθρακα), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC_s) καθώς και θεικές ενώσεις. Επάνω σε κάποια σωματίδια άνθρακα, δευτερογενώς, συμπυκνώνονται οι οργανικές-θεικές ενώσεις. Όσο αφορά τα μεγέθη έχουμε σωματίδια:

- 0,01 – 0,08μ : που δημιουργούνται με βάση τα νεοεκπεμπόμενα σωματίδια άνθρακα
- 0,08 – 2,5μ : που δημιουργούνται με βάση τα ήδη υπάρχοντα στον αέρα σωματίδια άνθρακα από προηγούμενες εκπομπές καυσαερίων Η κίνηση των οχημάτων στους δρόμους προκαλεί επανααιώρηση της σκόνης του δρόμου

Fuel Type	Organic Carbon	Elemental Carbon	N ^c	Sources
<u>Diesel</u>				
Denver, CO ¹	23 ± 8%	74 ± 21%	3	1, 2
Los Angeles, CA ¹	36 ± 3%	52 ± 5%	2	3, 4, 5, 6
Bakersfield, CA ¹	49 ± 13%	43 ± 8%	3	7
Phoenix, AZ ¹	40 ± 7%	33 ± 8%	8	8
<u>Unleaded gasoline</u>				
Denver, CO ¹	76 ± 29%	18 ± 11%	8	1, 2
Los Angeles, CA ¹	93 ± 52%	5 ± 7%	11	3, 4, 5, 6
Los Angeles, CA ¹	49 ± 10%	39 ± 5%	11	3, 4, 5, 6
Phoenix, AZ ¹	30 ± 12%	14 ± 8%	9	8
<u>Leaded gasoline</u>				
Denver, CO ¹	67 ± 23%	16 ± 7%	3	1, 2
Los Angeles, CA ¹	52 ± 4%	13 ± 1%	3	3, 4, 5, 6
Los Angeles, CA ¹	31 ± 20%	15 ± 2%	3	3, 4, 5, 6
<u>Mixed (tunnel and roadside)</u>				
Denver, CO	50 ± 24%	28 ± 19%		1, 2
Los Angeles, CA ²	38 ± 6%	38 ± 5%	3	3
Phoenix, AZ	39 ± 19%	36 ± 11%		8

Sources: (1) Watson et al. (1990a), (2) Watson et al. (1990b), (3) Cooper et al. (1987), (4) NEA (1990), (5) NEA (1990b), (6) NEA (1990c), and (7) Houck et al. (1989), cited in (8) Watson et al. (1994).

Notes: (a) Modified Federal Test Procedure followed in dynamometer tests; (b) Roof monitoring at inspection station; (c) 85 km/hr steady speed in dynamometer tests; (d) Rt. Tunnel at LA urban; (e) N = Number of samples.

Πιν1-6 «Οργανικός και στοιχειακός άνθρακας στα καυσαέρια των κινητήρων των αυτοκινήτων»
{#1 (5.21)}

- *Εκπομπές από διαδικασίες καύσης:* Καύσεις γίνονται τόσο για οικιακή και βιομηχανική χρήση όσο και για αποτέφρωση αποβλήτων. Σήμερα οι κυριότερες πηγές είναι οι:
 - Βιομηχανικές εκπομπές: από καύσεις που γίνονται σε μεγάλες βιομηχανίες. Η συνεισφορά τους στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου, την απόσταση από την αστική περιοχή και τους ανέμους.
 - Αποτέφρωση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων: Σε πολλές χώρες της ΕΕ η αποτέφρωση είναι σημαντική μέθοδος για τη διαχείριση των αποβλήτων. Η ιπτάμενη τέφρα και τα καυσαέρια είναι οι κύριοι ρύποι των αποτεφρωτήρων.
 - Δασικές και γεωργικές φωτιές: σημαντικές είναι τόσο οι άμεσες εκπομπές όσο και οι από επανααίωρηση σωματιδίων από την καμένη γη.
- *Εκπομπές από δραστηριότητες που δεν περιλαμβάνουν καύση:* περιλαμβάνονται οι εκπομπές από οικοδομές, λατομεία, ορυχεία, εργασίες αμμοβολών. Οι εκπομπές αυτές είναι αρχικά επικίνδυνες για τους εργαζόμενους στις επιχειρήσεις και κατά δεύτερο λόγο στο ευρύτερο περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε τις εκπομπές στο εσωτερικό χώρο μιας εταιρείας που εκτελεί εργασίες αμμοβολών.

1.3.3. Φυσικές Πηγές

Οι φυσικές πηγές από τις οποίες μπορεί να προέρχονται τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να είναι:

A) Υδρόλυμα Θαλάσσης (Sea Spray):

Κατά την θραύση των θαλασσιών κυμάτων δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα σταγονίδια θαλασσινού νερού. Αυτά εξατμίζουν, αναλόγως των συνθηκών που επικρατούν, ένα ποσοστό του νερού που περιέχουν δημιουργώντας και αιωρούμενα σωματίδια από αλάτι. Τα σωματίδια αυτά αν και είναι χονδρόκοκκα (1 – 20μ), ένα

μέρος τους είναι αρκετά μικρής διαμέτρου ώστε να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα μέχρι 3 ημέρες. Η χημική σύστασή τους είναι όμοια με του θαλασσινού αλατιού:

- *Ανιόντα: θειικά – χλωρίου*
- *Κατιόντα: νατρίου – ασβεστίου – μαγνησίου – φώσφορο*

Κοντά σε λιμενικές εγκαταστάσεις και ναυπηγεία έχουν ανιχνευθεί και ιχνοποσότητες από διάφορα μέταλλα όπως κάδμιο, μόλυβδος, βανάδιο, ψευδάργυρος, νικέλιο, χρώμιο, χαλκός κ.ά. Αυτός ο εμπλουτισμός των σταγονιδίων με μέταλλα οφείλεται στα πλοία και στις επισκευές που κάνουν μέσα στο λιμάνι.

B) Επαναιώρηση σκόνης (Soil Resuspension)

Φυσικά φαινόμενα όπως ο άνεμος, οι μεταβολές στην υγρασία και την θερμοκρασία βοηθούν στην αποσάθρωση των ορυκτών – πετρών σχηματίζοντας σκόνες. Ο άνεμος είναι δυνατόν να παρασύρει και να αιωρήσει τέτοιες σκόνες. Το μέγεθος των σωματιδίων και η χημική τους σύσταση καθορίζεται από το είδος της αρχικής πηγής. Σε βιομηχανίες που το υλικό αμμοβολής μεταφέρεται από άλλες περιοχές τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ποικίλουν ανάλογα της προέλευσης. Ο άνεμος βοηθά την επαναιώρησή του υλικού που έχει κατακαθίσει στις προβλήτες και μαζί με τα σωματίδια που δημιουργούνται, κατά τη διάρκεια των εργασιών, επιβαρύνεται κατά πολύ η ατμόσφαιρα.

Γ) Μεταφορά Σκόνης σε Μεγάλες Αποστάσεις (Long Range Dust Transport)

Έχει εκτιμηθεί ότι από την Σαχάρα μεταφέρονται ετησίως 150εκ. τόνοι σκόνης προς το βόρειο ημισφαίριο. Ένα ποσοστό από αυτά είναι ορατό και στην Ελλάδα ως κόκκινο νέφος ή κόκκινη βροχή. Το φαινόμενο σχετίζεται με τις ανεμοθύελλες στις έρημους και η έντασή του μειώνεται όσο η υγρασία του εδάφους αυξάνεται και όσο η βλάστηση επεκτείνεται.

Δ) Εκπομπές από Ηφαιίστεια (Volcano Emissions)

Λεπτόκοκκα σωματίδια με την μορφή ιπτάμενης τέφρας από ηφαιίστεια, αποτελούν σημαντική πηγή PM₁₀ σωματιδίων. Για παράδειγμα το ηφαιίστριο Αίτνα εκτιμήθηκε ότι εκπέμπει κατά μέσο όρο 4.000τον SO₂ ημερησίως.

Air-poll species	Sources			
	Primary		Secondary	
	Natural	Anthropogenic	Natural	Anthropogenic
SO ₂	Sea spray	Fossil fuel combustion	Oxidation of reduced sulfur gases emitted by the oceans and wetlands, and SO ₂ and H ₂ S emitted by volcanism and forest fires	Oxidation of SO ₂ emitted from fossil fuel combustion
NO _x	—	Motor vehicle exhaust	Oxidation of NO _x produced by wet forest fires, and lightning	Oxidation of NO _x emitted from fossil fuel combustion, and in motor vehicle exhaust
Minerals	Erosion, resuspension	Fertilizer dust, paved, unpaved roads, agriculture and forestry	—	—
NH ₃	—	Motor vehicle exhaust	Emission of NH ₃ from waste animals, undisturbed soil	Emission of NH ₃ from animal husbandry, sewage, fertilized land
Organic carbon (OC)	Wild fires	Open burning, wood burning, cooking, motor vehicle exhaust, tire wear	Oxidation of hydrocarbons emitted by vegetation, cigarettes, stoves, wild fires	Oxidation of hydrocarbons emitted by motor vehicles, open burning, wood burning
Elemental carbon	Wild fires	Motor vehicle exhaust, wood burning, cooking	—	—
Metals	Volcanic activity	Fossil fuel combustion, smelting, metal mining	—	—
Bioaerosols	Viruses, bacteria	—	—	—

Πιν1-7 «Σύσταση λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων και οι κυριότερες πηγές τους» (#1 (5.2))

1.4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (CHEMICAL COMPOSITION)

{#1 §3/4/6, #4 (326), #7, #11 (2.3-2.5)}

Δεδομένα για την χημική σύσταση των σωματιδίων είναι σπάνια στη βιβλιογραφία όμως όλοι συμφωνούν στις παρακάτω κατηγορίες συστατικών:

1. Γεωλογικά υλικά (*Geological material*)

2. Οργανικός άνθρακας (*Organic carbon*)

3. Στοιχειακός άνθρακας (*Elemental carbon*)

4. Θειικά (*Sulphate*)

5. Νιτρικά (*Nitrate*)

6. Αμμωνιακά (*Ammonium*)

Το νερό είναι επίσης βασικό συστατικό στα σωματίδια ειδικά όταν η σχετική υγρασία υπερβαίνει το 70%. Όμως το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού αυτού εξατμίζεται στα φίλτρα πριν την μέτρηση. Ακόμα ανιχνεύεται υδατοδιαλυτό νάτριο σε παράκτιες περιοχές, όπως και ιχνοστοιχεία μετάλλων κοντά σε βιομηχανικές ζώνες.

1) Γεωλογικά υλικά (*Geological material*)

Η αιωρούμενη σκόνη αποτελείται από διάφορα οξείδια όπως αλουμινίου, πυριτίου, ασβεστίου, τιτανίου, μολύβδου, χαλκού, σιδήρου κ.ά. Ο ακριβής συνδυασμός των ενώσεων αυτών εξαρτάται από τη γεωλογία της περιοχής και τις βιομηχανικές εφαρμογές (εργασίες αμμοβολών, παραγωγή χαλύβων, ορυχεία).

2) Οργανικός άνθρακας (Organic carbon)

Ο οργανικός άνθρακας των σωματιδίων μπορεί να βρεθεί με μορφή χιλιάδων ενώσεων. Η συνολική μάζα του οργανικού άνθρακα μπορεί να μετρηθεί, αλλά μόνο το 10% των ενώσεων μπορεί να προσδιορισθεί.

3) Στοιχειακός άνθρακας (Elemental carbon)

Ο στοιχειακός άνθρακας είναι μια μαύρη σκόνη και συχνά καλείται αιθάλη. Αποτελείται από καθαρό άνθρακα με μορφή γραφίτη

4) Θειικά (Sulphate)

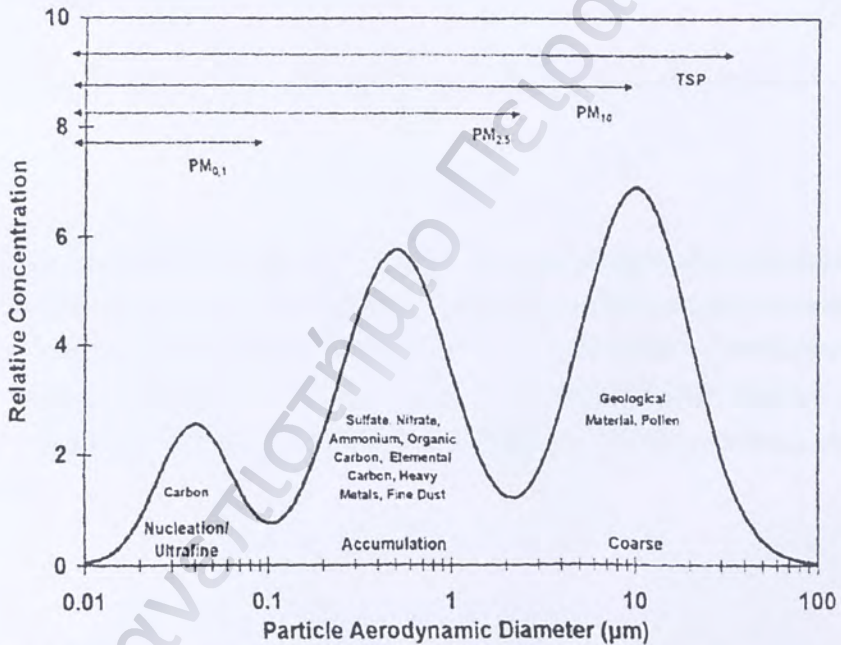
Το $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, το $(\text{NH}_4\text{HSO}_4)$ και το (H_2SO_4) είναι οι περισσότερο κοινές μορφές που απαντούμε. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και απαντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα $\text{PM}_{2,5}$. Σε μικρότερα ποσοστά βρίσκουμε θειικό νάτριο (κοντά σε θάλασσα) και γύψο.

5) Νιτρικά (Nitrate)

Το νιτρικό αμμώνιο και το νιτρικό νάτριο είναι οι πιο συχνά απαντούμενες μορφές αυτής της κατηγορίας στα αιωρούμενα σωματίδια.

6) Αμμωνιακά (Ammonium)

Οι πλέον συχνά απαντούμενες ενώσεις στην κατηγορία αυτή είναι το θειικό αμμώνιο, και το νιτρικό αμμώνιο. Το μεγαλύτερο ποσοστό του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου, που αποτελούν τις πρώτες ύλες για τον σχηματισμό των αμμωνιακών, προέρχονται από τους κινητήρες των οχημάτων. Η αμμωνία ως πρώτη ύλη προέρχεται κυρίως από βιολογικές πηγές όπως εκτροφεία ζώων.



Σχ1-8 «Κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά» {#11 (2.16)}

1.5. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (DISPERSION OF AIRBORNE PARTICLES)

{# 12}

Η διασπορά των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- *οι μετεωρολογικές συνθήκες και κυρίως η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου*
- *το ύψος της πηγής*
- *οι τοπικές γεωγραφικές ιδιαιτερότητες*
- *η πηγή, αν είναι για παράδειγμα καμινάδα ή κινούμενες εξατμίσεις αυτοκινήτων*

Κατά την διασπορά τους μετέχουν σε ένα ευρύ φάσμα χημικών αλλαγών και εξαιτίας της ανάμιξης τους με τον αέρα προκαλείται αραίωση. Ανάλογα δε, με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σωματιδίων είναι δυνατόν να προκληθούν συσσωμάτωση, αεριοποίηση ή καθίζηση. Συνέπεια αυτού είναι ότι είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθεί η διασπορά, άρα και η πρόβλεψη των επιπέδων έκθεσης στον άνθρωπο.

Κεφ2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

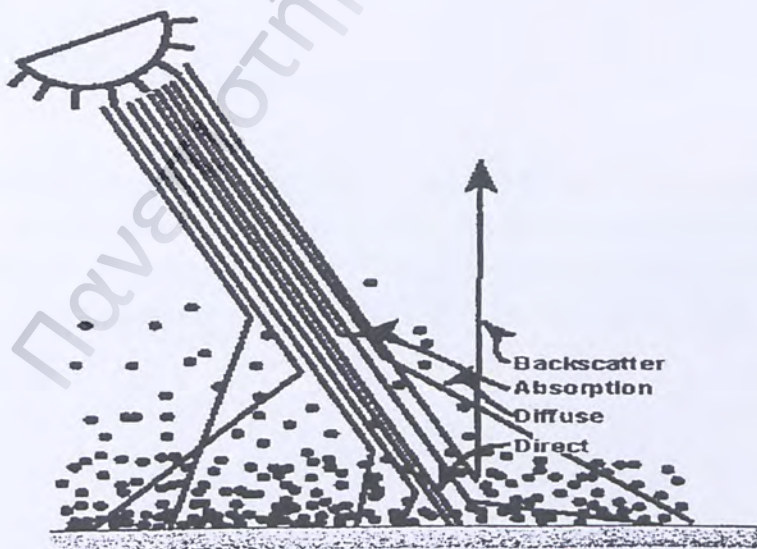
Τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν δυσμενώς στον ανθρώπινο οργανισμό και στο περιβάλλον. Οι σημαντικότερες κατηγορίες επιπτώσεων είναι οι:

- στην ορατότητα και στο κλίμα
- στα υλικά
- στην ανθρώπινη υγεία

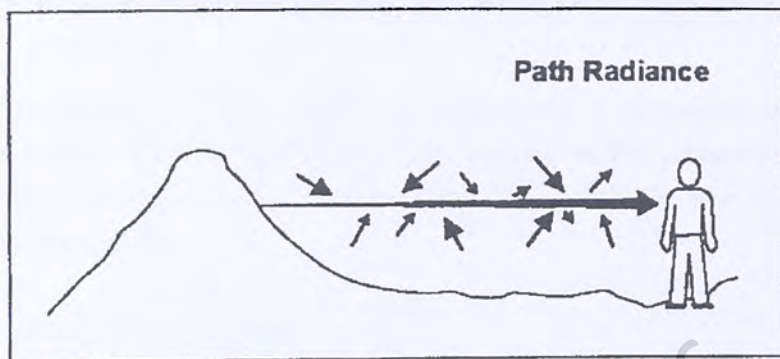
Στην παρούσα εργασία διεξοδικά μελετάται μόνο η τρίτη κατηγορία ενώ στις άλλες δύο γίνεται απλώς αναφορά.

2.1.1 Επιπτώσεις στην ορατότητα και το κλίμα (Visibility and climate effects)

Η καθαρότητα μαζί με την χρωματική πιστότητα προσδιορίζουν ποσοτικά την ορατότητα, σύμφωνα με την EPA. Στα επόμενα σχήματα γίνεται αντιληπτή αυτή η αλληλεπίδραση.



Σχ2-1«Αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας - $PM_{2.5}$ » {#17}



Σχ2-2 «Παράδειγμα επίδρασης των σωματιδίων στην οπτική διαδρομή και την ορατότητα» {#17}

Μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο έχουν τα σωματίδια $PM_{2.5}$ που ελαττώνουν την ορατότητα λειτουργώντας σαν ένα είδος φίλτρου της ηλιακής ακτινοβολίας, αφήνοντας να περάσει μόνο ένα ποσοστό της.

Στο κλίμα ανάλογα με το μέγεθος και το βαθμό ανάκλασής τους μπορούν να ανακλούν την εισερχόμενη υπεριώδη ακτινοβολία (ψύχοντας τον πλανήτη) ή την εξερχόμενη υπέρυθη συνεισφέροντας στην αύξηση της θερμοκρασίας (φαινόμενο θερμοκηπίου).

2.1.2 Επιπτώσεις στα υλικά

Τα αιωρούμενα σωματίδια διαβρώνουν τα υλικά, καταρχήν άμεσα ως φορείς ενώσεων που καταφέρνουν να τα διαποτίζουν και να τα αλλοιώνουν και κατά δεύτερο έμμεσα σαν αμμοβολή των επιφανειών των υλικών. Μια δεύτερη επίπτωση είναι και η επικάλυψη σωματιδίων στα υλικά, με άμεσο οικονομικό κόστος στην απομάκρυνσή τους.

2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ (HEALTH EFFECTS)

{#13, #14, #16, #6}

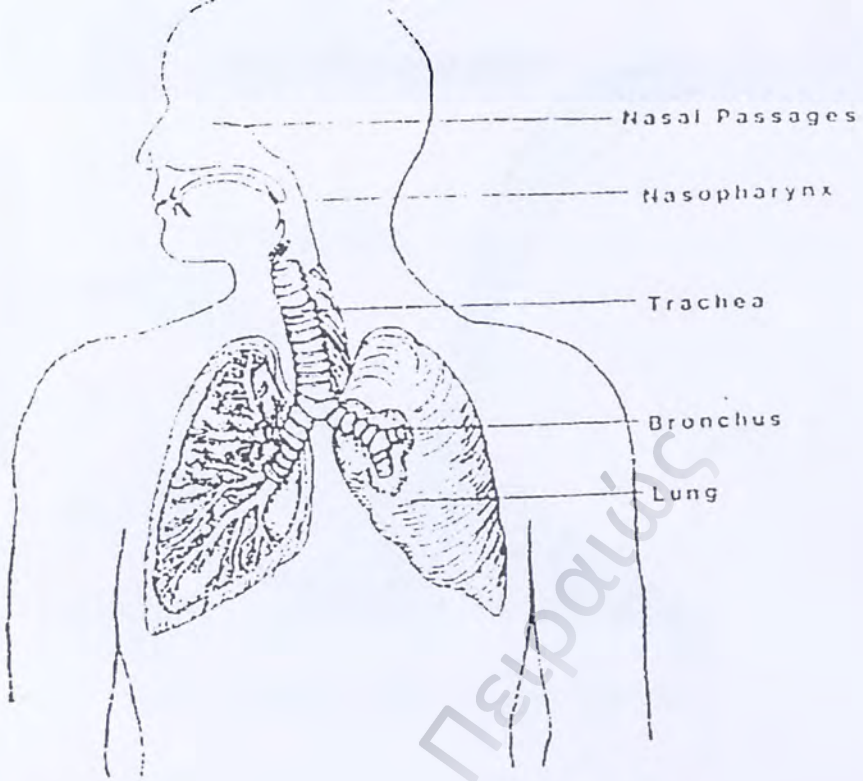
Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν ή να επιδεινώσουν πολλά προβλήματα υγείας. Τόσο τα PM₁₀ αλλά ιδιαίτερα τα PM_{2,5} θεωρούνται πλέον επικίνδυνοι ρύποι για την ανθρώπινη υγεία. Τα προβλήματα που μπορούν να προκαλέσουν είναι:

- στο αναπνευστικό σύστημα
- στο καρδιαγγειακό
- στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια
- καρκινογένεσεις
- πρόωρο θάνατο

Στις επιπτώσεις πρέπει να συμπεριλάβουμε και κάποιες πιο ήπιες όπως επίμονος βήχας ή ζαλάδες και αδιαθεσία γενικά. Είναι γενικά αποδεκτό ότι κατά μέσο όρο 1 – 2 χρόνια μειώνεται η διάρκεια ζωής ενός ανθρώπου, που έχει εκτεθεί μακροχρόνια σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων.

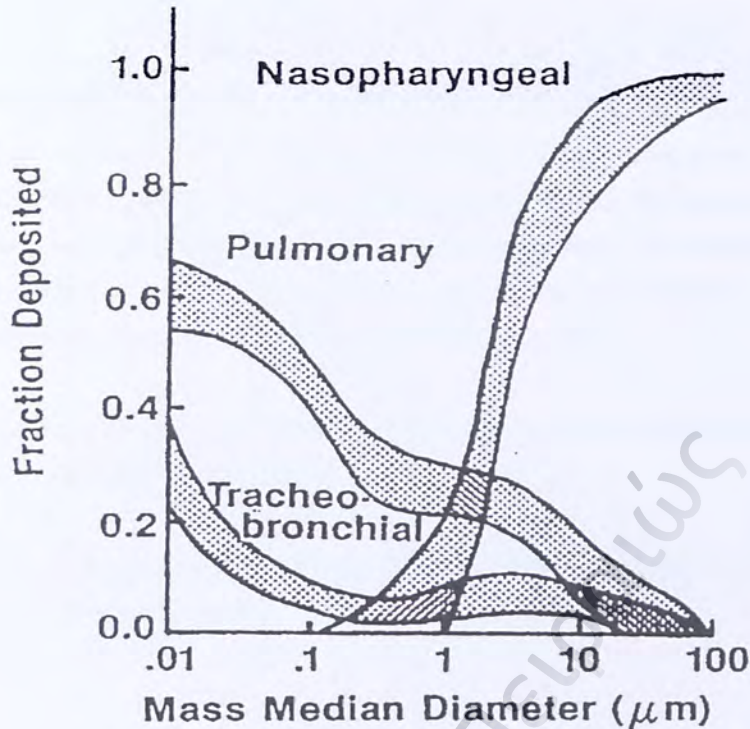
Το αναπνευστικό μας σύστημα είναι φτιαγμένο να φιλτράρει τα εισερχόμενα σωματίδια. Όμως η κατανομή και η διάμετρός τους με τα χρόνια άλλαξε ριζικά λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Έτσι ο αέρας που αναπνέουμε σήμερα είναι περισσότερο πλούσιος σε PM₁₀ και PM_{2,5}. Μελέτες έχουν καταλήξει ότι μόνο ένα ποσοστό 50% των PM₁₀ προέρχεται από φυσικές πηγές ενώ το αντίστοιχο ποσοστό των PM_{2,5} είναι 10%. Μια τυπική κατανομή ως προς τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια είναι:

PM ₁₀ = 70% TSP	PM _{2,5} = 40% TSP
----------------------------	-----------------------------



Σχ2-3«Ανατομία του αναπνευστικού συστήματος» {#17}

Τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10μ αποβάλλονται εύκολα από τον οργανισμό στα σημεία εισαγωγής. Ο οργανισμός όμως και κυρίως οι πνεύμονες είναι ευάλωτοι στα PM₁₀ τα οποία διαφεύγουν από τους μηχανισμούς άμυνας του αναπνευστικού συστήματος. Η πορεία των σωματιδίων προς το βάθος των πνευμόνων περνάει από τους ολοένα και στενότερους βρόγχους, με τα πολύ μικρά σωματίδια να φτάνουν μέχρι τις κυψελίδες. Υπάρχουν περίπου 300εκ. κυψελίδες στους πνεύμονες που είναι υπεύθυνες για την οξυγόνωση του αίματος. Τα σωματίδια που παγιδεύονται σε αυτούς τους πολύ ευαίσθητους ιστούς δυσχεραίνουν την παραπάνω διαδικασία. Σ' όλη τη αυτή την πορεία τα σωματίδια μπορεί να μεταφέρουν τοξικές ή καρκινογόνες ενώσεις που απορροφούνται στα διάφορα σημεία των πνευμόνων.



Γρ2-4«Το κλάσμα εναπόθεσης των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σε σχέση με το μέγεθός τους» {#17}

Τα περισσότερα από τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 10μ κατακρατούνται στο στόμα και στη μύτη. Για τα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο των 10μ ένα ποσοστό από 10 έως 60% πιθανόν να φτάσει τελικά στους πνεύμονες. Το τελικό ποσοστό εναπόθεσης δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος των σωματιδίων αλλά και από τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα, τη μοριακή τους σύσταση, το PH και τη διαλυτότητα. Ο βαθμός εναπόθεσης διαφέρει για καπνιστές και μη καπνιστές καθώς και μεταξύ ατόμων με αναπνευστικά προβλήματα. Κυμαίνεται από 20% για διαμέτρους περί τα 3μ και φτάνει στο 60% για διαμέτρους περί τα 0,03μ. Επίσης όταν ξηρά υδατοδιαλυτά σωματίδια εισχωρούν στον ανθρώπινο οργανισμό όπου η σχετική υγρασία ξεπερνά το 99%, το μέγεθός τους αυξάνει με την προσρόφηση νερού. Με τον τρόπο αυτό τα σωματίδια παίρνουν τη μορφή και το μέγεθος σταγονιδίων.

Οι ακριβείς τοξικολογικοί μηχανισμοί δεν έχουν αποκωδικοποιηθεί πλήρως, ωστόσο έχουν αναπτυχθεί μερικές θεωρίες. Η τοξικότητα πιθανά να οφείλεται στην άμεσα διαβρωτική επίδραση του θειικού οξέος ή άλλων ενώσεων που έχουν προσροφηθεί πάνω στην μεγάλη επιφάνεια των μικρών σωματιδίων. Οι συγκεντρώσεις των προσροφημένων ενώσεων είναι δυνατόν να φτάσουν σε υψηλότερα επίπεδα από εκείνα της ατμόσφαιρας. Τέτοιες επικίνδυνες ενώσεις είναι:

- *οι οργανικές ενώσεις όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, που έχουν καρκινογενή δράση*
- *τα SO_x και το θειικό οξύ που βλάπτουν σοβαρά την ικανότητα των πνευμόνων να αυτοκαθαρίζονται*
- *πολλά ιχνοστοιχεία – βαρέα μέταλλα όπως μόλυβδος, κάδμιο, ψευδάργυρος και υδράργυρος. Τα ιχνοστοιχεία αυτά μεταφέρονται στα σωματίδια και δρουν παρεμποδιστικά στο ανθρώπινο ανοσοποιητικό σύστημα. Για παράδειγμα: οι επιπτώσεις του μολύβδου είναι γνωστές και η σοβαρότητά τους οδήγησε την E.E. στην κατάργηση της μολυβδωμένης βενζίνης από το 2000. Η κρυσταλλική μορφή του διοξειδίου του πυριτίου είναι η αιτία της πνευμονοκονίασης στους εργαζόμενους ορυχείων – ναπηγείων.*

Προβλήματα υγείας δεν προκαλούνται μόνο πρωτογενώς από τη διείσδυση στο αναπνευστικό σύστημα αλλά και δευτερογενώς λόγω της εξασθένισης του οργανισμού. Η αυξανόμενη ευαισθησία είναι δυνατόν να ευνοήσει τη συμπίκνωση υγρού μέσα στους πνεύμονες, αλλά και την επιμόλυνση από ιούς και βακτήρια.

2.2.1 Επιδημιολογικές Μελέτες

{#18 (38), #19, #20, #21, #24, #3}

Ήδη από το 1987 υπήρχαν στις ΗΠΑ περισσότερες από 24 μελέτες που έδειχναν ότι υπήρχε συσχέτιση μεταξύ των αιωρούμενων σωματιδίων και των προβλημάτων στο αναπνευστικό σύστημα. Αργότερα δύο μεγάλες επιδημιολογικές μελέτες, από τον οργανισμό American Cancer Society και το πανεπιστήμιο Harvard, δημοσιεύθηκαν υποστηρίζοντας ότι οι άνθρωποι που ζούσαν σε περισσότερο ρυπασμένες πόλεις είχαν και αυξημένο κίνδυνο πρόωγου θανάτου έναντι κατοίκων άλλων πόλεων.

Συγκεκριμένα οι ερευνητές του πανεπιστημίου του Harvard, μελετώντας πάνω από 500.000 ανθρώπους από 151 πόλεις σε διάστημα από το 1982 – 1989 κατέληξαν στο ότι: όσοι ζούσαν σε ρυπασμένες πόλεις αντιμετώπιζαν ένα αυξημένο κίνδυνο να πεθάνουν κατά 15-17%, σε σχέση με εκείνους που έμεναν σε λιγότερο ρυπασμένες περιοχές. Η μελέτη μεταξύ άλλων έδειξε ότι:

- *υπάρχει σαφής συσχέτιση μεταξύ θνησιμότητας λόγω καρδιακών ή πνευμονολογικών ασθενειών και αέριας ρύπανσης από καύσεις, (combustion-source pollution)*
- *υπάρχει ο ίδιος βαθμός συσχέτισης μεταξύ ρύπανσης αιωρούμενων σωματιδίων και θνησιμότητας τόσο για καπνιστές όσο και για μη καπνιστές*
- *ο χρόνος ζωής των κατοίκων μπορεί να μειωθεί κατά μερικά χρόνια ακόμη και αν η ρύπανση διατηρείται σε μέτρια επίπεδα.*

Πιο πρόσφατη επιδημιολογική μελέτη έλαβε χώρα στο Sao Paolo της Βραζιλίας, μιας πόλης με 16εκ κατοίκους, 3εκ αυτοκίνητα και 300χιλ φορτηγά / λεωφορεία. Στην έντονα βιομηχανοποιημένη αυτή πόλη, τα μέσα ετήσια επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ που μετρήθηκαν ήταν 82,4μg/m³. Η αντίστοιχη ετήσια μέση συγκέντρωση για τις 50 μεγαλύτερες πόλεις των ΗΠΑ κυμαίνεται από 31 έως 60,4μg/m³. Η έρευνα έδειξε ότι όταν η μέση 24ωρη συγκέντρωση αυξανόταν κατά 100μg/m³ ο συνολικός αριθμός θανάτων αυξανόταν κατά 13%. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αιωρούμενα σωματίδια ήταν πιο άμεσα συνδεδεμένα με τον αριθμό των θανάτων παρά τα NO_x, SO_x, ή το μονοξείδιο του άνθρακα. Τα αποτελέσματα αυτά πιθανότατα να υποβαθμίζουν το πρόβλημα γιατί στη μελέτη λαμβάνονται υπόψη μόνο οι άμεσοι θάνατοι και όχι η μακροχρόνια αύξησή τους λόγω της χρόνιας έκθεσης.

Το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια υπολόγισε ότι ο κίνδυνος θανάτου που διατρέχουν οι κάτοικοι της πόλης από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι 1/10.000, δηλαδή το μισό του κινδύνου να πεθάνουν από αυτοκινητιστικό δυστύχημα στην ίδια πόλη.

Στις 12 Φεβρουαρίου 1997 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανέφερε στη Γενεύη ότι μελέτες έδειξαν πως 350 θάνατοι ετησίως στο Παρίσι, είναι δυνατόν να αποδοθούν στην ύπαρξη φωτοχημικού νέφους. Επίσης ότι η αέρια ρύπανση, κύρια από καυσαέρια, αυξάνει την επικινδυνότητα διαβίωσης μέσα στην πόλη 10 – 100 φορές σε σχέση με την διαβίωση σε ένα πυρηνικό σταθμό και είναι υπεύθυνη για καρκίνους και αναπνευστικά προβλήματα.

Στη Βρετανία το Expert Panel on Air Pollutants δημοσιοποίησε έναν απολογισμό κατά τον οποίο τα PM_{10} προκαλούσαν 2 – 10.000 θανάτους Βρετανών το έτος.

Το Natural Resources Defense Council (NRDC) για 239 πόλεις των ΗΠΑ εκτιμούσε ότι 64.000 θάνατοι ετησίως λόγω καρδιακών ή αναπνευστικών προβλημάτων οφείλονται στα PM_{10} . Οι πέντε πρώτες πόλεις με τους περισσότερους θανάτους ήταν οι: Los Angeles (5.873), New York (4.024), Chicago (3.479), Philadelphia (2.599), Detroit (2.123). Στην ίδια μελέτη φαίνεται ότι ένα πλήθος θανάτων από 4.662 μέχρι 37.562 θα είχαν αποφευχθεί αν η συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ δεν υπερέβαινε τα 12,5 – 20 $\mu g/m^3$. Η ίδια ανάλυση κατέληξε με την πρόταση προς την EPA να θέσει ως ανώτατο όριο τα 10 $\mu g/m^3$ μέση ετήσια τιμή.

Επιδημιολογικές μελέτες στην Ελλάδα έδειξαν ότι:

- από καρκίνους και καρδιαγγειακά προβλήματα πεθαίνουν στην πλειονότητά τους οι κάτοικοι των σοβαρά επιβαρημένων από τη ρύπανση περιοχών. Αυτό είναι συμπέρασμα έρευνας που έγινε στον Ασπρόπυργο τη περίοδο 1982 – 1994 από το εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας. Η θνησιμότητα ανά 1000 κατοίκους το 1982 ήταν 6,1 ενώ το 1992 ήταν 10 και έφτασε το 1994 να είναι 11,3.
- στους ηλικιωμένους τις ημέρες υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης της Αθήνας σημειώνεται αύξηση της θνησιμότητας κατά 16% από ότι τις καθαρές μέρες.
- έχουν γίνει δύο μελέτες που έδειξαν ότι τα άτομα που έχουν ζήσει όλη τους τη ζωή στην Αθήνα, έχουν διπλάσια πιθανότητα να αναπτύξουν χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια σε σχέση με άτομα που έχουν ζήσει τη ζωή τους σε αγροτικές περιοχές.

- Αύξηση στα περιστατικά των παιδιών με αναπνευστικά προβλήματα που επισκέπτονται το Τζάνειο νοσοκομείο τις ημέρες που αυξάνονται οι τιμές των ρύπων στον Πειραιά δείχνει μελέτη που έγινε την χρονική περίοδο 1990 – 1992 από το τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών του Πανεπιστημίου Πατρών. Οι ρύποι που εξετάστηκαν σε αυτή τη μελέτη ήταν ο καπνός, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του αζώτου και το όζον. Οι εισαγωγές παιδιών ηλικίας μέχρι 14 ετών με συμπτώματα λαρυγγίτιδας, οξείας ρινολαρυγγίτιδας, ωτίτιδας, βρογχοπνευμονίας, πνευμονίας και άσθματος αποτελούσαν το 35% των συνολικών περιστατικών τη διετία 1991 – 1992. Η μελέτη συμπεραίνει ότι υπάρχει άμεση επίδραση όλων των ρύπων στα περιστατικά με αναπνευστικά προβλήματα
- Πολυετής έρευνα που διεξάγεται σε 14.000 παιδιά ηλικίας 10 – 12 ετών από το Εργαστήριο Έρευνας Παθήσεων από το Περιβάλλον της Πνευμονολογικής κλινικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου στις πόλεις Θεσσαλονίκη, Βόλο, Καβάλα, Πτολεμαίδα, Κιλκίς και Έδεσσα. Διαπιστώθηκε ότι χιλιάδες παιδιά υποφέρουν από χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις, με υψηλότερα ποσοστά ρινίτιδας στην Πτολεμαίδα (33,4%), τη Θεσσαλονίκη (30%) και το Βόλο (29,6%). Σύμφωνα με τον καθηγητή κ. Σιγλετίδη, το φαινόμενο οφείλεται στη σωματιδιακή ρύπανση που επικρατεί σε αυτές τις πόλεις λόγω των βιομηχανικών δραστηριοτήτων.
- Έρευνα που έγινε στο Σισμανόγλειο νοσοκομείο σε μεταλλωρύχους από το Στρατόνι Χαλκιδικής παρουσίασε τα εξής αποτελέσματα:
 - 1257 εξετάστηκαν
 - 365 (29%) παρουσίασαν πνευμονοκονίαση
 - 53 (15%) από τους 365, παρουσίασαν πνευμονική φυματίωση
 - 40 από τους 53 παρουσίασαν πνευμονική φυματίωση Α΄. Οι 21 (52%) πέθαναν σε διάστημα 51 μηνών
 - 13 από τους 53 παρουσίασαν πνευμονική φυματίωση Β΄. Οι 5 (38%) πέθαναν σε διάστημα 6 χρόνων
 - το 50% περίπου δούλευαν για διάστημα 6-10 χρόνων

2.3 Πυριτίαση (Silikosis)

{#25, #26, #16}

Στις τις επαγγελματικές ασθένειες που καθορίζονται από την Ελληνική Νομοθεσία στο άρθρο 40 του Κανονισμού ασθένειας του ΙΚΑ (ΦΕΚ132/12.2.79) περιλαμβάνεται και η Πυριτίαση. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη αξία για την παρούσα εργασία γιατί το πυρίτιο (SiO_2) είναι ένα από τα βασικά συστατικά της αμμοβολής που χρησιμοποιείται στα εργοστάσια ανά την Ελλάδα. Όπως θα δούμε αργότερα σε μια τυπική ανάλυση του εν λόγω υλικού αμμοβολής το πυρίτιο περιέχεται σε ποσοστό 25%.

Το διοξείδιο του πυριτίου είναι πολύ διαδεδομένο στη φύση και συναντάται ελεύθερο σε καθαρή μορφή ή σε ανάμιξη με άλλα στοιχεία όπως: Al, Ca, K κ.α. Καθαρό μπορούμε να το συναντήσουμε σε κρυσταλλική μορφή όπως χαλαζίας (quartz), τριπολίτης, χρυστοβαλίτης, τριδυμίτης κ.α ή άμορφο (γη διατόμων). Το διοξείδιο του πυριτίου είναι πολύ σκληρό και ιδιαίτερα εύθραυστο για αυτό και είναι κατάλληλο για καθαρισμούς μεταλλικών επιφανειών.

Το Π.Δ.307/86 αφορά τις οριακές τιμές έκθεσης για επικίνδυνους παράγοντες κατά την εργασία και στο άρθρο 3 § 2 αναφέρει:

- Σκόνη που περιέχει κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) η «οριακή τιμή έκθεσης» υπολογίζεται ως εξής:

- για την αναπνεύσιμη σκόνη (Respirable Fraction):

$$TLV_{TWA} = \frac{10}{X_1 + 2} \text{ mg / m}^3$$

-για την ολική σκόνη (Total Dust):

$$TLV_{total} = \frac{30}{X_2 + 3} \text{ mg / m}^3$$

όπου:

TLV: εκφράζει την κατά περίπτωση οριακή τιμή έκθεσης

X_1 : εκφράζει την επί τις εκατό περιεκτικότητα του αναπνεύσιμου διοξειδίου του Πυριτίου στην ποσότητα σκόνης που εισπνέεται

X_2 : εκφράζει την επί τις εκατό περιεκτικότητα του διοξειδίου του Πυριτίου στην ποσότητα της ολικής σκόνης που μετράται

- Σκόνη «αδρανής ή απλώς ερεθιστική», η οριακή τιμή έκθεσης είναι:
-για την αναπνεύσιμη ποσότητα: $5\text{mg}/\text{m}^3$
-για την ολική ποσότητα, αναπνεύσιμη και μη: $10\text{mg}/\text{m}^3$

Η Αμερικάνικη Εταιρεία Κυβερνητικών Υγειονολόγων Βιομηχανίας (ACGIH) προτείνει για το 1996 τις εξής οριακές τιμές έκθεσης TLV-TWA:

- Πυρίτης λίθος / Κρυσταλλικός

<i>Χρυστοβαλίτης:</i>	$0,05\text{ mg}/\text{m}^3$
<i>Χαλαζίας:</i>	$0,1\text{ mg}/\text{m}^3$
<i>Τριδυμίτης:</i>	$0,05\text{ mg}/\text{m}^3$
<i>Τριπολίτης:</i>	$0,1\text{ mg}/\text{m}^3$

- Πυρίτης λίθος / Άμορφος – Γη διατόμων

<i>Για την ολική ποσότητα:</i>	$10\text{ mg}/\text{m}^3$
<i>Για την αναπνεύσιμη ποσότητα:</i>	$3\text{ mg}/\text{m}^3$

Το διοξείδιο του πυριτίου εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό με την εισπνοή. Υπεύθυνο για την πυριτική πνευμονοκονίωση είναι το κλάσμα της αναπνεύσιμης ποσότητας με διάμετρο κόκκου μεταξύ $0,5 - 5\ \mu\text{m}$, που εναποτίθεται στις πνευμονικές κυψελίδες. Η ασθένεια αυτή εμφανίζεται μετά από $15 - 30$ χρόνια έκθεσης και χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη ινώδους ιστού στους πνεύμονες. Η εξέλιξη της συνεχίζεται και μετά από την απομάκρυνση από την έκθεση σε σωματίδια πυριτίου. Η ασθένεια είναι κατ' αρχάς ασυμπτωτική, ακόμη και σε περιπτώσεις που υπάρχει εμφανής αλλοίωση στην ακτινολογική εικόνα. Τα κύρια συμπτώματα που παρουσιάζονται είναι η δύσπνοια και ο ξηρός βήχας. Επιπλοκές της νόσου είναι η αιμόπτυση, η βαρεία αναπνευστική ανεπάρκεια, η πνευμονική φυματίωση και η καρδιακή ανεπάρκεια. Ένα μέγεθος για την αξιολόγηση του κινδύνου είναι και το IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) το οποίο εκφράζει τη συγκέντρωση που θεωρείται άμεσα επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία και είναι:

$IDLH = 25\text{ mg}/\text{m}^3$ για τον τριπολίτη και τον χαλαζία και

$IDLH = 50\text{ mg}/\text{m}^3$ για τον χρυστοβαλίτη και τον τριδυμίτη

Κεφ.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (QUALITY STANDARDS)

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τοπικοί, εθνικοί και διεθνείς κανονισμοί καθορίζουν τα επίπεδα ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Για παράδειγμα το πώς λειτουργεί μια βιομηχανική μονάδα και τα επίπεδα εκπομπών της καθορίζονται από την εθνική νομοθεσία. Ωστόσο η τοπική διοίκηση ενός δήμου ή μιας νομαρχίας μπορεί να παρέμβει και να καθορίσει κριτήρια αυστηρότερα, παρεμβαίνοντας στον έλεγχο της ποιότητας αέρα της περιφέρειας και λαμβάνοντας μέτρα όπως η απαγόρευση κυκλοφορίας σε μια περιοχή. Οι ενέργειες σε τοπικό επίπεδο για να επιτύχουν πρέπει να τύχουν υποστήριξης και συντονισμού από:

- *Εθνικά σχέδια δράσης για την ποιότητα του αέρα*
- *Οδηγίες της Ε.Ε.*
- *Διεθνείς συμφωνίες, όπως η συνθήκη για τη μεταφορά της αέριας ρύπανσης σε μεγάλες αποστάσεις, ή το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για τις ενώσεις που μειώνουν το στρώμα του όζοντος.*

Μεγάλοι διεθνείς οργανισμοί όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), η Ευρωπαϊκή Ένωση και κρατικοί οργανισμοί (US-EPA) ορίζουν τα πρότυπα αέρα για τους περισσότερους και πιο διαδεδομένους ρύπους. Ακολούθως παρουσιάζονται οι κατευθυντήριες οδηγίες και τα πρότυπα ποιότητας αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια.

3.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ Π.Ο.Υ. (WHO's guidelines)

{#21, #27}

Οι προτεινόμενες τιμές για την ποιότητα του αέρα, ορίζονται από τον ΠΟΥ με τον εξής τρόπο:

- Από την χαμηλότερη επιβεβαιωμένη επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία τιμή συγκέντρωσης
- Από αποδεδειγμένα ακίνδυνα επίπεδα συγκεντρώσεων
- Από την χρήση συντελεστών αβεβαιότητας

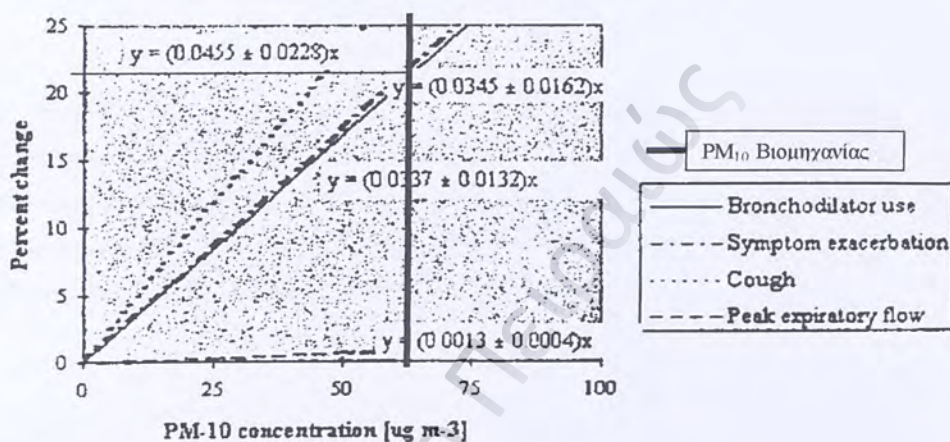
Αν ο προσδιορισμός των οριακών τιμών δεν είναι εφικτός σύμφωνα με τα παραπάνω, τότε τα όρια προκύπτουν από τη μελέτη της συσχέτισης του ποσοστού μεταβολής των επιπτώσεων της συγκέντρωσης του ρύπου στην ατμόσφαιρα (risk-concentration relationship) ή ισοδύναμα από τον υπολογιζόμενο κίνδυνο για κάθε άτομο (unit risks). Ο κάθε οργανισμός διευκρινίζει ότι οι τιμές που προτείνει δεν είναι απαραίτητο να ταυτίζονται με τα εθνικά πρότυπα ποιότητας. Τα εθνικά πρότυπα ποιότητας θεσπίζονται από τις τοπικές κυβερνήσεις και μπορεί να λάβουν υπόψη και επιπρόσθετους παράγοντες όπως:

- Τις φυσικές συγκεντρώσεις υποβάθρου (*natural background contamination*)
- Τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η υγρασία, θερμοκρασία, υψόμετρο
- Τις κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους (*socioeconomic factors*)

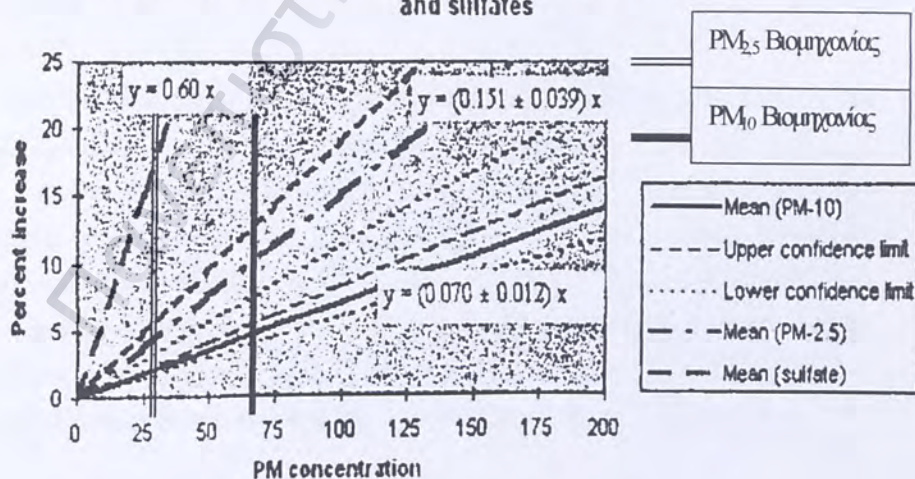
Σύμφωνα με τον ΠΟΥ τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην ανθρώπινη υγεία σε συγκεντρώσεις κατά πολύ χαμηλότερες από όλες τις ισχύουσες μέχρι σήμερα οριακές τιμές, τον κόσμο. Οι επιστήμονες του οργανισμού

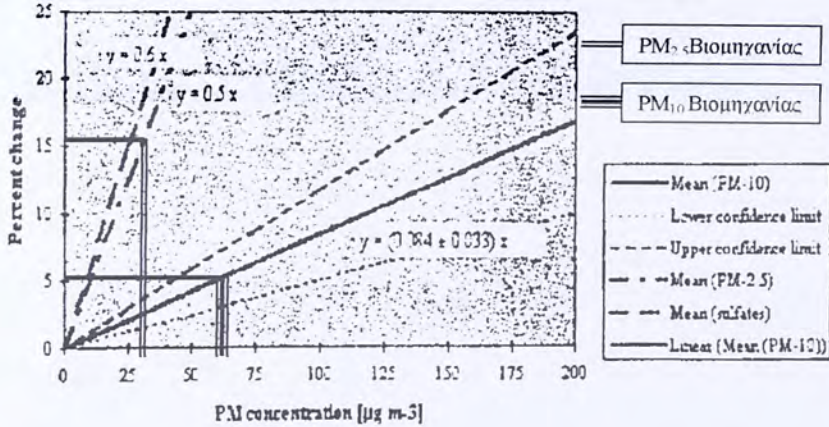
δεν αναφέρουν τιμή έκθεσης κάτω από την οποία, να θεωρείται ότι η ανθρώπινη υγεία δεν επηρεάζεται. Για αυτό ο ΠΟΥ δεν προτείνει κάποια συγκεκριμένη τιμή συγκέντρωσης για τα αιωρούμενα σωματίδια αλλά παραθέτει τρία διαγράμματα που μπορεί κανείς να ορίσει την επικινδυνότητα σε σχέση με την συγκέντρωση.

Percent change in health endpoints with PM-10



Percentage Increase in daily mortality assigned to PM-10, PM-2.5 and sulfates





Τα διαγράμματα αυτά δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες των 20µg/m³ και μεγαλύτερες των 200µg/m³ για PM₁₀ και αντίστοιχα χαμηλότερες των 10µg/m³ και μεγαλύτερες των 100µg/m³ για τα PM_{2.5}. Οι συγκεντρώσεις πέρα των ορίων που αναφέρονται δεν έχουν μελετηθεί από την ΠΟΥ (WHO) κατά την εξαγωγή των παραπάνω γραφημάτων.

3.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ US-EPA (US-EPA Standards)

{#4 (320),#19, #20, #28, #29, #30}

Η US-EPA είναι Αμερικάνικη εταιρεία προστασίας περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης των ΗΠΑ (US clean air act) ρόλο έχει να ορίζει και να θέτει σε ισχύ τα εθνικά πρότυπα ποιότητας της χώρας (National Ambient Air Quality Standards, NAAQS). Αυτά τα όρια θα πρέπει να είναι αρκετά αυστηρά ώστε να προστατεύεται η υγεία ακόμα και των πιο ευαίσθητων ομάδων του πληθυσμού. Τα αιωρούμενα σωματίδια σύμφωνα με την EPA είναι ρύπος-κριτήριο. Ρύπους-κριτήρια καλούμε τους αέριους ρύπους που η EPA έχει αποφασίσει ότι είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό και την καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης. Τέτοιοι είναι οι:

- *Μονοξείδιο του Άνθρακα - CO*
- *Διοξείδιο του Αζώτου - NO₂*
- *Διοξείδιο του Θείου - SO₂*
- *Όζον - O₃*
- *Σωματιδιακό Μόλυβδο - Pb*
- *Αιωρούμενα σωματίδια*

Το κάθε πρότυπο αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη χημική ουσία με εξαίρεση εκείνο που αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα παραπάνω πρότυπα επανεξετάζονται κάθε πέντε χρόνια ώστε να αντανακλούν την πλέον πρόσφατη επιστημονική γνώση.

Το 1971 το πρότυπο για τα αιωρούμενα σωματίδια, αναφέρονταν στα ολικά αιωρούμενα (TSP) που περιλαμβάνουν όλα τα σωματίδια που μπορούν να διατηρηθούν σε αιώρηση. Η επανεξέταση του προτύπου αυτού το 1978 κατέληξε σε ένα κείμενο (criteria document) που περιείχε μια σύνοψη της τρέχουσας γνώσης για την εκπομπή σωματιδίων, το μέγεθος, τη χημική τους σύσταση, τη διεισδυτική τους ικανότητα, τις μεθόδους μέτρησης και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αυτή η εργασία είχε ως αποτέλεσμα το 1987, τη θέσπιση εθνικού Αμερικάνικου προτύπου ποιότητας για τα PM₁₀. Συγκεκριμένα το πρότυπο δεν επέτρεπε οι συγκεντρώσεις στο περιβάλλον να υπερβούν τα 50μg/m³ (ετήσια αριθμητική μέση τιμή) περισσότερο από μια φορά σε τρία συνεχόμενα χρόνια και τα 150 μg/m³ (μέση 24ωρη τιμή) περισσότερο από τρεις φορές σε τρία έτη.

Το 1992 η Αμερικάνικη Πνευμονολογική Εταιρεία μίλησε την EPA επειδή δεν είχε επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα για τα PM₁₀. Το δικαστήριο απεφάνθη ότι η EPA οφείλει να επανεξετάσει και να αναθεωρήσει το πρότυπο. Ήδη το 1997 προσδιορίστηκαν οι αναθεωρημένες τιμές και τέθηκαν σε ισχύ, ανταποκρινόμενες στη σύγχρονη γνώση. Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τα πρότυπα:

Αιωρούμενα σωματίδια	Οριακή τιμή 1987	Παρατήρηση	Οριακή τιμή 1997	Παρατήρηση
PM ₁₀	Ετήσια 50μg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων για 3 συνεχόμενα χρόνια δεν πρέπει να υπερβίνει το όριο πάνω από μια φορά	Ετήσια 50μg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων για 3 συνεχόμενα χρόνια δεν πρέπει να υπερβίνει το όριο πάνω από μια φορά
PM ₁₀	24ωρη 150μg/m ³	Οι 24ωρες μετρήσεις δεν πρέπει να υπερβίνουν το όριο περισσότερο από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη	24ωρη 150μg/m ³	Το 99 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24ωρων συγκεντρώσεων δεν πρέπει να υπερβίνει το όριο περισσότερο από τρεις φορές σε τρία έτη

*το αναθεωρημένο πρότυπο είναι σχεδόν ίδιο με το παλαιότερο του 87 με μόνη διαφορά ότι γίνεται στο νέο χρήση του 99^{ου} εκατοστημορίου συγκέντρωσης.

Πίν3-1 «Πρότυπα ποιότητας κατά US-EPA για PM₁₀»

Η προσθήκη πρότυπου για τα PM_{2,5} προκάλεσε έντονες διαμάχες στις ΗΠΑ. Το Αμερικάνικο Κογκρέσο χρηματοδότησε το 1998 την EPA με 49,6 εκ.\$ ώστε να αποκτηθεί μεγαλύτερο επιστημονικό υπόβαθρο για το θέμα. Τα χρήματα αυτά θα αξιοποιηθούν μόνο για έρευνες σχετικές με τα αιωρούμενα σωματίδια.

Η EPA πάντως εκτιμά ότι χάρη στο νέο πρότυπο των PM_{2,5} θα μειωθούν κατά 15.000 περίπου οι πρόωροι θάνατοι και κατά 250.000 τα κρούσματα σοβαρών αναπνευστικών προβλημάτων. Ο επόμενος πίνακας δείχνει τα όρια για τα PM_{2,5}:

Αιωρούμενα σωματίδια	Οριακή τιμή 1987	Παρατήρηση	Οριακή τιμή 1997	Παρατήρηση
PM _{2,5}		Δεν υπήρχε όριο	Ετήσια 15μg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβίνει το όριο
PM _{2,5}		Δεν υπήρχε όριο	24ωρη 65μg/m ³	Το 98 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24ωρων συγκεντρώσεων ενός έτους δεν πρέπει να υπερβίνει το όριο σε μέσο όρο για τρία χρόνια σε μια περιοχή

Πίν3-2 «Πρότυπα ποιότητας κατά US-EPA για PM_{2,5}»

3.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ Ε.Ε. (EU daughter directive)

{#31, #32}

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει οδηγίες – πλαίσιο με τις οποίες τα κράτη μέλη πρέπει να συμμορφώνονται και να προσαρμόζουν την Εθνική τους νομοθεσία. Η οδηγία - πλαίσιο για την προστασία του περιβάλλοντος είναι χωρισμένη σε επιμέρους θυγατρικές οδηγίες που η καθεμιά τους αναφέρεται και σε ένα είδος ρύπου. Η παλαιά οδηγία (ΕΟΚ-1983) για τα αιωρούμενα πρότεινε τα εξής:

Ετήσια τιμή (μ.ο. 24ωρων μετρήσεων)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Χειμώνας (μ.ο. 24ωρων μετρήσεων)	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
98 ^ο εκατοστημόριο, από τις 24ωρες μετρήσεις του έτους	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πιν3-3 «Προτεινόμενες τιμές κατά το 1983 στην ΕΟΚ για TSP, ολικά αιωρούμενα σωματίδια»

Ωστόσο τα τελευταία χρόνια ετοιμαζόταν η νέα θυγατρική οδηγία για τα αιωρούμενα σωματίδια. Από το προτεινόμενο κείμενο, σύμφωνα με την τελευταία διόρθωσή του στις 8 Ιουλίου 1998, είναι οι επόμενοι δύο πίνακες. Η οδηγία όμως που πέρασε στις 24-3-99 καθόρισε όρια και ημερομηνίες συμμόρφωσης μόνο για τα PM_{10} .

PM₁₀	Περίοδος αναφοράς για τον προσδιορισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία για τη συμμόρφωση προς την οριακή τιμή
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀ που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 35 φορές ανά έτος	50% κατά την έναρξη της παρούσας οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1^η Ιανουαρίου 2005
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀	20% την 1/1/2005 μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2010	1^η Ιανουαρίου 2005
		<u>Επόμενη Φάση του Σχεδίου</u>		
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀ που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 7 φορές ανά έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων που θα είναι ισοδύναμα με την οριακή τιμή του σταδίου 1	1^η Ιανουαρίου 2010
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀	50% την 1/1/2005 μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2010	1^η Ιανουαρίου 2010

Πιν3-4 «Ορια και ημερομηνίες συμμόρφωσης για τα PM₁₀ με βάση την οδηγία της ΕΕ» {#31, #32}

PM _{2,5}	Περίοδος αναφοράς για τον προσδιορισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία για τη συμμόρφωση προς την οριακή τιμή
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	40 μg/m ³ PM _{2,5} που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 7 φορές ανά έτος	50% κατά την έναρξη της παρούσας οδηγίας μειούμενο κάθε 12 μήνες, από την 1/1/2001, κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2010
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	20 μg/m ³ PM _{2,5}	50% κατά την έναρξη της παρούσας οδηγίας μειούμενο κάθε 12 μήνες, από την 1/1/2001, κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Πιν3-5 «Ορια και ημερομηνίες συμμόρφωσης για τα PM_{2,5} με βάση την οδηγία της ΕΕ» {#31, #32}

Η θυγατρική οδηγία που πέρασε τελικά περιέχει μόνο τον Πίνακα 3-4, ενώ ο επόμενος Πίνακας 3-5 με τα όρια για τα PM_{2,5} δεν πέρασε και έτσι δεν υπάρχουν οριακές τιμές για αυτά. Παρόλα αυτά η ΕΕ προτείνει να γίνουν μετρήσεις και για τα PM_{2,5} ώστε να δημιουργηθεί αρχείο με χρονοσειρές μετρήσεων και να επανεξετασθεί το θέμα μετά από λίγα χρόνια. Τα κράτη – μέλη οφείλουν να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα ώστε να επιτύχουν τα συγκεκριμένα όρια και να φροντίσουν ώστε να μην τα ξεπερνούν τηρώντας τις προθεσμίες. Ακόμη, πρέπει να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για τη συλλογή μετρήσεων για τα PM_{2,5}. Στην οδηγία αναφέρεται ότι «...Τα κράτη μέλη οφείλουν να διαβιβάζουν ετησίως στην Επιτροπή, όχι αργότερα από 9 μήνες μετά το τέλος του κάθε έτους, τον αριθμητικό μέσο, το διάμεσο και τη μέγιστη συγκέντρωση που υπολογίζεται από τις μετρήσεις PM_{2,5} για 24 ώρες...»

Το 1994 ιδρύθηκε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environment Agency – EEA), ο αντίστοιχος της US-EPA, με έδρα την Κοπεγχάγη. Σκοπός του οργανισμού, σύμφωνα με το καταστατικό του, είναι «...να βοηθήσει τα κράτη μέλη να πετύχουν τους στόχους της περιβαλλοντικής προστασίας και αποκατάστασης που ορίζονται στη Συνθήκη και τα διάφορα περιβαλλοντικά προγράμματα της ΕΕ»

3.5 ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ (Occupational Safety Limits)

{#16, #33, #34, #35}

Τα όρια που αναφέραμε μέχρι τώρα αφορούν τη συγκέντρωση του ρύπου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον και αφορούν την έκθεση του συνόλου των ανθρώπων. Αντίστοιχα όρια θεσπίζονται και υπάρχουν για όλους τους επικίνδυνους παράγοντες που εκτίθενται εργαζόμενοι από τη φύση της εργασίας τους. Έχουμε δύο κατηγορίες έκθεσης:

- *Οξεία έκθεση:* που χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις του υπό εξέταση χημικού παράγοντα και για μικρό χρονικό διάστημα
- *Χρόνια έκθεση:* που συμβαίνει όταν υπάρχει συνεχής απορρόφηση μικρών ποσοτήτων για μεγάλο διάστημα. Κάθε τέτοια δόση θα μπορούσε να έχει μικρή τοξική επίδραση, αλλά συσσωρευμένη για μεγάλο διάστημα μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη.

3.5.1 Επικίνδυνες Ουσίες

{#16}

Κίνδυνος για την υγεία απορρέει από κάθε χημική ουσία που επιστημονικά διαπιστωμένα διαθέτει μια από τις παρακάτω τοξικολογικές ιδιότητες:

- *Οξεία θανατηφόρο δράση*
- *Μη θανατηφόρο δράση από μια και μόνο έκθεση αλλά μετά από παρατεταμένη ή πολλαπλά επαναλαμβανόμενη*
- *Διαβρωτική δράση: έχουν ουσίες που σε επαφή με ζωντανούς ιστούς επιδρούν καταστρεπτικά πάνω τους*
- *Ερεθιστική δράση: έχουν ουσίες, όχι διαβρωτικές, που με άμεση, παρατεταμένη ή επαναλαμβανόμενη επαφή με το δέρμα ή τους βλεννογόνους μπορούν να προκαλέσουν φλεγμονές*
- *Εναισθησιογόνο δράση*
- *Καρκινογόνο δράση: έχουν ουσίες που με εισπνοή, κατάποση ή διείσδυση από το δέρμα μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο ή να αυξήσουν τις πιθανότητες δημιουργίας του*
- *Μεταλλαξιογόνο δράση*
- *Τερατογόνο δράση*

Βασική αρχή της τοξικολογίας αποτελεί η σχέση δόσης – αποτελέσματος. Η σχετική καμπύλη περιγράφει τη σχέση μεταξύ της έκθεσης ενός οργανισμού σε συγκεκριμένη δόση μιας ουσίας και του μεγέθους – σοβαρότητας του προκαλούμενου αποτελέσματος.

Η δόση που προκαλεί το θάνατο του 50% των οργανισμών του δείγματος, συμβολίζεται ως LD₅₀ και έχει μονάδες mg ουσίας ανά kg βάρους του σώματος

(mg/kg). Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την κατηγοριοποίηση των τοξικών ουσιών σε:

- *πολύ τοξικά*: είναι οι ουσίες που με εισπνοή, κατάποση ή διείσδυση από το δέρμα, μπορούν να προκαλέσουν πολύ σοβαρές καταστάσεις μέχρι και το θάνατο
- *τοξικά*: είναι οι ουσίες που με εισπνοή, κατάποση ή διείσδυση από το δέρμα, μπορούν να προκαλέσουν πολύ σοβαρές καταστάσεις μέχρι και το θάνατο
- *επιβλαβή*: οι ουσίες που με εισπνοή, κατάποση ή διείσδυση από το δέρμα, μπορούν να προκαλέσουν κινδύνους περιορισμένης σοβαρότητας για την υγεία

Κατηγορία	LD ₅₀	LD ₅₀	LC ₅₀
	Απορροφούμενη Δια του στόματος Σε ποντικούς (mg/Kg)	Απορροφούμενη Δια του δέρματος Σε ποντικούς ή Κουνέλια (mg/Kg)	Απορροφούμενη Δια της εισπνοής (mg/l/4h)
Πολύ τοξική	25	50	0,5
Τοξική	25 - 200	50 - 400	0,5 - 2
Επιβλαβής	200 - 2.000	400 - 2.000	2 - 20

Πιν3-6 «Κατηγορίες επικινδύνων ουσιών και ταξινόμησή τους» {#16}

Στην περίπτωση συγκέντρωσης επικινδύνων ουσιών στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται το LC₅₀ που είναι η θανατηφόρος συγκέντρωση (η συγκέντρωση κατά την οποία το 50% του πληθυσμού που εκτέθηκε σε αυτή πέθανε) και έχει μονάδες mg/l/h ή 4h. Η κλίση της καμπύλης αυτής είναι σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση της τοξικότητας μιας ουσίας.

Η μεγάλη ποικιλία και ποσότητα των χημικών ουσιών που μπορούν να περιγραφούν κάτω από τον όρο αιωρούμενα σωματίδια καθιστά ανέφικτο τον προσδιορισμό της σχέσης δόσης – αποτελέσματος. Για το λόγο αυτό, οι οριακές τιμές που καθορίζονται, στηρίζονται στις διαθέσιμες πληροφορίες από βιομηχανική εμπειρία, επιδημιολογικές μελέτες και στοιχεία από τοξικολογικές έρευνες σε πειραματόζωα. Οι οριακές τιμές έκθεσης εργαζομένων είναι δυνατόν να ποικίλουν από χώρα σε χώρα και αναθεωρούνται συχνά κάτω από το φως νέων δεδομένων.

Η Αμερικάνικη εταιρεία American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH, εκδίδει συχνά αναθεωρημένο και εμπλουτισμένο πίνακα με τις προτεινόμενες οριακές τιμές. Ο πίνακας αυτός θεωρείται ιδιαίτερα έγκυρος και χρησιμοποιείται ευρύτατα διεθνώς σαν βάση για τον καθορισμό των εθνικών προτύπων. Η ACGIH χρησιμοποιεί τις οριακές τιμές κατωφλίου – TLV που αναφέρονται στην επιτρεπόμενη συγκέντρωση ρύπου για την ασφαλή εκτέλεση εργασιών. Προσδιορίζονται τρεις κατηγορίες τιμών κατωφλίου (Threshold Limit Values):

- *Οριακή τιμή χρονικά σταθμισμένη (TLV-TWA, TLV- Time Weighted Average):* είναι η μέση χρονικά σταθμισμένη συγκέντρωση ενός παράγοντα για κανονική 8ωρη ημερήσια εργασία και 40ωρη εβδομαδιαία στην οποία σχεδόν όλοι οι εργαζόμενοι μπορούν να εκτεθούν χωρίς αντίθετα αποτελέσματα στην υγεία τους
- *Οριακή τιμή βραχείας έκθεσης (TLV-STEL, TLV Short Term Exposure Limit):* είναι η συγκέντρωση στην οποία οι εργαζόμενοι μπορούν να εκτίθενται κατά την διάρκεια μιας βραχύχρονης περιόδου (15 λεπτά) χωρίς να υποφέρουν από ερεθισμό, χρόνια ή αντιστρεπτή βλάβη βιολογικού ιστού, νάρκωση αρκετού βαθμού ώστε να αυξήσει την πιθανότητα βλάβης από ατύχημα.
- *Οριακή τιμή οροφής (TLV-C, TLV Ceiling):* είναι η συγκέντρωση που δεν πρέπει να ξεπεραστεί ούτε για μικρό χρονικό διάστημα από τους εργαζομένους

Εκθέσεις σε επικίνδυνους παράγοντες πάνω από την τιμή TLV-TWA και μέχρι την τιμή STEL, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 15 λεπτά και να συμβαίνουν περισσότερες από 4 φορές την ημέρα, με διάλειμμα τουλάχιστο 50 λεπτών μεταξύ δύο τέτοιων διαδοχικών εκθέσεων.

Εκτός από την ACGIH οι προτεινόμενες τιμές της οποίας δεν έχουν νομική ισχύ, οριακές τιμές θεσπίζει και ο Occupational Safety and Health Administration – OSHA που ανήκει στο Υπουργείο Εργασίας των ΗΠΑ. Οι τιμές αυτές είναι νομοθετημένες και καλούνται «Επιτρεπόμενες Τιμές Έκθεσης – Permissible Exposure Limits PELs». Αυτές καθορίζονται μετά από σχετικές εισηγήσεις της NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health. Παρακάτω ακολουθεί πίνακας με ενδεικτικές ουσίες που μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία των αιωρούμενων σωματιδίων, με τις αντίστοιχες οριακές τιμές χρονικά σταθμισμένες – OSHA/PEL/TWA/8h.

« PEL-TWA (8ωρες σταθμισμένες τιμές) »

Substance	CAS No. (c)	mg/m ³
Alpha-Alumina.	1344-28-1	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Aluminum Metal (as Al).	7429-90-5	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Ammonium sulfamate.	7773-06-0	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Barium sulfate.	7727-43-7	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Benomyl.	17804-35-2	
Total dust.		15

Respirable fraction.		5
Bismuth telluride, Undoped	1304-82-1	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Boron oxide.	1303-86-2	
Total dust.		15
Calcium Carbonate.	1317-65-3	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Calcium hydroxide.	1305-62-0	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Calcium silicate.	1344-95-2	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Calcium sulfate.	7778-18-9	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Carbon black.	1333-86-4	3.5
Cellulose.	9004-34-6	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
pyridine.	1929-82-4	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Clopidol.	2971-90-6	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Coal dust (less than 5% SiO₂),		
Respirable fraction.		(3)
Coal dust (greater than or equal to 5% SiO₂),		
Respirable fraction.		(3)
Cobalt metal, dust and fume (as Co).	7440-48-4	0.1
Grain dust (oat, wheat barley).		10
Graphite, natural respirable dust.	7782-42-5	(3)
Graphite, synthetic.		
Total dust.		15
Respirable Fraction.		5
Gypsum	13397-24-5	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Limestone.	1317-65-3	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Magnesite.	546-93-0	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Magnesium oxide fume.	1309-48-4	
Total Particulate.		15
Portland cement.	65997-15-1	

Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Silicon.	7440-21-3	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Silicon carbide.	409-21-2	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Starch	9005-25-8	
Total dust		15
Respirable fraction		5
Sucrose.	57-50-1	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Temephos.	3383-96-8	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Titanium dioxide.	13463-67-7	
Total dust.		15
Vanadium.	1314-62-1	
Respirable dust		
(as V(2)O(5)).		0.5
Fume (as V(2)O(5)).		0.1
Vegetable oil mist.		
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Zinc chloride fume.	7646-85-7	1
Zinc oxide fume.	1314-13-2	5
Zinc oxide.	1314-13-2	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5
Zinc stearate.	557-05-1	
Total dust.		15
Respirable fraction.		5

Πιν3-7 « PEL_s-TWA της OSHA για εργασία 40ώρου την εβδομάδα με 8ωρο την ημέρα»

3.5.2 Διαδικασία αμμοβολών - βαφών

{#36}



Όπως ήδη αναφέρθηκε στο εργοστάσιο πού έγιναν οι μετρήσεις γίνονται εργασίες αμμοβολών - βαφών σε ανοιχτό και μη ελεγχόμενο χώρο. Αυτή η επιβαρυντική για το περιβάλλον διεργασία αποτέλεσε το κύριο κίνητρο για την εγκατάσταση - λειτουργία του δειγματολήπτη αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στην εγκατάσταση. Αξίζει να αναφέρουμε τα στάδια που ακολουθεί η προετοιμασία ενός ελάσματος για βαφή-προστασία:

1) *Ξύσιμο για να απομακρυνθούν οποιοσδήποτε σκληρές επικαθίσεις:* Για παράδειγμα αν ένα έλασμα παραμείνει αρκετό καιρό μέσα στη θάλασσα αναπτύσσονται μικροοργανισμοί (στρείδια, πρασινάδα κα) που βγαίνουν μόνο με ξύσιμο. Μερικές φορές προηγείται ο διαποτισμός της ρυπασμένης επιφάνειας με νερό ώστε να μαλακώσουν κάπως οι επικαθίσεις.

2) *Πλύσιμο με γλυκό νερό:* για να καθαριστεί η επιφάνεια καλύτερα και να φύγουν τα άλατα που υπάρχουν στις εσοχές. Η πλύση γίνεται συνήθως με πίεση νερού από 200 - 600 bar. Προτιμώνται αναλόγως του εξοπλισμού το δυνατόν μεγαλύτερες πιέσεις ώστε ο καθαρισμός της επιφάνειας να είναι καλύτερος.

3) *Αμμοβολή της επιφάνειας:* ο φορητός εξοπλισμός μεταφέρεται κοντά στη προς αμμοβολή επιφάνεια. Αυτός αποτελείται από:

- αεροσυμπιεστή ή δίκτυο πεπιεσμένου αέρα,
- τις βαρέλες με το υλικό αμμοβολής
- δίκτυο ελαστικών σωληνώσεων και ψεκαστικών εκτοξευτήρων
- ανυψωτικά μηχανήματα

Οι βαρέλες έχουν κωνικό πυθμένα με ένα επιστόμιο για να διακόπτει τη πορεία του υλικού προς τα κάτω. Παράλληλα με το έδαφος και συνδεμένη με τη βαρέλα περνάει η σωλήνα πεπιεσμένου αέρα. Το υλικό αμμοβολής όπως πέφτει από τον κωνικό πυθμένα μέσα στη σωλήνα παρασύρεται από τον αέρα και οδηγείται στο άκρο των σωληνώσεων όπου υπάρχει ο εκτοξευτήρας. Άμμος και πεπιεσμένος αέρας πέφτουν με δύναμη πάνω στο έλασμα και καθαρίζουν την επιφάνειά του. Αναλόγως του χρόνου και της απόστασης που ο εκτοξευτήρας κινείται δημιουργείται και άλλο αποτέλεσμα. Έτσι υπάρχουν διάφοροι τύποι αμμοβολής όπως:

- *Swipping*: ένα απλό πέραςμα με αμμοβολή
- *SA₁*: σε βαμμένη λαμαρίνα αφαιρούμε το πρώτο στρώμα χρώματος, έτσι το επόμενο μπορεί να έχει καλή πρόσφυση
- *SA₂*: σε βαμμένη λαμαρίνα αφαιρούμε όλα τα στρώματα χρώματος αλλά όχι και από τους πόρους. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται όταν αλλάζουν το σύστημα βαφής.
- *SA_{2,5}*: ο καθαρισμός της λαμαρίνας είναι πλήρης μέχρι του καθαρού μετάλλου (γάλα). Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται όταν αλλάζουν το σύστημα βαφής και απαιτείται η καλύτερη δυνατή δουλειά

Υπάρχουν για την αμμοβολή διάφοροι τύποι Α΄ Υλών όπως:

- *Ειδικής σύστασης άμμος επονομαζόμενη και «οικολογική»*: η οποία έχει χαμηλή κυκλοφορία στην Ελλάδα λόγω του υψηλού κόστους της. Το όνομα της προέρχεται από την ποιότητα του ορυκτού προέλευσής της, του οποίου η σύσταση αποτελείται από αδρανή υλικά που δεν παράγουν πολύ σκόνη κατά τη χρήση. Υπάρχει η δυνατότητα ανακύκλωσης του υλικού μετά από καθαρισμό
- *Ο καθαρός σίδηρος*: ο οποίος είναι σε μορφή ρινισμάτων ως Α΄ Υλη και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μικρών επιφανειών. Λόγω του υψηλού κόστους, αν και είναι ανακυκλούμενη, χρησιμοποιείται για μικρές και εξειδικευμένες εργασίες.
- *Σκουριές από τη Λάρυμνα*: είναι το ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό αμμοβολής σε όλες τις βιομηχανίες και αποτελείται από τα υπολείμματα του μεταλλείου της Λάρυμνας. Κάθε χρόνο 1,5 εκ. τόνοι τέτοιου προϊόντος βγαίνουν προς διάθεση. Από αυτούς το 1,0 εκ τόνοι ρίχνονται στη θάλασσα

του Ευβοϊκού κόλπου και μάλιστα με άδεια του Υπουργείου Ανάπτυξης που τα θεωρεί αδρανή υλικά. Οι υπόλοιποι 0,5 εκ τόνοι χρησιμοποιούνται για αμμοβολές που γίνονται σε μεγάλες βιομηχανίες. Το υλικό που βγαίνει από το μεταλλείο οδηγείται πρώτα για πλύσιμο, ώστε να απομακρυνθούν τα πλέον λεπτόκοκκα σωματίδια και στη συνέχεια σε ηλεκτροκάμινους για να απομακρυνθεί η υγρασία (αυτή η διεργασία μπορεί να γίνει και δύο φορές). Η απομάκρυνση της υγρασίας μετράτε με μέτρηση της αγωγιμότητας που πρέπει να είναι κάτω από 200 mS ώστε να θεωρηθεί το υλικό κατάλληλο για καθαρισμό μεταλλικών επιφανειών. Υλικό με υψηλότερο περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας προκαλεί την οξείδωση των μετάλλων μάλλον, παρά τον καθαρισμό τους. Αν και το υλικό αυτό θεωρείται αδρανές από τις Αρχές, αξίζει να παρατεθεί μια τυπική ανάλυση που έγινε σε ένα δείγμα :

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΠΟΣΟΣΤΑ	PELs - TWA / 8ωρο	PELs - TWA / 8ωρο
		Total Dust	Respirable Fraction
Οξειδία του Σιδήρου (FeO, Fe ₂ O ₃)	24,46%	15mg/m ³	10 mg/m ³
Πυριτικό Υπόλειμμα (SiO ₂)*	24,32%	1 mg/m ³	0,05 mg/m ³
Οξειδία του Αργιλίου (Al ₂ O ₃)	2,79%	15mg/m ³	5 mg/m ³
Οξειδία του Ψευδαργύρου (ZnO)	5,45%	10mg/m ³	5 mg/m ³
Οξειδία του Μολύβδου (PbO)	4,61%	50μg/m ³	0,05 mg/m ³
Οξειδία του Μαγγανίου (Mn ₂ O ₃)	2,29%	15mg/m ³	5 mg/m ³
Οξειδία του Χαλκού (CuO)	0,48%	1mg/m ³	1 mg/m ³
Οξειδία του Νικελίου (NiO)	0,005%	1mg/m ³	1 mg/m ³

* Το οξείδιο του πυριτίου υπολογίζεται στην πλέον επικίνδυνη μορφή του, την κρυσταλλική

Πιν3-8 «Τυπική χημική ανάλυση δείγματος αμμοβολής»

Τα PELs στον προηγούμενο πίνακα 3.8, είναι τα σταθμισμένα σε 40ωρο εβδομαδιαίως όρια ασφαλούς έκθεσης εργαζομένων σε επικίνδυνους παράγοντες (για εργασία 8ώρου ημερησίως σε 5μερη εβδομάδα) σύμφωνα με την OSHA. Για να υπολογίσουμε το TLV_{mix} θα χρησιμοποιήσουμε τον επόμενο τύπο:

$$TLV_{mix} = \frac{1}{\frac{f_1}{T_1} + \frac{f_2}{T_2} + \dots + \frac{f_n}{T_n}}$$

όπου: f_i= ποσοστιαία συγκέντρωση των ουσιών

T_i= τα αντίστοιχα όρια ασφαλούς έκθεσης (TLVs – TWA)

Η συγκεκριμένη αμμοβολή έχει όριο ασφαλούς έκθεσης ως προς τα εισπνεύσιμα σωματίδια για κρυσταλλικής μορφής ενώσεις του πυριτίου:

$$TLV_{mix}^{Re} = \frac{1}{\frac{24,5}{10} + \frac{24,3}{0,05} + \frac{2,8}{5} + \frac{5,5}{5} + \frac{4,6}{0,05} + \frac{2,3}{5} + \frac{0,48}{1} + \frac{0,005}{1}}$$

$$TLV_{mix}^{Re} = 0,0017 \text{ mg/m}^3$$

Αυτό το όριο ισχύει αν τα οξειδία του πυριτίου βρίσκονται με την πλέον επικίνδυνη μορφή του χυστοβαλίτη ($TLV=0,05\text{mg/m}^3$). Αν αντί αυτού έχουμε την ολιγότερο επικίνδυνη μορφή του χαλαζία ($TLV=0,1\text{mg/m}^3$) τότε $TLV_{mix} = 0,0029 \text{ mg/m}^3$. Επειδή και οι δύο τιμές είναι πολύ χαμηλές θα χρησιμοποιήσουμε ως όριο ασφαλούς έκθεσης εργαζομένων στην περίπτωση του κρυσταλλικού πυριτίου το $TLV_{mix}^{Re} = 2 \mu\text{g/m}^3$ για τα εισπνεύσιμα και το $TLV_{mix}^{Tsp} = 8 \mu\text{g/m}^3$ για τα ολικά στερεά.

Αν το υλικό μας περιέχει μεγάλη περιεκτικότητα σε μη κρυσταλλικό οξείδιο του πυριτίου τότε για να υπολογίσουμε το όριο ασφαλούς έκθεσης χρησιμοποιούμε τα όρια της Ελληνικής Νομοθεσίας (βλ σελ 33 πυρίτης λίθος άμορφος – γη διατόμων) ή τα νέα όρια της OSHA (βλ σελ 54). Η τελευταία περίπτωση μας δίνει, για το συγκεκριμένο υλικό αμμοβολής, τιμή ασφαλούς έκθεσης για την Amorphous Silica, $PEL_{am-TWA} = 3,3 \mu\text{g/m}^3$ (80 / %SiO₂). Το δε αντίστοιχο όριο ασφαλούς έκθεσης εργαζομένων το $TLV_{mix}^{Re} = 9,8 \mu\text{g/m}^3$ και το $TLV_{mix}^{Tsp} = 10,1 \mu\text{g/m}^3$.

Διαπιστώνουμε ότι πρόκειται για πολύ επικίνδυνο υλικό για την ανθρώπινη υγεία. Αν στους υπολογισμούς αγνούσαμε τα οξειδία του μολύβδου τότε το όριο θα ανέβαινε στην τιμή $TLV_{mix}^{Tsp} = 96 \mu\text{g/m}^3$. Διαπιστώνουμε ότι η συμμετοχή του πυριτίου στην εκτίμηση του TLV_{mix} δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική, σε αντίθεση με αυτή του μολύβδου. Κατά καιρούς οι αναλύσεις έχουν δώσει σημαντικά ποσοστά και σε οξειδία Καδμίου – Χρωμίου κάτι που μειώνει ακόμη περισσότερο το όριο ασφαλούς έκθεσης. Εκτός της επικινδυνότητας του υλικού για την ανθρώπινη υγεία, αξίζει να αναφερθεί και η σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την αμμοβολή όταν, μετά από τη χρήση, ως απόβλητο, αποθεθεί σε χωματερή. Η αμμοβολή, ως απόβλητο, πέρα από την παραπάνω ενδεικτική σύσταση περιέχει και τα *υπολείμματα χρωμάτων* που αποκολλούνται από τις μεταλλικές επιφάνειες.

Η κοκκομετρική ανάλυση που έγινε σε δείγμα μετά το πέρασμα από τους ηλεκτροκάμινους και πριν τη χρήση έδωσε τα αποτελέσματα του επόμενου πίνακα:

Μέγεθος Κόκκων σε mm	Βάρος %
Έως 0,149	4,5%
Από 0,149 έως 0,297	5,4%
Από 0,297 έως 0,420	10,6%
Από 0,420 έως 0,841	20,7%
Από 0,841 έως 1,0	4,8%
Από 1,0 έως 1,5	27,7%
Από 1,5 έως 2,5	26,3

Πιν3-9 «Κοκκομετρική ανάλυση αμμοβολής»

Substance	mppcf (a)	mg/m ³
Silica: Crystalline	obsolete	
Quartz (Respirable).....	250 (b)	10 mg/m ³ (e)
	%SiO ₂ (2)+5	%SiO ₂ (2)+2
Quartz (Total Dust).....		30 mg/m ³
		%SiO ₂ (2)+2
Amorphous, including natural diatomaceous earth.....	20	$\frac{80 \text{ mg/m}^3}{\% \text{SiO}_2}$

Πιν3-10 «Όρια ασφαλούς έκθεσης σε προϊόντα πυριτίου»

4) *Χρωματισμός*: σημαντική συνεισφορά στα αιωρούμενα σωματίδια έχουν και τα σταγονίδια από τον ψεκασμό κατά την βαφή των ελασμάτων. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικοί τύποι χρωμάτων και οι συνθήκες βαφής σε ανοιχτό χώρο.

- *Κοινά χρώματα (conversional)*: είναι φτηνά χρώματα δεν παρέχουν μεγάλη προστασία και έχουν μεγάλους χρόνους στεγνώματος (dry time)
- *Χλωριούχα (chlorinate)*: κάνουν την ίδια περίπου ποιοτικά δουλειά με τα προηγούμενα, αλλά έχουν μικρότερους χρόνους στεγνώματος και δεν χρειάζονται καλή προετοιμασία της επιφανείας με αμμοβολή
- *Δύο συστατικών εποξικά (epoxy)*: η μεγαλύτερη δυνατή προστασία με σχετικά μικρούς χρόνους στεγνώματος. Η εφαρμογή τους απαιτεί 95% αμμοβολισμένη επιφάνεια.
- *Δηλητήρια (antifouling)*: είναι δηλητήρια που σκοτώνουν τους μικροοργανισμούς οι οποίοι επικάθονται στις βυθιζόμενες μεταλλικές επιφάνειες
- *Αποσπώμενα (selfpolishing)*: αυτά είναι τελικά χρώματα που με την κίνηση του σκάφους αποσπώνται υποστρώματα χρώματος εμποδίζοντας την πρόσφυση μικροοργανισμών. Το πάχος ενός τέτοιου στρώματος είναι από 75 – 200μ.

Σε κάθε σύστημα βαφής υπάρχει και ο εξειδικευμένος διαλύτης που βοηθά αρχικά στον ψεκασμό του χρώματος και τελικά με την εξάτμιση στην εφαρμογή του. Τέτοιοι διαλύτες είναι: ο-ξυλόλιο, τολουόλιο, βουτανόλη-ξυλόλια κα Ουσίες που είναι επίσης ιδιαίτερα επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία.

Συνθήκες βαφής : μετά την προετοιμασία της προς βαφή επιφανείας με αμμοβολή, σημασία έχουν:

- Η υγρασία να είναι κάτω από 82% για να επιτραπεί η βαφή
- Η διαφορά θερμοκρασίας περιβάλλοντος και λαμαρίνας να μην είναι μικρότερη των 3⁰C
- Να έχει τηρηθεί ο χρόνος στεγνώματος πριν πέσει το επόμενο χέρι χρώματος

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Κεφ.4 ΟΡΓΑΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (INSTRUMENTS & ANALYSIS METHODS)

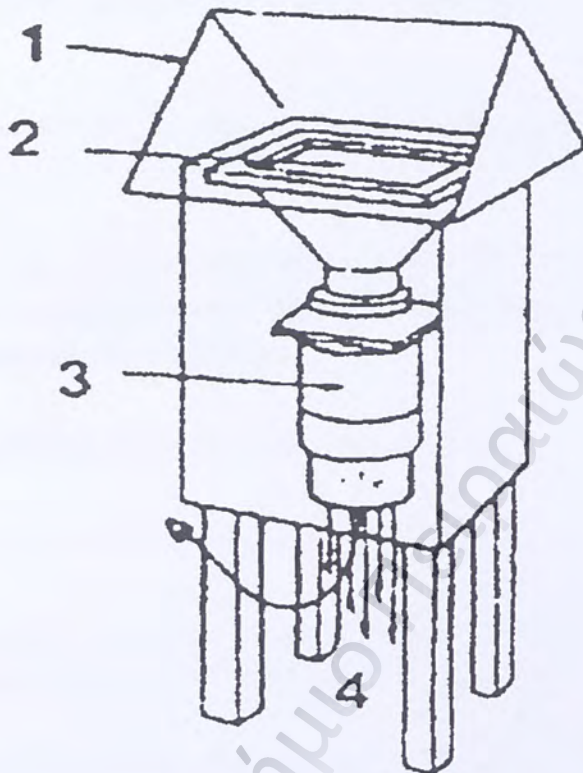
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

{#4 (321-324)}

Στις αρχές του αιώνα στην Αγγλία δημιουργήθηκε το πρώτο δίκτυο καταγραφής της μόλυνσης. Χάρη σε αυτό έγινε δυνατή η συστηματική δειγματοληψία βροχής και έγιναν οι πρώτες αναλύσεις οξύτητας. Η μέθοδος αυτή εξελίχθηκε κατάλληλα ώστε να συλλέγονται και οι εναποθέσεις σωματιδίων. Τα σωματίδια με φυσικό τρόπο εναποτίθονταν σε ειδικά καθαρά δοχεία με ανοιχτό στόμιο για αρκετές εβδομάδες. Στη συνέχεια τα δοχεία πλένονταν με συγκεκριμένης ποσότητας όγκο νερού, που στην συνέχεια φιλτράριζαν. Η μάζα των μη υδατοδιαλυτών σωματιδίων προσδιοριζονταν από την αύξηση του βάρους του φίλτρου ενώ η μάζα των διαλυμένων από την αύξηση της μάζας ενός χωνευτηρίου μετά από την εξάτμιση του νερού.

Γύρω στο 1920 υιοθετήθηκε ένας διαφορετικός τρόπος μέτρησης. Ένας μηχανισμός υποχρέωνε τον αέρα να περνάει μέσα από ένα φίλτρο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ακολούθως μετριόταν η μείωση της λευκότητας του και αντιστοιχιζόταν σε κάποια συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα.

Τα τέλη της δεκαετίας του '40 δημιουργήθηκε ο πρώτος δειγματολήπτης αντλία (High-volume Sampler) με σκοπό τη συλλογή σωματιδίων που εξεπεμπαν ακτινοβολία μετά από μια πυρηνική δοκιμή. Το φίλτρο ζυγίζονταν πριν και μετά την δειγματοληψία και η διαφορά βάρους διαιρούταν με τον όγκο αέρα που αντλείσει η συσκευή.



Σχ4-1 «Δειγματολήπτης υψηλής παροχής»

1. Κάλυμμα, είσοδος αέρα
2. Φίλτρο
3. Έξοδος αέρα

Έως τα τέλη της δεκαετίας του '70 είχαν μελετηθεί και διευρυνθεί οι δυνατότητες της συσκευής. Οι έρευνες έδειξαν ότι ο δειγματολήπτης είχε d_{50} από 30 έως 50 μ , όπου d_{50} η αεροδυναμική σωματιδιακή διάμετρος για την οποία το 50% των αιωρουμένων σωματιδίων φτάνουν στο φίλτρο.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PARTICLE'S SAMPLING AND ANALYSIS METHODS)

Οι μέθοδοι ανάλυσης και δειγματοληψίας ταξινομούνται γενικά στις παρακάτω κατηγορίες:

- Φυσικές μέθοδοι ανάλυσης - XRF(X-RAY Fluorescence analysis), ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy), AAS(Atomic Absorption Spectrophotometry)
- Σταθμικές μεθόδους (Mass measurement methods)
- Ιοντοανταλλακτικές μεθόδους - IC(Ion chromatographic)
- Αναλύσεις οργανικών - TMO (Thermal manganese oxidation method), TOR(Termal optical reflectance method)

Οι σταθμικές μέθοδοι ταξινομούνται περαιτέρω σε:

- *Πρότυπες*: που πιστοποιούνται κάτω από αυστηρές εργαστηριακές συνθήκες και από μετρήσεις πεδίου. Η χρήση των μεθόδων αυτών προϋποθέτει το στάδιο της εξισορρόπησης για το φίλτρο (πριν και μετά τη δειγματοληψία) και τη ζύγιση του σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Για αυτό οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να πραγματοποιήσουν μόνο μη συνεχείς μετρήσεις.
- *Ισοδύναμες*: που πιστοποιούνται από την ικανότητά τους να παράγουν συγκρίσιμα αποτελέσματα, με εκείνα των προτύπων. Επιτρέπουν την in situ μέτρηση των σωματιδίων με χρήση ακτινοβολίας βήτα ή με ειδική ζυγαριά. Παρέχουν δηλαδή τη δυνατότητα για συνεχείς μετρήσεις

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τις ισοδύναμες και τις πρότυπες κατά EPA μεθόδους όπως ίσχυαν το 1996:

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-DESIGNATED REFERENCE
AND EQUIVALENT METHODS FOR PM₁₀

Method No.	Identification	Description	Type	Date
RFPs-1087-062	Wedding & Associates PM Flow High-Volume Sampler	High-volume (1.13 m ³ /min) sampler with cyclone-type PM ₁₀ inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 m) filter.	Manual reference method	10/06/87
RFPs-1287-063	Sierra-Andersen or General Metal Works Model 1200 PM ₁₀ High-Volume Air Sampler System	High-volume (1.13 m ³ /min) sampler with impactor-type PM ₁₀ inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 m) filter.	Manual reference method	12/01/87
RFPs-1287-064	Sierra-Andersen or General Metal Works Model 321-B PM ₁₀ High-Volume Air Sampler System	High-volume (1.13 m ³ /min) sampler with impactor-type PM ₁₀ inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 m) filter. (No longer available.)	Manual reference method	12/01/87
RFPs-1287-065	Sierra-Andersen or General Metal Works Model 321-C PM ₁₀ High-Volume Air Sampler System	High-volume (1.13 m ³ /min) sampler with impactor-type PM ₁₀ inlet; 203 x 254 cm (8 x 10 m) filter. (No longer available.)	Manual reference method	12/01/87
RFPs-0389-071	Oxgon DEQ Medium Volume PM Sampler	Non-commercial medium-volume (110 L/min) sampler with impactor-type inlet and automatic filter change; two 47-mm diameter filters.	Manual reference method	3/24/89
RFPs-0789-073	Sierra-Andersen Models SA241 or SA241M or General Metal Works Models G241 and G241M PM ₁₀ Dichotomous Samplers	Low-volume (16.7 L/min) sampler with impactor-type PM ₁₀ inlet; additional particle size separation at 2.5 micron, collected on two 37-mm diameter filters.	Manual reference method	7/27/89
EQPM-0990-076	Andersen Instruments Model F11621-N PM ₁₀ Beta Attenuation Monitor	Low-volume (16.7 L/min) PM ₁₀ analyzer using impactor-type PM ₁₀ inlet, 40 mm filter tape, and beta attenuation analysis.	Automated equivalent method	9/18/90

Method No.	Identification	Description	Type	Date
EQPM-1090-079	Rupprecht & Patashnick T10M Series 1400 and Series 1400a PM ₁₀ Monitors	Low-volume (16.7 L/min) PM ₁₀ analyzers using impactor-type PM ₁₀ inlet, 12.7 mm diameter filter, and tapered element oscillating microbalance analysis.	Automated equivalent method	10/29/90
EQPM-0391-081	Wedding & Associates PM Beta Gauge Automated Particle Sampler	Low-volume (16.7 L/min) PM ₁₀ analyzer using cyclone-type PM ₁₀ inlet, 32 mm filter tape, and beta attenuation analysis.	Automated equivalent method	3/5/91
RFPs-0694-098	Rupprecht & Patashnick Partisol Model 2000 Air Sampler	Low-volume (16.7 L/min) PM ₁₀ sampler with impactor-type inlet and 47 mm diameter filter.	Manual reference method	7/11/94

(cont'd). U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-DESIGNATED REFERENCE
AND EQUIVALENT METHODS FOR PM₁₀

Πιν4-2 «Οι πρότυπες κατά US-EPA μέθοδοι του 1996»
(#1 §4)

Οι πρότυπες μέθοδοι σταθμικής ανάλυσης κατατάσσονται με τη σειρά τους ανάλογα με την παροχή αέρα που διέρχεται από το φίλτρο δειγματοληψίας σε:

- *Υψηλής παροχής – High volume (έως 1.000 lt/min)*
- *Μεσαίας παροχής – Medium volume (έως 100 lt/min)*
- *Χαμηλής παροχής – Low volume (έως 20 lt/min)*

Ως πλεονέκτημα των δειγματοληπτών χαμηλής παροχής έναντι των εκείνων της υψηλής είναι το σημαντικά χαμηλότερο σφάλμα. Ο δειγματολήπτης που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία ήταν χαμηλής παροχής 16,7 lt/min Πρόκειται για το μοναδικό όργανο που υπάρχει στην Ελλάδα και που είναι πιστοποιημένο κατά EPA. Χρησιμοποιήσαμε λοιπόν μια σταθμική μέθοδο με δειγματολήπτη χαμηλής παροχής.

4.3 ΦΙΛΤΡΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ (SAMPLING FILTERS)

4.3.1 Κριτήρια Επιλογής και Τύποι Φίλτρων (Selection Criteria and Sampling Filter Types)

{#1 §4,#37}

Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή φίλτρου είναι:

- *Η συμβατότητα του φίλτρου με τις επιθυμητές αναλύσεις (Filter – analysis compatibility):* κανένα φίλτρο από τα διαθέσιμα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλους τους τύπους των αναλύσεων. Για παράδειγμα τα φίλτρα μεμβράνης από Teflon χρησιμοποιούνται για αναλύσεις XRF, ICP ή IC δεν είναι συμβατά για αναλύσεις TMO, που είναι συμβατά τα φίλτρα χαλαζία.
- *Η ικανότητα του φίλτρου να συλλέξει επιθυμητό είδος / μέγεθος σωματιδίων:* το είδος και το μέγεθος των σωματιδίων που θέλουμε να συλλέξουμε είναι από τα βασικότερα χαρακτηριστικά που μπορούν να αξιολογηθούν. Η ικανότητα του φίλτρου να τα ομαδοποιεί αποτελεί κριτήριο επιλογής π.χ. ως προς την αεροδυναμική τους διάμετρο

- Γενικά κριτήρια: όπως ή ευχρηστία, η ποιότητα και το κόστος αποτελούν σε κάθε επιλογή σημαντικό κριτήριο.

Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι τύποι φίλτρων είναι οι:

- Φίλτρα μεμβράνης (membrane filter): αυτά συγκρατούν τα σωματίδια στην επιφάνεια και είναι χρήσιμα για επιφανειακές αναλύσεις, όπως οι XRF. Μπορούν να έχουν συγκεκριμένα πορώδη και υπάρχουν σε ποικιλία υλικών κατασκευής. Το teflon είναι ένα δημοφιλές υλικό για τέτοια φίλτρα λόγω της χημικής του αδράνειας.
- Φίλτρα από ίνες (fiber filter): είναι φτηνότερα και έχουν ικανοποιητική αξιοπιστία. Συνήθως για υλικό κατασκευής χρησιμοποιούνται ίνες ύαλου ή χαλαζία.

FIBER SELECTION CHART		Fiber Properties					Recommended Maximum Operating Temperatures F	
Fiber	Tensile Strength	Abraison Resistance	Chemical Acids	Resistance Alkalies	Supports Combustion	Continuous	Surges	
Cotton	Good	Good	Poor	Good	Yes	180	200	
Polypropylene	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Yes	200	200	
Wool	Poor	Fair	Good	Poor	No	200	230	
Homopolymer Acrylic	Good	Good	Very Good	Fair	Yes	260	284	
Copolymer Acrylic	Average	Fair	Good	Fair	Yes	230	248	
Polyester	Excellent	Excellent	Fair	Fair	Yes	275	300	
Nomex®	Very Good	Excellent	Fair	Good	No	375	425	
Teflon®	Average	Fair	Poor	Excellent	Yes	200	250	
Fiberglass	Excellent	Fair	Good	Fair	No	500	550	
Ryton®	Very Good	Excellent	Excellent	Very Good	No	375	425	
MC-84	Very Good	Excellent	Very Good	Fair	No	500	550	

Information contained in these tables is generally accepted industrial data. However, results in particular applications and combinations of conditions vary, and require individual and specific evaluation.

4.3.2. Αλληλεπιδράσεις Σωματιδίων με το Υλικό του Φίλτρου

Το υλικό κατασκευής είναι πιθανόν να αλληλεπιδρά σε τα αιωρούμενα σωματίδια ή τις αέριες ενώσεις. Έχει βρεθεί ότι παρουσιάζονται τα επόμενα προβλήματα:

- Υαλόφιλτρα: πρόβλημα είναι το βασικό PH του ύαλου εξαιτίας του οποίου η προσρόφηση των SO₂ και NO_x οδηγεί στην μετατροπή τους σε σωματίδια πάνω στο φίλτρο
- Φίλτρα χαλαζία: κατά την αποθήκευση του φίλτρου είναι δυνατόν να απολεσθούν σημαντικά ποσοστά νιτρικών, χλωριούχων και αμμωνιακών ενώσεων
- Φίλτρα από teflon: έρευνα έδειξε ότι τα μικρόκοκα νιτρικά σωματίδια απωλέσθηκαν σχεδόν ολοκληρωτικά από το φίλτρο κατά τη διάρκεια δειγματοληψίας

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα από ίνες ύαλου με επικάλυψη από τεφλόν κατασκευής Pallflex τύπος TX40 HI20WW. Το φίλτρο αυτό έχει προδιαγραφή από τον κατασκευαστή 99% ποσοστό συγκράτησης των PM_{2.5}. Από μελέτες που έχουν γίνει για το συγκεκριμένο τύπο φίλτρου αξίζει να σημειωθεί ότι:

- Η πτώση πίεσης στο φίλτρο φτάνει 18,0 cm H₂O (μέση αρχική πτώση πίεσης)
- Έχει την καλύτερη ευκολία χειρισμού σε αντίθεση με τα QF που έσπαγαν εύκολα κατά την μεταφορά τους.
- Μικρό ποσοστό απόρριψης του φίλτρου λόγω κακής ποιότητας (τρύπες ή ανομοιογένεια του υλικού)

Στους επόμενους πίνακες βλέπουμε χρήσιμες πληροφορίες για τους τύπους των φίλτρων

Αρχικά	Αναλυτική ονομασία – περιγραφή	Ποσοστό κατακράτησης σωματιδίων (προδιαγραφή)	Πτώση πίεσης ΔΡ (μετρήσεις) (cm H ₂ O)	Μέση πτώση πίεσης (cm H ₂ O)
QF	Quartz Fiber; Whatman QMA	>99%	19.6, 19.1, 19.1	19.2
TF	Annealed Teflon Fiber; Advantec/MFS Polyflon PF050	>95%	12.4, 14.0, 12.4	13.0
TX	Teflon Coated Glass Fiber; Pallflex TX40 HI20WW	>99%	18.5, 17.0, 18.5	18.0
TMG	Teflon Membrane w/ PMP Support Ring; Gelman Teflo R2PJ047	>99%	15.0, 12.4, 11.4	13.0
TMP	Teflon Membrane w/ Teflon Fiber Backing; Pallflex TL1422-50A	>99%	12.4, 12.4, 11.2	12.0

Πιν4-4 «Αποτελέσματα συγκριτικής αξιολόγησης φίλτρων» {#38}

Designation	Filter description
Glass A/E	Glass fiber filter types A/E; P/N 51638, 8 x 10 in., Gelman Sciences
GLASS A/E R	Glass fiber filter, type A/E treated with hydrophobic agent; P/N R & D, 8 x 10 in., Gelman Sciences
Nylasorb	Nylon membrane filters; P/N 66510, lot 2011104, 90 mm diameter disks, pore size 1 μm, Gelman Sciences
Pallflex	Glass fiber filter Teflon coated, type EMFAB TX40HI20WW, 37 mm diameter disks, Pallflex, Pall Corp., Glen Cove, NY
Quartz	Quartz microfiber filters QM - A 47 mm diameter disks, Cat. No. 1851 047, Whatman, Fairfield, NJ
Supor-5000 R	Polyethersulfone-based membrane, pore size 5 μm, treated with hydrophobic agent, lot No. 58761, 8 x 10 in., Gelman Sciences
Supor-5000 R (C)	Polyethersulfone-based membrane, pore size 5 μm, supported with nylon, treated with hydrophobic agent, lot No. 58760, 8 x 10 in., Gelman Sciences
Supor-5000 R (H)	Polyethersulfone-based membrane, pore size 5 μm, supported with polyester, treated with hydrophobic agent, lot No. 58759, 8 x 10 in., Gelman Sciences
AC-5000 R (C)	Acrylic copolymer membrane on nylon support treated with hydrophobic agent, pore size 5 μm, 8 x 10 in., Gelman Sciences
Nico-15TW	Acrylic copolymer membrane on polyester support treated with hydrophobic agent, pore size 3 μm, 8 x 10 in., Gelman Sciences
AC-3000 W/WA	Acrylic copolymer membrane filters with wetting agent, F-68, pore size 3 μm, 8 x 10 in., Gelman Sciences
Zefluor-2 μm	Zefluor, 2 μm; P/N P5PLO37, 37 mm diameter disks, supported PTFE, Gelman Sciences

Πιν4-5 «Διάφοροι τύποι φίλτρων» {#38}

4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

{#48 (5.8), #31 παρVL, #32, #40}

Τα χαρακτηριστικά των θέσεων δειγματοληψίας εξαρτώνται από το που και το γιατί γίνονται οι μετρήσεις:

- *Σημεία δειγματοληψίας αντιπροσωπευτικά μεγάλης χωρικής κλίμακας:* για την προστασία των οικοσυστημάτων τα σημεία δειγματοληψίας πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση άνω των 20 km από οικισμούς ή 5 km από άλλη οικοδομική ζώνη ή βιομηχανική εγκατάσταση ή οδό μεγάλης κυκλοφορίας.
- *Δειγματοληψία με σκοπό την προστασία της υγείας του ανθρώπου:* τα σημεία δειγματοληψίας πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε:
 1. Να παρέχουν δεδομένα σχετικά με τις περιοχές εντός ζωνών και οικισμών, που σημειώνονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, στις οποίες είναι πιθανό να εκτεθεί άμεσα ή έμμεσα ο πληθυσμός για μεγάλο χρονικό διάστημα σε σχέση με την περίοδο αναφοράς που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ή των οριακών τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων.
 2. Να παρέχουν δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα που μετρούνται σε άλλες περιοχές εντός των ζωνών ή των οικισμών που να είναι αντιπροσωπευτικά της έκθεσης του γενικού πληθυσμού και να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

{#1 §4.21, #4 (355-357), #4}

Οποιαδήποτε μέτρηση έχει τρία χαρακτηριστικά γνωρίσματα εκτός της τιμής:

- *Το πειραματικό σφάλμα:* καλείται συχνά και τυχαίο σφάλμα ή επαναληψιμότητα. Η επαναληψιμότητα των μετρήσεων είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά στοιχεία μιας μεθόδου. Όταν δύο συσκευές πρότυπων μεθόδων μετράνε παράλληλα στον ίδιο χώρο, οι μετρήσεις αυτές οφείλουν να δίνουν τις ίδιες αριθμητικές τιμές αν αφαιρεθούν τα πειραματικά τους σφάλματα. Τα τελευταία 20 χρόνια έγιναν πολλές μελέτες για τον προσδιορισμό της συμβατότητας μεταξύ των αποτελεσμάτων συγκεντρώσεων μάζας και χημικής κατανομής των σωματιδίων από όμοιες και από διαφορετικές συσκευές.
- *Η ακρίβεια:* εκφράζει την απόκλιση της μετρούμενης τιμής από την χαρακτηρισμένη ως πραγματική τιμή, η οποία προσδιορίζεται από ειδικές πρότυπες συσκευές. Η ακρίβεια χωρίζεται σε τυχαίο (πειραματικό) σφάλμα και σε συστηματικό σφάλμα. Η ακρίβεια προσδιορίζεται με περιοδικό έλεγχο παράλληλων μετρήσεων με τις ειδικές πρότυπες συσκευές. Για να είναι συγκρίσιμες οι τιμές δύο όμοιων δειγματοληπτών, το πειραματικό σφάλμα πρέπει να είναι μικρό (<10%). Επίσης το χαμηλό συστηματικό σφάλμα αποτελεί προϋπόθεση για μια μέτρηση με ακρίβεια.
- *Η αξιοπιστία:* της μέτρησης διασφαλίζεται με τη χρήση πρότυπων διαδικασιών πριν, κατά και μετά την δειγματοληψία.

Ο αυστηρός έλεγχος της λειτουργίας του δειγματολήπτη είναι σημαντικός διότι μεγάλο πλήθος από άκυρες μετρήσεις θα μπορούσε να δημιουργήσει κίνδυνο αχρήστευσης ολόκληρης χρονοσειράς. Τα παρακάτω κριτήρια χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τον χειριστή να προσδιορίσει την εγκυρότητα ή μη της δειγματοληψίας:

- *Διάρκεια δειγματοληψίας:* οι δειγματοληψίες πρέπει να διαρκούν όχι λιγότερο από 23 και όχι περισσότερο από 25 ώρες. Δειγματοληψίες διάρκειας μικρότερης των 23 ωρών δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως 24 ώρες μετρήσεις, αλλά επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό υπερβάσεων των προτύπων ποιότητας αέρα σε αιωρούμενα σωματίδια.
- *Παροχή:* μέση παροχή για 24ωρη περίοδο πρέπει να μην αποκλίνει από την επιθυμητή τιμή περισσότερο από 5% στις συνθήκες δειγματοληψίας. Στην περίπτωση που παρατηρείται τέτοια απόκλιση, πρέπει να γίνεται εκτίμηση της εγκυρότητας του δείγματος με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:
 - ❖ έλεγχος ροής στον δειγματολήπτη και αν ο έλεγχος δείξει αποκλίσεις από την επιθυμητή ροή μεγαλύτερες του 5% , τότε η δειγματοληψία θεωρείται άκυρη.
 - ❖ εάν η ροή κατά την δειγματοληψία μειώθηκε λόγω υψηλού σωματιδιακού φορτίου, το δείγμα δεν πρέπει να χαρακτηρίζεται άκυρο διότι το μεγάλο φορτίο μπορεί να είναι ενδεικτικό σημαντικού επεισοδίου μόλυνσης, και άρα να απαιτείται η μελέτη του δείγματος.
- *Ποιότητα του φίλτρου:* Κάθε φίλτρο που κατά την διαδικασία συλλογής του μετά την δειγματοληψία παρουσιάζει εμφανή φθορά, χαρακτηρίζεται άκυρο. Οδηγείται Δε, συνοδευόμενο από σχετική σημείωση, στο εργαστήριο ή στο γραφείο που συλλέγει τα δείγματα.
- *Η θερμοκρασία του φίλτρου:* από τα δεδομένα που κρατά αυτόματα ο δειγματολήπτης κατά την λειτουργία του, η θερμοκρασία του φίλτρου δεν πρέπει να ξεπερνά την θερμοκρασία του περιβάλλοντος περισσότερο από 5° C και για περισσότερο από 30 συνεχόμενα λεπτά, με βάση αναφοράς 5-λεπτες μέσες τιμές. Διορθωτικές ενέργειες πρέπει να λαμβάνονται σε τέτοια περίπτωση.

Συμπληρωματικά στα παραπάνω, χρησιμοποιείται όπου και όσο συχνά είναι εφικτό, μια σειρά από απλές συγκρίσεις για την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας των μετρήσεων, όπως:

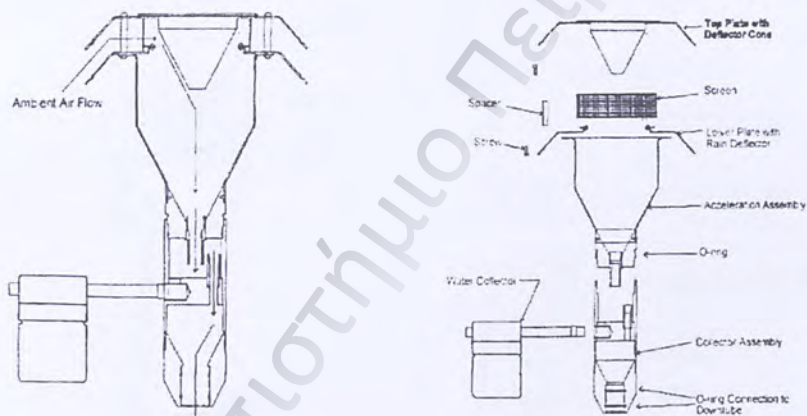
- Συγκρίσεις βάρους και χημικής σύστασης μεταξύ ομάδων σωματιδίων με διαφορετικά μεγέθη
- Συγκρίσεις μεταξύ του ολικού βάρους και του βάρους που προκύπτει από την αναλυτική πρόσθεση των επιμέρους ενώσεων που αποτελούν την ομάδα των σωματιδίων
- Ισοζύγια φορτίου
- Συγκρίσεις αποτελεσμάτων για την ίδια μέτρηση από διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης

4.6 ΤΟ ΟΡΓΑΝΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ

Ο δειγματολήπτης «Partisol – Plus Model 2025 Air Sampler» που χρησιμοποιήθηκε είναι το πλέον σύγχρονο και αυτοματοποιημένο όργανο για μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Είναι πιστοποιημένο από την EPA ως πρότυπη μέθοδος δειγματοληψίας και μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί για μετρήσεις PM_{10} , $PM_{2.5}$ ή ακόμη και TSP, αλλάζοντας μόνο τις κεφαλές του. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- Προσαρμόσιμοι υποδοχείς για δειγματοληψία: κεφαλές PM_{10} , $PM_{2.5}$ και TSP οι οποίες αλλάζουν και τοποθετούνται πολύ εύκολα
- Δυνατότητα χρήσης όλων των πιστοποιημένων φίλτρων της αγοράς από διάφορα υλικά κατασκευής όπως teflon, quartz fiber, ίνες ύαλου με επικάλυψη από teflon κα.

- Προγραμματισμός δειγματοληψίας και αυτόματη αλλαγή για 15 φίλτρα: καθορίζουμε τις ημερομηνίες και την ώρα αλλαγής του φίλτρου και το μηχάνημα μετράει μόνο του κάνοντας και τις προγραμματισμένες αλλαγές
- Ηλεκτρονικός έλεγχος της αναρρόφησης αέρα ώστε η παροχή να παραμένει σταθερή και ίση με την επιλεγμένη τιμή. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με τον ελεγκτή ροής μάζας, τον αισθητήρα θερμοκρασίας περιβάλλοντος και τον αισθητήρα για την πίεση του περιβάλλοντος τα οποία είναι ενσωματωμένα στο μηχάνημα
- Όλα τα δεδομένα καταγράφονται και καταχωρούνται στο όργανο και είναι αναγνώσιμα στην οθόνη ή αντιγράφονται σε υπολογιστή

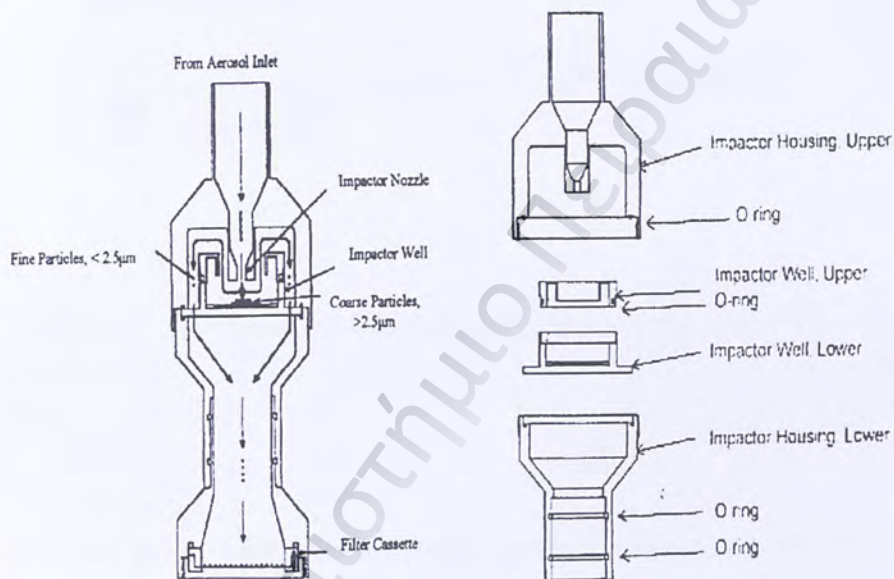


Σχ4-6 « Κεφαλή δειγματοληψίας για PM₁₀ και τα τμήματα από τα οποία αποτελείται»

Το προηγούμενο σχήμα δείχνει την κεφαλή δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων για PM₁₀. Καθώς ο αέρας περνά μέσα από το στόμιο, γίνεται ο διαχωρισμός των σωματιδίων κατά μέγεθος έτσι ώστε στο τελευταίο

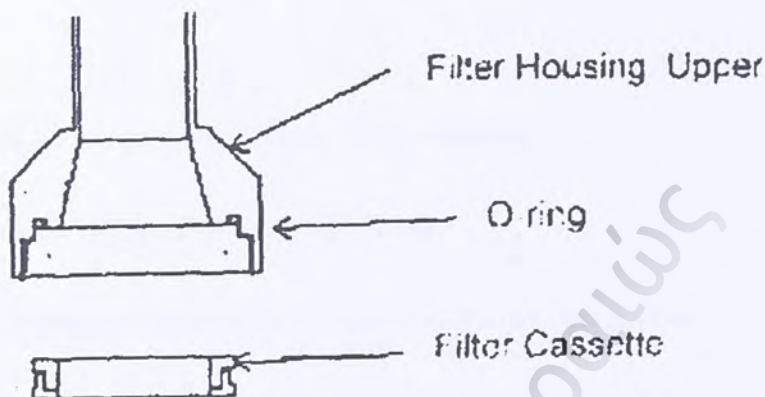
τμήμα του στομίου να αιωρούνται μόνο τα επιθυμητά σωματίδια, τα οποία και θα κατακρατηθούν στο φίλτρο που βρίσκεται από κάτω.

Για την μέτρηση των $PM_{2.5}$ χρησιμοποιείται η ίδια κεφαλή με τα PM_{10} μόνο που προσθέτουμε και ένα ακόμη εξάρτημα, τον κρουστικό διαχωριστή (impactor). Αυτός τοποθετείται μετά το στόμιο και πριν το φίλτρο με σκοπό να παρακρατά τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 2,5 μ . Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο κρουστικός διαχωριστήρας και τα μέρη από τα οποία αποτελείται.



Σχ4-7 «Η διαδρομή του αέρα μέσα από τον κρουστικό διαχωριστήρα και τα τμήματά του»

Και στα δύο είδη δειγματοληψιών το εισερχόμενο ρεύμα αέρα καταλήγει σε φίλτρο με μια διάταξη που φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχ4-8 «Θέση φίλτρου στο δειγματολήπτη, κάτω από τις κεφαλές»

Το όργανο έχει την δυνατότητα να διατηρεί σταθερή την παροχή αέρα στο φίλτρο σε μια προεπιλεγμένη τιμή. Αυτό επιτυγχάνεται από ένα μικροεπεξεργαστή που λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στη θερμοκρασία και την πίεση του περιβάλλοντος ρυθμίζει τις συνισταμένες του μηχανήματος. Η παροχή που χρησιμοποιήθηκε ήταν 16,7lt/min. Ο ρυθμιστής παροχής της αντλίας είναι βαθμονομημένος στους 0⁰ C & πίεση 1atm και παίρνει εντολές από τον επεξεργαστή ώστε αναλόγως των επικρατουςών συνθηκών να αυξομειώνει τη λειτουργία του. Η ανηγμένη παροχή δίνεται από τον τύπο:

$$FlowRate_{STP} = FlowRate_{Vol} \cdot \frac{273,15}{T_{AV} + 273,15} \cdot \frac{P_{AV}}{1,0}$$

Όπου:

$FlowRate_{STP}$ = η ανηγμένη παροχή σε 0° C & πίεση 1atm

$FlowRate_{Vol}$ = η ζητούμενη παροχή (16,7lt/min)

T_{AV} = η τρέχουσα θερμοκρασία που μετρά ο αισθητήρας του οργάνου

P_{AV} = η τρέχουσα πίεση που μετρά το όργανο

Η συγκέντρωση μάζας, σύμφωνα με την EPA, πρέπει να ανάγεται σε κανονικές συνθήκες (P=1atm & T=25°C). Για αυτό το λόγο οι όγκοι στο δειγματολήπτη μετατρέπονται σε συνθήκες βαθμονόμησης για τον έλεγχο της ροής και στη συνέχεια ανάγονται σε Κ.Σ. πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στην οθόνη. Η μετατροπή του όγκου σε ανηγμένο υπό Κ.Σ. γίνεται με τη βοήθεια του τύπου:

$$V_{Epa} = V_{STP} \cdot \frac{T_{Std} + 273,15}{273,15} \cdot \frac{1 Atm}{1 Atm}$$

όπου:

V_{Epa} = η τιμή που παρουσιάζεται και καταγράφεται από το όργανο

4.7 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΖΥΓΙΣΗΣ

Χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός ζυγός AT201 της εταιρείας Mettler Toledo, με επιλέξιμη ακρίβεια 0,1 ή 0,01 mg και μέγιστο βάρος ζύγισης τα 205 g. Ο ζυγός έχει τη δυνατότητα αυτόματης βαθμονόμησης και τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

Readability	0.01mg
Weighing capacity	205 g
Taring range (by subfraction)	0...205 g
Repeatability with total load:	
0 - 50 g	0,015 mg
50 - 200 g	0,030 mg
Linearity (In the temperature range: 10-30°C)	± 0.12 mg
Linearity within 10 g	± 0.03 mg
Typical stabilization time	10 - 24 sec
Calibration with external weights	200 g
Sensitivity: Temperature drift	± 1.5 ppm/°C
Weighing pan	80 X 80 mm

Πιν4-9 «Χαρακτηριστικά στοιχεία του ζυγού» {#41}

ΚΕΦ.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Ως θέση δειγματοληψίας επιλέχθηκε η ταράτσα κτηρίου ύψους περίπου τριών μέτρων. Οι λόγοι που μας οδήγησαν σε αυτή την επιλογή ήταν:

- *Η ασφάλεια του οργάνου από δολιοφθορές:* έπρεπε το όργανο να προστατευθεί από τους περιέργους και τους πιθανόν καχύποπτους. Η θέση λοιπόν δεν ήταν ορατή για τον περισσότερο κόσμο και μόνο οι ενημερωμένοι μπορούσαν να το πλησιάσουν. Τοποθετήθηκαν απαγορευτικές πινακίδες ανόδου στην ταράτσα και φύλακες να ελέγχουν την απρόσκοπτη λειτουργία του. Αν σκεφτούμε ότι το εργοστάσιο δουλεύει επί 24ωρο η προστασία του οργάνου δεν ήταν εύκολη υπόθεση.
- *Η θέση και η μη περιοδικότητα των σημειακών πηγών εκπομπής σωματιδίων:* η επιβαρυντική εργασία, ως προς τα αιωρούμενα σωματίδια, που διεξαγόταν στο εργοστάσιο (αμμοβολές) δεν είχε καμία περιοδικότητα και εκτελούνταν κατόπιν απαίτησης των πελατών. Όλος δε ο εξοπλισμός είναι φορητός και έτσι ακόμη και η θέση των σημειακών αυτών πηγών δεν μπορούσε να καθορισθεί με ακρίβεια.
- *Η σχετικά μικρή απόσταση από τη θάλασσα:* ώστε να καταγραφούν και τα φυσικής προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια
- *Η αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων ως προς την έκθεση του μεγαλύτερου μέρους των εργαζομένων:* που βρίσκονται μακριά από τις θέσεις αμμοβολών και εργάζονται σε απομακρυσμένα, μη απομονωμένα όμως, συνεργεία. Η κατανομή του προσωπικού ήταν τέτοια που σε ακτίνα 100 μέτρων γύρω από τον δειγματολήπτη εργαζόταν το 60 – 70% των εργαζομένων στην επιχείρηση

- Η ύπαρξη αναγκαίας υποδομής: στο σημείο που τοποθετήθηκε το όργανο μεταφέρθηκε σύνδεση ηλεκτρικού ρεύματος και εξασφαλίστηκε η αξιόπιστη και απρόσκοπτη 24ωρη λειτουργία του

5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Η πειραματική διαδικασία ξεκινά με τον έλεγχο των φίλτρων. Τα φίλτρα ελέγχονται για τρύπες, ανομοιογένειες στην επιφάνεια, χαλαρωμένα επιφάνεια και αλλοιώσεις στο χρώμα. Ακολουθεί αρίθμηση και εξισορρόπησή τους σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 35-45% και θερμοκρασίας 19-25°C.

Η ζύγιση του φίλτρου πριν τη δειγματοληψία είναι το επόμενο βήμα στο οποίο πρέπει να προσέξουμε:

- Το φίλτρο να έχει εξισορροπηθεί για τουλάχιστον 24 ώρες
- Ο ζυγός να έχει ευαισθησία 0,01mg και να έχει ενεργοποιηθεί μια ώρα πριν τη μέτρηση
- Η τιμή ζύγισης είναι σε g (W_i =απόβαρο)
- Μετά το φίλτρο μπαίνει στη θήκη δειγματοληψίας και κλείνεται

Ακολουθεί η δειγματοληψία με τη χρονική κατανομή που ορίζουμε (24ωρη) και τα φίλτρα συλλέγονται μετά τη χρήση. Τα χρησιμοποιημένα και αριθμημένα φίλτρα ζυγίζονται και δίνουν το W_f σε g.

Θα παρουσιάσουμε τώρα το υπολογιστικό μέρος του πειράματος από το οποίο και θα προκύψουν τα αποτελέσματα της εργασίας.

Για τη μέση 24ωρη συγκέντρωση (MC) σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$MC = \frac{W_f - W_i}{V_{STD}} \cdot 10^6 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad \rightarrow \quad \text{Μέση 24ωρη Συγκέντρωση}$$

όπου: $W_i[\text{g}]$: Βάρος φίλτρου πριν την δειγματοληψία

$W_f[\text{g}]$: Βάρος φίλτρου μετά την δειγματοληψία

$V_{STD}[\text{std m}^3]$: Πρότυπος όγκος αέρα που πέρασε από το φίλτρο κατά την δειγματοληψία.

Σύμφωνα με την US-EPA, κριτήριο για την εγκυρότητα του ανωτέρω υπολογισμού, για μέσες 24ωρες συγκεντρώσεις PM_{10} , είναι ο χρόνος έγκυρης δειγματοληψίας (valid time) να είναι από 23 μέχρι 25 ώρες. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται και καταγράφεται αυτόματα από τον δειγματολήπτη. Στην οθόνη του δειγματολήπτη Partisol 2025, που χρησιμοποιήθηκε, η ένδειξη “total time” δείχνει το συνολικό χρόνο κατά τον οποίο περνά αέρας από το φίλτρο δειγματοληψίας. Η ένδειξη “valid time” δείχνει το χρόνο κατά τον οποίο η ένδειξη status είναι εντάξει (OK) δηλαδή, τον χρόνο για τον οποίο το μηχάνημα λειτούργησε χωρίς δυσλειτουργίες και με την προγραμματισμένη ροή αέρα.

Η εγκατάσταση του οργάνου δειγματοληψίας σε βιομηχανικό χώρο της ευρύτερης περιοχής πρωτεύουσας επέτρεψε την παρακολούθηση των επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης σε έναν εργασιακό χώρο αλλά και την σύγκριση των συγκεντρώσεων που παρατηρούνται σε μια βιομηχανική περιοχή στην περιφέρεια της πρωτεύουσας με τις συγκεντρώσεις στο κέντρο της Αθήνας (ΠΕΡΠΑ-ΕΜΠ).

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο νέος δειγματολήπτης R&P Partisol Plus 2025. Ο δειγματολήπτης αυτός που είναι ο μοναδικός στην Ελλάδα και διαθέτει πιστοποίηση από την EPA, είναι παρόμοιας κατασκευής και αντίστοιχα προηγμένης τεχνολογίας με αυτούς που χρησιμοποιούνται στο σταθμό της οδού Αριστοτέλους (R&P Partisol Plus 2000). Η ουσιαστική του διάφορα έγκειται στον πνευματικό

μηχανισμό αυτόματης εναλλαγής φίλτρων που διαθέτει και επιτρέπει την δειγματοληψία και αποθήκευση 16 δειγμάτων, χωρίς να απαιτείται η παρεμβολή του χειριστή. Οι κεφάλες, τα φίλτρα και τα υπόλοιπα στάδια της πειραματικής διαδικασίας είναι ακριβώς ίδια με αυτά των ήδη χρησιμοποιούμενων δειγματοληπτών, όπως περιγράφονται σε προηγούμενα κεφάλαια.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής έγιναν δύο σειρές μετρήσεων ώστε να διαπιστωθεί και η τυχόν εποχικότητα (seasonality) του φαινομένου, η θερινή περίοδος από 20 Ιουλίου 2000 μέχρι 19 Αυγούστου 2000 και η χειμερινή περίοδος από 27 Οκτωβρίου 2000 μέχρι 1 Νοεμβρίου και από 10 Νοεμβρίου μέχρι 3 Δεκεμβρίου. Στην τελευταία περίοδο αντιμετωπίσαμε πολλά προβλήματα λόγω καιρού για αυτό και η δειγματοληψία δεν ήταν καθημερινή όπως φαίνεται και στον πίνακα αποτελεσμάτων.

Την θερινή περίοδο από 20-7 μέχρι 24-7 μετρήσαμε $PM_{2,5}$ και από 2-8 μέχρι 3-8 μετρήσαμε ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSPs). Όλες τις υπόλοιπες ημέρες μετρήσαμε PM_{10} . Στις 31 Ιουλίου με 1 Αυγούστου κάναμε ενδεικτικά δύο 12ωρες μετρήσεις, από τα αποτελέσματα των οποίων διαπιστώνουμε ότι το βράδυ που γίνονται αμμοβολές οι εκπομπές PM_{10} είναι μεγαλύτερες.

Ακολούθησαν οι χειμερινές μετρήσεις σε δύο περιόδους μετρήσεων από 27-10 μέχρι 22-11 μετρώντας μόνο PM_{10} και από 24-11 μέχρι 3-12 όπου μετρήσαμε ολικά στερεά. Οι μετρήσεις από τις 24-11 και μετά έγιναν 12ωρες για TSP, ώστε να συλλέξουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα TLV-TWA.

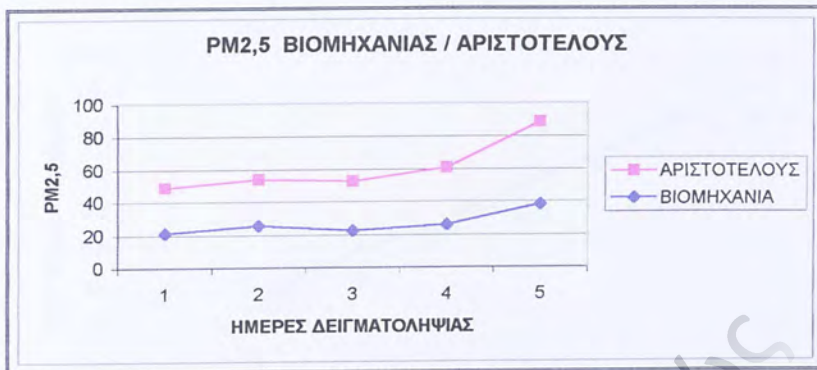
Οπότε για την πρώτη περίοδο των θερινών δειγματοληψιών έχουμε τα αποτελέσματα του επόμενου πίνακα:

DATE	ΡΥΠΟΣ	V(m ³)	C(μg/m ³)	C(μg/m ³)	T (°C)	RH (%)	Θέσεις	Valid time	
Θερινή Περίοδος			Βιομηχανία	Κέντρο	Βιομηχανία	Βιομηχανία			
1. 20-Ιουλ	PM2,5	21,244	21,2	27,7	27	44,4	1-3	21:29	
2. 21-Ιουλ	PM2,5	22,262	25,6	28,5	27	43,7	1	23:27	
3. 22-Ιουλ	PM2,5	23,266	22,4	30,2	27,2	46	1	23:29	
4. 23-Ιουλ	PM2,5	23,251	25,8	35,2	27,4	46,6	4	23:29	
5. 24-Ιουλ	PM2,5	14,885	38,3	50,4	27,3	52,2	4	15:00	
1. 25-Ιουλ	PM10	22,682	93,5		32,5	29,7		23:30	
2. 26-Ιουλ	PM10	22,677	101,9	122,3	34,2	30,2		23:30	
3. 27-Ιουλ	PM10	22,624	127,3	163,4	34,1	32,3	1	23:30	
4. 28-Ιουλ	PM10	22,601	140,7	156	34	51,9	1	23:30	
5. 29-Ιουλ	PM10	22,831	119,6	102,1	30,9	44,7		23:30	
6. 30-Ιουλ	PM10	23,028	64,7	78,3	28,7	55,5		23:30	
7. 31-7/1-8	PM10	11,694	94,1	88,3	31,6	39,7	4	12:00	
	1-Αυγ	PM10	11,928	51,1		26,4	46,1	4	12:00
1. 2-Αυγ	TSP	23,405	95,3		27	35,9		23:30	
2. 3-Αυγ	TSP	23,311	66,5	58,9	28,2	36,9	1	23:30	
8. 5-Αυγ	PM10	23,082	30	46,6	29,6	30,7		23:30	
9. 6-Αυγ	PM10	23,014	27,8	38,5	30,1	31,4		23:30	
10. 7-Αυγ	PM10	23,006	60	65,2	29,8	35,4		23:30	
11. 8-Αυγ	PM10	23,074	68,9	84,3	28,9	41,1	3-4	23:30	
12. 9-Αυγ	PM10	23,006	75,6	74,7	30,2	38,1	Σ-3-4	23:30	
13. 10-Αυγ	PM10	23,036	44,3	62,3	29,8	38,4	1-Σ	23:30	
14. 11-Αυγ	PM10	23,143	45,4	46,2	28,8	40,3	1-Σ	23:30	
15. 12-Αυγ	PM10	23,09	35,1	43,9	28,7	42,7		23:30	
16. 13-Αυγ	PM10	23,09	24,3		29,9	34,5		23:30	
17. 14-Αυγ	PM10	23,066	43,8	47,9	30,2	30,8	Σ	23:30	
18. 15-Αυγ	PM10	22,968	47,5		30,7	30,2	Σ	23:30	
19. 16-Αυγ	PM10	23,006	40,4		29,8	37,2	Σ	23:30	
20. 17-Αυγ	PM10	23,021	36,5	38	30	33,2		23:30	
21. 18-Αυγ	PM10	23,074	50,7	50,1	30,1	31,6	4	23:30	
22. 19-Αυγ	PM10	23,112	61	42,6	30	29,9	4	23:30	

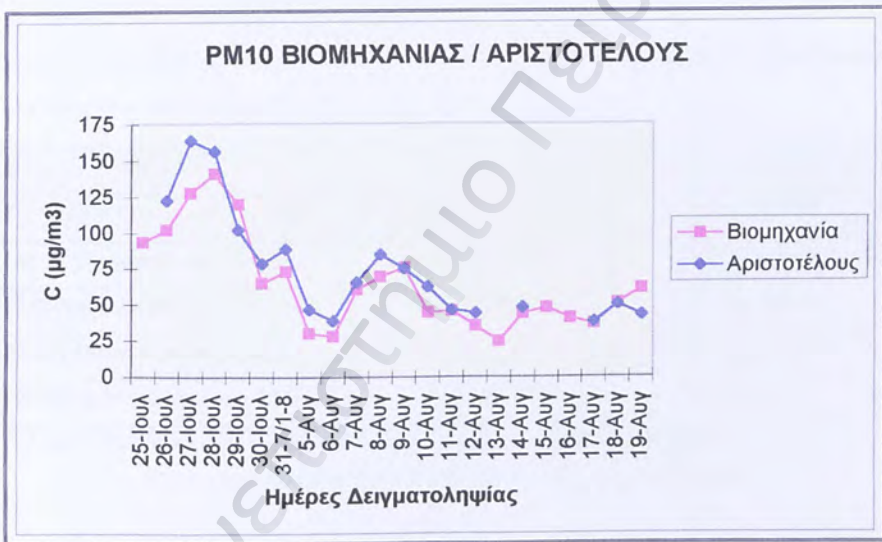
Πιν5-1 « Μετρήσεις κατά τη θερινή περίοδο δειγματοληψίας»

Τα σύμβολα «1-3-4-Σ» που αναφέρονται στη στήλη θέσεις, έχουν σχέση με τις θέσεις που γίνονταν οι εργασίες αμμοβολών-βαφών. Η απόστασή τους από τον δειγματολήπτη ήταν:

1. περίπου 150 μέτρα, χωρίς να παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο
 3. περίπου 300 μέτρα, χωρίς να παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο
 4. περίπου 300 μέτρα, αλλά παρεμβάλλονταν ενδιάμεσα ψηλά κτίρια των συνεργείων
- Σ. από 100 μέχρι 500 μέτρα και αφορούν περιπτώσεις αμμοβολών εσωτερικών χώρων (με ελλιπή περισυλλογή των εκπεμπόμενων σωματιδίων)

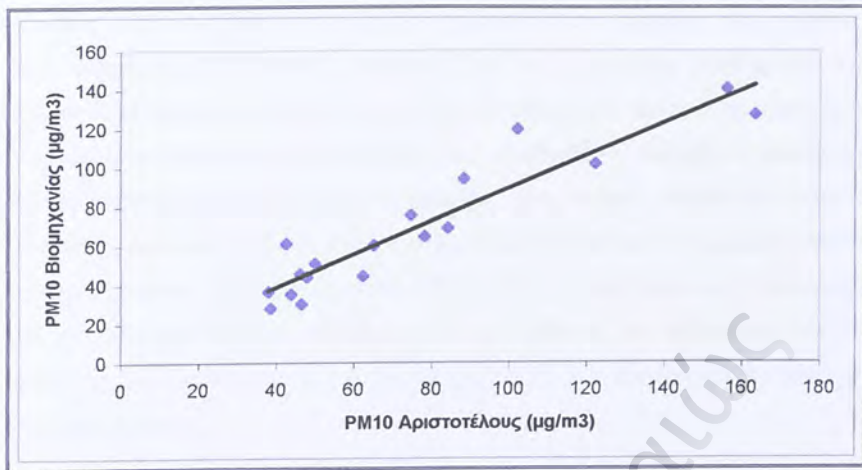


Γρ5-2 « Σύγκριση PM_{2,5} βιομηχανίας και Αριστοτέλους»



Γρ5-3 «Σύγκριση των PM₁₀ βιομηχανίας με της Αριστοτέλους κατά τη θερινή περίοδο»

Οι συγκεντρώσεις σωματιδίων μεταξύ των δυο σταθμών μέτρησης παρουσιάζουν εξαιρετική συσχέτιση. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι 0,94 για τα PM₁₀ και 0,96 για τα PM_{2,5}. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση PM₁₀ Βιομηχανίας με τα PM₁₀ Αριστοτέλους.



Γρ5-4 «Γραμμική συσχέτιση PM₁₀ βιομηχανίας με PM₁₀ Αριστοτέλους τη θερινή περίοδο»

Ο επόμενος πίνακας δίνει τα αποτελέσματα των μέσων και μέγιστων συγκεντρώσεων για τους δύο σταθμούς κατά την πρώτη περίοδο μετρήσεων.

ΘΕΡΙΝΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
Αιωρούμενα Σωματίδια	Βιομηχανίας	Αριστοτέλους
Μέση Συγκέντρωση PM ₁₀	64,2 µg /m ³	74,3 µg /m ³
*Μέγιστη Συγκέντρωση PM ₁₀	140,7 µg /m ³	156 µg /m ³
Μέση Συγκέντρωση PM _{2,5}	26,7 µg /m ³	34,4 µg /m ³
Μέγιστη Συγκέντρωση PM _{2,5}	38,3 µg /m ³	50,4 µg /m ³

* Η μέγιστη συγκέντρωση και για τους δύο σταθμούς μετρήθηκε στις 28 Ιουλίου

Πιν5-5 «Αποτελέσματα μετρήσεων και σύγκριση, θερινής περιόδου»

Ένα συμπέρασμα που προκύπτει από την σύγκριση των συγκεντρώσεων μεταξύ των δυο περιοχών είναι ότι οι συγκεντρώσεις και των δυο ρύπων σε αυτή την περίοδο, εμφανίζονται υψηλότερες κατά μικρό ποσοστό στο κέντρο της Αθήνας απ' ότι στη βιομηχανία. Μια εξήγηση αυτού του φαινομένου μπορεί να δοθεί αν ληφθεί υπ' όψη η ακριβής τοποθεσία δειγματοληψίας. Ο σταθμός της Αριστοτέλους βρίσκεται πάνω στον δρόμο, στην συμβολή οδικών αρτηριών, στα όρια του δακτυλίου, στο κέντρο της πόλης. Συνεπώς μεγάλο μέρος των σωματιδιακών συγκεντρώσεων διαμορφώνεται από την κίνηση των οχημάτων στους δρόμους, με τα ψηλά κτίρια να δημιουργούν συνθήκες εγκλωβισμού των PM_s, δηλαδή το φαινόμενο 'Canyon'. Αντιθέτως το σημείο δειγματοληψίας στη βιομηχανία απέχει σημαντικά από οδικούς

κόμβους. Οι κύριες πηγές σωματιδίων περιλαμβάνουν εργασίες που γίνονται μέσα στον χώρο της βιομηχανίας, εκπομπές από τις γειτονικές βιομηχανίες και την θάλασσα. Η θέση του δειγματολήπτη ήταν ελεύθερη από παντού, κάτι που βοηθά τη διασπορά των ρύπων και ήταν απίθανο να εγκλωβισθούν. Πρέπει να αναφερθεί ότι η θερινή περίοδος δειγματοληψίας περιέλαβε τετραήμερο επεισόδιο σωματιδιακής ρύπανσης, στα τέλη Ιουλίου, αλλά και την περίοδο διακοπών στις αρχές Αυγούστου (μειωμένος όγκος εργασιών), όποτε ενδεχομένως να μην είναι και η καταλληλότερη για την εξαγωγή βέβαιων συμπερασμάτων. Μάλιστα, τις τελευταίες δυο θερινές μέρες της δειγματοληψίας, οι συγκεντρώσεις PM10 στη βιομηχανία ξεπέρασαν αυτές της Αριστοτέλους.



«Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε κατά τις δειγματοληψίες»

Η δεύτερη περίοδος μετρήσεων έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα για τα PM_{10} σε 24ωρη βάση και για τα TSP σε 12ωρη.

DATE	ΡΥΠΟΣ	V(m ³)	C(μg/m ³)	C(μg/m ³)	T (°C)	RH (%)	Θέσεις	Valid time	
B' - Περίοδος			Βιομηχανία	Κέντρο	Βιομηχανία	Βιομηχανία			
23.	27-Οκτ	PM10	24,1	55,6	124	18,2	60,3		23:29
24.	28-Οκτ	PM10	24	37,5	87	20	51,2		23:30
25.	29-Οκτ	PM10	24,3	32,9	48	18,3	45		23:30
26.	30-Οκτ	PM10	24,3	58,8	77	17,2	49,3		23:28
27.	31-Οκτ	PM10	24,1	65,6	99	18,7	58,7	1-3	23:30
28.	1-Νοε	PM10	23,9	67,36	113	19,9	58,9	1	23:23
29.	10-Νοε	PM10	24,1	137,8	174	19,7	32	1-3	
30.	11-Νοε	PM10	23,9	80,8	141	20,4	35,8		
31.	12-Νοε	PM10	24	49,6	70	19,6	35,9		
32.	13-Νοε	PM10	24,3	46,5	65	17,5	35,6		
33.	14-Νοε	PM10	18,8	86,2	134	15,5	42,7	Σ	
34.	21-Νοε	PM10	10	107	113,8	12,5	58,1	3	
35.	22-Νοε	PM10	16,6	119,9	106,7	17,4	46,5	3	
3.	24-25\11	TSP	12,4	66,1		15,8	56,9		
4.	25\11	TSP	6,9	36,2		17,3	69,3		
5.	30\11-1\12	TSP	12,6	62,9		13,7	62,9	4-Σ	
6.	1\12	TSP	12,5	68		16,2	53,4	Σ	
7.	1\12-2\12	TSP	12,7	71,7		10,8	63,3	Σ	
8.	2\12	TSP	12,5	96,8		15,1	56	Σ-1-3	
9.	2\12-3\12	TSP	12,7	138,6		11,5	71,3	1-3-4	

Πιν5-6 «B' Περίοδος μετρήσεων»

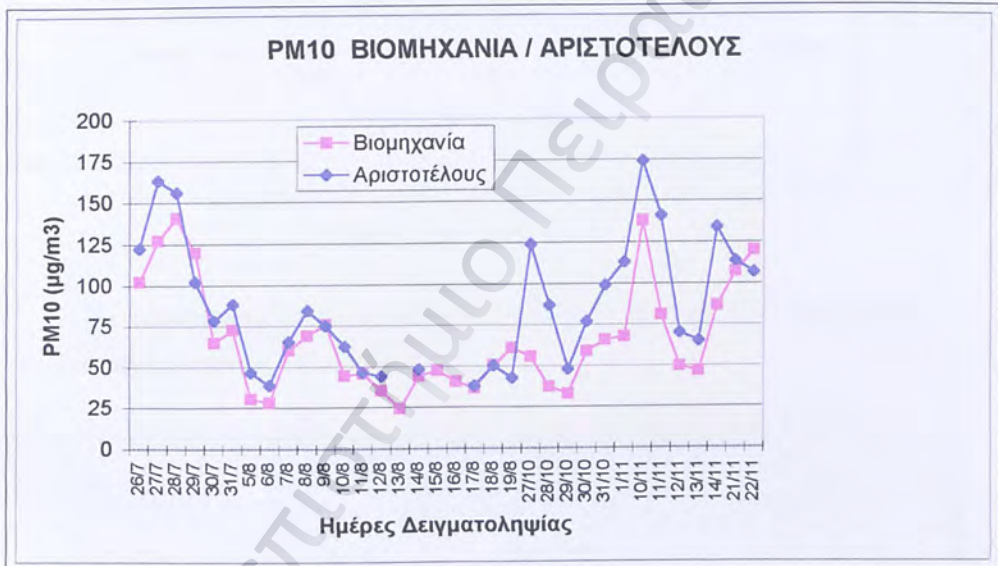
Ο επόμενος πίνακας περιλαμβάνει τις μέσες και μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων για τους δύο σταθμούς κατά τη δεύτερη περίοδο μετρήσεων. Διακρίνουμε μια αύξηση των μέσων συγκεντρώσεων για PM_{10} σε σχέση με τη θερινή περίοδο. Αυτό μπορεί να οφείλεται αφ' ενός στο ότι το μήνα των διακοπών του προσωπικού της βιομηχανίας (Αύγουστο) ο όγκος εργασιών μειώνεται και αφ' ετέρου στο ότι ο Νοέμβριος εφέτος ήταν σχεδόν καλοκαίρι και οι ασθενείς άνεμοι βοηθούσαν την μεταφορά και επανααιώρηση των σωματιδίων.

Σίμος Σαρβανίδης
PMs - PELs

Β' ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	
Αιωρούμενα Σωματίδια	Βιομηχανίας	Αριστοτέλους
Μέση Συγκέντρωση PM ₁₀	72,7 μg /m ³	104 μg /m ³
Μέγιστη Συγκέντρωση PM ₁₀	137,8 μg /m ³	174 μg /m ³
Μέση Συγκέντρωση TSP (12ωρη)*	73,1 μg /m ³	
Μέγιστη Συγκέντρωση TSP	138,6 μg /m ³	

* Εξαιρέθηκαν η πλέον μεγάλη και η πλέον μικρή τιμή

Πιν5-7 «Σύγκριση αποτελεσμάτων β' περιόδου»

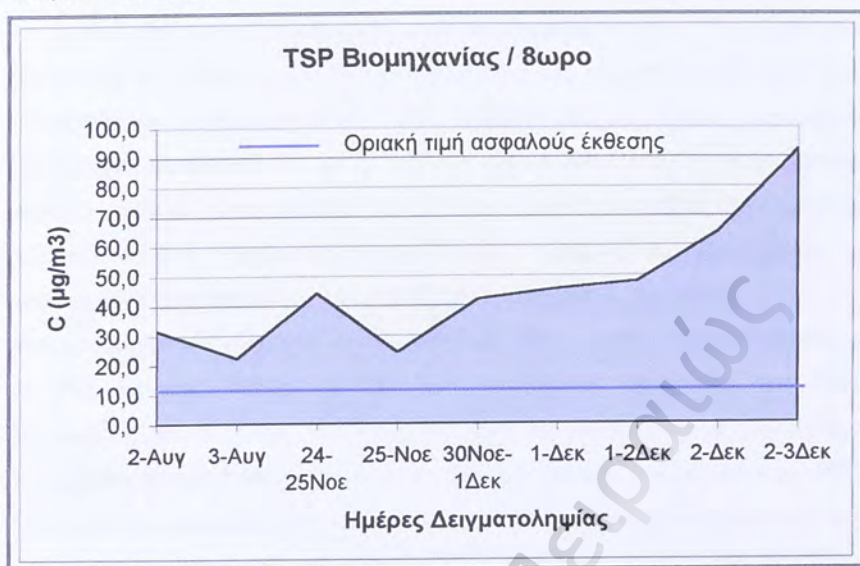


Σχ5-8 « Σύγκριση PM₁₀ βιομηχανίας και Αριστοτέλους συνολικά»

Ο επόμενος πίνακας δείχνει την αναμενόμενη έκθεση ανά 8ωρο των εργαζομένων στη βιομηχανία σε TSP. Για να γίνει ο υπολογισμός οι 24ωρες και 12ωρες μετρήσεις ανήχθησαν σε 8ωρες. Η σύγκριση με τα υπολογισθέντα στη §3.5.2 σελίδα 53, όρια ασφαλούς έκθεσης Total Dust, για το συγκεκριμένο υλικό αμμοβολής (TLV-TWA=8 - 10μg/m³) μας δίνει την πραγματική εικόνα του προβλήματος.

Παρατηρούμε τη συνεχή υπέρβαση της οριακής τιμής τόσο για το αυστηρό όριο όσο

και για το ευνοϊκό.



Γρ5-9 «Ανηγμένη μέση τιμή για ολικά στερεά σωματίδια ανά οκτάωρο σε σχέση με την οριακή τιμή ασφαλούς έκθεσης»

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας δίνονται στον επόμενο πίνακα.

ΣΥΝΘΑΙΚΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
Αιωρούμενα Σωματίδια	Βιομηχανίας	Αριστοτέλους
Μέση Συγκέντρωση PM ₁₀ (24ωρη)	68,5 µg /m ³	89 µg /m ³
Μέγιστη Συγκέντρωση PM ₁₀	140,7 µg /m ³ (31 Ιουλ)	174 µg /m ³ (10 Νοεμ)
Μέση Συγκέντρωση (TSP 24ωρη)	113 µg /m ³	
Μέση Συγκέντρωση (TSP 8ωρη)*	42,5 µg /m ³	
Μέγιστη Συγκέντρωση (TSP 24ωρη)	168 µg /m ³	

* Εξαιρέθηκαν η πλέον μεγάλη και η πλέον μικρή τιμή

Πιν5-10 «Συνολικά συγκριτικά αποτελέσματα»

Το μεγαλύτερο ποσοστό απόκλισης των συγκεντρώσεων των PM_{10} (από αυτό των $PM_{2,5}$) της βιομηχανίας από τις συγκεντρώσεις του κέντρου, αλλά και η καλύτερη συσχέτιση των $PM_{2,5}$ μεταξύ των δυο σταθμών δειγματοληψίας, υποδεικνύει την μεγαλύτερη βαρύτητα των χονδρόκοκκων σωματιδίων $PM_{10-2,5}$ στην βιομηχανική περιοχή. Κάτι το οποίο είναι και αναμενόμενο αφού η πρόσθετη πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι εργασίες αμμοβολών – βαφών της βιομηχανίας και τα υπολείμματα που δημιουργούνται από τις υπό καθαρισμό επιφάνειες.

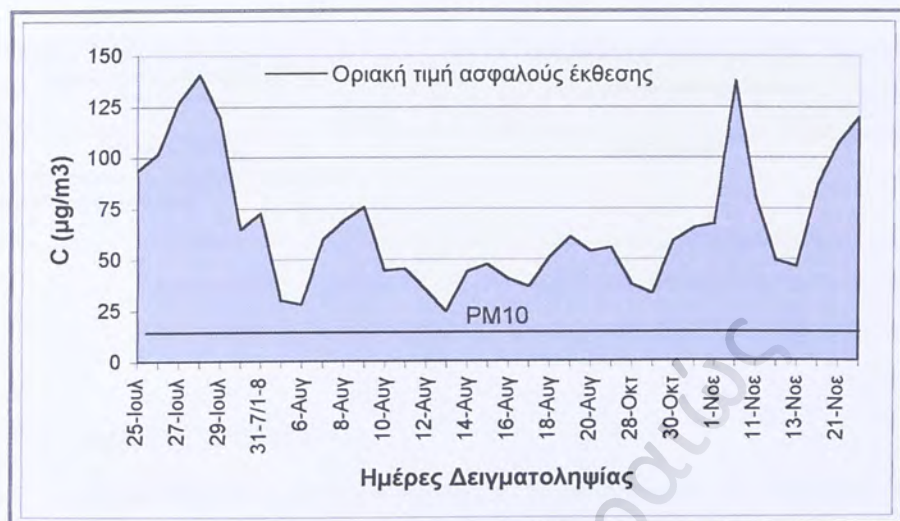
Μια προσεγγιστική εκτίμηση των σωματιδίων $PM_{10-2,5}$ για τη θερινή περίοδο, μπορεί να γίνει ως εξής. Λόγω της εξαιρετικής γραμμικής συσχέτισης των $PM_{2,5}$ της βιομηχανίας με τα $PM_{2,5}$ της Αριστοτέλους, οι συγκεντρώσεις των $PM_{2,5}$ της βιομηχανίας μπορούν να υπολογιστούν από τις διαθέσιμες συγκεντρώσεις $PM_{2,5}$ της Αριστοτέλους, με ικανοποιητική ακρίβεια, μέσω μιας γραμμικής εξίσωσης. Κατόπιν η αφαίρεση των υπολογιζόμενων $PM_{2,5}$ από τα μετρούμενα PM_{10} της βιομηχανίας θα δώσει τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων $PM_{10-2,5}$. Η εξίσωση που θα χρησιμοποιηθεί είναι:

$$PM_{2,5 \text{ BIOM}} = -0,6957 * PM_{2,5 \text{ ΑΡΙΣΤ.}} + 2,7264$$

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμητικοί μέσοι	PM_{10} (Α΄ Περίοδος)	$PM_{10-2,5}$	$PM_{10-2,5}/PM_{10}$
Βιομηχανία	64,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	44,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	69,5 %
Αριστοτέλους	74,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40,1%

Επίσης ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης PM_{10} - $PM_{10-2,5}$ για τη βιομηχανία έχει την τιμή 0,99. Είναι προφανής η βαρύτητα των χονδρόκοκκων σωματιδίων ως κλάσμα των PM_{10} , καθώς το μέσο ποσοστό τους σε αυτά είναι 69,5 %. Αν και είναι περιορισμένος ο αριθμός των μετρήσεων των PM_{10} και $PM_{2,5}$ και ο υπολογισμός των $PM_{10-2,5}$ γίνεται με έμμεσο τρόπο, τόσο υψηλά ποσοστά $PM_{10-2,5}$ είναι μάλλον ασυνήθιστα στη διεθνή βιβλιογραφία. Επίσης η σύγκριση των τιμών TSP μεταξύ βιομηχανίας και Αριστοτέλους έχει για κανόνα μεγαλύτερες της βιομηχανίας σε αντίθεση με τα PM_{10} . Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την ύπαρξη πηγής χονδρόκοκκων σωματιδίων πλησίον του χώρου δειγματοληψίας.



Γρ5-11 «Συνολικά αποτελέσματα μετρήσεων PM₁₀ στη βιομηχανία»

Παρουσίαση αποτελεσμάτων και σύγκριση με τα πρότυπα ή τις οριακές τιμές.

Τα εισπνεύσιμα σωματίδια έχουν όριο κατωφλίου, όπως το υπολογίσαμε στην §3.5.2 στη σελίδα 53, TLV=9,8 µg/m³. Η μέση 24ωρη τιμή για τα PM₁₀ που μετρήσαμε ήταν 68,5 µg/m³.

Όριο Ασφαλούς Έκθεσης TLV ^{Re} -TWA (8ωρο)	Μέση Τιμή Βιομηχανίας για PM ₁₀ / 8ωρο	Μέση Τιμή Αριστοτέλους για PM ₁₀ / 8ωρο
9,8 µg/m ³	23 µg/m ³	30 µg/m ³

Αντίστοιχα για τα ολικά στερεά το TLV=10,1 µg/m³ ενώ η μέση 24ωρη τιμή ήταν 113 µg/m³ και η ανηγμένη σε 8ωρο ήταν 42,5 µg/m³.

Όριο Ασφαλούς Έκθεσης TLV ^{Tsp} -TWA (8ωρο)	Μέση Τιμή Βιομηχανίας για TSP / 8ωρο
10,1 µg/m ³	42,5 µg/m ³

Σύμφωνα με τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας για το ευρύτερο περιβάλλον της ΕΕ, σαν οριακή τιμή συγκέντρωσης για τα PM₁₀ παίρνουμε την τιμή 50 µg/m³. Αξίζει να αναφερθεί ότι η τιμή για τον βιομηχανικό χώρο (69 µg/m³) παρουσίασε 38% υπέρβαση της πρότυπης τιμής ενώ σε διάστημα 35 ημερών δειγματοληψίας παρουσιάστηκαν 18 υπερβάσεις του προτύπου.

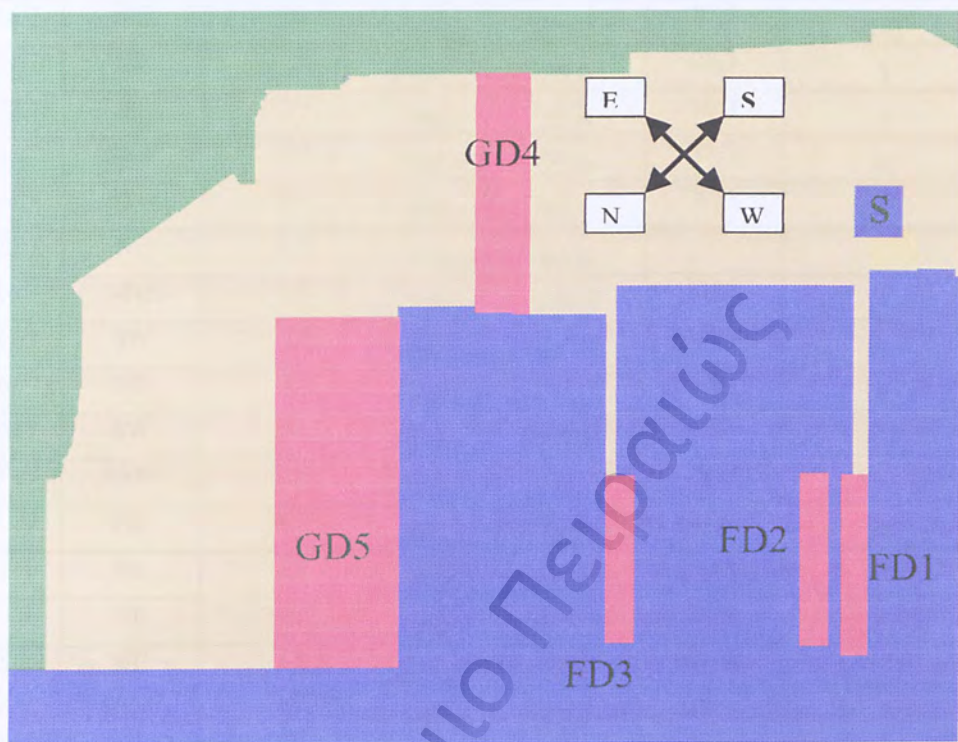
Οριακή Τιμή για την Προστασία της Υγείας του Ανθρώπου από τα PM ₁₀ / 24ωρο	Μέση Τιμή Βιομηχανίας για PM ₁₀ / 24ωρο (38% υπέρβαση προτύπου)
50 μg/m ³ PM ₁₀ που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 35 φορές ανά έτος	68,5 μg/m ³

5.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Θεωρώντας ότι η μετεωρολογία παίζει σημαντικό ρόλο στις εκτιμήσεις μας και αφού ο δειγματολήπτης μας έδινε στοιχεία θερμοκρασίας (φίλτρου – περιβάλλοντος) και υγρασίας πήραμε από το Αστεροσκοπείο τις διευθύνσεις και την ταχύτητα του ανέμου. Τα στοιχεία που συγκεντρώσαμε αφορούσαν μόνο την πρώτη περίοδο δειγματοληψίας ενώ για τη δεύτερη περίοδο δεν ήταν διαθέσιμα. Η θέση του δειγματολήπτη μέσα στο εργοστάσιο που έγιναν οι μετρήσεις ήταν ΝΔ της εγκατάστασης. Οι ΒΑ άνεμοι έφερναν τους ρύπους προς τον δειγματολήπτη αλλά λόγω της μεγαλύτερης έντασής τους βοηθούσαν περισσότερο στη διασπορά και απομάκρυνσή τους. Παρατηρούμε να έχουν μετρηθεί μεγάλες τιμές ακόμα και σε ημέρες χωρίς εργασίες αμμοβολών και με ανέμους σε όχι ευνοϊκές διευθύνσεις. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη γενικά επιβαρημένη από επικαθίσεις εγκατάσταση (με την επανααιώρηση των σωματιδίων), τις φυσικές πηγές (θάλασσα) καθώς και τη γενική υποβάθμιση της ατμόσφαιρας του λεκανοπεδίου.

Την περίοδο 25 – 29 Ιουλίου έχουμε επεισόδιο ειδικού μετεωρολογικού φαινομένου, με ασθενείς Νότιους ανέμους και υψηλές θερμοκρασίες, να προκαλεί αυξημένα επίπεδα ρύπανσης. Το επεισόδιο επιβεβαιώνεται και από τις υψηλές συγκεντρώσεις της Αριστοτέλους την ίδια περίοδο.

Γενικά διαπιστώνουμε ότι οι Β ή ΒΑ άνεμοι λειτουργούν προς την κατεύθυνση της απομάκρυνσης των PMs από την εγκατάσταση προκαλώντας ως τελικό αποτέλεσμα την μείωση των μετρούμενων επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης.



«Σχεδιάγραμμα της βιομηχανίας που έγιναν οι μετρήσεις»

όπου:

- S: η θέση του δειγματολήπτη
- FD1 - FD3 - GD4: οι εν λειτουργία θέσεις αμμοβολών στο εργοστάσιο
- FD2 - GD5: οι θέσεις αμμοβολών εκτός λειτουργίας λόγω συντήρησης.

Date	Prevailing Direction	Wind Velocity (m / sec)		C($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Βιομηχανία	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Κέντρο	Sandblasting's position
20/7	NE	5,0	PM _{2,5}	21,2	27,7	1-3
21/7	NE	4,0	PM _{2,5}	25,6	28,5	1
22/7	N	2,4	PM _{2,5}	22,4	30,2	1
23/7	SSW	2,5	PM _{2,5}	25,8	35,2	4
24/7	SSW	2,4	PM _{2,5}	38,3	50,4	4
25/7	NE	3,9	PM ₁₀	93,5		
26/7	NNE	3,5	PM ₁₀	101,9	122,3	
27/7	SW	2,1	PM ₁₀	127,3	163,4	1
28/7	NE	3,0	PM ₁₀	140,7	156	1
29/7	SW	2,6	PM ₁₀	119,6	102,1	
30/7	SSW	2,7	PM ₁₀	64,7	78,3	
31/7	NE	4,4	PM ₁₀	72,6	88,3	4
2/8	NE	3,1	TSP	95,3		
3/8	NE	5,4	TSP	66,5	58,9	1
5/8	NE	3,7	PM ₁₀	30	46,6	
6/8	NNW	3,0	PM ₁₀	27,8	38,5	
7/8	SW	2,6	PM ₁₀	60	65,2	
8/8	SW	2,2	PM ₁₀	68,9	84,3	3-4
9/8	NE	4,2	PM ₁₀	75,6	74,7	Σ-3-4
10/8	NE	6,3	PM ₁₀	44,3	62,3	1-Σ
11/8	N	3,3	PM ₁₀	45,4	46,2	1-Σ
12/8	NE	4,2	PM ₁₀	35,1	43,9	
13/8	NE	3,7	PM ₁₀	24,3		
14/8	NNE	4,5	PM ₁₀	43,8	47,9	Σ
15/8	NNE	5,6	PM ₁₀	47,5		Σ
16/8	NE	4,7	PM ₁₀	40,4		Σ
17/8	NE	6,0	PM ₁₀	36,5	38	
18/8	NNE	4,9	PM ₁₀	50,7	50,1	4
19/8	NE	5,8	PM ₁₀	61	42,6	4

Πιν5-12 «Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου κατά τις μέρες της θερινής δειγματοληψίας»

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης της ποιότητας της εργασιακής ατμόσφαιρας σε ένα βιομηχανικό χώρο με σοβαρές πηγές εκπομπής σωματιδίων. Οργανώθηκε ένα πρόγραμμα μετρήσεων με πρότυπη κατά EPA μεθοδολογία και δυνατότητα μέτρησης τριών κλασμάτων σωματιδιακής ύλης (PM₁₀, PM_{2,5}, TSP). Μετά από κατάλληλη στατιστική επεξεργασία του προγράμματος μετρήσεων έγινε δυνατή η σύγκρισή τους με τις οριακές τιμές έκθεσης που αφορούν εργασιακούς χώρους. Τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα ακόλουθα:

- Το όριο ασφαλούς έκθεσης για 8ωρη εργασία (TLV), στο περιβάλλον με αιωρούμενα σωματίδια από το υλικό της αμμοβολής είναι :
 - Για την εισπνεύσιμη σκόνη (Respirable fraction), $TLV^{Re} = 9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η μέση συγκέντρωση που μετρήθηκε στη βιομηχανία ανά 8ωρο ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ήταν κατά **134,7%** υψηλότερη του ορίου
 - Για την ολική σκόνη (TSP), $TLV^{Tsp} = 10,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η μέση συγκέντρωση που μετρήθηκε στη βιομηχανία ($42,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 8ωρο) ήταν κατά **420,8%** υψηλότερη του ορίου

Παρόλο που έγιναν 12ωρες μετρήσεις για τα TSP, δεν διαπιστώσαμε σημαντική διαφορά μεταξύ μέρας και νύχτας (που γίνονται αμμοβολές). Αυτό ίσως οφείλεται στο ότι όλες οι άλλες δραστηριότητες του εργοστασίου γίνονται περίπου κατά 80% πρωί.

- Μια πρώτη εποχιακή ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι υπάρχει σοβαρό πρόβλημα τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η χειμερινή περίοδος μάλιστα είχε λίγο μεγαλύτερες τιμές από τη θερινή. Εργασίες αμμοβολών γίνονται κυρίως τις *καλές ημέρες*, αφού η υψηλή υγρασία ή η βροχή βοηθά την οξείδωση των ελασμάτων κάτι που είναι ανεπιθύμητο πριν τη βαφή. Οι υψηλότερες τιμές της Β' περιόδου μετρήσεων μπορεί να οφείλονται στο ότι:

- Η θερινή περίοδος περιελάμβανε το πρώτο 15μερο του Αυγούστου που είναι περίοδος μειωμένου όγκου εργασιών, λόγω αδειών του προσωπικού. Παρόλα αυτά τα επίπεδα που μετρήθηκαν ήταν υψηλά.
 - Η β' περίοδος περιελάμβανε τον Νοέμβριο ο οποίος εφέτος είχε αρκετές ηλιοφάνειες και υψηλές θερμοκρασίες για την εποχή, γεγονός που ευνοούσε τις εργασίες τέτοιου είδους. Επίσης τον Νοέμβριο μετρήθηκαν υψηλές τιμές και στην Αριστοτέλους με την 15 Νοεμβρίου να παρουσιάζει μέγιστο έτος.
 - Και στις δύο περιόδους η δυναμικότητα της επιχείρησης, σε εργασίες αμμοβολών, ήταν στο 50%, γιατί δύο μεγάλοι χώροι υποδοχής για τέτοιες εργασίες ήταν εκτός λειτουργίας για συντήρηση.
- Έγινε επίσης σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τις αντίστοιχες μετρήσεις σε σταθμό στο κέντρο της πόλης (Αριστοτέλους), πάνω σε πυκνής κυκλοφορίας οδική αρτηρία. Διαπιστώθηκε η καλή γραμμική συσχέτιση των αποτελεσμάτων στους δύο σταθμούς (βλ. σελ 80), με υπεροχή των συγκεντρώσεων στο σταθμό της πόλης εκτός από τις περιπτώσεις λειτουργίας ισχυρών πηγών εκπομπής σωματιδίων στη βιομηχανική εγκατάσταση.
- Οι μέσες συγκεντρώσεις PM₁₀ της Αριστοτέλους σε σχέση με αυτά της βιομηχανίας ήταν αυξημένες κατά 20-30%. Αυτό από μόνο του είναι ενδεικτικό της επικινδυνότητας, της κάθε περιοχής, αλλά πρέπει να συυπολογισθεί και η χημική σύσταση των σωματιδίων καθώς και η ειδική δράση των κάθε φορά συστατικών τους. Η βιομηχανία αναμένεται να είναι πλούσια σε βαρέα μέταλλα και οξείδια του πυριτίου, συστατικά ιδιαίτερος επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία και κυρίως τους πνεύμονες. Η σύσταση των σωματιδίων στην Αριστοτέλους αναμένεται να διαφέρει, κάτι που υποδεικνύεται και από τη συμμετοχή των χονδρόκοκκων σωματιδίων σε κάθε περιοχή. Η βιομηχανία να παρουσιάζει ποσοστό (coarse) **69,5%** σε αντίθεση με το κέντρο να έχει μόνο **40,1%**.

➤ Η σύγκριση των συγκεντρώσεων στον εργασιακό χώρο με τα πρότυπα συγκέντρωσης των PM₁₀ της ΕΕ, που ισχύουν για το ευρύτερο αστικό περιβάλλον μας επιφύλαξαν επίσης δυσάρεστες εκπλήξεις. Η οδηγία της ΕΕ, καθορίζει σαν οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, τα 50 μg/m³ ανά 24ωρο και η τιμή αυτή δεν πρέπει να ξεπερασθεί πάνω από 35 φορές το έτος. Η μέση 24ωρη τιμή της βιομηχανίας για PM₁₀ ήταν 68,5 μg/m³ δηλαδή **38%** υψηλότερη του ορίου. Μάλιστα σε διάστημα δειγματοληψίας 35 ημερών είχαμε 18 υπερβάσεις του προτύπου.


➤ Υπήρξαν ημέρες όπου ειδικά μετεωρολογικά φαινόμενα (άπνοια ή Νότιοι άνεμοι με υψηλές θερμοκρασίες) προκάλεσαν ιδιαίτερα αυξημένα επίπεδα ρύπανσης τόσο στη βιομηχανία όσο και στην Αριστοτέλους. Διαπιστώσαμε όμως ότι Β ή ΒΑ άνεμοι λειτουργούν προς την κατεύθυνση της απομάκρυνσης των PMs από τη μονάδα προκαλώντας σαν αποτέλεσμα τη μείωση των μετρουμένων επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης.

5.5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν ένα ιδιαίτερα σοβαρό θέμα, τόσο για την υγεία των εργαζομένων όσο και για τις βιομηχανίες που εκτελούν εργασίες αμμοβολών – βαφών. Στη προσπάθεια ανάδειξης του θέματος αλλά και στα πλαίσια του ευρύτερου επιστημονικού ενδιαφέροντος της ερευνητικής ομάδας, αποφασίσαμε να συνεχίσουμε την ερευνητική προσπάθεια. Έχουν ήδη δρομολογηθεί ή ετοιμάζονται να δρομολογηθούν οι επόμενες προτάσεις μας:

- Εκτέλεση χρονοσειρών μετρήσεων μεγαλύτερης διάρκειας
- Περισσότερους του ενός σταθμούς μέτρησης της σωματιδιακής ρύπανσης (πχ. πλησίον των πηγών εκπομπής, σε χώρους εστίασης, σε γραφεία)
- Χρησιμοποίηση ατομικών δειγματοληπτών στους εργαζομένους
- Εγκατάσταση δειγματοληπτών συνεχούς λειτουργίας με καταγραφή των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων (TEOM)
- Χημική ανάλυση των επικαθίσεων στα φίλτρα, ώστε να διαπιστωθεί η συγγενείά τους με το υλικό αμμοβολής
- Καταγραφή τοπικών μετεωρολογικών στοιχείων
- Έρευνα για αντικατάσταση του υλικού αμμοβολής με άλλο φιλικότερο προς το περιβάλλον και την υγεία των εργαζομένων
- Χρηματοοικονομική αξιολόγηση πιθανής αντικατάστασης του υλικού και αξιολόγηση επενδύσεων σε νέες τεχνολογίες (υδροβολές υψηλής πίεσης, χρήση ξηρού πάγου για άμμο, υδροαμμοβολές).

Path² Silicosis (lung) Path²

No	Title	Type	Organ	Disease	Quality
0339045	Silicosis (lung)	Organ		Degenerative disorders	Good

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ

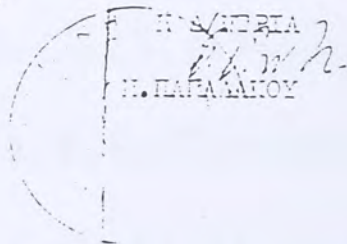
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ

Ταχ. Δ/ση: Αν. Τσόχα 16
Ταχ. κώδικας: 115 21
Πληροφορίες: Χρ. Καλαντζόπουλος
Τηλέφωνο: 64.28.211

ΘΕΜΑ: Εξέταση δείγματος αμιοβολίτης
ΣΧΕΤ:

Απαντώντας στην παραπάνω αίτησή σας σχετικά με την εξέταση ενός δείγματος αμιοβολίτης που μας προσκομίσατε, σας γνωστοποιούμε τα αποτελέσματα της εξέτασης ως προς την περιεκτικότητα των παρακάτω στοιχείων:

1. Σίδηρος (FE) : 24,46%
2. Πυριτικό υπόλειμμα (ως SiO₂) : 24,32%
3. Αργάλλιο (AL) : 2,79%
4. Ψευδάργυρος (Zn) : 5,45%
5. Πόλυβδος (PB) : 4,61%
6. Χαλκός (CU) : 2,29%
7. Χαλκός (CU) : 0,43%
8. Νικέλιο (NI) : 0,005%



JULY 2000

WIND DIRECTION

HOURS Lst

.....

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ENE
2	ENE	NNE	NNE	NE	NNE	NNE	N	NE	NE	NE	NE	NNE
3	NNE	E	ESE	E	ENE	E	E	SW	NW	NNE	NE	NE
4	NNE	NNE	NE	NNE	ENE	NNE	NNE	N	N	NE	NE	NNW
5	NE	NNE	NE	NNE	NE	NE	NNE	NNE	NE	SSW	SW	SSW
6	E	E	ESE	ESE	S	SE	ESE	C	SW	SW	SSW	SSW
7	NE	NNE	NNE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
8	NNE	ENE	NE	NNE	N	NNE	NE	NE	NE	NE	NNE	SSW
9	S	S	S	S	S	SSW	S	S	SSW	SSW	SSW	SSW
10	NW	WNW	W	WNW	NW	WNW	WNW	NW	NNW	WNW	WNW	WSW
11	WSW	W	S	NNW	NNE	NNE	NNE	W	WSW	SSW	SSW	SSW
12	SE	NNE	N	SW	NE	NNE	NNW	SW	SW	SSW	SSW	SSW
13	NNE	E	ESE	SW	SSW	S	S	SSW	WSW	W	W	W
14	NNW	WNW	W	WNW	NW	WNW	WNW	WNW	NW	WNW	NW	N
15	S	SSW	SW	W	WSW	SSW	ESE	SSW	SSW	SSW	WSW	SSW
16	WSW	W	W	W	W	SSW	SW	W	WSW	WSW	SW	SW
17	WNW	NW	NNW	W	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	W	SW
18	C	W	N	N	NE	N	NW	N	WSW	SSW	SSW	SSW
19	W	NW	N	N	NNE	N	N	NE	NE	NE	SSW	SSW
20	NE	ENE	NE	NNW	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
21	E	ENE	NE	ENE	ENE	NNE	NNE	NNE	NE	NNE	NNE	NE
22	NNW	N	N	N	N	N	NE	SSE	S	ENE	ENE	N
23	S	W	NE	NNE	ENE	NE	NNE	N	NNW	NNW	N	NNE
24	E	NNE	NNE	N	NNE	N	NNE	NNE	NNW	W	SW	SSW
25	N	NE	E	N	ENE	NNE	NNE	WSW	NE	NE	NE	NE
26	NNE	NNE	N	N	NNE	NNE	NNE	NNW	WNW	ENE	ENE	NE
27	NNE	NNE	E	E	ESE	E	E	NNE	WSW	SW	SSW	SW
28	NNE	E	NNE	NNE	NE	NNE	ENE	NNE	NE	NE	NE	NE
29	S	SSW	NNE	W	SSW	S	C	SW	SW	SW	SW	SW
30	SSW	SSW	SSW	SSW	S	W	NNW	WNW	WSW	SW	SSW	SSW
31	WSW	SSE	C	N	NNE	WSW	SW	S	S	WSW	SSE	NE

WIND VELOCITY
IN
METERS PER SEC.
=====

HOURS LST
.....

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
23	24	AVER																					
1	4.1	4.4	3.7	2.9	3.1	4.7	6.0	6.4	5.2	5.1	4.8	4.9	3.1	4.5	4.8	4.1	2.3	2.2	4.4	4.3	4.1	3.6	
3.4	2.2	4.1																					
2	1.2	1.4	3.0	4.0	3.3	2.2	1.8	5.1	6.8	6.8	6.4	5.5	6.2	6.7	6.9	6.4	6.3	5.7	5.4	4.7	4.5	4.1	
1.7	2.3	4.5																					
3	2.5	1.0	2.0	1.6	1.6	1.1	1.3	1.3	1.5	2.1	6.0	6.4	6.8	7.6	9.1	7.7	7.6	6.6	6.6	4.3	2.8	2.6	
1.3	1.6	3.9																					
4	2.4	2.2	2.2	2.7	0.8	1.5	1.5	1.5	1.1	4.5	4.4	3.7	3.8	3.8	5.6	3.2	3.8	2.5	1.7	1.4	2.0	2.4	
1.3	1.0	2.5																					
5	1.3	1.9	2.0	2.8	2.4	2.6	1.5	1.7	2.2	2.5	3.8	4.1	4.4	4.2	4.2	3.4	3.2	2.7	2.1	1.2	1.0	1.0	
1.8	1.5	2.5																					
6	1.3	1.1	1.0	0.6	0.8	0.9	1.0	0.3	1.5	1.5	2.7	3.9	4.7	5.3	5.0	4.7	3.8	2.9	2.7	1.0	1.1	1.9	
1.2	1.9	2.2																					
7	2.3	1.9	1.8	2.3	2.8	3.4	3.5	7.4	13.1	13.1	13.1	10.5	9.6	9.1	8.3	7.9	7.6	7.0	6.1	5.6	6.0	5.7	
4.8	6.0	6.6																					
8	2.9	4.5	4.0	2.1	2.2	2.2	2.4	2.5	4.1	4.1	2.6	3.5	4.5	4.3	4.0	3.6	3.3	2.9	1.9	1.1	0.3	1.6	
1.9	2.8	2.9																					
9	2.3	2.6	2.7	2.4	2.0	0.6	1.4	1.2	2.6	3.3	3.8	4.3	4.7	4.7	4.7	3.9	3.2	3.8	4.1	5.4	2.4	1.6	
2.7	2.6	3.0																					
10	3.1	3.0	3.2	3.4	3.0	2.6	3.6	2.9	3.4	3.9	3.9	3.1	3.8	6.2	5.4	4.7	5.4	5.2	4.3	3.8	2.6	2.3	
2.2	1.7	3.6																					
11	2.4	2.8	0.9	0.9	1.3	0.9	0.8	1.3	1.5	2.0	4.2	3.9	4.0	4.2	4.8	4.9	5.3	4.6	3.5	2.0	1.3	1.0	
0.2	0.2	2.5																					
12	0.5	0.9	1.1	1.1	1.2	1.5	0.7	0.8	2.0	2.6	3.2	3.6	4.0	4.4	3.7	3.6	2.9	2.5	2.1	2.1	2.2	0.9	
0.3	1.2	2.0																					
13	1.4	1.2	1.5	2.3	2.3	2.0	3.2	2.8	2.9	7.7	9.3	9.4	10.0	7.5	6.0	6.8	4.3	4.5	2.8	2.5	2.6	1.5	
2.8	2.4	4.2																					
14	2.8	2.6	3.8	3.9	3.3	3.0	3.1	3.9	3.7	4.5	4.5	3.0	4.2	4.7	5.4	6.1	6.5	6.3	5.4	5.3	4.5	3.6	
3.6	3.5	4.2																					

15	2.5	2.3	2.9	3.5	1.7	0.9	0.6	1.1	2.5	2.4	4.7	4.9	4.3	5.2	6.7	7.3	6.8	5.5	3.5	3.0	1.3	3.6
3.8	4.2	3.6																				
16	3.8	4.7	5.0	4.1	3.8	2.0	2.8	4.8	5.1	5.2	4.0	4.4	4.6	5.0	5.6	4.9	5.7	5.0	4.8	3.2	3.9	2.7
2.2	1.3	4.1																				
17	1.8	1.2	1.6	1.2	2.1	3.9	4.0	3.2	3.7	3.6	4.1	6.2	6.1	5.4	5.0	4.7	5.4	5.3	5.5	3.6	3.1	2.0
2.2	1.9	3.6																				
18	0.3	1.3	1.0	1.7	1.0	0.9	0.9	1.0	1.4	3.4	4.3	4.7	4.0	3.5	3.9	3.7	3.4	3.4	4.8	3.6	2.0	
0.5	0.9	2.5																				
19	0.7	1.3	1.5	2.1	1.8	2.1	1.8	2.1	4.6	3.8	3.6	3.5	4.4	5.2	4.6	2.6	4.2	6.3	5.7	5.6	4.2	3.9
5.1	5.3	3.7																				
20	2.7	3.4	3.9	2.0	2.2	4.0	6.0	8.2	8.6	8.4	7.0	6.4	5.7	4.7	2.8	3.1	4.6	6.4	6.6	6.4	5.2	4.5
4.8	2.1	5.0																				
21	2.2	1.8	1.6	1.3	2.1	1.9	1.8	3.6	6.8	6.6	6.8	6.7	5.5	6.2	7.1	7.4	6.9	4.4	3.1	4.2	2.0	1.1
1.8	2.3	4.0																				
22	2.3	2.0	2.0	1.8	1.7	1.9	1.4	1.2	1.2	1.7	3.4	2.6	5.7	3.9	3.2	4.6	3.5	1.8	2.5	1.7	2.0	1.6
2.0	2.3	2.4																				
23	1.7	0.6	0.7	1.2	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.8	2.4	2.8	2.7	5.0	5.5	5.5	4.7	4.2	3.9	3.6	2.7	2.3
0.7	1.6	2.5																				
24	1.0	1.2	1.5	1.9	1.0	1.6	1.0	1.0	1.1	2.2	3.5	4.6	5.3	4.9	4.9	4.7	4.6	3.2	1.9	1.6	1.0	1.9
1.5	1.2	2.4																				
25	1.4	2.0	1.8	1.6	1.2	1.4	1.0	1.0	2.7	5.5	6.9	7.2	6.9	6.9	7.5	7.7	7.3	6.3	6.0	3.7	1.8	2.1
1.5	1.6	3.9																				
26	1.7	1.9	1.7	1.8	2.0	1.5	1.0	1.2	1.1	3.3	6.7	6.1	4.7	5.1	3.8	2.2	2.4	2.7	3.8	2.0	1.4	1.0
0.5	1.6	2.5																				
27	1.9	1.4	1.2	1.0	0.5	1.2	0.9	1.2	1.1	2.3	2.9	3.2	3.8	3.7	3.8	4.6	3.1	3.7	2.0	0.9	1.1	1.9
2.0	1.2	2.1																				
28	1.4	1.4	0.9	1.4	2.2	1.9	1.9	3.6	5.3	5.8	5.6	4.1	3.6	4.1	4.2	3.4	2.1	4.0	3.8	2.6	1.9	2.6
2.6	2.7	3.0																				
29	1.6	0.9	0.7	1.0	1.4	0.6	0.2	0.8	1.1	2.1	3.1	3.8	4.4	5.6	5.3	5.2	5.2	3.7	2.9	1.3	1.0	
1.5	2.8	2.6																				
30	2.7	2.3	2.1	1.4	1.0	1.1	1.5	2.0	3.0	4.0	4.1	4.6	5.3	4.8	4.6	4.5	5.3	3.4	2.3	1.5	0.5	
0.5	1.3	2.7																				
31	0.8	0.4	0.2	1.1	1.0	1.0	1.3	2.6	1.9	1.6	1.3	3.8	7.4	7.7	8.1	8.8	8.0	7.9	7.9	6.8	7.3	6.8
5.8	6.8	4.4																				

AVERAGE MONTHLY VALUE = 3.3

.....

JULY 2000

FREQUENCIES OF WIND DIRECTION

=====

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

N= 37

NNW= 14

NNE= 73

NW= 12

NE=139

WNW= 26

ENE= 36

W= 36

E= 24

WSW= 38

ESE= 10

SW= 93

SE= 2

SSW=141

SSE= 9

S= 46

FREQUENCIES PER CENT

=====

NNE= 9.81 NE=18.68 ENE= 4.84 E= 3.23 ESE= 1.34 SE= 0.27 SSE= 1.21 S= 6.18
 SSW=18.95 SW=12.50 WSW= 5.11 W= 4.84 WNW= 3.49 NW= 1.61 NNW= 1.88 N= 4.97

C= 1.08

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

FREQUENCIES OF WIND VELOCITY-DIRECTION
 HOURLY VALUES (VELOCITY IN METERS PER SECOND)

DIRECTION		0-1	1-2	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16>..	TOTAL
MEAN VEL	MAX VEL	-----											
1.8	N 5.3	1.	26.	8.	1.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	37.0
2.3	NNE 7.7	5.	38.	15.	5.	6.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	73.0
5.2	NE 13.1	2.	10.	19.	13.	38.	45.	8.	1.	3.	0.	0.	139.0
4.2	ENE 9.1	1.	7.	3.	6.	8.	9.	2.	0.	0.	0.	0.	36.0
2.1	E 6.3	1.	16.	3.	0.	3.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	24.0
1.0	ESE 2.0	5.	4.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	10.0
0.7	SE 0.9	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.0
1.1	SSE 1.7	3.	6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	9.0
2.3	S 5.3	3.	15.	17.	6.	5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	46.0
3.8	SSW 7.3	4.	8.	32.	32.	58.	7.	0.	0.	0.	0.	0.	141.0

3.3	SW	6.2	3.	13.	23.	20.	32.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	93.0
2.4	WSW	5.4	3.	16.	7.	7.	5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	38.0
3.6	W	10.0	3.	8.	6.	6.	7.	3.	2.	1.	0.	0.	0.	0.	36.0
3.3	WNW	6.0	0.	3.	5.	14.	3.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	26.0
2.5	NW	4.5	1.	4.	2.	4.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12.0
1.9	NNW	3.7	2.	7.	3.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	14.0

C= 8.

□

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

AUGUST 2000

WIND DIRECTION

HOURS LST

.....

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	NNE	NE	NE	NE	NE	NE	N	NE	NE	NE	NE	NE
2	NNE	NNE	NE	NE	NE	NE	N	NNE	NNE	ENE	S	SSW
3	NE	NE	ESE	NE	NE	NE	NNE	NE	NNE	NNE	NNE	NE
4	NE	NNE	NNE	NNE	N	W	NNE	NE	NNE	NNE	NNE	NNE
5	N	NE	NNE	NNE	NNE	N	N	NNW	NNW	NNW	NNW	NE
6	N	NNE	N	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW
7	N	N	NNE	NNE	ENE	ENE	N	NNW	NNW	NNW	NNW	NW
8	ESE	NE	NNE	NNE	NE	C	C	SSW	SW	SW	SSW	SW
9	S	C	C	NNE	NE	NE	N	WNW	NW	ENE	N	NE
10	NNE	NNE	N	N	N	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NE	NE
11	N	NNE	N	NNW	N	NE	N	N	NNW	NNW	N	NNW
12	NW	NNW	N	NNW	NNW	N	NNW	NNW	N	N	NE	NE
13	NNE	NNE	NNE	ENE	E	ENE	NE	ENE	WSW	NW	N	NE
14	NE	ENE	C	E	S	NE	NNW	ENE	NE	NE	NNE	NE
15	NNE	ENE	E	NNE	NE	NNE	NNE	NNE	NE	NE	NNE	NNE
16	SW	NNE	SE	N	N	NNE	NNE	ENE	NE	NNW	NE	NE
17	NNE	NNE	NNE	NE	NNE	N	NNE	NE	NE	NE	NE	NE
18	N	N	N	N	NNE	NNE	NNE	N	NE	NE	NE	NE
19	NNE	NNE	NNE	NNE	N	N	NNE	NNE	NE	NE	NE	NE
20	NE	NE	E	NNE	NNE	NNE	NE	NNE	NNE	NE	NE	NNE
21	NE	NNE	NNE	NNE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
22	NNE	NE	NNE	S	S	N	N	N	NE	NE	NE	NE
23	NE	NNE	NE	ESE	E	E	ESE	ESE	NNE	NE	NNE	NE
24	N	N	N	NNE	NNW	E	NNE	NNE	NNE	NNW	NE	NE
25	NNE	NE	NE	NE	NE	NE	NW	NE	NE	NE	NE	NE
26	NNE	ENE	NNE	NNE	NNE	NNE	NE	NNW	S	SSE	E	ESE
27	ENE	NE	NE	ENE	NE	NE	NE	NNE	NE	NE	ENE	SSW
28	N	N	N	N	NNE	N	C	WSW	SW	SW	SW	SW
29	SSE	SE	ENE	E	E	ENE	C	NNE	NNW	NE	ENE	SSW
30	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ENE
31	NNE	E	NNE	NNE	N	ENE	NNE	NW	SW	SW	SW	SSW

15	2.0	1.9	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7	4.2	7.1	7.6	9.0	9.2	9.0	7.9	7.6	8.5	8.4	8.9	7.9	6.3	4.1	4.1
6.0	3.8	5.6																				
16	1.5	1.6	1.1	2.2	2.6	1.3	1.9	2.0	1.5	1.7	4.2	5.6	8.5	8.3	8.4	8.3	8.2	8.8	8.3	7.4	4.5	4.9
5.6	5.6	4.7																				
17	5.5	6.5	3.8	6.0	5.0	4.2	4.9	4.1	7.6	7.6	7.9	8.2	7.7	8.2	7.5	7.7	7.2	6.5	6.8	6.5	4.4	4.5
2.4	3.0	6.0																				
18	1.9	1.2	2.2	2.5	2.2	4.3	2.9	2.0	3.4	7.2	7.9	8.4	8.3	8.9	9.3	9.6	8.6	7.1	5.1	4.5	2.8	2.0
2.3	2.1	4.9																				
19	3.7	5.3	5.7	4.0	2.5	2.3	2.1	4.1	6.4	8.7	8.5	9.1	8.0	7.6	7.3	7.5	9.2	8.7	7.8	5.4	4.6	4.4
3.8	3.6	5.8																				
20	3.4	2.5	2.2	2.0	3.8	3.9	4.6	7.3	8.1	9.6	10.6	9.5	10.2	10.1	9.5	9.4	8.5	7.6	6.8	3.8	4.6	6.9
5.3	4.3	6.4																				
21	4.2	5.0	4.7	2.7	2.5	7.6	7.2	8.5	11.6	11.7	12.0	11.2	10.8	10.6	10.9	9.9	9.6	9.2	5.9	4.1	2.9	4.5
5.3	5.1	7.4																				
22	6.3	5.7	2.3	2.4	2.6	2.0	1.3	2.2	3.3	7.9	8.6	8.2	7.3	8.1	8.1	8.2	7.2	7.7	6.6	5.0	3.8	3.8
3.0	3.4	5.2																				
23	3.3	2.2	2.3	1.3	3.0	2.3	1.2	1.1	4.3	7.5	7.1	7.9	7.4	6.9	5.9	7.1	6.0	7.1	6.3	3.0	2.3	2.4
2.0	2.2	4.3																				
24	2.1	1.9	1.9	1.5	1.1	1.5	1.9	2.0	1.5	1.9	3.6	2.4	3.8	4.4	4.4	4.0	2.2	2.3	3.4	3.0	1.4	1.1
1.5	1.7	2.4																				
25	3.0	6.1	8.4	6.0	5.8	2.9	1.3	5.2	7.7	7.4	6.9	6.9	7.9	8.3	6.8	6.4	7.3	7.0	5.1	5.0	2.0	1.8
1.4	1.3	5.3																				
26	2.0	1.8	1.7	1.6	1.8	1.5	1.6	1.0	1.2	1.3	1.1	1.6	2.7	3.9	4.7	4.5	5.6	5.2	4.9	2.4	1.7	2.2
3.4	4.0	2.6																				
27	3.0	2.5	5.8	7.3	6.8	6.2	3.7	2.5	1.8	1.6	1.8	3.3	4.3	4.5	4.5	4.0	5.5	4.9	4.2	1.9	1.8	1.6
1.7	1.3	3.6																				
28	1.1	1.2	1.3	1.2	0.7	1.3	0.2	0.9	2.3	3.1	3.7	4.5	5.7	6.2	5.8	6.4	6.3	5.0	5.1	4.0	3.2	2.7
2.2	2.4	3.2																				
29	2.1	1.9	1.0	1.9	1.1	0.6	0.3	1.2	1.0	2.8	3.9	2.7	3.6	4.1	5.7	6.2	6.0	6.0	5.0	4.4	4.0	4.6
5.6	6.9	3.4																				
30	5.9	5.9	5.4	5.0	5.9	7.6	7.2	6.3	6.6	6.3	6.3	5.8	4.7	2.3	2.6	5.6	5.5	4.9	4.4	2.7	1.8	1.4
0.3	0.7	4.6																				
31	1.1	1.4	1.1	1.0	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	2.4	3.6	4.0	3.8	4.0	4.8	5.1	4.9	4.3	4.1	2.7	2.4	2.0
2.2	1.8	2.5																				

AVERAGE MONTHLY VALUE = 4.4

.....

AUGUST 2000

FREQUENCIES OF WIND DIRECTION

=====

N= 79

NNW= 40

NNE=178

NW= 7

NE=254

WNW= 1

ENE= 45

W= 4

C= 8

E= 23

WSW= 6

ESE= 6

SW= 23

SE= 4

SSW= 43

SSE= 4

S= 19

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

FREQUENCIES PER CENT

=====

NNE=23.92 NE=34.14 ENE= 6.05 E= 3.09 ESE= 0.81 SE= 0.54 SSE= 0.54 S= 2.55
 SSW= 5.78 SW= 3.09 WSW= 0.81 W= 0.54 WNW= 0.13 NW= 0.94 NNW= 5.38 N=10.62

C= 1.08

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

3.2	SW	4.5	0.	3.	4.	9.	7.	0.	0.	0.	0.	0.	23.0
2.6	WSW	4.4	1.	2.	0.	2.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	6.0
1.6	W	2.3	0.	3.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	4.0
1.2	WNW	1.2	0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.0
2.0	NW	3.1	1.	2.	3.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	7.0
2.7	NNW	5.3	0.	11.	12.	12.	5.	0.	0.	0.	0.	0.	40.0

C= 8.

□

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ
ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦ-1

Σχ1-1	«Ιδανική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων ατμόσφαιρας κατά μέγεθος»	σελ10
Γρ1-2	«Χρόνος αιώρησης σωματιδίων συναρτήσει της διαμέτρου τους. Τα στοιχεία αναφέρονται σε μέγιστο ύψος 100 μέτρα και στις περιπτώσεις που γίνεται ανάδευση του αέρα stirred (β) ή όχι (α) still»	σελ10
Σχ1-3	«Η θέση εναπόθεσης στο αναπνευστικό σύστημα αναλόγως του μεγέθους των σωματιδίων»	σελ11
Γρ1-4	«Μια ιδανική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων όπου φαίνονται τα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα σωματίδια καθώς και τα κλάσματα PM ₁₀ και PM _{2,5} »	σελ12
Πιν1-5	«Κατάταξη των αιωρούμενων σωματιδίων»	σελ13
Πιν1-6	«Οργανικός και στοιχειακός άνθρακας στα καυσαέρια των κινητήρων των αυτοκινήτων»	σελ15
Πιν1-7	«Σύσταση λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων και οι κυριότερες πηγές τους»	σελ18
Σχ1-8	«Κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά»	σελ21

ΚΕΦ-2

Σχ2-1	«Αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας - $PM_{2,5}$ »	σελ23
Σχ2-2	«Παράδειγμα επίδρασης των σωματιδίων στην οπτική διαδρομή και την ορατότητα»	σελ24
Σχ2-3	«Ανατομία του αναπνευστικού συστήματος»	σελ26
Γρ2-4	«Το κλάσμα εναπόθεσης των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σε σχέση με το μέγεθος τους»	σελ27

ΚΕΦ-3

Πιν3-1	«Πρότυπα ποιότητας κατά US-EPA για PM_{10} »	σελ39
Πιν3-2	«Πρότυπα ποιότητας κατά US-EPA για $PM_{2,5}$ »	σελ39
Πιν3-3	«Προτεινόμενες τιμές κατά το 1983 στην ΕΟΚ για TSP, ολικά αιωρούμενα σωματίδια»	σελ40
Πιν3-4	«Όρια και ημερομηνίες συμμόρφωσης για τα PM_{10} με βάση την οδηγία της ΕΕ»	σελ41
Πιν3-5	«Όρια και ημερομηνίες συμμόρφωσης για τα $PM_{2,5}$ με βάση την οδηγία της ΕΕ»	σελ42

Πιν3-6	«Κατηγορίες επικινδύνων ουσιών και ταξινόμησή τους»	σελ45
Πιν3-7	« PEL _s -TWA της OSHA για εργασία 40ώρου την εβδομάδα με 8ωρο την ημέρα»	σελ49
Πιν3-8	«Τυπική χημική ανάλυση δείγματος αμμοβολής και τα αντίστοιχα PELs»	σελ52
Πιν3-9	«Κοκκομετρική ανάλυση αμμοβολής»	σελ54
Πιν3-10	«Όρια ασφαλούς έκθεσης σε προϊόντα πυριτίου»	σελ54

ΚΕΦ-4

Σχ4-1	«Δειγματολήπτης υψηλής παροχής»	σελ58
Πιν4-2	«Οι πρότυπες κατά US-EPA μέθοδοι του 1996»	σελ60
Πιν4-3	«Οι ιδιότητες των υλικών κατασκευής φίλτρων»	σελ62
Πιν4-4	«Αποτελέσματα συγκριτικής αξιολόγησης φίλτρων»	σελ64
Πιν4-5	«Διάφοροι τύποι φίλτρων»	σελ64

Σχ4-6	«Κεφαλή δειγματοληψίας για PM_{10} και τα τμήματα από τα οποία αποτελείται»	σελ69
Σχ4-7	«Η διαδρομή του αέρα μέσα από τον κρουστικό διαχωριστήρα και τα τμήματά του»	σελ70
Σχ4-8	«Θέση φίλτρου στο δειγματολήπτη, κάτω από τις κεφαλές»	σελ71
Πιν4-9	«Χαρακτηριστικά στοιχεία του ζυγού»	σελ73
ΚΕΦ-5		
Πιν5-1	«Μετρήσεις κατά τη θερινή περίοδο δειγματοληψίας»	σελ78
Γρ5-2	«Σύγκριση $PM_{2,5}$ βιομηχανίας και Αριστοτέλους»	σελ79
Γρ5-3	«Σύγκριση των PM_{10} βιομηχανίας με της Αριστοτέλους κατά τη θερινή περίοδο»	σελ79
Γρ5-4	«Γραμμική συσχέτιση PM_{10} βιομηχανίας με PM_{10} Αριστοτέλους τη θερινή περίοδο»	σελ80
Πιν5-5	«Αποτελέσματα μετρήσεων και σύγκριση, θερινής περιόδου»	σελ80
Πιν5-6	«Β' Περίοδος μετρήσεων»	σελ82

Πιν5-7	«Σύγκριση αποτελεσμάτων β' περιόδου»	σελ83
Σχ5-8	« Σύγκριση PM ₁₀ βιομηχανίας και Αριστοτέλους συνολικά»	σελ83
Γρ5-9	«Ανηγμένη μέση τιμή για ολικά στερεά σωματίδια ανά οκτάωρο»	σελ84
Πιν5-10	«Συνολικά συγκριτικά αποτελέσματα»	σελ84
Γρ5-11	«Συνολικά αποτελέσματα μετρήσεων PM ₁₀ στη βιομηχανία»	σελ86
Πιν5-12	«Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου κατά τις μέρες της θερινής δειγματοληψίας»	σελ89

Πανεπιστήμιο Περραιφών

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ & ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- 1 • U.S – EPA, Office of Research and Development, ‘Air Quality Criteria for Particulate Matter’ Federal Register 61(89): 20522, 5/7/96
- 2 • Dr Paterson K. (1995), ‘CE352 Air Particulate Laboratory : analysis of second hand smoke, types of air particulate, representatives of air particulate’ <http://www.bic.ac.civil.mtu.edu/public-html/classes/cd352/labs/particulates.html> (size.html – type.html)
- 3 • Natural Resources Defence Council (1996), ‘Danger in the Air: Thousands of Early Deaths could be Averted with cleaner Air Standards’ <http://www.nrdc.org/find/aibresum.html>
- 4 • Chow Judith (1995), ‘Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles’ J. Air & Waste Management Association, vol45, May 1995
- 5 • European Environment Agency & World Health Organization (1999), ‘Air and Health – Some Common Air Pollutants’ <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/air%20pollutants.html>
- 6 • Atmospheric Research and Information Center (Dr D. Raper, 1997), ‘ARIC Briefing note: Particulate Matter’ <http://doc.mmu.ac.uk/aric/notes/bn25.html>
- 7 • Technical working group on particles (European Commission, 24/7/96), ‘Ambient air pollution by particulate matter – Draft position paper’ version4.0
- 8 • European Environmental Agency & World Health Organization (EEA&WHO 1999), ‘Air and Health Sources of air pollution’ <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/sources.html>
- 9 • Watson John, Chow Judith, DuBois David, Green Mark, Frank Neil, Pitchford Marc (1997), ‘Guidance for network design and optimum site exposure for PM_{2,5} and PM₁₀’ Office of Air Quality Planning and Standards U.S – EPA
- 10 • De Nevers Noel (1995), ‘Air Pollution Control Engineering’ Mc Graw Hill, USA
- 11 • Watson John, Chow Judith, Moosmoller Hans, Green Mark, Frank Neil, Pitchford Marc (1998), ‘Guidance for using continuous monitors in PM_{2,5} monitoring network’ Office of Air Quality Planning and Standards U.S – EPA
- 12 • EEA&WHO (1999), ‘Air and Health – Dispersal of Air Pollutants’ <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/dispersal.html>
- 13 • US – EPA (1997), ‘EPA Region 9: Breathing Easier 1996: Particulate Matter’ <http://www.epa.gov/region09/air/breath96/pm10.html>
- 14 • US - EPA (1997), ‘Information on Particulate Matter’ <http://www.epa.gov/oar/oaps/regusmog/infpart.html>
- 15 • California Air Resources Board (Dpt of the California EPA), 7/10/1998, ‘Air pollution sources, Health effects and controls’ <http://www.arb.ca.gov/health/health.htm>

- 16 • A. Χαλουλάκου – Χριστοδουλάκη (2000), ‘Σημειώσεις του μαθήματος «Υγιεινή και Ασφάλεια της Εργασίας» στα πλαίσια του παρόντος Μεταπτυχιακού Προγράμματος
- 17 • Επιστημονικές μελέτες και διαγράμματα που παραλάβαμε από τον αντιπρόσωπο των δειγματοληπτών μαζί με τις οδηγίες για τα όργανα
- 18 • Lents James and Kelly William (1993), ‘Clearing the air in Los Angeles’ Scientific America, Oct. 1993
- 19 • Environmental Manager, ‘Particulate Matter Firmly Linked to Deaths. Sould EPA Alter Particulate Matter Standards?’ vol 1, Apr1995
- 20 • Americal Lung Association of Washington (1/4/1999), ‘Facts about particulate matter air pollution’ <http://www.alaw.org/pmfact.html>
- 21 • Natural Resources Defense Council (5/7/1996), ‘Air Pollution FAQ’ <http://mail.igc.apc.org/nrdc/faqs/aibrefaq.html>
- 22 • The why files (1999), ‘The Air We Breathe’ http://news3.news.wisc.edu/030air_pollution/air5.html
- 23 • EEA&WHO (1999), ‘Air and Health – Conclusion’ <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/conclusion.html>
- 24 • EEA&WHO (1999), ‘Air and Health – Epidemiology’ <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/epidemiology.html>
- 25 • Θέματα Επαγγελματικής Υγείας (Φεβρουάριος 2000), ΕΛΙΝΥΑΓΕ
- 26 • OSHA, ‘Preventing Silicosis and Deaths from Sandblasting’
- 27 • EEA (1999), ‘Air and Health – Air quality guidelines’ <http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/air/AirHealth/taking/%20action.htm>
- 28 • U.S – EPA (1997), ‘Current and revised standards for Ozone and Particulate Matter’ <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/current.html>
- 29 • U.S – EPA (1997), ‘What changes were made to the particulate matter’ <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/partstan.html>
- 30 • U.S – EPA (1997), ‘40 CFR Part 50: National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Final Rule’ Federal Register, vol 62, No 138, 18/7/1997
- 31 • Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1997), «Πρόταση του Συμβουλίου σχετικά με τις οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (EE C9/98)
- 32 • Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1997), «Τροποποιημένη πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου σχετικά με τις οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (EE C259/98)
- 33 • Occupational Safety and Health Administration (OSHA 1997), ‘OSHA Regulation (standards CFR29) Table Z-1: Limits for Air Contaminants 1910.1000’ http://www.osha-slc.gov/OshStd_data/1910_1000_TABLE_Z-1.html

- 34 • Occupational Safety and Health Administration (OSHA 1995), 'OSHA Standards Interpretation and Compliance Letters, 10/06/1995 – An interpretation on 8-hr total weight average permissible exposure limit' http://www.osha-slc.gov/OshDoc/Interp_data/119951006.html
- 35 • Occupational Safety and Health Administration (Revision Date: 29 April 1999), 'Permissible Exposure Limits' <http://www.osha-slc.gov/SLTC/pel/index.html>
- 36 • «Specifications» Εταιρειών Αμμοβολών Βαφών
- 37 • Hartier Kevin L. and Weitz Mark A. (1998), « A comparison of filter types in the collection and gravimetric determination of airborne particulate matter less than 2.5 microns» J. Air and Waste Management Assoc. vol 48 Dec.1998
- 38 • Hosokawa MikroPul company (1999), 'MikroPul Dust Collector Filter Bags' <http://www.nauticom.net/www/jhorst/dcbags.htm>
- 39 • British Columbia Ministry of Environment, Lands & Parks (1996), 'The Environmental Protection Compendium; Air Monitoring Guidelines: volume I, particulate (non-continuous), Part-1: Total Suspended Particulate, PM₁₀ Inhalable Particulate: High-Volume, PM₁₀ Inhalable Particulate:Low-FlowRate' <http://www.env.gov.bc.ca/~cpr/guidelns/amgv1pnc.html>
- 40 • U.S – EPA, Human Exposure and Atmospheric Sciences Division, National Exposure Research Laboratory (1998), 'Quality Assurance Handbook, vol II, part II, Document 2.12: Monitoring PM_{2.5} in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods' Nov 1998
- 41 • Mettler Toledo (1996), 'Laboratory Catalog 1996, from basic weighting to the most advanced application solutions'
- 42 • Γ. Γρίβας, «Αιωρούμενα Σωματίδια και Εκτίμηση της Ποιότητας της Ατμόσφαιρας στην Αθήνα» Διπλωματική εργασία
- 43 • Κ. Μητροπέτρου, «Μέτρηση Αιωρούμενων Σωματιδίων (PM₁₀ και PM_{2.5}) στην Ατμόσφαιρα της Αθήνας. Στατιστική Επεξεργασία Χρονοσειρών Συγκεντρώσεων»