



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Ανίχνευση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων
στον αέρα εσωτερικών χώρων**

Δικαία Ε. Σαραγά
Φυσικός, MSc

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΘΗΝΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ανίχνευση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα εσωτερικών χώρων

Δικαία Ε. Σαραγά
Φυσικός, MSc

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ι.Γ. Μπάρτζης, Καθηγητής ΠΔΜ (Επιβλέπων)

Σ. Ανδρονόπουλος, Ερευνητής Β' ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος"

Χ. Βασιλάκος, Ερευνητής Β' ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος"

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ι.Γ. Μπάρτζης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Ε. Κικκινίδης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Γ. Πηλίδης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Κ. Χέλμης, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Σ. Ανδρονόπουλος, Ερευνητής Β' ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος"

Χ. Βασιλάκος, Ερευνητής Β' ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος"

Γ. Μαρνέλλος, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Πρόλογος-ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών του Ινστιτούτου Πυρηνικής Τεχνολογίας και Ακτινοπροστασίας του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" σε συνεργασία με το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Η εκπόνηση της διατριβής χρηματοδοτήθηκε με υποτροφία που χορηγήθηκε από το Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος". Ολοκληρώνοντας την εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην προσπάθεια αυτή.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. *Ι. Γ. Μπάρτζη* για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την αρχή της διατριβής και την πολύτιμη συνεισφορά του με υποδείξεις καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για όλες τις ευκαιρίες που μου έδωσε να εκπαιδευτώ στο αντικείμενο της μελέτης ποιότητας του εσωτερικού αέρα και τις πρωτοβουλίες που μου επέτρεψε να πάρω.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στους επιβλέποντες Ερευνητές από το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος". Πιο συγκεκριμένα, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον *Δρ. Σ. Ανδρονόπουλο* για την άψογη συνεργασία, την εμπιστοσύνη, και την βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια της εργασίας. Επίσης, θερμότερες ευχαριστίες οφείλω στον *Δρ. Χ. Βασιλάκο*, καθώς από το προπτυχιακό στάδιο των σπουδών μου, με έμαθε να παίρνω πρωτοβουλίες και μου έδωσε την ευκαιρία να εκπαιδευτώ σε έναν άρτιο εργαστηριακό χώρο, όντας αρωγός σε κάθε μου προσπάθεια.

Τις θερμότερες ευχαριστίες οφείλω και σε δύο πολύ καλούς φίλους και άψογους συνεργάτες: τον *Δρ. Αθ. Σφέτσο*, για την περισσότερο από πολύτιμη βοήθειά του, τις συμβουλές, τις παρεμβάσεις και την καθοδήγησή του και τον *Δρ Θ. Μάγγο*, για

την εμπιστοσύνη, τα εύστοχα σχόλια και τη βοήθειά του στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο.

Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για τα σχόλια και τις υποδείξεις τους. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. *Κ. Χέλμη*, τόσο για τις υποδείξεις του στο πειραματικό μέρος της εργασίας, όσο για την εκπαίδευση που μου προσέφερε στις προπτυχιακές και μεταπτυχιακές σπουδές μου, θέτωντας τις βάσεις για την πορεία μου στη συνέχεια.

Μέσα σε μία πορεία τεσσάρων ετών, υπήρξαν φίλοι που με την παρουσία τους, στήριξαν την προσπάθεια αυτή και κατανόησαν τις δυσκολίες και τις απαιτήσεις της. Σε όλους τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ.

Τέλος, ας μου επιτραπεί να απευθύνω το πιο μεγάλο ευχαριστώ σε δύο υπέροχους γονείς που στάθηκαν κολώνες στην προσπάθεια και τα όνειρά μου και με βοήθησαν να μετατρέψω όλες τις δυσκολίες σε δύναμη και πείσμα και να πραγματοποιήσω ο,τι φαινόταν ακατόρθωτο.

Δικαία Ε. Σαραγά

Χωρίς τὴ μαθηματικὴ τάξη, δὲν στέκει
τίποτε: Οὔτε οὐρανὸς ἑναστρος,
οὔτε ρόδο. Προπαντὸς ἓνα ποίημα.
Κι εὐτυχῶς ὅτι μ' ἔκανε ἡ μοῖρα μου
γνώστη τῶν μουσικῶν ἀριθμῶν,
ὅτι κρέμασε μίαν ἀχτίνα ἐπὶ πλέον
τὸ ἄστρο τῆς ἡμέρας στήν ὄρασή μου
καὶ κάνοντας τὰ γόνατά μου τραπέζι
ἐργάζομαι, ὡς νὰ ἴταν νὰ φτιάξω
ἓναν ἑναστρο οὐρανό, ἢ ἓνα ρόδο.

(Νικηφόρος Βρεττάκος Οἱ μουσικοὶ ἀριθμοὶ)

στον ἀδελφό μου Πέτρο

Περιεχόμενα

Πρόλογος-ευχαριστίες

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1 : Αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα εσωτερικών χώρων

1.1	Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων.....	1
1.1.1	Πηγές ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον.....	2
1.1.2	Ρύποι αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος.....	4
1.2	Αιωρούμενα σωματίδια.....	7
1.2.1	Γενικά.....	7
1.2.2	Κατανομή μεγέθους μάζας και αριθμού σωματιδίων.....	8
1.2.3	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	9
1.3	Μετρήσεις προφίλ πηγών αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους - βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	12
1.3.1	Πηγές καύσης.....	14
1.3.2	Πηγές σχετικές με μαγείρεμα.....	16
1.3.3	Πηγές σχετικές με επαναιώρηση.....	17
1.3.4	Πηγές που περιλαμβάνουν θερμαινόμενες επιφάνειες.....	18
1.3.5	Σπρέυ.....	19

Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογίες ανίχνευσης πηγών σωματιδίων και εκτίμησης των συνεισφορών τους

2.1	Η μεθοδολογία Source Apportionment.....	23
2.2	Receptor models-μοντέλα αποδέκτη.....	25
2.2.1	Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis).....	29
2.3	Το μοντέλο της Positive Matrix Factorization (PMF).....	31
2.3.1	Εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων/πηγών.....	35
2.3.2	Αποτέλεσμα της PMF και ταυτοποίηση παραγόντων με πηγές.....	36
2.4	Μελέτες receptor modeling για αιωρούμενα σωματίδια-Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	38

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού και μεθοδολογίας μετρήσεων

3.1.	Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού.....	47
3.2	Μετρήσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον (chamber room).....	51
3.2.1	Περιγραφή χώρου.....	51
3.2.2	Μεθοδολογία μετρήσεων.....	52
3.3	Μετρήσεις σε κατοικία και γραφείο.....	58
3.3.1	Περιγραφή χώρων.....	58
3.3.2	Μεθοδολογία μετρήσεων.....	61

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα μετρήσεων από δωμάτιο δοκιμών (chamber room)

4.1	Εισαγωγή.....	64
4.2	Πηγές καύσης.....	65
4.2.1	Κάπνισμα.....	65
4.2.2	Καύση αρωματικών κεριών.....	73
4.2.3	Καύση αρωματικών στικς.....	76
4.2.4	Συμπεράσματα για τις πηγές καύσης.....	79
4.3	Πηγές επαναιώρησης.....	81
4.3.1	Ξεσκόνισμα.....	81
4.3.2	Υγρό ξεσκόνισμα.....	84
4.3.3	Τίναγμα μαξιλαριών.....	87
4.3.4	Τοποθέτηση μοκέτας.....	90
4.3.5	Περπάτημα σε μοκέτα.....	93
4.3.6	Περπάτημα χωρίς μοκέτα.....	96
4.3.7	Σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα.....	99
4.3.8	Σκούπισμα με απλή σκούπα.....	102
4.3.9	Σφουγγάρισμα.....	105
4.3.10	Συμπεράσματα για τις πηγές επαναιώρησης.....	108
4.4	Πηγές σχετικές με μαγείρεμα.....	110
4.4.1	Τηγάνισμα.....	110
4.4.2	Ψήσιμο σε grill.....	113
4.4.3	Βράσιμο.....	117

4.4.4	Καφετιέρα.....	120
4.4.5	Τοστιέρα.....	123
4.4.6	Εστία υγραερίου (γκαζάκι).....	126
4.4.7	Εστία κεραμική κουζίνας (ηλεκτρική).....	129
4.4.8	Συμπεράσματα για τις πηγές σχετικές με μαγείρεμα.....	132
4.5	Πηγές σπρέυ.....	133
4.5.1	Αρωματικό σπρέυ χώρου.....	133
4.5.2	Καθαριστικό σπρέυ.....	136
4.5.3	Καλλυντικό σπρέυ.....	139
4.5.4	Σπρέυ μαλλιών (λακ).....	142
4.5.5	Συμπεράσματα για τις πηγές σπρέυ.....	145
4.6	Άλλες πηγές.....	146
4.6.1	Σιδέρωμα.....	146
4.6.2	Τρίψιμο ξύλινης επιφάνειας.....	149
4.7	Υπολογισμός ρυθμού εκπομπής (emission rate) και ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης (sink rate).....	152
4.8	Συζήτηση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον.....	158

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα μετρήσεων σε πραγματικό περιβάλλον γραφείου και κατοικίας

5.1	Αποτελέσματα μετρήσεων σε περιβάλλον γραφείου.....	167
5.2	Αποτελέσματα μετρήσεων σε περιβάλλον κατοικίας.....	172

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη Positive Matrix Factorization

6.1	Αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στο περιβάλλον γραφείου.....	179
6.1.1	Εφαρμογή στις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων.....	179
	Α. Γραφείο καπνιζόντων	
	Β. Γραφείο μη καπνιζόντων	
6.1.2	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στους χώρους γραφείων.....	186
6.1.3	Εφαρμογή στις μετρήσεις μάζας σωματιδίων.....	188

6.1.4	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις μάζας σωματιδίων στους χώρους γραφείων.....	194
6.1.5	Γενικά συμπεράσματα-συζήτηση για την εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις αριθμού και μάζας σωματιδίων στους χώρους γραφείων.....	196
6.2	Αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στο περιβάλλον κατοικίας.....	198
6.2.1	Εφαρμογή στις μετρήσεις <i>αριθμού</i> σωματιδίων.....	198
	I. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα	
	II. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας	
	III. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι	
6.2.2	Εφαρμογή στις μετρήσεις <i>μάζας</i> σωματιδίων.....	209
	I. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα	
	II. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας	
	III. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι	
6.2.3	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις αριθμού και μάζας σωματιδίων στον χώρο της κατοικίας.....	218
6.3	Μελέτη του κατάλληλου διαστήματος υπολογισμού μέσου όρου στα στοιχεία εισόδου της PMF.....	227

Κεφάλαιο 7: Σύνοψη- συμπεράσματα.....	231
--	------------

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει οδηγήσει τον άνθρωπο στην κατανάλωση περισσότερου από το 80% του χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους (κατοικία, εργασιακός χώρος, δημόσια κτίρια, μέσα μεταφοράς, σχολεία, νοσοκομεία κ.α.). Παρόλα αυτά, η ποιότητα του αέρα μέσα στους χώρους αυτούς δεν είναι πάντοτε ικανοποιητική, με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στην **εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τον αέρα εσωτερικών χώρων**, στην **ανίχνευση των ρύπων και των πηγών τους**, στη **μελέτη των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία** από την έκθεση σε αυτούς και στην **εύρεση στρατηγικών αντιμετώπισης** του προβλήματος για βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Για την αποτελεσματικότερη μείωση των επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία ρύπων σε ένα εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον, είναι αναγκαία η γνώση ορισμένων παραμέτρων όπως είναι το είδος, το πλήθος και η ένταση των πηγών των ρύπων, το φυσικοχημικό προφίλ των εκπομπών τους, οι μηχανισμοί διάχυσης, διασποράς, εναπόθεσης, χημικού μετασχηματισμού ή συσσωμάτωσης κ.α. Ποσοτικοποιώντας τα χαρακτηριστικά των πηγών καθώς και τη συνεισφορά τους, μπορεί να δωθεί προτεραιότητα στην εύρεση λύσεων ώστε να περιοριστούν εκείνες που συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην έκθεση του πληθυσμού. Η εύρεση της συνεισφοράς κάθε πηγής στα επίπεδα της ρύπανσης του αέρα είναι μια αρκετά πολύπλοκη εργασία. Απαιτεί αξιόπιστα δεδομένα εκπομπών μέσω εστιασμένων μετρήσεων με καλά καθορισμένη αβεβαιότητα και την εφαρμογή των κατάλληλων μαθηματικών εργαλείων, που αναφέρονται ως τεχνικές **source apportionment**.

Στο πεδίο της διαχείρισης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, μία εκ των μεθοδολογιών source apportionment είναι η εφαρμογή **μοντέλων αποδέκτη (receptor models)** σε πειραματικά δεδομένα. Με πλήρως ή μερικώς εξ αρχής γνωστά τα προφίλ των προς ανίχνευση πηγών, τα μοντέλα αυτά *έχουν ως σκοπό να προσδιορίσουν τα χαρακτηριστικά και τη συνεισφορά των πηγών των ατμοσφαιρικών ρύπων*, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) στα οποία εστιάζει η παρούσα διατριβή.

Η παρούσα διατριβή στοχεύει στην **ανίχνευση πηγών ή ομάδων πηγών αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter PM) και την εκτίμηση των συνεισφορών τους στις συγκεντρώσεις στον αέρα εσωτερικών χώρων**. Για το

σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατανομής μεγέθους σωματιδίων σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο (chamber room) και δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με τα προφίλ 25 πηγών σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις συγκεντρώσεων σωματιδίων και κατανομής τους στο ίδιο φάσμα μεγέθους σε πραγματικούς χώρους γραφείων και κατοικίας. Στα αποτελέσματα των μετρήσεων, εφαρμόστηκε μοντέλο αποδέκτη (receptor model) με την μέθοδο Positive Matrix Factorization με σκοπό την εκτίμηση των συνεισφορών των πηγών σωματιδίων στις παρατηρούμενες συγκεντρώσεις των τελευταίων σε πραγματικούς χώρους γραφείων και κατοικίας.

Η διατριβή αποτελείται από συνολικά επτά κεφάλαια.

Στο **κεφάλαιο 1** γίνεται μία εισαγωγή για την ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων. Παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία θεωρίας για την αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη (χαρακτηριστικά, πηγές, επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία). Τέλος, γίνεται μία ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για τις μετρήσεις κατανομής μεγέθους («προφίλ») πηγών σωματιδίων σε πραγματικούς ή ελεγχόμενους χώρους (chambers).

Στο **κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες ανίχνευσης πηγών σωματιδίων και εκτίμησης των συνεισφορών τους στις παρατηρούμενες συγκεντρώσεις μέσω των μοντέλων αποδέκτη. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στις βασικές μεθοδολογίες που έχουν εφαρμοστεί για τα αιωρούμενα σωματίδια. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο μοντέλο της Positive Matrix Factorization, το οποίο χρησιμοποιείται στη διατριβή. Τέλος, γίνεται μία ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας με εφαρμογές μοντέλων αποδέκτη σε μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων για τον εσωτερικό και εξωτερικό αέρα.

Στο **κεφάλαιο 3** γίνεται αναλυτική περιγραφή του πειραματικού εξοπλισμού, των χώρων και της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, ο θάλαμος δοκιμών (chamber room) όπου μετρήθηκαν τα προφίλ των πηγών, ήταν ένα ειδικά διαμορφωμένο δωμάτιο 18m³, απομονωμένο από το εξωτερικό περιβάλλον για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης άλλων πηγών. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε κάθε πείραμα, βασίστηκε σε παρόμοιες μελέτες από τη βιβλιογραφία και είχε σκοπό την προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας της πηγής (υλικά, διάρκεια, τρόπος χρήσης/λειτουργίας κ.α.). Οι πραγματικοί χώροι στους οποίους έγιναν οι μετρήσεις, ήταν δύο χώροι γραφείων (καπνιστών και μη καπνιστών) και ένα

διαμέρισμα, σε προάστιο της Αθήνας. Οι μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών διήρκησαν 4 μήνες ενώ στους πραγματικούς χώρους συνολικά 2 μήνες.

Στο **κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών (chamber room). Πιο συγκεκριμένα μετρήθηκε η κατανομή αριθμού και μάζας σωματιδίων 25 πηγών στο φάσμα μεταξύ 0.23 και 20 μ m. Οι πηγές ομαδοποιούνται σε 5 κατηγορίες: πηγές καύσης, πηγές επαναιώρησης, πηγές που σχετίζονται με το μαγείρεμα, πηγές που σχετίζονται με την καθαριότητα και μία γενική κατηγορία. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, εξήχθησαν συμπεράσματα για το είδος (μέγεθος) των σωματιδίων που παράγονται από κάθε πηγή, την ένταση κάθε πηγής, το ρυθμό μείωσης της συγκέντρωσης μετά τη λήξη της εκπομπής κ.α. Επίσης, συζητούνται τα κοινά χαρακτηριστικά πηγών βάσει της φύσης τους, του είδους των σωματιδίων που παράγουν κ.α.

Στο **κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται αποτελέσματα μετρήσεων συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων στο φάσμα μεταξύ 0.23 και 20 μ m σε πραγματικούς χώρους γραφείων και κατοικίας. Δίνονται οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης ανά κανάλι μεγέθους, όπως διαμορφώθηκαν από τις μετρήσεις τυπικών ημερών στους χώρους αυτούς. Τα δεδομένα των μετρήσεων αυτών χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου στο μοντέλο αποδέκτη.

Στο **κεφάλαιο 6** παρατίθενται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη (Positive Matrix Factorization). Το μοντέλο εφαρμόστηκε στα δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων, στους χώρους των γραφείων και της κατοικίας. Οι πηγές/ομάδες πηγών που ανιχνεύτηκαν συνολικά στα γραφεία ήταν το κάπνισμα, η επαναιώρηση σκόνης από το περπάτημα και τις κινήσεις των εργαζομένων, εκπομπές από τον εξοπλισμό και τα οικοδομικά υλικά και εξωτερικές πηγές. Για την κατοικία, παρουσιάζεται η εφαρμογή της Positive Matrix Factorization σε μία ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα, μία ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας και μία ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι (επισκέπτες). Σε όλες τις περιπτώσεις ανιχνεύτηκαν η πηγή της επαναιώρησης από τις κινήσεις των κατοίκων και αυτή του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, στην πρώτη περίπτωση ανιχνεύτηκε το τηγάνισμα και το ψήσιμο, η χρήση τοστιέρας και καφετιέρας. Στη δεύτερη περίπτωση, ανιχνεύτηκαν πηγές που σχετίζονται με την καθαριότητα: σκούπισμα, σφουγγάρισμα, ξεσκόνισμα, χρήση καθαριστικού σπρέυ, τοποθέτηση χαλιών. Στην τρίτη περίπτωση, ανιχνεύτηκαν οι πηγές του καπνίσματος, της καύσης αρωματικών κεριών και στικς και η χρήση αρωματικού σπρέυ χώρου.

Η βασική συνεισφορά και τα συμπεράσματα της διατριβής συνοψίζονται στο **κεφάλαιο 7**.

Συμπερασματικά, η ερευνητική εργασία, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, χαρακτηρίζεται από επιστημονική πρωτοτυπία καθώς περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία καινοτομίας:

- τη δημιουργία μίας βάσης δεδομένων με τα προφίλ των βασικών δραστηριοτήτων-πηγών σωματιδίων που λαμβάνουν χώρα σε ένα εσωτερικό περιβάλλον, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντικές μελέτες για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, την επίπτωση της έκθεσης στην ανθρώπινη υγεία και την εύρεση λύσεων για τη βελτίωση του προβλήματος
- την εφαρμογή ενός μοντέλου αποδέκτη (*Positive Matrix Factorization*) σε δεδομένα κατανομής μεγέθους σωματιδίων (συγκέντρωση αριθμού και μάζας) που συλλέχθηκαν από μετρήσεις στον εσωτερικό αέρα κατοικίας και γραφείων. Ο σκοπός της μελέτης είναι η ανίχνευση των πηγών ή ομάδων πηγών που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις και η εκτίμηση των συνεισφορών τους. Για την ταυτοποίηση των λύσεων του μοντέλου με τις πηγές σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες από τη βάση δεδομένων με τα προφίλ πηγών που μετρήθηκαν στο δωμάτιο δοκιμών.

Κεφάλαιο 1 : Αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα εσωτερικών χώρων

1.1	Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων.....	1
1.1.1	Πηγές ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον.....	2
1.1.2	Ρύποι αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος.....	4
1.2	Αιωρούμενα σωματίδια.....	7
1.2.1	Γενικά.....	7
1.2.2	Κατανομή μεγέθους μάζας και αριθμού σωματιδίων.....	8
1.2.3	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	9
1.3	Μετρήσεις προφίλ πηγών αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους -βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	12
1.3.1	Πηγές καύσης.....	14
1.3.2	Πηγές σχετικές με μαγείρεμα.....	16
1.3.3	Πηγές σχετικές με επαναιώρηση.....	17
1.3.4	Πηγές που περιλαμβάνουν θερμαινόμενες επιφάνειες.....	18
1.3.5	Σπρέι.....	19

1.1 Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων

Τα χαρακτηριστικά του αέρα **εσωτερικών χώρων** παρουσιάζουν ομοιότητες και διαφορές με αυτά του **εξωτερικού περιβάλλοντος**. Σε μοριακή ή σωματιδιακή κλίμακα, η χημεία και φυσική των ρύπων είναι η ίδια, είτε πρόκειται για εσωτερικούς, είτε για εξωτερικούς χώρους. Και στα δύο συστήματα οι εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές είναι εξίσου σημαντικές. Παρόλα αυτά, για τους εσωτερικούς χώρους, η **φωτοχημεία** είναι λιγότερο σημαντική απ' ότι για τον αέρα σε μία αστική περιοχή, λόγω της μικρότερης ροής ηλιακής ακτινοβολίας. Όμως, οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ στοιχείων που βρίσκονται στον αέρα (π.χ. όζον, τερπένια κ.α.) είναι εξίσου σημαντικές και στις δύο περιπτώσεις. Επιπλέον, σε αντίθεση με την αστική ατμόσφαιρα, το εσωτερικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο λόγο επιφάνειας προς όγκο και κατά συνέπεια, **μηχανισμοί** όπως η **εναπόθεση σωματιδίων** και η **προσρόφηση ρύπων** από τα υλικά των επιφανειών να παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε τέτοιους χώρους. Επίσης, παρόλο που οι κλίμακες μεταφοράς των ρύπων διαφέρουν, οι μηχανισμοί της **διάχυσης** και **διασποράς** έχουν την ίδια σημασία. Τέλος, ο **εξαερισμός** είναι ο κυριότερος μηχανισμός απομάκρυνσης των ρύπων από το εσωτερικό περιβάλλον ενώ αντίστοιχος μηχανισμός για την ατμόσφαιρα μιας πόλης μπορεί να θεωρηθεί αυτός της συνοπτικής ροής του ανέμου και οι βροχοπτώσεις.

Ήδη από τις αρχές του 20ού αιώνα αναγνωρίζεται η σημασία της υγιεινής του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Μόλις το 1974 όμως η ποιότητα της ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων αναγνωρίζεται ως ιδιαίτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Μία από τις κυριότερες **αιτίες που μετέβαλαν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα** είναι η αντικατάσταση των παραδοσιακών υλικών (π.χ. φυσικό ξύλο, πέτρα) από φθηνότερα **υλικά** μαζικής παραγωγής, τα οποία όμως συνδέονται με εκπομπές ρυπογόνων ουσιών. Ενδεικτικά αναφέρονται η χρήση του PVC στους εσωτερικούς χώρους (επίπλωση, οικιακός εξοπλισμός, εξοπλισμός γραφείων και αυτοκινήτων) και η χρήση πλήθους συνθετικών προϊόντων οικιακής και προσωπικής φροντίδας (καθαριστικά, απολυμαντικά, εντομοκτόνα, αποσμητικά, χρώματα, βερνίκια κ.ά.).

Μία επίσης σημαντική αιτία για την επιδείνωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα ήταν η **μόνωση των κτιρίων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας**. Μετά την παγκόσμια ενεργειακή κρίση του 1974, καθιερώνεται η κατασκευή "κλειστών", μηχανικά αεριζόμενων κτιρίων, μέσω π.χ. της χρήσης μονωτικών υλικών. Η μόνωση των κτιρίων σε συνδυασμό με την ύπαρξη εσωτερικών πηγών και τον μη επαρκή εξαερισμό των κτιρίων, οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων που εκπέμπονται από εσωτερικές πηγές και την συσσώρευσή τους στον εσωτερικό χώρο.

Απαριθμώντας τις αιτίες για την επιβάρυνση του εσωτερικού αέρα, δεν θα πρέπει να αγνοηθεί η **αύξηση της ρύπανσης της εξωτερικής ατμόσφαιρας**, ειδικά στις περιπτώσεις που το κτίριο βρίσκεται σε αστικές και ημιαστικές περιοχές. Οι εκπομπές από τα οχήματα, τις βιομηχανίες και τις ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επιβαρύνει την εξωτερική ατμόσφαιρα και κατ' επέκταση και τον εσωτερικό αέρα των κτιρίων ο οποίος αλληλεπιδρά με τον εξωτερικό, μέσω του εξαερισμού των κτιρίων.

1.1.1 Πηγές ρύπων στο εσωτερικό περιβάλλον

Το εσωτερικό περιβάλλον ενός κτιρίου επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από παράγοντες όπως η *περιοχή* στην οποία βρίσκεται το κτίριο, το *κλίμα* της περιοχής, η *τοποθεσία*, ο *προσανατολισμός* και η *σχεδίαση του κτιρίου*, τα *υλικά δόμησης*, η *χρήση του κτιρίου* και οι *δραστηριότητες* που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του. Παράλληλα, η ποιότητα του αέρα μέσα σε αυτούς καθορίζεται από ένα πλήθος **χημικών, φυσικών** και **βιολογικών** παραμέτρων όπως: τα *επίπεδα των ρύπων* σε αυτόν (σε σωματιδιακή ή αέρια μορφή), τα *επίπεδα της θερμοκρασίας* και της *σχετικής υγρασίας* της εσωτερικής ατμόσφαιρας, ο *ρυθμός ανανέωσης του αέρα* από το εξωτερικό περιβάλλον, ο *θόρυβος*, οι *οσμές*, η ύπαρξη υψηλών επιπέδων

ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ο ελλιπής φωτισμός. Οι κύριες πηγές ρύπων που συναντώνται σε εσωτερικό περιβάλλον είναι:

- ✓ **Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες** οι οποίες πραγματοποιούνται σε καθημερινή βάση μέσα σε ένα σπίτι, εργασιακό χώρο, δημόσιο κτίριο κλπ. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι δραστηριότητες της *καθαριότητας του κτιρίου, το μαγείρεμα, το κάπνισμα, η καθημερινή κίνηση* των ατόμων στο χώρο κ.α.
- ✓ **Οι εκπομπές από τα οικοδομικά υλικά και τον εξοπλισμό.** Οι μπογιές, τα βερνίκια, οι κολλητικές ουσίες, τα υλικά επικάλυψης κ.α. που χρησιμοποιούνται στις επιφάνειες ενός κτιρίου συχνά εκπέμπουν τοξικούς ή μη ρύπους. Επίσης, οι τάπητες, η επίπλωση, ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός σε έναν χώρο αποτελούν μόνιμες πηγές ρύπων σε ένα εσωτερικό περιβάλλον. Οι πηγές αυτές μπορεί είτε να εκπέμπουν *συνεχώς*, είτε να εκπέμπουν *στιγμιαία* είτε για *περιορισμένο χρονικό διάστημα*.
- ✓ **Τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και αερισμού: (HVAC: Heating Ventilation Air Conditioning).** Ο όρος αναφέρεται στον εξοπλισμό που παρέχει τη θέρμανση, την ψύξη, τον αερισμό και τον έλεγχο της υγρασίας, ούτως ώστε να δημιουργούνται και να διατηρούνται οι συνθήκες άνεσης σε ένα κτίριο. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα HVAC απομονώνει και αφαιρεί ορισμένους ρυπογόνους παράγοντες και οσμές από το εσωτερικό περιβάλλον διασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος. Όμως υπάρχουν και συστήματα HVAC που δεν είναι καλά σχεδιασμένα ή δεν συντηρούνται με τον σωστό τρόπο και σε αυτές τις περιπτώσεις συναντώνται αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων καθώς και παράπονα δυσφορίας και προβλημάτων υγείας από τους χρήστες του κτιρίου.
- ✓ **Ο ανθρώπινος και ζωικός μεταβολισμός:** Υπάρχει σχέση μεταξύ της κατανάλωσης οξυγόνου και της απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα μέσω του ανθρώπινου και ζωικού μεταβολισμού. Εκτός από το CO₂, αρκετές πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) παράγονται με αυτήν την διαδικασία.

Παράλληλα, υπάρχουν και **οι πηγές του εξωτερικού περιβάλλοντος** που επηρεάζουν τον εσωτερικό αέρα σε ένα βαθμό που εξαρτάται από σχεδιαστικές παραμέτρους του κτιρίου, τον τρόπο και το ρυθμό εξαερισμού του κτιρίου και φυσικές παραμέτρους (θερμοκρασία, υγρασία). Τα επίπεδα της αέριας ρύπανσης εξαρτώνται από τις επικρατούσες συνθήκες ειδικά στις αστικές περιοχές όπου η επίδραση της αστικής θερμικής νησίδας και των ροών γύρω από τα κτίρια είναι πολύ σημαντική. Οι κύριες πηγές στο εξωτερικό περιβάλλον είναι:

- **Η κυκλοφορία οχημάτων:** Αποτελεί μία από τις κυριότερες πηγές ρύπανσης ειδικότερα σε περιοχές κοντά σε μεγάλους οδικούς άξονες, σήραγγες και περιοχές χώρων στάθμευσης. Μερικοί από τους σημαντικότερους ρύπους λόγω της κυκλοφορίας οχημάτων είναι το μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα, ο στοιχειακός άνθρακας, τα σωματίδια σκόνης, ο μόλυβδος και τα οξείδια του αζώτου.
- **Οι βιομηχανικές εκπομπές:** Είναι είτε τοπικές είτε βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση και μπορεί να είναι υπεύθυνες για υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου και του θείου, όζοντος, μολύβδου, πτητικών οργανικών ενώσεων, καπνού.
- **Πηγές σε τοπική κλίμακα:** Συχνά είναι πηγές καύσης από τη γύρω περιοχή όπως π.χ. καύση απορριμμάτων, κεντρική θέρμανση κτιρίων κ.α.
- **Ρύποι από το έδαφος:** Σε αυτούς περιλαμβάνεται το ραδόνιο που εμφανίζεται στη φύση ως ραδιενεργό αέριο και το μεθάνιο ως προϊόν οργανικής αποσύνθεσης.

1.1.2 Ρύποι αέρα εσωτερικού περιβάλλοντος

Συνοπτικά, οι ρύποι που συναντώνται στον εσωτερικό αέρα είναι:

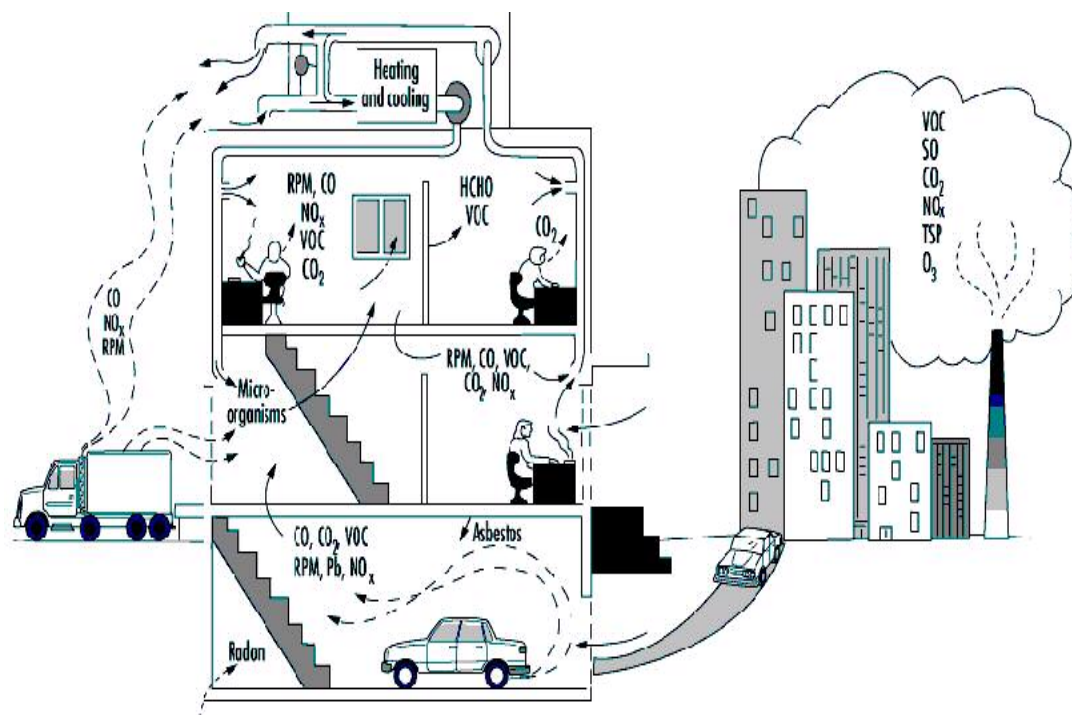
▪ **Τα αιωρούμενα σωματίδια** που προέρχονται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, εκπομπές από εργοστάσια, σκόνη από έδαφος και φυτά αλλά ταυτόχρονα σχετίζονται και με εσωτερικές πηγές όπως το κάπνισμα, δραστηριότητες σχετικές με καθαριότητα και μαγείρεμα, επαναιώρηση κ.α. *Εκτενής αναφορά στη φύση και τις πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται στην επόμενη παράγραφο, δεδομένου ότι η παρούσα διατριβή εστιάζει σε αυτά.*

▪ **Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds-VOCs).** Σχετίζονται με εκπομπές από οικοδομικά υλικά, μπογιές και κόλλες, τον καπνό του τσιγάρου, τα καθαριστικά και καλλυντικά προϊόντα κ.α. Φυσικές πηγές για τα VOC's αποτελούν τα δάση, οι καλλιέργειες, η μικροβιακή αποσύνθεση, τα ηφαίστεια, οι πυρκαγιές. Ανθρωπογενείς εκπομπές σχετίζονται με την κίνηση των οχημάτων, τα εργοστάσια, τη χρήση φυσικού αερίου κ.α.

▪ **Η φορμαλδεΐδη (HCHO).** Στους εσωτερικούς χώρους η φορμαλδεΐδη ελευθερώνεται από υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επίπλων όπως

το ξύλο κόντρα-πλακέ, προϊόντα από χαρτί, τα υφάσματα, τα χαλιά, τα χρώματα βαφής κ.α.

- **Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂).** Εκπέμπεται από τις εξατμίσεις των οχημάτων και από βιομηχανικές δραστηριότητες (εξωτερικό περιβάλλον), αλλά και από συστήματα θέρμανσης και κουζίνες που λειτουργούν με φυσικό αέριο (εσωτερικό περιβάλλον).



CO = carbon monoxide; CO₂ = carbon dioxide; HCHO = formaldehyde; NO_x = nitrogen oxides; Pb = lead; RPM = respirable particulate matter; VOC = volatile organic compounds.

Εικόνα 1.1: Ρύποι εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος

- **Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).** Εξωτερικές πηγές αποτελούν οι εκπομπές από οχήματα και βιομηχανίες. Εσωτερικές πηγές είναι οι κουζίνες που λειτουργούν με φυσικό αέριο, κεντρικές θερμάνσεις, ξυλόσομπες, τζάκι, κάπνισμα κ.α.
- **Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).** Σχετίζεται με την εκπνοή του ανθρώπου και είναι ενδεικτικό της ανανέωσης του αέρα σε έναν εσωτερικό χώρο.
- **Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες.** Εκπέμπονται από τα οχήματα, την άσφαλτο, την πίσσα και το καπνό του τσιγάρου.
- **Το ραδόνιο (Rn).** Προέρχεται από τη ραδιενεργό διάσπαση του ραδίου, που βρίσκεται σε μεταλλεύματα ουρανίου, στα φωσφορούχα πετρώματα και ένα αριθμό

από κοινά ορυκτά όπως είναι ο γρανίτης, ο σχιστόλιθος και ο ασβεστόλιθος.

▪ **Μόλυβδος (Pb).** Η έκθεση στο συγκεκριμένο ρύπο γίνεται μέσω του αέρα, του πόσιμου νερού, των τροφών, τις μπιγιές αλλά και τη σκόνη.

▪ **Οι βιολογικοί ρύποι** (βακτήρια, μούχλα, ιοί κ.α) Οι πηγές αυτών των ρύπων είναι τα φυτά που υπάρχουν στο σπίτι, τα κατοικίδια ζώα και η σκόνη που μεταφέρεται στο σπίτι από τον αέρα αλλά και από τους ανθρώπους όταν εισέρχονται στο σπίτι.

Στον παρακάτω πίνακα (1.1) συνοψίζονται τα είδη ρύπων του εσωτερικού αέρα καθώς και οι πηγές αυτών (Σαμαρά Κ., Ρύπανση Εσωτερικών Χώρων)

Πίνακας 1.1 : Είδη και πηγές ρύπων του εσωτερικού αέρα.

ΠΗΓΕ Σ	ΡΥΠΟ Ι
Εξωτερικές	
Σταθερές	SO ₂ , O ₃ , σωματίδια, CO, HC
Κινητές	CO, Pb, NOx, σωματίδια
Έδαφος	Rn, μικροοργανισμοί, Ca, Cd, Pb, σωματίδια
Εσωτερικές	
Δομικά υλικά	
Τσιμέντο, πέτρα	Rn
Προϊόντα ξύλου (μοριοσανίδες, καπλαμάς)	HCHO
Μονωτικά	HCHO, ίνες υάλου
Υλικά πυροπροστασίας	Ίνες αμιάντου
Χρώματα	Pb, Cd, VOCs
Εξοπλισμός κτιρίων	
Συσκευές θέρμανσης-μαγειρέματος	CO, NOx, HCHO, σωματίδια
Φωτοτυπικά μηχανήματα	O ₃ , σωματίδια
Υδραυλικές εγκαταστάσεις	Rn
Ανθρώπινη παρουσία	
Μεταβολική δραστηριότητα	CO ₂ , H ₂ O, οσμές
Βιολογική δραστηριότητα	Μικροοργανισμοί
Ανθρώπινες δραστηριότητες	
Κάπνισμα	CO, HCHO, PAHs, σωματίδια, οσμές, Pb, Cd, As, Hg, VOCs
Οικιακή & προσωπική φροντίδα	VOCs, As, οσμές, σωματίδια

1.2 Αιωρούμενα σωματίδια

1.2.1 Γενικά

Με τον όρο **αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη (suspended Particulate Matter, PM)** χαρακτηρίζονται τα σωματίδια που βρίσκονται σε υγρή ή στερεή μορφή, η διάμετρός τους κυμαίνεται από μερικά νανόμετρα μέχρι κάποιες εκατοντάδες μικρόμετρα και αιωρούνται στον αέρα (για διάστημα μερικών λεπτών έως και ημερών). Η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη αντιστοιχεί σε ένα μεγάλο εύρος **μεγέθους σωματιδίων**. Υπάρχουν αρκετά μεγάλα σωματίδια τα οποία είναι ορατά ως σκόνη ή καπνός, ενώ κάποια άλλα είναι τόσο μικρά που μπορούν να ανιχνευτούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Επίσης, τα αιωρούμενα σωματίδια ποικίλουν ως προς τη **χημική τους σύσταση**, η οποία εξαρτάται από το είδος της πηγής. Μια πλήρης περιγραφή των PM, απαιτεί δηλαδή, εκτός από τον προσδιορισμό της συγκέντρωσής τους, την κατανομή μεγέθους τους, τη χημική τους σύσταση, άλλα και τη φάση στην οποία βρίσκονται και τη μορφολογία τους.

Ο κύριος διαχωρισμός των σωματιδίων βασίζεται κυρίως στο μέγεθός τους. Ο όρος **TSP (Total Suspended Particles)**, που στα ελληνικά αποδίδεται ως ολικά αιωρούμενα σωματίδια, δόθηκε στο σύνολο των στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων, που το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0,01 μm ως 100μm. Ωστόσο εκείνα με μέγεθος άνω των 50 μm έχουν την τάση να καθιζάνουν πολύ γρήγορα λόγω του αυξημένου βάρους τους. Επίσης, ο όρος **PM_{2.5}**-λεπτόκοκκα (fine particles) αναφέρεται σε σωματίδια τα οποία έχουν διάμετρο μικρότερη ή ίση με 2.5μm. Αντίστοιχα ο όρος **PM_{2.5-10}** αναφέρεται σε σωματίδια τα οποία έχουν διάμετρο μεταξύ 2.5μm και 10μm. Τα τελευταία δέκα χρόνια, το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στα ακόμα πιο μικρά σωματίδια, αυτά που η διάμετρός τους είναι μικρότερη του 1μm (**PM₁**).

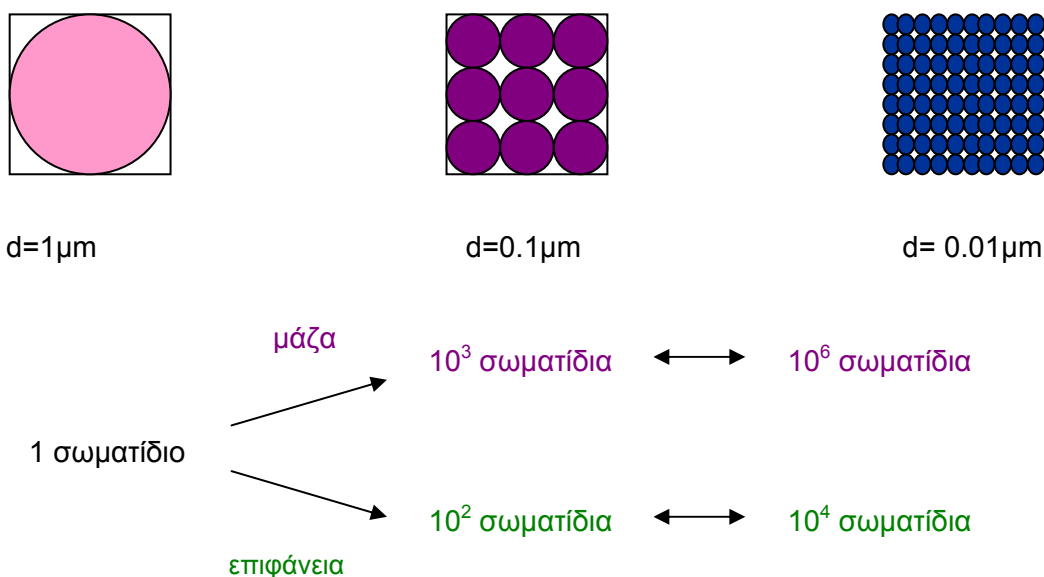
Τα αιωρούμενα σωματίδια στον εξωτερικό αέρα προέρχονται από τις εξατμίσεις των **οχημάτων**, τις **εκπομπές από εργοστάσια και βιομηχανίες**, πηγές **καύσης, έδαφος και βλάστηση, έργα σε δρόμους** κ.α. Στο εσωτερικό περιβάλλον, οι κύριες πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι **πηγές καύσης** (τσιγάρο, κεριά, αρωματικά στικς, τζάκι, σόμπες, καυστήρες), τα **σπρέυ** (καθαριστικά, καλλυντικά, αρωματικά), πηγές σχετικές με **μαγείρεμα**, η **επαναιώρηση** συσσωρευμένης σκόνης (στο δάπεδο, τις παράπλευρες επιφάνειες και τα χαλιά), εκπομπές από **οικοδομικά υλικά, έπιπλα και εξοπλισμό**, τα **κατοικίδια** κ.α.

1.2.2 Κατανομή μεγέθους μάζας και αριθμού σωματιδίων

Η ανάγκη για τη διερεύνηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια (παράγραφος 1.2.3), οδήγησε τις σύγχρονες έρευνες στη μελέτη της συγκέντρωσής τους σε μάζα, αριθμό ή επιφάνεια σωματιδίων, σε ένα ευρύ φάσμα μεγέθους, από μερικά νανόμετρα μέχρι αρκετά μικρόμετρα.

Τα μικρότερα σωματίδια (κυρίως <math><1\mu\text{m}</math>) έχουν μεγαλύτερη ικανότητα διείσδυσης στο αναπνευστικό σύστημα και έτσι θεωρούνται περισσότερο επικίνδυνα (Pillou et al., 2010). Τα σωματίδια αυτά αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του συνόλου των σωματιδίων όσον αφορά στον **αριθμό** ενώ **η μάζα** τους είναι **αμελητέα** (Wallace and Howard-Reed, 2002; Morawska et al., 2002; Tuch et al., 1997). Αντιθέτως, στα μεγαλύτερα σωματίδια (>1μm), η μάζα είναι το μέγεθος εκείνο που γίνεται περισσότερο σημαντικό ενώ ο αριθμός τους παραμένει μικρός σε σχέση με τα μικρότερα. Ένα παράδειγμα για καλύτερη κατανόηση είναι το παρακάτω (Miller and Nazaroff, 2001):

*Έστω ένα σωματίδιο καπνού με διάμετρο 1μm και πυκνότητα ίση με 1.2g/m³. Η μάζα του είναι περίπου ίση με 6.3*10⁻¹³ g και είναι ίση με 1000 σωματίδια διαμέτρου 0.1μm ή 10⁶ σωματίδια διαμέτρου 0.01μm. Η επιφάνεια του σωματιδίου αυτού είναι 3.1*10⁻¹² m² η οποία αντιστοιχεί στην επιφάνεια 100 σωματιδίων διαμέτρου 0.1μm ή 10⁴ σωματιδίων διαμέτρου 0.01μm. Έτσι, 1000 σωματίδια διαμέτρου 0.1μm έχουν την ίδια μάζα με 1 σωματίδιο διαμέτρου 1μm αλλά έχουν 10πλάσια επιφάνεια από αυτό.*



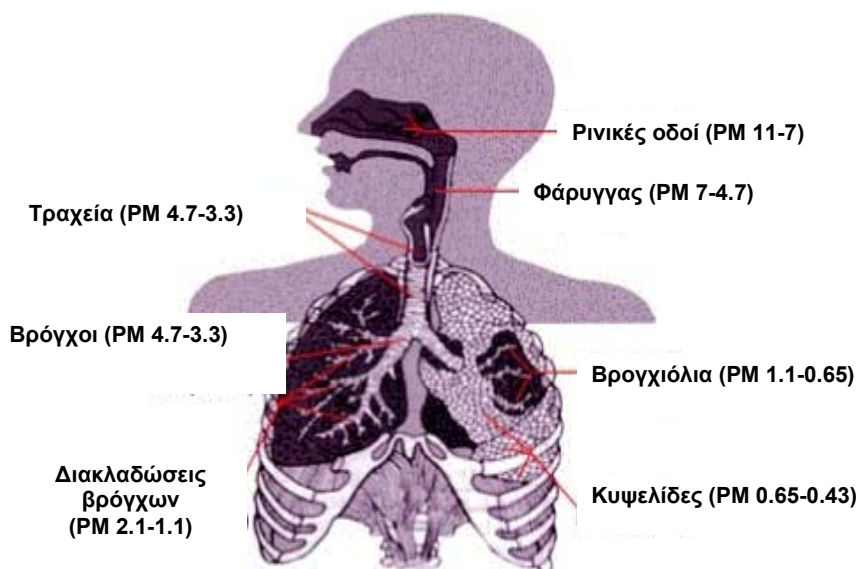
Εικόνα 1.2: αντιστοιχία μεταξύ αριθμού, μάζας και επιφάνειας μεταξύ σωματιδίων διαφορετικών μεγεθών.

Παρόλα αυτά, όπως υπογραμμίζεται και από τους Donaldson et al., 2000, μέχρι στιγμής δεν είναι ξεκάθαρο αν ο αριθμός, η μάζα ή η επιφάνεια των σωματιδίων είναι η παράμετρος εκείνη που σχετίζεται περισσότερο με τα προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Σε ορισμένες τοξικολογικές και επιδημιολογικές μελέτες, έχει γίνει συσχέτιση της μάζας των σωματιδίων με χρόνια προβλήματα υγείας ενώ σε άλλες μελετάται η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αριθμού σωματιδίων και η σύνδεσή τους με προβλήματα υγείας (Fubini et al., 2007).

1.2.3 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

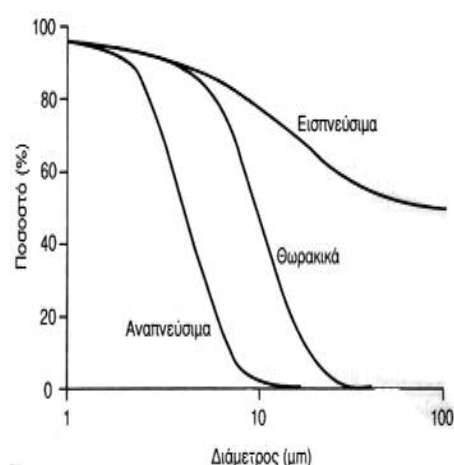
Σημαντικά είναι τα προβλήματα στην υγεία που προκαλεί η αυξημένη συγκέντρωση των σωματιδίων, όπως η εμφάνιση **άσθματος**, επιδείνωση συμπτωμάτων όπως ο **βήχας** και η **δυσκολία στην αναπνοή**, **χρόνια βρογχίτιδα**, **μειωμένη λειτουργία πνευμόνων**, **δυσλειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος**, ακόμα και **πρόωρο θάνατο** (έπειτα από μακροχρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις) (Seaton et al., 1995; Schwartz et al., 1996; Oberdorster et al., 1994; Alvin et al., 2006).

Το κριτήριο που καθιστά τα σωματίδια περισσότερο ή λιγότερο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, είναι η **διάμετρος** τους. Η διάμετρος καθορίζει σε ποιον ιστό του ανθρώπινου οργανισμού εναποτίθενται τα σωματίδια κατά την εισπνοή, δηλαδή στην περιοχή της **αναπνευστικής οδού**, στη **θωρακική περιοχή** και τους **πνεύμονες**.



Εικόνα 1.3: Διείσδυση των διαφόρων κλασμάτων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.

Οι μελέτες που εξετάζουν τις επιπτώσεις στην υγεία εστιάζουν κυρίως στα σωματίδια με διάμετρο μεταξύ **0.1-10 μm** . Σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο των $10\mu\text{m}$ εναποτίθενται στη ρινοφαρυγγική κοιλότητα, τη μύτη και το άνω μέρος της αναπνευστικής οδού, οπότε και *δεν εισχωρούν βαθύτερα στην αναπνευστική οδό*. Στα σωματίδια αυτά, το 80% της μάζας τους είναι εισπνεύσιμο, λιγότερο από το 20% θωρακικό ενώ μικρό ποσό είναι αναπνεύσιμο. Αντίθετα, τα *μικρότερα σωματίδια* μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους πνεύμονες λόγω του μεγαλύτερου συντελεστή διάχυσης που έχουν. Το 90% της μάζας των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των $2.5\mu\text{m}$ είναι αναπνεύσιμο (Εικόνα).



Εικόνα 1.4: Κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα ανάλογα με το μέγεθός τους (Πηγή: Χημεία και Βιολογία Περιβάλλοντος, Θ Κουιμτζή, Κ Φυτιανού, Κ. Σαμαρά – Κωνσταντίνου, 1998.)

Μάλιστα, έρευνες έχουν δείξει πως η τοξικότητα των σωματιδίων που έχουν επικαθίσει στους πνεύμονες αυξάνει όσο το μέγεθος τους μειώνεται είτε λόγω της μεγάλης ικανότητάς τους να διεισδύουν στους ιστούς των πνευμόνων είτε λόγω της μεγάλης συνολικής επιφάνειας ανά μονάδα μάζας που έχουν (Harrison and Yin, 2000; Oberdorster et al., 2000; Schwartz et al., 1996; Ferin et al., 1992) Εξάλλου, πολλά τοξικά και καρκινογόνα χημικά συστατικά όπως μέταλλα και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες έχουν βρεθεί σε μεγάλη συγκέντρωση στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του $1\mu\text{m}$. Τα υδατοδιαλυτά συστατικά των σωματιδίων διαλύονται στην υγρή φάση των βρόγχων και εισέρχονται στη λέμφο του αναπνευστικού συστήματος. Αντίθετα, τα σωματίδια που είναι αδιάλυτα σε υδατικές φάσεις, έχει αποδειχθεί ότι φαγοκυτταρώνονται μέσα σε λίγες ώρες από τα κυψελιδικά μακροφάγα, παρόλο που δεν έχει υπολογιστεί ακόμα σε ποια έκταση αυτά μεταφέρονται εκτός του αναπνευστικού με τα λεμφαγγεία.

Οι περισσότερο ευπαθείς -στην έκθεση σε σωματίδια- ομάδες του πληθυσμού είναι οι ασθενείς με καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και τα παιδιά. Οι έρευνες έχουν δείξει

πως ειδικότερα για τα βρέφη, τα νήπια και τα μικρά παιδιά, η εισπνοή των σωματιδίων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο αναπνευστικό τους σύστημα το οποίο δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως (Farhat et al., 2005). Μάλιστα, επειδή το ποσοστό του αέρα που εισέρχεται στους πνεύμονες σε σχέση με το μέγεθος αυτών είναι μεγαλύτερο από ότι στην περίπτωση ενός ενήλικα (Bennett and Zeman, 1998), τα παιδιά εμφανίζουν συχνότερα τα συμπτώματα που προαναφέρθηκαν.

Το *κάπνισμα* αποτελεί ίσως την πηγή σωματιδίων με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, για την οποία η επιστημονική κοινότητα έχει αφυπνίσει την προσοχή του κοινού περισσότερο από άλλες. Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι είτε βραχυπρόθεσμες είτε μακροπρόθεσμες και ενδεικτικά αναφέρονται η ενόχληση και ο ερεθισμός των ματιών, ο ερεθισμός της βλεννογόνου μεμβράνης της αναπνευστικής οδού, πιθανή επιδείνωση ασθματικών προβλημάτων, και θωρακικό πόνο σε ασθενείς με στεφανιαία καρδιακή πάθηση. Η παθητική έκθεση των παιδιών στον καπνό του τσιγάρου μπορεί να προκαλέσει σοβαρές συνέπειες στην υγεία τους, προκαλώντας μολύνσεις της αναπνευστικής οδού, βρογχίτιδα, πνευμονία, ερεθισμό στα μάτια, ενόχληση στην αναπνοή και δυσλειτουργία των πνευμόνων. Η έκθεση στους ενηλίκους υπολογίστηκε ότι μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο για καρκίνο πνευμόνων κατά 130%. Τέλος έχει διαπιστωθεί από έρευνες ότι ο καπνός του τσιγάρου σχετίζεται με τη θνησιμότητα από τις καρδιαγγειακές παθήσεις (U.S.A. Environmental Protection Agency).

Τέλος, τα ευρήματα από τις σύγχρονες επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν πως **οι στιγμιαία ή μικρής χρονικής διάρκειας έκθεση** σε μεγάλες συγκεντρώσεις σωματιδίων μπορούν να έχουν δυσμενέστερες επιπτώσεις στην υγεία απ' ότι η μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις (Michaels and Kleinman, 2000; Delfino et al., 1998). Οι Schwartz et al., 2000 κατέλειξαν στο συμπέρασμα ότι πολλές χρόνιες παθήσεις μπορεί να οφείλονται στην επαναλαμβανόμενη μικρής διάρκειας έκθεση σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων. Έτσι, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της εκπεμπόμενης σωματιδιακής ύλης σε ένα εσωτερικό περιβάλλον, όχι μόνο καθορίζουν την ποιότητα του αέρα σε αυτό αλλά και το ποσοστό από εκείνη που εισέρχεται στα διαφορετικά μέρη του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος (Mitsakou et al., 2007).

1.3 Μετρήσεις προφίλ πηγών αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους- βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Στα πλαίσια της έρευνας για την εκτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα κτιρίων, οι μελέτες έχουν στραφεί και προς τον *εντοπισμό των πηγών*, τη *μέτρηση των εκπομπών* και την *εκτίμηση των συνεισφορών* τους. Πιο συγκεκριμένα, όταν αναζητείται το **προφίλ μιας πηγής**, μελετάται

- είτε η αριθμητική έκφραση του **ρυθμού εκπομπής** σωματιδίων στη μονάδα του χρόνου και/ή ανά μονάδα επιφάνειας (Fan et al., 2001)
- είτε η πλήρης εικόνα της **χημικής σύστασης** (μέταλλα, ιόντα, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οργανικός ή στοιχειακός άνθρακας) των σωματιδίων που παράγονται (Pagels et al., 2009; Yang et al., 2007)
- είτε η **κατανομή μεγέθους** των σωματιδίων που παράγονται σε ένα ευρύ φάσμα, από σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1μm μέχρι μεγάλα σωματίδια διαμέτρου αρκετών μικρομέτρων (Afshari et al., 2005)

Μετρήσεις για την εκτίμηση του προφίλ των πηγών σε εσωτερικό περιβάλλον έχουν πραγματοποιηθεί είτε σε **πραγματικό περιβάλλον (κατοικίας, εργασιακού χώρου κλπ)** είτε σε **ειδικά διαμορφωμένους θαλάμους ή δωμάτια σε εργαστήριο με ελεγχόμενες συνθήκες (chamber rooms)**. Κάθε μία από τις παραπάνω μεθοδολογίες για την εκτίμηση του προφίλ μιας πηγής αποτελεί διαφορετική προσέγγιση με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με διαφορετικό σκοπό και περεταίρω εφαρμογή σε αριθμητικά μοντέλα (π.χ. σε μοντέλα διασποράς ή μοντέλα αποδέκτη).

Από τη μία πλευρά, τα πειράματα σε *πραγματικό περιβάλλον* (κατοικία, γραφείο κ.α.) έχουν το πλεονέκτημα των *πραγματικών συνθηκών εξαερισμού* του χώρου, κάτι που δεν συναντάται σε έναν περιβαλλοντικό θάλαμο. Επίσης, σε ένα πραγματικό περιβάλλον ο *φωτισμός* είναι διαφορετικός απ' ότι στο θάλαμο (όπου υπάρχει ως επί το πλείστον τεχνητό φως) και κατ' επέκταση λαμβάνουν χώρα διαφορετικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Μία ακόμη σημαντική διαφορά όσον αφορά στην προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών είναι η *κάλυψη του δαπέδου και των παράπλευρων επιφανειών* (με χαλιά, πλακίδια, επιστρώσεις κλπ) στο πραγματικό περιβάλλον, τα οποία μπορεί να αλληλεπιδράσουν φυσικοχημικά με τον αέρα. Οι

παραπάνω παράγοντες καθιστούν τις μετρήσεις σε ένα κτιριακό περιβάλλον περισσότερο αντιπροσωπευτικές των πραγματικών συνθηκών ενός χώρου.

Από την άλλη πλευρά, οι μετρήσεις των προφίλ των πηγών στο απομονωμένο περιβάλλον ενός θαλάμου/δωματίου παρουσιάζουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα. Καταρχήν οι μετρήσεις της συγκέντρωσης των σωματιδίων που εκπέμπονται από μία συγκεκριμένη πηγή μένουν ανεπηρέαστες από την ύπαρξη άλλων πηγών που συνυπάρχουν στο πραγματικό περιβάλλον. Επιπλέον, σε έναν θάλαμο, οι μετρήσεις δεν επηρεάζονται από ρεύματα αέρα και γενικότερα από πολύπλοκους μηχανισμούς εξαερισμού του χώρου, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν μηχανισμούς όπως η επικάθιση, η εναπόθεση στις επιφάνειες, η συσσωμάτωση, ο σχηματισμός μεγαλύτερων σωματιδίων από μικρότερα κ.α.

Τα αποτελέσματα των μελετών των προφίλ πηγών που εξετάζονται σε απομονωμένους θαλάμους χρησιμοποιούνται στις θεωρητικές μελέτες όπου είναι απαραίτητες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της πηγής, το ρυθμό εκπομπής, το ρυθμό εναπόθεσης κ.α. (π.χ. μελέτες με μοντέλα διάχυσης και διασποράς των ρύπων σε ένα εσωτερικό περιβάλλον). Τις τελευταίες δεκαετίες και κυρίως για τον εξωτερικό αέρα, υπάρχει πρόοδος και στην εφαρμογή των μοντέλων αποδέκτη (receptor models), τα οποία αποσκοπούν στην ανίχνευση των πηγών και των συνεισφορών τους και απαιτούν την πλήρη ή μερική γνώση των προφίλ των πηγών.

Μέχρι στιγμής, οι μετρήσεις προφίλ πηγών αιωρούμενων σωματιδίων σε περιβαλλοντικούς θαλάμους είναι περιορισμένες σε σχέση με εκείνες σε πραγματικά κτίρια (κατοικίες, γραφεία κ.α.). Οι μετρήσεις που έχουν γίνει σε ελεγχόμενο περιβάλλον, έχουν πραγματοποιηθεί είτε σε μικρών διαστάσεων θαλάμους (όπως έκαναν οι Fan et al., 2001 που χρησιμοποίησαν ένα θάλαμο 0.15m^3 ή οι Morawska et al., 1997 με ένα μικρό θάλαμο όγκου 3m^3) είτε σε ειδικά διαμορφωμένα δωμάτια πραγματικών διαστάσεων, σε εργαστήρια (όπως οι Klepeis et al., 2003 με χώρο 20m^3 , Afshari et al., 2005 με χώρο 30m^3 , οι Glytsos et al., 2010 με χώρο 60m^3). Επίσης, σε μερικές από αυτές χρησιμοποιήθηκε μεταβαλλόμενος ή μη εξαερισμός (Montoya et al., 2005; Klepeis et al., 2003) ενώ σε άλλες η μόνωση ήταν τέτοια ώστε να μην υπάρχει ανταλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον (Klepeis et al., 2003). Έτσι, ο ρυθμός εξαερισμού στους θαλάμους που χρησιμοποιήθηκαν για αυτές τις μελέτες εξαρτάται εκτός από το μέγεθος και το σχεδιασμό του χώρου, και από τον τρόπο ανανέωσης του εσωτερικού αέρα. Πιο συγκεκριμένα, στις προαναφερθείσες μελέτες κυμάνθηκε μεταξύ $<0.1\text{h}^{-1}$ (σε περιπτώσεις μη ύπαρξης φυσικού ή τεχνητού εξαερισμού) έως και $>1\text{h}^{-1}$ (σε περιπτώσεις χρήσης μηχανικού εξαερισμού).

Στη συνέχεια ακολουθεί μία βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών προφίλ πηγών σωματιδίων που συναντώνται σε εσωτερικούς χώρους.

1.3.1. Πηγές καύσης

Μία μεγάλη κατηγορία πηγών είναι οι **πηγές καύσης**, στις οποίες περιλαμβάνονται το κάπνισμα, τα αρωματικά κεριά και στικς, οι συσκευές θέρμανσης και φωτισμού και κάποιες δραστηριότητες που σχετίζονται με το μαγείρεμα, ειδικότερα στις περιπτώσεις που υπάρχει εστία φωτιάς μέσα σε ένα χώρο.

Το **κάπνισμα** αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές σωματιδίων σε ένα εσωτερικό περιβάλλον. Ο ευρέως χρησιμοποιούμενος όρος ETS (environmental tobacco smoke) αναφέρεται στον απευθείας εκπνεόμενο καπνό από το στόμα του καπνιστή (mainstream smoke) και στο μέρος του καπνού εκείνο που εκλύεται από το καίόμενο άκρο του τσιγάρου (sidestream smoke). Ο καπνός από το τσιγάρο αποτελείται από περισσότερα από 4000 χημικά συστατικά και υφίσταται φυσικοχημικές μεταβολές με το πέρασμα του χρόνου. Το κάπνισμα συνδέεται με παραγωγή σωματιδίων διαμέτρου 0.01 έως 1.0 μm (μέση διάμετρος 0.5μm), τα οποία είναι κυρίως υγρά σωματίδια που σχηματίζονται από τον υπέρθερμο καπνό του τσιγάρου (Glytsos et al., 2010; ASHRAE, 1997). Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, άρχισαν να πραγματοποιούνται μετρήσεις των εκπομπών από τον καπνό του τσιγάρου (mainstream και sidestream smoke) οι οποίες συνδέθηκαν με τα πολύ μικρά σωματίδια; 0.1-0.5μm (Ueno et al., 1986; Ishizu et al., 1980; Chen et al., 1986; McCusker et al., 1982). Το κάπνισμα, λόγω των σημαντικά δυσμενών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, πιθανόν να αποτελεί την πηγή η οποία έχει μελετηθεί περισσότερο από όλες από την επιστημονική κοινότητα, τόσο ως προς τη μάζα των σωματιδίων (Klepeis et al., 1999; Lai et al., 2004; Schauer et al., 1999; Sohn et al., 1999) όσο και ως προς τον αριθμό τους (Afshari et al., 2005; Kleeman et al., 1999). Οι Klepeis et al., 2003 πραγματοποίησαν πειραματική και αριθμητική προσέγγιση της κατανομής μεγέθους βάσει του αριθμού των σωματιδίων που παράγονται από το κάπνισμα, υπολόγισαν το ρυθμό εκπομπής και κατέληξαν ότι η επικρατέστερη διάμετρος της κατανομής είναι αυτή των 0.2μm. Οι Morawaska et al., 1997 μελέτησαν την κατανομή μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων που παράγονται από το κάπνισμα και την εξέλιξή της στο χρόνο. Παρατήρησαν ότι κυρίως μικρότερα του 1μm σωματίδια παράγονται κατά τη διάρκεια του καπνίσματος αλλά και δευτερογενώς μετά τη λήξη του, με φυσικοχημικούς μηχανισμούς όπως διαπίστωσαν και οι Glytsos et al., 2010. Μάλιστα, η υψηλότερη συγκέντρωση σωματιδίων (κυρίως

μεγέθους 0.6-0.9 μm) καταγράφηκε 10 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Αύξηση στο μέγεθος των σωματιδίων από 20 έως 50% παρατηρήθηκε στα πρώτα 30-60 λεπτά των πειραμάτων ενώ αργότερα, η κατανομή μεγέθους τους παρέμεινε σταθερή. Ένας ακόμα μηχανισμός που επηρεάζει την κατανομή των σωματιδίων από το κάπνισμα είναι αυτός της *συσσωμάτωσης* των μικρών σωματιδίων (μερικών δεκάδων νανομέτρων) και τη δημιουργία μεγαλύτερων (μέχρι 1 μm) όπως παρατήρησαν οι Afshari et al., 2005.

Τα **κεριά** (αρωματικά ή μη) και τα **στικς** χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για διακοσμητικό σκοπό ή για να αρωματιστεί ένας χώρος. Επίσης καύση κεριών συναντάμε και σε χώρους εκκλησιών ή αρχαιοτήτων, όπου παρατηρείται το φαινόμενο του “μαύρου αποτυπώματος” σε γλυπτά, πίνακες και τοιχογραφίες από τις εκπομπές των κεριών (Edwards et al., 2005; Hyunh et al., 1991, Perez et al., 1999). Οι εκπομπές αναμένεται να επηρεάζονται από το υλικό, τον τρόπο κατασκευής, την ποσότητα που χρησιμοποιείται, τη διάρκεια καύσης κ.α. Έχει βρεθεί ότι κατά την καύση των **κεριών** παράγονται πολύ μικρά σωματίδια της τάξης των μερικών νανομέτρων (Hussein et al., 2006; Matson 2005; Wiertbicka et al., 2008) αλλά και μεγαλύτερα (0.1-1 μm) (Long et al., 2000; Ogulei et al., 2006) τα οποία μπορούν να αιωρούνται στον αέρα ενός δωματίου για μεγάλο χρονικό διάστημα (Cole et al., 1998). Οι Fan and Zhang, 2001 πραγματοποίησαν μετρήσεις των εκπομπών σωματιδίων από την καύση διακοσμητικών κεριών και παρατήρησαν πως η εικόνα της κατανομής τους κατά τη διάρκεια της καύσης είναι διαφορετική από εκείνη κατά το σβήσιμο των κεριών. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της συνεχούς καύσης τους, εκλύθηκαν κυρίως σωματίδια διαμέτρου 0.1-0.2 μm ενώ κατά το σβήσιμο και το χρονικό διάστημα που ακολούθησε (πήξη κεριού) παρήχθησαν μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια (0.5-0.7 μm) και μάλιστα με μεγαλύτερο ρυθμό εκπομπής. Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Fine et al., 1999, Afshari et al., 2005 και οι Glytsos et al., 2010 πραγματοποιώντας αντίστοιχες μετρήσεις με αρωματικά ή μη κεριά. Ειδικότερα οι Glytsos et al., 2010 παρατήρησαν ότι κατά το σβήσιμο των κεριών φυσώντας αέρα σε αυτά, καταγράφηκε έκλυση σωματιδίων μεγαλύτερης διαμέτρου (άρα και μεγαλύτερης μάζας) από ότι στην περίπτωση που σβήστηκαν ακουμπώντας τα με βρεγμένα δάχτυλα. Τέλος, μία κοινή παρατήρηση στις περισσότερες από τις προαναφερθείσες εργασίες είναι ότι ο συνολικός αριθμός σωματιδίων κατά την καύση, αυξήθηκε απότομα και παρέμεινε σταθερός καθ’ όλη τη διάρκεια της καύσης. Αντιθέτως, η συνολική μάζα των σωματιδίων συνέχισε να αυξάνεται μέχρι και το σβήσιμο των κεριών, όπου ο ρυθμός εκπομπής αυξάνεται σημαντικά.

Οι μελέτες που εστίασαν στις εκπομπές σωματιδίων από την καύση αρωματικών **στικς** έθεσαν διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν το αποτέλεσμα όπως το είδος των στικς, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα, ο όγκος του δωματίου κ.α. αλλά όλες κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η μέγιστη εκπομπή παρατηρείται κατά το σβήσιμο των στικς (Chang et al., 2007; Cheng et al., 1995; Mannix et al., 1996; See et al., 2006). Η συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων σε μεγαλύτερα είναι ο κύριος μηχανισμός που επηρεάζει την κατανομή των σωματιδίων κατά την καύση των στικς (Kao et al., 2002; Yang et al., 2007). Το φάσμα μεγέθους των σωματιδίων που παράγονται κατά την καύση και το σβήσιμο των στικς είναι το ίδιο με εκείνο των κεριών (σωματίδια μέχρι 1 μ m).

Μία ξεχωριστή κατηγορία πηγών αφορά στις **συσκευές υγραερίου** (εστίες κουζίνας, σόμπες κλπ), διαφόρων μεγεθών που χρησιμοποιούνται για μαγείρεμα ή θέρμανση. Αν και περισσότερο ενδιαφέρον έχει το χημικό προφίλ των πηγών αυτών, δεν είναι αμελητέος ο αριθμός των σωματιδίων που παράγονται κατά τη λειτουργία τους. Σύμφωνα με μετρήσεις συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων από τους Afshari et al., 2005, τα σωματίδια που παράγονται κατατάσσονται στο φάσμα των 0.3-1 μ m, συμπεριλαμβάνοντας και τα καιόμενα σωματίδια της σκόνης που συσσωρεύονται στην επιφάνεια της εστίας αλλά και τα σωματίδια από την καύση του αερίου. Μείωση της συγκέντρωσης των υπέρλεπτων σωματιδίων κατά τη λειτουργία εστιών με υγραέριο παρατήρησαν οι Dennekamp et al., 2001 και Ross et al., 1999 αποδίδοντας το φαινόμενο στη συσσωμάτωση σε μεγαλύτερα.

1.3.2 Πηγές σχετικές με μαγείρεμα

Μία από τις κυριότερες πηγές σωματιδίων σε έναν εσωτερικό χώρο (κατοικίας, εστιατορίου κ.α.) είναι αυτή του **μαγειρέματος**. Μία ομάδα ερευνητών (Wong et al., 2004) παρατήρησε συσχέτιση των συμπτωμάτων στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών προσχολικής ηλικίας με την παραμονή τους στο σπίτι κατά τη διάρκεια μαγειρέματος με εστίες υγραερίου, σε περιοχές του Hong Kong με χαμηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το μαγείρεμα έχει σχετιστεί με την εκπομπή μικρών σωματιδίων με διάμετρο από μερικές δεκάδες νανόμετρα μέχρι 1 μ m όπως έχουν καταλήξει οι σχετικές μελέτες (Buonanno et al., 2009; Sjaastad et al., 2007; Yeung and To, 2008; Afshari et al., 2005; Dennekamp et al., 2001; Wallace et al., 2000; Abt et al., 2000; Sohn et al., 1999; Li et al., 1993;). Οι Yeung and To, 2008 μελέτησαν την εκπομπή σωματιδίων κατά τη διάρκεια μαγειρέματος σε ηλεκτρική εστία και εστία

υγραερίου. Η κατανομή του αριθμού των σωματιδίων βρέθηκε να είναι lognormal και ο αριθμός των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη του 1μm αυξήθηκε σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Siegmann and Sattler, 1996 οι οποίοι κατέγραψαν αύξηση και στο μέγεθος και στον αριθμό των σωματιδίων με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 35°C. Η ομάδα των Fluckiger et al., 2000 εξέτασε τις εκπομπές από το μαγείρεμα σε τρεις διαφορετικές (ως προς τη σχεδίαση) εστίες υγραερίου και μία ηλεκτρική, ανιχνεύοντας σωματίδια μικρότερα από 0.75μm. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση των σωματιδίων που παράγονται έχει σχέση περισσότερο με το είδος του φαγητού που μαγειρεύεται και όχι τόσο με την εστία που χρησιμοποιείται, συμπέρασμα που βρέθηκε και από τους See et al., 2006 και Li et al., 1993. Αντιθέτως, οι Glytsos et al., 2010 παρατήρησαν ότι οι εστίες υγραερίου παρήγαγαν μεγαλύτερο αριθμό σωματιδίων σε σχέση με τις ηλεκτρικές εστίες. Έτσι, ένα ασφαλές συμπέρασμα δεν μπορεί να εξαχθεί καθώς η ένταση των εκπομπών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως *το είδος της εστίας και των σκευών* που χρησιμοποιούνται, τα *υλικά*, η *θερμοκρασία* κ.α. Σε γενικές γραμμές, το **τηγάνισμα** φαίνεται να είναι το είδος του μαγειρέματος που παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων (Sjaastad et al., 2007; Afshari et al., 2005) ενώ το **βράσιμο του νερού** δεν φαίνεται να παράγει σημαντικό αριθμό ή μάζα σωματιδίων (εξαιρουμένων των εκπομπών από τις εστίες) όπως κατέληξαν οι Glytsos et al., 2010 και Dennekamp et al., 2001. Ειδικότερα για το τηγάνισμα, οι Afshari et al., 2005 και Wallace et al., 2000 παρατήρησαν περαιτέρω αύξηση των σωματιδίων μεταξύ 0.3-1μm ακόμα και μετά τη λήξη της δραστηριότητας, αποδίδοντάς την παρατήρηση αυτή στους μηχανισμούς της συσσωμάτωσης και συμπύκνωσης. Σε αντίστοιχο συμπέρασμα κατέληξε και η μελέτη των Abt et al., 2000b καθώς παρατηρήθηκε πως κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, εκτός από μικρά σωματίδια (0.02-0.5μm), παρήχθησαν και μεγαλύτερα (1-10μm), πιθανόν λόγω της παρουσίας των υδρατμών. Όλες οι προαναφερθείσες μελέτες εστίασαν στις εκπομπές σωματιδίων από διαφορετικά είδη μαγειρέματος (τηγάνισμα κρέατος ή λαχανικών, ψήσιμο σε γκριλ, ψήσιμο σε ειδικό κινέζικο σκεύος, ψήσιμο σε ξύλα κ.α.) τα οποία όμως διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα. Το είδος της εστίας (ηλεκτρική, με υγραέριο ή φωτιά σε ξύλα), τα σκεύη αλλά και τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε κάθε περιοχή εξαρτώνται από πολλούς πολιτισμικούς και οικονομικούς παράγοντες.

1.3.3 Πηγές σχετικές με επαναιώρηση

Οι πηγές επαναιώρησης της ήδη συσσωρευμένης σκόνης σε ένα χώρο αποτελούν μία ξεχωριστή κατηγορία. Από τις σημαντικότερες είναι το **περπάτημα** σε γυμνό

δάπεδο ή χαλί ή μοκέτα, κατά το οποίο παράγονται κυρίως μεγάλα σωματίδια ($>1\mu\text{m}$) όπως έχει βρεθεί από τους Luoma and Batterman, 2001; Thacher and Layton, 1995. Επαναιώρηση σκόνης προκαλείται και με τη δραστηριότητα του **σκουπίσματος**. Η χρήση της **ηλεκτρικής σκούπας** σε ένα χώρο έχει βρεθεί να συνδέεται με την παραγωγή πολύ μικρών αλλά και χονδρόκοκκων σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, συνδέεται με την επαναιώρηση της συσσωρευμένης σε ένα χώρο σκόνης, άρα με τα μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια ($>2.5\mu\text{m}$) όπως παρατηρήθηκε από τους Corsi et al., 2008; Ferro et al., 2004 και Glytsos et al., 2010. Παράλληλα όμως, έχει καταγραφεί και η εκπομπή πολύ μικρών σωματιδίων (της τάξης των νανομέτρων) από το μηχανικό μέρος της ηλεκτρικής σκούπας (Glytsos et al., 2010; Afshari et al., 2005). Οι Liou et al., 1999 κατέγραψαν εκπομπή σωματιδίων 0.3-0.5 μm . Επίσης, η ομάδα των Afshari et al., 2005 μελέτησαν την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων κατά τη χρήση ηλεκτρικής σκούπας με και χωρίς φίλτρο, συμπεραίνοντας ότι το φίλτρο φαίνεται να συγκρατεί ένα σημαντικό μέρος των υπέρλεπτων σωματιδίων. Οι Montoya et al., 2005 μελέτησαν τη συγκέντρωση των σωματιδίων καθ' ύψος που παράγονται από τη δραστηριότητα του σκουπίσματος με ηλεκτρική σκούπα. Παρατήρησαν ότι κατά τη δραστηριότητα αυτή παράγονται κυρίως χονδρόκοκκα σωματίδια ($>3\mu\text{m}$) και μάλιστα η συγκέντρωσή τους μειώνεται με το ύψος. Η πυκνότητα των σωματιδίων αυτών ήταν μικρότερη από $1\text{g}/\text{cm}^3$, επιτρέποντας τους να έχουν μικρή ταχύτητα εναπόθεσης και να αιωρούνται για αρκετό χρονικό διάστημα.

1.3.4 Πηγές που περιλαμβάνουν θερμαινόμενες επιφάνειες

Οι έρευνες έχουν δείξει πως οι εκπομπές σωματιδίων που σχετίζονται με πηγές που περιλαμβάνουν **θερμαινόμενες επιφάνειες** (π.χ μάτια κουζίνας, καλοριφέρ, ηλεκτρικό σίδερο), εξαρτώνται σημαντικά από την ποσότητα της σκόνης που έχει συσσωρευτεί σε αυτές (Glytsos et al., 2010; Pedersen et al., 2001). Η εκπομπή από τις επιφάνειες αυτές συνδέεται κυρίως σωματίδια μικρότερης του $1\mu\text{m}$ διαμέτρου. Όπως αναφέρεται από τους Hirnonen et al., 1990; Pedersen et al., 2001; Krafthefer et al., 1990, όταν η σκόνη έρχεται σε επαφή με πολύ θερμές επιφάνειες σε εσωτερικό περιβάλλον, η μεγάλη θερμότητα μπορεί να προκαλέσει εκπομπή σωματιδίων. Έτσι, οι πηγές αυτές δε μπορούν να θεωρηθούν πρωτογενείς πηγές σωματιδίων. Μάλιστα, οι Hirnonen et al., 1990 προτείνουν να μειώνεται η θερμοκρασία των θερμών επιφανειών όταν σε αυτές έχει συσσωρευτεί σκόνη, προτείνοντας μία μέγιστη θερμοκρασία (70°C).

Μία πηγή με θερμαινόμενη επιφάνεια η οποία δεν έχει μελετηθεί εκτενώς είναι αυτή της χρήσης **ηλεκτρικού σίδερου** με ή χωρίς ταυτόχρονη έκλυση ατμού. Όπως υπογραμμίζεται από τους Afshari et al., 2005, κατά το σιδέρωμα σωματίδια εκπέμπονται όχι μόνο από τη θερμή επιφάνεια της συσκευής αλλά και από τις ίνες του υφάσματος. Ειδικά στην περίπτωση της χρήσης ατμού, γίνεται συμπύκνωση των υδρατμών πάνω στα ήδη υπάρχοντα πολύ μικρά σωματίδια (από τη θερμή επιφάνεια και το ύφασμα), τα οποία αποκτούν μεγαλύτερο μέγεθος.

Ο **στεγνωτήρας μαλλιών** (σεσουάρ) αποτελεί μία πηγή που περιλαμβάνει θερμαινόμενη αντίσταση, η οποία έχει συνδεθεί με την εκπομπή μικρών (της τάξης των 20nm) σωματιδίων, χωρίς παρόλα αυτά να έχουν καταγραφεί μεγάλες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων (Glytsos et al., 2010; He et al,2004; Hussein et al., 2006)

1.3.5 Σπρέυ

Τα **σπρέυ** αποτελούν μία ξεχωριστή κατηγορία πηγών που έχουν μελετηθεί. Ομαδοποιούνται βάσει της χρήσης τους (αρωματικά χώρου, καλλυντικά, καθαριστικά), της κατασκευής τους (υπό πίεση ή μη) και της χημικής τους σύστασης. Οι εκπομπές των σπρέυ ως προς τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μελετηθεί περιορισμένα μέχρι στιγμής. Οι Glytsos et al., 2010 πραγματοποίησαν μετρήσεις κατά τη χρήση σπρέυ μαλλιών και κατέγραψαν την εκπομπή κυρίως σωματιδίων με διάμετρο 1-2.5 μ m. Κατά τον ψεκασμό, η μάζα των σωματιδίων ήταν εκείνη που αυξήθηκε σημαντικά (12 φορές σε σχέση με το υπόβαθρο) ενώ ο αριθμός παρουσίασε μικρή αύξηση (1.5 φορά). Τις εκπομπές από αρωματικό σπρέυ χώρου μελέτησε η ομάδα των Afshari et al., 2005 και παρατήρησαν ότι αρχικά παρήχθησαν πολύ μικρά σωματίδια (<0.1 μ m) τα οποία σταδιακά μέσω της συμπύκνωσης μετατρέπονται σε μεγαλύτερα (0.3-1 μ m).

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζεται μία συνοπτική εικόνα των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί για τη μέτρηση του προφίλ πηγών εσωτερικών χώρων, σε πραγματικό περιβάλλον ή θάλαμο δοκιμών.

Πηγή	Αναφορά	Πεδίο μετρήσεων	Μέγεθος παραγόμενων σωματιδίων
κάπνισμα	Ueno et al., 1986		0.1μm
	Ishizu et al., 1980		0.16-0.17μm
	Chen et al., 1986		0.23-0.44μm
	McCusker et al., 1982		0.44μm
	Morawska et al., 1997	3 κατοικίες και 2 χώροι αναψυχής	0.06-0.09μm και 3-4μm
	Kleeman et al., 1999	θάλαμος δοκιμών	0.3-0.4μm
	Klepeis et al., 2002	θάλαμος δοκιμών	0.1-10μm
	Klepeis et al., 2003	θάλαμος δοκιμών	0.2μm
	He et al., 2004	κατοικία	<2.5μm
	Afshari 2005	θάλαμος δοκιμών	ultrafine particles 0.3-0.6μm <1μm
	Glytsos et al., 2010	θάλαμος δοκιμών	<0.9μm
κεριά	Fan et al., 2001		0.1-0.2μm και 0.5-0.7μm (σβήσιμο)
	Afshari 2005		ultrafine (καύση) 0.3-1μm (σβήσιμο)
	Pagels et al., 2009	θάλαμος δοκιμών	<1μm
	Glytsos et al., 2010		ultrafine
	Hussein et al., 2006		ultrafine
	Long et al., 2000		0.1-1μm
	Ogulei et al., 2006		0.1-1μm
εστία	Afshari 2005	θάλαμος δοκιμών	0.3-1.0 μm
τηγάνισμα	Afshari 2005	θάλαμος δοκιμών	ultrafine particles 0.1 & 0.3-1.0 μm
	Glytsos et al., 2010	θάλαμος δοκιμών	ultrafine
	Lee et al., 2001	4 εστιατόρια	PM2.5 και PM10
	Yeung et al., 2008	θάλαμος δοκιμών	0.1-0.4μm
	Abt et al., 2000a	4 κατοικίες	0.02-0.5μm και 0.7-10μm
	Wallace et al., 2000	κατοικία	ultrafine και fine
	Sjaastad et al., 2008	κατοικία	<0.5μm
	Dennekamp et al., 2001	θάλαμος δοκιμών	ultrafine
	Fluckiger et al., 2000		<0.75μm
επαναιώρηση από μοκέτα	Thatcher et al., 1995	κατοικία	0.3->25μm
	He et al., 2004	κατοικία	<1μm και PM2.5
	Abt et al., 2000a	4 κατοικίες	3-4.3μm
	Montoya et al., 2005	θάλαμος δοκιμών	>10μm
	Luoma and Batteman, 2001		>1μm
ηλεκτρική σκούπα	Liroy et al., 1999		0.3-0.5μm
	Afshari 2005	θάλαμος δοκιμών	ultrafine particles 0.4-0.6 μm
	Glytsos et al., 2010	θάλαμος δοκιμών	>2.5μm
	Montoya et al., 2005	θάλαμος δοκιμών	>3μm
	Abt et al., 2000a	4 κατοικίες	0.7-10μm
σιδέρωμα	Afshari 2005	θάλαμος δοκιμών	0.3-0.5μm
σπρέυ	Afshari 2005	θάλαμος δοκιμών	0.3-1μm
	Glytsos et al., 2010	θάλαμος δοκιμών	1-2.5μm

Πίνακας 1.2 Σχετικές μελέτες με μετρήσεις προφίλ πηγών εσωτερικών χώρων, σε πραγματικό περιβάλλον ή θάλαμο δοκιμών

Συμπερασματικά, εξετάζοντας τη συνολική μέχρι στιγμής εικόνα της έρευνας για τα προφίλ πηγών αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους, παρατηρείται πως είναι εξίσου -ίσως και περισσότερο- πολύπλοκα από τα προφίλ πηγών στον εξωτερικό αέρα. Αν και οι πειραματικές μελέτες που εξετάζουν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των πηγών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι εκτεταμένες και έχουν ξεκινήσει πριν από τέσσερις τουλάχιστον δεκαετίες, το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει στραφεί από τη δεκαετία του 1980 και στη μελέτη των εσωτερικών πηγών, δεδομένου ότι ο άνθρωπος καταναλώνει περισσότερο από το 80% του χρόνου του σε κλειστούς χώρους.

Το μέγεθος των σωματιδίων τα οποία μετρήθηκαν στις μελέτες αυτές, εξαρτήθηκε κυρίως από την **εξέλιξη του μετρητικού εξοπλισμού**. Την πρώτη δεκαετία, κυρίως τα κλάσματα των PM10 και PM2.5 μετρήθηκαν μέσω της βαρυμετρικής μεθόδου (χρήση φίλτρου που τοποθετείται σε δειγματολήπτη χαμηλής ή υψηλής ροής αέρα). Ταυτόχρονα, ξεκίνησε να γίνεται και χημικός χαρακτηρισμός των σωματιδίων στον εσωτερικό αέρα, σε ιόντα, μέταλλα και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Αργότερα, μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1990, το ενδιαφέρον στράφηκε στα μικρότερα του 1μm σωματίδια, τα PM1, λόγω των δυσμενών επιπτώσεων τους στην υγεία. Την τελευταία δεκαετία, παρόλα αυτά, η αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ μεγέθους σωματιδίων και της αρνητικής επίδρασης στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου οδήγησε τις έρευνες σε ακόμα μικρότερα σωματίδια. Επιπλέον, ο μετρητικός εξοπλισμός εξελίχθηκε τόσο όσο να μετράει μάζα, αριθμό και επιφάνεια σωματιδίων, τρεις σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία από -μικρής διάρκειας ή μακροπρόθεσμη- έκθεση σε ένα επιβαρυμένο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, τα μικρότερα του 1μm κλάσματα σωματιδίων δεν έχουν ακόμα χαρακτηριστεί χημικά λόγω έλλειψης κατάλληλου εξοπλισμού.

Οι πειραματικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό την εκτίμηση των πηγών αιωρούμενων σωματιδίων σε ένα εσωτερικό περιβάλλον χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: εκείνες στις οποίες οι μετρήσεις έγιναν σε **πραγματικό περιβάλλον** (κατοικίες, εργασιακοί χώροι κ.α.) και σε εκείνες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε **απομονωμένους θαλάμους (chamber rooms)**. Οι εργασίες της δεύτερης κατηγορίας είναι περισσότερο περιορισμένες και ξεκίνησαν να πραγματοποιούνται σχετικά πιο πρόσφατα από εκείνες της πρώτης (από τα τέλη της δεκαετίας του 1990).

Ανάμεσα στις πηγές εσωτερικού περιβάλλοντος που έχουν εξεταστεί μέχρι στιγμής, εκείνη για την οποία έχουν γίνει οι περισσότερες μελέτες είναι το κάπνισμα. Μετρήσεις εκπομπών σωματιδίων και άλλων ρύπων από την καύση του τσιγάρου ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1970. Αντίθετα, μελέτες των προφίλ άλλων εσωτερικών πηγών εμφανίστηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1990, δίνοντας έμφαση στις πηγές καύσης αρωματικών κεριών, στα διάφορα είδη μαγειρέματος και στις πηγές επαναιώρησης.

Παρόλο που τα συμπεράσματα των μελετών για τα προφίλ των εσωτερικών πηγών που έχουν μέχρι στιγμής μετρηθεί συγκλίνουν, είναι εμφανές ότι κάποιες πηγές διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μαγείρεμα, το οποίο πραγματοποιείται με πολύ διαφορετικούς τρόπους σε κάθε χώρα. Η βασική διαφοροποίηση αφορά στο είδος της εστίας που χρησιμοποιείται: ηλεκτρική, υγραερίου ή και ακάλυπτη φωτιά. Επίσης, τα αρωματικά κεριά και στικς τα οποία χρησιμοποιούνται μόνο διακοσμητικούς αλλά και για θρησκευτικούς σκοπούς σε πολλούς εσωτερικούς χώρους. Έτσι, παράγοντες οικονομικοί και πολιτισμικοί διαφοροποιούν συνήθως τη χρήση της κάθε πηγής σε ένα εσωτερικό περιβάλλον και τα υλικά που χρησιμοποιούνται.

Παρόλο που ένας ικανοποιητικός αριθμός πηγών σωματιδίων που βρίσκονται σε ένα εσωτερικό περιβάλλον έχει μελετηθεί, μία πλήρης εικόνα για αυτές δεν έχει ακόμα σχηματιστεί. ***Ένα από τα στοιχεία καινοτομίας της παρούσας διατριβής είναι η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων με τα προφίλ των βασικών δραστηριοτήτων-πηγών σωματιδίων που υπάρχουν σε ένα εσωτερικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον (chamber room) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατανομής μεγέθους σωματιδίων (μάζα και αριθμός) των προφίλ 25 πηγών σωματιδίων στο φάσμα μεγέθους από 0.23μm έως 20μm. Στοιχεία από τη βάση δεδομένων αυτή, χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή ενός μοντέλου αποδέκτη (όπως περιγράφεται στα επόμενα κεφάλαια) με σκοπό την ανίχνευση των πηγών σε πραγματικούς χώρους και την εκτίμηση των συνεισφορών τους.***

Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογίες ανίχνευσης πηγών σωματιδίων και εκτίμησης των συνεισφορών τους

2.1	Η μεθοδολογία Source Apportionment.....	23
2.2	Receptor models-μοντέλα αποδέκτη.....	25
2.2.1	Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis).....	29
2.3	Το μοντέλο της Positive Matrix Factorization (PMF).....	31
2.3.1	Εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων/πηγών.....	35
2.3.2	Αποτέλεσμα της PMF και ταυτοποίηση παραγόντων με πηγές.....	36
2.4	Μελέτες receptor modeling για αιωρούμενα σωματίδια - Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	38

2.1 Η μεθοδολογία Source Apportionment

Για την αποτελεσματικότερη μείωση των επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία ρύπων σε ένα εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον, είναι αναγκαία η γνώση ορισμένων παραμέτρων όπως είναι το είδος, το πλήθος και η ένταση των πηγών των ρύπων, το φυσικοχημικό προφίλ των εκπομπών τους, οι μηχανισμοί διάχυσης, διασποράς, εναπόθεσης, χημικού μετασχηματισμού ή συσσωμάτωσης κ.α.

Ένα πρώτο βήμα για τις στρατηγικές μείωσης της έκθεσης του πληθυσμού στους αέριους ρύπους είναι η **ανίχνευση των πηγών** τους, σε εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον. Ποσοτικοποιώντας τα χαρακτηριστικά των πηγών καθώς και τη **συνεισφορά** τους, μπορεί να δωθεί προτεραιότητα στην εύρεση λύσεων ώστε να περιοριστούν εκείνες που συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην έκθεση του πληθυσμού. Η εύρεση της συνεισφοράς κάθε πηγής στα επίπεδα της ρύπανσης του αέρα είναι μια αρκετά πολύπλοκη εργασία. Απαιτεί αξιόπιστα δεδομένα εκπομπών μέσω εστιασμένων μετρήσεων με καλά καθορισμένη αβεβαιότητα και την εφαρμογή των κατάλληλων μαθηματικών εργαλείων, που αναφέρονται ως τεχνικές **source apportionment**.

Στο πεδίο της διαχείρισης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, οι μεθοδολογίες source apportionment, βασισμένες σε πειραματικά δεδομένα, έχουν ως σκοπό να προσδιορίσουν τα χαρακτηριστικά και τη συνεισφορά των πηγών των ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) στα οποία εστιάζει η παρούσα διατριβή. Οι τεχνικές source apportionment για τον εντοπισμό των πηγών των PM χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

A. μέθοδοι που βασίζονται στην εκτίμηση των πειραματικών δεδομένων.

Εφαρμόζεται απλή αριθμητική-στατιστική επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων που έχουν συλλεχθεί με σκοπό την ανίχνευση των πηγών. Παραδείγματα αποτελούν τα παρακάτω:

1. διερεύνηση συσχέτισης συγκεντρώσεων αέριων ρύπων με τα συστατικά των PM
2. συσχέτιση της διεύθυνσης του ανέμου με τις μετρούμενες συγκεντρώσεις των PM και των συστατικών τους με σκοπό τον εντοπισμό της προέλευσής τους (Henry, Chang & Spiegelman, 2002)
3. Αφαίρεση των μετρούμενων επιπέδων ρύπων σε ευρύτερες περιοχές υποβάθρου από εκείνα αστικών περιοχών ή/και περιοχών κοντά σε δρόμους με σκοπό την εκτίμηση της συνεισφοράς της ευρύτερης περιοχής, της αστικής περιοχής και της περιοχής οδικού δικτύου (Lenschow et al., 2001, Escuadero et al., 2007)

Οι δύο τελευταίες μεθοδολογίες εφαρμόζονται για τον εξωτερικό αέρα. Το κύριο πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι η απλότητά τους και το σχετικά μικρό περιθώριο σφάλματος στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων.

B. μέθοδοι που βασίζονται σε βάσεις απογραφής εκπομπών πηγών (emission inventories) ή σε μοντέλα διασποράς με σκοπό την προσομοίωση της εκπομπής, του σχηματισμού, της μεταφοράς και της εναπόθεσης των σωματιδίων (Eldering & Cass, 1996; Visser et al., 2001). Αυτά τα μοντέλα απαιτούν λεπτομερείς απογραφές εκπομπών (emission inventories, τα οποία όμως δεν είναι πάντα διαθέσιμα και περιορίζονται από την ακρίβεια των στοιχείων αυτών ειδικά όταν οι φυσικές εκπομπές γίνονται σημαντικές. Επιπλέον, βασίζονται σε δεδομένα που παράγονται από προγνωστικά ή διαγνωστικά μετεωρολογικά μοντέλα και παρατηρήσεις μεγάλης χωρικής διακρίσιμότητας. Η αβεβαιότητα που εισέρχεται σχετίζεται τόσο με τους συντελεστές εκπομπής που χρησιμοποιούνται, όσο και με τα πρωτογενή στοιχεία για να εφαρμοστούν με ακρίβεια. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες υπό συγκεκριμένα σενάρια για να εκτιμήσουν την επίπτωση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων. Τέλος, υπάρχει και η μέθοδος του αντίστροφου προβλήματος (inverse problem) με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης και των χαρακτηριστικών εκπομπής με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων (Tsiouri et al., 2010).

Γ. μέθοδοι που βασίζονται στη στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων ή/και των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των PM όπως μετρούνται σε μία ή περισσότερες τοποθεσίες δέκτη (receptor sites). Οι στατιστικές μέθοδοι αυτές

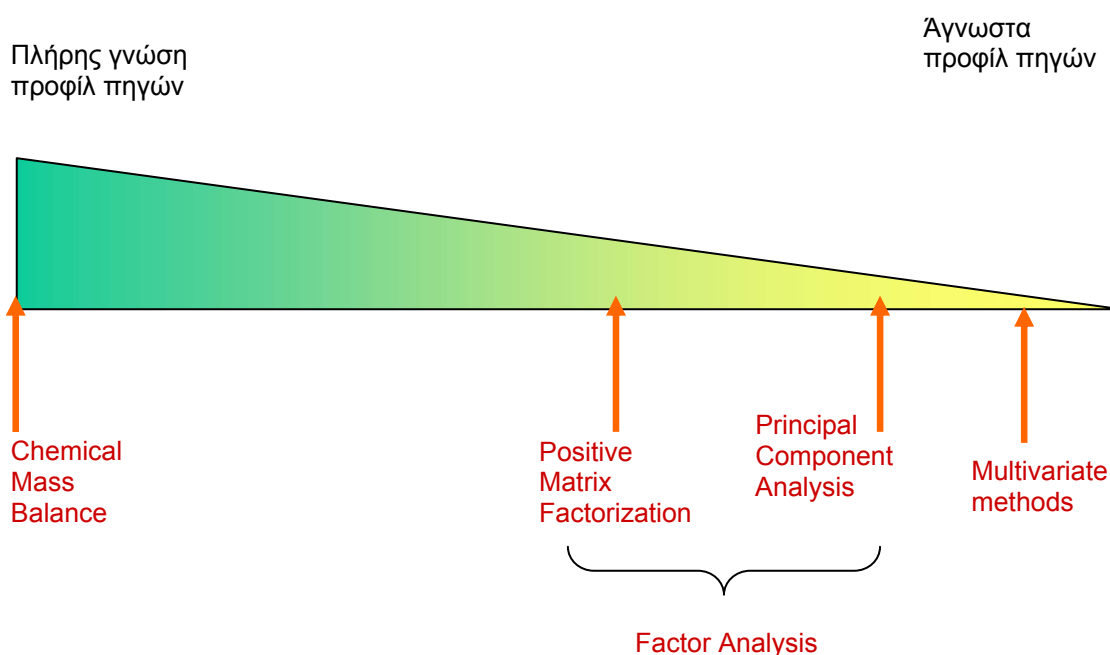
ονομάζονται **receptor models (μοντέλα αποδέκτη)** και βασίζονται στην αρχή διατήρησης της μάζας. Ο κύριος σκοπός των μοντέλων αποδέκτη είναι να ανιχνεύσουν τις πιθανές πηγές των *PM* και να δώσουν στοιχεία για την συνεισφορά της κάθε πηγής στις ολικές συγκεντρώσεις των *PM* που μετρούνται σε μία ή περισσότερες τοποθεσίες δέκτη (Hörke et al., 2006). Οι τεχνικές αυτές απαιτούν ένα συγκεκριμένο βαθμό γνώσης για τις πηγές που αφορά στο πλήθος των πηγών, στο προφίλ των πηγών (ποιες ουσίες εκπέμπονται από ποιες πηγές) και την ένταση των πηγών ανεξαρτήτως της προέλευσής τους (εσωτερικές ή εξωτερικές).

Συμπερασματικά, το επιστημονικό ενδιαφέρον εστιάζεται στις τεχνικές αυτές οι οποίες οδηγούν στον εντοπισμό των πηγών που διαμορφώνουν την αέρια ρύπανση σε ένα εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον, δίνοντας τη δυνατότητα για την εύρεση λύσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος, ακόμα κι αν τα προφίλ των πηγών είναι άγνωστα. Στη συνέχεια ακολουθεί μία αναφορά στις βασικότερες μεθόδους receptor modeling και μία συζήτηση με συγκριτικά σχόλια για αυτές.

2.2 Receptor models-μοντέλα αποδέκτη

Κατά μία έννοια, τα μοντέλα αποδέκτη ακολουθούν αντίστροφη πορεία από τα source-oriented models. Η λογική των τελευταίων βασίζεται στο συνδυασμό γνωστών ρυθμών εκπομπής από μία ή περισσότερες πηγές και πληροφοριών για τις συνθήκες διασποράς (π.χ. μετεωρολογικές συνθήκες) ώστε να προβλεφθούν οι συγκεντρώσεις των ρύπων στον αέρα της ατμόσφαιρας ή εσωτερικού χώρου. Αντίθετα, τα μοντέλα αποδέκτη χρησιμοποιούν τα δεδομένα από μετρήσεις συγκέντρωσης των ρύπων και με μερικώς ή ολικώς γνωστά τα προφίλ των πιθανών πηγών, εκτιμούν τη συνεισφορά τους.

Μία συνοπτική εικόνα των μοντέλων αποδέκτη (receptor models) που έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα φαίνεται στο σχήμα 2.1, όπου δίνεται και μια διαβάθμιση βάσει του **βαθμού της γνώσης των προφίλ των πηγών που απαιτείται εκ των προτέρων**. Ως προφίλ μιας πηγής θεωρείται η πληροφορία που αφορά στο είδος και την ποσότητα του/των ρύπου/ων που παράγονται από μία συγκεκριμένη πηγή, π.χ. το χημικό προφίλ μιας πηγής αιωρούμενων σωματιδίων αφορά στη συγκεκριμένη σύσταση των σωματιδίων που εκπέμπονται από τη συγκεκριμένη πηγή.

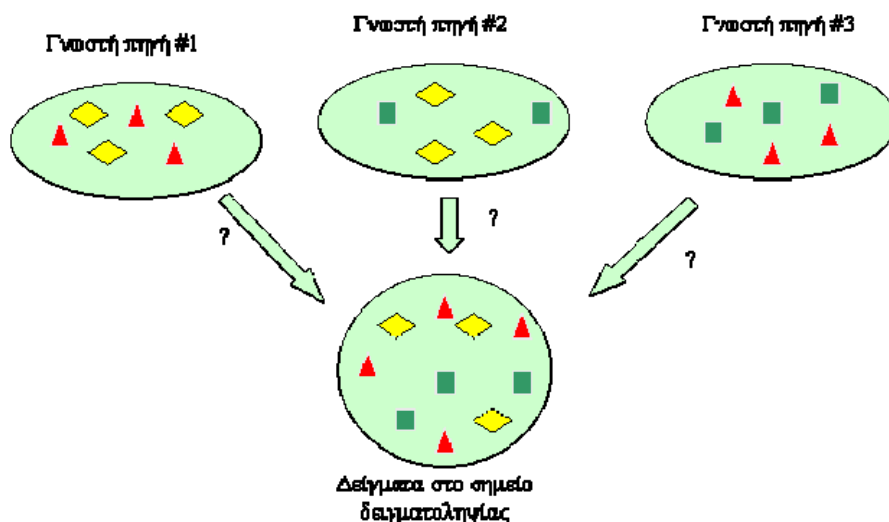


Σχήμα 2.1 Σχηματική διαβάθμιση βάσει του βαθμού της γνώσης των προφίλ των πηγών που απαιτείται εκ των προτέρων.

Οι μεθοδολογίες receptor modeling που έχουν αναπτυχθεί χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

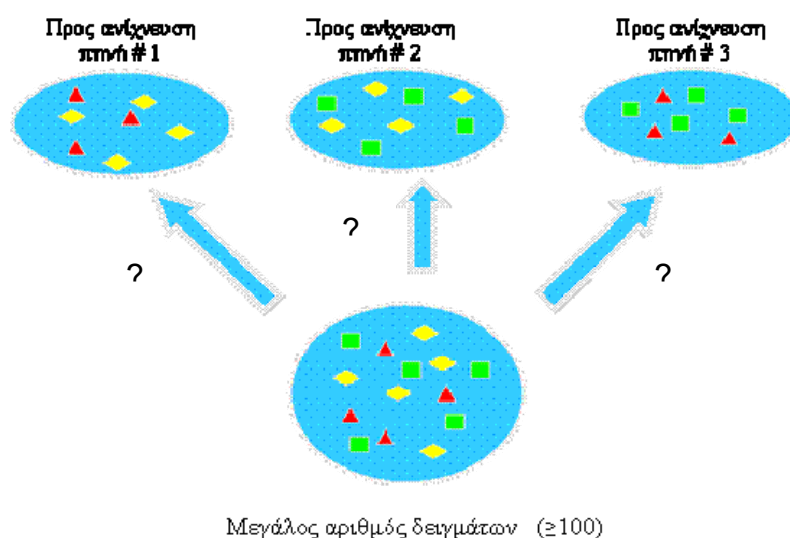
A. μεθοδολογίες στις οποίες το πλήθος και το προφίλ των πιθανών πηγών πρέπει να είναι **γνωστά** εξ αρχής (σχήμα 2.2). Στην κατηγορία αυτή ανήκει ουσιαστικά η προσέγγιση ισοζυγίου μάζας **Chemical Mass Balance** (CMB), στην οποία ο αριθμός των πηγών και το προφίλ της κάθε πηγής είναι με ακρίβεια γνωστά και δίνονται ως στοιχεία εισόδου ώστε να εκτιμηθεί η συνεισφορά της κάθε πηγής στις μετρούμενες συγκεντρώσεις.

Το μοντέλο ισοζυγίου μάζας προϋποθέτει πλήρη γνώση όλων των πιθανών πηγών πριν από την εφαρμογή του. Εάν δεν υπάρχουν μεταβολές στα προφίλ των πηγών, το μοντέλο αυτό μπορεί να δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, οι απαιτήσεις αυτές σχεδόν ποτέ δεν καλύπτονται πλήρως και έτσι, μελέτες με μοναδική μεθοδολογία την CMB παρουσιάζουν προβλήματα. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της CMB είναι ότι τα δευτερογενή σωματίδια πρέπει να συμπεριλαμβάνονται όχι ως συστατικά των προφίλ εκπομπών αλλά ως διαχωρισμένα, ανεξάρτητα χημικά στοιχεία.



Σχήμα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση των μεθοδολογιών της κατηγορίας Α.

Β. μεθοδολογίες στις οποίες υποτίθεται **ελάχιστη** εκ των προτέρων γνώση του πλήθους και των προφίλ των πιθανών πηγών (σχήμα 2.3). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα μοντέλα που χρησιμοποιούν παραγοντική ανάλυση (factor analysis) για να προσδιορίσουν τις συσχετίσεις μεταξύ των διακυμάνσεων της συγκέντρωσης των μετρούμενων ειδών (π.χ. χημικών συστατικών των σωματιδίων). Αυτές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να καθορίσουν σύνολα (groups) στοιχείων σε σχεδόν σταθερές αναλογίες.



Σχήμα 2.3: Σχηματική αναπαράσταση των μεθοδολογιών της κατηγορίας Β.

Οι σημαντικότερες τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί και ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (**Principal Component Analysis**), η **APCS** (**Absolute Principal Component Scores**, η **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση**,

η **Target Transformation Factor Analysis**, η **Independent Components Analysis**, η **UNMIX** και η παραγοντοποίηση **Positive Matrix Factorization (PMF)**. Βιβλιογραφική αναφορά σε αυτές γίνεται στη παράγραφο 2.4. Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιείται το μοντέλο της PMF, για το οποίο γίνεται αναλυτική περιγραφή στην παράγραφο 2.3.

Οι Principal Component Analysis και η Factor Analysis (καθώς και οι "θυγατρικές" τους μεθοδολογίες Positive Matrix Factorization και UNMIX) επιχειρούν τη διανομή των συγκεντρώσεων στις πηγές τους από μετρήσεις σε μία τοποθεσία δέκτη μέσω "εσωτερικών συσχετίσεων" (internal correlations). Πρόκειται για ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία γιατί από τη μία πλευρά, το λογισμικό που απαιτείται είναι διαθέσιμο και εύκολα προσβάσιμο και από την άλλη, *δεν απαιτείται λεπτομερής εκ των προτέρων γνώση* του αριθμού και των προφίλ των πηγών. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι οι λύσεις που προκύπτουν πιθανόν να αναπαριστούν ομάδες περισσότερων από μία πηγών και όχι ανεξάρτητες πηγές.

Όλα τα μοντέλα βασίζονται σε ορισμένες παραδοχές οι οποίες είναι:

- η σύνθεση των εκπομπών των πηγών είναι *σταθερή* για τη περίοδο δειγματοληψίας στην πηγή και τον περιβάλλοντα αέρα.
- οι χημικές ουσίες *δεν αντιδρούν μεταξύ τους*
- όλες οι πηγές που εν δυνάμει συνεισφέρουν στο δέκτη, έχουν ανιχνευτεί και οι εκπομπές τους έχουν χαρακτηριστεί.*
- ο αριθμός των πηγών (sources) είναι *μικρότερος ή ίσος* με τον αριθμό των ουσιών (species)
- τα προφίλ των πηγών είναι *γραμμικώς ανεξάρτητα* μεταξύ τους
- οι αβεβαιότητες των μετρήσεων είναι *τυχαίες, μη συσχετίσιμες* μεταξύ τους**

* στην περίπτωση των PCA, PMF, UNMIX πρέπει να συμπεριληφθεί και ένας ιχνηθέτης για κάθε πηγή

** εφαρμογή στα CMB, PCA, UNMIX

Στην πραγματικότητα, υπάρχουν αποκλίσεις από τις υποθέσεις αυτές, αλλά τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μελετών έχουν δείξει ότι μικρές-λογικές αποκλίσεις μπορούν να γίνουν ανεκτές (Viana et al., 2008).

Μία απαίτηση για επιτυχημένη μελέτη source apportionment είναι ο αριθμός των δειγμάτων. Τυπικά, τουλάχιστον κάποιες δεκάδες δειγμάτων χρειάζονται για μία αξιόπιστη ανάλυση source apportionment. Από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν, η μέθοδος chemical mass balance απαιτεί τα λιγότερα δείγματα (<50) αλλά

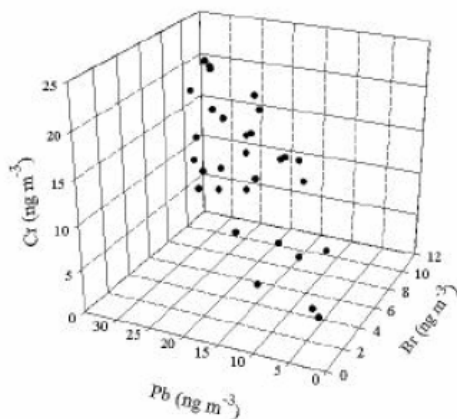
ταυτόχρονα απαιτεί και την πιο λεπτομερή ποσοτική περιγραφή του αριθμού των πηγών και των αντίστοιχων προφίλ εκπομπών. Αντιθέτως, οι τεχνικές που βασίζονται στην Factor Analysis, ενώ δεν απαιτούν εξ αρχής την πλήρη γνώση του πλήθους και των προφίλ των πηγών, εφαρμόζονται πρακτικά σε μεγάλο πλήθος δειγμάτων (>100).

2.2.1 Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis)

Σε μελέτες ανίχνευσης πηγών (source apportionment) στις οποίες οι πληροφορίες του ακριβούς αριθμού και των προφίλ των πηγών είναι άγνωστες, χρησιμοποιούνται μοντέλα αποδέκτη που στηρίζονται στην στατιστική μέθοδο της παραγοντικής ανάλυσης. Η **παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis)** είναι μία πολυμεταβλητή στατιστική μέθοδος ανάλυσης με βασικό στόχο την εύρεση του ελάχιστου αριθμού παραγόντων οι οποίοι εξηγούν το μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης του υπό μελέτη συστήματος. Αποβλέπει στο να καθορίσει αν οι παρατηρούμενες μεταβλητές (μετρούμενες συγκεντρώσεις) μπορούν να εξηγηθούν σε μεγάλο βαθμό με όρους από ένα πολύ μικρότερο πλήθος μεταβλητών, τις ανεξάρτητες μεταβλητές, που ονομάζονται παράγοντες (factors). Ουσιαστικά, τα μοντέλα που στηρίζονται στην παραγοντική ανάλυση επεξεργάζονται βάσεις δεδομένων αποτελούμενες από τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων (χημική σύσταση ή κατανομή μεγέθους), με σκοπό την κατηγοριοποίησή τους σε ομάδες κοινής προέλευσης και τελικά τον καταμερισμό των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων σε συγκεκριμένους παράγοντες, δηλαδή πηγές (Hopke 2003, Watson et al., 2002).

Ένα παράδειγμα για την κατανόηση της Factor Analysis είναι το παρακάτω.

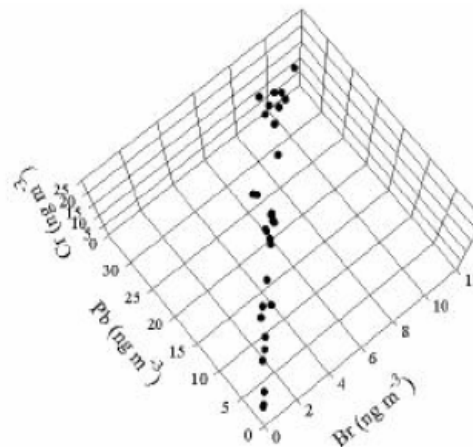
Έστω ένα πλήθος δειγμάτων από μετρήσεις σωματιδίων σε μία αστική περιοχή. Από τη χημική ανάλυση κάθε δείγματος, προκύπτει ότι τα συστατικά των σωματιδίων είναι τα: Pb, Br και Cr. Το σύνολο των δεδομένων αυτών μπορεί να απεικονιστεί σε διάγραμμα τριών διαστάσεων, με ένα “νέφος” σημείων, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



Έστω επίσης πως υπάρχουν μόνο δύο πηγές σωματιδίων στην περιοχή. Τότε, σκοπός της *factor analysis* είναι να καθορισθεί η πραγματική “διαστατικότητα” των δεδομένων και οι σχέσεις μεταξύ των μετρούμενων μεταβλητών.

Σχήμα 2.4

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι σχέσεις αυτές μπορούν να παρατηρηθούν με μία απλή περιστροφή των αξόνων έτσι ώστε ο άξονας του Cr να βγαίνει "έξω" από το επίπεδο της σελίδας όπως στο σχήμα 2.5. Τώρα είναι εμφανές ότι τα δεδομένα πραγματικά "συγκεντρώνονται" γύρω από μία γραμμή η οποία αναπαριστά τη σχέση μεταξύ των Pb και Br. Οι τιμές του Cr κατανέμονται κάθετα και είναι ανεξάρτητες από εκείνες των Pb και Br. Η factor analysis μπορεί να εντοπίσει τις 2 πηγές και τη σχέση μεταξύ Pb και Br.



Σχήμα 2.5

Με την εξέλιξη των τεχνικών ανάλυσης και του μετρητικού εξοπλισμού, για μία μελέτη source apportionment για τα αιωρούμενα σωματίδια, διατίθενται βάσεις δεδομένων που αποτελούνται από πολλά στοιχεία (συγκέντρωση χημικών συστατικών, κατανομή μεγέθους μάζας ή πλήθους σωματιδίων σε ένα φάσμα διαμέτρων). Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται η εξαγωγή ενός μεγάλου αριθμού αποτελεσμάτων και η κατασκευή μεγάλων βάσεων δεδομένων. Οι συνήθεις μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης εξετάζουν μία μεταβλητή κάθε φορά και όχι τη συνισταμένη δράση αυτών ταυτόχρονα. Η **Πολυμεταβλητή ανάλυση (multivariate analysis)** είναι η στατιστική ανάλυση που εφαρμόζεται ταυτόχρονα σε όλες τις εξεταζόμενες μεταβλητές ενός πειράματος. Από τις μεθόδους πολυμεταβλητής ανάλυσης, η **Ανάλυση των Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis)** είναι η πιο απλή και εφαρμόζεται από τα περισσότερα προγράμματα στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων.

Η **Principal Component Analysis (PCA)** έχει ως σκοπό να δημιουργήσει γραμμικούς συνδυασμούς των αρχικών μεταβλητών έτσι ώστε οι γραμμικοί αυτοί συνδυασμοί να είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους αλλά να περιέχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Οι κύριες συνιστώσες είναι διανύσματα που σχηματίζονται ως γραμμικοί συνδυασμοί των μεταβλητών του συνόλου των δεδομένων και κατασκευάζονται έτσι ώστε να είναι κάθετα μεταξύ τους (στον πολυδιάστατο χώρο που ορίζουν ανάλογα με το πλήθος τους) και να αντιπροσωπεύουν κατά φθίνουσα τάξη ποσοστά της αρχικής μεταβλητότητας των δεδομένων. Το πλήθος τους είναι ίσο με το πλήθος των αρχικών μεταβλητών: όμως από κάποιο σημείο και μετά, πολλά από αυτά δεν είναι χρήσιμα γιατί δεν επεξηγούν

κάποιο ποσοστό από την αρχική μεταβλητότητα. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που οι μεταβλητές είναι έντονα συσχετισμένες μεταξύ τους. *Επομένως, από ένα σύνολο συσχετισμένων μεταβλητών προκύπτει ένα σύνολο ασυσχέτιστων μεταβλητών. Κύριος στόχος της μεθόδου είναι να βρεθεί ένας μικρός αριθμός συνιστωσών p που περιγράφουν το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων που προέρχονται από τον προσδιορισμό n μεταβλητών σε m δείγματα* (Jolliffe, 1986).

Παρόλο που η μέθοδος της PCA έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες παγκοσμίως (Shiet et al., 2009; Karar et al, 2007; Garcia et al., 2006; Park et al., 2005; Chio et al., 2004), παρουσιάζει μειονεκτήματα (Roscoe et al., 1981):

- η μέθοδος δε λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα των αναλυτικών μετρήσεων ή/και της δειγματοληψίας. Θεωρεί ότι οι μεταβλητές έχουν την ίδια βαρύτητα και χρησιμοποιεί μη πραγματικές τυπικές αποκλίσεις για την κάθε μεταβλητή.
- με τη μέθοδο της PCA δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ελλιπή δεδομένα (τιμές μικρότερες του ορίου ανίχνευσης, μη προσδιορίσιμη συγκέντρωση κάποιων στοιχείων κ.α.). Επίσης, η μέθοδος δίνει εσφαλμένα αποτελέσματα όταν εφαρμοστεί σε δείγματα που περιέχουν έκτροπες τιμές (outliers), κατά πολύ μεγαλύτερες από την τυπική απόκλιση των δεδομένων ($>4SD$).
- μπορεί να προκύψουν αποτελέσματα με μη φυσική σημασία, καθώς ο πίνακας με τις τιμές της συνεισφοράς κάθε πηγής μπορεί να περιέχει και αρνητικές τιμές αλλά δεν είναι δυνατό μία πηγή να αφαιρεί σωματιδιακή μάζα από τον αέρα.

Τα μειονεκτήματα αυτά, μπορούν να αντιμετωπιστούν με την εφαρμογή ενός σχετικά νέου στατιστικού μοντέλου, αυτού της **Positive Matrix Factorization (PMF)**, το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή και η περιγραφή του μαθηματικού του υποβάθρου γίνεται στην επόμενη παράγραφο.

2.3 Το μοντέλο της Positive Matrix Factorization (PMF)

Το μοντέλο της PMF αναπτύχθηκε από τον Καθηγητή του Πανεπιστημίου του Ελσίνκι P. Paatero, τη δεκαετία του 1990 (Paatero, 1997) και το λογισμικό του διατίθεται στο διαδίκτυο από την U.S.A. Environmental Protection Agency. Στη συνέχεια ακολουθεί μια περιγραφή του μαθηματικού υποβάθρου του μοντέλου της PMF, της εκτίμησης της αβεβαιότητας των στοιχείων εισόδου και του τρόπου εντοπισμού των παραγόντων-πηγών.

Μαθηματικό υπόβαθρο

Η βασική εξίσωση του ισοζυγίου μάζας μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\mathbf{X} = \mathbf{GF} + \mathbf{E}, \quad (1)$$

Όπου

\mathbf{X} είναι ο $n \times m$ πίνακας που αποτελείται από τα στοιχεία x_{ij} δηλαδή τη μετρούμενη συγκέντρωση του i στοιχείου στο j δείγμα ($i = 1, \dots, m$ στοιχεία, $j = 1, \dots, n$ δείγματα)

\mathbf{G} είναι ένας $n \times p$ πίνακας που αποτελείται από τα στοιχεία g_{kj} δηλαδή τη συνεισφορά της k^{th} πηγής στο j δείγμα ($k = 1, \dots, p$ πηγές)

\mathbf{F} είναι ο $p \times m$ πίνακας που αποτελείται από τα στοιχεία f_{ik} δηλαδή τη συγκέντρωση του i στοιχείου που εκπέμπεται από την k^{th} πηγή

\mathbf{E} είναι ένας πίνακας καταλοίπου \mathbf{E} (residual matrix), τα στοιχεία e_{ij} του οποίου ορίζονται ως η διαφορά της πραγματικής τιμής από την τιμή που υπολογίζει το μοντέλο:

$$e_{ij} = x_{ij} - \hat{x} = x_{ij} - \sum_{k=1}^p f_{ik} g_{kj} \quad (6)$$

Οι μονάδες των στοιχείων των πινάκων \mathbf{X} , \mathbf{F} είναι μονάδες συγκέντρωσης σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή αριθμό σωματιδίων/ cm^3 ενώ του πίνακα \mathbf{G} είναι $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ ή αριθμός σωματιδίων/ αριθμό σωματιδίων.

Το μοντέλο της PMF προσεγγίζει τη λύση της εξίσωσης (6) με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και απαραίτητη προϋπόθεση είναι να εξαχθούν μόνο θετικές τιμές για όλα τα σημεία των πινάκων \mathbf{F} και \mathbf{G} . Η μέθοδος χρησιμοποιεί την αβεβαιότητα των δεδομένων ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη κλιμάκωση όλων των σημείων του πίνακα \mathbf{X} . Η λύση προκύπτει από την εφαρμογή των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων όπου η αβεβαιότητα των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του σταθμισμένου υπολοίπου e_{ij} . Έτσι, ορίζεται μία **αντικειμενική συνάρτηση για ελαχιστοποίηση** \mathbf{Q} (object function):

$$Q(E) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{e_{ij}}{s_{ij}} \right]^2 \quad (7)$$

όπου s_{ij} είναι μία εκτίμηση της “αβεβαιότητας” της i^{th} μεταβλητής (στοιχείου) στο j^{th} δείγμα. Η PMF έχει ως στόχο την **ελαχιστοποίηση της $Q(E)$** ως προς τους G και F , με τον επιπλέον περιορισμό κάθε ένα από τα στοιχεία των G και F **να είναι μη αρνητικά**. Η θεωρητική τιμή της Q είναι ίση με τον αριθμό των σημείων του πίνακα X . Όμως, σε πραγματικά περιβαλλοντικά δείγματα (όπου μπορεί να λείπουν τιμές ή να είναι μικρότερες του ορίου ανίχνευσης του οργάνου), η τιμή της παραμέτρου Q είναι αρκετά μεγαλύτερη.

Το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της ποσότητας Q λύνεται με τη χρήση επαναλαμβανόμενων αλγορίθμων. Ο αλγόριθμος ελαχιστοποιεί την τιμή της παραμέτρου Q και λύνει την εξίσωση (6) ως προς τον πίνακα G ή F , θεωρώντας γνωστό τον πίνακα F ή G αντίστοιχα. Στη συνέχεια, ο πίνακας που μόλις έχει υπολογιστεί χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δεύτερου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί σύγκληση. Τη μέθοδο αυτή εφάρμοσαν αρχικά οι Paatero and Tapper, 1993.

Η λύση της PMF έγκειται στον **ακριβή προσδιορισμό της αβεβαιότητας κάθε τιμής δεδομένων που εισάγεται**. Στις περισσότερες μελέτες, ο υπολογισμός του σφάλματος s_{ij} γίνεται από το χρήστη βάσει των κανόνων των Polissar et al., 1998, οι οποίοι ομαδοποίησαν τα δεδομένα σε τρεις κατηγορίες και πρότειναν έναν τρόπο έκφρασης της συγκέντρωσης και της αντίστοιχης αβεβαιότητας για κάθε μία από αυτές:

1. Δεδομένα που περιλαμβάνουν την τιμή της συγκέντρωσης (x_{ij}) και την αντίστοιχη (γνωστή) αβεβαιότητα s_{ij} από τις μετρήσεις. Στην περίπτωση αυτή η συγκέντρωση x_{ij}^q και η αβεβαιότητα σ_{ij}^q δίνεται αντίστοιχα από τους τύπους:

$$x_{ij}^q = v_{ij}^q \quad \text{και} \quad (9)$$

$$\sigma_{ij}^q = u_{ij}^q + \frac{d_{ij}^q}{3}$$

όπου v_{ij}^q , u_{ij}^q και d_{ij}^q είναι η μετρούμενη συγκέντρωση, η αβεβαιότητα και το όριο ανίχνευσης του οργάνου μέτρησης για το στοιχείο j του δείγματος i, στο σημείο δειγματοληψίας q

2. Εκείνα που προέρχονται από δείγματα στα οποία η μετρούμενη συγκέντρωση ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου. Στην περίπτωση αυτή η συγκέντρωση x_{ij}^q και η αβεβαιότητα σ_{ij}^q δίνεται αντίστοιχα από τους τύπους:

$$x_{ij}^q = \frac{d_{ij}^q}{2} \quad \text{και} \quad (10)$$

$$\sigma_{ij}^q = \frac{\bar{d}_{ij}^q}{2} + \frac{d_{ij}^q}{3}$$

όπου d_{ij}^q όπως προηγουμένως και \bar{d}_{ij}^q είναι ο αριθμητικός μέσος του ορίου ανίχνευσης για το στοιχείο j στο σημείο δειγματοληψίας k.

3. Εκείνα στα οποία η τιμή της συγκέντρωσης λείπει. Στην περίπτωση αυτή η συγκέντρωση x_{ij}^q και η αβεβαιότητα σ_{ij}^q δίνεται αντίστοιχα από τους τύπους:

$$x_{ij}^q = \tilde{v}_{ij}^q \quad \text{και} \quad (11)$$

$$\sigma_{ij}^q = 4\tilde{v}_{ij}^q$$

Όπου \tilde{v}_j^q είναι ο γεωμετρικός μέσος της μετρούμενης συγκέντρωσης του στοιχείου j στο σημείο δειγματοληψίας k. Να σημειωθεί πως “απουσία δεδομένων” σημαίνει απουσία τιμών για ορισμένα στοιχεία ενός δείγματος (πρακτικά τουλάχιστον ένα στοιχείο από το δείγμα πρέπει να είναι γνωστό). Στην περίπτωση αυτή, οι τιμές της συγκέντρωσης και της αβεβαιότητας υπολογίζονται από τις σχέσεις 9-11.

Ένα επίσης σημαντικό σημείο είναι οι πολύ μεγάλες τιμές και τα ακραία σημεία (outliers) που συναντώνται συχνά στα δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για την αποφυγή της αλλοίωσης της τελικής λύσης, εφαρμόζεται η “**robust mode**” της PMF, χρησιμοποιώντας την τεχνική του επαναληπτικού επαναπροσδιορισμού συντελεστών βαρύτητας για συγκεκριμένες τιμές δεδομένων (iterative reweighing of individual data values). Έτσι η προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων καταλήγει στην:

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (e_{ij} / h_{ij} s_{ij})^2 \quad (12)$$

όπου

$$h_{ij}^2 = 1 \quad \text{αν} \quad \left| \frac{e_{ij}}{s_{ij}} \right| \leq 4 \quad \text{ή}$$

$$h_{ij}^2 = \left| \frac{e_{ij}}{s_{ij}} \right| / 4 \quad \text{αλλιώς.}$$

Όπου h_{ij} είναι η απόσταση ενός απομακρυσμένου σημείου (outlier distance). Τέλος, ένας τρόπος να εξετάζεται η επιτυχία της προσέγγισης του μοντέλου είναι να εξετάζονται τα “κατάλοιπα” e_{ij} . Τυπικά, είναι επιθυμητό να υπάρχει συμμετρική κατανομή των e_{ij} (± 3 την τυπική απόκλιση). Αν υπάρχει μεγάλη διασπορά των e_{ij} τότε ο αριθμός των παραγόντων πρέπει να επανεξεταστεί. (Hopke et al., 2005).

2.3.1 Εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων/πηγών

Ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία στην εφαρμογή της PMF είναι η σωστή επιλογή του πλήθους των παραγόντων, που ορίζεται από το χρήστη. Οι παράγοντες αυτοί θα ταυτιστούν στη συνέχεια με πηγές ή ομάδες πηγών. Εάν επιλεγούν λιγότεροι παράγοντες από όσους πραγματικά υπάρχουν, τότε υπάρχει ο κίνδυνος δύο ή περισσότερες πηγές να αντιπροσωπευθούν από έναν παράγοντα. Από την άλλη πλευρά, η επιλογή περισσότερων παραγόντων από τους πραγματικούς, οδηγεί σε διάσπαση μιας πηγής σε δύο ή περισσότερους παράγοντες.

Η θεμελιώδης συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται είναι ότι ο αριθμός των πηγών p να είναι μικρότερος ή ίσος από το σύνολο των μεταβλητών m : $p \leq m$. Αρκετοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει κάποιο μαθηματικό κριτήριο επιλογής του αριθμού των παραγόντων όπως είναι η παρατηρούμενη μεταβολή στις τιμές των υπολοίπων

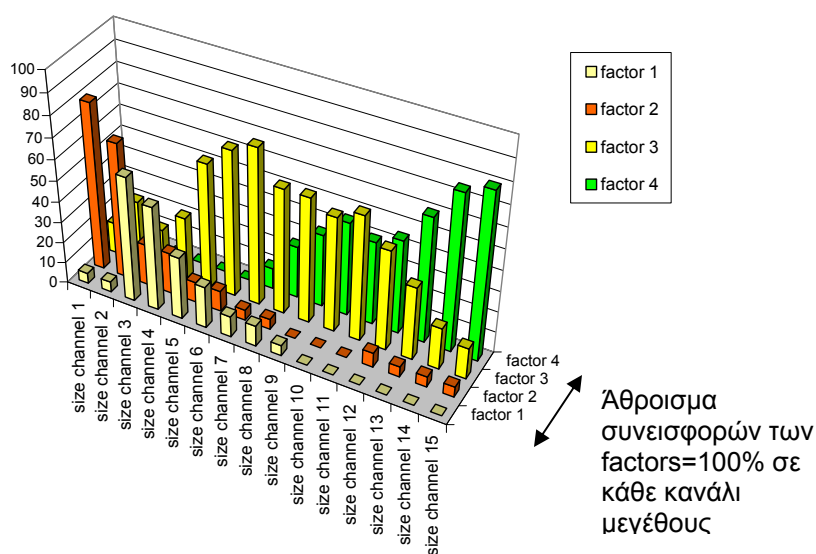
με την αύξηση του αριθμού των παραγόντων (Han et al., 2005; Lee et al., 1999). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τον Paatero, 2004 δεν υπάρχει κάποιο αποδεκτό μαθηματικό κριτήριο.

Σύμφωνα με μία άλλη προσέγγιση, η θεωρητική τιμή του Q πρέπει να είναι προσεγγιστικά ίση με το συνολικό αριθμό των στοιχείων εισόδου (Hopke, 2005). Αν τα σφάλματα ελαχιστοποιηθούν, τότε η συνεισφορά του κάθε σημείου είναι μοναδιαία στην υπολογισμένη τιμή του Q . Έτσι, εξετάζοντας τη συνάρτηση Q , μπορεί έμμεσα να γίνει μία εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων. Παρόλα αυτά, η προσέγγιση δεν δίνει σωστό αποτέλεσμα, εάν οι αβεβαιότητες δεν είναι ορθώς καθορισμένες και για να μειωθεί το πρόβλημα αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις (9-11). Ενδείκνυται, για κάθε νέο παράγοντα που προστίθεται, να παρακολουθούνται οι μεταβολές του Q . Πέρα από τον κατάλληλο αριθμό των παραγόντων, η τιμή του Q δεν βελτιώνεται άλλο.

Ο χρήστης του μοντέλου της PMF πρέπει να εξετάζει τις μεταβολές της παραμέτρου Q με την αύξηση του αριθμού των παραγόντων ενώ παράλληλα το αποτέλεσμα του πίνακα των συνεισφορών των πηγών G θα πρέπει να είναι λογικό και να έχει φυσική σημασία. Η ορθότερη εκτίμηση του πλήθους των παραγόντων γίνεται σε συνδυασμό με την ταυτοποίηση παραγόντων με πηγές (επόμενη παράγραφος) καθώς και σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές (πχ Principal Component Analysis).

2.3.2 Αποτέλεσμα της PMF και ταυτοποίηση παραγόντων με πηγές

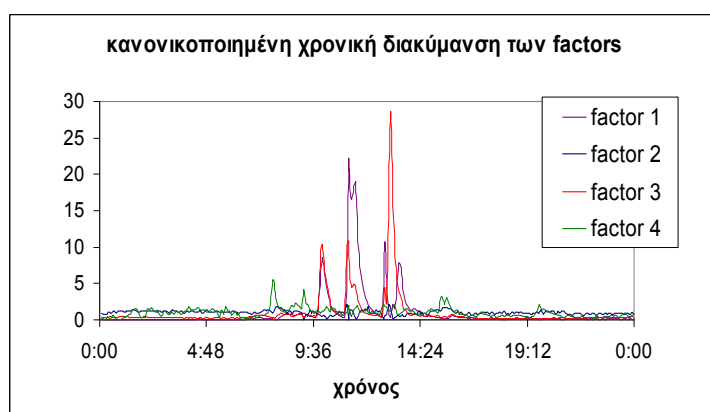
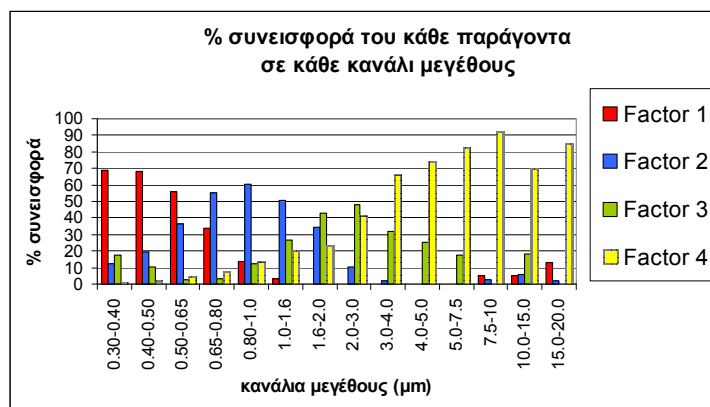
Η PMF καταλήγει σε έναν αριθμό παραγόντων (factors), δίνοντας τη χρονική διακύμανση και το προφίλ τους, και ο χρήστης καλείται να τους ταυτοποιήσει με τις πηγές. Έστω ότι εξετάζεται μία σειρά από δείγματα συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους (είδος) και ανιχνεύονται 4 παράγοντες (factors). Το αποτέλεσμα της PMF δίνει τη διακύμανση της συνεισφοράς του κάθε παράγοντα σε κάθε είδος, στην προκειμένη περίπτωση σε κάθε κανάλι μεγέθους σωματιδίων (σχήμα 2.6). Το άθροισμα των συνεισφορών των παραγόντων σε κάθε κανάλι είναι 100%. **Δηλαδή, τη συγκέντρωση σωματιδίων που ανιχνεύεται σε κάθε κανάλι μεγέθους, τη διαμορφώνουν οι τέσσερις παράγοντες-πηγές, ο κάθε ένας με διαφορετικό ποσοστό συνεισφοράς.**



Σχήμα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση του αποτελέσματος της PMF: διακύμανση συνεισφοράς των παραγόντων ανά είδος (κανάλι μεγέθους σωματιδίων).

Αφού έχει εντοπιστεί ο σωστός αριθμός των παραγόντων, ακολουθεί η αντιστοίχηση τους με πηγές ή ομάδες πηγών και στη συγκεκριμένη περίπτωση με πηγές σωματιδίων. Για την ταυτοποίηση παράγοντα-πηγής χρησιμοποιούνται πληροφορίες δύο ειδών:

- α. σε ποιο/α κανάλι/κανάλια μεγέθους (ή χημικό/α συστατικό/α) έχει ο κάθε παράγοντας τη μέγιστη συνεισφορά (σχήμα 2.7α). Από τη βιβλιογραφία ή από τις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών, χρησιμοποιούνται στοιχεία για τα χαρακτηριστικά της κάθε πηγής ώστε να γίνει η ταυτοποίηση.
- β. η χρονοσειρά του κάθε παράγοντα σε συσχέτιση με τις πληροφορίες για τις δραστηριότητες/λειτουργία πιθανών πηγών (που έχουν συλλεχθεί σε ερωτηματολόγια κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας).



Σχήματα 2.7α,β. Ενδεικτική εικόνα αποτελεσμάτων της PMF.

Έτσι, η τελική εικόνα που προκύπτει δίνει τις πληροφορίες:

- ✓ ποιές είναι οι πηγές που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις (μάζας σωματιδίων, αριθμού σωματιδίων, συγκέντρωσης χημικών συστατικών)
- ✓ ποια είναι η συνεισφορά της κάθε πηγής.

2.4 Μελέτες receptor modeling για αιωρούμενα σωματίδια-Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στην ενότητα αυτή γίνεται μία αναδρομή σε εργασίες source apportionment, στις οποίες εφαρμόστηκαν μοντέλα αποδέκτη (receptor models) με σκοπό την ανίχνευση των πηγών αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα.

Όπως αναφέρθηκε, ο σκοπός των μοντέλων αποδέκτη είναι να ανιχνεύσουν τις πιθανές πηγές των PM (αν δεν έχουν υποτεθεί αρχικά το πλήθος και τα προφίλ των

πηγών) και να δώσουν στοιχεία για την συνεισφορά της κάθε πηγής στις ολικές μετρούμενες συγκεντρώσεις των PM. Εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής έχει γίνει και σε δεδομένα μετρήσεων ατομικής έκθεσης σε σωματίδια ώστε να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Horke et al., 2006, Ilacqua et al., 2007 and Watson et al., 2002). Επιπλέον, μελέτες για την ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισης της ρύπανσης απαιτούν πλέον λεπτομερή περιγραφή των πηγών και των συνεισφορών τους στα επίπεδα των σωματιδίων ώστε να διαμορφωθούν οδηγίες για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Έτσι, οι πληροφορίες που προσφέρουν τα μοντέλα αποδέκτη αποτελούν το κλειδί για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών σε τοπική και μέση κλίμακα.

Όπως διαπιστώνεται, στην πλειοψηφία τους, οι μελέτες αυτές αφορούν περισσότερο στον **εξωτερικό αέρα** και λιγότερο στο εσωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον, οι μετρήσεις που εισάγονται ως στοιχεία εισόδου στα χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι συγκεντρώσεις των σωματιδίων όπως: ιόντα, μέταλλα, πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις, οργανικός και στοιχειακός άνθρακας. Μετρήσεις κατανομής μεγέθους σωματιδίων δεν έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής ευρέως. Παρόλο που η ανάγκη για τέτοιου είδους δεδομένα είναι μεγάλη, υπάρχει *περιορισμένο πλήθος* αποτελεσμάτων διαφόρων τύπων μοντέλων αποδέκτη που έχουν εφαρμοστεί σε Ευρωπαϊκές πόλεις. Επιπλέον, παράμετροι όπως το είδος του σημείου δειγματοληψίας, ο πειραματικός εξοπλισμός, η χρονική επαναληψιμότητα της δειγματοληψίας και οι αναλυτικές μέθοδοι για τη χημική ανάλυση διαφέρουν από μελέτη σε μελέτη.

Κάνοντας μία αναδρομή (Viana et al., 2008) στην εφαρμογή των receptor models στην Ευρώπη μέχρι το 2005, η PCA είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο (30% των μελετών) και ακολουθεί η προσέγγιση Lenschow (11%) και η ανάλυση back-trajectory (11%). Άλλα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι η PMF (8%) και η CMB (7%). Στοιχεία μεταξύ 2006-2007 δείχνουν μία συνεχή και αυξανόμενη χρήση της PCA (50% των νέων δημοσιευμένων εργασιών) καθώς και της PMF (13%) και της ανάλυσης ισοζυγίου μάζας των χημικών συστατικών (19%). Επίσης, συνδυασμοί μεθοδολογιών έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλές ερευνητικές ομάδες της Ευρώπης: PCA- cluster analysis CA, PCA-Lenschow, PCA-CMB, PCA-back trajectory analysis, PMF-UNMIX-ME και CMB-mass balance.

Με κριτήριο τον υπό μελέτη ρύπο, μέχρι το 2005, τα PM₁₀ ήταν το κλάσμα σωματιδίων στο οποίο εφαρμόστηκαν περισσότερο τα μοντέλα αποδέκτη (46% των εργασιών), ακολουθούμενα από τα PM_{2.5} (33%). Άλλα κλάσματα που μελετήθηκαν σε σχετικές εργασίες ήταν: PM_{2.5-10} (9%), TSP (4%), PM₁ (3%), PM₂ (1%) και PM_{0.1} (1%). Ο αριθμός των εργασιών source apportionment σε PM_{2.5} άρχισε να αυξάνει σε σχέση με εκείνες σε PM₁₀ μετά το 2003. Κατά τα έτη 2006-2007, 38% των εργασιών είχαν στόχο την εύρεση πηγών των PM_{2.5} ενώ οι αντίστοιχες για τα PM₁₀ ήταν 29% υποδεικνύοντας μία μεταβολή στο επιστημονικό ενδιαφέρον, σε συνδυασμό και με τα νέα αποτελέσματα για τις επιπτώσεις των ακόμα πιο μικρών σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία. Έτσι, αναμενόμενο ήταν και είναι το επιστημονικό ενδιαφέρον να στραφεί στα ακόμα πιο μικρά σωματίδια. Μελέτες source apportionment σε PM₁ ή και μικρότερα – που προέρχονται κυρίως από τις ΗΠΑ- είναι ήδη διαθέσιμες στη βιβλιογραφία (Pancras et al., 2006). Η λεπτομερής μελέτη source apportionment όμως απαιτεί και τον χαρακτηρισμό των πηγών για αυτό το μέγεθος σωματιδίων, δεδομένου ότι η φύση τους δεν είναι τα ίδια με αυτή των μεγαλύτερων. Στα επόμενα, περιγράφονται εν συντομία μελέτες source apportionment που έχουν πραγματοποιηθεί για τον **εξωτερικό αέρα** τις τελευταίες δεκαετίες.

Η μελέτη των Chueinta et al., 2000 εστίασε στον εντοπισμό των πηγών λεπτόκοκκων και χονδροκόκκων (fine και coarse αντίστοιχα) σωματιδίων σε αστική περιοχή της Ταϊλάνδης. Η PMF που εφαρμόστηκε στα δεδομένα της χημικής ανάλυσης κατέληξε σε 6 παράγοντες-πηγές: έδαφος, οχήματα, μοτοσυκλέτες, αλάτι από θάλασσα, καύση ξύλου, δομικά έργα. Επίσης, οι Vecchi et al., 2008 μελέτησαν την προέλευση των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη του 1 μm στον αέρα αστικής περιοχής της Ιταλίας. Χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της PMF στα δεδομένα της χημικής ανάλυσης σε στοιχεία, ιόντα και οργανικό άνθρακα.

Σε κάποιες μελέτες χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα από ένα μοντέλα αποδέκτη, τα αποτελέσματα των οποίων συγκρίθηκαν για την καλύτερη αξιολόγηση τους. Οι Viana et al., 2008 πραγματοποίησαν μελέτη source apportionment σε ατμοσφαιρικά δείγματα PM₁₀ που συλλέχθηκαν σε περιοχή της Ισπανίας. Στα πειραματικά δεδομένα, εφαρμόστηκαν οι μεθοδολογίες PMF, PCA και CMB και έγινε σύγκριση αποτελεσμάτων. Μάλιστα, τα αποτελέσματα από τις PMF και PCA έδειξαν μεγάλη συσχέτιση με τα δεδομένα εισαγωγής στην CMB.

Επίσης, οι Yatkin et al., 2008 μελέτησαν τις συγκεντρώσεις των PM10 και PM2.5 σε αστική και ημιαστική περιοχή της Τουρκίας και μελέτησαν την προέλευσή τους μέσω της PMF (η οποία απέδωσε λύση 4 κύριων πηγών) και της CMB (η οποία υπέδειξε ως κύρια πηγή (70%) την κίνηση των οχημάτων).

Η ερευνητική ομάδα των Ke et al., 2008 πραγματοποίησαν μελέτη source apportionment σε δείγματα PM2.5 που συλλέχθηκαν κοντά σε οδικό δίκτυο της Ατλάντα, στις ΗΠΑ. Τα μοντέλα αποδέκτη που εφαρμόστηκαν ήταν η PMF και η molecular marker-based CMB (CMB-MM). Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε χημική ανάλυση ιόντων, άνθρακα και οργανικών ενώσεων τα οποία σε συνδυασμό με δεδομένα συγκέντρωσης αέριων ρύπων χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα ως στοιχεία εισόδου. Η PMF έδωσε 9 παράγοντες-πηγές πρωτογενών και δευτερογενών σωματιδίων ενώ η CMB-MM έδωσε 7 πηγές πρωτογενών και 3 πηγές δευτερογενών σωματιδίων. Συζήτηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των μεθοδολογιών γίνεται εκτενώς στην εργασία αυτή. Με σκοπό μία πιο ολοκληρωμένη αναζήτηση πηγών αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης στον αέρα, οι Shiet et al., 2009 εφάρμοσαν συνδυασμό των PMF, PCA και CMB καθώς και της multiple linear regression σε ατμοσφαιρικά δεδομένα.

Μία από εργασίες που χρησιμοποίησαν άλλα μοντέλα εκτός της PMF είναι και εκείνη των Gupta et al., 2007 που μελέτησαν την προέλευση των PM10 και TSP σε περιοχές με κατοικίες και περιοχές με βιομηχανίες στην Ινδία. Στα δεδομένα που προέκυψαν από τη χημική ανάλυση και την εφαρμογή της CMB, ο άνθρακας (οργανικός και ολικός), ο σίδηρος και τα ιόντα χλωρίου και θείου υπέδειξαν πηγές καύσης, εκπομπές από τα οχήματα και σκόνη από το έδαφος.

Η ομάδα των Shauer et al., 1996 μελέτησε την προέλευση των fine σωματιδίων σε αστική περιοχή της Καλιφόρνια, ΗΠΑ. Η μέθοδος της CMB εφαρμόστηκε στα χημικά συστατικά (κυρίως τα οργανικά) και 9 τύποι πηγών ανιχνεύτηκαν: καύση πετρελαίου, σκόνη από τους δρόμους, εκπομπές από βενζινοκίνητα οχήματα, μαγείρεμα, καύση ελαστικών, εκπομπές από εργοστάσια, καύση ξύλου, καύση φυσικού αερίου, κάπνισμα.

Τη μεθοδολογία της PCA και της APCS (Absolute Principal Component Scores) εφάρμοσαν οι Karar et al., 2007 σε δεδομένα συγκέντρωσης PM10 και των συστατικών τους (PAH, μέταλλα, ιόντα, οργανικού και ιοντικού άνθρακα) σε αστικές

και κατοικημένες περιοχές της Ινδίας. Οι πηγές που ανιχνεύτηκαν είναι: καύση σκουπιδιών, οχήματα, μαγείρεμα και σκόνη από το έδαφος ενώ ένα ποσοστό 7-13 % της συγκέντρωσης των σωματιδίων δεν μπορεί να αποδοθεί σε πηγές. Οι Bi et al., 2007 πραγματοποίησαν μελέτη source apportionment σε ατμοσφαιρικά δείγματα PM10 που συλλέχθηκαν σε 6 πόλεις της Κίνας. Η μεθοδολογία της CMB εφαρμόστηκε στα δεδομένα της χημικής ανάλυσης σε 16 στοιχεία, ιόντα, ολικού και οργανικού άνθρακα. Ταυτόχρονα, μετρήθηκαν και εκτιμήθηκαν τα χημικά προφίλ των κύριων πηγών (σκόνη εδάφους, επαναιώρηση σκόνης, καύση ξύλου, εξατμίσεις οχημάτων, δευτερογενή σωματίδια) ώστε να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο.

Οι Chio et al., 2004 αναζήτησαν τις πηγές των PM2.5-10 και PM2.5 σε περιοχή της Ταϊβάν εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία της PCA και της CMB εστιάζοντας στις διαφορές μεταξύ αστικών ηπειρωτικών περιοχών και περιοχών κοντά σε θάλασσα. Οι Tsai et al., 2006 εφάρμοσαν το Gaussian Trajectory transfer coefficient model με σκοπό την ανίχνευση πηγών PM2.5 και PM2.5-10 βάσει των χημικών συστατικών-δεικτών τους (οργανικός και στοιχειακός άνθρακας και ιόντα) σε 4 πόλεις της Ταϊβάν. Γίνεται σύγκριση μεταξύ μέρας και νύχτας και μελετώνται οι διαφορές στους παράγοντες που καθορίζουν την αέρια ρύπανση. Επίσης, μελετάται και ο σχηματισμός δευτερογενών σωματιδίων μέσω του λόγου οργανικού/στοιχειακό άνθρακα.

Οι Garcia et al., 2006 εφάρμοσαν τις μεθόδους PCA, Multivariate statistical techniques, APCS και redundancy analysis RDA με σκοπό τη διερεύνηση των πηγών σωματιδίων PM2.5 και PM10 που προκαλούν την απότομη αύξηση της συγκέντρωσης κατά τις βραδινές ώρες σε περιοχή των ΗΠΑ. Τα χημικά προφίλ των πηγών που βρέθηκαν μέσω των μοντέλων υποδεικνύουν ως κύρια πηγή την κυκλοφορία οχημάτων σε μακρινή περιοχή και τη μεταφορά αιωρούμενης σκόνης προς την περιοχή όπου λάμβαναν χώρα οι μετρήσεις.

Οι Park et al., 2005 ανέπτυξαν μία καινοτόμο μέθοδο για την εύρεση των πηγών PM2.5 σε περιοχή της Κορέας, μέσω της χημικής τους σύστασης (PAH, στοιχεία). Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι PCA και APCS ώστε να διαμορφωθούν τα προφίλ των πιθανών πηγών και στη συνέχεια οι πληροφορίες αυτές σε συνδυασμό με τα δεδομένα των μετρήσεων εισήχθησαν στη CMB η οποία διέκρινε τις πηγές και τις συνεισφορές τους.

Εκτός από δεδομένα **χημικής ανάλυσης**, εφαρμογή μοντέλων αποδέκτη έχει γίνει και σε δεδομένα **κατανομής μεγέθους σωματιδίων**. Οι μελέτες που βασίζονται στην factor analysis σε αυτά τα δεδομένα εστιάζουν στην ποσοτική κατανομή των πηγών (Ruuskanen et al., 2001; Wahlin et al., 2001).

Η πρώτη σχετική μελέτη source apportionment πραγματοποιήθηκε από τους Kim et al., 2004 για το Seattle, όπου ανιχνεύτηκαν παράγοντες που σχετίζονται με πηγές καύσης ξύλου, δευτερογενών σωματιδίων, εκπομπές από τα βενζινοκίνητα οχήματα και εκπομπές από μοτοσικλέτες.

Οι Zhu et al., 2005 και 2004 εφάρμοσαν τη μεθοδολογία της PMF σε δεδομένα κατανομής μεγέθους από την περιοχή του Pittsburg, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι είναι πολύ σημαντικό να αναλύονται δεδομένα με σχετικά μικρό time interval (ένας ή δύο μήνες) λόγω των μεταβολών στο μέγεθος που προκύπτουν από τις φυσικοχημικές διεργασίες. Συσχετίσεις με παράλληλες μετρήσεις αέριων ρύπων βοηθούν στο διαχωρισμό παρόμοιων πηγών.

Η PMF εφαρμόστηκε επίσης σε δεδομένα κατανομής μεγέθους στην περιοχή του Rochester (Ogulei et al., 2007a), και του Buffalo, NY (Ogulei et al., 2007b). Επίσης, η απλή Principal Component Analysis εφαρμόστηκε σε δεδομένα κατανομής μεγέθους σωματιδίων και αέριων ρύπων από τους Chan et al., 2007 στην περιοχή του Ontario. Η κατανομή μεγέθους σωματιδίων διαμορφώνεται και από παράγοντες όπως η συσσωμάτωση και η εναπόθεση (που εξαρτάται από το μέγεθος τους). Οι Zhu et al., 2002a και 2002b πραγματοποιώντας μετρήσεις σε τοποθεσίες δίπλα σε αυτοκινητόδρομους συμπέραναν ότι ακόμα και σε αποστάσεις μερικών εκατοντάδων μέτρων, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων μεταβάλλεται καθώς τα μικρότερα συσσωματώνονται σε μεγαλύτερα και στη συνέχεια εναποτίθενται. Παρόλα αυτά, σε μικρές αποστάσεις κοντά στο δρόμο, η κατανομή παραμένει σχεδόν σταθερή.

Σε κάποιες μελέτες εφαρμόστηκαν μοντέλα αποδέκτη σε συνδυασμό δεδομένων χημικής ανάλυσης και κατανομής μεγέθους σωματιδίων. Για παράδειγμα, οι Yue et al., 2008 αναζήτησαν τις πηγές των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα περιοχής της Γερμανίας, για δύο εποχές του έτους. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν δεδομένα κατανομής των σωματιδίων (μάζα και αριθμός) ανά κανάλια μεγέθους (0.01-3.0 μ m), τη χημική σύσταση των σωματιδίων καθώς και συγκεντρώσεις αέριων ρύπων και

εφάρμοσαν τη μεθοδολογία της PMF. Οι πηγές που ανιχνεύτηκαν συμπεριλαμβάνουν αερομεταφερόμενο υλικό από το έδαφος, εκπομπές οχημάτων, καύσιμα (που παράγουν δευτερογενή οργανικά σωματίδια) κ.α.

Οι Han et al., 2005, 2006 πραγματοποίησαν μελέτη source apportionment σε πειραματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν σε περιοχή της Κορέας. Τα κλάσματα των σωματιδίων που μελετήθηκαν ήταν μεταξύ 0.07-12 μ m ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε και χημική ανάλυση για 19 συστατικά. Στη μελέτη αυτή εφαρμόστηκε η Positive Matrix Factorization PMF, η οποία ανίχνευσε 15 παράγοντες-πηγές που συνδέθηκαν με φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές αλλά όχι με δευτερογενή σωματίδια.

Η ομάδα των Ogulei et al., 2005 εφάρμοσαν την Positive Matrix Factorization PMF σε πειραματικά δεδομένα από αστική περιοχή των ΗΠΑ. Τα σωματίδια μελετήθηκαν ανά κλάσματα μεγέθους: PM_{2.5}, 650nm-0.4 μ m και >0.5 μ m. Ταυτόχρονα, μελετήθηκε και η χημική τους σύσταση σε μέταλλα, οργανικό και στοιχειακό άνθρακα αλλά και η συγκέντρωση CO, NO_x, O₃ και θειούχων ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Συνολικά ανιχνεύτηκαν 12 παράγοντες-πηγές. Σημαντικό σημείο στη μεθοδολογία τους ήταν η εφαρμογή της Partial least squares μεθόδου ώστε να εξεταστεί η γραμμικότητα μεταξύ των δεδομένων της χημικής σύστασης και της κατανομής μεγέθους. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο δεδομένου ότι το προφίλ εκπομπής μιας πηγής πρέπει να παραμένει σταθερό ή σχεδόν σταθερό μεταξύ πηγής και δέκτη.

Οι παραπάνω μελέτες αποτελούν δείγμα από μία πληθώρα μελετών source apportionment στον αέρα της εξωτερικής ατμόσφαιρας μιας πόλης ή μιας ευρύτερης περιοχής. Αντιθέτως, οι μελέτες source apportionment για αιωρούμενα σωματίδια στον **αέρα εσωτερικών χώρων είναι περιορισμένες** και έχουν βασιστεί ως επί το πλείστον στη χημική σύσταση των σωματιδίων.

Μελέτες source apportionment για αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα εσωτερικών χώρων

Η ομάδα των Yakovleva et al., 1999 εφάρμοσε τη μεθοδολογία της PMF σε πειραματικά δείγματα που λήφθηκαν στο επίπεδο αναπνοής 171 εθελοντών στις ΗΠΑ, οι οποίοι κινήθηκαν σε εξωτερικούς αλλά και εσωτερικούς χώρους. Τα δείγματα που μελετήθηκαν χωρίστηκαν ανά μέγεθος (PM_{2.5} και PM₁₀), ανά χημική

σύσταση (αναλύθηκαν για 18 στοιχεία) αλλά και ανά "τύπο" (εξωτερικού ή εσωτερικού αέρα και ατομικής έκθεσης). Αυτός ο διαχωρισμός αποτέλεσε και καινοτόμο μεθοδολογία καθώς με αυτό τον τρόπο η PMF αναπτύχθηκε σε τρεις διαστάσεις δεδομένων. Επίσης, συζητήθηκε και το θέμα της ομοιότητας δύο ή περισσότερων παραγόντων στους οποίους καταλήγει η PMF. Στη συγκεκριμένη μελέτη, τρεις παράγοντες βρέθηκαν να έχουν το ίδιο χημικό προφίλ αλλά διαφορετική χρονική εξάρτηση και κατανομή ανά "τύπο" δείγματος. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι και οι 3 πηγές είχαν προέλευση τη σκόνη του εδάφους, όμως ήταν ανεξάρτητες μεταξύ τους (σκόνη από το έδαφος, σκόνη από το περπάτημα μέσα στο σπίτι και σκόνη από επαναιώρηση λόγω δραστηριοτήτων).

Οι Zhao et al., 2006 εφάρμοσαν μία παραλλαγή της factor analysis σε δεδομένα PM2.5 που συλλέχθηκαν σε εσωτερικούς χώρους, στην ατμόσφαιρα αλλά και στο επίπεδο αναπνοής εθελοντών. Η καινοτομία που αναπτύχθηκε στη μελέτη αυτή ήταν η ταυτόχρονη με την επίλυση του μοντέλου εκτίμηση της τιμής των "τυφλών" δειγμάτων, δίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό του αριθμού των παραγόντων-πηγών στη λύση. Έτσι, βρέθηκαν τέσσερις πηγές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα: εκπομπές από οχήματα, σκόνη από το έδαφος και δύο πηγές δευτερογενών σωματιδίων και τέσσερις πηγές στους εσωτερικούς χώρους: κάπνισμα, ανθρώπινες δραστηριότητες, σκόνη στο εσωτερικό των κατοικιών και μαγείρεμα.

Οι Ogulei et al., 2006 ήταν η μοναδική ερευνητική ομάδα που πραγματοποίησε μελέτη για την ανίχνευση των πηγών σωματιδίων και των συνεισφορών τους σε εσωτερικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας δεδομένα κατανομής μεγέθους σωματιδίων ως στοιχεία εισόδου σε μοντέλο αποδέκτη. Πιο συγκεκριμένα, η PMF έδειξε ως πηγές σωματιδίων την καύση κεριών, το τηγάνισμα, το μαγείρεμα, τη χρήση φούρνου, το σκούπισμα και το σφουγγάρισμα και εξωτερικές πηγές όπως οι εκπομπές από τα οχήματα και η καύση ξύλου για θέρμανση.

Συνοψίζοντας, η επίλυση του προβλήματος της επιβαρυμένης ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων προϋποθέτει τον εντοπισμό των πηγών των ρύπων αλλά και την εκτίμηση των συνεισφορών τους. Μία κατάταξη των πηγών βάσει της επικινδυνότητάς τους οδηγεί σε πιο εύστοχη εύρεση λύσεων και στρατηγικών για τη βελτίωσή της ποιότητας του αέρα σε χώρους κατοικίας, γραφείων, δημοσίων κτιρίων, νοσοκομείων, σχολείων κ.α., δεδομένου ότι ο σύγχρονος άνθρωπος καταναλώνει

πολύ μεγάλο ποσοστό του χρόνου του σε αυτούς. Η μεθοδολογία source apportionment και τα μοντέλα αποδέκτη (receptor models) έχουν ως σκοπό τον εντοπισμό των πηγών και την εκτίμηση της συνεισφοράς τους στις μετρούμενες συγκεντρώσεις.

Μελέτες source apportionment με μοντέλα αποδέκτη έχουν πραγματοποιηθεί και για τον εξωτερικό και για τον εσωτερικό αέρα. Επίσης, τα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι είτε δεδομένα χημικής σύστασης των σωματιδίων είτε δεδομένα συγκέντρωσης (αριθμού ή μάζας) σε πολλά κανάλια μεγέθους σωματιδίων (size distribution). Οι δύο προσεγγίσεις είναι αρκετά διαφορετικές και η ευστοχία τους εξαρτάται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εκπομπών των πιθανών πηγών αλλά και τις συνθήκες του περιβάλλοντος αέρα (εσωτερικού ή εξωτερικού). Παραδείγματος χάρη, κάποια από τα χημικά συστατικά μεταβάλλονται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου κι έτσι η σύσταση των σωματιδίων στον αποδέκτη δεν είναι η ίδια με εκείνη της εκπομπής στην πηγή. Αντίστοιχα, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων ενδεχομένως να μεταβάλλεται με το χρόνο και την απόσταση πηγής-σημείου μέτρησης μέσω μηχανισμών συσσωμάτωσης, συμπύκνωσης και εναπόθεσης. Η μεταβολή όμως αυτή δεν είναι τόσο σημαντική σε εσωτερικούς χώρους λόγω των μικρότερης κλίμακας αποστάσεων σε σχέση με την εξωτερική ατμόσφαιρα.

Μέχρι στιγμής, η πλειοψηφία των εργασιών χρησιμοποιεί δεδομένα χημικής σύστασης σωματιδίων. Εφαρμογή μοντέλων αποδέκτη σε δεδομένα κατανομής μεγέθους σωματιδίων για τον εξωτερικό αέρα είναι περιορισμένα και ελάχιστα αντίστοιχα για τον εσωτερικό αέρα. ***Ένα από τα στοιχεία καινοτομίας της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η εφαρμογή ενός μοντέλου αποδέκτη (Positive Matrix Factorization) σε δεδομένα συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους που συλλέχθηκαν από μετρήσεις στον εσωτερικό αέρα κατοικίας και γραφείων. Ο σκοπός της μελέτης είναι η ανίχνευση των πηγών ή ομάδων πηγών που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις και η εκτίμηση των συνεισφορών τους Για την ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες από τη βάση δεδομένων με τα προφίλ πηγών που μετρήθηκαν στο δωμάτιο δοκιμών.***

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού και μεθοδολογίας μετρήσεων

3.1.	Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού.....	47
3.2	Μετρήσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον (chamber room).....	51
3.2.1	Περιγραφή χώρου.....	51
3.2.2	Μεθοδολογία μετρήσεων.....	52
3.3	Μετρήσεις σε κατοικία και γραφείο.....	58
3.3.1	Περιγραφή χώρων.....	58
3.3.2	Μεθοδολογία μετρήσεων.....	61

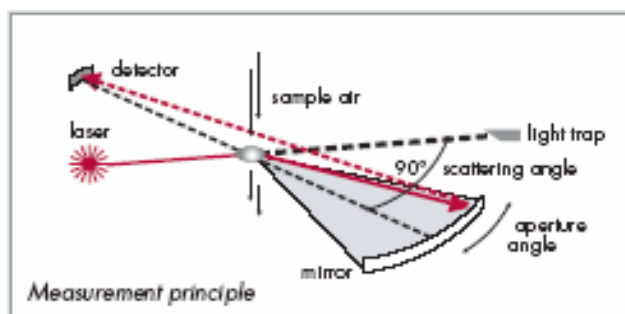
3.1. Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού

Για το σκοπό των μετρήσεων της συγκέντρωσης σωματιδίων στον αέρα πραγματικού περιβάλλοντος (κατοικίας και γραφείου) και του θαλάμου δοκιμών (chamber room) χρησιμοποιήθηκε αυτόματο όργανο καταγραφής της εταιρείας Grimm-model 1.108 (εικόνα 3.1). Το όργανο αυτό ανήκει στην κατηγορία των υψηλής ταχύτητας μετρητών συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων και η λειτουργία του βασίζεται σε αρχές της οπτικής (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.1: Grimm-model 1.108

Η ανάλυση του οργάνου είναι 1 σωματίδιο/λίτρο αέρα. Μία κεφαλή δειγματοληψίας συλλέγει τον αέρα, με ρυθμό 1.2lt/min και τον οδηγεί σε θάλαμο στον οποίο εκπέμπεται ακτίνα λέιζερ. Μέσω της σκέδασης του λέιζερ από τα σωματίδια του δείγματος αέρα, γίνεται μέτρηση του μεγέθους των σωματιδίων και κατηγοριοποίηση τους ως προς αυτό. Το όργανο διαθέτει την τεχνολογία να μετρά σε πραγματικό χρόνο έχοντας την δυνατότητα να εμφανίζει τα αποτελέσματα σε λιγότερο από 6 δευτερόλεπτα. Πιο συγκεκριμένα, μετράει απευθείας, συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων ανά όγκο αέρα (αριθμός σωματιδίων/lt). Στη συνέχεια, με κατάλληλη ρύθμιση κάνει αναγωγή σε συγκέντρωση μάζας ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), με χρήση της παραδοχής ότι τα σωματίδια είναι σφαιρικά και έχουν σταθερή πυκνότητα.



Εικόνα 3.2: Αρχή λειτουργίας του Grimm-model 1.108

Έτσι, το όργανο Grimm-model 1.108 καταγράφει συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων ανά μονάδα όγκου αέρα σε 15 κανάλια μεγέθους (από 0.30μm μέχρι και μεγαλύτερα από 20μm). Όσον αφορά στη μάζα, καταγράφει συγκέντρωση μάζας ανά μονάδα όγκου αέρα σε 15 κανάλια μεγέθους (από 0.23μm μέχρι και μεγαλύτερα από 20μm).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κανάλια μεγέθους	0.30/0.40/0.50/0.65/0.80/1.0/1.6/2.0/3.0/4.0/5.0/7.5/10/15/20 μm
Εύρος μέτρησης αριθμού σωματιδίων	1 έως 90000000 σωματίδια/λίτρο
Εύρος μέτρησης μάζας σωματιδίων	0.1 έως 100000 μg/m ³
Πλήθος καναλιών	16 κανάλια μεγέθους
Ευαισθησία	1 σωματίδιο/λίτρο
Ροή αέρα	1.2 λίτρα/λεπτό, ελεγχόμενη ροή
Ελάχιστος χρόνος επανάληψης της καταγραφής	6 δευτερόλεπτα
Αναπαραγωγισιμότητα	+/- 2%
Μέγεθος φίλτρου	47mm
Θερμοκρασιακό εύρος	4°C to 45°C
Διαστάσεις	24 x 12 x 6cm (9.5 x 5 x 2.5")
βάρος	2.4 kg (5.4 lbs.)
Input/Output	1x RS 232, 3x Analog
Ισχύς	μπαταρία ή 110/220 VAC με εξωτερική παροχή

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά του Grimm 1.108.

Πριν από κάθε καμπάνια δειγματοληψίας, έγινε βαθμονόμηση του οργάνου, όπως προβλέπει ο κατασκευαστής. Το όργανο ρυθμίστηκε ώστε να μετράει μάζα σωματιδίων. Με τη βαρυμετρική μέθοδο, έγινε προσδιορισμός της μάζας σωματιδίων που κατακράτησε ένα φίλτρο (47mm, υλικού Teflon) που τοποθετείται στην έξοδο του οργάνου (μάζα $m_{grav.}$). Η τιμή της μάζας που βρέθηκε εισήχθη στο πρόγραμμα του οργάνου (software). Αυτόματα υπολογίστηκε η παράμετρος C-factor = $m_{grav.}/$ (μάζα που υπολογίζεται από το όργανο) και γίνεται βαθμονόμηση βάσει της νέας τιμής του C-factor.

Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις συγκέντρωσης σωματιδίων, έγινε καταγραφή (ανά 5 λεπτά) της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας με αυτόματο καταγραφικό HOBO. Σημαντική παράμετρος σε έναν εσωτερικό χώρο είναι και ο ρυθμός εξαερισμού δηλαδή ο ρυθμός με τον οποίο ανανεώνεται το σύνολο του αέρα μέσα στο κτίριο, στη μονάδα του χρόνου. Οι μετρήσεις εξαερισμού των χώρων που μελετήθηκαν έγιναν με τη μέθοδο Nordtest NT VVS 118. [Nordtest method NT VVS 118]. Πιο συγκεκριμένα, ο υπό εξέταση χώρος χωρίζεται σε ζώνες, λαμβάνοντας υπόψη το σχεδιασμό του κτιρίου, τη διαμόρφωση των δωματίων, τη θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων κλπ. Σε κάθε ζώνη τοποθετούνται μία σειρά από μικρές πηγές αδρανούς αερίου-ιχνηθέτη (εικόνα 3.3), οι οποίες εκλύουν με μικρό και σταθερό ρυθμό ποσότητα αερίου ανάλογη με τον όγκο της ζώνης στην οποία βρίσκονται. Επίσης, στις ίδιες ζώνες τοποθετούνται και παθητικοί δειγματολήπτες οι οποίοι μετά το διάστημα δειγματοληψίας οδηγούνται στο εργαστήριο για χημική ανάλυση. Η τοπική συγκέντρωση υπό σταθερές συνθήκες (steady state) είναι ίση με το ρυθμό εκπομπής του αερίου ανά όγκο επί την τοπική μέση “ηλικία” του αέρα (δηλαδή το μέσο χρονικό διάστημα στο οποίο παραμένει ο αέρας μέσα σε ένα χώρο).



Εικόνες 3.3a, b: πηγή αδρανούς αερίου και παθητικός δειγματολήπτης

Έτσι, η μέση ηλικία του αέρα υπολογίζεται από τη συγκέντρωση αερίου που προκύπτει από την εργαστηριακή ανάλυση (μέθοδος αέριας χρωματογραφίας) των παθητικών δειγματοληπτών. Η συγκέντρωση (C_p) του αερίου-ιχνηθέτη υπολογίζεται από την ποσότητα του ιχνηθέτη που ανιχνεύεται (M_p), το ρυθμό δειγματοληψίας (k) και το χρόνο δειγματοληψίας (T):

$$C_p = \frac{M_p}{kT}$$

Η μέση “ηλικία” του αέρα στον χώρο υπολογίζεται στη συνέχεια από τον τύπο:

$$\tau_p = \frac{C_p}{\frac{E}{V}}$$

όπου E/V είναι ο ομογενής ρυθμός εκπομπής ($g/h \cdot m^3$)

Η διάρκεια της δειγματοληψίας ήταν 2 εβδομάδες και τα δείγματα στάλθηκαν για ανάλυση στα εργαστήρια της εταιρείας Pentiaq στη Σουηδία.

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι πειραματικές καμπάνιες που έγιναν στα πλαίσια της διατριβής.

Πειραματική καμπάνια	διάστημα διεξαγωγής	Μάζα σωματιδίων ($\mu g/m^3$)	Αριθμός σωματιδίων (αριθμός/ cm^3)	Ρυθμός εξαερισμού	Θερμοκρασία-σχετική υγρασία
δωμάτιο δοκιμών (chamber room)	Μάρτιος-Ιούνιος 2008	✓	✓	✓	✓
Χώροι γραφείων	Ιούλιος 2007	✓	✓	✓	✓
Κατοικία (προκαταρκτική καμπάνια)	Σεπτέμβριος 2007	✓		✓	✓
Κατοικία (2 ^η καμπάνια)	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2009	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 3.2: περιγραφή πειραματικών καμπανιών.

3.2 Μετρήσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον (chamber room)

3.2.1 Περιγραφή χώρου

Για το σκοπό των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικά διαμορφωμένο δωμάτιο στο κτίριο του Ινστιτούτου Πυρηνικής Τεχνολογίας και Ακτινοπροστασίας, στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Το δωμάτιο έχει όγκο 18.14 m^3 και βρίσκεται στον ισόγειο χώρο του κτιρίου στο οποίο δεν επιτρέπεται το κάπνισμα. Πριν από τη μετατροπή του σε θάλαμο για τις μετρήσεις, δεν χρησιμοποιείτο για άλλο σκοπό.

Η οροφή του δωματίου είναι καλυμμένη με γυψοσανίδα, βαμμένη με λευκό πλαστικό χρώμα. Οι τοίχοι είναι προκατασκευασμένοι και βαμμένοι με πλαστικό χρώμα επίσης. Το υλικό επίστρωσης του δαπέδου είναι PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο) χρώματος γκρι. Τέλος, μέσα στο δωμάτιο υπάρχει εργαστηριακός πάγκος κατασκευασμένος από φορμάικα. Φωτογραφία από το εσωτερικό του δωματίου δίνεται στην εικόνα 3.4.

Η μέση θερμοκρασία και σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα στο δωμάτιο κυμάνθηκε από 20 έως $25 \text{ }^\circ\text{C}$ και 38 έως 42% αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια πειραμάτων με μεγάλη έκλυση θερμότητας και υδρατμών τα μεγέθη αυτά αυξήθηκαν αντίστοιχα σε $35 \text{ }^\circ\text{C}$ και 82% (πίνακας 3.3).

Εισροή αέρα κατά τη διάρκεια των πειραμάτων δεν υπήρξε (με μηχανικό ή φυσικό τρόπο). Οι μετρήσεις του ρυθμού ανταλλαγής αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον υπό τις συνθήκες στις οποίες έγιναν τα πειράματα έδειξαν ότι ο εξαερισμός ήταν πολύ χαμηλός (πίνακας 3.3).



Εικόνα 3.4: το εσωτερικό του δωματίου δοκιμών

3.2.2 Μεθοδολογία μετρήσεων

Με σκοπό την ελαχιστοποίηση της επίδρασης του εξωτερικού περιβάλλοντος στις μετρήσεις, το δωμάτιο δοκιμών

- ✓ **Μονώθηκε** κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και έως ότου η συγκέντρωση να επανέλθει στα επίπεδα υποβάθρου. Πιο συγκεκριμένα, γινόταν κάλυψη με μονωτική ταινία των σχισμών γύρω από την πόρτα για την αποφυγή εισροής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον και αντίστροφα.
- ✓ Το άτομο που εκτελούσε τα πειράματα, πριν μπει στο δωμάτιο δοκιμών φορούσε **καλύμματα** πάνω από τα παπούτσια, γάντια και ειδική στολή ώστε να μη γίνει φορέας σκόνης από το εξωτερικό περιβάλλον.
- ✓ Σχολαστική **καθαριότητα** όλων των επιφανειών του θαλάμου γινόταν μεταξύ των μετρήσεων, με εξαίρεση τις δοκιμές όπου χρειαζόταν να προϋπάρχει σκόνη όπως το σκούπισμα, το ξεσκόνισμα κ.α.

Πριν από την έναρξη κάθε πειράματος, λαμβάνονταν μετρήσεις για το υπόβαθρο μέσα στο δωμάτιο δοκιμών. Στην περίπτωση που τα επίπεδα ήταν υψηλά, ο χώρος εξαεριζόταν καλά, καθαριζόταν εκ νέου και η έναρξη του επόμενου πειράματος γινόταν όταν η συγκέντρωση έπεφτε στα επίπεδα υποβάθρου.

Η κάθε πηγή εξετάστηκε και ως προς τη *μάζα* και ως προς τον *αριθμό* των σωματιδίων που εκπέμπει. Κάθε δοκιμή επαναλήφθηκε τουλάχιστον δύο φορές για την *αντικειμενικότητα* των μετρήσεων. Μετά το πέρας των δοκιμών, ο θάλαμος παρέμενε κλειστός έως την επόμενη μέρα. Η συχνότητα των πειραμάτων ήταν 1 πείραμα ανά μία τουλάχιστον μέρα. Μετά από δοκιμές όπου παρατηρήθηκαν πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις, χρειάστηκαν μερικές ημέρες ώστε να ξαναγίνει πείραμα στο χώρο. Τέλος, τα όργανα μέτρησης τοποθετήθηκαν επάνω στον εργαστηριακό πάγκο. Η πλειοψηφία των δραστηριοτήτων (πηγών) γίνονταν στο κέντρο του δωματίου, δηλαδή σε απόσταση περίπου 1-1.5 μέτρου από το πάγκο.

Οι πηγές που μελετήθηκαν ομαδοποιούνται σε 5 κατηγορίες βάσει της φύσης τους, οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

A. Πηγές καύσης

- Κάπνισμα (2 τύποι τσιγάρων)
- Αρωματικά κεριά
- Αρωματικά sticks

B. Πηγές επαναιώρησης

/καθαριότητας

- Ξεσκόνισμα
- Υγρό ξεσκόνισμα
- Τίναγμα μαξιλαριών
- Τοποθέτηση μοκέτας
- Περπάτημα σε μοκέτα
- Περπάτημα χωρίς μοκέτα
- Ηλεκτρική σκούπα
- Απλή σκούπα
- Σφουγγάρισμα

Γ. Πηγές σχετικές με μαγείρεμα

- Τηγάνισμα
- Ψηστιέρα (grill)
- Βράσιμο νερού
- Καφετιέρα
- Τοστιέρα
- Εστία υγραερίου
- Εστία ηλεκτρική

Δ. Σπρέυ

- Αρωματικό σπρέυ χώρου
- Καθαριστικό σπρέυ
- Καλλυντικό σπρέυ
- Σπρέυ λακ

Ε. Άλλες πηγές

- Σιδέρωμα
- Τρίψιμο ξύλου

Ο τρόπος λειτουργίας των πηγών, η διάρκεια εκπομπής και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν **προσομοιώνουν τις πραγματικές συνθήκες** λειτουργίας μιας πηγής σε έναν εσωτερικό χώρο. Επίσης, η διεξαγωγή των πειραμάτων βασίστηκε και σε αντίστοιχες μελέτες από τη βιβλιογραφία (Glytsos et al., 2010; Afshari et al., 2005; Klepeis et al., 2003; Montoya et al., 2005; Fan et al., 2001).

Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για κάθε δοκιμή.

A. Πηγές καύσης

▪ Κάπνισμα (ελαφρύ και βαρύ)

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά ως προς τη σύσταση είδη τσιγάρων. Ένα *ελαφρύ* (πίσσα 1 mg, νικοτίνη 0.1 mg, μονοξείδιο του άνθρακα 1 mg) και ένα πιο *βαρύ* (πίσσα 10 mg, νικοτίνη 0.8 mg, μονοξείδιο του άνθρακα 10 mg). Σε κάθε μία περίπτωση, 2 τσιγάρα καπνίστηκαν για συνολικό διάστημα δέκα λεπτών. Τα τσιγάρα άναψαν με κοινό αναπτήρα υγραερίου και καίγονταν στη μέση του δωματίου, σε ύψος 1.5 μέτρο πάνω από το πάτωμα.

▪ Αρωματικά κεριά

Είκοσι πέντε αρωματικά κεριά (τύπου ρεσώ), με άρωμα πορτοκάλι χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα. Άναψαν με κοινό αναπτήρα υγραερίου και για το ταυτόχρονο σβήσιμό τους χρησιμοποιήθηκε μία βρεγμένη πετσέτα (Afshari et al., 2005). Η καύση διήρκεσε 60 λεπτά.

▪ Αρωματικά στικς

Για την δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν 3 αρωματικά στικ με άρωμα βανίλια, τα οποία άναψαν με κοινό αναπτήρα υγραερίου. Η καύση διήρκεσε 5 λεπτά. Τα στικ έσβησαν μόνα τους και η στάχτη που άφησαν παρέμεινε έως ότου τελειώσει η μέτρηση.

B. Πηγές επαναιώρησης /καθαριότητας

▪ Ξεσκόνισμα

Πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ξεσκονόπανο από βαμβακερό ύφασμα και έγινε καθαρισμός όλων των επιφανειών του δωματίου. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν 10 λεπτά.

▪ **Υγρό ξεσκόνισμα**

Πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ξεσκονόπανο από βαμβακερό ύφασμα βρεγμένο με υγρό απορρυπαντικό και έγινε καθαρισμός όλων των επιφανειών του δωματίου. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν 10 λεπτά.

▪ **Τίναγμα μαξιλαριών**

Δύο διακοσμητικά μαξιλάρια (30x30cm) τινάχτηκαν για το χρονικό διάστημα 10 λεπτών.

▪ **Τοποθέτηση μοκέτας**

Μία μοκέτα εμβαδού 3 m² τοποθετήθηκε στο δάπεδο του δωματίου δοκιμών και παρέμεινε μέχρι την επόμενη μέρα.

▪ **Περπάτημα σε μοκέτα**

Για το περπάτημα χρησιμοποιήθηκε μοκέτα εμβαδού 3 m² που τοποθετήθηκε στο δάπεδο, πριν από την έναρξη της δοκιμής. Αφού η συγκέντρωση επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου, ένα άτομο κινήθηκε πάνω σε αυτή για 10 λεπτά.

▪ **Περπάτημα χωρίς μοκέτα**

Πραγματοποιήθηκε περπάτημα στο πάτωμα του δωματίου δοκιμής. Η δοκιμή διήρκεσε 10 λεπτά.

▪ **Ηλεκτρική σκούπα**

Έγινε σκούπισμα της επιφάνειας του πατώματος του δωματίου δοκιμών. Η ένταση της σκούπας ξεκίνησε από χαμηλή προς μέτρια και στη μέση του πειράματος έγινε υψηλή. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν 10 λεπτά.

▪ **Απλή σκούπα**

Με κοινή σκούπα, έγινε σκούπισμα της επιφάνειας του πατώματος του δωματίου δοκιμών για 10 λεπτά.

▪ **Σφουγγάρισμα**

Έγινε σφουγγάρισμα με κοινή σφουγγαρίστρα (βρεγμένη με νερό) της επιφάνειας του πατώματος του δωματίου δοκιμών για 10 λεπτά.

Γ. Πηγές σχετικές με μαγείρεμα

▪ Τηγάνισμα

Τοποθετήθηκε ελαιόλαδο σε αντικολητικό τηγάνι διαμέτρου 30 εκατοστών, το οποίο ζεστάθηκε σε ηλεκτρική εστία για τρία λεπτά. Συνολικά τηγανίστηκε για περίπου μισή ώρα, 1 κιλό χοιρινού κρέατος. Στο τέλος του πειράματος, η ηλεκτρική εστία απενεργοποιήθηκε και το σκεύος παρέμεινε στο δωμάτιο δοκιμών.

▪ Ψηστιέρα (grill)

Συνολικά ψήθηκε 1 κιλό από λουκάνικα για περίπου 25 λεπτά, σε ψηστιέρα η οποία λειτουργεί με θερμαινόμενη αντίσταση σε νερό. Όταν τελείωσε το ψήσιμο η εστία απενεργοποιήθηκε και η ψηστιέρα παρέμεινε στο δωμάτιο δοκιμής.

▪ Βράσιμο νερού

Νερό (0.5 λίτρα) τοποθετήθηκε σε σκεύος και έβρασε πάνω σε ηλεκτρική εστία. Ο βρασμός άρχισε μετά από 5 λεπτά και συνολικά διήρκησε 20 λεπτά.

▪ Καφετιέρα

Η καφετιέρα χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή 6 φλιτζανιών καφέ. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν 10 λεπτά. Μετά την παραγωγή καφέ, η καφετιέρα απενεργοποιήθηκε.

▪ Τοστιέρα

Σε τοστιέρα διαστάσεων 23 cm * 23 cm ψήθηκαν 6 τοστ για περίπου 15 λεπτά. Μετά το τέλος της δραστηριότητας, η τοστιέρα παρέμεινε στο χώρο

▪ Εστία υγραερίου

Μία μικρή εστία υγραερίου (γκαζάκι) τέθηκε σε λειτουργία για 10 λεπτά, χωρίς να τοποθετηθεί σκεύος σε αυτή.

▪ Εστία ηλεκτρική

Μία ηλεκτρική εστία διαμέτρου 25cm τέθηκε σε λειτουργία για 10 λεπτά, χωρίς να τοποθετηθεί σκεύος σε αυτή.

Δ. Σπρέυ

▪ Αρωματικό σπρέυχώρου

Απελευθερώθηκαν συνολικά 10g σπρέυ αρώματος βανίλια μετά από καλή ανακίνηση του μπουκαλιού, σε ύψος 1.5 μέτρο από το δάπεδο και από το όργανο, προς όλες τις κατευθύνσεις. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν περίπου 2 λεπτά. Το σπρέυ περιείχε βουτάνιο (20-40%), αιθανόλη (30-70%), λεμόνι και αρωματικές ουσίες.

▪ Καθαριστικό σπρέυ

Απελευθερώθηκαν συνολικά 10g καθαριστικού σπρέυ (τύπου Ajax) μετά από καλή ανακίνηση του μπουκαλιού, σε ύψος 1.5 μέτρο από το έδαφος και προς όλες τις επιφάνειες (πάγκος, εσωτερικό παράθυρο, πόρτα). Η διάρκεια της δοκιμής ήταν περίπου 2 λεπτά. Το σπρέυ περιείχε δύο ειδών αρωματικές ουσίες, βουτάνιο, αιθανόλη κ.α.

▪ Καλλυντικό σπρέυ

Απελευθερώθηκαν συνολικά 10g αποσμητικού σπρέυ σώματος, μετά από καλή ανακίνηση του μπουκαλιού, σε ύψος 1.5 μέτρο από το έδαφος και προς μία κατεύθυνση. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν περίπου 2 λεπτά. Το σπρέυ περιείχε αλκοόλη, βουτάνιο, προπάνιο, isopropyl, λεμόνι και αρωματικές ουσίες.

▪ Σπρέυ λακ

Απελευθερώθηκαν συνολικά 10g σπρέυ, μετά από καλή ανακίνηση του μπουκαλιού, σε ύψος 1.5 μέτρο από το έδαφος και προς μία κατεύθυνση. Το προϊόν περιείχε παρόμοια συστατικά με αυτά του αποσμητικού σπρέυ σώματος. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν περίπου 2 λεπτά.

Ε. Άλλες πηγές

▪ Σιδέρωμα

Σιδερώθηκε νωπό βαμβακερό ύφασμα με ηλεκτρικό σίδερο. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν 15 λεπτά. Μετά το τέλος της δραστηριότητας, η συσκευή απενεργοποιήθηκε και παρέμεινε στο δωμάτιο δοκιμής.

▪ Τρίψιμο ξύλου

Πραγματοποιήθηκε τρίψιμο ξύλου διαστάσεων 50cm * 50cm με γυαλόχαρτο, το οποίο ήταν τοποθετημένο στο κέντρο του δωματίου και σε ύψος 1 μέτρο από το δάπεδο. Η δοκιμή διήρκεσε περίπου 10 λεπτά.

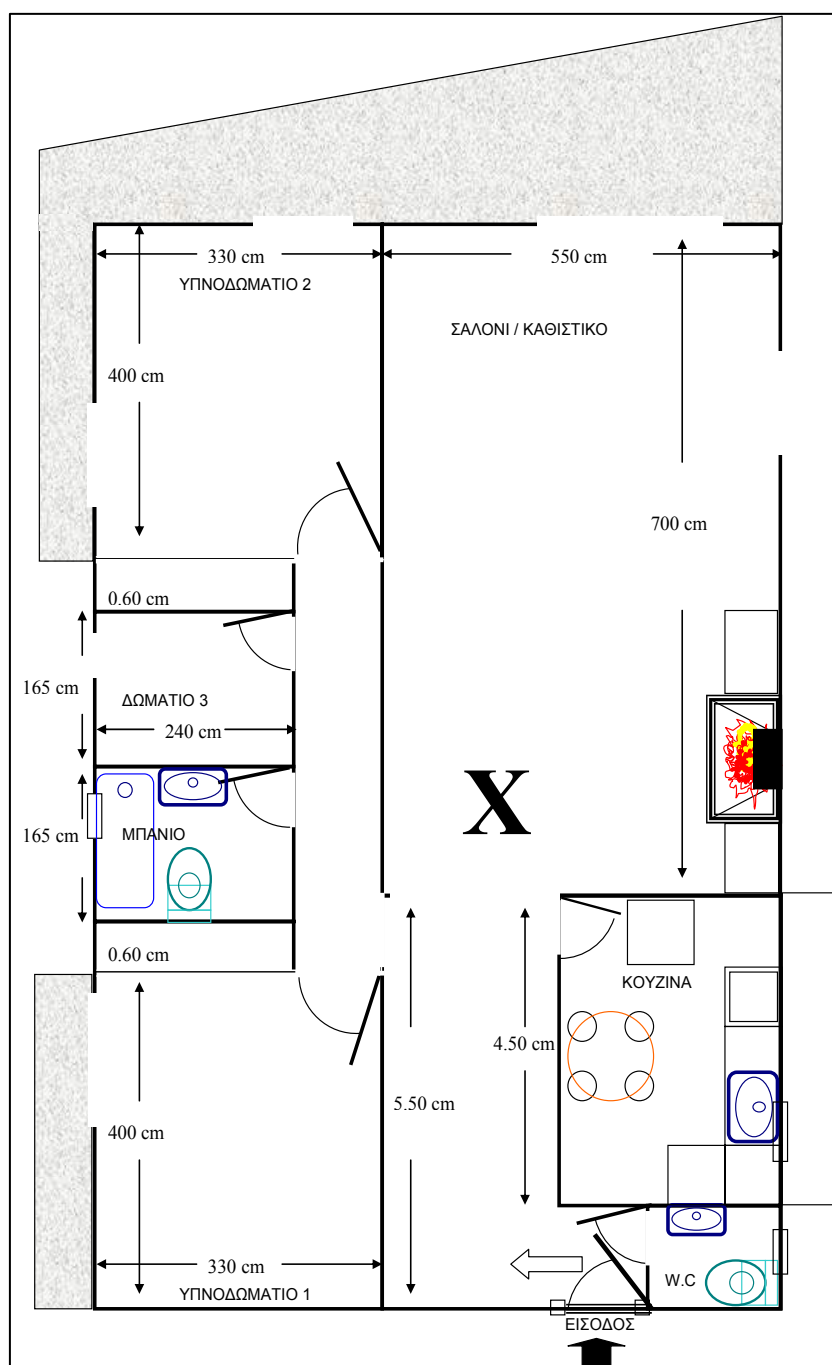
3.3 Μετρήσεις σε κατοικία και γραφείο

3.3.1 Περιγραφή χώρων

Ως πραγματικοί χώροι κατοικίας και γραφείου επιλέχθηκαν ένα διαμέρισμα και το κτίριο διοίκησης του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, τα οποία βρίσκονται στην Αγία Παρασκευή Αττικής.

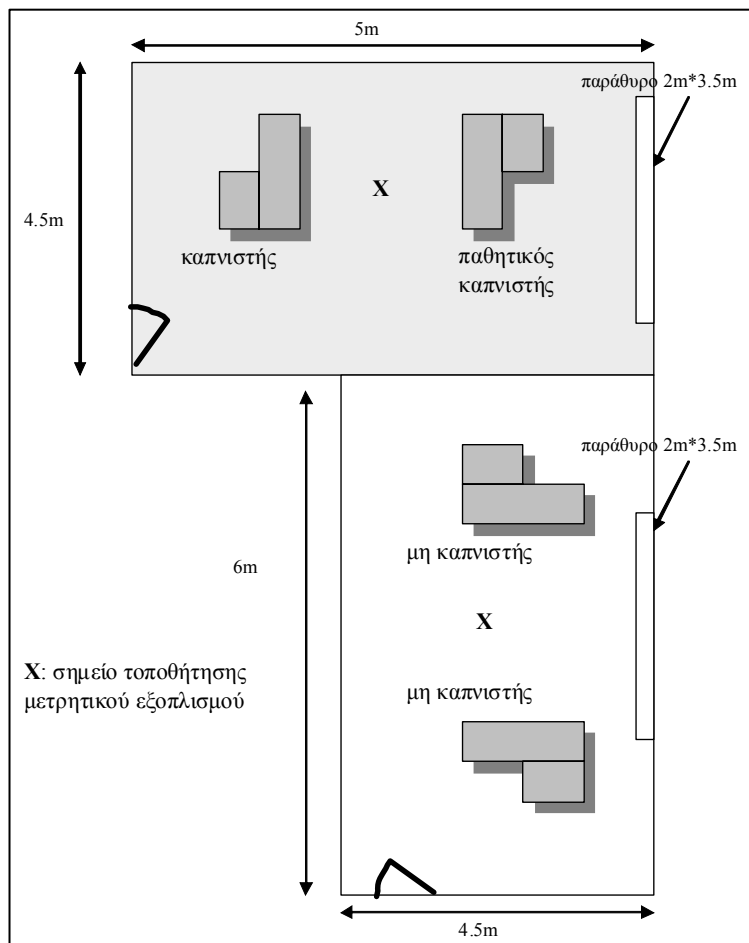
Το **διαμέρισμα**, εμβαδού 120m² βρίσκεται στον τρίτο όροφο τετραόροφης πολυκατοικίας (ηλικίας 30 ετών) και κατοικείται από τέσσερις κατοίκους. Η πρόσοψη του διαμερίσματος βρίσκεται σε δρόμο μεσαίας κυκλοφορίας αλλά σε απόσταση 200 μέτρων από αυτό, βρίσκεται η ταχείας κυκλοφορίας λεωφόρος Μεσογείων. Το κτίριο βρίσκεται σε περιοχή όπου υπάρχουν πολυκατοικίες και μεγάλα κωνοφόρα δέντρα (πεύκα). Οι κάτοικοι του διαμερίσματος δεν είναι καπνιστές και για τις ανάγκες των πειραμάτων το κάπνισμα πραγματοποιήθηκε από επισκέπτη. Τέλος, ο εξαερισμός του διαμερίσματος είναι φυσικός (μέσω παραθύρων και μπαλκονόπορτας) και καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων δε χρησιμοποιήθηκε θέρμανση (καλοριφέρ). Η κάτοψη του διαμερίσματος δίνεται στην εικόνα 3.5α.

Οι **χώροι γραφείων** που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό των μετρήσεων βρίσκονται στο ισόγειο του κτιρίου Διοίκησης του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος (ηλικία κτιρίου 25 έτη). Πρόκειται για δύο γειτονικά γραφεία (αντίστοιχα 63 and 75.6m³) στα οποία η επίπλωση και ο εξοπλισμός είναι ίδια. Πιο συγκεκριμένα, δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές, δύο εκτυπωτές και ένα φωτοτυπικό μηχάνημα βρίσκονται σε κάθε γραφείο. Κατά την περίοδο δειγματοληψίας, σε κάθε γραφείο εργάζονταν δύο υπάλληλοι, με το ίδιο εργασιακό ωράριο (8:00-16:00) Βασική διαφοροποίηση των δύο γραφείων είναι ότι στο ένα επιτρέπεται το κάπνισμα και ο ένας υπάλληλος εκ των δύο είναι καπνιστής, ενώ στο άλλο γραφείο και οι δύο υπάλληλοι είναι μη καπνιστές. Ο εξαερισμός των χώρων είναι φυσικός (μέσω παραθύρων). Ο εξωτερικός χώρος του κτιρίου των γραφείων καλύπτεται από κωνοφόρα δέντρα και ένας χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων βρίσκεται σε απόσταση 30 μέτρων από αυτό. Επίσης, σε απόσταση 200m από το κτίριο βρίσκεται και η είσοδος της Αττικής οδού. Η κάτοψη των γραφείων δίνεται στην εικόνα 3.5β.



X= σημείο τοποθέτησης μετρητικού εξοπλισμού

Σχήμα 3.5α. Κάτοψη κατοικίας



Σχήμα 3.5β. Κάτοψη γραφείων

3.3.2 Μεθοδολογία μετρήσεων

Η μεθοδολογία των μετρήσεων που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια και στους δύο χώρους. Αρχικά, έγινε αναλυτική καταγραφή των χαρακτηριστικών των χώρων, των πιθανών πηγών και των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται σε αυτούς.

Το όργανο μέτρησης σωματιδίων και το θερμοϋγρόμετρο τοποθετήθηκαν στο κέντρο των γραφείων και στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ της κουζίνας και του σαλονιού του διαμερίσματος (εικόνες δα και β). Δόθηκε προσοχή ώστε τα όργανα να μη βρίσκονται κοντά σε τοίχο ή μεγάλα έπιπλα και να μην επηρεάζονται από ρεύματα αέρα. Επιπλέον, λεπτομερής καταγραφή των δραστηριοτήτων με ακρίβεια λεπτού γινόταν από τους χρήστες των χώρων σε ειδικά διαμορφωμένα ερωτηματολόγια.

Ο τρόπος εξαερισμού και στους δύο χώρους παρέμεινε ο ίδιος σε όλη τη διάρκεια των πειραματικών καμπανιών. Πιο συγκεκριμένα, στο διαμέρισμα, γινόταν ανανέωση του αέρα του χώρου, κάθε πρωί για μισή ώρα (7:30-8:00) διατηρώντας τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες τελείως ανοιχτά. Στη συνέχεια και καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλα τα ανοίγματα παρέμεναν ανοιχτά κατά 10cm και το βράδυ (22:00) έκλειναν τελείως και παρέμεναν κλειστά μέχρι το επόμενο πρωί.

Στα γραφεία, επίσης γινόταν ανανέωση του αέρα του χώρου, κάθε πρωί για μισή ώρα (7:00-7:30). Καθ' όλη τη διάρκεια του ωραρίου, το παράθυρο κάθε χώρου παρέμενε ανοιχτό κατά 20cm εκτός από μία μέρα που παρέμεινε ανοιχτό κατά 50cm. Μετά το πέρας του ωραρίου, τα παράθυρα παρέμεναν κλειστά μέχρι την επόμενη ημέρα.

Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται συνοπτικά οι τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και ρυθμού εξαερισμού για όλη την περίοδο δειγματοληψίας σε κάθε χώρο. Για το θάλαμο δοκιμών, η μέση τιμή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αφορούν στο υπόβαθρο, ενώ η μέγιστη τιμή αυτών καταγράφηκε κατά τη διάρκεια δοκιμών με έκλυση υδρατμών και μεγάλη άνοδο θερμοκρασίας (ψηστιέρα, τηγάνισμα, βράσιμο νερού, σιδέρωμα με ατμό).

		χώρος δειγματοληψίας		
		θάλαμος δοκιμών	κατοικία	γραφείο
θερμοκρασία εσωτερικού αέρα (°C)	μέση τιμή	22	28	28
	μέγιστη τιμή	35	30	32
	ελάχιστη τιμή	20	21	25
θερμοκρασία εξωτερικού αέρα (°C)	μέση τιμή	25	33	34
	μέγιστη τιμή	28	38	39
	ελάχιστη τιμή	18	27	28
σχετική υγρασία εσωτερικού αέρα (%)	μέση τιμή	40	42	31
	μέγιστη τιμή	82	62	49
	ελάχιστη τιμή	38	30	24
σχετική υγρασία εξωτερικού αέρα (%)	μέση τιμή	50	57	55
	μέγιστη τιμή	62	80	61
	ελάχιστη τιμή	48	38	45
ρυθμός εξαερισμού (h ⁻¹)	μέση τιμή	0.1	0.94	0.44
	μέγιστη τιμή	0.15	1.21	0.52
	ελάχιστη τιμή	<0.1	0.88	0.4

Πίνακας 3.3: Μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές των μετρούμενων παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, ρυθμός εξαερισμού) για όλη την περίοδο δειγματοληψίας σε κάθε χώρο.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα μετρήσεων από δωμάτιο δοκιμών (chamber room)

4.1	Εισαγωγή.....	64
4.2	Πηγές καύσης.....	65
4.2.1	Κάπνισμα.....	65
4.2.2	Καύση αρωματικών κεριών.....	73
4.2.3	Καύση αρωματικών στικς.....	76
4.2.4	Συμπεράσματα για τις πηγές καύσης.....	79
4.3	Πηγές επαναιώρησης.....	81
4.3.1	Ξεσκόνισμα.....	81
4.3.2	Υγρό ξεσκόνισμα.....	84
4.3.3	Τίναγμα μαξιλαριών.....	87
4.3.4	Τοποθέτηση μοκέτας.....	90
4.3.5	Περπάτημα σε μοκέτα.....	93
4.3.6	Περπάτημα χωρίς μοκέτα.....	96
4.3.7	Σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα.....	99
4.3.8	Σκούπισμα με απλή σκούπα.....	102
4.3.9	Σφουγγάρισμα.....	105
4.3.10	Συμπεράσματα για τις πηγές επαναιώρησης.....	108
4.4	Πηγές σχετικές με μαγείρεμα.....	110
4.4.1	Τηγάνισμα.....	110
4.4.2	Ψήσιμο σε grill.....	113
4.4.3	Βράσιμο.....	117
4.4.4	Καφετιέρα.....	120
4.4.5	Τοστιέρα.....	123
4.4.6	Εστία υγραερίου (γκαζάκι).....	126
4.4.7	Εστία κεραμική κουζίνας (ηλεκτρική).....	129
4.4.8	Συμπεράσματα για τις πηγές σχετικές με μαγείρεμα.....	132
4.5	Πηγές σπρέυ.....	133
4.5.1	Αρωματικό σπρέυ χώρου.....	133
4.5.2	Καθαριστικό σπρέυ.....	136
4.5.3	Καλλυντικό σπρέυ.....	139
4.5.4	Σπρέυ μαλλιών (λακ).....	142
4.5.5	Συμπεράσματα για τις πηγές σπρέυ.....	145
4.6	Άλλες πηγές.....	146
4.6.1	Σιδέρωμα.....	146
4.6.2	Τρίψιμο ξύλινης επιφάνειας.....	149
4.7	Υπολογισμός ρυθμού εκπομπής (emission rate) και ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης (sink rate).....	152
4.8	Συζήτηση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον.....	158

4.1 Εισαγωγή

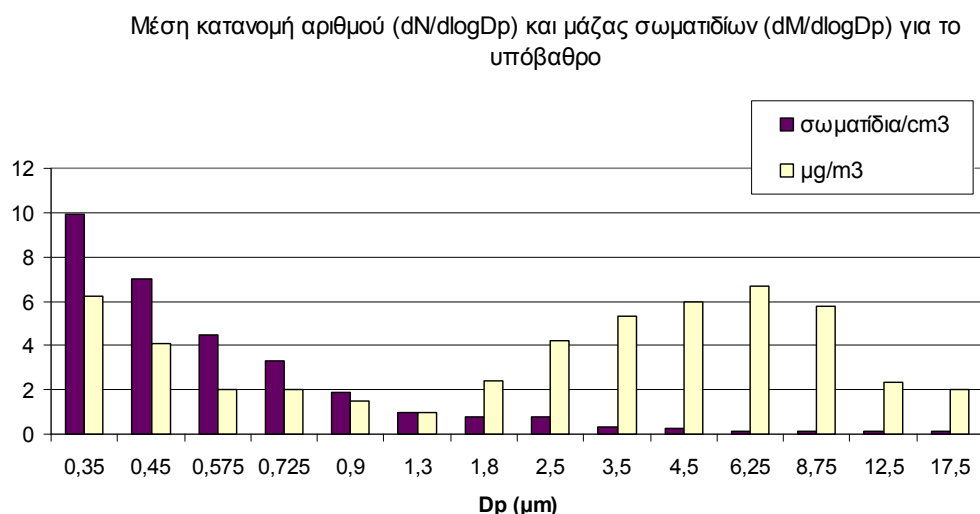
Όπως έχει αναφερθεί, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με τα προφίλ των βασικών δραστηριοτήτων-πηγών σωματιδίων που υπάρχουν σε ένα εσωτερικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, *το προφίλ μιας πηγής περιγράφεται από την πληροφορία του μεγέθους των σωματιδίων που παράγονται κατά την εκπομπή, της ποσότητας τους (σε αριθμό και μάζα) ανά μονάδα όγκου αέρα, του ρυθμού αύξησης/μείωσης της συγκέντρωσης*. κ.α. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις -σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον- των προφίλ 25 πηγών ως προς τον αριθμό και τη μάζα των σωματιδίων. που παράγονται, στο φάσμα μεγέθους διαμέτρου από 0.23 έως 20μm.

Αρχικά γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των αποτελεσμάτων για κάθε πηγή, ως προς τον αριθμό και τη μάζα σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε πηγή δίνεται η **χρονική διακύμανση της συγκέντρωσης** όλων των καναλιών μεγέθους, η οποία καλύπτει ένα χρονικό διάστημα *πριν* από την έναρξη της δραστηριότητας, όλη τη διάρκειά της και το χρονικό διάστημα μετά τη λήξη της και έως ότου οι συγκεντρώσεις επιστρέψουν στα επίπεδα υποβάθρου. Επίσης, δίνεται η **κανονικοποιημένη κατανομή** της συγκέντρωσης αριθμού **dN/dlogDp** ή μάζας **dM/dlogDp** σωματιδίων, στα κανάλια μεγέθους, σε συνάρτηση με το χρόνο για μία ολοκληρωμένη εικόνα του ποσοστού κάθε κλάσματος σωματιδίων που παράγονται σε κάθε δοκιμή, αλλά και την παρατήρηση πιθανών μηχανισμών συσσωμάτωσης, εναπόθεσης κλπ (**N**=αριθμός σωματιδίων, **M**=μάζα σωματιδίων, **Dp**= μέση διάμετρος ανά κανάλι μεγέθους).

Σημειώνεται ότι ακόμα και στην περίπτωση του υποβάθρου (απομονωμένο δωμάτιο, απουσία δραστηριοτήτων, σταθερές συνθήκες) η συγκέντρωση αριθμού και μάζας σωματιδίων δεν είχε μηδενική τιμή σε όλα τα κανάλια. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι στο εσωτερικό του χώρου, παρά την απουσία πηγών, δεν υπάρχει κενό αλλά αέρας ο οποίος περιέχει σωματίδια. Η μέση κατανομή συγκέντρωσης αριθμού και μάζας για το υπόβαθρο του εσωτερικού αέρα του δωματίου δοκιμών φαίνεται στο σχήμα 4.1.1.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε πηγή, ομαδοποιημένα σε κατηγορίες. Στο τέλος κάθε ενότητας, γίνεται συγκριτική μελέτη των πηγών της ίδιας κατηγορίας (πηγές καύσης, πηγές επαναιώρησης, σχετικές με μαγείρεμα, σπρέυ κ.λ.π), συζητούνται οι παρατηρούμενες ομοιότητες/διαφορές και

γίνεται συσχέτιση με αποτελέσματα από παρόμοιες μελέτες. Στην παράγραφο 4.7 δίνεται μία συνολική εικόνα για το ρυθμό αύξησης και μείωσης της συγκέντρωσης κατά την εκπομπή και μετά τη λήξη της δραστηριότητας αντίστοιχα. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται (παράγραφος 4.8) με μία συζήτηση για όλες τις πηγές, συγκρίνοντας τα προφίλ τους και εξάγοντας πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη (κεφάλαιο 6).



Σχήμα 4.1.1. Μέση κατανομή αριθμού και μάζας σωματιδίων όταν το δωμάτιο δοκιμών ήταν τελείως καθαρό και δεν λάμβανε χώρα κάποια δραστηριότητα.

4.2 Πηγές καύσης

4.2.1 Κάπνισμα

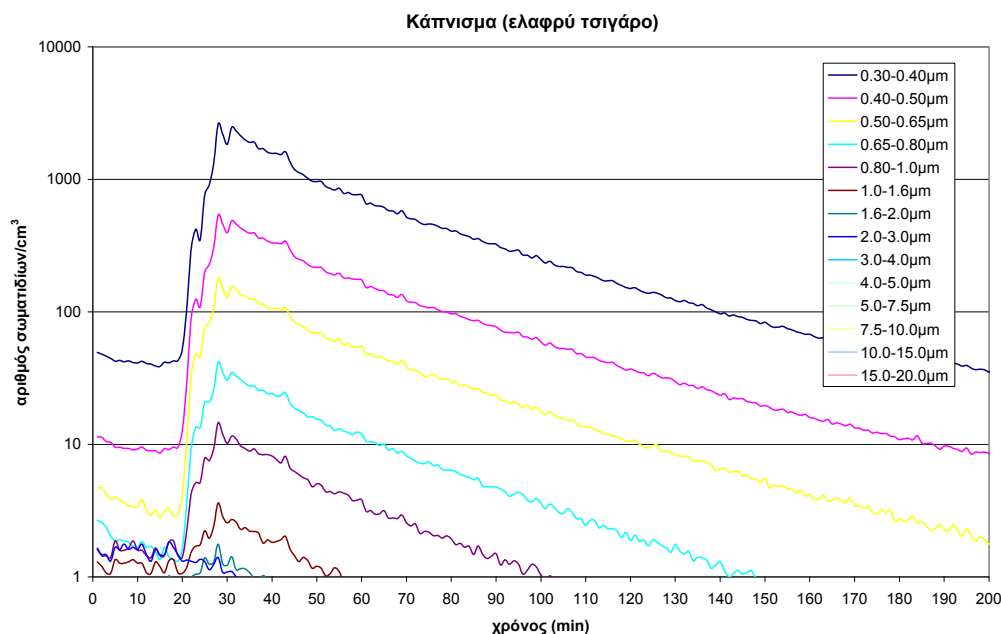
Όπως έχει αναφερθεί, η δοκιμή του καπνίσματος έγινε με δύο διαφορετικής σύστασης τσιγάρα:

- **τύπου A:** "ελαφρύ" τσιγάρο (πίσσα 1 mg, νικοτίνη 0.1 mg, μονοξείδιο του άνθρακα 1 mg) και
- **τύπου B:** "βαρύ" τσιγάρο (πίσσα 10 mg, νικοτίνη 0.8 mg, μονοξείδιο του άνθρακα 10 mg). Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων των δύο περιπτώσεων.

A. Τσιγάρο τύπου A

- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.2.1α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του καπνίσματος με τσιγάρο τύπου Α.

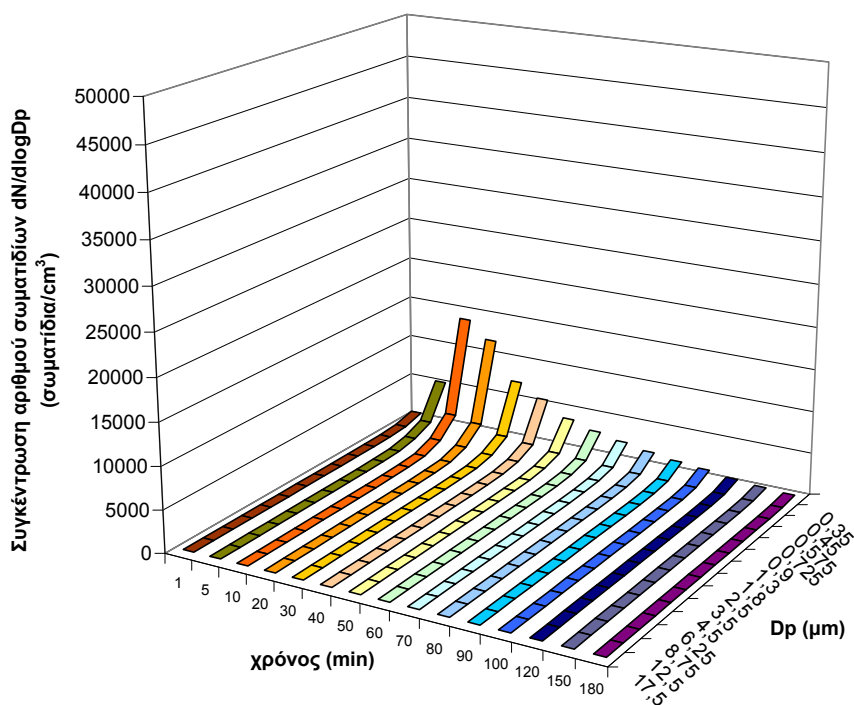


Σχήμα 4.2.1α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά την δοκιμή του καπνίσματος (τσιγάρο τύπου Α).

Η δοκιμή διήρκησε 10 λεπτά (21ο-30ο λεπτό). Με την έναρξη του καπνίσματος, η συγκέντρωση των σωματιδίων των μικρότερων καναλιών (κυρίως μέχρι 0.8μm) αυξήθηκε απότομα και παρέμεινε υψηλή σε σχέση με το υπόβαθρο για περισσότερο από μία ώρα. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν εκείνα των **0.30-0.65 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 50 φορές. Η εικόνα της διακύμανσης της συγκέντρωσης ήταν όμοια για τα κανάλια έως 1.6μm, τα οποία παρουσίασαν ταυτόχρονα μέγιστη τιμή, ενώ τα μεγαλύτερα σωματίδια δεν φάνηκε να έχουν την ίδια συμπεριφορά. Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (0.3-20μm) ήταν 3500 σωματίδια/cm³ και παρατηρήθηκε 8 λεπτά μετά την έναρξη του καπνίσματος. Τρεις ώρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Η κανονικοποιημένη κατανομή μεγέθους dN/dlogDp μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.2.1β. Όπως αναμένεται, η κατανομή αποτελείται από μικρά κυρίως σωματίδια, στα οποία ο αριθμός γίνεται σημαντικός

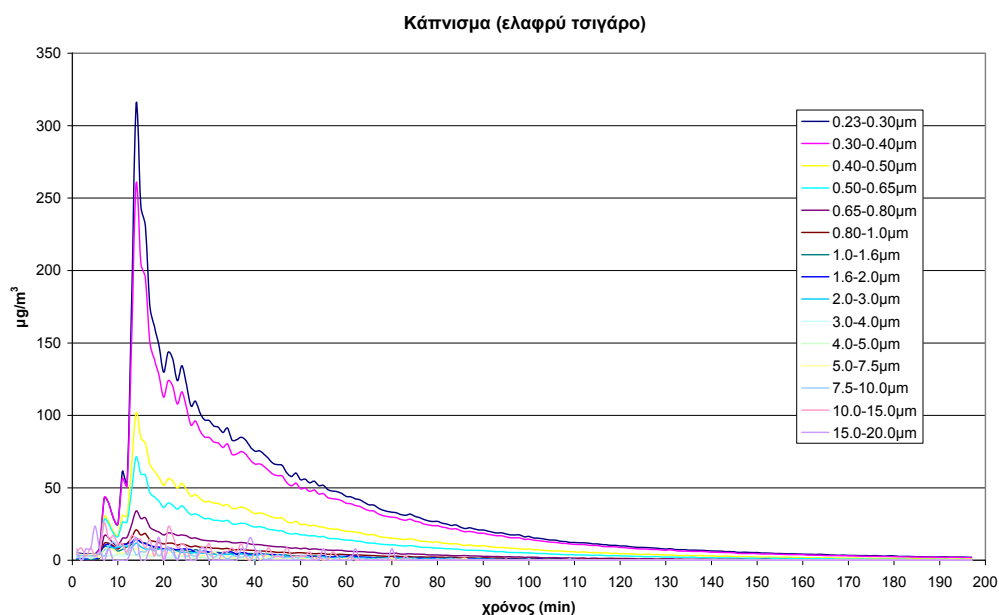
(Mitsakou et al., 2007; Ogulei et al., 2006). Καθ' όλη τη διάρκεια του καπνίσματος, η συγκέντρωση αυξάνεται.



Σχήμα 4.2.1β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του καπνίσματος (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

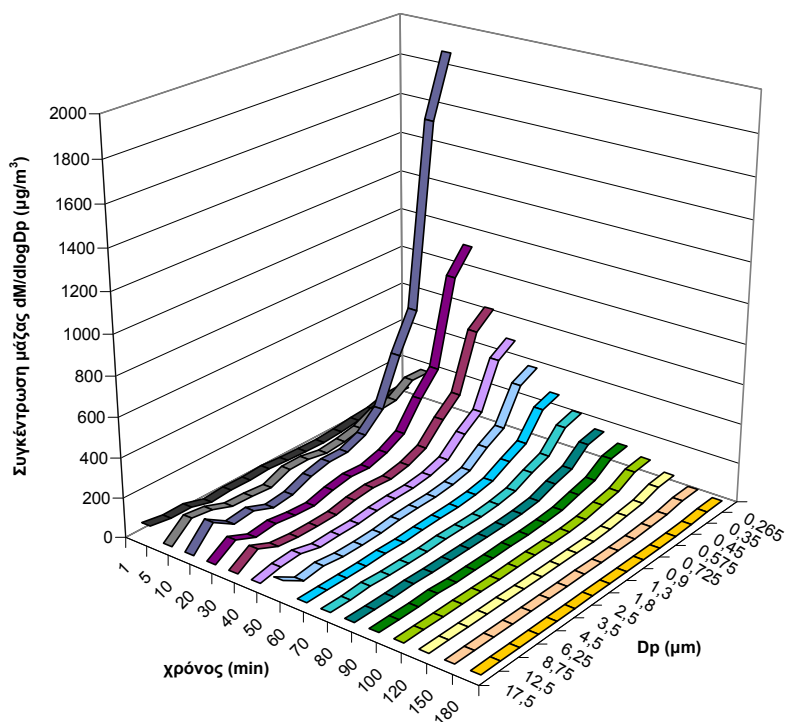
Στο σχήμα 4.2.1γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του καπνίσματος τσιγάρου τύπου A.



Σχήμα 4.2.1γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά την δοκιμή του καπνίσματος με τσιγάρο τύπου A.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από το 6^ο έως το 15^ο λεπτό. Απότομη αύξηση στη συγκέντρωση των σωματιδίων (ειδικότερα των μικρότερων καναλιών) παρατηρήθηκε με την έναρξη του καπνίσματος. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **0.50-0.80 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 100 και 85 φορές αντίστοιχα. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή της τάξης των 900 μg/m³ εννέα λεπτά μετά την έναρξη του καπνίσματος. Τρεις ώρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Η κανονικοποιημένη κατανομή μεγέθους (dM/dlogDp) των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.2.1δ. Όπως παρατηρείται, η κατανομή μάζας των σωματιδίων αποτελείται και από λίγο μεγαλύτερα σωματίδια σε σχέση με εκείνη του αριθμού, αφού η μάζα γίνεται σημαντική πλέον για τα μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια.

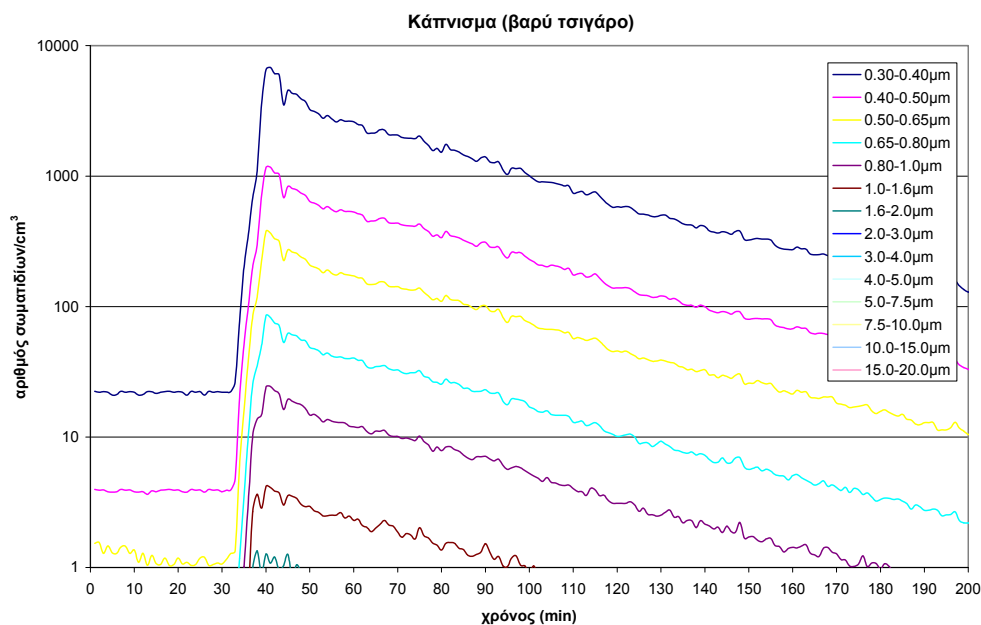


Σχήμα 4.2.1δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του καπνίσματος (συγκέντρωση μάζας).

B. Τσιγάρο τύπου B

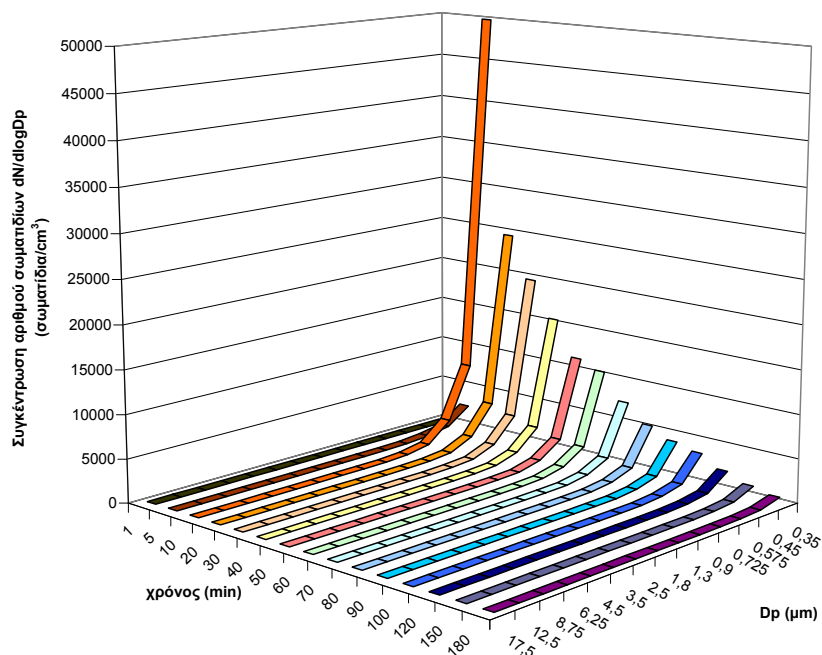
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.2.1ε παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του καπνίσματος με τσιγάρο τύπου B.



Σχήμα 4.2.1ε: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά την δοκιμή του καπνίσματος (τσιγάρο τύπου B).

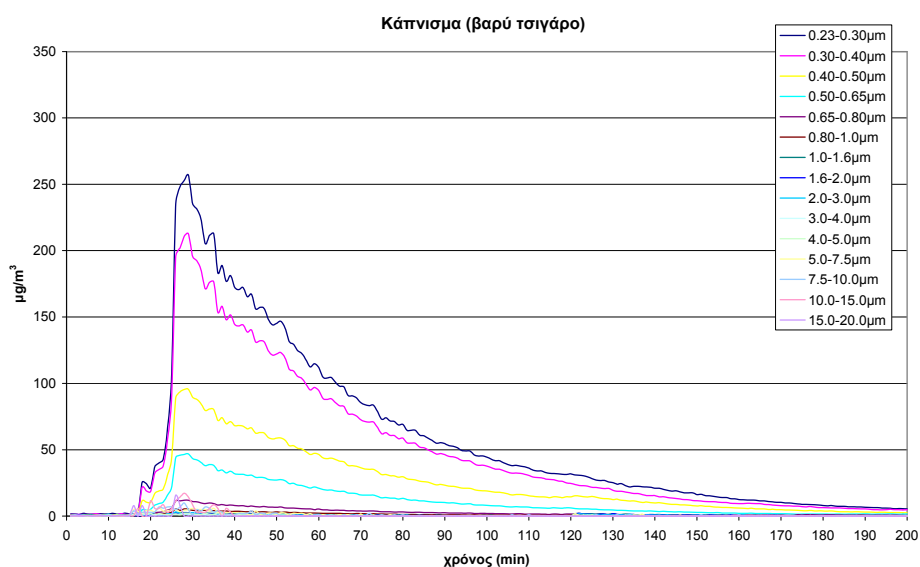
Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από το 31^ο έως το 40^ο λεπτό (διάρκεια 10 λεπτά). Τα κανάλια έως και 1.6μm παρουσίασαν ταυτόχρονη, απότομη αύξηση από το τρίτο λεπτό της δοκιμής. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν τα **0.30-0.40 μm**, **0.40-0.50 μm**, **0.50-0.65 μm** και **0.65-0.80 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 340 (για τα δύο πρώτα κανάλια), 560 και 350 φορές αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (8500 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 9 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Τρεις ώρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.2.1στ και είναι παρόμοια με την αντίστοιχη του καπνίσματος τσιγάρου τύπου A (σχήμα 4.2.1β) με εξαίρεση τις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης ανά κανάλι που στην περίπτωση του καπνίσματος με τσιγάρο τύπου B είναι (μέχρι και τρεις φορές) υψηλότερες.



Σχήμα 4.2.1στ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του καπνίσματος (συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων).

Μάζα σωματιδίων

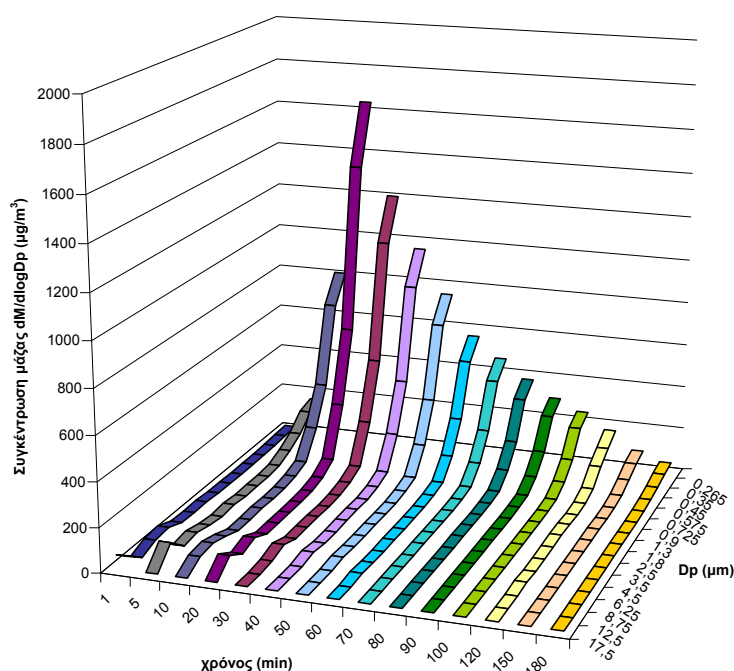
Στο σχήμα 4.2.1ζ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του καπνίσματος με τσιγάρο τύπου B.



Σχήμα 4.2.1ζ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά την δοκιμή του καπνίσματος με τσιγάρο τύπου B.

Η διάρκεια του καπνίσματος ήταν 10 λεπτά (16^ο-25^ο λεπτό). Και σε αυτή την δοκιμή τα μικρά κανάλια παρουσίασαν ταυτόχρονα απότομη αύξηση από το δεύτερο λεπτό

της δοκιμής. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν τα μικρότερα και συγκεκριμένα τα κανάλια **0.23-0.65 μm** η συγκέντρωση των οποίων αυξήθηκε μέχρι και 250 φορές. Η μέγιστη τιμή της συνολικής μάζας σωματιδίων ήταν $650\mu\text{g}/\text{m}^3$ και παρατηρήθηκε 3 λεπτά μετά τη λήξη του καπνίσματος, αφού η συγκέντρωση συνέχισε να αυξάνει. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των σωματιδίων επέστρεψαν στα αρχικά τους επίπεδα μετά από 3 ώρες. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.2.1η και είναι παρόμοια με εκείνη στην περίπτωση του τσιγάρου τύπου A (4.2.1δ). Στην περίπτωση του καπνίσματος με τσιγάρο τύπου B, η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης παρατηρήθηκε μερικά λεπτά μετά τη λήξη του καπνίσματος, γεγονός που υποδηλώνει δευτερογενή παραγωγή πιθανόν λόγω συσσωμάτωσης μικρότερων σε μεγαλύτερα σωματίδια.

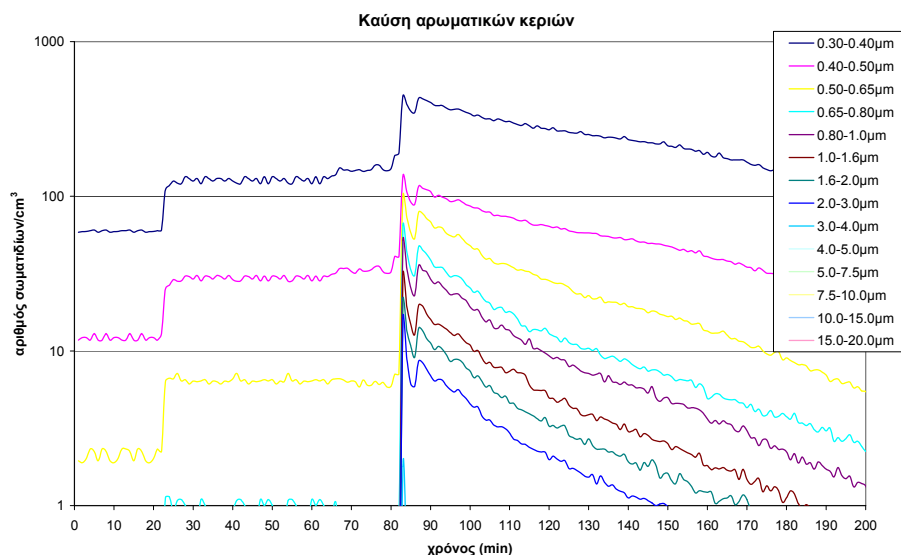


Σχήμα 4.2.1ζ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του καπνίσματος (συγκέντρωση μάζας σωματιδίων).

4.2.2 Καύση αρωματικών κεριών

- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.2.2α παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή της καύσης των αρωματικών κεριών.

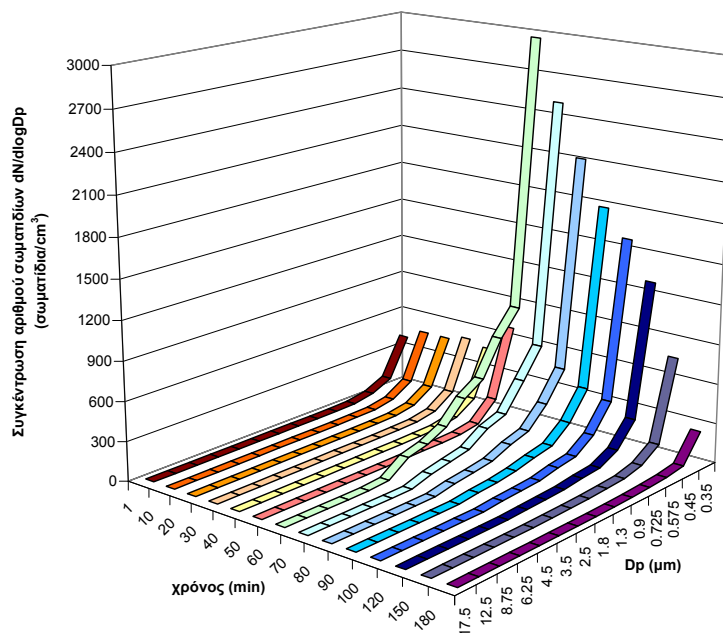


Σχήμα 4.2.2α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά την δοκιμή της καύσης των αρωματικών κεριών.

Η καύση των κεριών πραγματοποιήθηκε από το 23^ο έως το 82^ο λεπτό (60 λεπτά). Με την έναρξη της καύσης (άναμμα κεριών) η συγκέντρωση των μικρών σωματιδίων (<0.65μm) διπλασιάστηκε και παρέμεινε σταθερή μέχρι το σβήσιμο των κεριών. Κατά το σβήσιμο των κεριών, καταγράφηκε απότομη αύξηση της συγκέντρωσης όπου επηρεάστηκαν όλα τα κανάλια μέχρι 4μm αλλά κυρίως τα **0.80-2.0 μm** στα οποία παρατηρήθηκε αύξηση μέχρι και 50 φορές σε σχέση με το υπόβαθρο. Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης σωματιδίων κατά τη διάρκεια της καύσης ήταν 200 σωματίδια/cm³ ενώ κατά το σβήσιμο (83^ο λεπτό) ήταν 800 σωματίδια/cm³. Η συγκέντρωση των μεγαλύτερων σωματιδίων (3-20μm) επέστρεψε στις τιμές υποβάθρου σε λιγότερο από 2 ώρες, ενώ ο αντίστοιχος χρόνος για τα πιο μικρά σωματίδια ήταν 3 ώρες.

Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.2.2β. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, κατά το σβήσιμο των κεριών (60^ο λεπτό) εκλύεται μεγάλη ποσότητα μικρών (<1μm) αλλά και μεγαλύτερων σωματιδίων

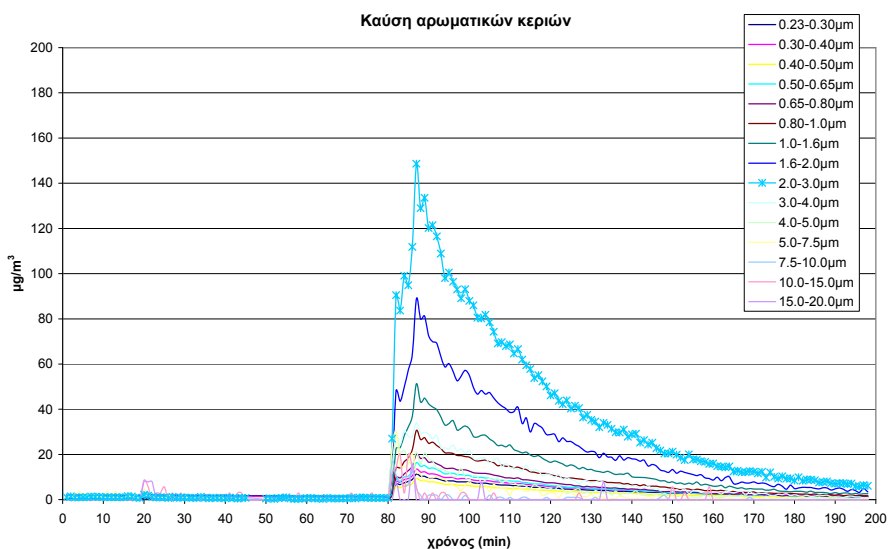
(μέχρι 4 μm), τα οποία όμως επικάθονται γρηγορότερα από τα μικρά λόγω βαρύτητας.



Σχήμα 4.2.2β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της καύσης των αρωματικών κεριών (συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων).

- **Μάζα σωματιδίων**

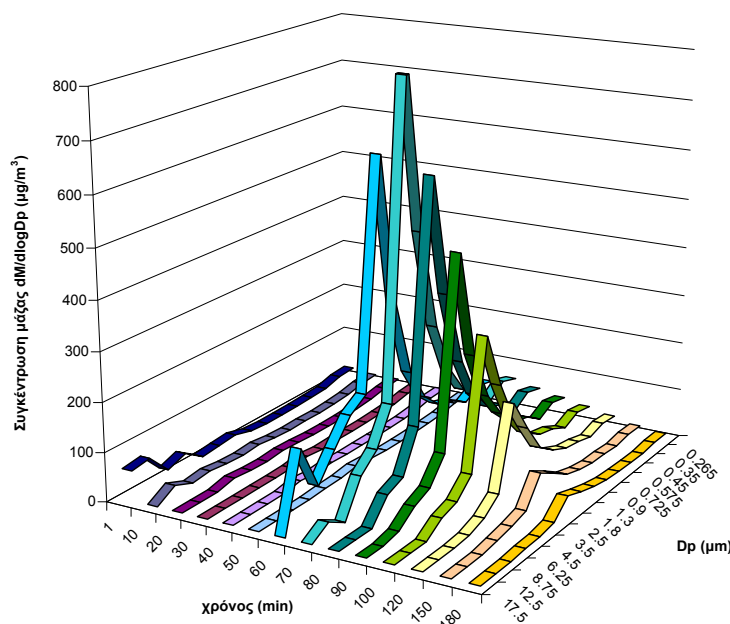
Στο σχήμα 4.2.2γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την καύση των αρωματικών κεριών.



Σχήμα 4.2.2γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά την δοκιμή της καύσης των κεριών.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 20^ο έως το 79^ο λεπτό. Με την έναρξη της καύσης (άναμμα κεριών) υπήρξε μία μικρή διαταραχή κυρίως στα μεγαλύτερα σωματίδια και στη συνέχεια η συγκέντρωση παρέμεινε σταθερή μέχρι το σβήσιμο. Παρόλα αυτά, η αύξηση στη συγκέντρωση κατά τη διάρκεια της καύσης είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τις μετρήσεις του αριθμού σωματιδίων. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την καύση των κεριών (και πριν το σβήσιμό τους) έχει βρεθεί (Afshari et al., 2005; Pagels et al., 2008) πως παράγονται πολύ μικρά σωματίδια (<1μm) στα οποία το σημαντικότερο μέγεθος είναι ο αριθμός και όχι η μάζα.

Κατά το σβήσιμο των κεριών, καταγράφηκε απότομη αύξηση της συγκέντρωσης όπου επηρεάστηκαν όλα τα κανάλια μεταξύ 0.4 και 7.5μm αλλά κυρίως αυτό των **2-3μm** στο οποίο παρατηρήθηκε αύξηση μέχρι και 150 φορές σε σχέση με το υπόβαθρο. Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης σωματιδίων (0.23-20μm) ήταν 470μg/m³ και παρατηρήθηκε *5 λεπτά μετά το σβήσιμο των κεριών*. Χρειάστηκαν περισσότερο από 2 ώρες προκειμένου οι τιμές της συγκέντρωσης όλων των καναλιών να επιστρέψουν στα αρχικά τους επίπεδα. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.2.2 δ. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, στο 60^ο λεπτό, πραγματοποιείται το σβήσιμο των κεριών όπου η συγκέντρωση κυρίως των μεσαίων σωματιδίων παρουσιάζει απότομη αύξηση. Μάλιστα, κατά τα πρώτα λεπτά μετά το σβήσιμο, η συγκέντρωση συνεχίζει να αυξάνει (70ο λεπτό, σχήμα 4.2.2δ)

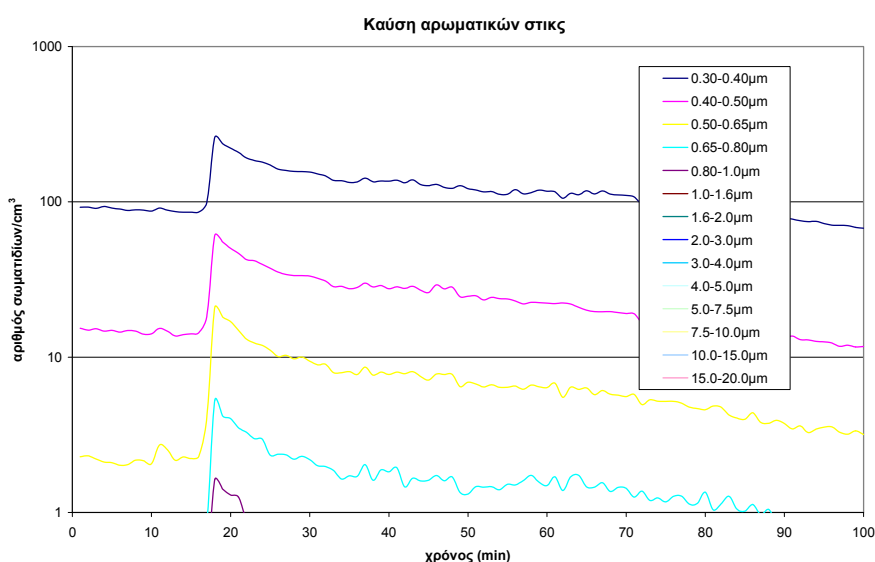


Σχήμα 4.2.2δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της καύσης των κεριών (συγκέντρωση μάζας σωματιδίων). Το σβήσιμο πραγματοποιήθηκε στο 60^ο λεπτό.

4.2.3 Καύση αρωματικών στικς

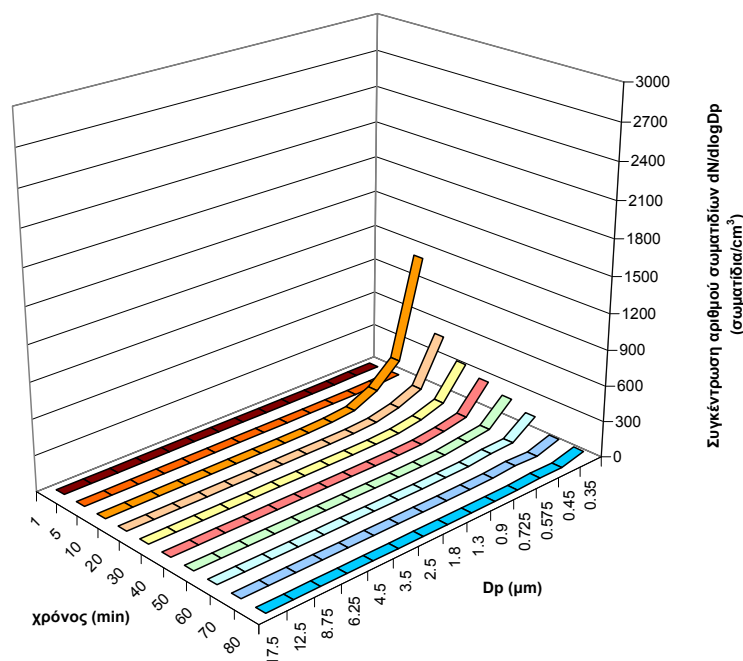
- Αριθμός σωματιδίων

Η καύση των στικς διήρκησε 5 λεπτά (10^ο-14^ο λεπτό), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.3α. Κατά το άναμμα των στικς, παρατηρήθηκε πολύ μικρή άνοδος στη συγκέντρωση των σωματιδίων 0.5-0.65μm ενώ μεγάλη και απότομη αύξηση στα κανάλια έως 1μm παρατηρήθηκε 2 λεπτά μετά το σβήσιμο. Τα σωματίδια με διάμετρο **0.5-0.65 μm** επηρεάστηκαν περισσότερο (αύξηση κατά 10 φορές από την τιμή υποβάθρου). Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης ήταν 250 σωματίδια/cm³ και παρατηρήθηκε 2 λεπτά μετά το σβήσιμο των στικς. Η συγκέντρωση των μικρότερων σωματιδίων επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου μετά από περίπου 1 ώρα.



Σχήμα 4.2.3α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά την δοκιμή της καύσης των αρωματικών στικς.

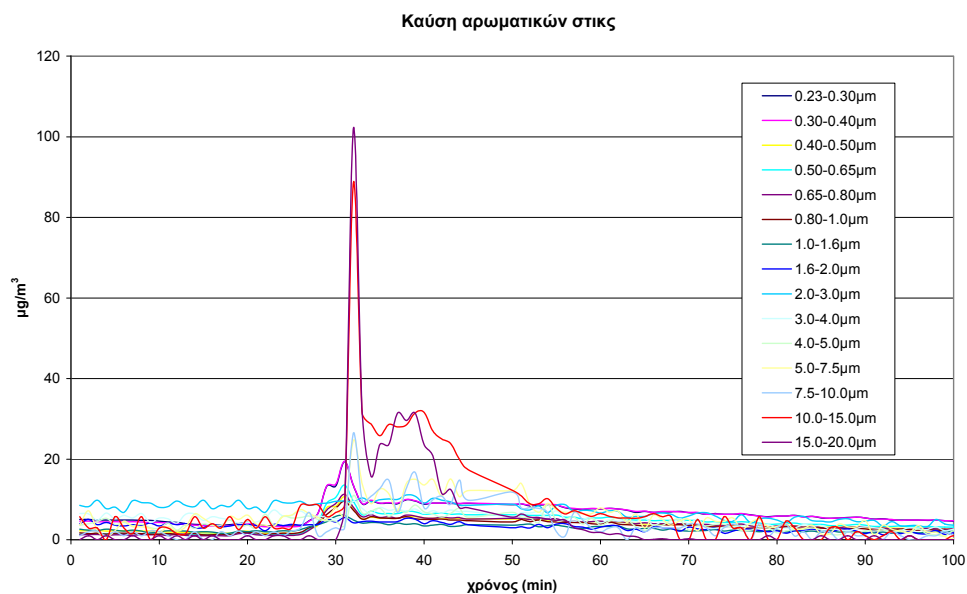
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.2.3β. Η απότομη αύξηση στη συγκέντρωση του αριθμού των μικρών σωματιδίων (<1μm) πραγματοποιείται 2 λεπτά μετά το σβήσιμο των στικς.



Σχήμα 4.2.3β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο της καύσης των στικς (συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων). Το σβήσιμο πραγματοποιήθηκε στο 5^ο λεπτό.

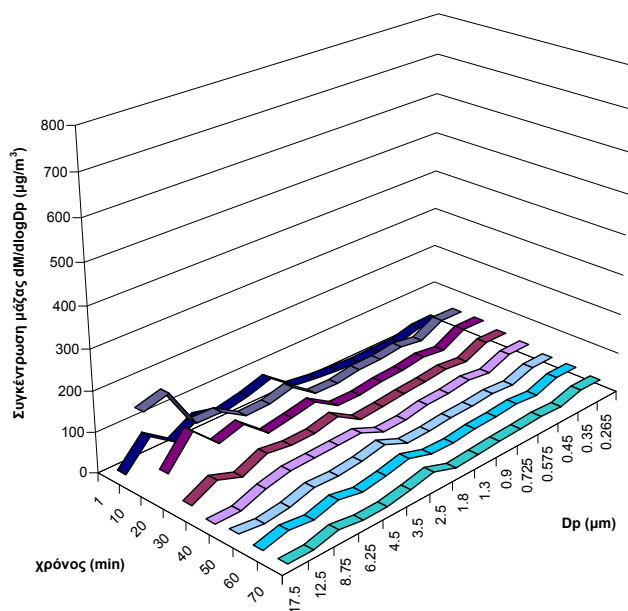
- Μάζα σωματιδίων

Η καύση των στικς πραγματοποιήθηκε από το 26^ο έως το 30^ο λεπτό. Κατά το άναμμα των στικς παράγεται μικρή ποσότητα σωματιδίων με μικρή διάμετρο (1μm), στα οποία όμως η μάζα είναι αμελητέα. Κατά το σβήσιμο των στικς, παρατηρείται απότομη αύξηση, κυρίως στα σωματίδια >3μm (στα οποία η μάζα γίνεται σημαντική). Πιο συγκεκριμένα, τα σωματίδια **10-15μm** και **15-20μm** παρουσίασαν, ένα λεπτό μετά το σβήσιμο αύξηση κατά 30 και 100 φορές αντίστοιχα. Η μέγιστη ολική συγκέντρωση (0.23-20μm) κατά τη διάρκεια της καύσης ήταν 140μg/m³, ενώ ένα λεπτό μετά το σβήσιμο καταγράφηκε η τιμή των 340μg/m³. Η συγκέντρωση των πολύ μεγάλων σωματιδίων διατηρήθηκε αυξημένη και μετά από 30 λεπτά επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου.



Σχήμα 4.2.3γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους $0.23-20.0\ \mu\text{m}$ κατά την δοκιμή της καύσης των στικς.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2.3δ, κατά την καύση των στικς παράγονται κυρίως μεσαία και μεγάλα σωματίδια, στα οποία η μάζα γίνεται σημαντική. Μετά το σβήσιμο, η κατανομή αποτελείται κυρίως από σωματίδια διαμέτρου μεγαλύτερης των $5\mu\text{m}$, των οποίων η συγκέντρωση αυξάνεται απότομα και σταδιακά μειώνεται.



Σχήμα 4.2.3δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της καύσης των στικς (συγκέντρωση μάζας σωματιδίων). Το σβήσιμο πραγματοποιήθηκε στο 5^ο λεπτό.

4.2.4 Συμπεράσματα για τις πηγές καύσης

Όσον αφορά στο **κάπνισμα**, και στις δύο δοκιμές (ελαφρύ και βαρύ τσιγάρο), παρήχθησαν κυρίως *πολύ μικρά σωματίδια* ($<0.8 \mu m$), μετρώντας και την μάζα και τον αριθμό σωματιδίων ανά όγκο. Αντίστοιχα συμπεράσματα έχουν εξαχθεί και από παρόμοιες μελέτες (Glytsos et al., 2010, Afshari et al., 2005, Klepeis et al., 2003, Ueno et al., 1986; Ishizu et al., 1980; Chen et al., 1986; McCusker et al., 1982). Η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης (αριθμού και μάζας) δεν παρατηρήθηκε με την έναρξη της δραστηριότητας αλλά ένα ή δύο λεπτά πριν ή και μετά τη λήξη της. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει δευτερογενή παραγωγή πιθανόν λόγω συσσωμάτωσης μικρότερων σε μεγαλύτερα σωματίδια ή φυσικοχημικών διεργασιών όπως υπογραμμίζουν και οι Glytsos et al., 2010, Morawaska et al., 1997.

Συγκρίνοντας τα δύο είδη τσιγάρων (ελαφρύ και βαρύ) και όσον αφορά τον αριθμό των σωματιδίων, κατά την διάρκεια του καπνίσματος του βαρύ τσιγάρου, η μέγιστη συγκέντρωση του αριθμού των σωματιδίων που παρατηρήθηκε ήταν τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή κατά το κάπνισμα του ελαφριού τσιγάρου. Κάτι τέτοιο, δεν παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της μάζας, όπου οι μέγιστες συγκεντρώσεις των σωματιδίων ήταν σχεδόν ίδιες. Αυτό εξηγείται κυρίως από το γεγονός ότι το κάπνισμα είναι πηγή μικρών σωματιδίων στα οποία η παράμετρος που γίνεται σημαντικότερη είναι ο αριθμός σωματιδίων και όχι η μάζα τους.

Οι δοκιμές της καύσης των **αρωματικών κεριών** και των **αρωματικών στικς** παρουσίασαν παρόμοια εικόνα. Το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων παρήχθησαν όχι κατά τη διάρκεια της καύσης αλλά *κατά το σβήσιμο* όπου παρατηρήθηκε απότομη αύξηση των *μικρών και μεσαίων σωματιδίων* (έως $3 \mu m$), όπως έχει βρεθεί και σε παρόμοιες μελέτες (Pagels et al., 2009; See et al., 2007; Chang et al., 2007; Afshari et al., 2005; Fan and Zhang, 2001; Cheng et al., 1995; Mannix et al., 1996). Όσον αφορά στον αριθμό των σωματιδίων, κατά το σβήσιμο (1^ο λεπτό μετά τη λήξη) των κεριών παρήχθησαν τα διπλάσια σωματίδια απ' ότι κατά το σβήσιμο των στικς, πάντα όμως στα ίδια κανάλια μεγέθους. Ανάλογη παρατήρηση γίνεται και κατά την μέτρηση της μάζας όπου και πάλι στα κεριά η μέγιστη μάζα που καταγράφεται (κατά το σβήσιμο) είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κατά το σβήσιμο των στικς. Στην περίπτωση όμως της μάζας, κατά το σβήσιμο των στικς παρήχθησαν και σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου απ' ότι κατά το σβήσιμο των κεριών, πιθανόν λόγω της διαφορετικής φύσης του υλικού που κάηκε (Fine et al., 1999).

Κοινό χαρακτηριστικό των πηγών καύσης ήταν η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης (αριθμού και μάζας) κατά το άναμμα των τσιγάρων και κατά το σβήσιμο των κεριών και των στικς. Η συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων σε μεγαλύτερα είναι ο κύριος μηχανισμός που επηρεάζει την κατανομή των σωματιδίων κατά την καύση (Yang et al., 2007; Afshari et., 2005; Kao et al., 2002). Μάλιστα, ο χρόνος της αύξησης (1-3 λεπτά) ήταν σε όλες τις περιπτώσεις κατά πολύ μικρότερος σε σχέση με το χρόνο μείωσης της συγκέντρωσης (60-180 λεπτά). Η παρατήρηση αυτή σε σχέση και με τις υψηλές μέγιστες τιμές της συγκέντρωσης, καθιστά επιβλαβή την έκθεση σε τέτοιου είδους εκπομπές, αφού μεγάλες συγκεντρώσεις σε μικρό χρονικό διάστημα επιφέρουν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία (Garrett et al., 1998). Σε τέτοιες περιπτώσεις, επιβάλλεται η σωστή ανανέωση του αέρα σε μία κατοικία ή ένα χώρο εργασίας.

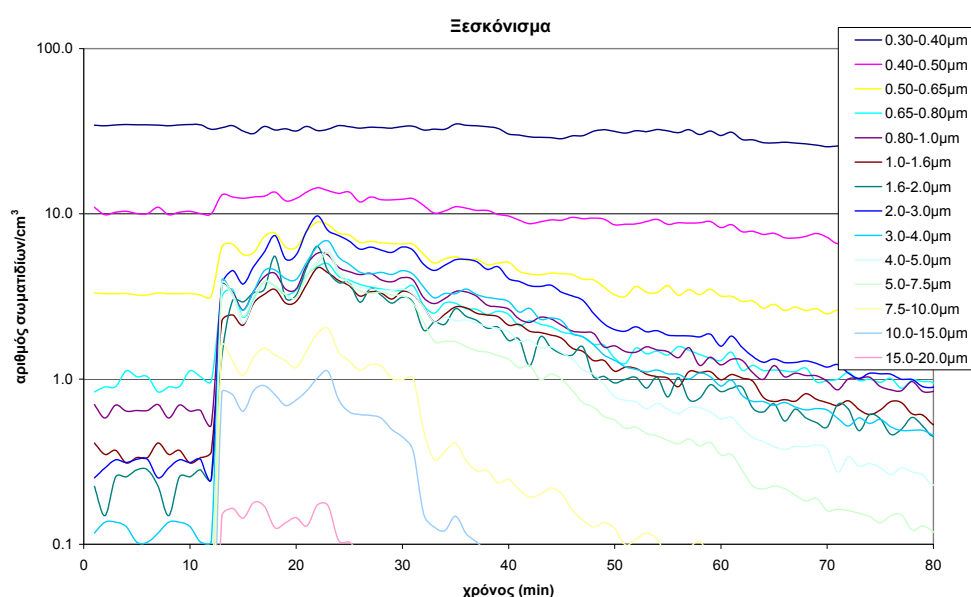
Τέλος, συγκρίνοντας τις μέγιστες τιμές της ολικής συγκέντρωσης κατά το κάπνισμα με την αντίστοιχη κατά το σβήσιμο των κεριών και των στικς, παρατηρείται μεγάλη διαφορά όσον αφορά στον αριθμό των σωματιδίων (στο κάπνισμα η μέγιστη συγκέντρωση ήταν έως και 34 φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη στο σβήσιμο των στικς και των κεριών). Από την άλλη πλευρά, μετρώντας τη μάζα των σωματιδίων, η μέγιστη τιμή κατά το κάπνισμα ήταν σχεδόν διπλάσια από τις άλλες δύο περιπτώσεις. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ των μέγιστων τιμών μετρώντας αριθμό ή μάζα σωματιδίων εξηγείται από το γεγονός ότι κατά το κάπνισμα εκπέμπονται κυρίως μικρά σωματίδια στα οποία γίνεται σημαντικός ο αριθμός, αλλά και από τη διάρκεια της καύσης και το ρυθμό εκπομπής των πηγών.

4.3 Πηγές επαναιώρησης

4.3.1 Ξεσκόνισμα

Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.1α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του ξεσκονίσματος.

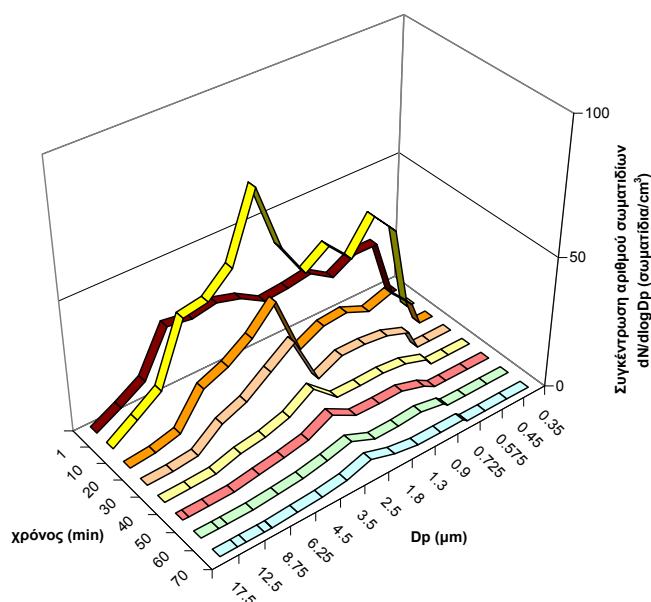


Σχήμα 4.3.1α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του ξεσκονίσματος.

Η δοκιμή του ξεσκονίσματος διήρκησε 10 λεπτά (13ο-22ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση των σωματιδίων των καναλιών κυρίως πάνω από 0.65μm αυξήθηκε απότομα. Στα μικρότερα σωματίδια παρατηρήθηκε διαταραχή, χωρίς όμως να αυξάνεται σημαντικά η συγκέντρωσή τους. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν εκείνα των **3.0-7.5 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 150 φορές. Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (60 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 8 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου σε λιγότερο από μία ώρα.

Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.3.1β. Κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας, η κατανομή αποτελείται από

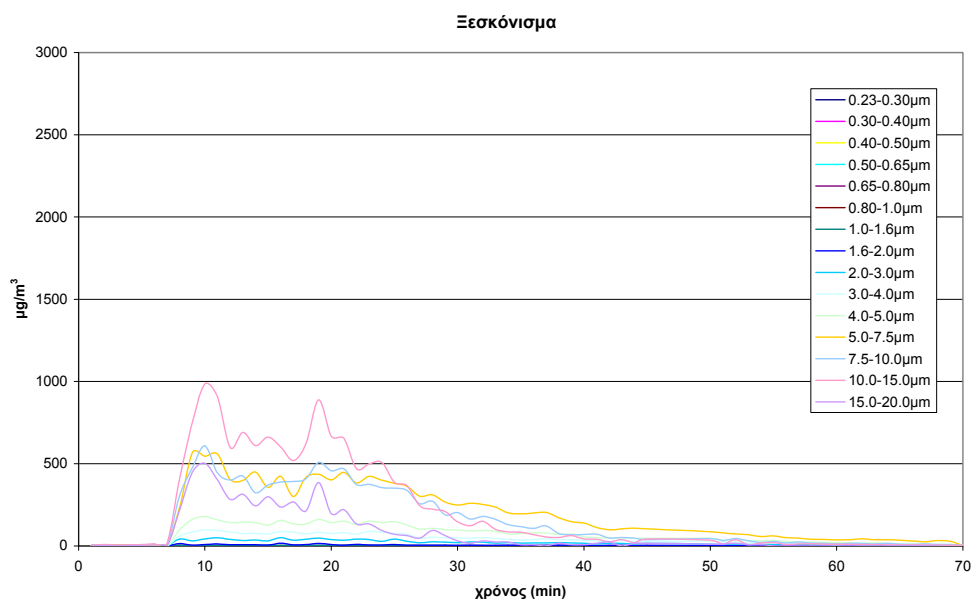
όλων των διαμέτρων σωματίδια αλλά κυρίως από αυτά μεταξύ 2 και 5 μm . Η συγκέντρωση συνεχίζει να αυξάνει καθόλη τη διάρκεια της δραστηριότητας καθώς η επικρατέστερη διάμετρος σωματιδίων είναι αυτή των 2.5 μm . Όπως αναμένεται, τα μεγαλύτερα σωματίδια μειώνονται ταχύτερα.



Σχήμα 4.3.1β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του ξεσκονίσματος (συγκέντρωση αριθμού).

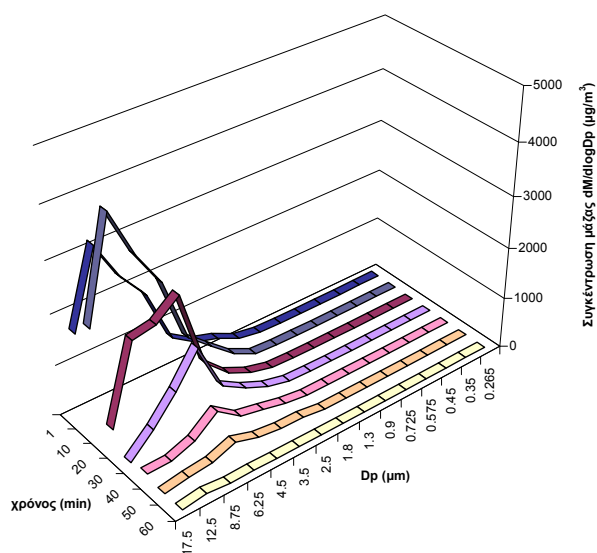
- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.1γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του ξεσκονίσματος. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από το 8^ο έως το 17^ο λεπτό. Αύξηση στη συγκέντρωση των σωματιδίων (ειδικότερα των μεγαλύτερων από 1 μm) παρατηρήθηκε με την έναρξη του ξεσκονίσματος. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **5.0-7.5 μm** και **15.0-20.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν περισσότερο από 380 και 500 φορές αντίστοιχα. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 2980 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ τρία λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.



Σχήμα 4.3.1γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του ξεσκόνισματος.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3.1δ, η κατανομή των σωματιδίων αποτελείται από τα χονδρόκοκα σωματίδια ($>3\mu\text{m}$) με επικρατέστερη διάμετρο αυτή των $12.5\mu\text{m}$ για τα πρώτα 30 λεπτά και των $8,75\mu\text{m}$ για τα επόμενα.

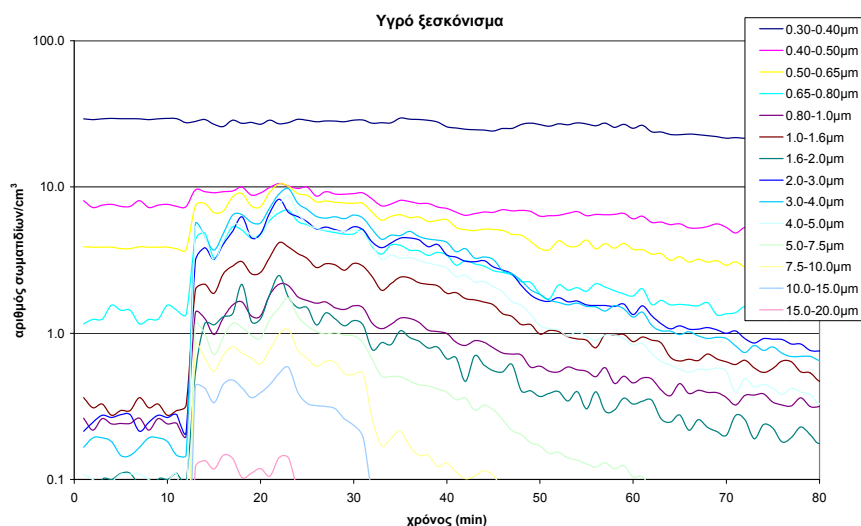


Σχήμα 4.3.1δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του ξεσκόνισματος (συγκέντρωση μάζας).

4.3.2 Υγρό ξεσκόνισμα

Αριθμός σωματιδίων

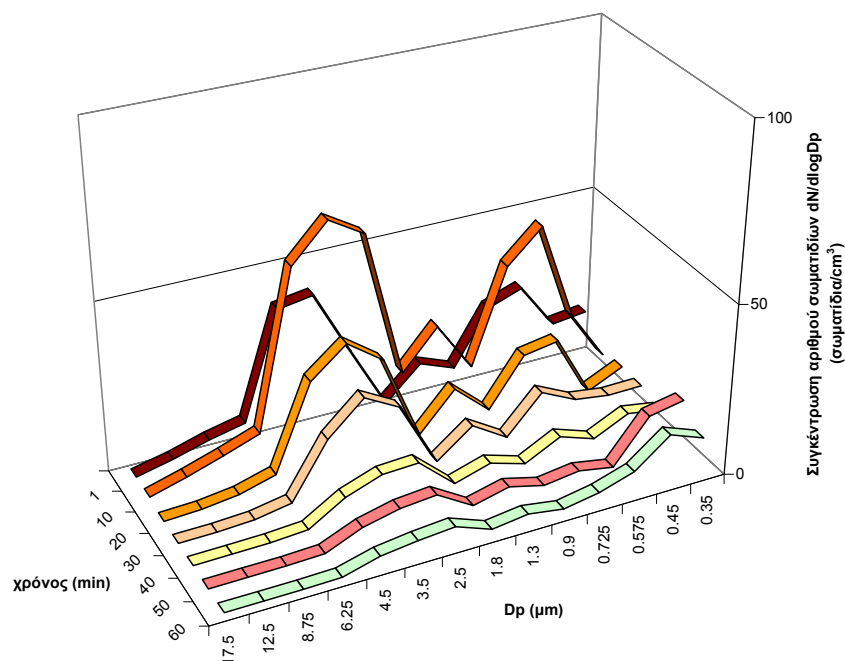
Στο σχήμα 4.3.2α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του υγρού ξεσκονίσματος.



Σχήμα 4.3.2α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του υγρού ξεσκονίσματος.

Η δοκιμή διήρκεσε 10 λεπτά (13ο-22ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, εμφανίζεται μία παρόμοια εικόνα με εκείνη του απλού ξεσκονίσματος, αλλά σε αυτή την περίπτωση, οι συγκεντρώσεις είναι ελαφρώς χαμηλότερες. Όλα τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 0.8μm αυξήθηκαν σε αριθμό, σχεδόν ταυτόχρονα. Στα μικρότερα σωματίδια παρατηρήθηκε διαταραχή, χωρίς όμως να αυξάνεται σημαντικά η συγκέντρωσή τους. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν εκείνα των **4.0-15.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 130 φορές. Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (50 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 10 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και ήταν μικρότερη από την αντίστοιχη κατά το απλό ξεσκόνισμα. Τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου σε λιγότερο από μία ώρα.

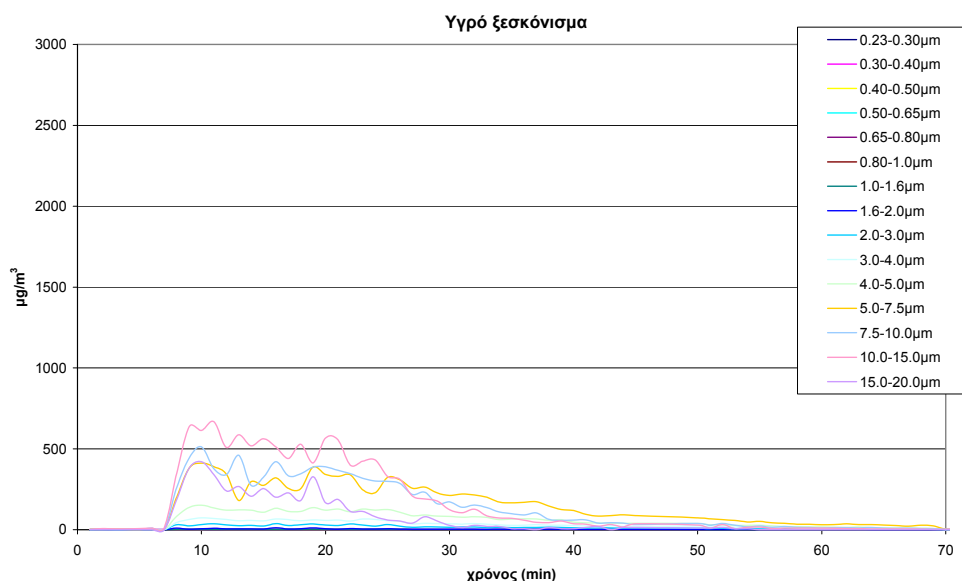
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.3.2β.



Σχήμα 4.3.2β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του υγρού ξεσκονίσματος (συγκέντρωση αριθμού).

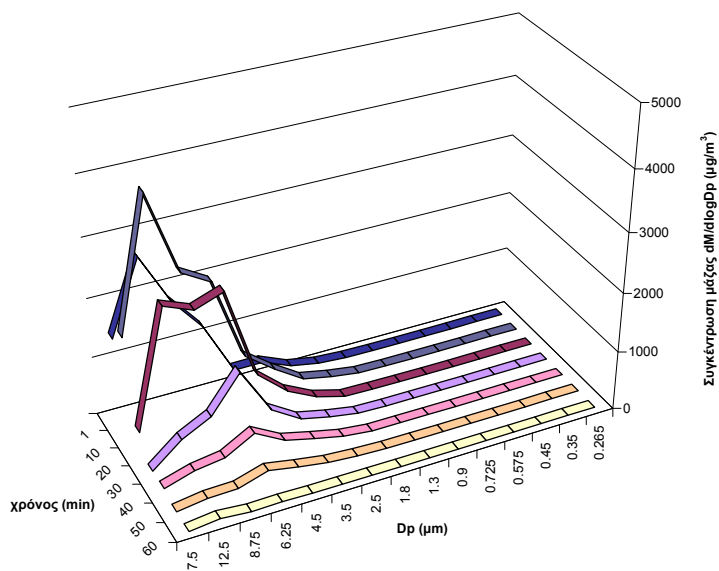
- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.2γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του υγρού ξεσκονίσματος. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 8^ο έως το 17^ο λεπτό. Αύξηση στη συγκέντρωση των σωματιδίων (ειδικότερα των μεγαλύτερων από 1μm) παρατηρήθηκε με την έναρξη της δραστηριότητας, αλλά η μέγιστη συγκέντρωση σε κάθε κανάλι ήταν ελαφρώς μικρότερη από την αντίστοιχη στο απλό ξεσκόνισμα. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **5.0-10.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 190 φορές και 300 φορές αντίστοιχα. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή τρία λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας, όπως δηλαδή και στην περίπτωση του απλού ξεσκονίσματος, αλλά με λίγο χαμηλότερη τιμή (2200μg/m³). Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.



Σχήμα 4.3.2γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του υγρού ξεσκόνισματος.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3.2δ, η κατανομή των σωματιδίων αποτελείται από τα χονδρόκοκα σωματίδια ($>3\mu\text{m}$) με επικρατέστερη διάμετρο αυτή των 12.5 μm για τα πρώτα 30 λεπτά και των 8.75 μm για τα επόμενα.

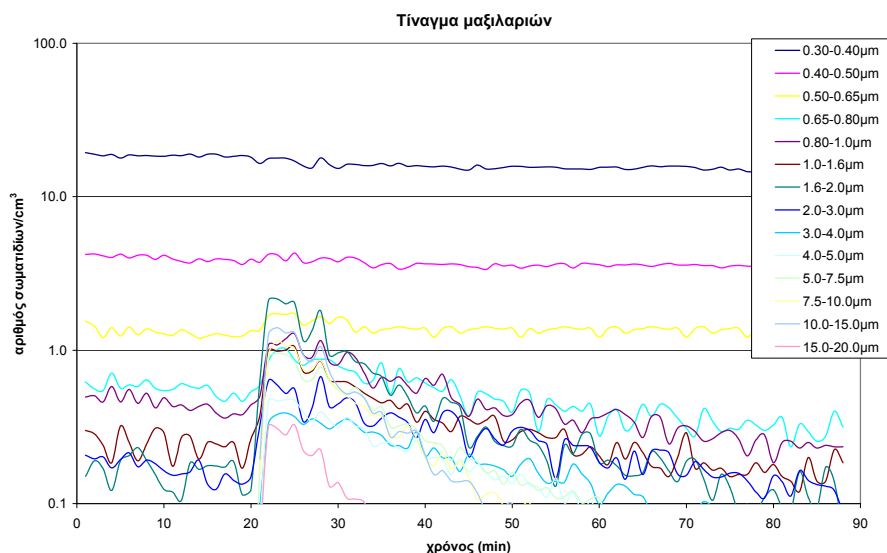


Σχήμα 4.3.2δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του υγρού ξεσκόνισματος (συγκέντρωση μάζας).

4.3.3 Τίναγμα μαξιλαριών

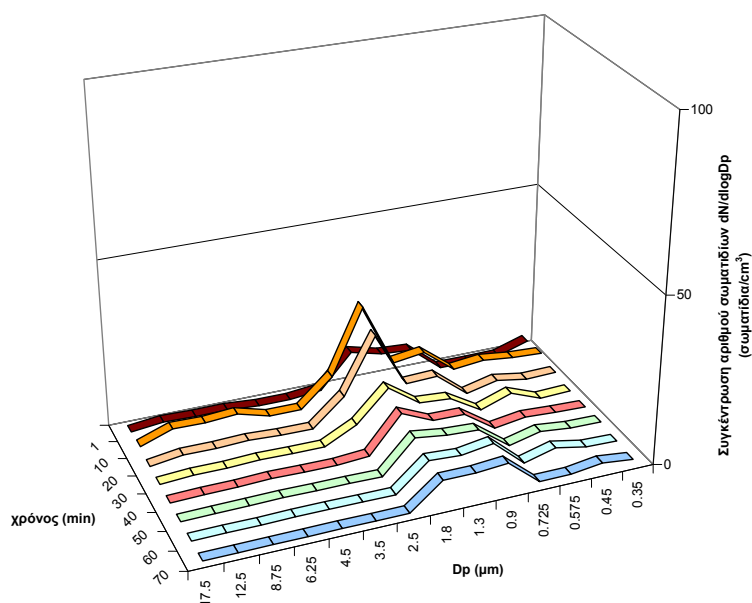
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.3α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για το τίναγμα μαξιλαριών.



Σχήμα 4.3.3α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή.

Η δοκιμή διήρκησε 10 λεπτά (21ο-30ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, πρακτικά φαίνεται να επηρεάζονται τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 0.5 μm ενώ τα μικρότερα εμφανίζουν απλώς μια μικρή διαταραχή. Όλα τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 0.5 μm αυξήθηκαν σε αριθμό, σχεδόν ταυτόχρονα. Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (34 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε στο 3^ο λεπτό της δραστηριότητας. Τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου σε λιγότερο από μία ώρα. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων αποτελείται από σωματίδια έως 3 μm (σχήμα 4.3.3β)

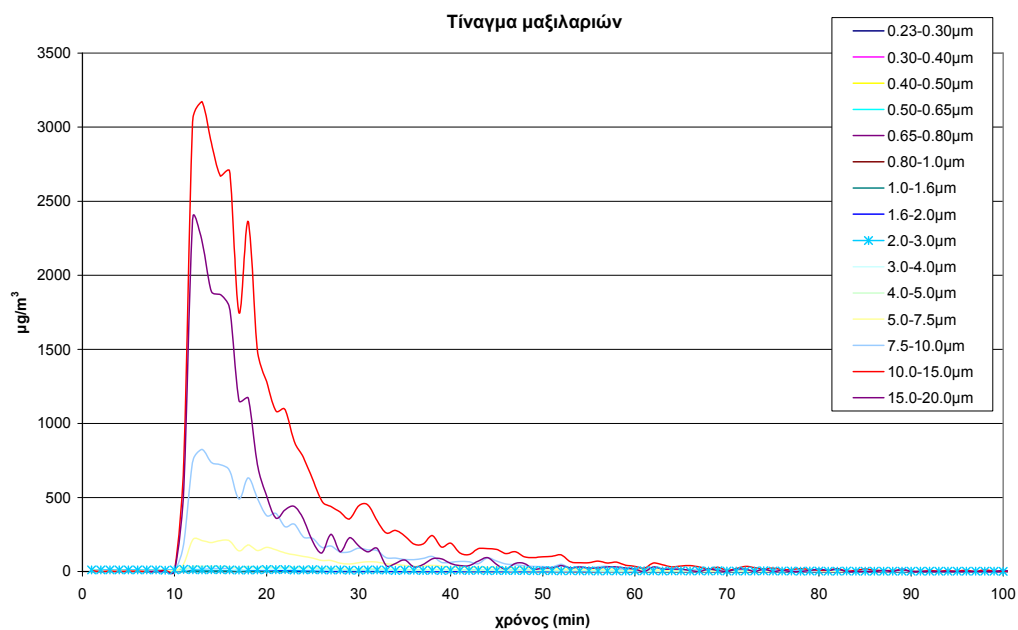


Σχήμα 4.3.3β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας (συγκέντρωση αριθμού).

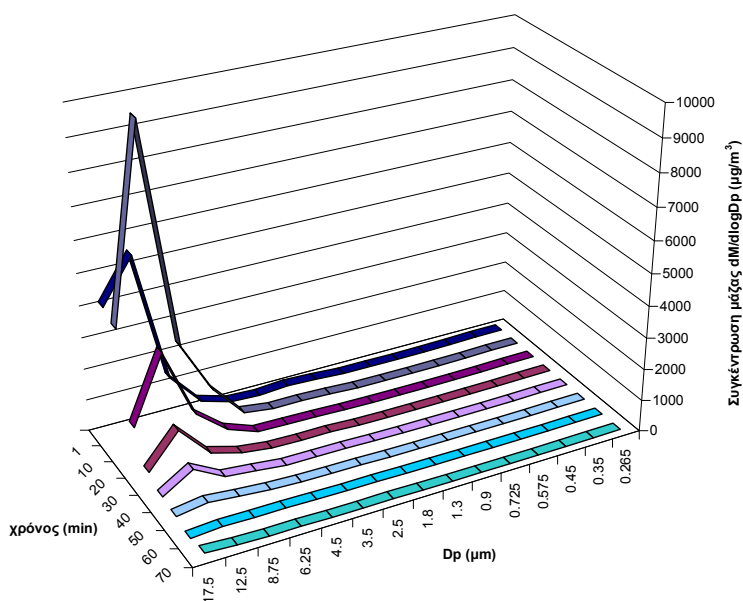
- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.3γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας των σωματιδίων με το χρόνο για το τίναγμα μαξιλاريών. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 11^ο έως το 20^ο λεπτό. Πρακτικά παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των πολύ μεγάλων σωματιδίων (>5 μm). Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο ήταν αυτά των **10.0-20.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και **2300 φορές** σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή τρία λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και ήταν της τάξης των 6500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από την περίπτωση του απλού και υγρού ξεσκονίσματος. Η μεγάλη αυτή διαφορά δικαιολογείται αφενός από την εκπομπή των πολύ μεγάλων σωματιδίων (στα οποία η μάζα γίνεται σημαντική) και αφετέρου από το γεγονός ότι στα μαξιλάρια είχε συσσωρευτεί μεγαλύτερη ποσότητα σκόνης. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3.3δ, η κατανομή των σωματιδίων αποτελείται από τα χονδρόκοκα σωματίδια (>4 μm) με επικρατέστερη διάμετρο αυτή των 12.5 μm . Τα σωματίδια με μεγάλη διάμετρο μειώνονται ταχύτερα λόγω βαρύτητας και εναπόθεσης στις παράπλευρες επιφάνειες.



Σχήμα 4.3.3γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm για το τίναγμα των μαξιλαιριών.

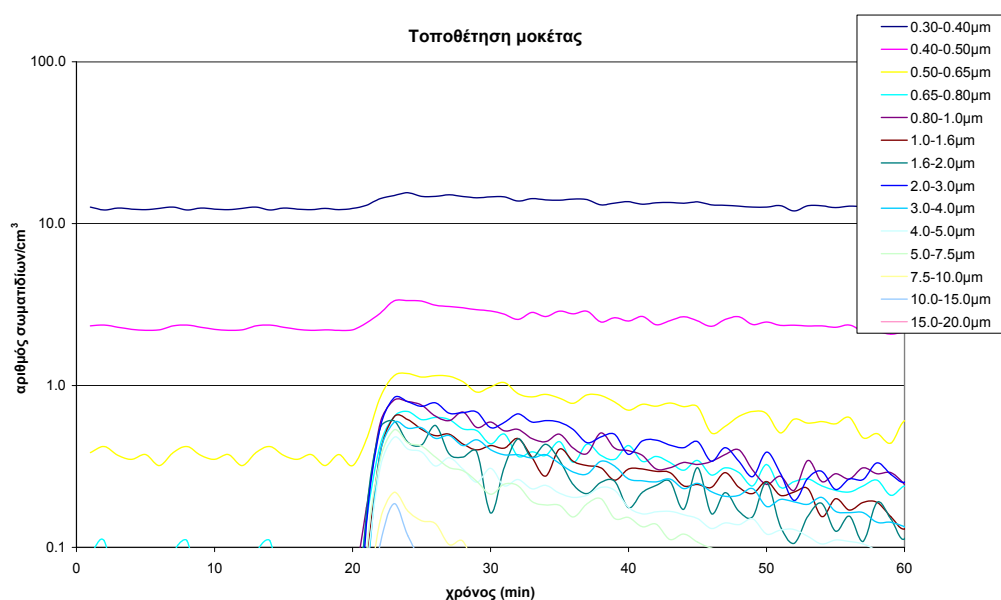


Σχήμα 4.3.3δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας (συγκέντρωση μάζας).

4.3.4 Τοποθέτηση μοκέτας

- Αριθμός σωματιδίων

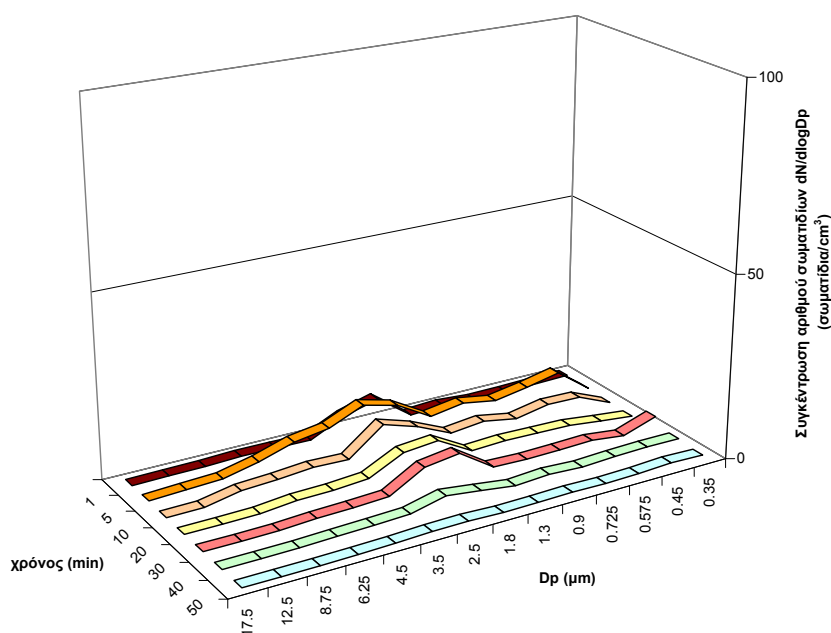
Στο σχήμα 4.3.4α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή της τοποθέτησης της μοκέτας.



Σχήμα 4.3.4α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/ cm^3 σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη δοκιμή της τοποθέτησης μοκέτας.

Η μοκέτα τοποθετήθηκε μέσα σε 2 λεπτά (21ο-22ο λεπτό). Από το πρώτο λεπτό, παρατηρείται ταυτόχρονη αύξηση στα επίπεδα όλων των σωματιδίων. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν τα μεγαλύτερα του 1 μm (το κανάλι **5-7.5 μm** παρουσίασε αύξηση μέχρι και 250 φορές σε σχέση με τις τιμές υποβάθρου). Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (25 σωματίδια/ cm^3) παρατηρήθηκε 1 λεπτό μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου μετά από μία ώρα.

Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.3.4β, η οποία αποτελείται κυρίως από σωματίδια διαμέτρου 1-5 μm .

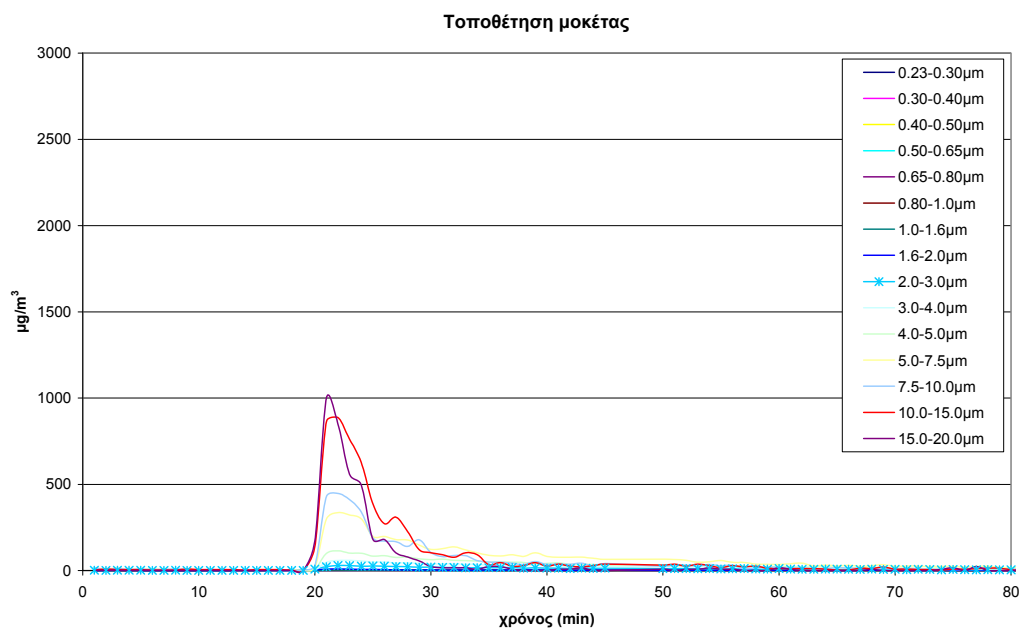


Σχήμα 4.3.4β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας μέχρι και 50 λεπτά μετά (συγκέντρωση αριθμού).

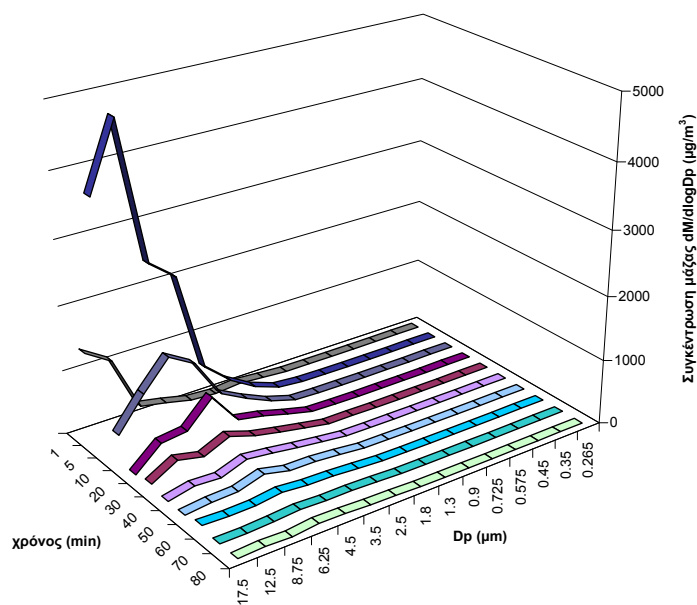
- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.4γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας των σωματιδίων με το χρόνο για την τοποθέτηση της μοκέτας. Η τοποθέτηση διήρκησε 2 λεπτά (20^ο έως το 21^ο λεπτό). Πρακτικά παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των μεγαλύτερων σωματιδίων (>1.6μm). Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο, ήταν αυτά των **10.0-20.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 1000 φορές σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή δύο λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και ήταν της τάξης των **2800μg/m³**. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.3.4δ, η κατανομή των σωματιδίων αποτελείται από τα χονδρόκοκα σωματίδια (>2.5μm). Παρατηρείται πως στο πέμπτο λεπτό της δραστηριότητας, τα σωματίδια που επικρατούν είναι τα πολύ μεγάλα (≥ 10-20μm). Στο δέκατο λεπτό, η επικρατέστερη διάμετρος είναι εκείνη των 12.5μm ενώ από τα 20 λεπτά και μετά, επικρατέστερη διάμετρος είναι αυτή των 8.75μm. Η μετατόπιση της κορυφής της κατανομής σε μικρότερες διαμέτρους οφείλεται στην ελάττωση των μεγαλύτερων σωματιδίων λόγω βαρύτητας και εναπόθεσης στις παράπλευρες επιφάνειες.



Σχήμα 4.3.4γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm για την τοποθέτηση μοκέτας.

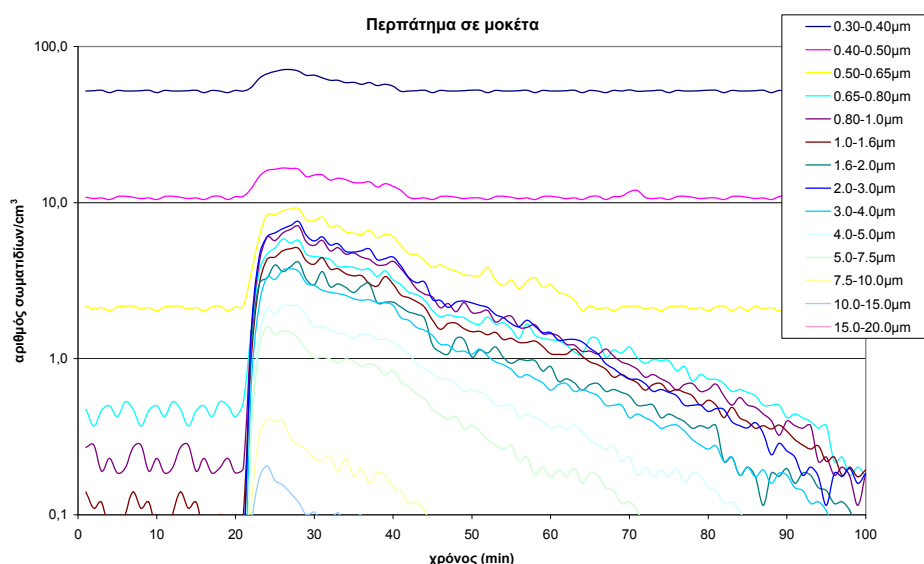


Σχήμα 4.3.4δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δοκιμής (συγκέντρωση μάζας) μέχρι και 70 λεπτά μετά.

4.3.5 Περπάτημα σε μοκέτα

- Αριθμός σωματιδίων

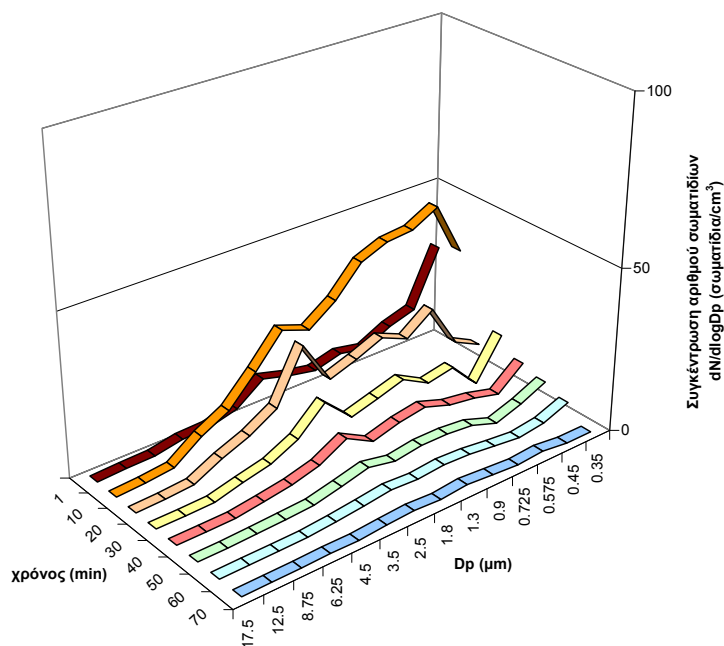
Στο σχήμα 4.3.5α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του περπατήματος σε μοκέτα.



Σχήμα 4.3.5α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη δοκιμή του περπατήματος σε μοκέτα.

Η δοκιμή διήρκησε 10 λεπτά (22ο-31ο λεπτό). Αύξηση στα επίπεδα όλων των σωματιδίων παρατηρήθηκε από το πρώτο λεπτό της δοκιμής, αλλά το κανάλι που επηρεάστηκε περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν αυτό των **5-7.5μm** (αύξηση μέχρι και 500 φορές). Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (70 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 1 λεπτό μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Ο χρόνος επαναφοράς των επιπέδων στις τιμές υποβάθρου ήταν λίγο μεγαλύτερος από μία ώρα.

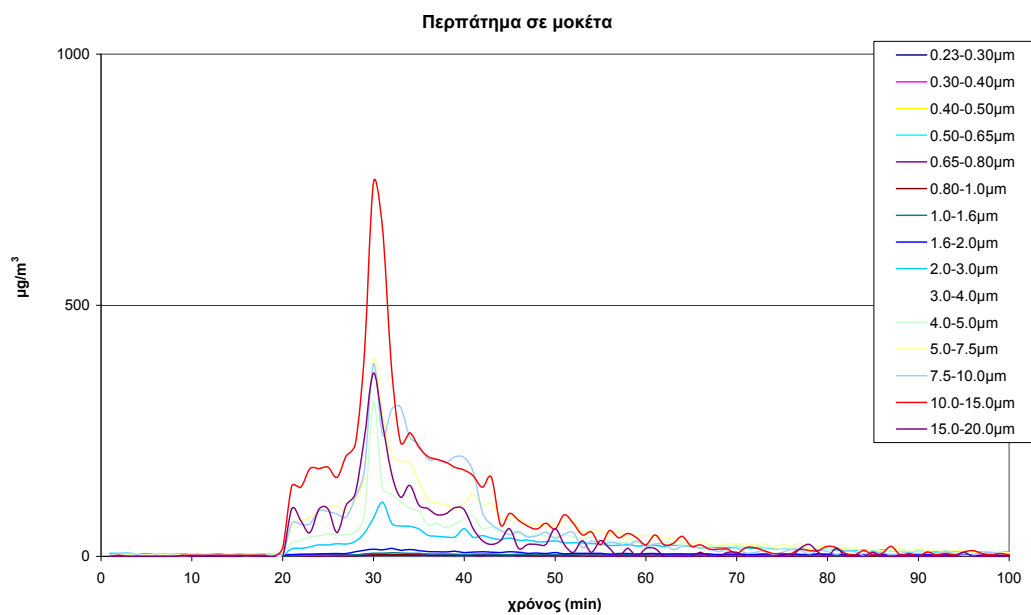
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.3.5β. Η κατανομή αποτελείται από σωματίδια σχεδόν όλων των διαμέτρων, η συγκέντρωση των οποίων αυξάνει συνεχώς σε όλη τη διάρκεια της δραστηριότητας.



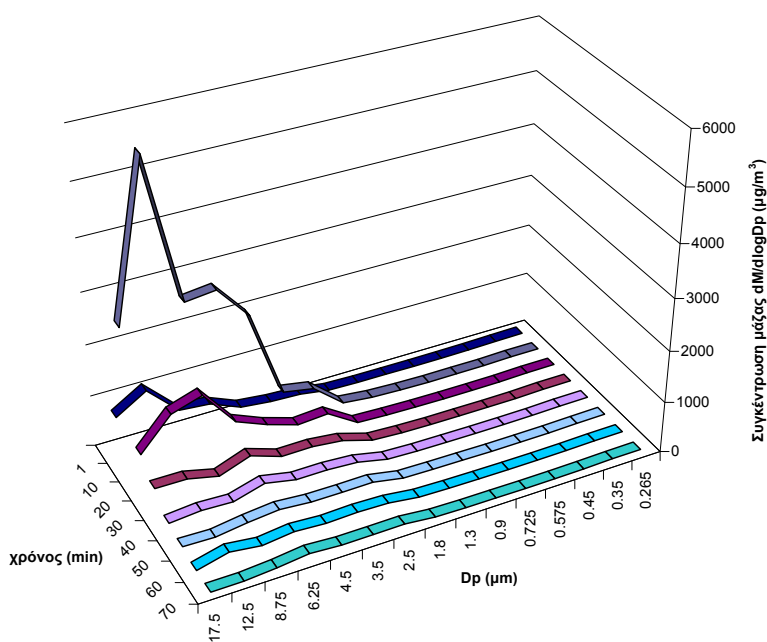
Σχήμα 4.3.5β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας του περπατήματος σε μοκέτα μέχρι και 70 λεπτά μετά (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.5γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας των σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του περπατήματος σε μοκέτα. Το περπάτημα διήρκησε 10 λεπτά (21^ο έως το 30^ο λεπτό). Πρακτικά παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των μεγαλύτερων σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από >1μm. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο, ήταν αυτά των **7.5-20.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 370 φορές σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου. Η συνολική συγκέντρωση μάζας έλαβε μέγιστη τιμή οκτώ λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και ήταν της τάξης των **2400μg/m³**. Τα κανάλια με διάμετρο μεγαλύτερη από 3μm παρουσίασαν ταυτόχρονα μέγιστη τιμή και έντονη διακύμανση, πιθανόν λόγω της φύσης της δραστηριότητας. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2.4δ, η κατανομή των σωματιδίων αποτελείται από τα χονδρόκοκα σωματίδια (>2.5μm). Παρατηρείται η ύπαρξη σωματιδίων μεγάλης διαμέτρου, ακόμα και 20 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας (10 λεπτά μετά τη λήξη της), πιθανόν λόγω συσσωμάτωσης των μικρότερων σε μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια.



Σχήμα 4.3.5γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm για το περπάτημα σε μοκέτα.

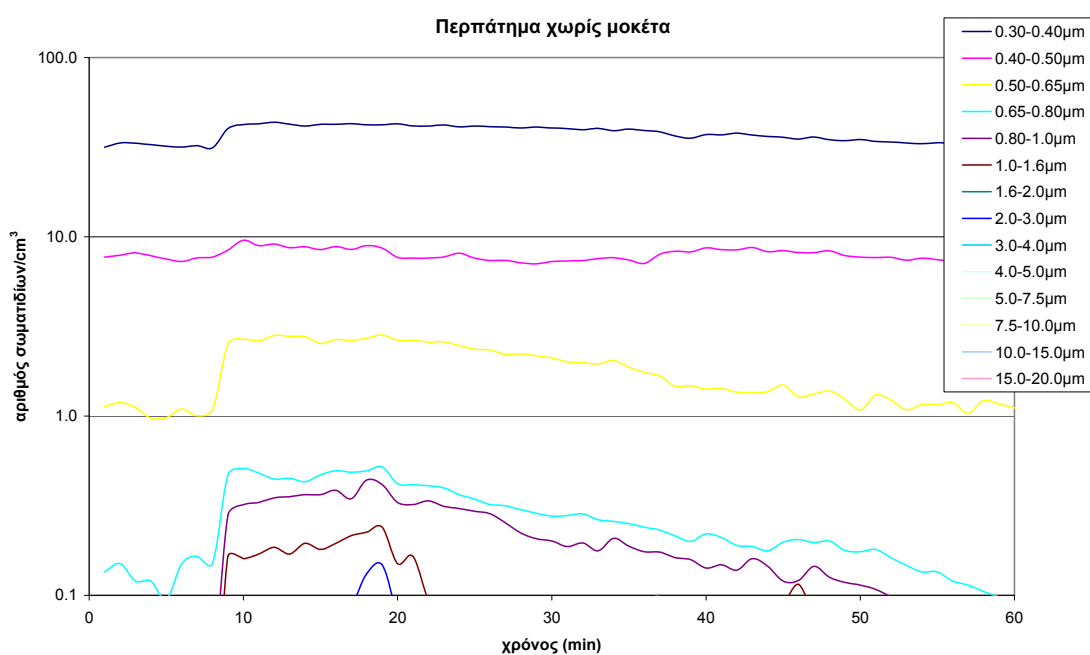


Σχήμα 4.3.5δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του περπατήματος σε μοκέτα μέχρι και 70 λεπτά μετά (συγκέντρωση μάζας).

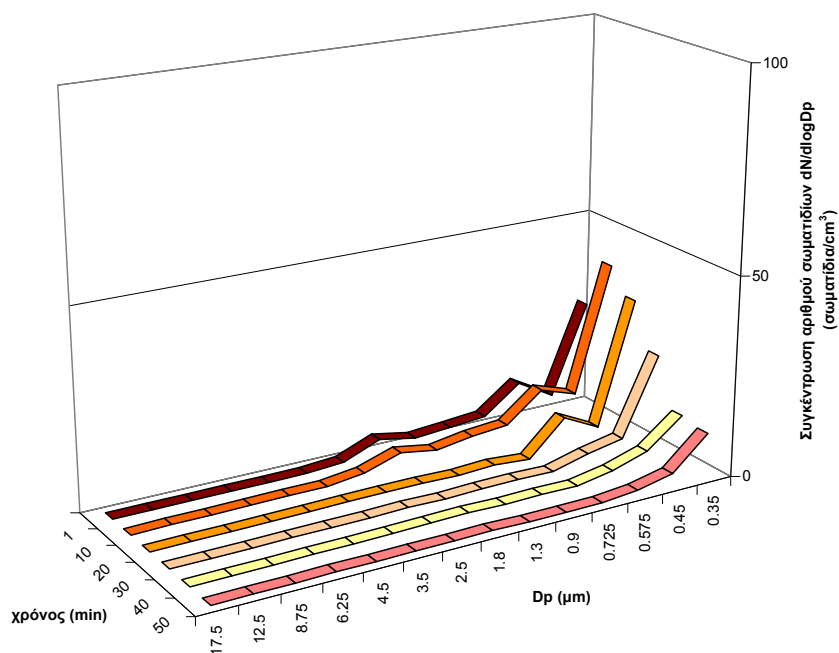
4.3.6 Περπάτημα χωρίς μοκέτα

- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.6α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του περπατήματος στο πάτωμα (χωρίς μοκέτα). Η δοκιμή διήρκεσε 10 λεπτά (9ο-18ο λεπτό). Από το πρώτο λεπτό της δοκιμής, παρατηρήθηκε αύξηση στα σωματίδια **μέχρι 2.5μm** (αύξηση μέχρι και 11 φορές σε σχέση με τα επίπεδα υποβάθρου). Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (14 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 3 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Ο χρόνος επαναφοράς των επιπέδων στις τιμές υποβάθρου ήταν μικρότερος από μία ώρα. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.3.6β.



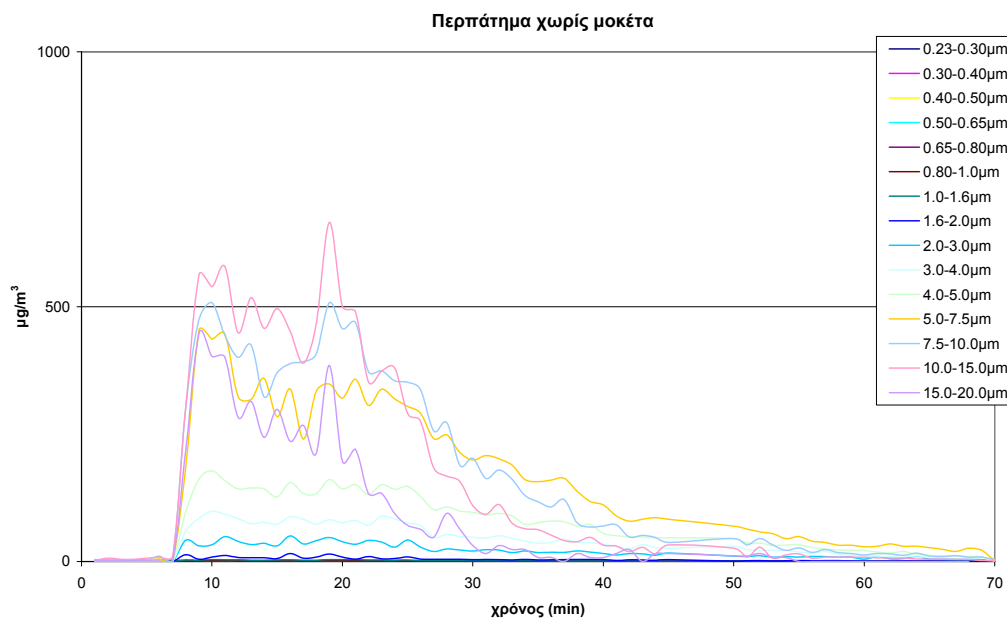
Σχήμα 4.3.6α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη δοκιμή του περπατήματος χωρίς μοκέτα.



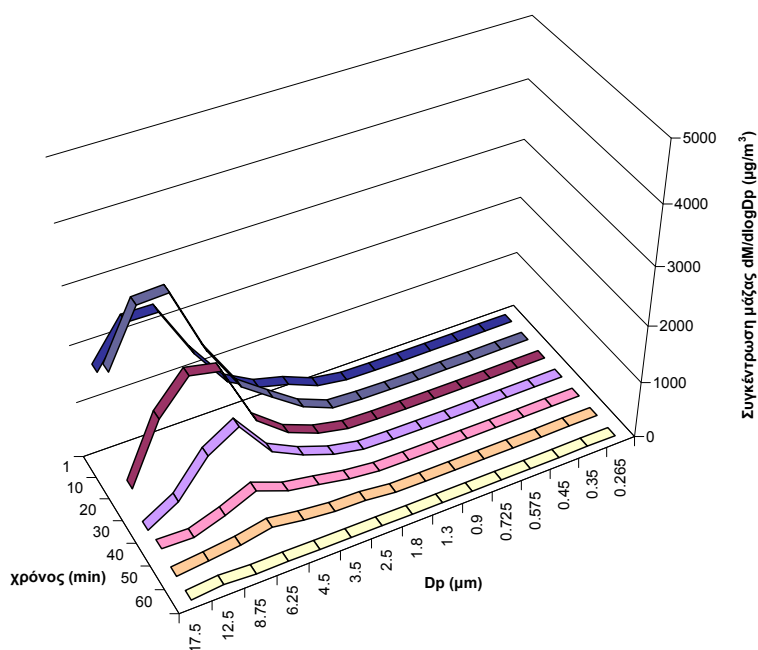
Σχήμα 4.3.6β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας του περπατήματος χωρίς μοκέτα (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.6γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας των σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του περπατήματος χωρίς μοκέτα. Το περπάτημα διήρκεσε 10 λεπτά (8^ο έως το 17^ο λεπτό). Πρακτικά παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των μεγαλύτερων σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 1.6μm. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο, ήταν αυτά των **5.0-20.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 200 φορές σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου. Η συνολική συγκέντρωση μάζας έλαβε μέγιστη τιμή τρία λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και ήταν της τάξης των **2200μg/m³**. Τα μεγαλύτερα κανάλια (>5μm) παρουσίασαν ταυτόχρονα μέγιστη τιμή και έντονη διακύμανση, λόγω της φύσης της δραστηριότητας. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Στο σχήμα 4.3.6δ δίνεται η κατανομή των σωματιδίων στο πέρασμα του χρόνου η οποία αποτελείται από χονδρόκοκα σωματίδια (>2.5μm).



Σχήμα 4.3.6γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm για το περπάτημα χωρίς μοκέτα.

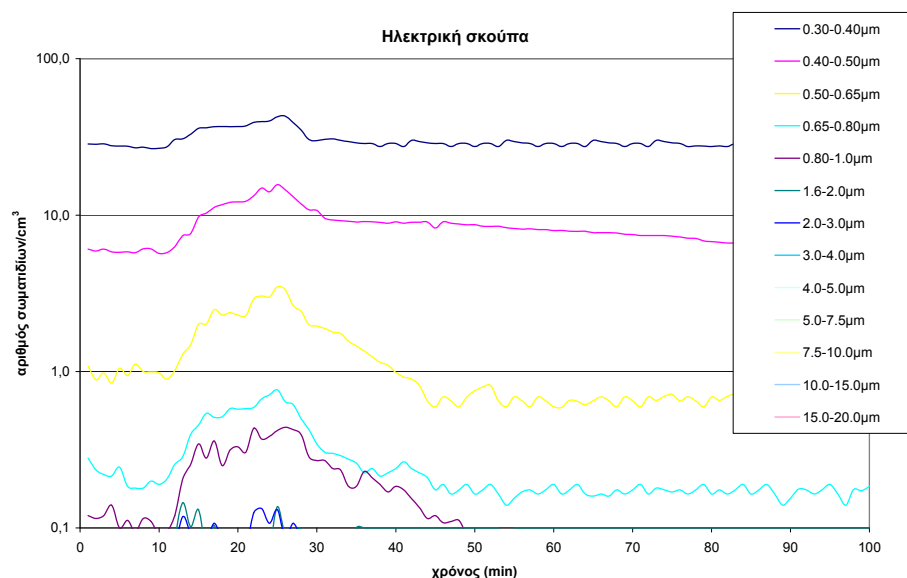


Σχήμα 4.3.6δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του περπατήματος χωρίς μοκέτα (συγκέντρωση μάζας).

4.3.7 Σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα

- Αριθμός σωματιδίων

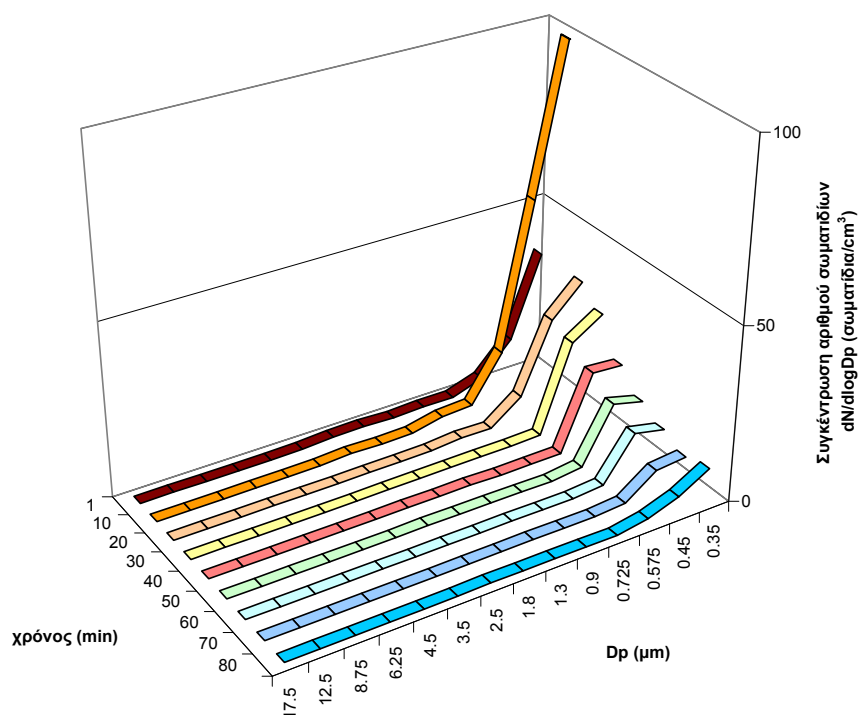
Στο σχήμα 4.3.7α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του σκουπίσματος με την ηλεκτρική σκούπα.



Σχήμα 4.3.7α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη δοκιμή του σκουπίσματος με την ηλεκτρική σκούπα.

Η δοκιμή διήρκησε 10 λεπτά (13ο-22ο λεπτό). Από το πρώτο λεπτό της δοκιμής, παρατηρήθηκε αύξηση στα σωματίδια όλων των καναλιών αλλά κυρίως εκείνων **μέχρι 1μm** (αύξηση μέχρι και 4 φορές σε σχέση με τα επίπεδα υποβάθρου). Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (30 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 3 λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Ο χρόνος επαναφοράς των επιπέδων στις τιμές υποβάθρου ήταν μικρότερος από μία ώρα.

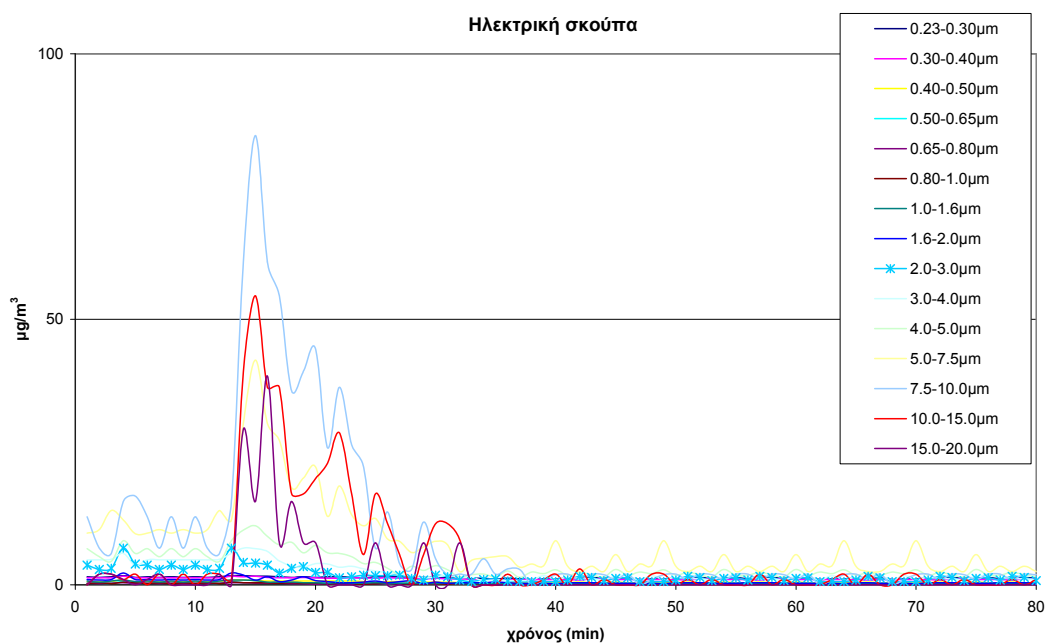
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.3.7β και αποτελείται κυρίως από σωματίδια μικρότερα του 1μm.



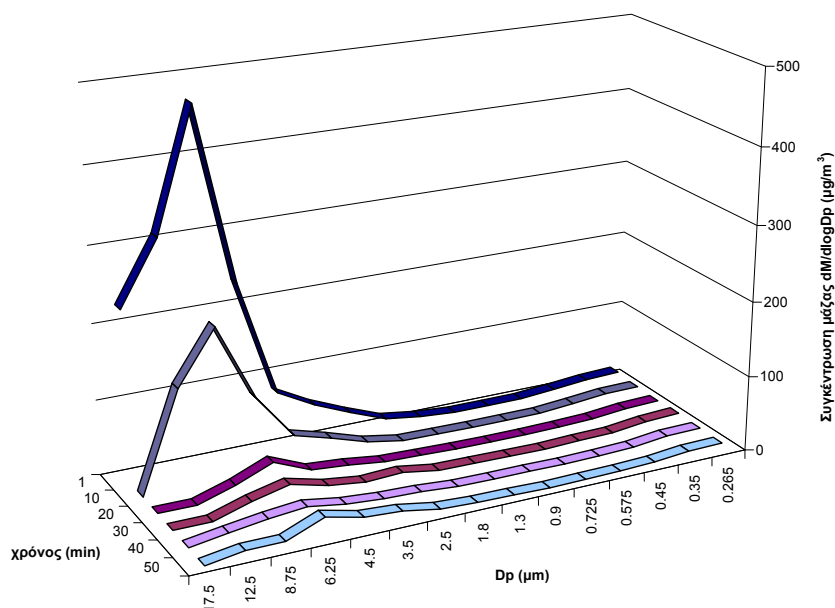
Σχήμα 4.3.7β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας του σκουπίσματος με ηλεκτρική σκούπα.

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.7γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας των σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του σκουπίσματος με ηλεκτρική σκούπα. Το σκούπισμα διήρκησε 10 λεπτά (14^ο έως το 23^ο λεπτό). Πρακτικά παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των μεγαλύτερων σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 5μm. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο, ήταν αυτά των **7.5-20.0 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 30 φορές σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου. Η συνολική συγκέντρωση μάζας έλαβε μέγιστη τιμή δύο λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και ήταν της τάξης των **230 μg/m³**. Τα μεγαλύτερα κανάλια (>5μm) παρουσίασαν ταυτόχρονα μέγιστη τιμή και έντονη διακύμανση, λόγω της φύσης της δραστηριότητας (επαναιώρηση). Μισή ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Στο σχήμα 4.3.7δ δίνεται η κατανομή των σωματιδίων στο πέρασμα του χρόνου η οποία αποτελείται από χονδρόκοκα σωματίδια (>2.5μm). Η επικρατέστερη διάμετρος της κατανομής για τα πρώτα δέκα λεπτά είναι αυτή των 12.5μm ενώ στα επόμενα δέκα (20^ο λεπτό) είναι εκείνη των 8.75μm και στη συνέχεια επικρατεί αυτή των 6.25μm, καθώς τα μεγαλύτερα σωματίδια πιθανόν να μειώνονται λόγω βαρύτητας.



Σχήμα 4.3.7γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm για το σκούπισμα.

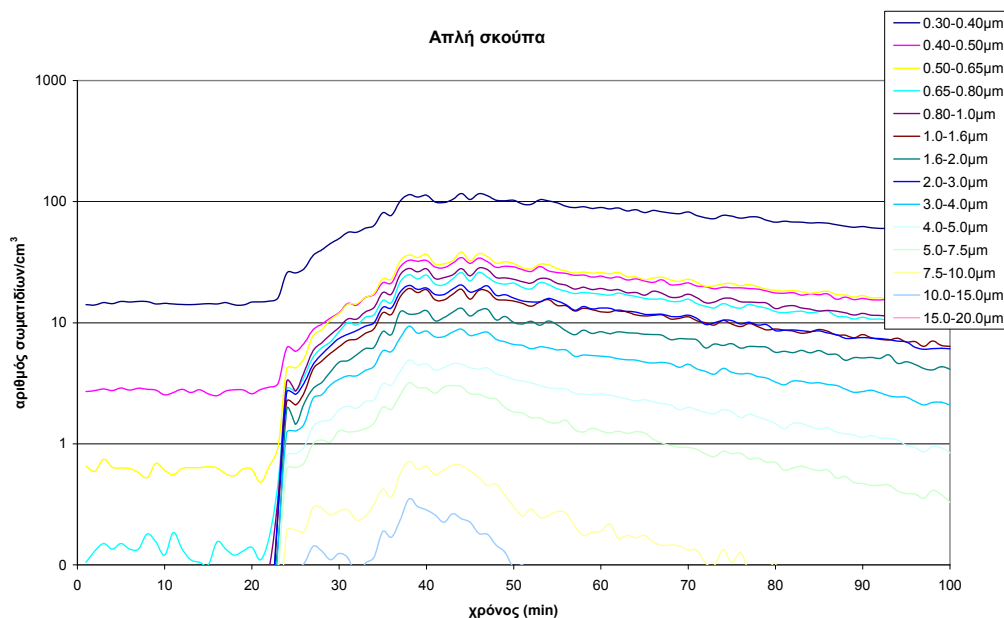


Σχήμα 4.3.7δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του σκούπισματος με ηλεκτρική σκούπα.

4.3.8 Σκούπισμα με απλή σκούπα

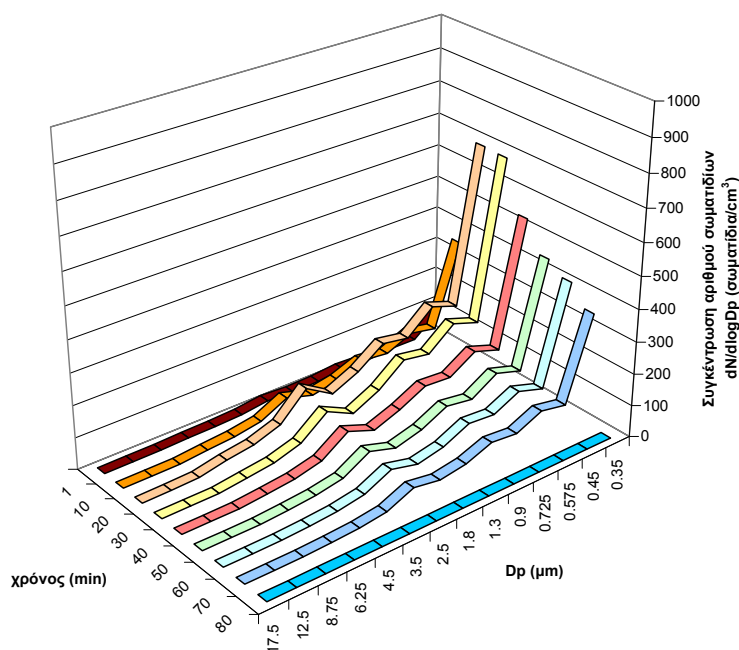
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.8α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του σκουπίσματος με την απλή σκούπα.



Σχήμα 4.3.8α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη δοκιμή του σκουπίσματος με την απλή σκούπα.

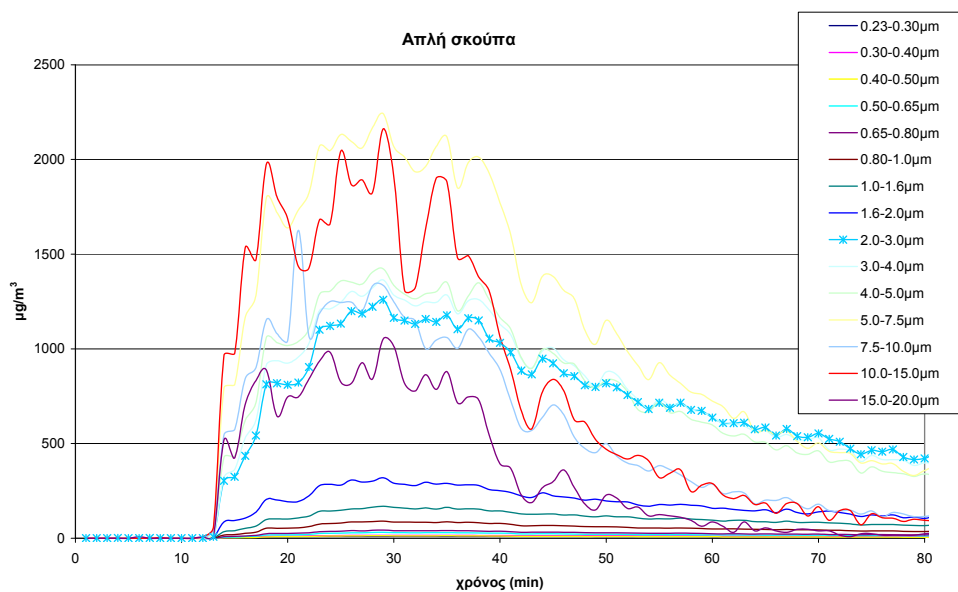
Η δοκιμή διήρκεσε 10 λεπτά (24ο-33ο λεπτό). Από το πρώτο λεπτό της δοκιμής, παρατηρήθηκε απότομη αύξηση στα σωματίδια όλων των καναλιών. Τα κανάλια που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αύξηση ήταν αυτά των **2.0-5.0 μm** (αύξηση μέχρι και 3100 φορές σε σχέση με τα επίπεδα υποβάθρου). Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (290 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 9 λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Μάλιστα, τα σωματίδια με διάμετρο 10-15 μm αυξήθηκαν με τη λήξη της δραστηριότητας και επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου μετά από 20 λεπτά. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.3.8β. Είναι εμφανές πως η κατανομή αποτελείται κυρίως από σωματίδια με διάμετρο μέχρι και περίπου 5 μm. Και σε αυτό το γράφημα, διακρίνεται η αύξηση της συγκέντρωσης ακόμα και μετά τη λήξη της δραστηριότητας.



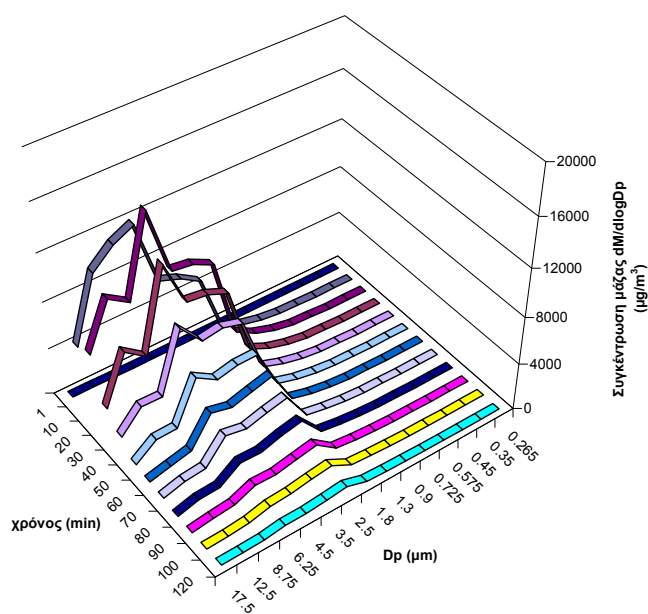
Σχήμα 4.3.8β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας του σκουπίσματος με απλή σκούπα.

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.8γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας των σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του σκουπίσματος με απλή σκούπα. Το σκούπισμα διήρκησε 10 λεπτά (14^ο έως το 23^ο λεπτό). Πρακτικά παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των μεγαλύτερων σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 1μm. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο, ήταν αυτά των **4.0-7.5μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 2400 φορές σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου. Έντονη διακύμανση παρουσίασαν τα κανάλια με διάμετρο 2-20μm. Η συνολική συγκέντρωση μάζας έλαβε μέγιστη τιμή πέντε λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας και ήταν της τάξης των **11500 μg/m³**. Δύο ώρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Στο σχήμα 4.3.8δ δίνεται η κατανομή των σωματιδίων στο πέρασμα του χρόνου η οποία αποτελείται από χονδρόκοκα σωματίδια (>2.5μm).



Σχήμα 4.3.8γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm για το σκούπισμα.

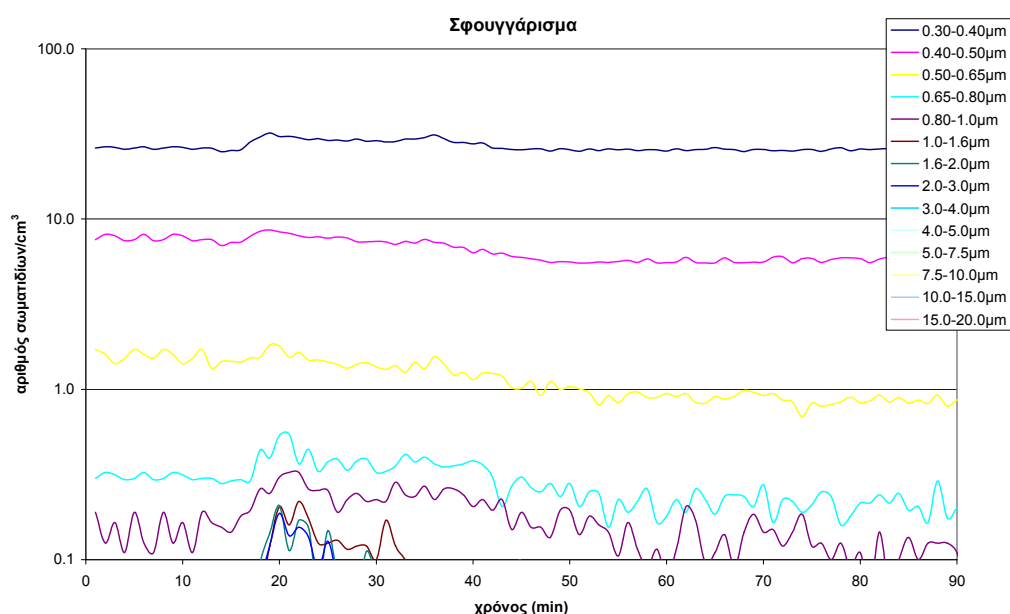


Σχήμα 4.3.8δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του σκουπίσματος με απλή σκούπα.

4.3.9 Σφουγγάρισμα

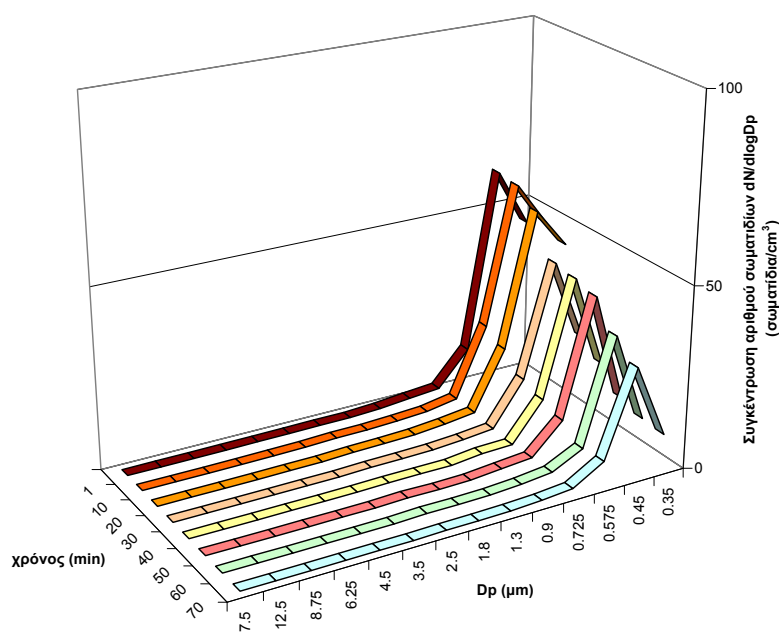
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.9α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του σφουγγαρίσματος.



Σχήμα 4.3.9α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη δοκιμή του σφουγγαρίσματος.

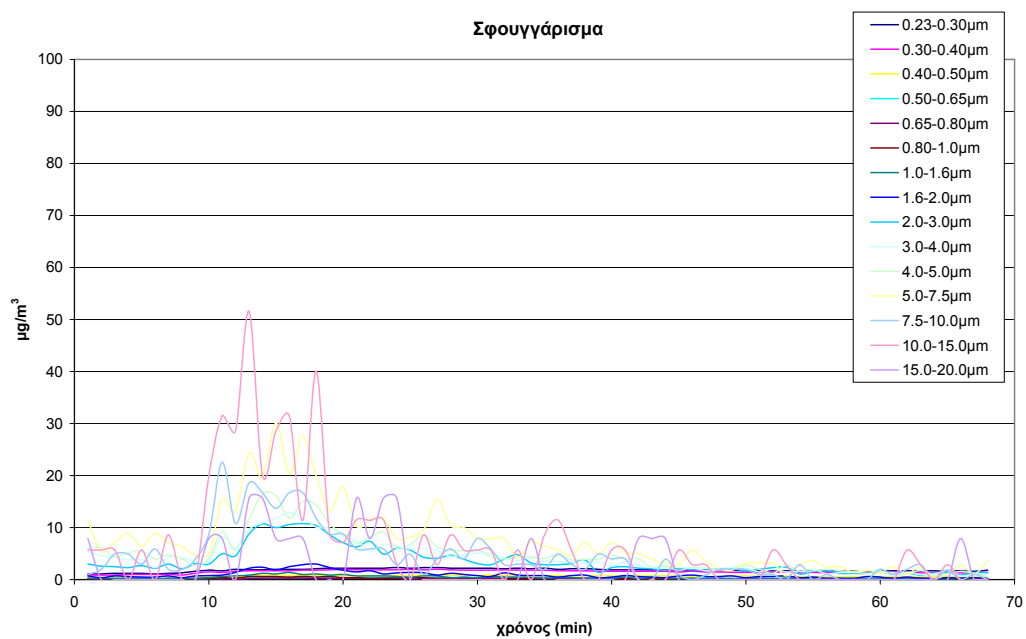
Η δοκιμή διήρκησε 10 λεπτά (16ο-25ο λεπτό). Από το πρώτο λεπτό της δοκιμής, παρατηρήθηκε αύξηση στα σωματίδια όλων των καναλιών, αλλά κυρίως των μεγαλύτερων του 0.65μm. Τα κανάλια που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αύξηση ήταν αυτά των 4-5μm (αύξηση μέχρι και 5 φορές σε σχέση με τα επίπεδα υποβάθρου). Η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης των σωματιδίων (19 σωματίδια/cm³) παρατηρήθηκε 3 λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Ο χρόνος επαναφοράς των επιπέδων στις τιμές υποβάθρου ήταν μικρότερος από μία ώρα. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου (σχήμα 4.3.9β) αποτελείται κυρίως από τα μικρά σωματίδια, αν και οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες των άλλων πηγών επαναιώρησης.



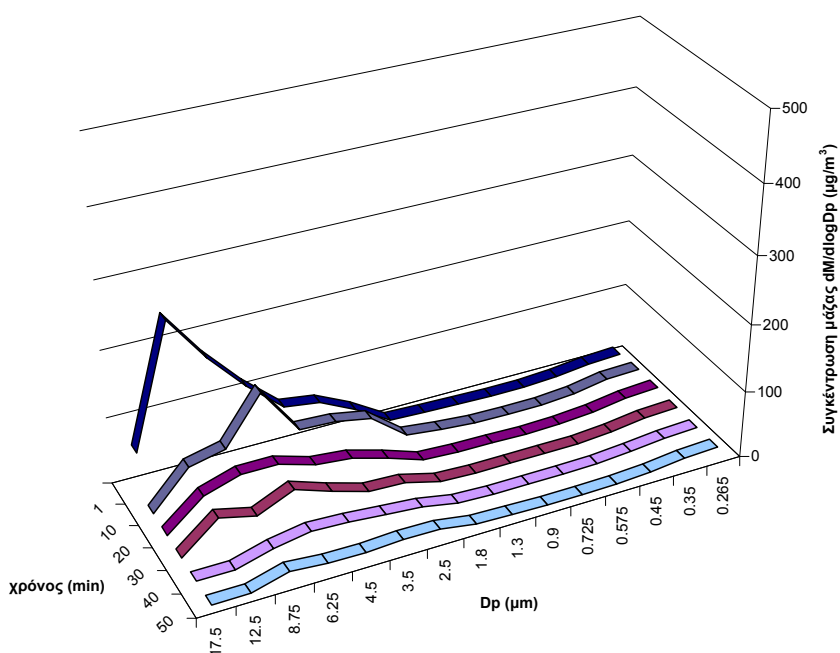
Σχήμα 4.3.9β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1ο λεπτό της δραστηριότητας του σφουγγαρίσματος.

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.3.9γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας των σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του σφουγγαρίσματος. Το σφουγγάρισμα διήρκησε 10 λεπτά (11ο έως το 20ο λεπτό). Πρακτικά παρατηρήθηκε αύξηση στη συγκέντρωση των σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 1μm. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο, ήταν αυτά των **10.0-15.0μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 9 φορές σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου. Έντονη διακύμανση παρουσίασαν τα κανάλια με διάμετρο 2-20μm. Η συνολική συγκέντρωση μάζας έλαβε μέγιστη τιμή πέντε λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και ήταν της τάξης των **127 μg/m³**. Σε λιγότερο από μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Στο σχήμα 4.3.9δ δίνεται η κατανομή των σωματιδίων στο πέρασμα του χρόνου η οποία αποτελείται από χονδρόκοκα σωματίδια (>2.5μm) και μάλιστα όσο περνάει ο χρόνος, το ποσοστό των πολύ μεγάλων σωματιδίων μειώνεται.



Σχήμα 4.3.9γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 µm για το σφουγγάρισμα.



Σχήμα 4.3.9δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1ο λεπτό του σφουγγαρίσματος.

4.3.10 Συμπεράσματα για τις πηγές επαναιώρησης

Κοινό χαρακτηριστικό των πηγών επαναιώρησης είναι η εκπομπή κυρίως μεγάλων (>1 μ m) σωματιδίων όπως αναμένεται και από τη βιβλιογραφία (Thatcher et al., 1995, He et al., 2004, Abt et al., 2000a, Montoya et al., 2005, Luoma and Batterman, 2001). Ένα ακόμα κοινό χαρακτηριστικό είναι η έντονη διακύμανση της συγκέντρωσης μετά από απότομη αύξηση στα πρώτα λεπτά κάθε δραστηριότητας. Η έντονη διακύμανση πιθανόν να οφείλεται σε μικρά ρεύματα αέρα που δημιουργούνται κατά τις δραστηριότητες αυτές.

Από τις πηγές επαναιώρησης που εξετάστηκαν, εκείνη που παρουσίασε το μεγαλύτερη συγκέντρωση αριθμού αλλά και μάζας σωματιδίων ήταν αυτή του *σκουπίσματος με απλή σκούπα*, κατά την οποία εκπέμπονται σωματίδια όλου τα εύρους διαμέτρων. Στην ίδια δραστηριότητα αντιστοιχεί και το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ώστε οι τιμές της συγκέντρωσης να επιστρέψουν στα επίπεδα υποβάθρου.

Συγκρίνοντας το **απλό ξεσκόνισμα** με το **ξεσκόνισμα με υγρό πανί**, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά τόσο στο μέγεθος των σωματιδίων όσο και στις μέγιστες τιμές της συγκέντρωσης, ειδικότερα στις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων. Ξεσκονίζοντας με απλό ή βρεγμένο πανί, αναμένεται αύξηση στη συγκέντρωση σωματιδίων σε ένα ευρύ φάσμα διαμέτρων λόγω επαναιώρησης της συσσωρευμένης σκόνης στις παράπλευρες επιφάνειες του χώρου. Επειδή τα σωματίδια που συνδέονται με το ξεσκόνισμα είναι κυρίως μεγάλα, η αύξηση (σε σχέση με το υπόβαθρο) της συγκέντρωσης μάζας είναι μεγαλύτερη από εκείνη του αριθμού (μέχρι και 500 και 150 φορές αντίστοιχα).

Συγκρίνοντας το **περπάτημα σε μοκέτα** με το **περπάτημα σε γυμνό πάτωμα**, η εικόνα του αριθμού σωματιδίων είναι αρκετά διαφορετική. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των σωματιδίων κατά το περπάτημα στη μοκέτα αυξήθηκε κατά 500 φορές από την τιμή του υποβάθρου, ενώ η αντίστοιχη αύξηση για το περπάτημα στο γυμνό πάτωμα ήταν κατά 11 φορές. Όπως έδειξαν οι μετρήσεις, από το περπάτημα στη μοκέτα παρήχθησαν σωματίδια όλων των διαμέτρων αλλά κυρίως αυτά με διάμετρο μεγαλύτερη των 5 μ m. Αντίθετα, κατά το περπάτημα σε γυμνό πάτωμα, το ποσοστό των μεγάλων σωματιδίων ήταν μειωμένο. Είναι εμφανής η εκπομπή μεγάλης ποσότητας σωματιδίων μεγάλης διαμέτρου από την επαναιώρηση της σκόνης που συσσωρεύεται σε χαλιά και μοκέτες. Από την άλλη πλευρά, η μέτρηση της μάζας

έδειξε παρόμοια αποτελέσματα για τις δύο δραστηριότητες, με αυξημένη την εκπομπή σωματιδίων κατά το περπάτημα στη μοκέτα. Σε παρόμοιο αποτέλεσμα έχουν καταλήξει και οι Montoya et al., 2005 οι οποίοι πραγματοποίησαν αντίστοιχες μετρήσεις σε θάλαμο δοκιμών και βρήκαν ανάλογες τιμές συγκέντρωσης.

Η **τοποθέτηση της μοκέτας** είναι μία δραστηριότητα που προκάλεσε έντονη ανατάραξη της συσσωρευμένης σκόνης με αποτέλεσμα η μέγιστη τιμή της μάζας να είναι μεγαλύτερη από την περίπτωση του περπατήματος. Κάτι αντίστοιχο δεν παρατηρήθηκε στις μετρήσεις αριθμού. Πρέπει όμως να επισημανθεί πως η δραστηριότητα αυτή διήρκησε μόλις 3 λεπτά, δηλαδή στο ένα τρίτο της διάρκειας του περπατήματος.

Το **τίναγμα των μαξιλαριών** είναι μία δραστηριότητα που παρουσιάζει ομοιότητες με εκείνη της τοποθέτησης μοκέτας ως προς το μέγεθος των σωματιδίων αλλά με πολύ μεγαλύτερες μέγιστες μετρούμενες συγκεντρώσεις μάζας σωματιδίων. Ο κύριος λόγος για τη διαφοροποίηση αυτή είναι ότι τα μεγαλύτερα σωματίδια (στα οποία η μάζα γίνεται σημαντική) εκπέμπονται σε διαφορετικά ύψη κατά τη διάρκεια των δύο δραστηριοτήτων. Στην τοποθέτηση της μοκέτας, η εκπομπή γίνεται σε μικρή απόσταση από το πάτωμα ενώ το τίναγμα μαξιλαριών πραγματοποιείται σε μεγαλύτερο ύψος και πλησιέστερα του αισθητήρα του οργάνου (1m από το πάτωμα) Την καθ' ύψος μείωση της συγκέντρωσης σωματιδίων από επαναιώρηση μελέτησαν και οι Montoya et al., 2005, καταλήγοντας σε σχετικά συμπεράσματα.

Συγκρίνοντας τη χρήση της **ηλεκτρικής** με εκείνη της **απλής σκούπας**, αναμένεται να υπάρχει διαφορά στο μέγεθος των σωματιδίων που εκπέμπονται. Πιο συγκεκριμένα, η ηλεκτρική σκούπα ουσιαστικά απομακρύνει τα σωματίδια από το πάτωμα και κατακρατά μέρος των πολύ μεγάλων (σκόνη) στο ειδικό φίλτρο, ενώ αντίθετα, η απλή σκούπα δημιουργεί απλά αναταραχή και επαναιώρηση της συσσωρευμένης σκόνης στο πάτωμα, χωρίς να απομακρύνονται κάποια. Οι μετρήσεις (αριθμού και μάζας) έδειξαν την εκπομπή σωματιδίων όλων των διαμέτρων και στις δύο περιπτώσεις, για διαφορετικούς λόγους. Η απλή σκούπα συνδέεται και με μικρά και με μεγάλα σωματίδια σκόνης, στα οποία καταγράφεται διαφορετικός ρυθμός μείωσης λόγω μηχανισμών βαρύτητας, εναπόθεσης κλπ. Η ηλεκτρική σκούπα συνδέεται με παραγωγή μεγάλων σωματιδίων - τα οποία προέρχονται από την επαναιώρηση ή δεν έχουν κατακρατηθεί από τη συσκευή (Glytsos et al., 2010; Corsi et al., 2008; Montoya et al., 2005; Ferro et al., 2004) αλλά και μικρότερα του 1 μm σωματίδια τα οποία εκπέμπονται από το μηχανικό μέρος της

(Afshari et al. 2005; Liouy et al.1999). Μία επίσης σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δραστηριοτήτων αυτών ήταν η ποσότητα των σωματιδίων που παρήχθησαν. Η μέγιστη ολική συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων στην περίπτωση της απλής σκούπας ήταν δεκαπλάσια από εκείνη της ηλεκτρικής. Η μέγιστη ολική συγκέντρωση μάζας για την απλή σκούπα ήταν αυξημένη κατά πενήντα φορές σε σχέση με εκείνη για την ηλεκτρική.

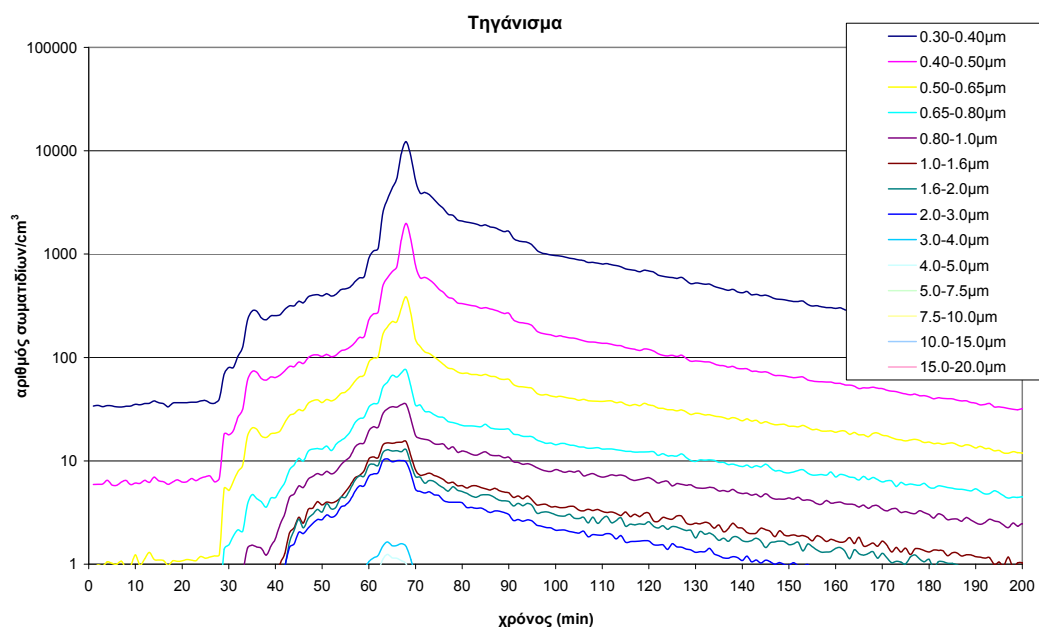
Τέλος, η δραστηριότητα του **σφουγγαρίσματος** συνδέεται με εκπομπή σωματιδίων όλων των μεγεθών αλλά σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από τις περιπτώσεις του σκουπίσματος.

4.4 Πηγές σχετικές με μαγείρεμα

4.4.1 Τηγάνισμα

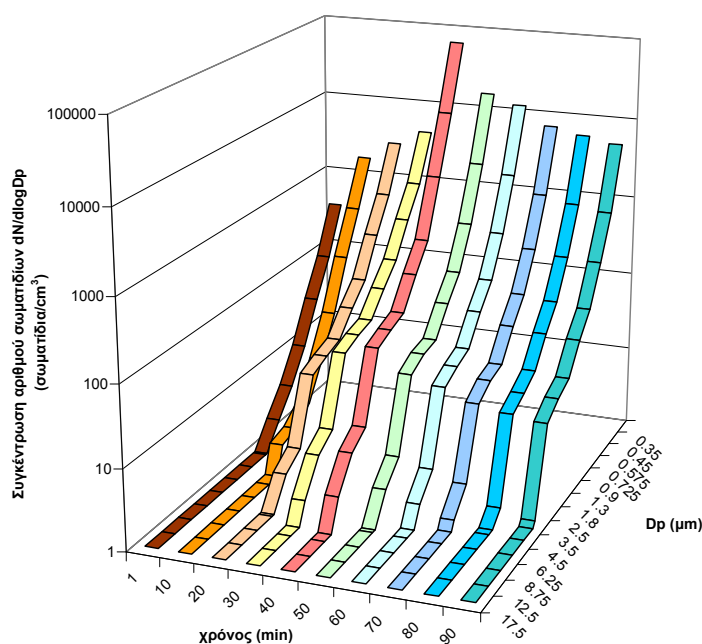
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.1α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του τηγανίσματος.



Σχήμα 4.4.1α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 µm κατά τη δοκιμή του τηγανίσματος.

Η δοκιμή του τηγανίσματος διήρκησε 32 λεπτά (30ο-61ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση των σωματιδίων όλων των καναλιών παρουσίασε αυξητική τάση η οποία και διατηρήθηκε μέχρι και περίπου 10 λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν τα **μικρότερα του 1μm** (αύξηση μέχρι και 420 φορές) αλλά και εκείνο των **1.6-2.0μm** (αύξηση μέχρι και 280 φορές). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως ακόμα και μετά τη λήξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση συνέχισε να αυξάνει και αφού έφτασε στη μέγιστη τιμή των 10500 σωματίδια/cm³ (7 λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας), μειώθηκε σταδιακά και επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου (μετά από 3 ώρες). Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.4.1β, όπου η συγκέντρωση αποτυπώνεται σε λογαριθμική κλίμακα λόγω υψηλών τιμών. Η κατανομή αποτελείται από πολύ μικρά έως μεγάλα σωματίδια (μέχρι 5μm) και η συγκέντρωση των σωματιδίων συνεχίζει να αυξάνει και μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Επίσης, χαρακτηριστικό είναι πως σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 2.5μm εμφανίζονται σταδιακά σε όλη τη διάρκεια της δραστηριότητας ενώ μειώνονται ταχύτερα σε σχέση με τα μικρότερα μετά τη λήξη της. Η σταδιακή αύξηση τους κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος πιθανόν να οφείλεται σε αύξηση λόγω υδρατμών και συσσωμάτωση μικρότερων με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ μετά τη λήξη του τηγανίσματος, μειώνονται λόγω βαρύτητας και εναπόθεσης.

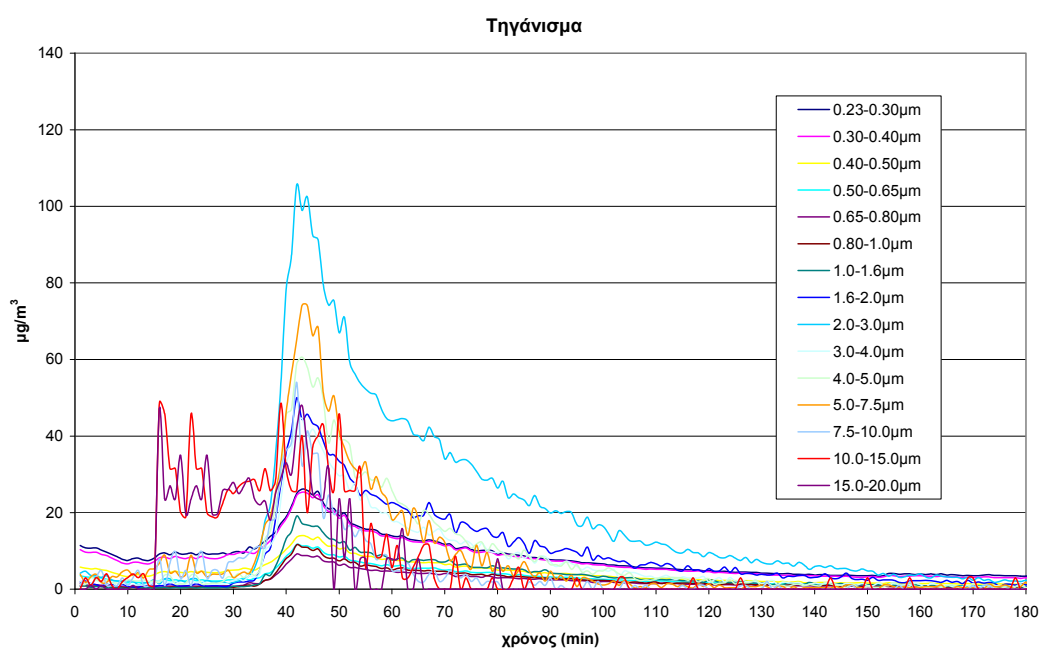


Σχήμα 4.4.1β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του τηγανίσματος (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.1γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του τηγανίσματος. Το τηγάνισμα πραγματοποιήθηκε από το 16^ο έως το 45^ο λεπτό. Αύξηση στη συγκέντρωση των σωματιδίων (ειδικότερα των μεγαλύτερων από 0.8μm) παρατηρήθηκε με την έναρξη του τηγανίσματος, αλλά όχι ταυτόχρονη για όλα τα κανάλια. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **1.6-4 μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 83 φορές. Αρχικά, όταν άρχισε να θερμαίνεται το λάδι, αυξήθηκαν τα μεγάλα σωματίδια (>10μm) ενώ όλα τα υπόλοιπα άρχισαν να αυξάνονται μετά από μερικά λεπτά και αφού είχε ξεκινήσει το τηγάνισμα. Αντίστοιχη παρατήρηση έγινε και από τους Afshari et al., 2005; Abt2000b.

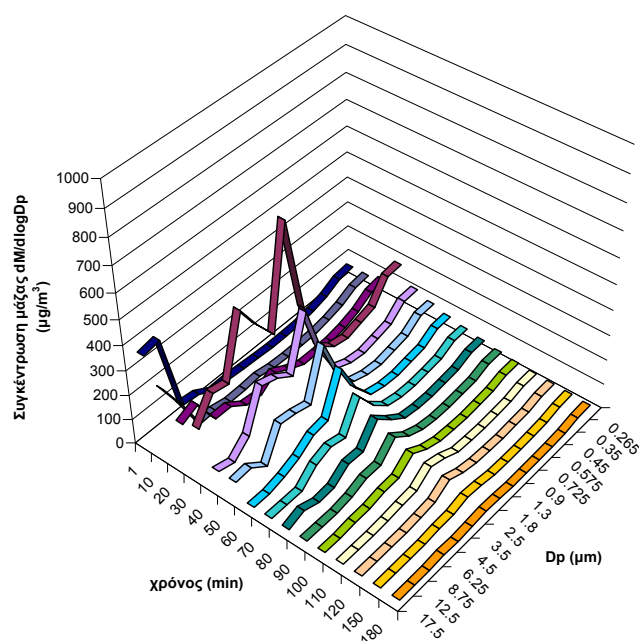
Η ολική συγκέντρωση μάζας (0.23-20μm) παρουσίασε μέγιστη τιμή 560μg/m³, τρία λεπτά πριν τη λήξη της δραστηριότητας. Δύο ώρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.



Σχήμα 4.4.1γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του τηγανίσματος.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.1δ, η κατανομή των σωματιδίων από το 1^ο έως το 20^ο λεπτό) αποτελείται από πολύ μεγάλα σωματίδια (>4.5μm). Με τη λήξη της δραστηριότητας (30^ο λεπτό), η κατανομή αποτελείται και από μικρότερα σωματίδια

(>0.8 μm) αλλά και πολύ μικρά (<0.45 μm). Με την πάροδο του χρόνου μετά τη λήξη του τηγανίσματος, η κατανομή διαμορφώνεται κυρίως από σωματίδια με διάμετρο 2-5 μm , καθώς τα μεγαλύτερα μειώνονται γρηγορότερα, όπως έχουν παρατηρήσει και οι Afshari et al., 2005.



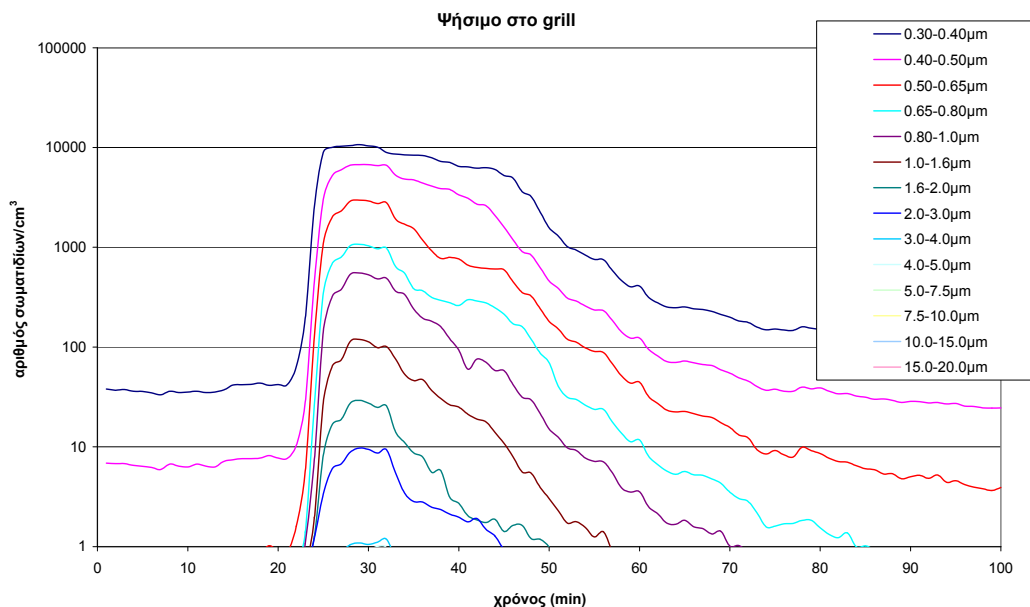
Σχήμα 4.4.1δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του τηγανίσματος (συγκέντρωση μάζας).

4.4.2 Ψήσιμο σε grill

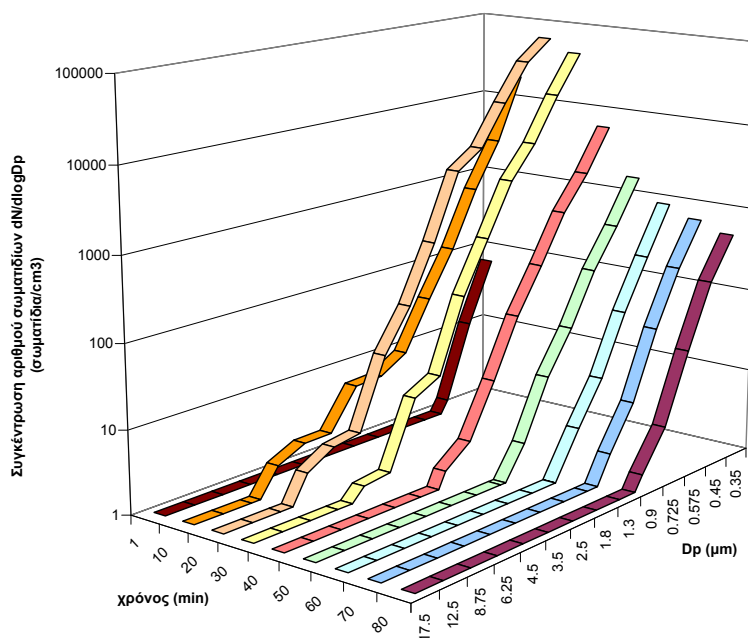
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.2α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του ψησίματος σε grill. Η δοκιμή διήρκησε από το 15^ο έως το 37^ο λεπτό. Με την έναρξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση των σωματιδίων όλων των καναλιών αυξήθηκε απότομα, αλλά τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν αυτά μεταξύ **0.8 και 1 μm** (αύξηση μέχρι και 10700 φορές). Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (22140 σωματίδια/ cm^3) 15 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας και στη συνέχεια ακολούθησε φθίνουσα πορεία. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.4.2β. Κατά τη διάρκεια της

δραστηριότητας, η κατανομή αποτελείται κυρίως από μικρά (<1 μm) και σε μικρότερο ποσοστό από μεγάλα σωματίδια (μέχρι 7.5 μm). Με το πέρασμα του χρόνου, τα μεγαλύτερα σωματίδια (>1 μm) μειώνονται γρηγορότερα.



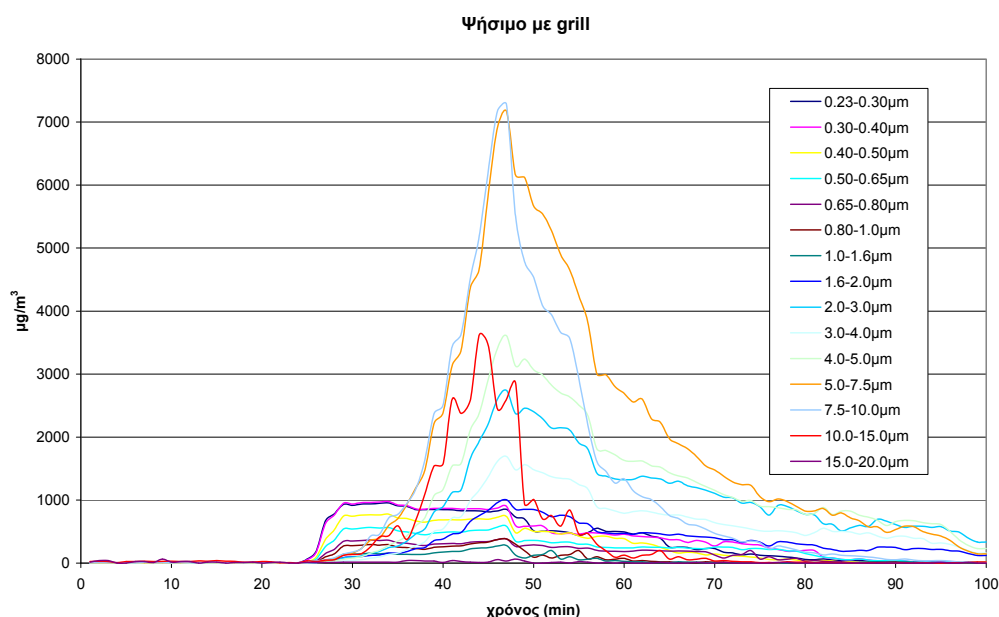
Σχήμα 4.4.2α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του ψησίματος.



Σχήμα 4.4.2β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του ψησίματος (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.2γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του ψησίματος.

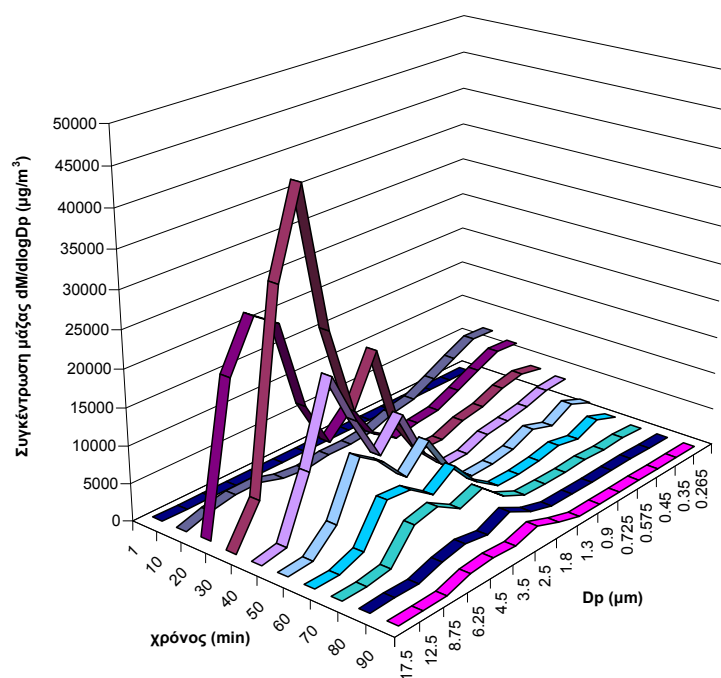


Σχήμα 4.4.2γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του ψησίματος.

Το ψήσιμο πραγματοποιήθηκε από το 22^ο έως το 47^ο λεπτό. Η αύξηση στη συγκέντρωση των σωματιδίων (όλων των κλασμάτων) παρατηρήθηκε 4 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **0.5-0.65 μm** (αύξηση μέχρι και 5800 φορές) και των **0.65-1 μm** (αύξηση μέχρι και 3800 φορές). Σημαντική αύξηση όμως παρουσίασαν και τα **μεγαλύτερα του 1 μm** σωματίδια (έως 2800 φορές). Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 26700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, στο εικοστό τέταρτο λεπτό του ψησίματος, δηλαδή τρία λεπτά πριν τη λήξη της δραστηριότητας. Χαρακτηριστικό της δοκιμής αυτής είναι το γεγονός πως τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 2 μm παρουσίασαν απότομη αύξηση μέχρι τη μέγιστη τιμή τους και ακολούθησε σταδιακή μείωση. Αντίθετα, τα μικρότερα σωματίδια, αυξήθηκαν με ταχύτερο ρυθμό αλλά παρέμειναν σταθερά σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του ψησίματος και μειώθηκαν στη συνέχεια σταδιακά. Σε λιγότερο από δύο ώρες

μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.2δ, η κατανομή των σωματιδίων κατά τη διάρκεια του ψησίματος αποτελείται από μικρά (<1 μm) αλλά κυρίως μεγάλα (2.5-10 μm) σωματίδια. Μέχρι και τα πρώτα πέντε λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας (30^ο λεπτό), το ποσοστό των μεγάλων σωματιδίων μεταξύ 2.5 και 10 μm παρουσιάζεται πολύ αυξημένο σε σχέση με τα άλλα κλάσματα, πιθανόν λόγω της παρουσίας υδρατμών. Με την πάροδο του χρόνου μετά τη λήξη του ψησίματος, η κατανομή εξακολουθεί να αποτελείται κυρίως από σωματίδια με διάμετρο 2.5-7.5 μm αλλά με μειωμένα επίπεδα.

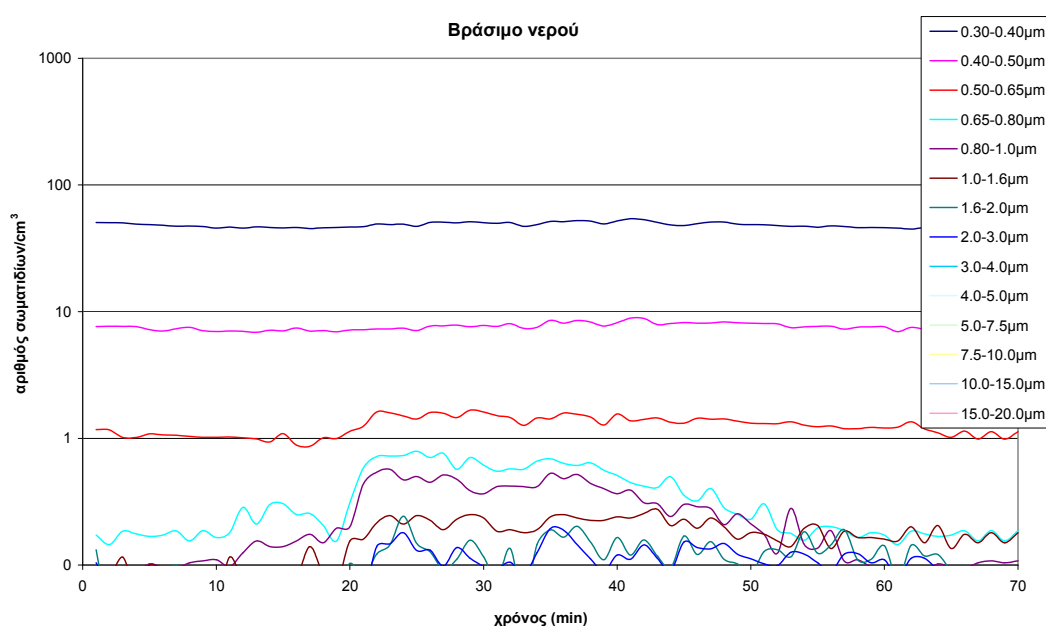


Σχήμα 4.4.2δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του ψησίματος (συγκέντρωση μάζας).

4.4.3 Βράσιμο

- Αριθμός σωματιδίων

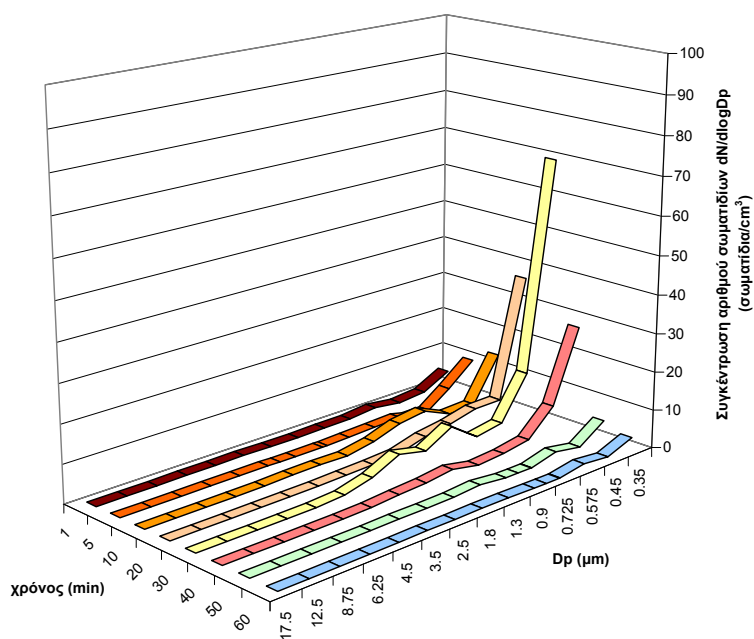
Στο σχήμα 4.4.3α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του βρασίματος του νερού.



Σχήμα 4.4.3α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του βρασίματος.

Η δοκιμή διήρκησε από το 12^ο έως το 36^ο λεπτό (25 λεπτά). Το βράσιμο του νερού είναι από εκείνες τις δοκιμές στις οποίες παρουσιάστηκε η μικρότερη αύξηση στη συγκέντρωση του αριθμού των σωματιδίων σε σχέση με το υπόβαθρο. Πιο συγκεκριμένα, τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν αυτά μεταξύ **0.6 και 1.6μm** (αύξηση μέχρι και 5 φορές). Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (13 σωματίδια/cm³) 4 λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.3β, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων βάσει του αριθμού τους αποτελείται κυρίως από πολύ μικρά (<0.5μm) σωματίδια αλλά και σωματίδια μεταξύ 1-2.5μm, τα οποία και αυξάνονται μέχρι και τη λήξη της δοκιμής. Τα σωματίδια των κλασμάτων αυτών πιθανόν να προέρχονται από τις θερμαινόμενες επιφάνειες της εστίας και του σκεύους και από τους υδρατμούς αντίστοιχα (Afshari et al., 2005). Ο χρόνος

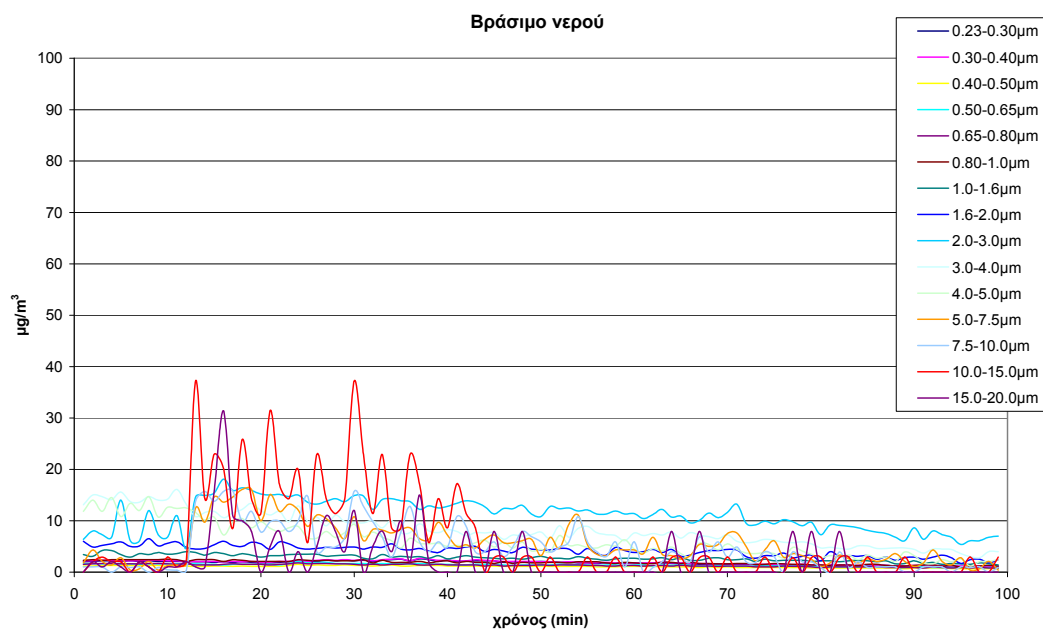
επαναφοράς της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου ήταν μικρότερους από 1 ώρα.



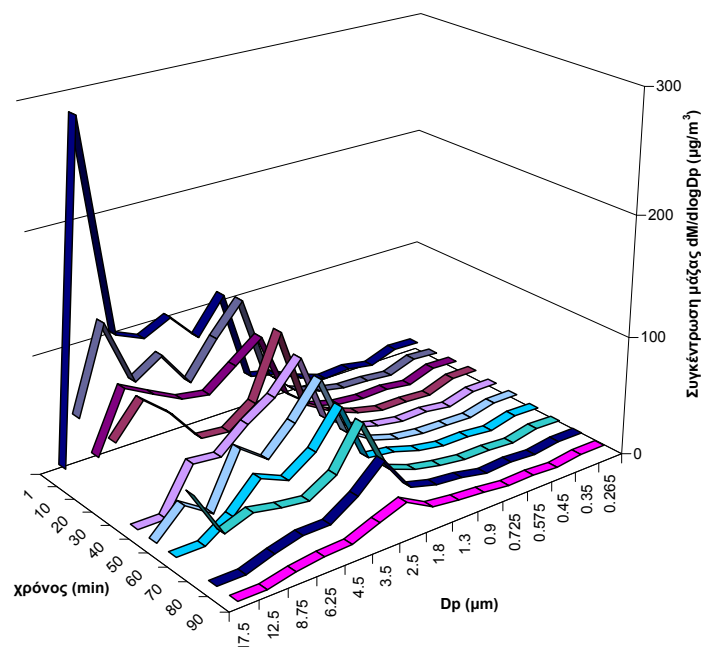
Σχήμα 4.4.3β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του βρασίματος (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.3γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του βρασίματος του νερού. Το βράσιμο πραγματοποιήθηκε από το 13^ο έως το 37^ο λεπτό. Πρακτικά αύξηση στη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 5μm. Το κλάσμα το οποίο επηρεάστηκε περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτό των **7.5-10 μm** (αύξηση μέχρι και 35 φορές). Η ολική συγκέντρωση μάζας έγινε μέγιστη (130μg/m³) 10 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Σε λιγότερο από μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.3δ, η κατανομή των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας αποτελείται από σωματίδια με διάμετρο (2.5-10μm). Με την πάροδο του χρόνου, τα μεγαλύτερα σωματίδια μειώνονται ταχύτερα.



Σχήμα 4.4.3γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του βρασίματος.

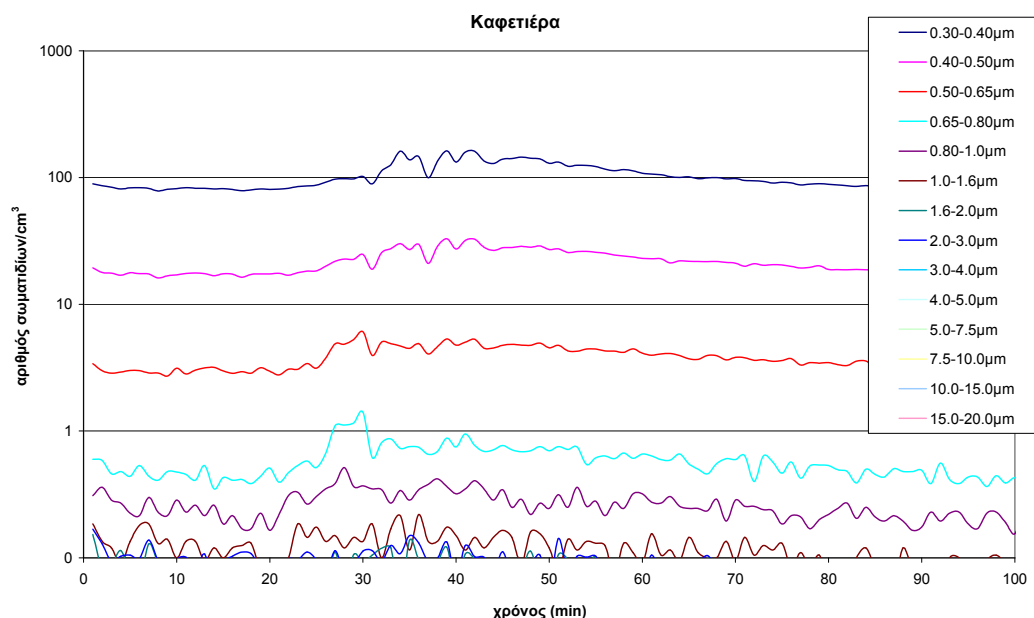


Σχήμα 4.4.3δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό του βρασίματος (συγκέντρωση μάζας).

4.4.4 Καφετιέρα

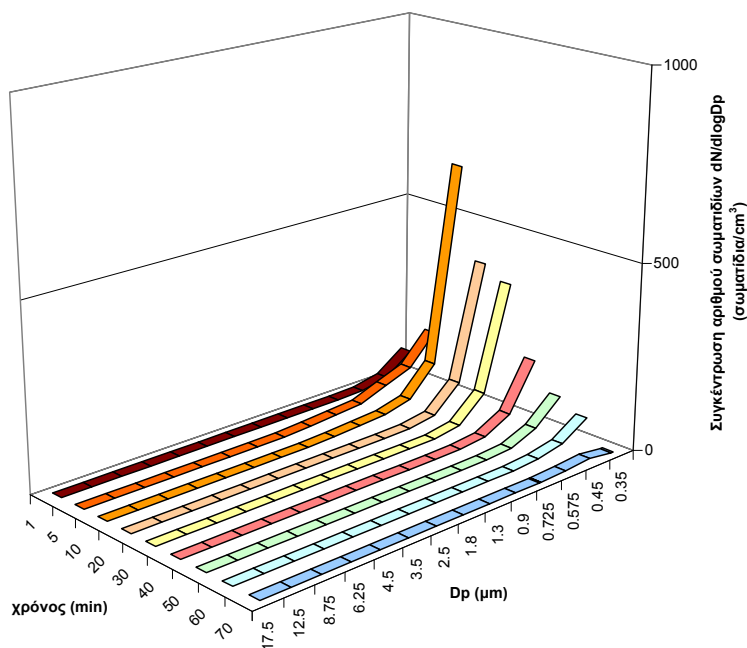
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.4α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της καφετιέρας.



Σχήμα 4.4.4α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη λειτουργία της καφετιέρας.

Η δοκιμή διήρκησε από το 25^ο έως το 34^ο λεπτό (10 λεπτά). Και η λειτουργία της καφετιέρας βρίσκεται ανάμεσα σε εκείνες τις δοκιμές που παρουσιάστηκε η μικρότερη αύξηση στη συγκέντρωση του αριθμού των σωματιδίων σε σχέση με το υπόβαθρο. Χαρακτηριστικό της πηγής αυτής είναι ότι η συγκέντρωση των σωματιδίων δε παρουσίασε ταυτόχρονα μέγιστο σε όλα τα κανάλια. Πιο συγκεκριμένα, τα σωματίδια με διάμετρο **μεγαλύτερη των 0.65μm** αυξήθηκαν (μέχρι και 3 φορές σε σχέση με το υπόβαθρο) από το πρώτο λεπτό της δοκιμής. Τα μικρότερα των 0.65μm σωματίδια παρουσίασαν αύξηση και έντονη διακύμανση μετά το 5^ο λεπτό της δοκιμής. Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (100 σωματίδια/cm³) 2 λεπτά πριν τη λήξη της δραστηριότητας. Στο σχήμα 4.4.4β φαίνεται η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων βάσει του αριθμού τους με το πέρασμα του χρόνου. Ο χρόνος επαναφοράς της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου ήταν μικρότερος από 1 ώρα.



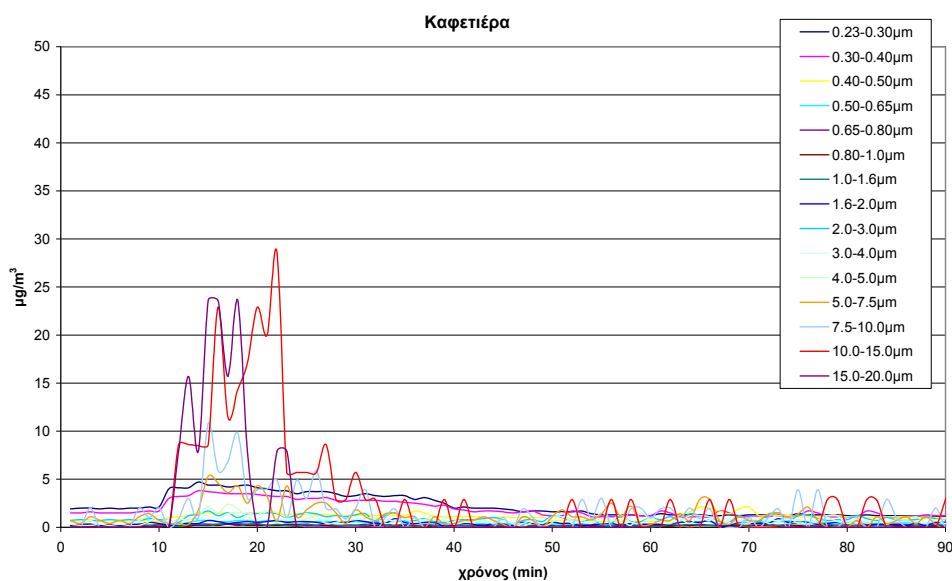
Σχήμα 4.4.4β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δοκιμής (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

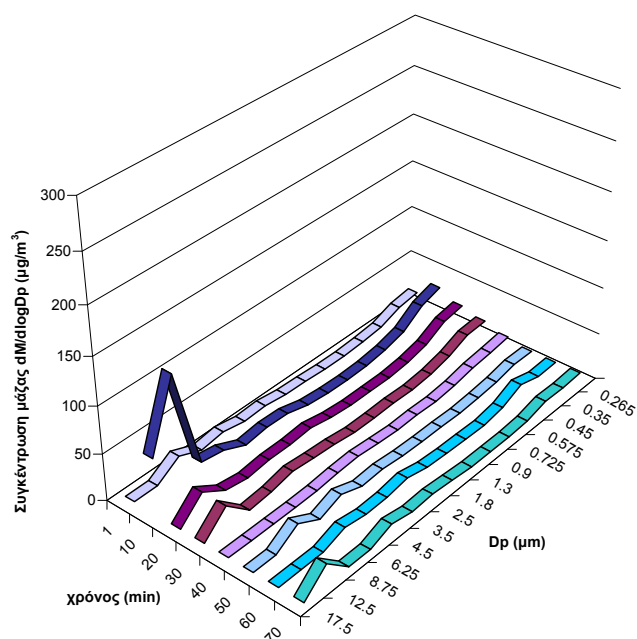
Στο σχήμα 4.4.4γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της καφετιέρας. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 10^ο έως το 19^ο λεπτό. Πρακτικά αύξηση στη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 3μm. Το κλάσμα το οποίο επηρεάστηκε περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτό των **7.5-20 μm** (αύξηση μέχρι και 70 φορές).

Χαρακτηριστικό της δοκιμής αυτής είναι ότι η συγκέντρωση των καναλιών 0.23-0.4μm δεν παρουσίασε την ίδια διακύμανση με των υπολοίπων, αλλά αυξήθηκε στα 2 πρώτα λεπτά και μετά ακολούθησε φθίνουσα πορεία. Η ολική συγκέντρωση μάζας έγινε μέγιστη (72μg/m³) 8 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Σε λιγότερο από μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.4δ, η κατανομή των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας αποτελείται από κυρίως μεγάλα (>7.5μm) σωματίδια.



Σχήμα 4.4.4γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη λειτουργία της καφετιέρας.

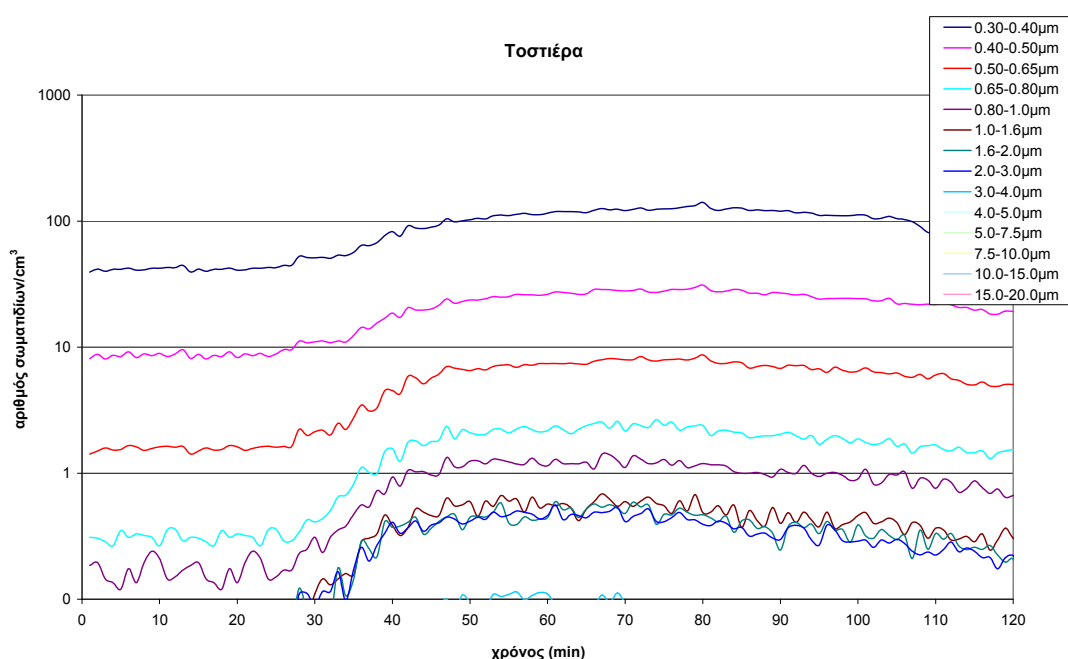


Σχήμα 4.4.4δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της λειτουργίας της καφετιέρας (συγκέντρωση μάζας).

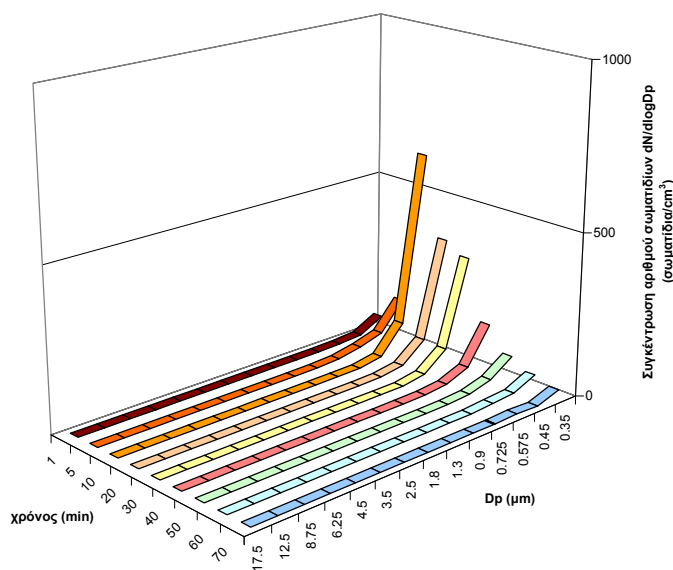
4.4.5 Τοστιέρα

- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.5α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της τοστιέρας. Η δοκιμή διήρκησε από το 28^ο έως το 42ο λεπτό (15 λεπτά). Στη δοκιμή αυτή, παρήχθησαν σωματίδια όλων των κλασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1μm αυξήθηκαν έως και 9 φορές σε σχέση με τις τιμές υποβάθρου ενώ τα σωματίδια πάνω από 1μm αυξήθηκαν μέχρι και 15 φορές. Χαρακτηριστικό της πηγής αυτής είναι ότι η αύξηση στη συγκέντρωση των μεγαλύτερων του 1μm σωματιδίων ήταν περισσότερο απότομη από τα μικρότερα. Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (140 σωματίδια/cm³) 2 λεπτά μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Στο σχήμα 4.4.5β φαίνεται η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων βάσει του αριθμού τους με το πέρασμα του χρόνου. Ο χρόνος επαναφοράς της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου ήταν μεγαλύτερος από 1 ώρα.



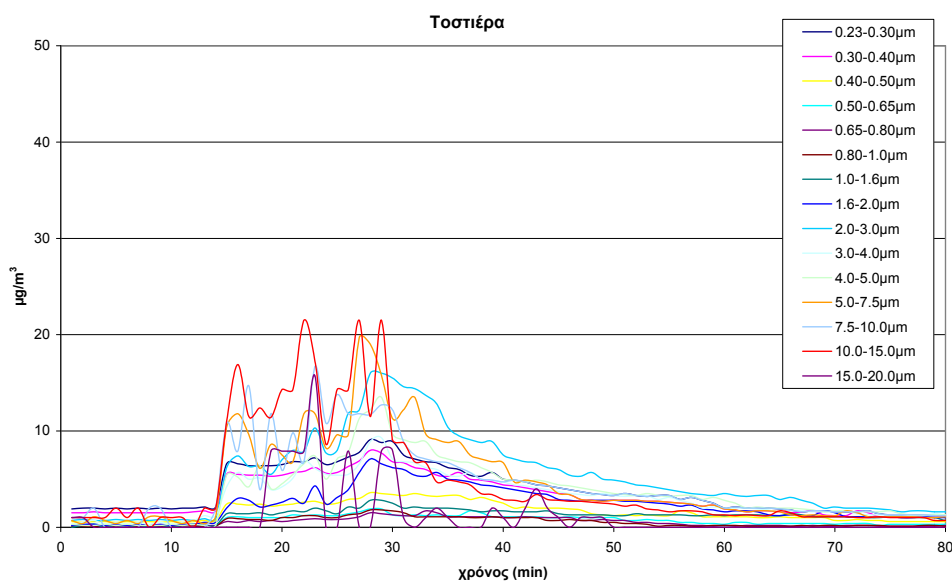
Σχήμα 4.4.5α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη λειτουργία της τοστιέρας.



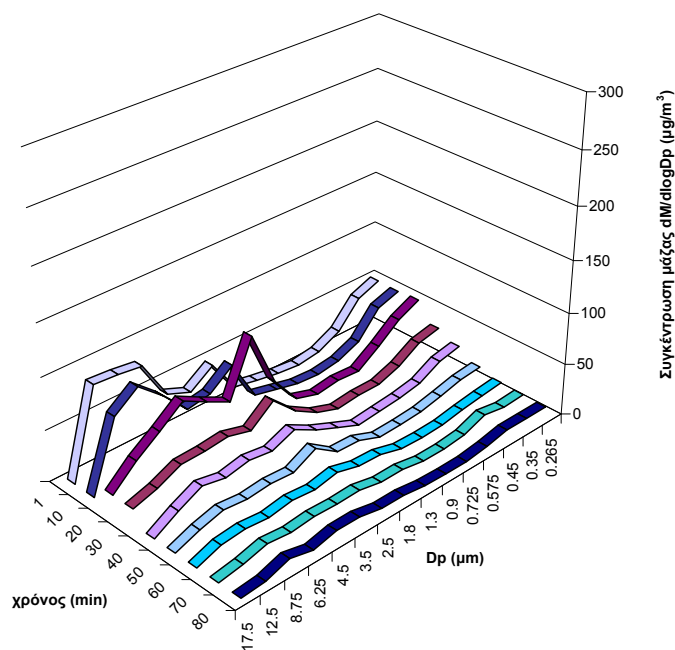
Σχήμα 4.4.5β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δοκιμής (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.5γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της τοστιέρας. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 15^ο έως το 29^ο λεπτό. Αύξηση στη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 3μm. Το κλάσμα το οποίο επηρεάστηκε περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτό των **4-7.5μm** (αύξηση μέχρι και 70 φορές). Χαρακτηριστικό της δοκιμής αυτής είναι ότι τα κανάλια δεν παρουσίασαν την ίδια διακύμανση. Πιο συγκεκριμένα, τα κανάλια πάνω από 5μm παρουσίασαν έντονη διακύμανση ενώ η συγκέντρωση των μικρότερων σωματιδίων αυξήθηκε από τα 3 πρώτα λεπτά της δραστηριότητας και παρέμεινε σχεδόν σταθερή μέχρι τη λήξη της δραστηριότητας. Η ολική συγκέντρωση μάζας έγινε μέγιστη (130μg/m³) 14 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Σε λιγότερο από μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.5δ, η κατανομή των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας αποτελείται από μικρά σωματίδια (<0.5μm) και μεγαλύτερα σωματίδια (>2μm). Η συγκέντρωση των τελευταίων συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι και τη λήξη της δραστηριότητας και στη συνέχεια μειώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό. Αντίθετα, τα μικρότερα σωματίδια, αυξάνονται από την έναρξη της δραστηριότητας και παραμένουν σχεδόν σταθερά μέχρι τη λήξη της, όπου και μειώνονται.



Σχήμα 4.4.5γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη λειτουργία της τοστιέρας.



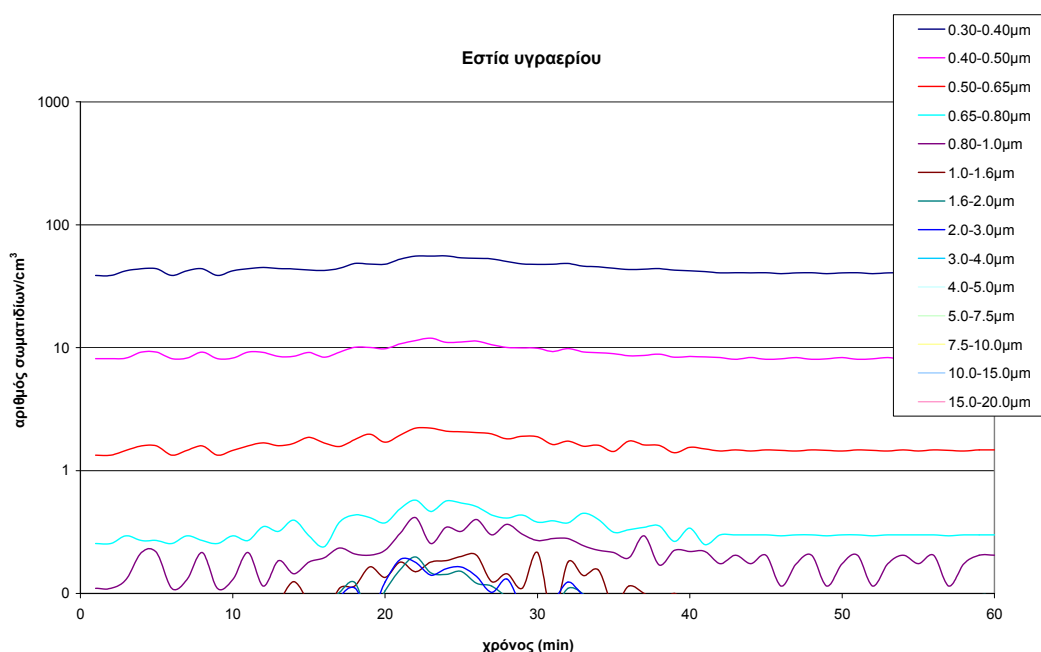
Σχήμα 4.4.5δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της λειτουργίας της τοστιέρας (συγκέντρωση μάζας).

4.4.6 Εστία υγραερίου (γκαζάκι)

- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.6α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της εστίας υγραερίου.

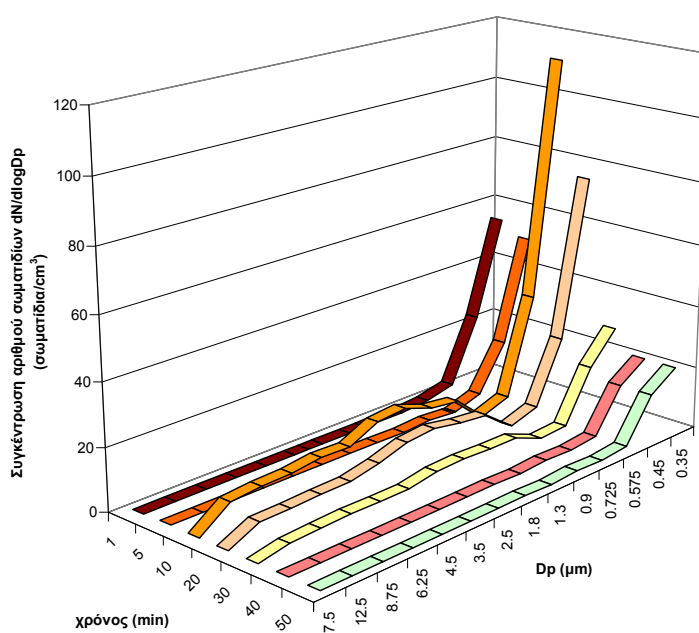
Η εστία ήταν αναμμένη από το 12^ο έως το 21^ο λεπτό (10 λεπτά). Στην περίπτωση αυτή, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση του αριθμού -και κυρίως των μεγαλύτερων του 1μm σωματιδίων- στα τελευταία 3 λεπτά της δοκιμής. Η εκπομπή των μεγαλύτερων σωματιδίων πιθανόν να προέρχεται από τη θέρμανση της συσσωρευμένης σκόνης στις επιφάνειες της εστίας. Τα επίπεδα των σωματιδίων μεταξύ 3-10μm αυξήθηκαν μέχρι και 7 φορές σε σχέση με τα επίπεδα υποβάθρου. Ο χρόνος επαναφοράς της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου ήταν μικρότερος από 1 ώρα. Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (25 σωματίδια/cm³) κατά τη λήξη της δραστηριότητας.



Σχήμα 4.4.6α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη λειτουργία της εστίας υγραερίου.

Στο σχήμα 4.4.6β φαίνεται η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων βάσει του αριθμού τους με το πέρασμα του χρόνου. Είναι εμφανές ότι παρόλο που η κατανομή αποτελείται από πολύ μικρά (<0.7μm) κυρίως σωματίδια, μετά τα δέκα λεπτά της δοκιμής, υπάρχει και εκπομπή μεγαλύτερων (1-10μm) σωματιδίων, πιθανόν από τη θέρμανση της συσσωρευμένης σκόνης στην εστία. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των

μεγαλύτερων σωματιδίων είναι πολύ μικρότερος από εκείνων με διάμετρο μικρότερη των 0.7 μm , όπως αναμένεται.

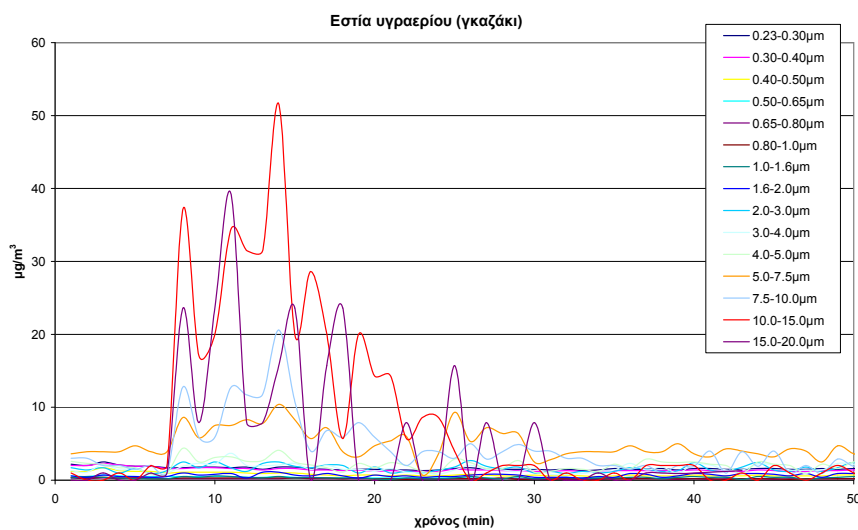


Σχήμα 4.4.6β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δοκιμής (συγκέντρωση αριθμού).

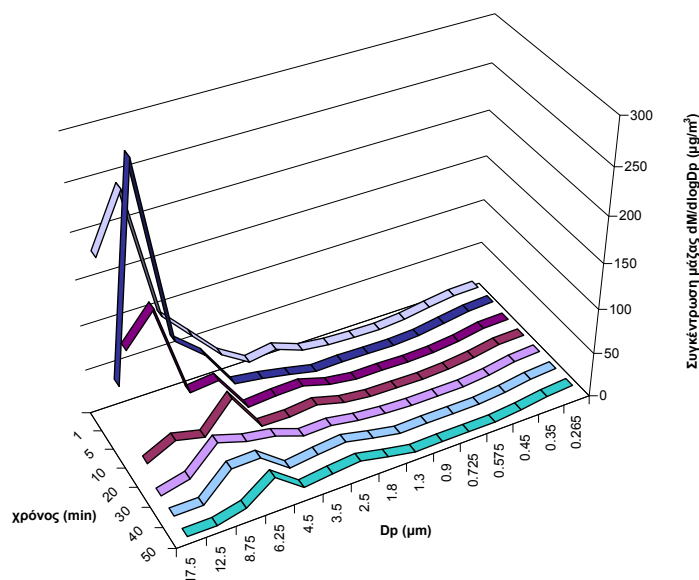
- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.6γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της εστίας υγραερίου. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 8^ο έως το 17^ο λεπτό. Αύξηση στη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 4 μm . Το κλάσμα το οποίο επηρεάστηκε περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτό των **7.5-20 μm** (αύξηση μέχρι και 25 φορές). Χαρακτηριστικό της δοκιμής αυτής είναι ότι τα κανάλια δεν παρουσίασαν την ίδια διακύμανση. Πιο συγκεκριμένα, τα κανάλια πάνω από 5 μm παρουσίασαν έντονη διακύμανση ενώ η συγκέντρωση των μικρότερων σωματιδίων παρέμεινε σχεδόν σταθερή. Η ολική συγκέντρωση μάζας έγινε μέγιστη (110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) τέσσερα λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Σε λιγότερο από μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.6δ, η κατανομή των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας αποτελείται από σωματίδια μεγαλύτερα των 4.5 μm , που πιθανόν να προέρχονται από τη θέρμανση της σκόνης στις επιφάνειες της

εστίας. Όπως και στην κατανομή του αριθμού, η μάζα των μεγάλων σωματιδίων αυξάνει μετά τα πρώτα 5 λεπτά της δοκιμής.



Σχήμα 4.4.6γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη λειτουργία της εστίας υγραερίου.



Σχήμα 4.4.6δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της λειτουργίας της εστίας (συγκέντρωση μάζας).

4.4.7 Εστία κεραμική κουζίνας (ηλεκτρική)

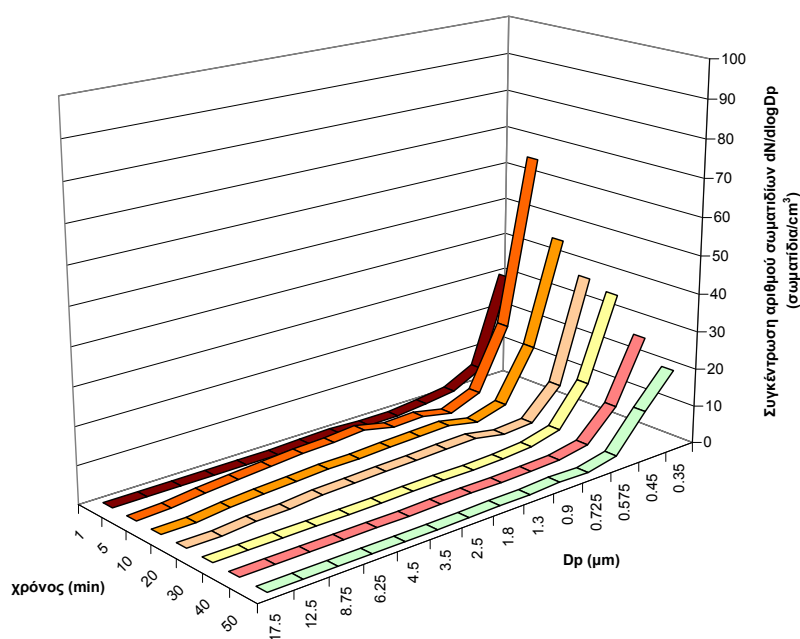
Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.7α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της ηλεκτρικής εστίας.



Σχήμα 4.4.7α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm για τη λειτουργία της ηλεκτρικής εστίας.

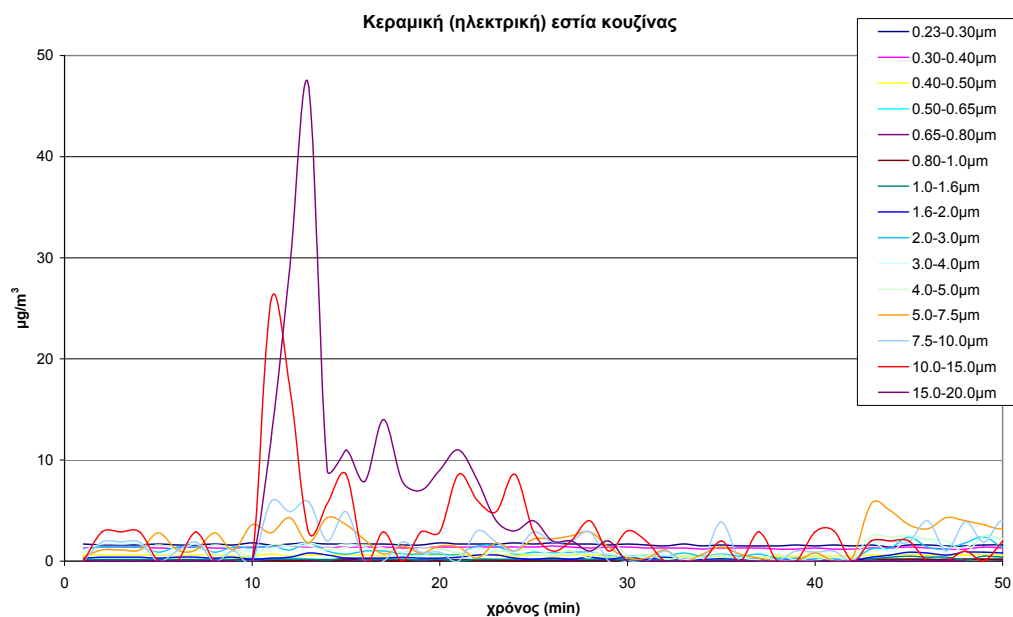
Η εστία ήταν αναμμένη από το 18^ο έως το 27^ο λεπτό (10 λεπτά). Όπως και στην περίπτωση της εστίας υγραερίου, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση του αριθμού κυρίως των μεγαλύτερων του 1μm σωματιδίων. Στην περίπτωση αυτή, η αύξηση παρατηρήθηκε από τα πρώτα λεπτά της δοκιμής και πιθανόν να προέρχεται από τη θέρμανση της συσσωρευμένης σκόνης στην επιφάνεια της εστίας. Τα επίπεδα των σωματιδίων μεταξύ 3-10μm αυξήθηκαν μέχρι και 6 φορές σε σχέση με το υποβάθρο. Ο χρόνος επαναφοράς της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου ήταν μικρότερος από 1 ώρα. Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (16 σωματίδια/cm³) πέντε λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Στο σχήμα 4.4.7β φαίνεται η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων βάσει του αριθμού τους με το πέρασμα του χρόνου. Είναι εμφανές ότι παρόλο που η κατανομή αποτελείται από πολύ μικρά (<0.7μm) κυρίως σωματίδια, μετά τα πέντε λεπτά της δοκιμής, υπάρχει και εκπομπή μεγαλύτερων (1-10μm) σωματιδίων, πιθανόν από τη θέρμανση της συσσωρευμένης σκόνης στην εστία. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των μεγαλύτερων σωματιδίων είναι πολύ μικρότερος από εκείνων με διάμετρο μικρότερη των 0.7μm, όπως αναμένεται.



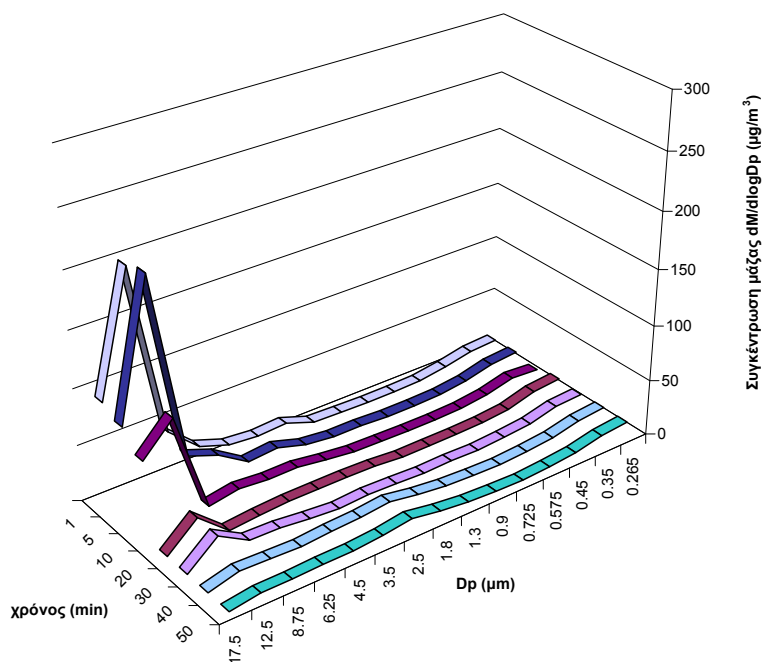
Σχήμα 4.4.7β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δοκιμής (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.4.7γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για τη λειτουργία της ηλεκτρικής εστίας. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 11^ο έως το 20^ο λεπτό. Πρακτικά, αύξηση στη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 4μm. Το κλάσμα το οποίο επηρεάστηκε περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτό των **7.5-15μm** (αύξηση μέχρι και 10 φορές). Χαρακτηριστικό και αυτής της δοκιμής αυτής είναι ότι τα κανάλια δεν παρουσίασαν την ίδια διακύμανση. Τα κανάλια πάνω από 5μm παρουσίασαν έντονη διακύμανση ενώ η συγκέντρωση των μικρότερων σωματιδίων παρέμεινε σχεδόν σταθερή. Η ολική συγκέντρωση μάζας έγινε μέγιστη (68μg/m³) 3 λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Σε λιγότερο από μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.7δ, η κατανομή των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας αποτελείται από σωματίδια μεγαλύτερα των 5μm, που πιθανόν να προέρχονται από τη θέρμανση της σκόνης στις επιφάνειες της εστίας.



Σχήμα 4.4.7γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 µm κατά τη λειτουργία της ηλεκτρικής εστίας.



Σχήμα 4.4.7δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της λειτουργίας της εστίας (συγκέντρωση μάζας).

4.4.8 Συμπεράσματα για τις πηγές σχετικές με μαγείρεμα

Κοινό χαρακτηριστικό των πηγών της ομάδας αυτής είναι η εκπομπή σωματιδίων από τις θερμαινόμενες επιφάνειες και η παραγωγή υδρατμών από το υλικό που χρησιμοποιείται (εξαιρούνται οι περιπτώσεις των εστιών όπως περιγράφηκαν στις παραγράφους 4.4.6 και 4.4.7). Αναφορές από τη βιβλιογραφία συνδέουν τη θέρμανση των επιφανειών των σκευών που χρησιμοποιούνται με την εκπομπή σωματιδίων μεγαλύτερων από 0.5μm, τα οποία προέρχονται από τη συσσωρευμένη στις επιφάνειες των σκευών σκόνη (Pedersen et al., 2001; Hirvonen et al., 1990). Έτσι, οι πηγές αυτές δε μπορούν να θεωρηθούν πρωτογενείς (Afshari et al., 2005). Παράλληλα, το μέγεθος και είδος των σωματιδίων που παράγεται κατά το μαγείρεμα εξαρτάται από το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται (Glytsos et al., 2010; Yeung et al., 2008; Sjaastad et al., 2008; Afshari 2005; Lee et al., 2001; Abt et al., 2000a; Dennekamp et al., 2001; Wallace et al., 2000; Fluckiger et al., 2000). Αντίστοιχες παρατηρήσεις βρέθηκαν και στην παρούσα διατριβή, γεγονός που δικαιολογεί και την ανομοιότητα στη διακύμανση της συγκέντρωσης των καναλιών.

Όπως επισημάνθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, στις περισσότερες δοκιμές δεν υπήρξε ταυτόχρονη αύξηση όλων των καναλιών. Επίσης, κάποια κανάλια απέκτησαν απότομα τη μέγιστη τιμή και στη συνέχεια παρουσίασαν πτώση, ενώ άλλα κανάλια αυξήθηκαν και παρέμειναν σταθερά μέχρι τη λήξη των δοκιμών.

Μεταξύ των πηγών που σχετίζονται με μαγείρεμα, το ψήσιμο στο grill και το τηγάνισμα παρουσίασαν τη μεγαλύτερη μέγιστη ολική συγκέντρωση με πολύ μεγάλη διαφορά έναντι των άλλων πηγών, ειδικά στις μετρήσεις της μάζας σωματιδίων.

Εξετάζοντας το **τηγάνισμα** και το **ψήσιμο στο grill**, ως προς τη συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων, παρατηρήθηκε η εκπομπή και μικρών (<1μm) και μεγάλων (>2.5 μm) σωματιδίων και στις δύο δοκιμές λόγω της ταυτόχρονης εκπομπής σωματιδίων από τις θερμαινόμενες επιφάνειες και την παραγωγή υδρατμών από το ψήσιμο των υλικών. Μετρώντας τον αριθμό των σωματιδίων, για το grill βρέθηκε διπλάσια μέγιστη συγκέντρωση σε σύγκριση με το τηγάνισμα. Η αντίστοιχη αναλογία για τη μέτρηση της μάζας ήταν 48 φορές, υποδεικνύοντας ότι κατά το μαγείρεμα στο grill εκπέμπονται περισσότερα μεγάλα σωματίδια (στα οποία η μάζα γίνεται

σημαντική). Αυτό πιθανόν να συνδέεται με τη μεγαλύτερη παραγωγή υδρατμών από το μαγείρεμα στο grill.

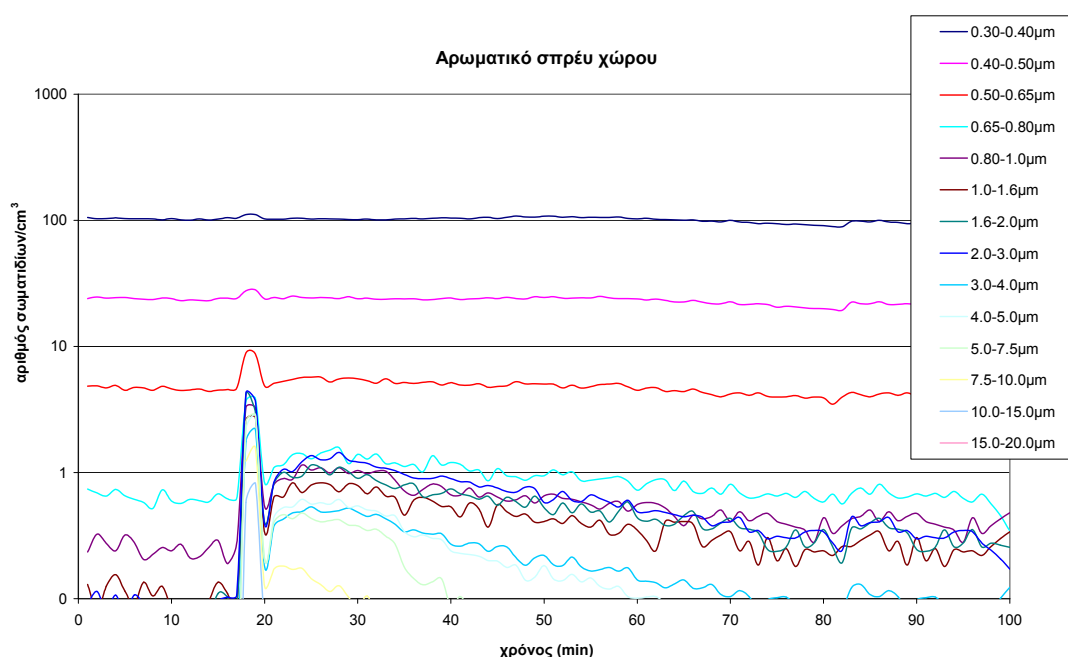
Κοινό χαρακτηριστικό των δοκιμών του **βρασίματος**, της **τοστιέρας**, της **καφετιέρας** και της λειτουργίας των **εστιών** ήταν οι χαμηλές -σε σχέση με όλες τις δοκιμές- μέγιστες συγκεντρώσεις και ο μικρός χρόνος επιστροφής της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου, μετά τη λήξη της εκπομπής.

4.5 Πηγές σπρέυ

4.5.1 Αρωματικό σπρέυ χώρου

- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.5.1α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του ψεκασμού με αρωματικό σπρέυ χώρου.

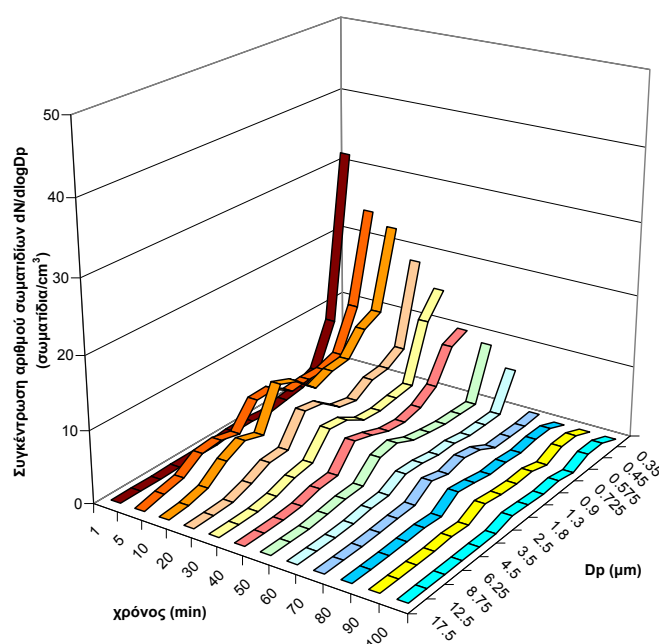


Σχήμα 4.5.1α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του σπρέυ χώρου.

Η χρήση του σπρέυ διήρκησε 3 λεπτά (17ο-19ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση των σωματιδίων των καναλιών με διάμετρο

μεγαλύτερη των 0.65 μm παρουσίασε απότομη αύξηση. Τα κανάλια τα οποία επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν αυτά με διάμετρο μεγαλύτερη των 3 μm (αύξηση μέχρι και 410 φορές). Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (45 σωματίδια/ cm^3) στο τρίτο λεπτό της δραστηριότητας ενώ αμέσως μετά μειώθηκε απότομα και επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου μετά από 2 ώρες.

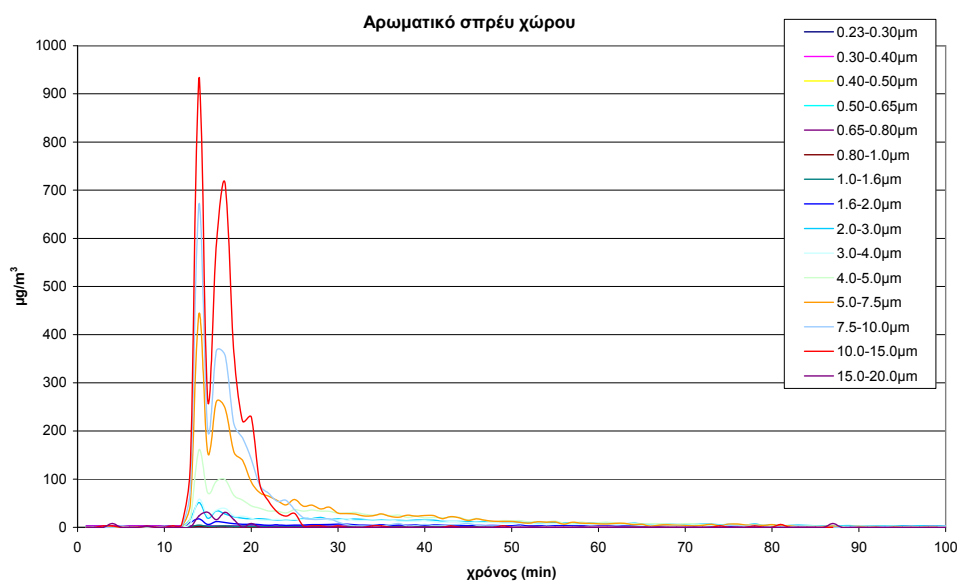
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.5.1β. Η κατανομή αποτελείται από πολύ μικρά έως μεγάλα σωματίδια (μέχρι 7.5 μm).



Σχήμα 4.5.1β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης αρωματικού σπρέυ χώρου (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

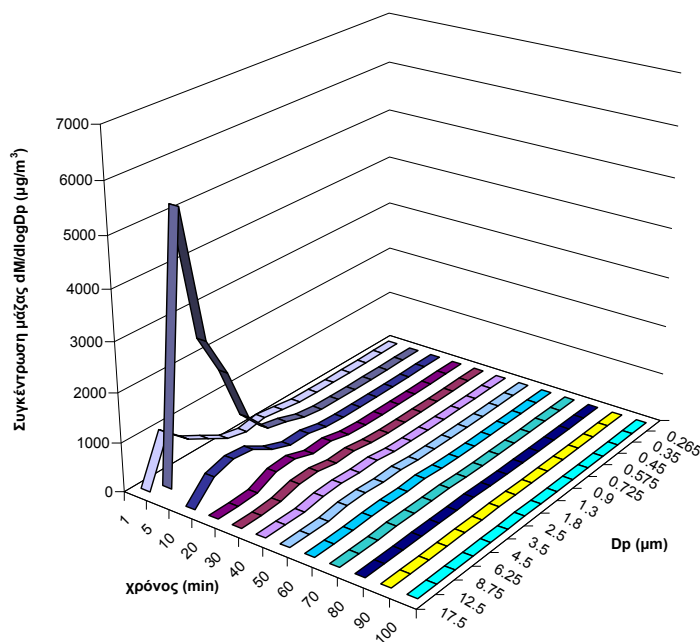
Στο σχήμα 4.5.1γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του ψεκασμού με αρωματικό σπρέυ χώρου.



Σχήμα 4.5.1γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του αρωματικού σπρέυ χώρου.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 13^ο έως το 15^ο λεπτό. Χαρακτηριστικό της δοκιμής ήταν η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης (ειδικότερα των μεγαλύτερων από 2μm σωματιδίων) με την έναρξη του ψεκασμού. Οι υψηλές συγκεντρώσεις διατηρήθηκαν και κατά τα πρώτα λεπτά μετά τη λήξη του ψεκασμού. Πρακτικά, αύξηση παρατηρήθηκε στα κανάλια >1μm, όμως εκείνα που επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **4-15μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 670 φορές. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 2400μg/m³, δύο λεπτά πριν την έναρξη της δραστηριότητας. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5.1δ, η κατανομή των σωματιδίων στο 5^ο λεπτό (δηλαδή 2 λεπτά μετά τη λήξη) αποτελείται από πολύ μεγάλα σωματίδια (5-15μm). Επτά λεπτά μετά τη λήξη του ψεκασμού (10^ο λεπτό) η κατανομή αποτελείται και πάλι από μεγάλα σωματίδια, αλλά τα επίπεδα τους είναι είναι κατά πολύ μειωμένα.

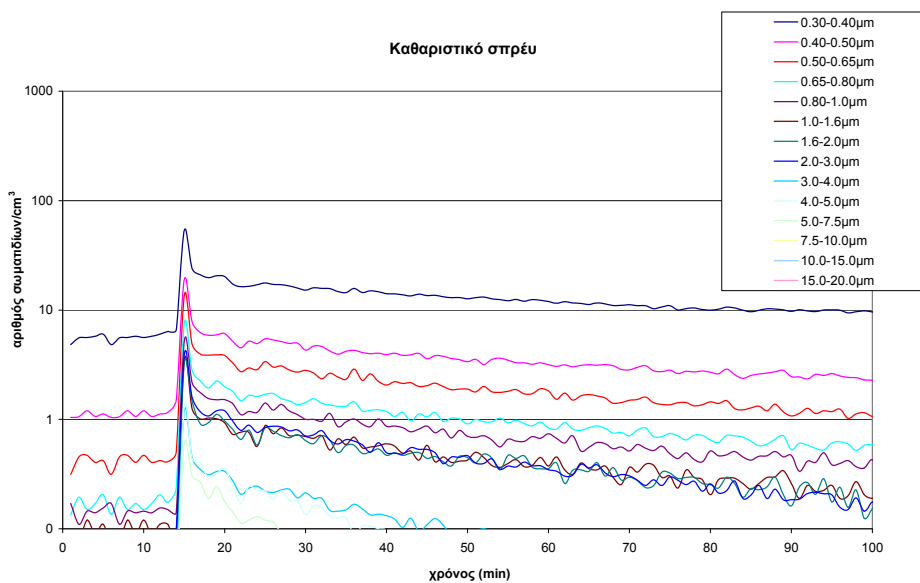


Σχήμα 4.5.1δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης του αρωματικού σπρέυ χώρου (συγκέντρωση μάζας).

4.5.2 Καθαριστικό σπρέυ

- Αριθμός σωματιδίων

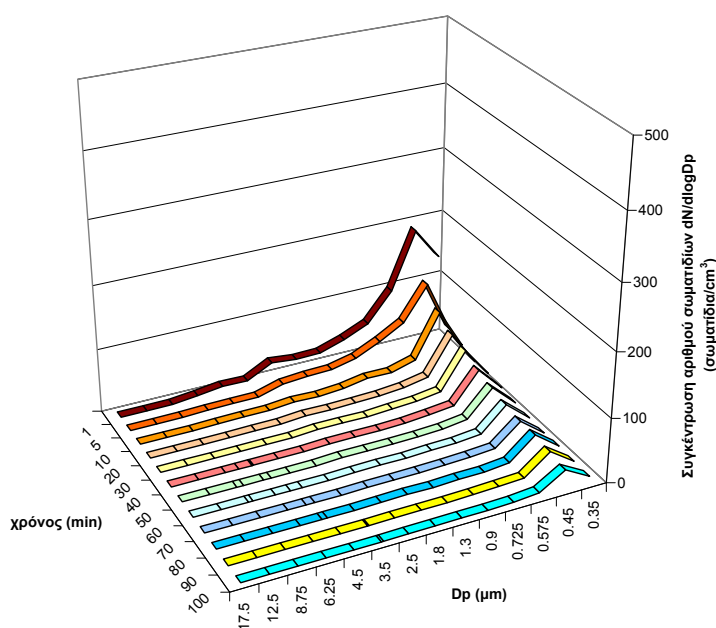
Στο σχήμα 4.5.2α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του ψεκασμού με καθαριστικό σπρέυ.



Σχήμα 4.5.2α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του καθαριστικού σπρέυ.

Η χρήση του σπρέυ διήρκησε 3 λεπτά (15ο-17ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση των σωματιδίων των καναλιών με διάμετρο μεγαλύτερη των 0.65μm παρουσίασε απότομη αύξηση. Πρακτικά, αύξηση παρατηρήθηκε σε όλα τα σωματίδια μέχρι 10μm, όμως τα κανάλια που επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν αυτά μεταξύ **0.65 και 3μm** (αύξηση μέχρι και 66 φορές). Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (45 σωματίδια/cm³) στο πρώτο λεπτό της δραστηριότητας ενώ αμέσως μετά μειώθηκε απότομα και επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου μετά από 2 ώρες.

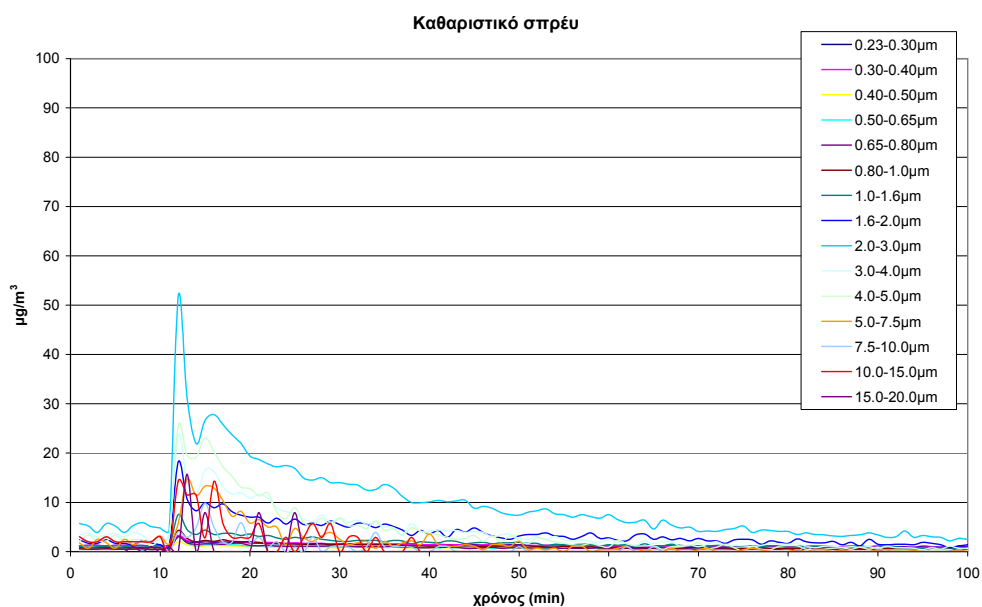
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.5.2β. Κατά τα πρώτα 5 λεπτά, η κατανομή αποτελείται από πολύ μικρά (μέχρι 1μm) σωματίδια, ενώ με το πέρασμα του χρόνου, η επικρατέστερη διάμετρος είναι μεταξύ 0.3 και 0.6μm.



Σχήμα 4.5.2β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης καθαριστικού σπρέυ (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

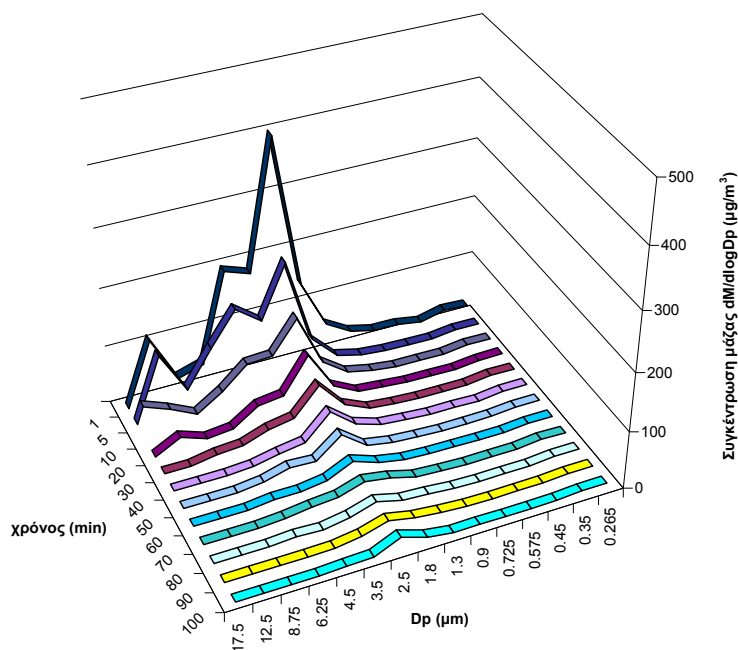
Στο σχήμα 4.5.2γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του ψεκασμού με καθαριστικό σπρέυ.



Σχήμα 4.5.2γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του καθαριστικού σπρέυ.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 12^ο έως το 14^ο λεπτό. Χαρακτηριστικό και αυτής της δοκιμής ήταν η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης (ειδικότερα των μεγαλύτερων από 1.6μm σωματιδίων) με την έναρξη του ψεκασμού. Οι υψηλές συγκεντρώσεις διατηρήθηκαν και κατά τα πρώτα λεπτά μετά τη λήξη του ψεκασμού. Πρακτικά, αύξηση παρατηρήθηκε στα κανάλια >0.65μm, όμως εκείνα που επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **1-7.5μm** τα οποία αυξήθηκαν μέχρι και 21 φορές. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 170 μg/m³, στο πρώτο λεπτό της δραστηριότητας. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5.2δ, η κατανομή των σωματιδίων στο 1^ο λεπτό αποτελείται από μεγάλα σωματίδια (2.5-10μm). Με το πέρασμα του χρόνου, και παράλληλα με τη μείωση των επιπέδων, η κατανομή αποτελείται και πάλι από μεγάλα σωματίδια, αλλά τα επίπεδα είναι κατά πολύ μειωμένα λόγω των μηχανισμών βαρύτητας, εναπόθεσης στις επιφάνειες κ.α.

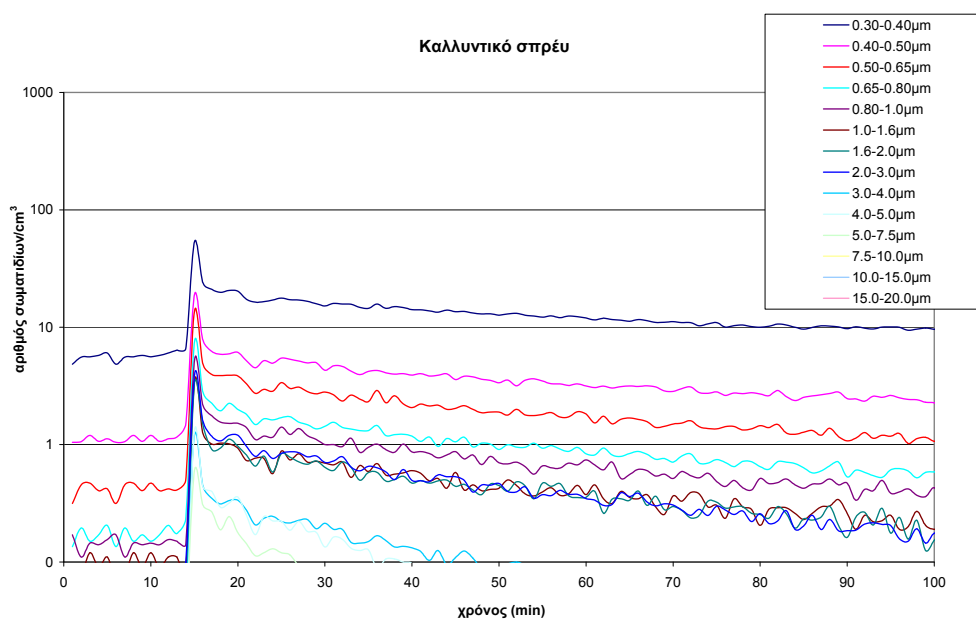


Σχήμα 4.5.2δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης του ψεκασμού με καθαριστικού σπρέυ (συγκέντρωση μάζας).

4.5.3 Καλλυντικό σπρέυ

- Αριθμός σωματιδίων

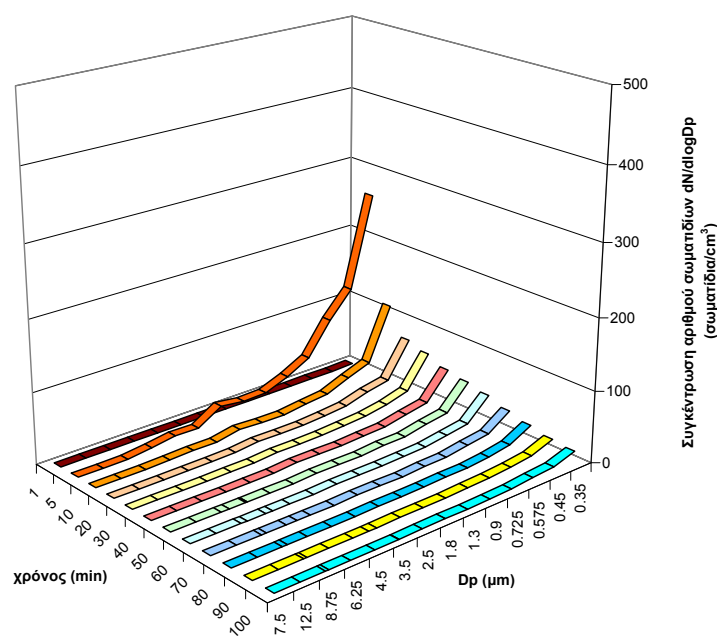
Στο σχήμα 4.5.3α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του ψεκασμού με καλλυντικό σπρέυ.



Σχήμα 4.5.3α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του καλλυντικού σπρέυ.

Η χρήση του σπρέυ διήρκησε 3 λεπτά (14ο-16ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση των σωματιδίων όλων των καναλιών παρουσίασε απότομη αύξηση. Πρακτικά, αύξηση παρατηρήθηκε σε όλα τα σωματίδια μέχρι 7.5 μm , όμως τα κανάλια που επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου ήταν αυτά μεταξύ **1 και 5 μm** (αύξηση μέχρι και 70 φορές). Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (105 σωματίδια/ cm^3) στο δεύτερο λεπτό της δραστηριότητας ενώ αμέσως μετά μειώθηκε απότομα και επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου μετά από 2 ώρες. Παρόλα αυτά, τα μεγάλα σωματίδια (>3 μm) μειώνονται ταχύτερα (σχήμα 4.5.3α).

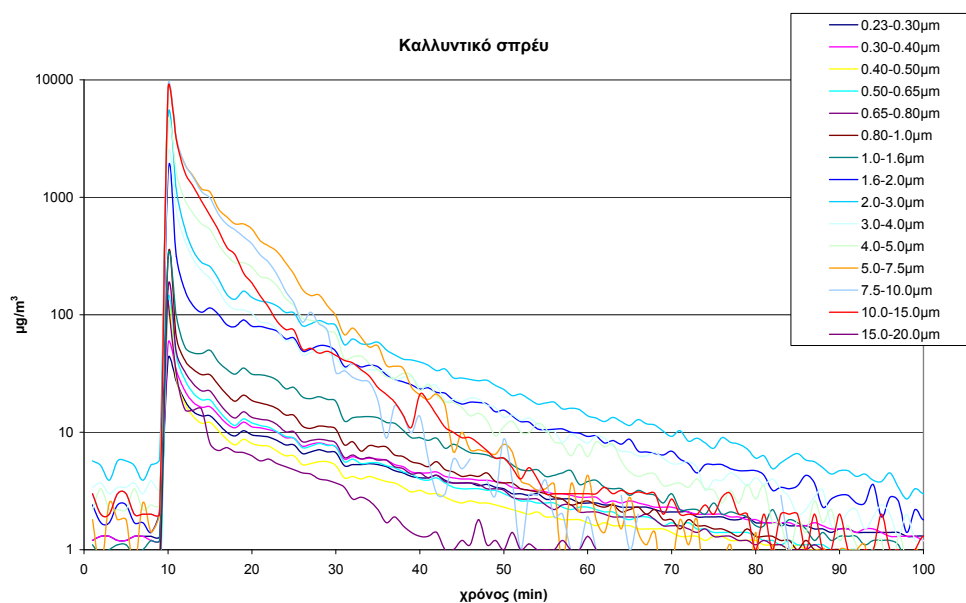
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.5.3β. Κατά τα πρώτα 5 λεπτά, η κατανομή αποτελείται από σωματίδια μέχρι 2.5 μm , ενώ με το πέρασμα του χρόνου, τα μεγαλύτερα του 0.5 μm σωματίδια μειώνονται ταχύτερα.



Σχήμα 4.5.3β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης καλλυντικού σπρέυ (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

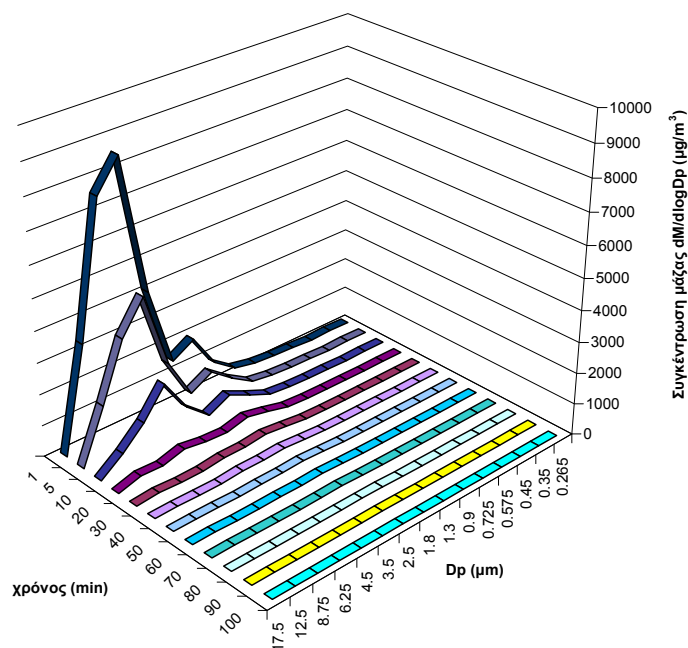
Στο σχήμα 4.5.3γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του ψεκασμού με καλλυντικό σπρέυ.



Σχήμα 4.5.3γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του καλλυντικού σπρέυ.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 10^ο έως το 12^ο λεπτό. Χαρακτηριστικό και αυτής της δοκιμής ήταν η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης όλων σωματιδίων με την έναρξη του ψεκασμού. Τα κανάλια που επηρεάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τις αρχικές τιμές υποβάθρου, ήταν αυτά των **5-7.5μm** στα οποία η συγκέντρωση αυξήθηκε μέχρι και 4500 φορές. Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 39300 μg/m³, στο πρώτο λεπτό της δραστηριότητας. Δύο ώρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5.3δ, η κατανομή των σωματιδίων στο 1^ο λεπτό αποτελείται από μεγάλα σωματίδια (2.5-12.5μm). Με το πέρασμα του χρόνου, η κατανομή αποτελείται και πάλι από μεγάλα σωματίδια, αλλά τα επίπεδα μειώνονται σταδιακά.

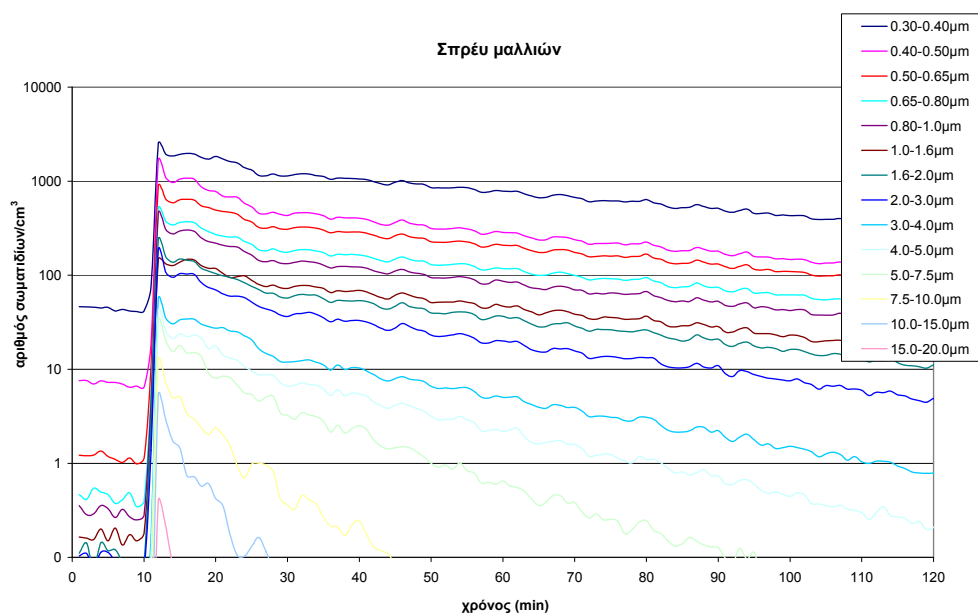


Σχήμα 4.5.3δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης του καλλυντικού σπρέυ (συγκέντρωση μάζας).

4.5.4 Σπρέυ μαλλιών (λακ)

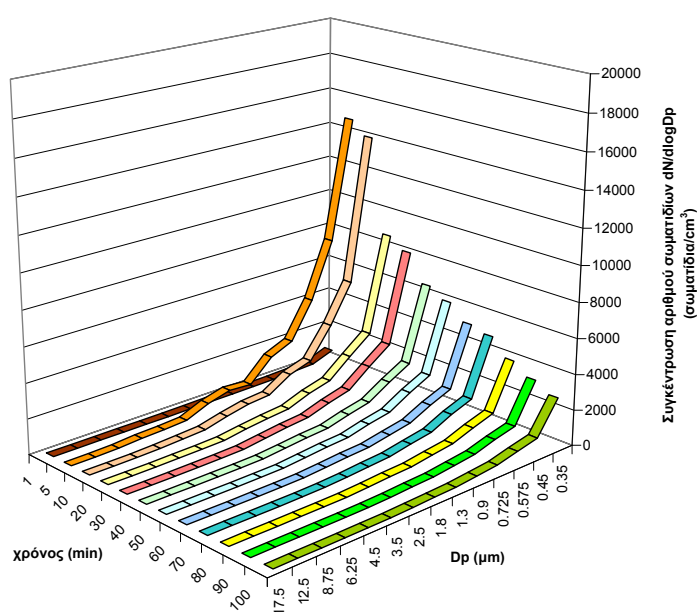
- Αριθμός σωματιδίων

Στο σχήμα 4.5.4α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του ψεκασμού με σπρέυ μαλλιών.



Σχήμα 4.5.4α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 µm κατά τη δοκιμή του σπρέυ μαλλιών.

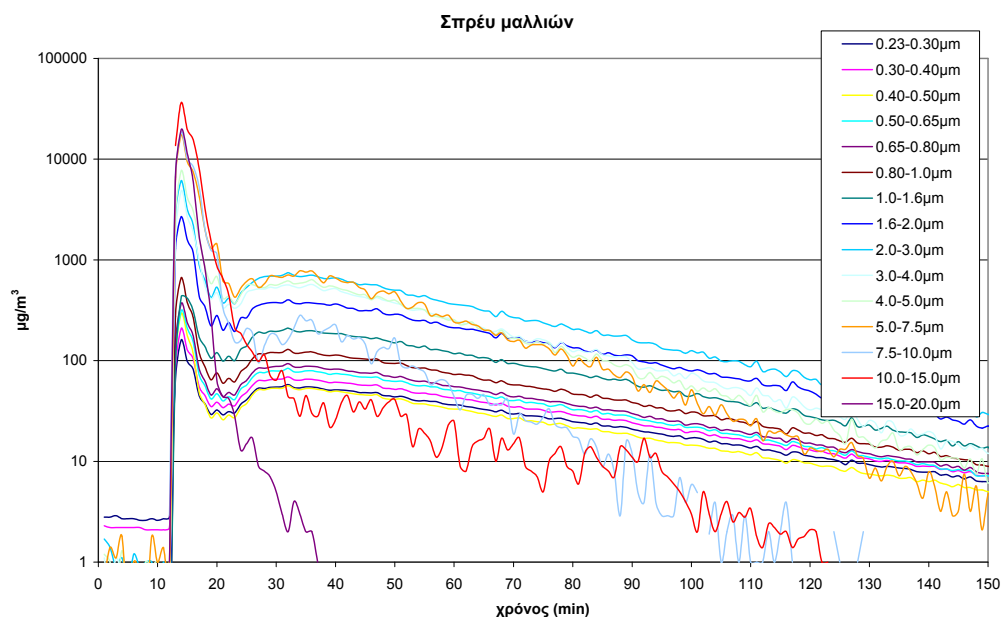
Ο ψεκασμός διήρκησε 3 λεπτά (11ο-13ο λεπτό). Με την έναρξη της δραστηριότητας, η συγκέντρωση των σωματιδίων όλων των καναλιών παρουσίασε απότομη αύξηση. Τα σωματίδια με διάμετρο $<1\mu\text{m}$ αυξήθηκαν έως και 1700 φορές σε σχέση με το υπόβαθρο. Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (6800 σωματίδια/ cm^3) στο δεύτερο λεπτό της δραστηριότητας ενώ αμέσως μετά μειώθηκε απότομα και επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου μετά από 2 ώρες. Παρόλα αυτά, τα πολύ μεγάλα σωματίδια ($>5\mu\text{m}$) μειώνονται ταχύτερα (σχήμα 4.5.4α). Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.5.4β.



Σχήμα 4.5.4β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης του σπρέυ μαλλιών (συγκέντρωση αριθμού).

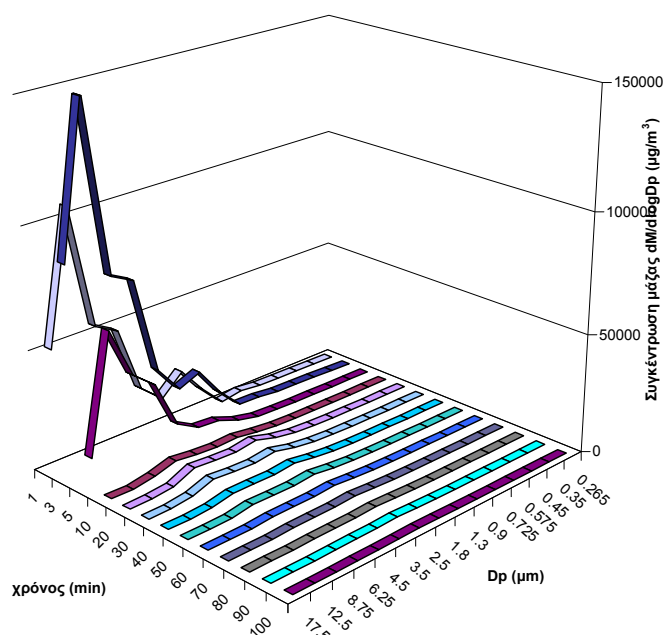
- Μάζα σωματιδίων

Στο σχήμα 4.5.4γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του σπρέυ μαλλιών.



Σχήμα 4.5.4γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του σπρέυ μαλλιών.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 13^ο έως το 15^ο λεπτό. Χαρακτηριστικό και αυτής της δοκιμής ήταν η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης όλων σωματιδίων με την έναρξη του ψεκασμού. Το κανάλια έως 1 μm αυξήθηκαν έως και 6700 φορές σε σχέση με τις τιμές υποβάθρου ενώ τα μεγαλύτερα σωματίδια αυξήθηκαν κατά πολύ περισσότερο (μέγιστη αύξηση 36500 φορές στα κανάλια των **7.5-15 μm**). Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 64150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, στο τρίτο λεπτό της δραστηριότητας. Περισσότερο από δύο ώρες χρειάστηκαν μετά τη λήξη της δραστηριότητας ώστε τα επίπεδα της συγκέντρωσης να επανέλθουν στα επίπεδα υποβάθρου. Παρόλα αυτά, τα πολύ μεγάλα σωματίδια (>7.5 μm) μειώνονται ταχύτερα (σχήμα 4.5.4γ).



Σχήμα 4.5.4δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης του σπρέυ μαλλιών (συγκέντρωση μάζας).

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5.4δ, η κατανομή των σωματιδίων στο 5^ο λεπτό αποτελείται από μεγάλα σωματίδια (2.5-17.5μm) με επικρατέστερη διάμετρο αυτή των 12,5μm. Με το πέρασμα του χρόνου, η κατανομή αποτελείται και πάλι από μεγάλα σωματίδια, αλλά τα επίπεδα μειώνονται ταχύτερα λόγω των μηχανισμών βαρύτητας, εναπόθεσης στις επιφάνειες κ.α.

4.5.5 Συμπεράσματα για τις πηγές σπρέυ

Κοινό χαρακτηριστικό των μετρήσεων από τις εκπομπές των σπρέυ είναι η *απότομη αύξηση της συγκέντρωσης* από τα πρώτα 2 λεπτά του ψεκασμού και η αργή -σχετικά με άλλες δοκιμές- πτώση της που ακολούθησε (ειδικά στις μετρήσεις του αριθμού σωματιδίων). Όπως αναφέρεται στους Afshari et al., 2005, αμέσως μετά τον ψεκασμό αναμένεται παραγωγή υπέρλεπτων (<0.1μm) και μεγαλύτερων του 1μm σωματιδίων ενώ εκείνα με διάμετρο μεταξύ 0.3 και 1μm αυξάνονται στη συνέχεια.

Αν και οι εργασίες που έχουν μελετήσει τα σπρέυ ως πηγές σωματιδίων είναι λίγες, έχει βρεθεί ότι το είδος των σωματιδίων που εκπέμπονται συνδέεται με το είδος του σπρέυ (Glytsos et al., 2010; Afshari 2005). Από τα σπρέυ που εξετάστηκαν στην παρούσα διατριβή, τα δύο ήταν υπό πίεση (καλλυντικό σπρέυ και σπρέυ μαλλιών). Μάλιστα, κατά τον ψεκασμό του σπρέυ μαλλιών η ποσότητα του υλικού που

εκπέμπεται είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη του καλλυντικού σπρέυ. Εν γένει, η χρήση όλων των σπρέυ οδήγησε σε εκπομπή σωματιδίων όλων των μεγεθών. Παρόλα αυτά, μεγαλύτερα ποσοστά σε μικρού μεγέθους σωματίδια παρουσίασαν οι εκπομπές από τα σπρέυ υπό πίεση.

Όσον αφορά στις μετρήσεις μάζας σωματιδίων, το **καλλυντικό** και το **σπρέυ μαλλιών** (δηλαδή τα σπρέυ υπό πίεση) οδήγησαν σε εμφανώς αυξημένη μέγιστη συγκέντρωση (κατά 27 φορές σε σχέση με το καθαριστικό και κατά 377 φορές σε σχέση με το σπρέυ χώρου). Μάλιστα στο σπρέυ μαλλιών αντιστοιχεί σχεδόν διπλάσια μέγιστη τιμή από το καλλυντικό σπρέυ (64150 και 39300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα) λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας υλικού που διαχέεται κατά τον ψεκασμό.

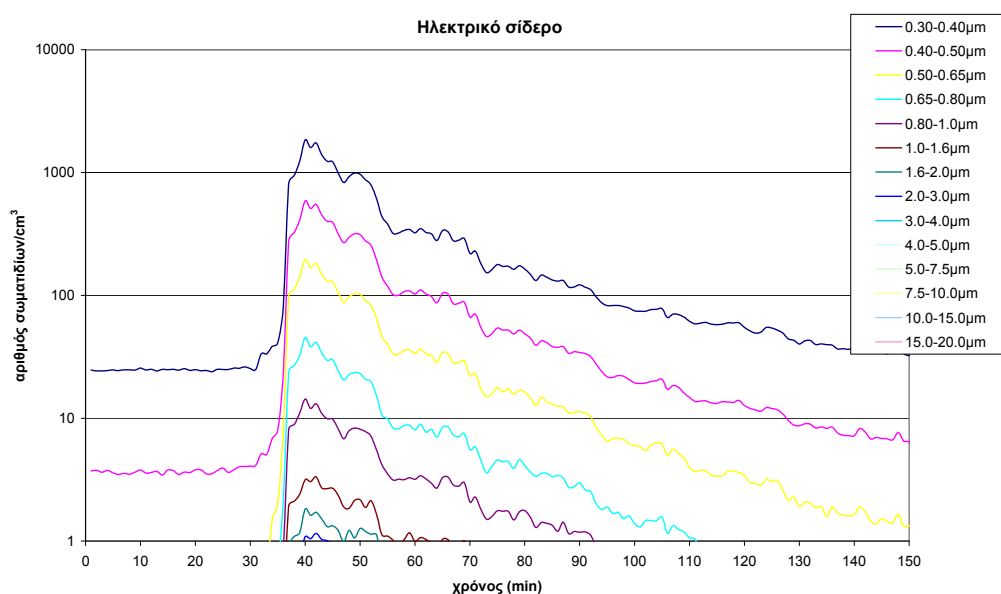
Οι μετρήσεις αριθμού σωματιδίων έδειξαν ότι το σπρέυ μαλλιών οδήγησε στην υψηλότερη μέγιστη συγκέντρωση σε σχέση με τα άλλα σπρέυ (16 φορές υψηλότερη από το **σπρέυ χώρου** και 100 φορές υψηλότερη από το **καθαριστικό** και καλλυντικό σπρέυ).

4.6 Διάφορες πηγές

4.6.1 Σιδέρωμα με ηλεκτρικό σίδερο

- Αριθμός σωματιδίων

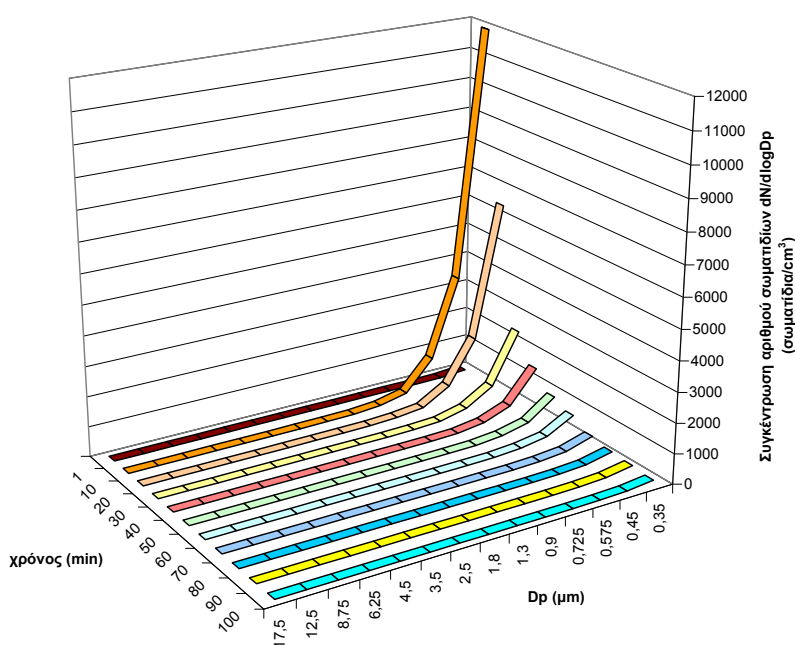
Στο σχήμα 4.6.1α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του σιδερώματος.



Σχήμα 4.6.1α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/ cm^3 σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του σιδερώματος.

Η δοκιμή διήρκησε 15 λεπτά (32ο-47ο λεπτό). Η συγκέντρωση των σωματιδίων όλων των καναλιών παρουσίασε σταδιακή αύξηση αλλά μετά τα πέντε πρώτα λεπτά, αυξήθηκε απότομα (έως και 1400 φορές τις τιμές υποβάθρου στα κανάλια **0.65-1 μm**). Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (2600 σωματίδια/ cm^3) στο ένατο λεπτό της δραστηριότητας ενώ στη συνέχεια μειώθηκε σταδιακά και επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου μετά από 2 ώρες.

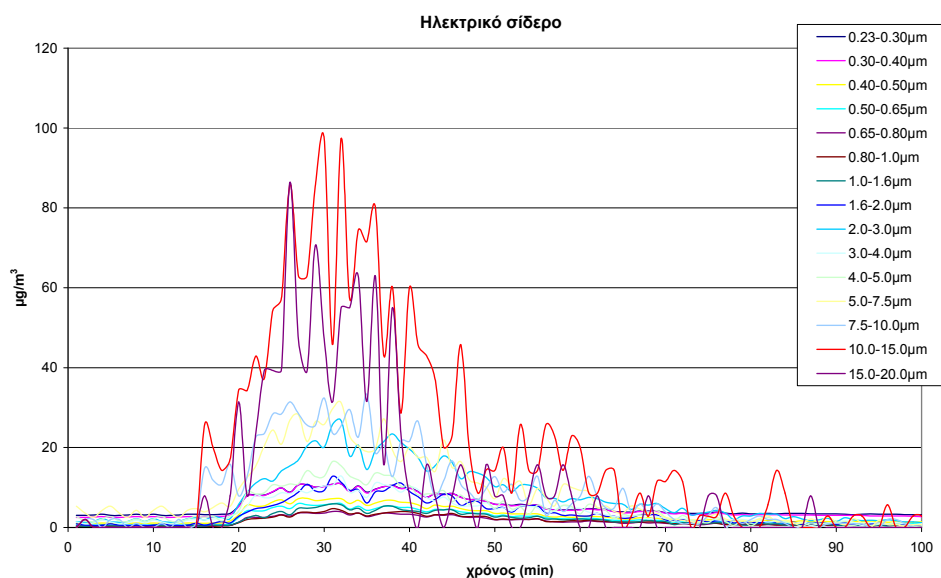
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 4.6.1β. Είναι εμφανές ότι επικρατούν τα μικρότερα του $1\mu\text{m}$ σωματίδια, ο αριθμός των οποίων αυξάνεται στα πρώτα δέκα λεπτά αλλά μειώνεται στη συνέχεια σταδιακά.



Σχήμα 4.6.1β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας του σιδερώματος (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

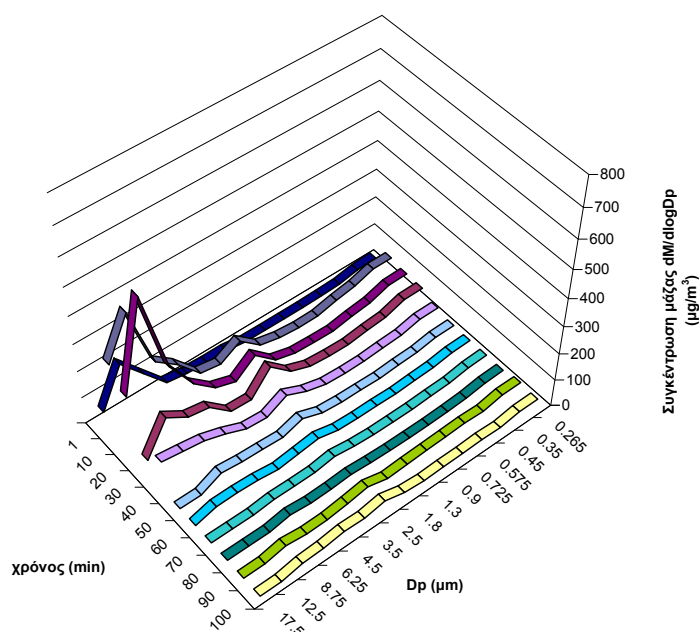
Στο σχήμα 4.6.1γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του σιδερώματος.



Σχήμα 4.6.1γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του σιδερώματος.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 16^ο έως το 31^ο λεπτό. Αύξηση της συγκέντρωσης παρατηρήθηκε σε όλα τα σωματίδια αλλά κυρίως σε εκείνα με διάμετρο **0.65-3μm** (μέχρι και 21 φορές σε σχέση με το υπόβαθρο) και **7.5-20μm** (μέχρι και 50 φορές). Χαρακτηριστικό της δοκιμής είναι το γεγονός πως τα μεγαλύτερα των 3μm κανάλια παρουσίασαν εντονότερη διακύμανση η οποία διατηρήθηκε για αρκετή ώρα (60min) μετά τη λήξη της δραστηριότητας.

Η παραγωγή μεγάλων σωματιδίων σε συνδυασμό με την έντονη διακύμανση δικαιολογείται με την ύπαρξη υδρατμών που παράγονται από τη συσκευή. Από την άλλη πλευρά, τα μικρότερα σωματίδια πιθανόν να προέρχονται από ίνες του υφάσματος και συσσωρευμένη σκόνη που θερμαίνονται στην επιφάνεια της συσκευής (Afshari et al., 2005). Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 325 μg/m³, ένα λεπτό μετά τη λήξη της δραστηριότητας. Μιάμιση ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6.1δ, η κατανομή των σωματιδίων αποτελείται και από μικρά (<3.5μm) αλλά κυρίως πολύ μεγάλα σωματίδια (5-15μm). Μάλιστα, η αύξηση της συγκέντρωσης συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια της δραστηριότητας και μετά το 20^ο λεπτό ακολουθεί μείωση.

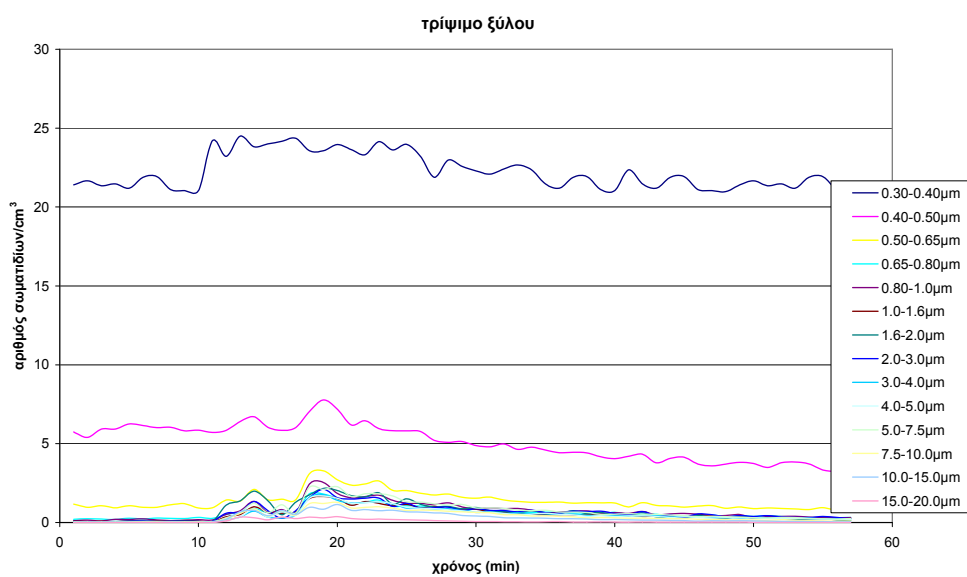


Σχήμα 4.6.1δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης του σιδερώματος (συγκέντρωση μάζας).

4.6.2 Τρίψιμο ξύλινης επιφάνειας

- Αριθμός σωματιδίων

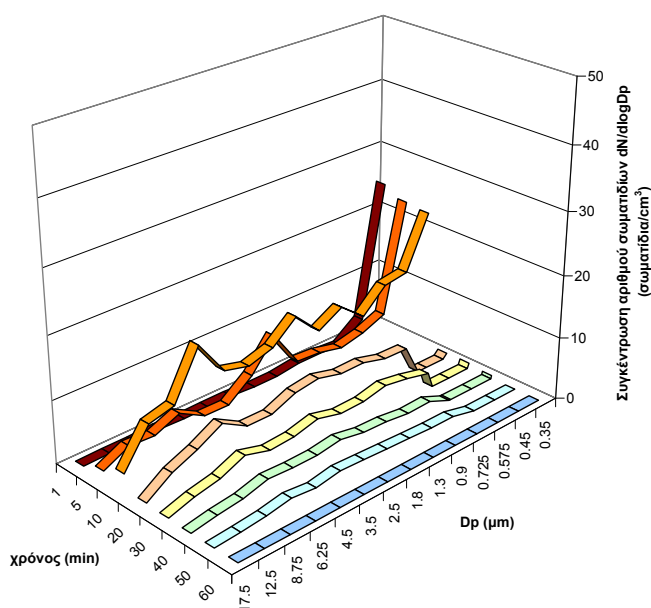
Στο σχήμα 4.6.2α δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων με το χρόνο για τη δοκιμή του τριψίματος ξύλου.



Σχήμα 4.6.2α: Συγκέντρωση αριθμού των σωματιδίων/cm³ σε 14 κανάλια μεγέθους 0.30-20.0 μm κατά τη δοκιμή του τριψίματος ξύλου.

Η δοκιμή διήρκησε 10 λεπτά (11ο-20ο λεπτό). Πρακτικά, αύξηση παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση των σωματιδίων όλων των καναλιών αλλά τα κανάλια που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αύξηση ήταν εκείνα με διάμετρο **μεγαλύτερη των 5 μm** . (έως και 220 φορές τις τιμές υποβάθρου). Η ολική συγκέντρωση παρουσίασε μέγιστη τιμή (25 σωματίδια/ cm^3) ένα λεπτό πριν τη λήξη της δραστηριότητας ενώ στη συνέχεια μειώθηκε σταδιακά και επανήλθε στα επίπεδα υποβάθρου μετά από 1 ώρα.

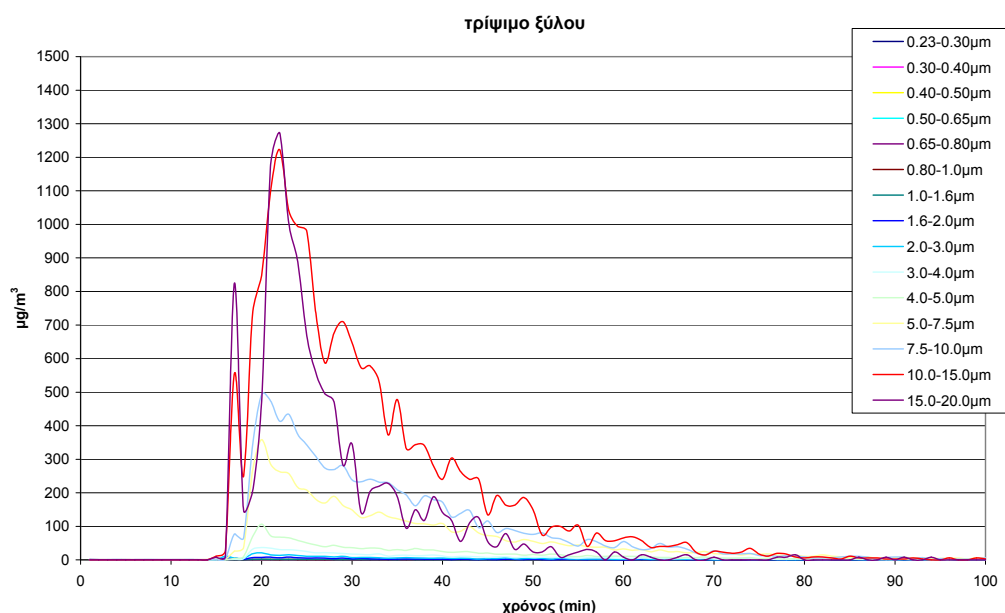
Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων με το πέρασμα του χρόνου (σχήμα 4.6.2β) αποτελείται από σωματίδια όλων των διαμέτρων. Τονίζεται η εκπομπή αξιοσημείωτου πλήθους σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 3 μm , στα οποία παρ' ότι μεγάλα, ο αριθμός γίνεται σημαντικός.



Σχήμα 4.6.2β: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της δραστηριότητας του τριψίματος ξύλου (συγκέντρωση αριθμού).

- Μάζα σωματιδίων

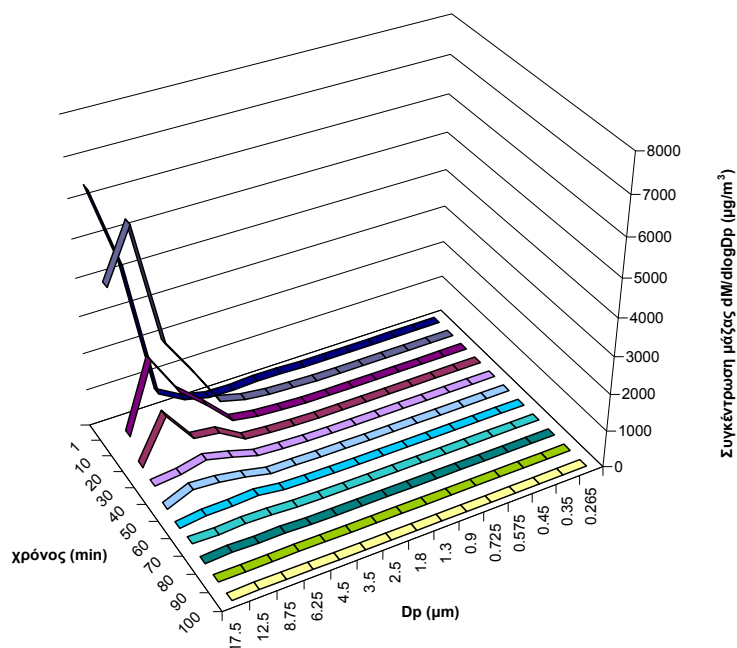
Στο σχήμα 4.6.2γ δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της μάζας σωματιδίων με το χρόνο για την δοκιμή του τριψίματος ξύλου.



Σχήμα 4.6.2γ: Συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων σε 15 κανάλια μεγέθους 0.23-20.0 μm κατά τη δοκιμή του τριψίματος ξύλου.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε από το 17^ο έως το 26^ο λεπτό. Αύξηση της συγκέντρωσης παρατηρήθηκε στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του **1μm** (τα κανάλια **10-20μm** αυξήθηκαν μέχρι και 12700 φορές σε σχέση με το υπόβαθρο). Η συνολική συγκέντρωση μάζας παρουσίασε μέγιστη τιμή 3300 μg/m³, έξι λεπτά μετά την έναρξη της δραστηριότητας. Μία ώρα μετά τη λήξη της δραστηριότητας, τα επίπεδα της συγκέντρωσης επανήλθαν στα επίπεδα υποβάθρου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6.2δ, η κατανομή των σωματιδίων αποτελείται κυρίως από πολύ μεγάλα σωματίδια (>5μm), τα οποία μετά τη λήξη της δραστηριότητας, μειώνονται σταδιακά.



Σχήμα 4.6.2δ: Χρονική εξέλιξη της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων από το 1^ο λεπτό της χρήσης του τριψίματος ξύλου (συγκέντρωση μάζας).

4.7 Υπολογισμός ρυθμού εκπομπής (emission rate) και ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης (sink rate)

Στην παράγραφο αυτή γίνεται μελέτη του **ρυθμού εκπομπής** (emission rate) και του **ρυθμού μείωσης** της συγκέντρωσης (sink rate) των σωματιδίων με το χρόνο, μετά τη λήξη της εκπομπής. Αρχικά, γίνεται υπολογισμός του ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης (k). Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο ρυθμός αυτός επηρεάζεται από μηχανισμούς *συσσωμάτωσης*, *συμπύκνωσης*, *συνάθροισης* και *εναπόθεσης* των σωματιδίων. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να συνεισφέρουν θετικά ή αρνητικά στην τιμή του (για διαφορετικά κλάσματα σωματιδίων). Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση της συσσωμάτωσης σωματιδίων προς μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια, ο ρυθμός μείωσης των μικρότερων είναι θετικός ενώ ο αντίστοιχος των μεγαλύτερων είναι αρνητικός, αφού παράγονται συνεχώς νέα. Στη συνέχεια, η τιμή του ρυθμού μείωσης k χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού εκπομπής Q , για το διάστημα λειτουργίας της πηγής.

1) Για τον υπολογισμό του **ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης** των σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από τους He et al., 2005. Πιο

συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη τις συνεισφορές από τις εσωτερικές και τις εξωτερικές πηγές, την εναπόθεση, το ρυθμό εξαερισμού και υποθέτοντας συνθήκες καλής ανάμειξης, η συγκέντρωση των σωματιδίων στον εσωτερικό χώρο μπορεί να εκφραστεί από την εξίσωση (1) η οποία χρησιμοποιείται και από τους Chen et al., 2000; Thatcher and Layton 1995; Koutrakis et al., 1992.

$$\frac{dC_{in}}{dt} = P \cdot C_{out} + \frac{Q}{V} - (a + k)C_{in} \quad (1)$$

όπου C_{in} , C_{out} η εσωτερική και εξωτερική συγκέντρωση σωματιδίων αντίστοιχα, a ο ρυθμός εξαερισμού, P ικανότητα διείσδυσης (*penetration efficiency*) Q ο ρυθμός εκπομπής των σωματιδίων, t ο χρόνος, k ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης και V ο όγκος του χώρου. Όλοι οι παράγοντες αυτοί, με εξαίρεση τον όγκο του δωματίου, είναι συναρτήσεις άλλων παραγόντων π.χ. η ικανότητα διείσδυσης εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων.

Απουσία άλλων εσωτερικών πηγών, η εξίσωση (1) γράφεται:

$$\frac{dC_{in}}{dt} = PaC_{out} - (a + k)C_{in} \quad (2)$$

Με σκοπό τον υπολογισμό του ρυθμού μείωσης των σωματιδίων (k) η εξίσωση 2 απλοποιείται αν θεωρηθούν τα a και k σταθερά και το P ίσο με τη μονάδα -η τελευταία παραδοχή γίνεται συχνά για τα σωματίδια όλων των μεγεθών (Wallace, 1996). Παρόλα αυτά, σε κάποιες μελέτες, το P έχει θεωρηθεί μικρότερο της μονάδας (Abt et al., 2000a; Long et al., 2001). Όπως επισημαίνουν οι He et al., 2005, το σφάλμα που προκύπτει από την παραδοχή είναι αμελητέο καθώς η εσωτερική συγκέντρωση κατά τη λειτουργία της πηγής είναι πολύ μεγαλύτερη της εξωτερικής. ($C_{in0} \gg C_{out}$). Αυτό απλοποιεί εκ νέου την εξίσωση (2) και η χρόνο-εξαρτώμενη λύση της δίνεται από τη σχέση (3):

$$\ln\left(\frac{C_{in}}{C_{in\max}}\right) = -(a + k)t \quad (3)$$

όπου $C_{in,t}$ and $C_{in\max}$ είναι αντίστοιχα η συγκέντρωση των σωματιδίων για κάθε χρονική στιγμή και η μέγιστη εσωτερική συγκέντρωση των σωματιδίων; a είναι ο

ρυθμός εξαερισμού του θαλάμου δοκιμών και t είναι ο χρόνος. Βάσει της εξίσωσης αυτής και υποθέτοντας ομοιόμορφη ανάμειξη του αέρα και αμελητέα την εξωτερική συγκέντρωση, υπολογίζεται ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης k (από την κλίση του γραφήματος C_{in}/C_{inmax} με το χρόνο). Ο ρυθμός εξαερισμού α για τον συγκεκριμένο χώρο ήταν $0.1h^{-1}$. Η σχέση (3) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία (He et al., 2005; Abt et al., 2000a; Vette et al., 2001; Howard-Reed et al., 2003).

Στον πίνακα 4.7.1 παρουσιάζονται οι τιμές του k σε μονάδες h^{-1} για τρία κλάσματα σωματιδίων, καθώς φαίνεται πως υπάρχει διαφοροποίηση με το μέγεθος των σωματιδίων. Στις περιπτώσεις που ο γραμμικός συντελεστής συσχέτισης (R^2) είναι μικρότερος από 0.45, ο ρυθμός μείωσης δεν συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση (He et al., 2005).

Τόσο στις μετρήσεις αριθμού όσο και στις μετρήσεις μάζας σωματιδίων, παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές ρυθμού μείωσης στα σωματίδια με διάμετρο έως $1\mu m$. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς αντίστοιχες μελέτες έχουν δείξει πως ο ρυθμός εναπόθεσης των σωματιδίων γίνεται ελάχιστος για διαμέτρους μεταξύ $0.1-1\mu m$, μεγαλύτερος για διαμέτρους $1-10\mu m$ ενώ για μικρότερα των $0.1\mu m$ σωματίδια είναι μη προβλέψιμος (ASHRAE 1997; He et al., 2005; Afshari et al., 2005).

	0.23-1.0 μm		1.0-3.0 μm		3.0-10 μm	
	αριθμός σωματιδίων	μάζα σωματιδίων	αριθμός σωματιδίων	μάζα σωματιδίων	αριθμός σωματιδίων	μάζα σωματιδίων
καπνισμα (ελαφρύ τσιγάρο)	0.82	0.62	1.04	0.98	0.99	—
καπνισμα (βαρύ τσιγάρο)	0.94	0.78	1.12	1.02	—	—
αρωμ. κεριά	0.58	1.39	1.25	—	—	—
αρωμ. στικς	0.77	1.62	1.65	1.98	—	2.05
ξεσκόνισμα	0.22	0.90	0.85	2.18	1.18	4.17
υγρό ξεσκόνισμα	0.18	0.81	0.41	1.89	0.98	3.85
τίναγμα μαξιλαιών	0.14	0.19	0.98	1.01	3.24	3.29
τοποθέτηση μοκέτας	0.22	0.39	0.61	1.71	0.98	3.02
περπάτημα σε μοκέτα	0.24	0.29	1.05	0.91	3.58	3.7
περπάτημα χωρίς μοκέτα	0.38	0.75	0.83	1.86	0.94	2.80
ηλεκτρική σκούπα	0.24	0.66	1.12	1.90	2.59	6.15
απλή σκούπα	0.38	0.42	0.85	0.89	1.65	2.15
σφουγγάρισμα	0.24	0.95	0.35	1.65	0.78	3.01
τηγάνισμα	0.87	0.53	1.86	0.96	2.46	1.21
ψήσιμο grill	1.98	4.00	2.49	5.06	2.98	5.64
βράσιμο	0.11	0.23	—	—	—	—
καφετιέρα	0.14	0.18	—	—	—	—
τοστιέρα	0.12	0.11	—	—	—	—
εστία υγραερίου	0.08	0.08	—	—	—	—
εστία ηλεκτρική	0.09	0.12	—	—	—	—
αρωματικό σπρέυ χώρου	0.77	1.04	1.33	1.34	—	1.86
καθαριστικό σπρέυ	0.71	—	1.45	1.54	1.49	—
καλλυντικό σπρέυ	0.78	2.54	3.81	—	—	2.86
σπρέυ μαλλιών (λακ)	0.85	1.59	1.39	1.51	1.96	2.02
σιδέρωμα	-0.21	0.99	0.45	1.84	—	2.52
τρίψιμο ξύλου	0.20	0.23	1.05	1.25	1.54	1.85

Πίνακας 4.7.1: τιμές του k σε μονάδες h^{-1} . Στις περιπτώσεις που ο γραμμικός συντελεστής συσχέτισης (R^2) είναι μικρότερος από 0.45, η τιμή του k παραλείπεται (He et al., 2005).

Για τα σωματίδια με διάμετρο έως 1μm, οι μικρότερες τιμές του ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων βρέθηκαν για τις πηγές επαναιώρησης, λειτουργίας των εστιών, της τοστιέρας και της καφετιέρας. Οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν στη δοκιμή του ψησίματος σε grill, του τηγανίσματος, του καπνίσματος και της χρήσης σπρέυ μαλλιών (για τον αριθμό σωματιδίων) και του ψησίματος σε grill, της χρήσης σπρέυ και της καύσης των κεριών και των στικς για τις μετρήσεις μάζας.

Για τα μεγαλύτερα σωματίδια, ο υπολογισμός του ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης δεν ήταν πάντοτε εφικτός, καθώς σε κάποιες περιπτώσεις ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν πολύ μικρός. Στις περιπτώσεις που ήταν υπολογίσιμος, παρατηρήθηκε ότι η τιμή του αυξάνει με το μέγεθος των σωματιδίων. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στις δοκιμές του ψησίματος και τηγανίσματος και τις πηγές επαναιώρησης. Γενικότερα, οι τιμές στις οποίες κυμάνθηκε το k ήταν μεταξύ -0.21 και 6,2 που έρχονται σε συμφωνία με αντίστοιχους υπολογισμούς από άλλες μελέτες (Afshari et al., 2005; He et al., 2005).

Με σκοπό την εξέταση της ύπαρξης ή μη του μηχανισμού συσσωμάτωσης, γίνεται μία σύγκριση της τιμής του k που προέρχεται από μετρήσεις μάζας σωματιδίων με εκείνη που προέρχεται από μετρήσεις αριθμού σωματιδίων (He et al., 2005). Πιο συγκεκριμένα, αν ο μηχανισμός συσσωμάτωσης είναι υπολογίσιμος, η τιμή του k από τις μετρήσεις μάζας αναμένεται να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των μετρήσεων αριθμού. Η συσσωμάτωση αυξάνει τη μάζα των νέων σωματιδίων που σχηματίζονται, επομένως μειώνει το ρυθμό k. Αντίθετα προκαλεί μείωση στον αριθμό αυτών που συσσωματώνονται (μικρότερης διαμέτρου) και αυξάνει επιπρόσθετα το k.

Στην παρούσα μελέτη, η τιμή του k (από μετρήσεις μάζας) ήταν σχεδόν ίση ή μεγαλύτερη από εκείνη που προέρχεται από τις μετρήσεις αριθμού, επομένως ο μηχανισμός της συσσωμάτωσης δε μπορεί να θεωρηθεί σημαντικός σε σχέση με τους άλλους (εναπόθεση, αύξηση μεγέθους με το χρόνο, συμπύκνωση σε υδρατμούς κ.α.). Εξάιρεση αποτελούν οι δοκιμές του καπνίσματος και του τηγανίσματος.

Συνοψίζοντας, από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό μείωσης της συγκέντρωσης k είναι η *εναπόθεση των σωματιδίων* και η *ανταλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον*. Ο μηχανισμός της συσσωμάτωσης μπορεί να συνεισφέρει θετικά ή αρνητικά στο ρυθμό μείωσης, αν και στην πλειοψηφία των

περιπτώσεων δεν θεωρείται εξίσου σημαντικός με τους άλλους, με εξαίρεση το κάπνισμα, το τηγάνισμα και το ψήσιμο σε grill.

II) Για τον υπολογισμό του **ρυθμού εκπομπής Q** χρησιμοποιείται η ίδια εξίσωση

$$\frac{dC_{in}}{dt} = PC_{out} + \frac{Q}{V} - (a + k)C_{in} \quad (1)$$

όπου C_{in} , C_{out} η εσωτερική και εξωτερική συγκέντρωση σωματιδίων αντίστοιχα, a ο ρυθμός εξαερισμού, P ικανότητα διείσδυσης (penetration efficiency) Q ο ρυθμός εκπομπής των σωματιδίων, t ο χρόνος, k ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης και V ο όγκος του χώρου. Με την παραδοχή ότι το P ισούται σχεδόν με τη μονάδα (όπως προηγουμένως) και $C_{in0} \gg C_{out}$, η εξίσωση μετατρέπεται στην

$$\frac{dC_{in}}{dt} = \frac{Q}{V} - (a + k)C_{in} \quad (4)$$

της οποίας η αναλυτική λύση είναι η

$$C = \frac{Q}{Vk} (1 - e^{-(a+k)t}) \quad (5)$$

όπως έχει χρησιμοποιηθεί και από τους Fan et al., 2001; Schart et al., 1995. Με γνωστό τον όγκο του χώρου (18.14 m^3), ο ρυθμός εκπομπής Q υπολογίζεται από την κλίση της καμπύλης C με την ποσότητα $1 - e^{-(a+k)t}$. Η τιμή του ρυθμού εξαερισμού a είναι 0.1 h^{-1} , όπως μετρήθηκε για το συγκεκριμένο χώρο. Για το k , χρησιμοποιούνται οι τιμές που υπολογίστηκαν για κάθε κανάλι μεγέθους, για κάθε πηγή.

Τα αποτελέσματα για την τιμή του ρυθμού εκπομπής Q παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7.2. Ο ρυθμός εκπομπής δεν ήταν δυνατό να υπολογιστεί σε όλες τις περιπτώσεις και για όλα τα κανάλια μεγέθους.

	0.23-1.0μm		1.0-3.0μm		3.0-10μm	
	αριθμός σωματιδίων	μάζα σωματιδίων	αριθμός σωματιδίων	μάζα σωματιδίων	αριθμός σωματιδίων	μάζα σωματιδίων
	(σωματίδια/min)	(μg/min)	(σωματίδια/min)	(μg/min)	(σωματίδια/min)	(μg/min)
καπνισμα (ελαφρύ τσιγάρο)	2.50E+05	16	125	46	—	—
καπνισμα (βαρύ τσιγάρο)	3.10E+05	14	158	38	—	—
αρωμ. κεριά	1.08E+04	6	22	—	—	—
αρωμ. στικς	3.60E+05	20	305	56	—	304
τηγάνισμα	4.85E+06	60	5.50E+04	85	—	72
ψήσιμο grill	5.21E+06	264	7.50E+04	610	—	408
αρωματικό σπρέυ χώρου	7.20E+04	189	3.25E+03	254	—	1244
καθαριστικό σπρέυ	3.00E+04	—	2.85E+03	220	—	—
καλλυντικό σπρέυ	7.80E+05	144	4.56E+05	—	—	2580
σπρέυ μαλλιών (λακ)	7.50E+05	153	5.14E+05	308	—	3345

Πίνακας 4.7.2: τιμές του Q σε μονάδες σωματίδια/min ή μg/min για τρία κλάσματα σωματιδίων

Η τιμή του ρυθμού εκπομπής της πηγής της καύσης κεριών έχει υπολογιστεί και από τους Glytsos et al., 2010; Zai et al., 2006; Afshari et al., 2005; Fan et al., 2001. Οι See et al., 2007 υπολόγισαν τον ρυθμό εκπομπής των υπέρλεπτων σωματιδίων από την καύση των αρωματικών στικς ενώ οι He et al., 2004; Afshari et al., 2005; Buonanno et al., 2009 υπολόγισαν τον αντίστοιχο ρυθμό από το τηγάνισμα. Τον ρυθμό εκπομπής από το κάπνισμα υπολόγισαν οι Glytsos et al., 2010; Afshari et al., 2005; He et al., 2004. Τα αποτελέσματα δεν είναι πάντοτε συγκρίσιμα μεταξύ των μελετών καθώς είτε διαφορετικά υλικά και πηγές χρησιμοποιήθηκαν είτε μετρήθηκε διαφορετικό κλάσμα μεγέθους σωματιδίων.

Μία εκτίμηση του παράγοντα εκπομπής της πηγής (**emission factor**) μπορεί να πραγματοποιηθεί (για ένα μέρος των πηγών) ακολουθώντας τη μεθοδολογία των Fan et al., 2001, στην οποία θεωρήθηκε ότι

$$E_f = Q / B \quad (6)$$

E_f : παράγοντας εκπομπής της πηγής (emission factor) σε αριθμό σωματιδίων ή μg σωματιδίων που εκπέμπονται ανά g υλικού που καίγεται/χάνεται.

Q: ο ρυθμός εκπομπής των σωματιδίων σε σωματίδια/min ή σε μg/min.

B: ρυθμός απώλειας μάζας υλικού που καίγεται/χάνεται

Στον πίνακα 4.7.3 παρουσιάζονται οι τιμές του παράγοντα εκπομπής (emission factor) E_f για τις πηγές του καπνίσματος, της καύσης αρωματικών κεριών και των τεσσάρων σπρέυ. Οι τιμές του B (ρυθμός απώλειας μάζας υλικού) για το κάπνισμα και τα κεριά βρέθηκαν από τη βιβλιογραφία ενώ για τα σπρέυ υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

	B (g υλικού/min)	0.23-1.0μm		1.0-3.0μm		3.0-10μm	
		E (αριθμός σωματιδίων/ g υλικού)	E (μg σωματιδίων/g υλικού)	E (αριθμός σωματιδίων/ g υλικού)	E (μg σωματιδίων/ g υλικού)	E (αριθμός σωματιδίων/ g υλικού)	E (μg σωματιδίων/g υλικού)
καπνισμα (ελαφρύ τσιγάρο)*	0.18	1.4E+06	88.9	694	256	—	—
καπνισμα (βαρύ τσιγάρο)*	0.18	1.7E+06	77.8	878	211	—	—
αρωμ. κεριά * *	0.0625	1.7E+05	96.0	352	—	—	—
αρωματικό σπρέυ χώρου	5	1.4E+04	37.8	650	50.8	—	249
καθαριστικό σπρέυ	5	6.0E+03	—	570	44.0	—	—
καλλυντικό σπρέυ	5	1.6E+05	28.8	91200	—	—	516
σπρέυ μαλιών (λακ)	5	1.5E+05	30.6	102800	61.6	—	669
*τιμή του B από Klepeis et al., 2003							
*τιμή του B από Fan et al., 2004							

Πίνακας 4.7.3: τιμές του παράγοντα εκπομπής E

4.8 Συζήτηση αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον

Το σύνολο των δραστηριοτήτων-πηγών που εξετάστηκαν χαρακτηρίζεται από *ομοιότητες* και *διαφορές* που αφορούν στο μέγεθος των σωματιδίων που παράγονται, στην ποσότητά τους, στο ρυθμό μείωσής τους μετά τη λήξη της δραστηριότητας κ.α. Κάνοντας ένα διαχωρισμό βάσει του *είδους των σωματιδίων* που παράγονται από κάθε δραστηριότητα, παρατηρούμε ότι σχεδόν όλες οι πηγές παράγουν σωματίδια σε όλο το φάσμα μεγέθους από 0.23 μm (ή 0.3 για τον αριθμό σωματιδίων) έως 20μm. Παρ' όλα αυτά, σε κάθε δοκιμή, κάποια κανάλια φάνηκε να επηρεάζονται περισσότερο και σε μερικές περιπτώσεις η συγκέντρωση σε αυτά ήταν κάποιες χιλιάδες φορές αυξημένη σε σχέση με το υπόβαθρο. Μάλιστα, σε κάποιες πηγές επηρεάστηκαν περισσότερο από ένα κλάσματα σωματιδίων (π.χ. πολύ μικρά και πολύ μεγάλα) λόγω της φύσης της πηγής. Επιπλέον, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων (βάσει μάζας ή αριθμού) κατά τη διάρκεια και μετά τη λήξη της δραστηριότητας μπορεί να διαφέρει σημαντικά από πηγή σε πηγή. *Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά αυτά κάθε πηγής, έγινε μία ποιοτική ταξινόμηση των πηγών βάσει του είδους (μεγέθους) σωματιδίων που παράγουν (πίνακας 4.8.1).*

Όσον αφορά στον **αριθμό** των σωματιδίων, από όλες τις πηγές παρήχθησαν σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1μm, γεγονός αναμενόμενο διότι ο αριθμός των σωματιδίων γίνεται σημαντικότερος όσο μικραίνει η διάμετρός τους. Οι πηγές

του καπνίσματος (και με τους 2 τύπους τσιγάρων), της καύσης των κεριών και των στικς, της χρήσης καφετιέρας και τοστιέρας και του σιδερώματος ήταν εκείνες που συνδέθηκαν κυρίως με την εκπομπή μικρότερων του 1 μ m σωματιδίων. Αξιοσημείωτος ήταν ο αριθμός των σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 10 μ m στις περιπτώσεις του απλού και υγρού ξεσκονίσματος (πηγή επαναιώρησης στις παράπλευρες επιφάνειες του χώρου), στο περπάτημα σε μοκέτα, στο ψήσιμο στο grill (μεγάλη παραγωγή υδρατμών), στο αρωματικό σπρέυ και στο τρίψιμο ξύλου. Οι υπόλοιπες πηγές, συνδέθηκαν με την παραγωγή περισσότερων κλασμάτων σωματιδίων. συμπεριλαμβανομένου και των ενδιάμεσων (1-10 μ m).

Όσον αφορά στη **μάζα** των σωματιδίων, όλες οι πηγές συνδέθηκαν με εκπομπή σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 5 μ m, επίσης αναμενόμενο καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρός τους, τόσο περισσότερο υπολογίσιμη είναι η μάζα τους. Παρόλα αυτά, υπήρξαν πηγές που συνδέθηκαν με την εκπομπή και πολύ μικρών σωματιδίων (<1 μ m): όλες οι πηγές καύσης, το ψήσιμο στο grill, η λειτουργία της τοστιέρας και το σιδέρωμα.

Εξετάζοντας τις μέγιστες τιμές της ολικής συγκέντρωσης σωματιδίων, παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφορές, τόσο μεταξύ των πηγών όσο και ανάμεσα στις μετρήσεις αριθμού και μάζας σωματιδίων (σχήματα 4.8.1α και 4.8.1β). Επίσης, στα σχήματα 4.8.2α και 4.8.2β παρουσιάζονται τα ποσοστά τριών κλασμάτων σωματιδίων (<1 μ m, 1-3 μ m και 3-20 μ m) στην τιμή της μέγιστης συγκέντρωσης για κάθε πηγή.

Πίνακας 4.8.1. Ποιοτική κατάταξη των δραστηριοτήτων-πηγών ανάλογα με το κλάσμα μεγέθους των σωματιδίων που παράγουν.

	Αριθμός σωματιδίων			Μάζα σωματιδίων				
	0.3-1µm	1-5µm	5-10µm	>10µm	0.3-1µm	1-5µm	5-10µm	>10µm
καπνισμα (ελαφρύ τσιγάρο)	✓				✓			✓
καπνισμα (βαρύ τσιγάρο)	✓				✓			✓
αρωμ. κεριά	✓	✓ (σβήσιμο)			✓	✓ (σβήσιμο)	✓ (σβήσιμο)	✓ (σβήσιμο)
αρωμ. στικς	✓				✓			✓
ξεσκόνισμα	✓	✓	✓	✓				✓
υγρό ξεσκόνισμα	✓	✓	✓	✓				✓
τίναγμα μαξιλαριών	✓							✓
τοποθέτηση μοκέτας		✓						✓
περπάτημα σε μοκέτα	✓	✓	✓	✓				✓
περπάτημα χωρίς μοκέτα	✓	✓						✓
ηλεκτρική σκούπα	✓	✓						✓
απλή σκούπα	✓	✓						✓
σφουγγάρισμα	✓	✓						✓
τηγάνισμα	✓	✓						✓
ψήσιμο grill	✓	✓	✓		✓			✓
βράσιμο	✓	✓						✓
καφετιέρα	✓							✓
τοστιέρα	✓				✓			✓
εστία υγραερίου	✓	✓						✓
εστία ηλεκτρική	✓	✓						✓
αρωματικό σπρέι χώρου	✓		✓					✓
καθαριστικό σπρέι	✓	✓						✓
καλλυντικό σπρέι	✓	✓						✓
σπρέι μαλλιών (λακ)	✓	✓						✓
σιδέρωμα	✓				✓			✓
τρίψιμο ξύλου	✓	✓	✓	✓				✓

Όσον αφορά στον **αριθμό** σωματιδίων, τη *μεγαλύτερη τιμή ολικής συγκέντρωσης* (0.3-20 μ m) παρουσίασε το ψήσιμο στο grill (σχήμα 4.8.1α). Μεγάλες σχετικά με το σύνολο τιμές μέγιστης συγκέντρωσης καταγράφηκαν για το τηγάνισμα, το κάπνισμα, τη χρήση του σπρέυ μαλλιών και το σιδέρωμα. Αξιοσημείωτη διαφορά παρατηρείται στις τιμές μέγιστης συγκέντρωσης μεταξύ του καπνίσματος των τσιγάρων διαφορετικού τύπου. Οι πηγές που παρουσίασαν τις *μικρότερες τιμές ολικής συγκέντρωσης* αριθμού σωματιδίων ήταν το βράσιμο νερού, η χρήση της ηλεκτρικής εστίας και εστίας υγραερίου, το περπάτημα σε μοκέτα και η τοποθέτηση μοκέτας, το τίναγμα μαξιλαριών και το τρίψιμο ξύλου (σχήμα 4.8.1α). Οι λόγοι που εξηγούν τις χαμηλές τιμές συγκέντρωσης, διαφέρουν σε κάθε περίπτωση. Οι πηγές επαναιώρησης, όπως έχει αναφερθεί, συνδέονται με μεγαλύτερα σωματίδια, στα οποία ο αριθμός δε γίνεται τόσο σημαντικός όσο η μάζα. Από την άλλη πλευρά, η χρήση των εστιών που έχει συνδεθεί με παραγωγή μικρών σωματιδίων, χαρακτηρίζεται από μικρό ρυθμό εκπομπής με αποτέλεσμα να κατατάσσονται στις πηγές με τις μικρότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις, όπως έχει βρεθεί και από τους Afshari et al., 2005. Τέλος, εξετάζοντας τα ποσοστά των κλασμάτων των σωματιδίων όταν η συγκέντρωση έλαβε μέγιστη τιμή, παρατηρείται ότι τα μικρά σωματίδια (έως 1 μ m) υπερτερούν (σχήμα 4.8.2α). Μάλιστα, για τις πηγές του καπνίσματος, της καύσης των στικς και των κεριών, της ηλεκτρικής σκούπας, του σφουγγαρίσματος, του τηγανίσματος και του ψήσιμου σε grill, της χρήσης των εστιών και του σιδερώματος, το ποσοστό των σωματιδίων αυτών ξεπερνά το 95%. Οι πηγές στις οποίες το ποσοστό των πολύ μικρών σωματιδίων περιορίζεται ενώ αυξάνεται εκείνο των μεγαλύτερων είναι όλες οι πηγές επαναιώρησης, το αρωματικό σπρέυ χώρου και το τρίψιμο ξύλου.

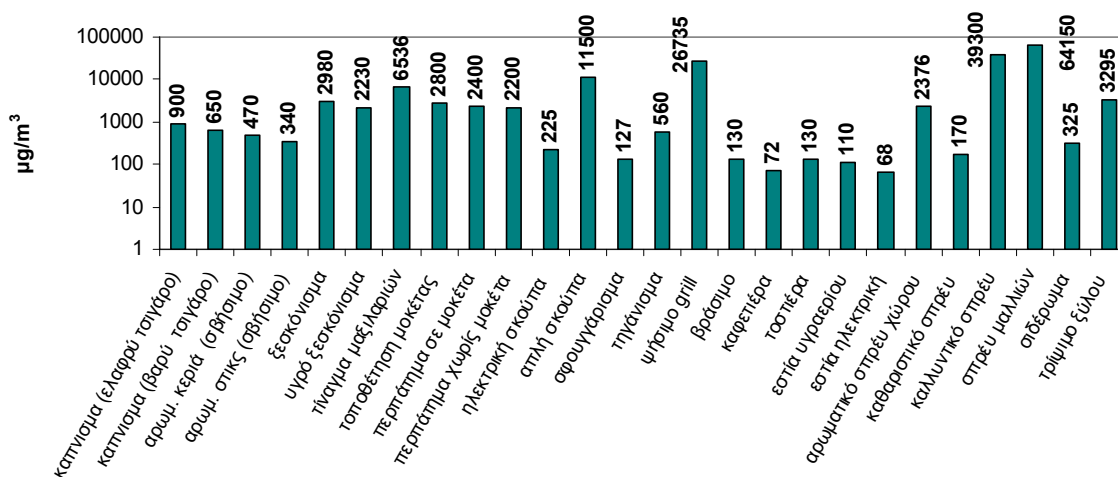
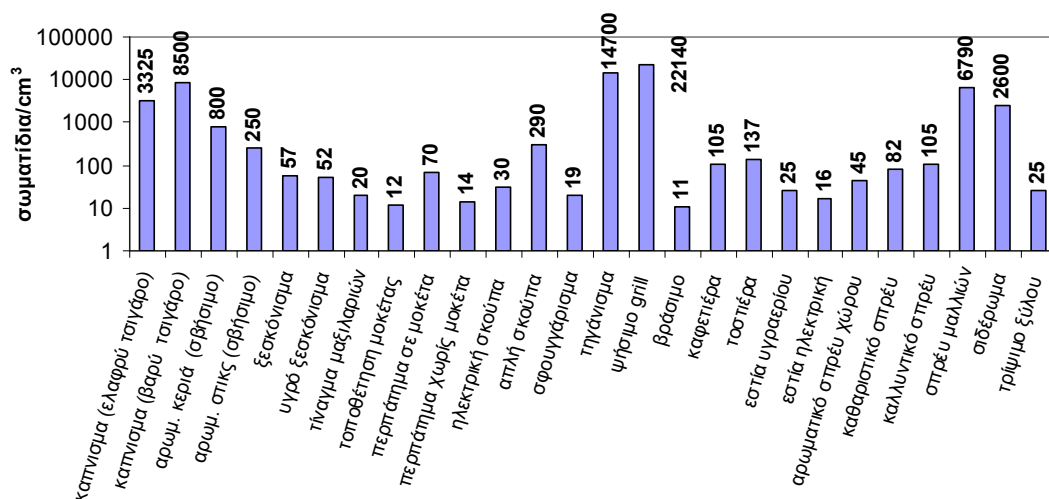
Όσον αφορά στη **μάζα** των σωματιδίων, τη *μεγαλύτερη τιμή ολικής συγκέντρωσης* (0.23-20 μ m) παρουσίασε το σπρέυ μαλλιών (σχήμα 4.8.1β). Στην ίδια τάξη μεγέθους κυμάνθηκαν και το καλλυντικό σπρέυ και το ψήσιμο στο grill. Ακολουθούν όλες οι πηγές επαναιώρησης και το τρίψιμο ξύλου. Αξιοσημείωτη διαφορά παρατηρείται μεταξύ των τεσσάρων ειδών σπρέυ, με το καθαριστικό και αρωματικό σπρέυ χώρου να έχει εμφανώς χαμηλότερη μέγιστη συγκέντρωση από τα άλλα.

Οι πηγές που εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές μέγιστης ολικής συγκέντρωσης ήταν το βράσιμο, η τσοσιέρα, η καφετιέρα, η χρήση ηλεκτρικής εστίας και εστίας υγραερίου και το σφουγγάρισμα.

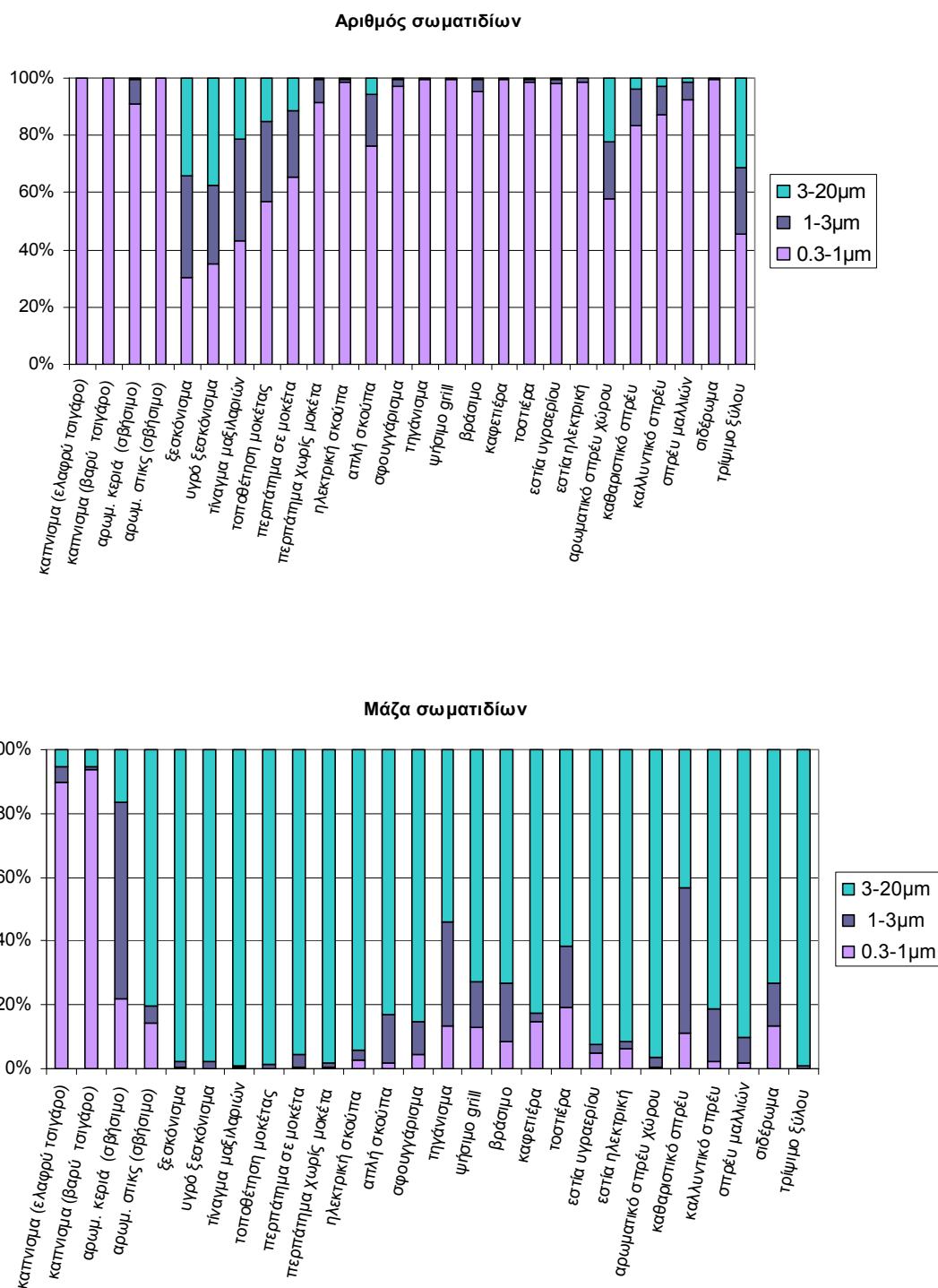
Εξετάζοντας τα ποσοστά των κλασμάτων των σωματιδίων όταν η συγκέντρωση έλαβε μέγιστη τιμή, παρατηρείται ότι -σε αντίθεση με τις μετρήσεις αριθμού-υπερτερούν τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 3μm (σχήμα 4.8.2β). Εξαίρεση αποτελεί το κάπνισμα, στο οποίο το ποσοστό της μάζας των μικρότερων του 1μm σωματιδίων ξεπερνά το 80%. Αντίθετα, στις πηγές της επαναιώρησης και του τριψίματος ξύλου, το ποσοστό των μεγάλων σωματιδίων (>3μm) ξεπερνά το 90%. Σε όλες τις άλλες πηγές, αξιοσημείωτο γίνεται και το ποσοστό των σωματιδίων μεταξύ 1-3μm.

Ένας διαχωρισμός των πηγών που εξετάστηκαν μπορεί να γίνει βάσει της *απότομης ή μη αύξησης της συγκέντρωσης* και της σύντομης πτώσης της στη συνέχεια. Έχει βρεθεί ότι περισσότερο επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία μπορεί να είναι μία στιγμιαία ή μικρής διάρκειας έκθεση σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, παρά μία μακροχρόνια έκθεση σε λιγότερο υψηλές συγκεντρώσεις (Janssen et al. 2002; Peters et al. 2001; Garrett et al., 1998). Διαχωρίζοντας τις πηγές που εξετάστηκαν, αυτές που παρουσίασαν απότομη αύξηση της συγκέντρωσης (είτε κατά την διάρκεια, είτε κατά τα πρώτα λεπτά μετά την λήξη της δοκιμής) ήταν όλες οι πηγές καύσης, το τηγάνισμα, το ψήσιμο σε grill και όλα τα σπρέυ. Από την άλλη πλευρά, οι πηγές επαναιώρησης συνδέθηκαν με έντονη διακύμανση της συγκέντρωσης, πιθανόν λόγω μικρών ρευμάτων αέρα που δημιουργούνται από την κίνηση.

Σχήματα 4.8.1α,β: Μέγιστη τιμή ολικής συγκέντρωσης σωματιδίων για κάθε πηγή (αριθμός και μάζα αντίστοιχα)

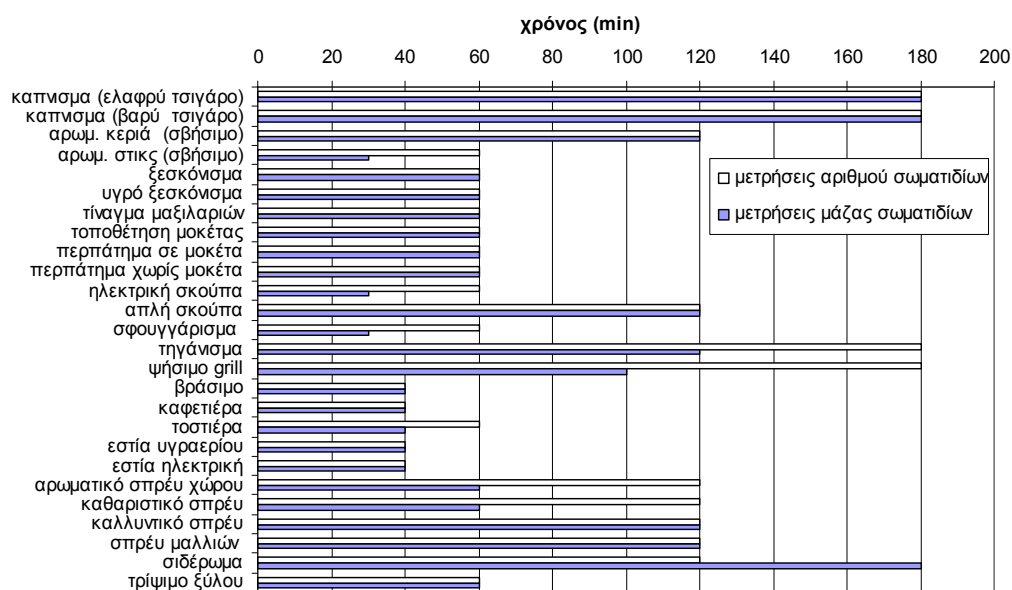


Σχήματα 4.8.2α,β: % ποσοστά τριών κλάσμάτων σωματιδίων στην τιμή της μέγιστης συγκέντρωσης για κάθε πηγή (αριθμός και μάζα αντίστοιχα)



Τέλος, εξετάζεται ο χρόνος που απαιτείται για να επανέλθει η συγκέντρωση στα αρχικά επίπεδα μετά τη λήξη της δραστηριότητας (σχήμα 4.8.3). Ο χρόνος επαναφοράς για τις περισσότερες πηγές είναι ίδιος μετρώντας αριθμό ή μάζα σωματιδίων (συντελεστής συσχέτισης $r=0.83$). Ο χρόνος αυτός ήταν μικρότερος ή ίσος με μία ώρα για όλες τις πηγές επαναιώρησης (εκτός της απλής σκούπας), την καύση των στικς, το βράσιμο, τη λειτουργία της καφετιέρας, της τοστιέρας και των εστιών, το αρωματικό και καθαριστικό σπρέυ και το τρίψιμο ξύλου (τα τρία τελευταία για την περίπτωση της μάζας). Περίπου δύο ώρες ήταν ο χρόνος επαναφοράς στα επίπεδα υποβάθρου για τις πηγές των κεριών, της απλής σκούπας, του τηγανίσματος και του ψησίματος σε grill (για την περίπτωση της μάζας), του καλλυντικού σπρέυ και του σπρέυ μαλλιών. Στις περιπτώσεις του καπνίσματος, του σιδερώματος (μετρήσεις μάζας), του τηγανίσματος και του ψησίματος στο grill (τα δύο τελευταία για την περίπτωση του αριθμού) χρειάστηκαν περίπου τρεις ώρες για να επανέλθει η συγκέντρωση στα επίπεδα υποβάθρου.

Τέλος, εξετάστηκε η συσχέτιση του χρόνου επαναφοράς στις τιμές υποβάθρου με τις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης αριθμού ή μάζας σωματιδίων. Στην περίπτωση της μάζας, δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση ($r=0.14$). Αντιθέτως, θετική συσχέτιση ($r=0.71$) παρατηρήθηκε στην περίπτωση της μέτρησης αριθμού σωματιδίων. Το γεγονός αυτό, αποτελεί μία ένδειξη ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των σωματιδίων τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη μείωση τους μετά τη λήξη της λειτουργίας της πηγής. Μάλιστα, επειδή μεγάλες συγκεντρώσεις αριθμού αντιστοιχούν σε μικρότερα σωματίδια, ο μεγάλος σχετικά χρόνος μείωσης της συγκέντρωσης θεωρείται αναμενόμενος καθώς τα σωματίδια μεταξύ 0.1-1 μm έχουν πολύ μικρή ταχύτητα εναπόθεσης (ASHRAE, 1997). Παρόλα αυτά, μόνο με τη συσχέτιση αυτή, δε μπορεί να εξαχθεί γενικό συμπέρασμα για όλες τις περιπτώσεις. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο επαναφοράς της συγκέντρωσης στα αρχικά επίπεδα είναι πολλαπλοί: η ένταση, η διάρκεια και ο τρόπος της εκπομπής, το είδος των σωματιδίων καθώς και οι μηχανισμοί της συσσωμάτωσης, συνάθροισης, εναπόθεσης κ.α. οι οποίοι, με την πάροδο του χρόνου μπορούν να επηρεάσουν θετικά ή αρνητικά τη συγκέντρωση σε κάθε κανάλι μεγέθους.



Σχήμα 4.8.3: Χρόνος επαναφοράς της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου.

Ολοκληρώνοντας την ενότητα αυτή, υπογραμμίζεται η σημασία της συσχέτισης του είδους και του μεγέθους των σωματιδίων με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (D'Ippolity et al. 2003). Όσο πιο μικρό είναι το μέγεθος των σωματιδίων, τόσο βαθύτερα έχει τη δυνατότητα να εισχωρήσει στο αναπνευστικό σύστημα, γεγονός που καθιστά την παραπάνω συσχέτιση σημαντικό κριτήριο για τις στρατηγικές αντιμετώπισης της αέριας ρύπανσης εσωτερικών χώρων (Wallace and Horward-Reed, 2002; Morawska et al., 2002; Tuch et al., 1997). Παρόλα αυτά, μέχρι στιγμής δεν είναι σαφές αν η παράμετρος της μάζας, του πλήθους ή της επιφάνειας των σωματιδίων είναι περισσότερο κρίσιμη για τις σχετικές μελέτες (Fubini et al., 2007).

Οι πληροφορίες για τα προφίλ των πηγών αιωρούμενων σωματιδίων σε ένα κτίριο, μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο σε θεωρητικές μελέτες διασποράς ρύπων ή ανίχνευσης συνεισφοράς πηγών με απώτερο σκοπό τη λήψη μέτρων για τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Μία μελέτη εκτίμησης της συνεισφοράς των πηγών σε μετρούμενες συγκεντρώσεις σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους πραγματοποιείται σε επόμενο κεφάλαιο, εφαρμόζοντας ένα μοντέλο αποδέκτη και χρησιμοποιώντας πληροφορίες για τα προφίλ πηγών από το παρόν κεφάλαιο.

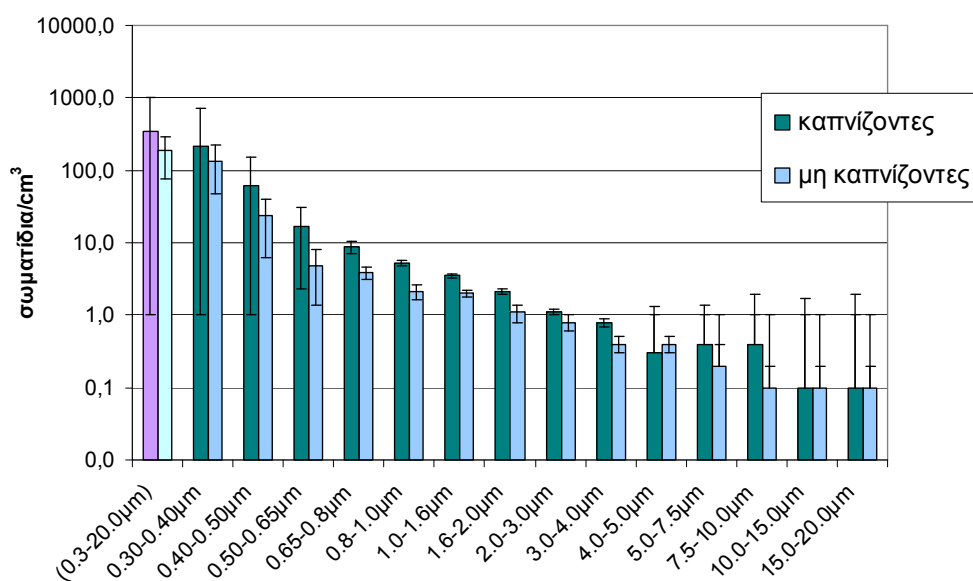
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα μετρήσεων σε πραγματικό περιβάλλον γραφείου και κατοικίας

5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων σε περιβάλλον γραφείου.....	167
5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων σε περιβάλλον κατοικίας.....	172

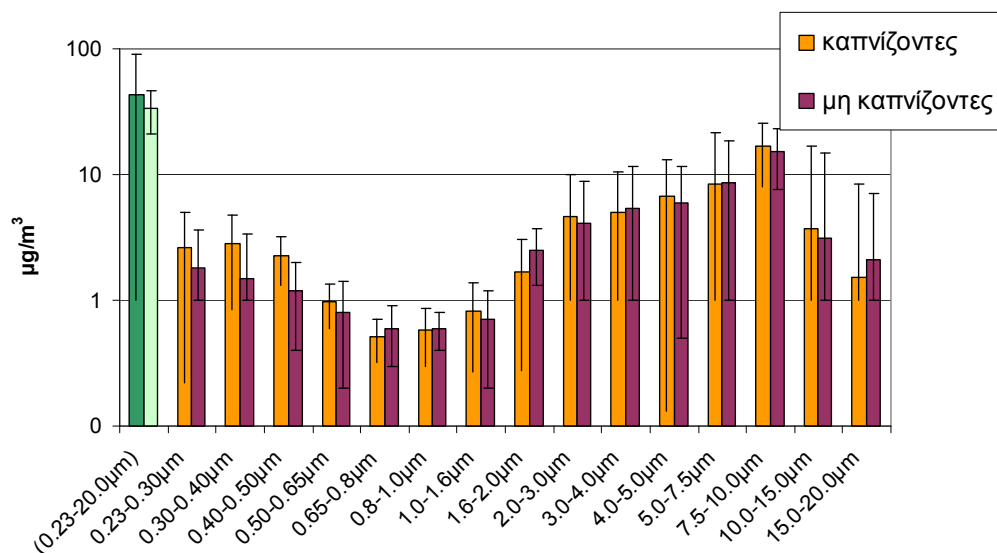
Από τις μετρήσεις στους πραγματικούς χώρους γραφείων και κατοικίας σχηματίζεται η εικόνα της ποιότητας του αέρα κατά τη διάρκεια βασικών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε αυτούς. Όπως είναι αναμενόμενο, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων διαφέρουν σημαντικά από εκείνα στο δωμάτιο δοκιμών καθώς στο πραγματικό περιβάλλον συνυπάρχουν περισσότερες από μία πηγές, οι συνθήκες εξαερισμού είναι διαφορετικές, ο σχεδιασμός των χώρων είναι περισσότερο πολύπλοκος, υπάρχει σημαντική επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον κ.α. Στο κεφάλαιο αυτό, παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων στους χώρους των γραφείων και της κατοικίας (όπως έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο 3). Επιπλέον, οι μετρήσεις αυτές αποτελούν *τα στοιχεία εισόδου στην εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη*, τα αποτελέσματα της οποίας αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων σε περιβάλλον γραφείου

Στα σχήματα 5.1.1 και 5.1.2 παρουσιάζονται η μέση τιμή της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων αντίστοιχα στο γραφείο καπνιζόντων και το γραφείο μη καπνιζόντων. Εμφανής είναι η διαφορά στη μέση τιμή της ολικής συγκέντρωσης (0.30-20 μm) αριθμού σωματιδίων μεταξύ των δύο γραφείων καθώς στο γραφείο των καπνιζόντων είναι αυξημένη κατά 90%. Το αντίστοιχο ποσοστό στην ολική συγκέντρωση μάζας σωματιδίων είναι 26%. Επιπλέον, μεταξύ των δύο γραφείων, παρατηρείται αντίστοιχη διαφορά στα επίπεδα της συγκέντρωσης ανά κανάλι και κυρίως στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1 μm . Μάλιστα, η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη στις μετρήσεις αριθμού (υψηλότερη στο γραφείο καπνιζόντων μέχρι και 3.5 φορές). Από τις παραπάνω παρατηρήσεις συμπεραίνεται ότι ο αριθμός των σωματιδίων δείχνει να επηρεάζεται περισσότερο από την παρουσία του καπνίσματος, γεγονός αναμενόμενο καθώς το κάπνισμα έχει συνδεθεί με εκπομπή κυρίως μικρών (<1 μm) σωματιδίων, το πλήθος των οποίων είναι σημαντικότερος παράγοντας από τη μάζα τους (Afshari et al., 2005; Klepeis et al., 2003; Morawska et al., 1997).



Σχήμα 5.1.1 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ολικής και ανά κανάλι συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων στο γραφείο καπνιζόντων και γραφείο μη καπνιζόντων, για όλο το διάστημα των μετρήσεων.



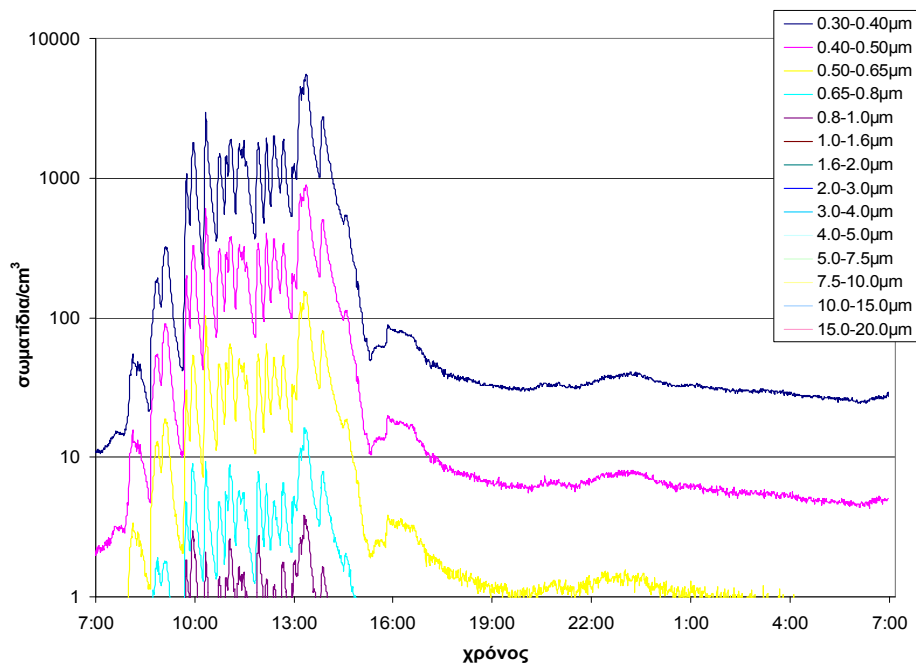
Σχήμα 5.1.2 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ολικής και ανά κανάλι συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων στο γραφείο καπνιζόντων και γραφείο μη καπνιζόντων για όλο το διάστημα των μετρήσεων.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στο **γραφείο καπνιζόντων**, παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης (0.3-20 μm) αριθμού σωματιδίων ήταν 7600 σωματίδια/ cm^3 και καταγράφηκε την ημέρα που καπνίστηκε ο μεγαλύτερος αριθμός τσιγάρων (25 τσιγάρα) από τον εθελοντή καπνιστή και τους επισκέπτες. Η χαμηλότερη τιμή ήταν 65 σωματίδια/ cm^3 και καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου δεν υπήρχαν δραστηριότητες. Αντίστοιχα η μέγιστη και ελάχιστη τιμή ολικής συγκέντρωσης μάζας (0.23-20 μm) ήταν 1400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα και παρατηρήθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

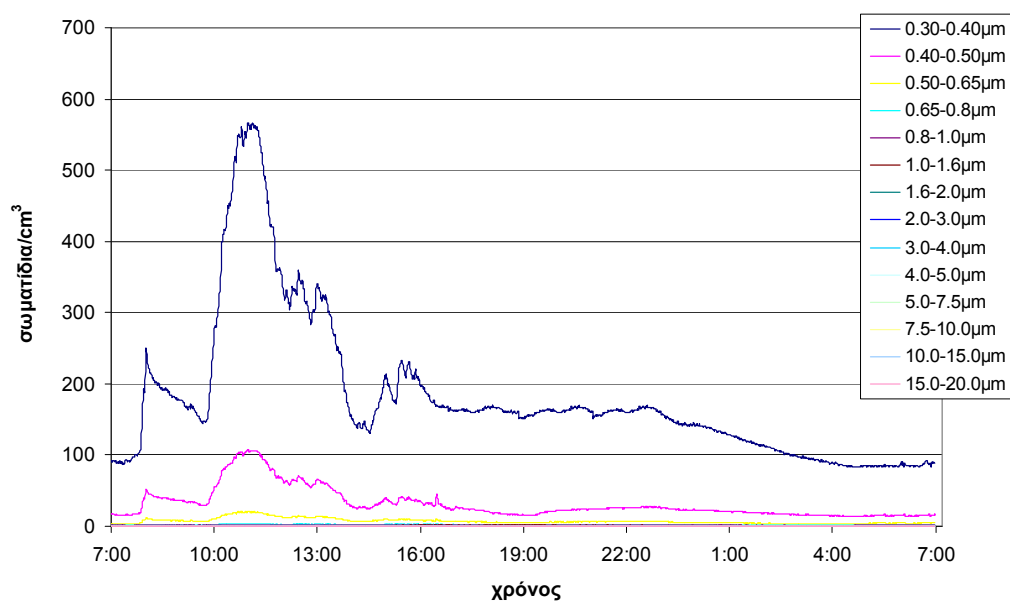
Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στο **γραφείο μη καπνιζόντων**, έδειξαν μέγιστη τιμή της ολικής συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων τα 850 σωματίδια/ cm^3 δηλαδή σχεδόν υποδεκαπλάσια από εκείνη στο πρώτο γραφείο και καταγράφηκε την ημέρα με τον μέγιστο αριθμό επισκεπτών στο χώρο (15 άτομα) όπως καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια. Η χαμηλότερη τιμή ήταν 30 σωματίδια/ cm^3 και καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου δεν υπήρχαν δραστηριότητες. Η μέγιστη και ελάχιστη τιμή ολικής συγκέντρωσης μάζας ήταν 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα και παρατηρήθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Η εικόνα της διακύμανσης της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας κατά τη διάρκεια μιας τυπικής μέρας στο γραφείο καπνιζόντων και μη καπνιζόντων δίνεται στα σχήματα 5.1.3-6. Είναι εμφανές ότι τα επίπεδα της συγκέντρωσης (αριθμού και μάζας) είναι αυξημένα και χαρακτηρίζονται από έντονη διακύμανση κατά τη διάρκεια του εργασιακού ωραρίου (8πμ-4μμ). Μάλιστα, παρατηρείται πως ακόμα και μετά τη λήξη του ωραρίου και των δραστηριοτήτων στους χώρους, διατηρούνται αυξημένα για ένα χρονικό διάστημα και στη συνέχεια μειώνονται σταδιακά. Ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης (αριθμού και μάζας) δεν είναι ο ίδιος για όλα τα κανάλια μεγέθους, καθώς τα μεγαλύτερα σωματίδια (>5 μm) μειώνονται γρηγορότερα λόγω βαρύτητας και εναπόθεσης στις επιφάνειες των χώρων ενώ τα μικρότερα του 1 μm σωματίδια μπορούν να αιωρούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο χώρο (He et al., 2005). Τέλος, εντονότερη διακύμανση παρατηρείται στο γραφείο των καπνιζόντων και στα μικρότερα (<1 μm) σωματίδια. Οι κορυφές των μεγάλων τιμών συγκέντρωσης αριθμού και μάζας στο γραφείο αυτό ταυτίζονται με τις χρονικές στιγμές που κάποιος/κάποιοι εθελοντής/ες κάπνιζαν, όπως καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια.

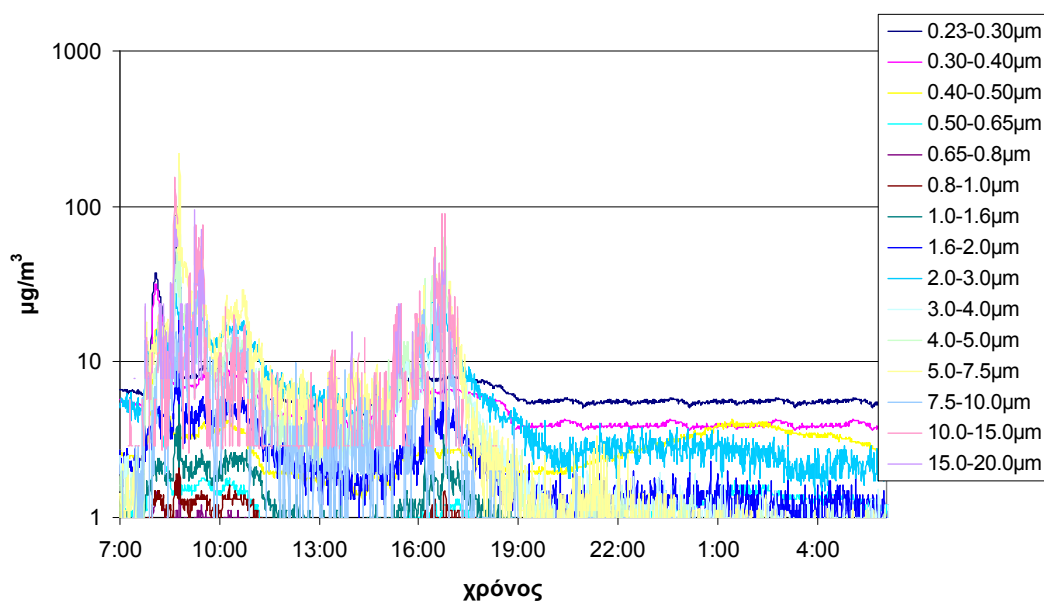
Ολοκληρωμένη μελέτη της ανίχνευσης των πηγών που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις στους χώρους των γραφείων γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο, μέσω της εφαρμογής του μοντέλου αποδέκτη.



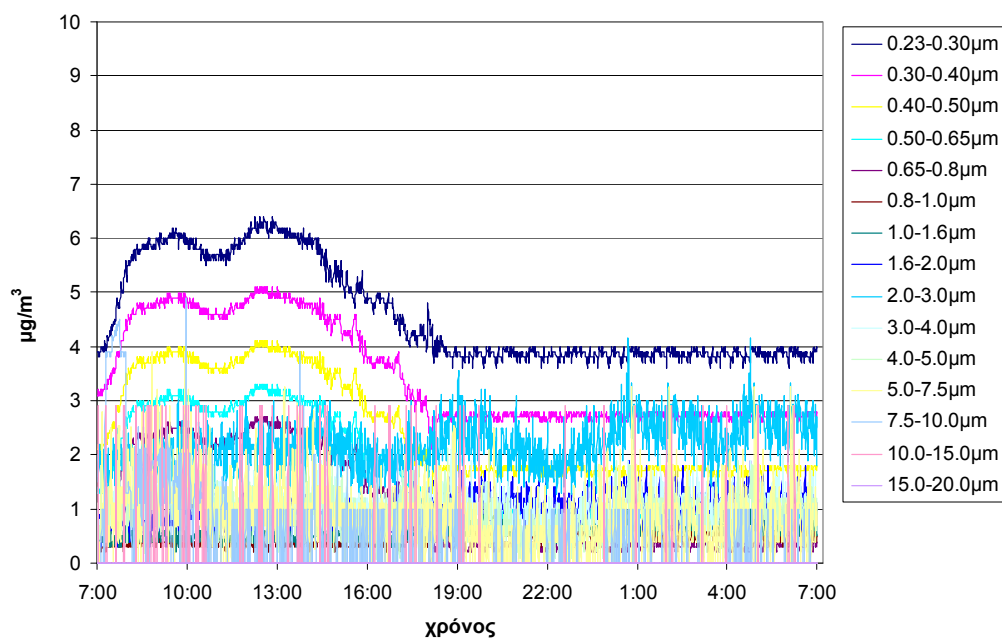
Σχήμα 5.1.3 Διακύμανση της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων στα 14 κανάλια μεγέθους κατά τη διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετραώρου στο **γραφείο καπνιζόντων**.



Σχήμα 5.1.4 Διακύμανση της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων στα 14 κανάλια μεγέθους κατά τη διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετραώρου στο **γραφείο μη καπνιζόντων**.



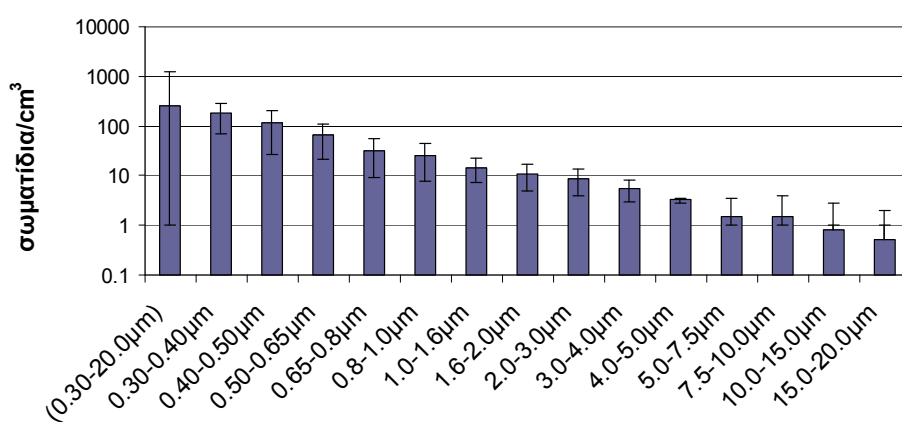
Σχήμα 5.1.5 Διακύμανση της συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων στα 15 κανάλια μεγέθους κατά τη διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετραώρου στο **γραφείο καπνιζόντων**.



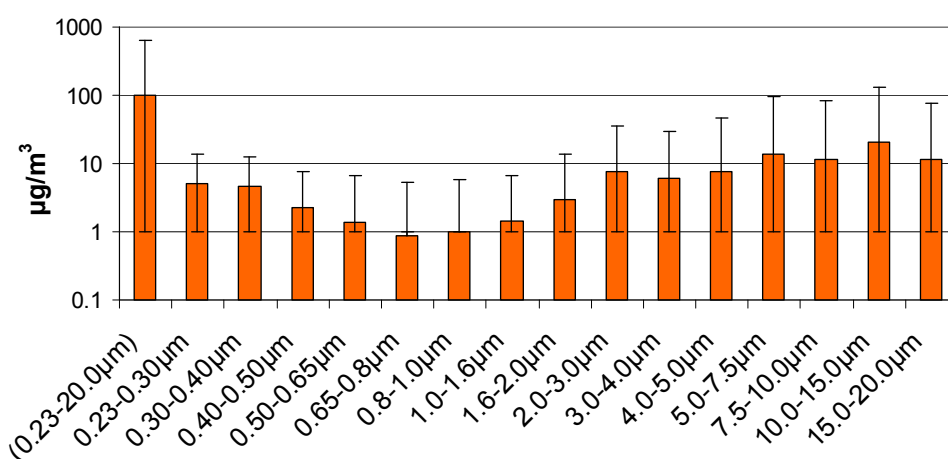
Σχήμα 5.1.6 Διακύμανση της συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων στα 15 κανάλια μεγέθους κατά τη διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετραώρου στο **γραφείο μη καπνιζόντων**.

5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων σε περιβάλλον κατοικίας

Στα σχήματα 5.2.1 και 5.2.2 παρουσιάζονται η μέση τιμή της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων αντίστοιχα από τις μετρήσεις στην κατοικία. Γενικά, η μέση ολική συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με την αντίστοιχη στο χώρο των γραφείων, ενώ η μέση ολική συγκέντρωση μάζας ήταν διπλάσια. Παρόλα αυτά, δε μπορεί να γίνει αντικειμενική σύγκριση μεταξύ των δύο χώρων διότι το πλήθος και είδος των πηγών, οι διαστάσεις, ο σχεδιασμός των χώρων, ο ρυθμός εξαερισμού κ.α. είναι διαφορετικά.

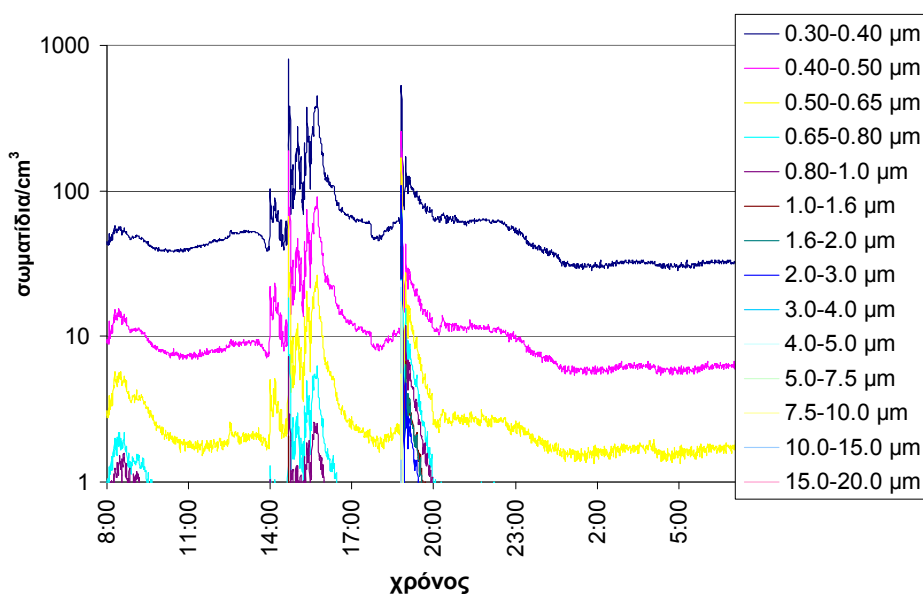


Σχήμα 5.2.1 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ολικής και ανά κανάλι συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων στην κατοικία, για όλο το διάστημα των μετρήσεων.

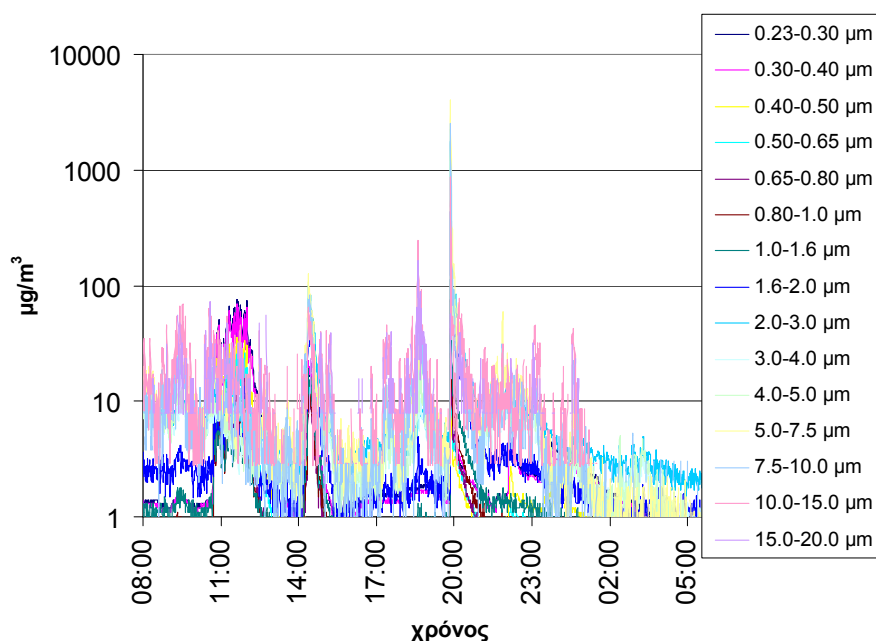


Σχήμα 5.2.2 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ολικής και ανά κανάλι συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων στην κατοικία, για όλο το διάστημα των μετρήσεων.

Η εικόνα της διακύμανσης της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας κατά τη διάρκεια μιας τυπικής μέρας στο γραφείο καπνιζόντων και μη καπνιζόντων δίνεται στα σχήματα 5.2.3 και 5.2.4 αντίστοιχα.



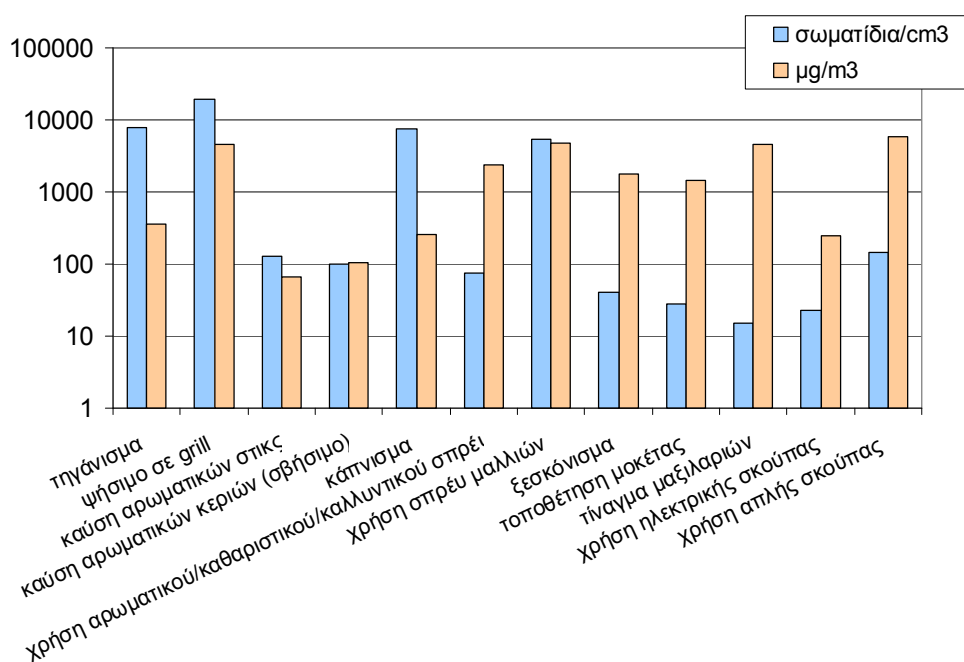
Σχήμα 5.2.3 Διακύμανση της συγκέντρωσης αριθμού σωματιδίων στα 14 κανάλια μεγέθους κατά τη διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετραώρου στην κατοικία



Σχήμα 5.2.4 Διακύμανση της συγκέντρωσης μάζας σωματιδίων στα 14 κανάλια μεγέθους κατά τη διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετραώρου στην κατοικία.

Όσον αφορά στον αριθμό των σωματιδίων, παρατηρείται έντονη διακύμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας (όπου οι περισσότερες δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα) και ειδικότερα στα μικρότερα σωματίδια, στα οποία το πλήθος είναι σημαντικό. Αντίθετα κατά τη διάρκεια της νύχτας, η συγκέντρωση μένει σχεδόν σταθερή. Αντίστοιχη παρατήρηση ισχύει και για τις μετρήσεις μάζας με τη διαφορά ότι η διακύμανση των μεγάλων κυρίως (>1 μ m) σωματιδίων είναι εντονότερη. Μία από τις αιτίες της έντονης διακύμανσης των μεγαλύτερων σωματιδίων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας είναι η επαναιώρηση της σκόνης που δημιουργείται από το περπάτημα και τις δραστηριότητες των κατοίκων.

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων στην κατοικία, καταγράφηκαν κορυφές στη χρονοσειρά της συγκέντρωσης οι οποίες ταυτίστηκαν με συγκεκριμένες δραστηριότητες. Ενδεικτικά, στο σχήμα 5.2.5 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των μέγιστων συγκεντρώσεων που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια βασικών δραστηριοτήτων μέσα στο σπίτι. Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές αυτές δε διαμορφώνονται αποκλειστικά από τις εκπομπές των πηγών αυτών αλλά επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες (σωματίδια που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον, επαναιώρηση από κίνηση ανθρώπων μέσα στο χώρο κ.α.)



Σχήμα 5.2.5 Ολική συγκέντρωση αριθμού (0.3-20 μ m) και μάζας (0.23-30 μ m) σωματιδίων κατά τη διάρκεια βασικών δραστηριοτήτων μέσα στο σπίτι.

Τέλος, σημειώνεται ότι η *μέγιστη ολική (0.3-20 μ m) συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων* που καταγράφηκε κατά τις πειραματικές μετρήσεις στην κατοικία ήταν 25440 σωματίδια/cm³ και παρατηρήθηκε με ταυτόχρονη ύπαρξη των δραστηριοτήτων του καπνίσματος και του ψησίματος στο grill. Η αντίστοιχη *μέγιστη ολική (0.23-20 μ m) συγκέντρωση μάζας* ήταν 5500 μ g/m³ και παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων καθαριότητας (σκούπισμα, τοποθέτηση μοκέτας και ξεσκόνισμα). Η ελάχιστη ολική συγκέντρωση αριθμού και μάζας ήταν 65σωματίδια/cm³ και 7 μ g/m³ αντίστοιχα και παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου δεν υπήρχαν δραστηριότητες.

Συνοψίζοντας, και στους δύο χώρους η εικόνα των μετρούμενων συγκεντρώσεων είναι αρκετά σύνθετη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα μικρότερα κλάσματα σωματιδίων αυξάνονταν (κυρίως σε αριθμό) ενώ σε άλλες, παρέμεναν ανεπηρέαστα σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα σωματίδια που παρουσίαζαν έντονη διακύμανση. Γίνεται αντιληπτό ότι η εικόνα που παρουσιάζουν οι μετρήσεις σε έναν πραγματικό χώρο διαφέρει σημαντικά από εκείνη των μετρήσεων στο θάλαμο δοκιμών (εξαιτίας των παραγόντων που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους). Έτσι, η ανίχνευση των πηγών που τις διαμορφώνουν δεν μπορεί να γίνει μόνο με τα πειραματικά δεδομένα. Το ρόλο αυτό καθώς και την ποσοτική εκτίμηση της συνεισφοράς της κάθε πηγής έχουν τα μοντέλα αποδέκτη. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, γίνεται εφαρμογή του μοντέλου της Positive Matrix Factorization στα πειραματικά δεδομένα από τα γραφεία και την κατοικία.

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη Positive Matrix Factorization

6.1	Αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στο περιβάλλον γραφείου.....	179
6.1.1	Εφαρμογή στις μετρήσεις <i>αριθμού</i> σωματιδίων.....	179
	A. Γραφείο καπνιζόντων	
	B. Γραφείο μη καπνιζόντων	
6.1.2	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στους χώρους γραφείων.....	186
6.1.3	Εφαρμογή στις μετρήσεις <i>μάζας</i> σωματιδίων.....	188
6.1.4	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις <i>μάζας</i> σωματιδίων στους χώρους γραφείων.....	194
6.1.5	Γενικά συμπεράσματα-συζήτηση για την εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις αριθμού και <i>μάζας</i> σωματιδίων στους χώρους γραφείων/.....	198
6.2	Αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στο περιβάλλον κατοικίας.....	198
6.2.1	Εφαρμογή στις μετρήσεις <i>αριθμού</i> σωματιδίων.....	198
	I. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα	
	II. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας	
	III. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι	
6.2.2	Εφαρμογή στις μετρήσεις <i>μάζας</i> σωματιδίων.....	209
	I. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα	
	II. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας	
	III. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι	
6.2.3	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις αριθμού και <i>μάζας</i> σωματιδίων στον χώρο της κατοικίας.....	218
6.3	Μελέτη του κατάλληλου διαστήματος υπολογισμού μέσου όρου στα στοιχεία εισόδου της PMF.....	227

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, ο σκοπός του μοντέλου της Positive Matrix Factorization (PMF) είναι να εντοπίσει τους παράγοντες-πηγές που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις σε έναν χώρο και να εκτιμήσει τη συνεισφορά τους (κεφάλαιο 2). Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη στους χώρους των γραφείων και της κατοικίας.

Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 2, ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία στην εφαρμογή της PMF είναι η *σωστή επιλογή του πλήθους των παραγόντων*, που θα ταυτιστούν στη συνέχεια με πηγές ή ομάδες πηγών. Εάν επιλεγούν λιγότεροι παράγοντες από όσους πραγματικά υπάρχουν, τότε υπάρχει ο κίνδυνος δύο ή περισσότερες πηγές να αντιπροσωπευθούν από έναν παράγοντα. Από την άλλη

πλευρά, η επιλογή περισσότερων παραγόντων από τους πραγματικούς, οδηγεί σε διάσπαση μιας πηγής σε δύο ή περισσότερους παράγοντες. Έτσι, η προσοχή εστιάζεται στην επιλογή του σωστού πλήθους παραγόντων, η οποία γίνεται παράλληλα με τρεις τρόπους:

α. εξέταση της τιμής της παραμέτρου Q (σχέση 7, παράγραφος 2.1.4). Η θεωρητική τιμή του Q πρέπει να είναι προσεγγιστικά ίση με το πλήθος των στοιχείων εισόδου (Yatkin et al., 2008; Hopke et al., 2005).

β. μελέτη της καμπύλης της σχέσης “τιμή της ποσότητας Q ” και “πλήθους παραγόντων” (Han et al., 2006; Yakovleva et al., 1999). Το σημείο στο οποίο μεταβάλλεται η κλίση της καμπύλης, αντιστοιχεί στο πλήθος των παραγόντων που προσεγγίζει τη λύση με τον βέλτιστο τρόπο.

γ. ανάλυση των αποτελεσμάτων σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που καταγράφονται στα ερωτηματολόγια κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η ταύτιση ενός παράγοντα με μια πραγματική πηγή βάσει της πληροφορίας για το ακριβές χρονικό διάστημα που πραγματοποιήθηκε η εκπομπή οδηγεί σε ακριβέστερη λύση. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να γίνεται λεπτομερής και ακριβής καταγραφή των δραστηριοτήτων.

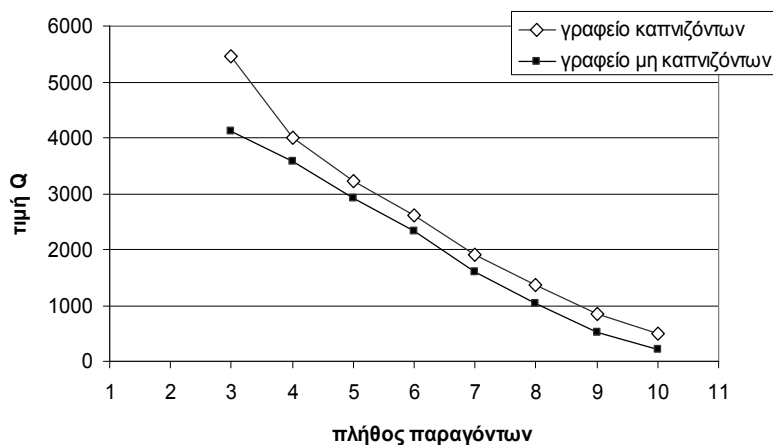
Τέλος, οι λύσεις πρέπει να έχουν φυσικό νόημα και να υπόκεινται στους περιορισμούς που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στις μετρήσεις αριθμού και μάζας σωματιδίων, στους χώρους γραφείων και κατοικίας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από ημέρες στις οποίες συγκεκριμένες καθημερινές δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν, με σκοπό την προσέγγιση της τυπικής εικόνας των χώρων αυτών.

6.1 Αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στο περιβάλλον γραφείου

Για κάθε χώρο, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στις μετρήσεις ενός 24ώρου, καθώς δεν υπήρχε διαφοροποίηση στις δραστηριότητες που λάμβαναν χώρα κάθε ημέρα. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου σε μετρήσεις από τις υπόλοιπες ημέρες καταλήγουν στα ίδια συμπεράσματα. Παρόλα αυτά, πληροφορίες από τις υπόλοιπες ημέρες και ειδικά το Σαββατοκύριακο, χρησιμοποιήθηκαν για την βέλτιστη ανίχνευση των παραγόντων και την ταυτοποίησή τους με τις πηγές. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου αποτελούνται από τις μέσες τιμές της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων ανά 5 λεπτά (η επιλογή του διαστήματος αυτού εξηγείται στην παράγραφο 6.3).

6.1.1 Εφαρμογή στις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων

Στην παρούσα εφαρμογή, εξετάστηκε η ύπαρξη 3-10 παραγόντων και βρέθηκε ότι η καλύτερη προσέγγιση γίνεται με 4 παράγοντες για το γραφείο των καπνιζόντων και με 3 παράγοντες για το γραφείο των μη καπνιζόντων (σχήμα 6.1).

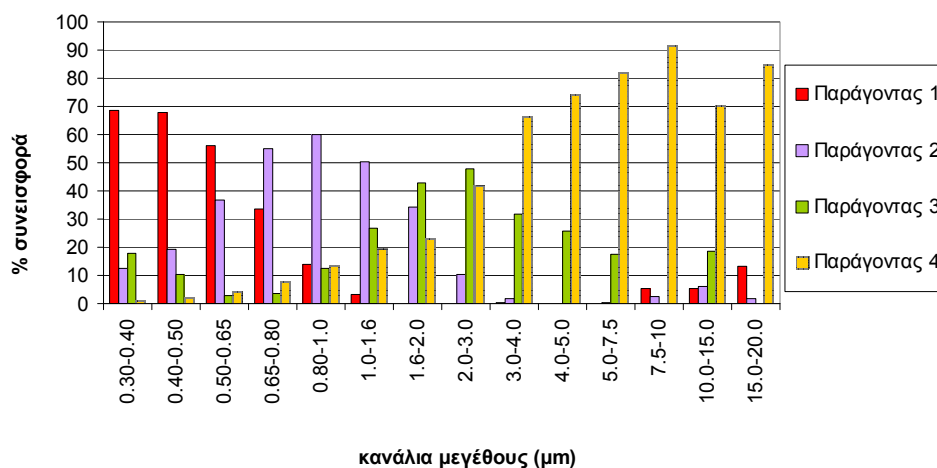


Σχήμα 6.1 Γραφική παράσταση της σχέσης του πλήθους των παραγόντων που εξετάστηκαν (3-10) με την τιμή της παραμέτρου Q για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο καπνιζόντων και μη καπνιζόντων.

A. Γραφείο καπνιζόντων

Από τα στοιχεία εξόδου του μοντέλου, λαμβάνονται τα ποσοστά συνεισφορών του κάθε παράγοντα σε κάθε κλάσμα μεγέθους (σχήμα 6.2). Επίσης, στα σχήματα

6.3α,β,γ δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).



Σχήμα 6.2 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο **ΚΑΤΠΝΙΖΟΝΤΩΝ**

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτισμό με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

Ο **παράγοντας 1** αντιστοιχεί στο **κάπνισμα**. Ο παράγοντας αυτός εμφανίζει τη μεγαλύτερη συνεισφορά του στα πρώτα κανάλια, δηλαδή στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1μm. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη συνεισφορά του παρατηρείται στα σωματίδια διαμέτρου 0.30-0.65μm (σχήμα 6.2) όπως αναμένεται από τις μετρήσεις του προφίλ της πηγής του καπνίσματος (παράγραφος 4.2.1) αλλά και από τη βιβλιογραφία (Glytsos et al., 2010, Afshari et al., 2005, Klepeis et al., 2003, He et al, 2004; Ueno et al., 1986). Επίσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.3α, ο παράγοντας αυτός εμφανίζεται κυρίως κατά τη διάρκεια των εργασιακών ωρών (7:30-16:00) και μάλιστα οι κορυφές που διακρίνονται ταυτίζονται χρονικά με τα διαστήματα όπου καπνίστηκαν τα τσιγάρα (όπως καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια). Επιπλέον, οι κορυφές αυτές χαρακτηρίζονται από απότομη αύξηση της συγκέντρωσης και πιο αργή πτώση, παρατήρηση που συμφωνεί και με τις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών

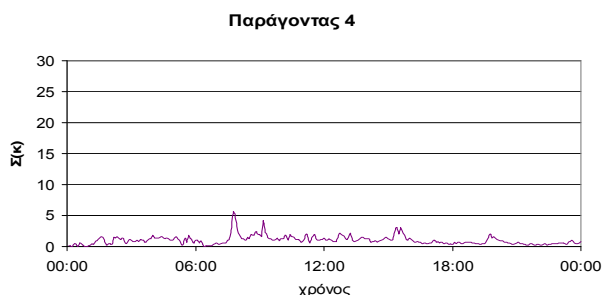
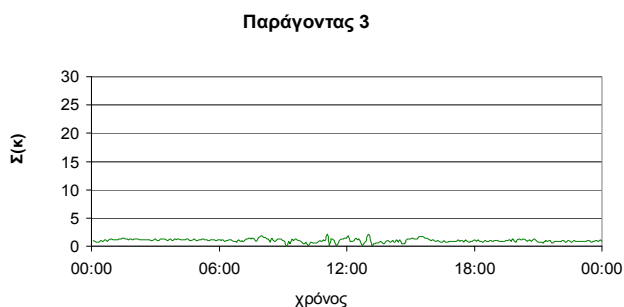
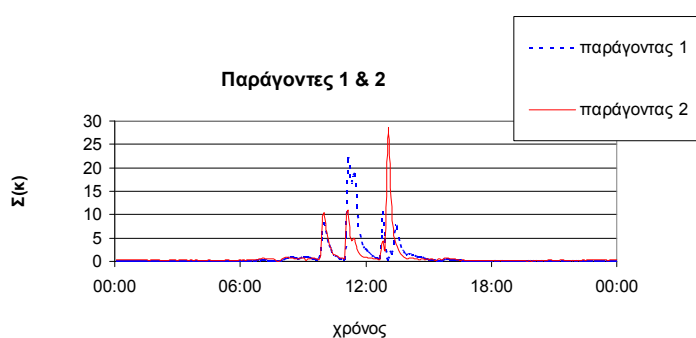
αλλά και με αναφορές από τη βιβλιογραφία (Halios et al., 2005; Morawska et al., 1997).

Ο παράγοντας 2 συνδέεται επίσης με το κάπνισμα και συγκεκριμένα με την **επαναιώρηση του καπνού από το τσιγάρο ή/και τη παραγωγή μεγαλύτερων σωματιδίων από συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων που προέρχονται από το κάπνισμα**. Πιο συγκεκριμένα ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει περισσότερο στα σωματίδια με διάμετρο 0.8-1 μ m (σχήμα 6.2), δηλαδή σωματίδια που πιθανόν να παράγονται δευτερογενώς από το τσιγάρο (Glytsos et al., 2010, Morawska et al., 1997). Επίσης, κατά τη διάρκεια της νύχτας παραμένει σταθερός ενώ κατά τις εργάσιμες ώρες η συγκέντρωση των σωματιδίων εμφανίζει κορυφές που ταυτίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό με τις κορυφές του παράγοντα 1.

Ο παράγοντας 3 συνδέεται με **την επαναιώρηση σκόνης που προέρχεται από τα οικοδομικά υλικά, έπιπλα, εξοπλισμό σε συνδυασμό με την κίνηση των ανθρώπων και τη λειτουργία της συσκευής κλιματισμού**. Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει στα σωματίδια με διάμετρο 1-7.5 μ m και κυρίως σε εκείνα μεταξύ 1.6-3.0 μ m (σχήμα 6.2), τα οποία συνδέονται με πηγές επαναιώρησης εν γένει, όπως έδειξαν και οι μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών (παράγραφος 4.3.6) αλλά και άλλες σχετικές μελέτες (Thatcher et al., 1995, He et al., 2004μ, Abt et al., 2000a, Montoya et al., 2005, Luoma and Batterman, 2001). Επίσης, ο παράγοντας αυτός παραμένει σχεδόν σταθερός με μικρές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας (σχήμα 6.3β) εμφανίζοντας μία πιο έντονη διακύμανση κατά τις εργασιακές ώρες πιθανόν λόγω των ρευμάτων αέρα που δημιουργούνται από τη λειτουργία του κλιματιστικού και της κίνησης των ανθρώπων. Έτσι, ο παράγοντας αυτός μπορεί να συσχετιστεί με την επαναιώρηση συσσωρευμένης σκόνης η οποία προέρχεται από εξωτερικές πηγές, οικοδομικά υλικά αλλά και τον εξοπλισμό των γραφείων (Ren et al., 2006).

Ο παράγοντας 4 αντιστοιχεί σε **πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον** (εργασίες σε δρόμους και δομικά έργα, μεταφερόμενη σκόνη από τα κωνοφόρα δένδρα της περιοχής κ.α.). Ο παράγοντας αυτός παρουσιάζει τη μέγιστη συνεισφορά του στα μεγαλύτερα σωματίδια (>3 μ m) όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2. Παράλληλα, παρουσιάζει μικρή διακύμανση σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, η οποία γίνεται περισσότερο έντονη κατά το χρονικό διάστημα όπου εργάζονταν οι υπάλληλοι και τα παράθυρα παρέμεναν ανοιχτά, επιτρέποντας στον εξωτερικό αέρα να εισέλθει.

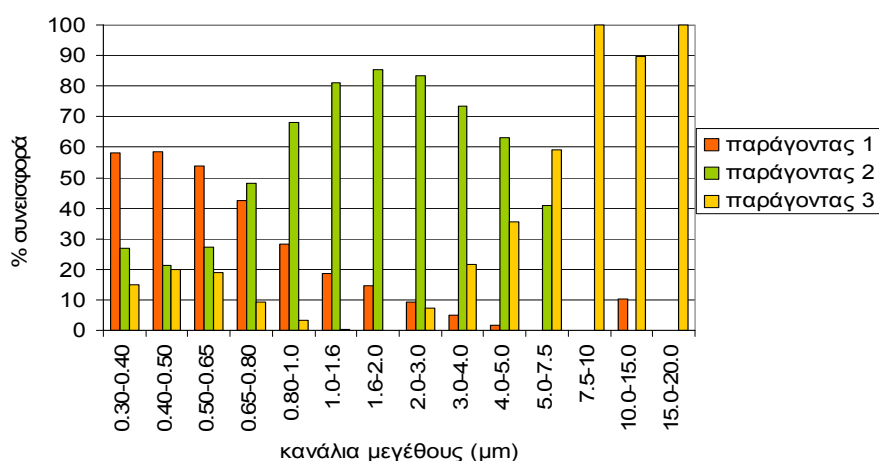
Όμως, επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον και μεταφορά σωματιδίων στο εσωτερικό ενός χώρου μπορεί να συμβεί και μέσω μικρών σχισμών στα παράθυρα και τις πόρτες ενός κτιρίου (infiltration), όπως αναφέρεται στους Diarouli et al., 2008; Hanninen et al., 2004; Douglas, 1980. Έτσι, κορυφές που εμφανίζονται στη συγκέντρωση καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, μπορούν να δικαιολογηθούν αν συνδυαστούν με τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων αλλά και άλλων παραμέτρων όπως η ένταση και η ταχύτητα του ανέμου, η εκπομπή τοπικών εξωτερικών πηγών κ.α.



Σχήματα 6.3α-γ. Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης $\Sigma(\kappa)$ για τους παράγοντες 1-4, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο των **καπνιζόντων**.

B. Γραφείο μη καπνιζόντων

Τα ποσοστά συνεισφορών του κάθε παράγοντα σε κάθε κλάσμα μεγέθους για το γραφείο των μη καπνιζόντων παρουσιάζονται στο σχήμα 6.4



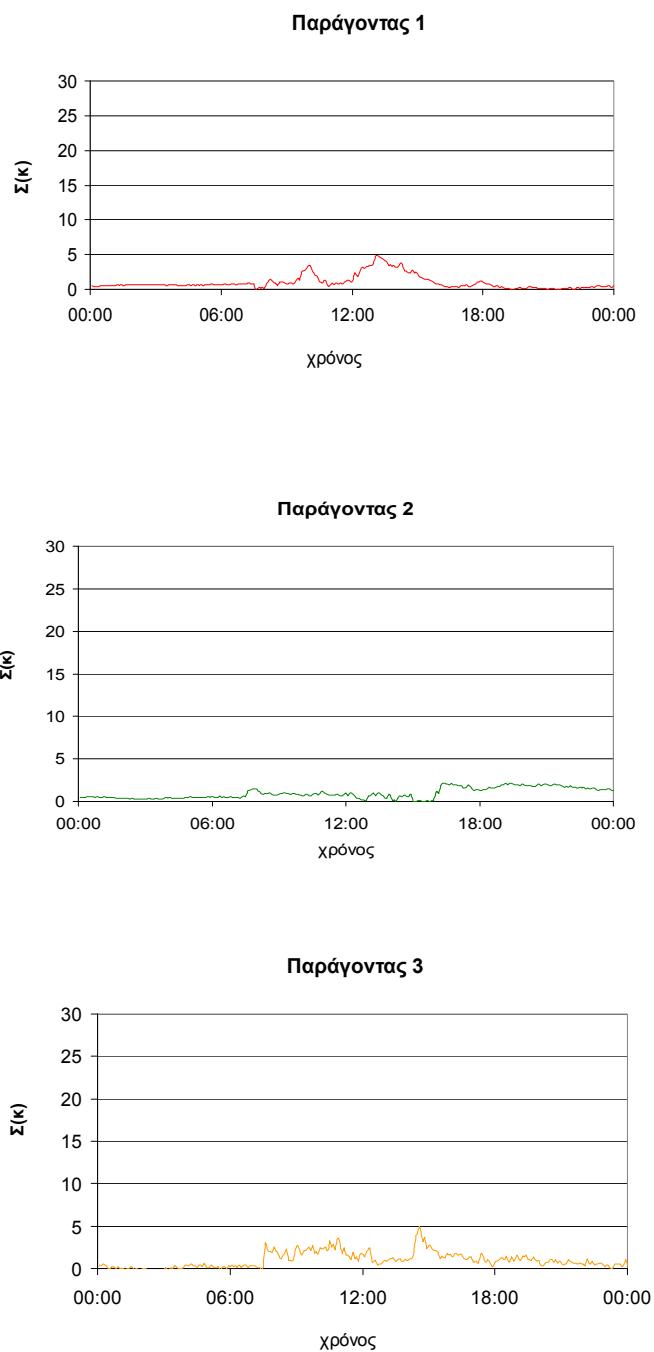
Σχήμα 6.4 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο **μη καπνιζόντων**.

Ο **παράγοντας 1** παρουσιάζει μεγάλη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο 0.30-1μm και κυρίως σε αυτά μεταξύ 0.3-0.65μm (σχήμα 6.4). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.5α, ο παράγοντας αυτός είναι σταθερός τις πρώτες πρωινές ώρες ενώ αργότερα, κατά τη διάρκεια των εργασιακών ωρών εμφανίζει αμβλείς κορυφές. Μετά το πέρας του ωραρίου (16:00), η συγκέντρωση εμφανίζεται μειωμένη αλλά όχι σταθερή. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των σωματιδίων με τα οποία σχετίζεται, ο παράγοντας 1 μπορεί να συνδεθεί με τους **μηχανισμούς διείσδυσης (infiltration, penetration)** από τους γειτονικούς χώρους μέσα από σχισμές και μικρά ανοίγματα (Diarouli et al., 2008; Hanninen et al., 2004; Douglas, 1980). Καθώς το γραφείο αυτό βρίσκεται δίπλα στο γραφείο καπνιζόντων, μπορεί να θεωρηθεί πιθανή η μεταφορά σωματιδίων που προέρχονται από το κάπνισμα (Chao et al., 2002; ASHRAE, 2004).

Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με **την επαναιώρηση σκόνης που προέρχεται από τα οικοδομικά υλικά, έπιπλα, εξοπλισμό σε συνδυασμό με την κίνηση των ανθρώπων και τη λειτουργία της συσκευής κλιματισμού**. Ο παράγοντας αυτός

αντιστοιχεί στον παράγοντα 3 που ανιχνεύτηκε στο γραφείο καπνιζόντων. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει στα σωματίδια με διάμετρο έως 7.5μm αλλά κυρίως σε αυτά μεταξύ 0.8-5.0μm (σχήμα 6.4) και εμφανίζεται σταθερός κατά τις βραδινές και πρώτες πρωινές ώρες, με μία μικρή διακύμανση κατά τις ώρες εργασίας (σχήμα 6.5β). Στη συγκεκριμένη μέρα που εξετάζεται, παρατηρείται μία πτώση στη συγκέντρωση για το χρονικό διάστημα μεταξύ 15:00 και 16:00, όπου τα παράθυρα είχαν παραμείνει ανοιχτά. Ακολούθησε μια ανοδική τάση, μέχρι το απόγευμα όπου και η συγκέντρωση παρέμεινε σταθερή μέχρι περίπου τα μεσάνυχτα.

Ο **παράγοντας 3** είναι ο αντίστοιχος του παράγοντα 4 στο γραφείο καπνιζόντων και συνδέεται με τις **πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον**. Ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει σε μικρότερο ποσοστό στα μικρότερα του 1μm σωματίδια και σε μεγαλύτερο ποσοστό στα σωματίδια μεταξύ 3.0-20μm (και κυρίως 5-20μm) όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4 τα οποία συνδέονται με εκπομπές από οχήματα και σκόνη από το έδαφος και τη βλάστηση (Vasilakos et al., 2005). Επιπλέον, εμφανίζει έντονη διακύμανση σε όλη τη διάρκεια της ημέρας και ειδικότερα κατά το διάστημα της εργασίας των υπαλλήλων όπου τα παράθυρα παρέμεναν ανοιχτά. Συγκεκριμένα για την ημέρα που παρουσιάζεται, παρατηρείται μία οξεία κορυφή περίπου στις 15:00 και η συγκέντρωση παραμένει ασταθής μέχρι το βράδυ (σχήμα 6.5γ). Έτσι ο παράγοντας αυτός μπορεί να σχετιστεί με πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον που συνδέονται και με τα μικρότερα και με τα μεγάλα σωματίδια, δηλαδή αντίστοιχα με εκπομπές από τις εξατμίσεις οχημάτων και σκόνη από έργα, βλάστηση κ.α (Pateraki et al., 2010; Maggos et al., 2006 & 2004; Hanninen et al., 2004)



Σχήμα 6.5α-γ-. Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης για τους παράγοντες 1-3, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο **μη καπνιζόντων**..

6.1.2 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στους χώρους γραφείων.

Σκοπός της εφαρμογής του μοντέλου της *Positive Matrix Factorization* (PMF) ήταν να εντοπιστούν οι παράγοντες-πηγές που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις αριθμού σωματιδίων στον εσωτερικό αέρα των γραφείων (Saraga et al., 2008). Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε για όλες τις ημέρες δειγματοληψίας και τα αποτελέσματα ήταν όμοια. Πιο συγκεκριμένα, για το γραφείο καπνιζόντων ανιχνεύτηκαν τέσσερις πηγές/ομάδες πηγών ενώ για το γραφείο των μη καπνιζόντων τρεις. Για την ταυτοποίηση των πηγών χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία εξόδου του μοντέλου (από όλες τις ημέρες) όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους σε συνδυασμό με πληροφορίες που είχαν καταγραφεί στα ερωτηματολόγια δραστηριοτήτων (logbooks) αλλά και τα προφίλ πηγών που μετρήθηκαν στο θάλαμο δοκιμών. Για τις περιπτώσεις των πηγών των οποίων τα προφίλ δεν είναι διαθέσιμα από τις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών, χρησιμοποιούνται πληροφορίες από τη βιβλιογραφία. Οι πηγές/ομάδες πηγών που ανιχνεύτηκαν στο γραφείο των καπνιζόντων ήταν κατά μία περισσότερες από το γραφείο μη καπνιστών.

Η τελική εικόνα του αποτελέσματος της εφαρμογής του μοντέλου δίνεται από την ποσοτική εκτίμηση της συνεισφοράς των παραγόντων-πηγών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις. Στα σχήματα 6.6α,β,γ και 6.7α,β,γ παρουσιάζεται η συνεισφορά των πηγών σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1 μ m, 1-3 μ m και 3-10 μ m. *Υπογραμμίζεται ότι τα ποσοστά συνεισφορών κάθε πηγής αφορούν στη μετρούμενη συγκέντρωση κάθε κλάσματος σωματιδίων για τις συγκεκριμένες ημέρες.*

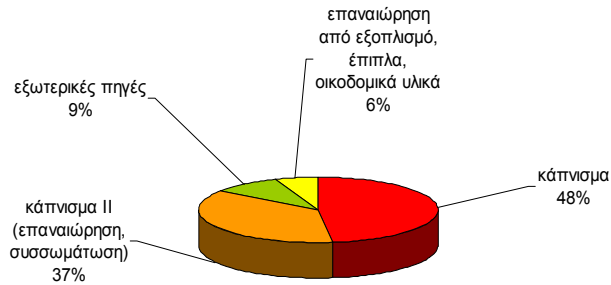
Στα μικρότερα σωματίδια (<1 μ m) η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από πηγές που σχετίζονται με το κάπνισμα, τόσο στο γραφείο καπνιζόντων (85%) όσο και στο γραφείο μη καπνιζόντων (μεταφερόμενα από το γειτονικό γραφείο).

Στα σωματίδια μεταξύ 1-3 μ m η εικόνα των δύο γραφείων διαφέρει: στο γραφείο των καπνιστών, οι πηγές του καπνίσματος, της επαναιώρησης και του εξωτερικού περιβάλλοντος (περίπου 30%) έχουν σχεδόν ισοδύναμη συνεισφορά σε αντίθεση με το άλλο γραφείο, όπου επικρατεί η επαναιώρηση της σκόνης (83%).

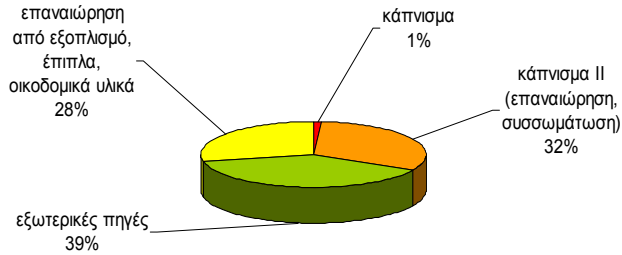
Στα μεγαλύτερα σωματίδια (3-20 μ m), συνεισφέρουν κυρίως η επαναιώρηση και το εξωτερικό περιβάλλον, με διαφορετική αναλογία στον κάθε χώρο.

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη *Positive Matrix Factorization*

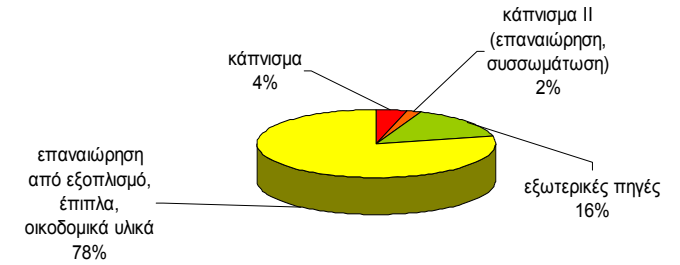
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.3-1.0μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm

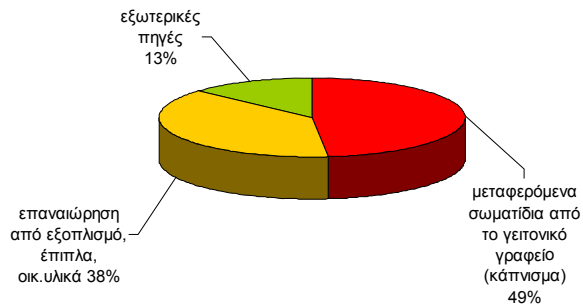


Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm



Σχήματα 6.6α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο **καπνίζοντων** σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm.

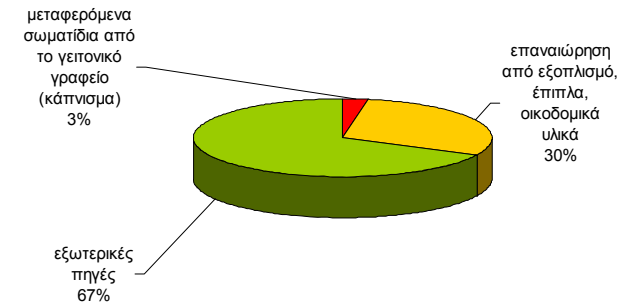
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.3-1μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm



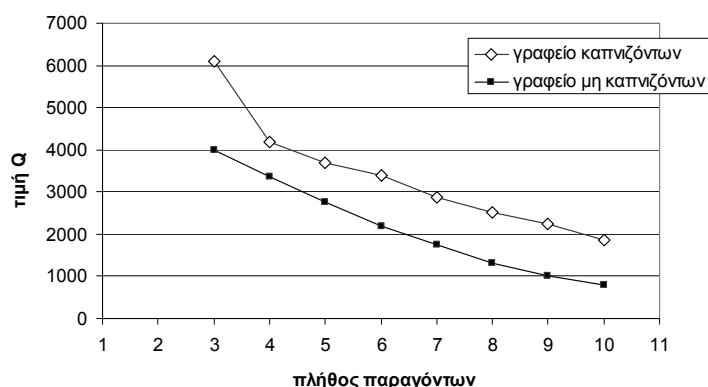
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm



Σχήματα 6.7α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο **μη καπνίζοντων** σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm

6.1.3 Εφαρμογή στις μετρήσεις μάζας σωματιδίων

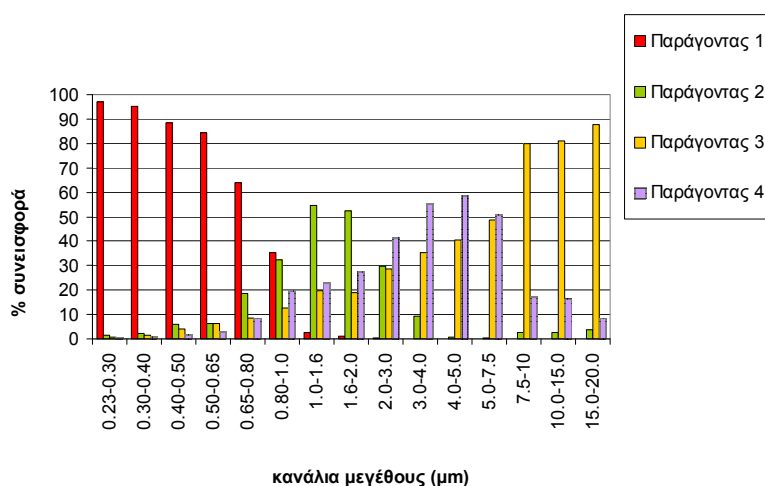
Στην παρούσα εφαρμογή, εξετάστηκε η ύπαρξη 3-10 παραγόντων και βρέθηκε ότι η καλύτερη προσέγγιση γίνεται με 4 παράγοντες για το γραφείο των καπνιζόντων και 3 παράγοντες για το γραφείο των μη καπνιζόντων (σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.8 Γραφική παράσταση της σχέσης του πλήθους των παραγόντων που εξετάστηκαν (3-10) με την τιμή της παραμέτρου Q για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στο γραφείο καπνιζόντων και μη καπνιζόντων.

A. Γραφείο καπνιζόντων

Τα ποσοστά συνεισφορών του κάθε παράγοντα σε κάθε κλάσμα μεγέθους για το γραφείο των μη καπνιζόντων παρουσιάζονται στο σχήμα 6.

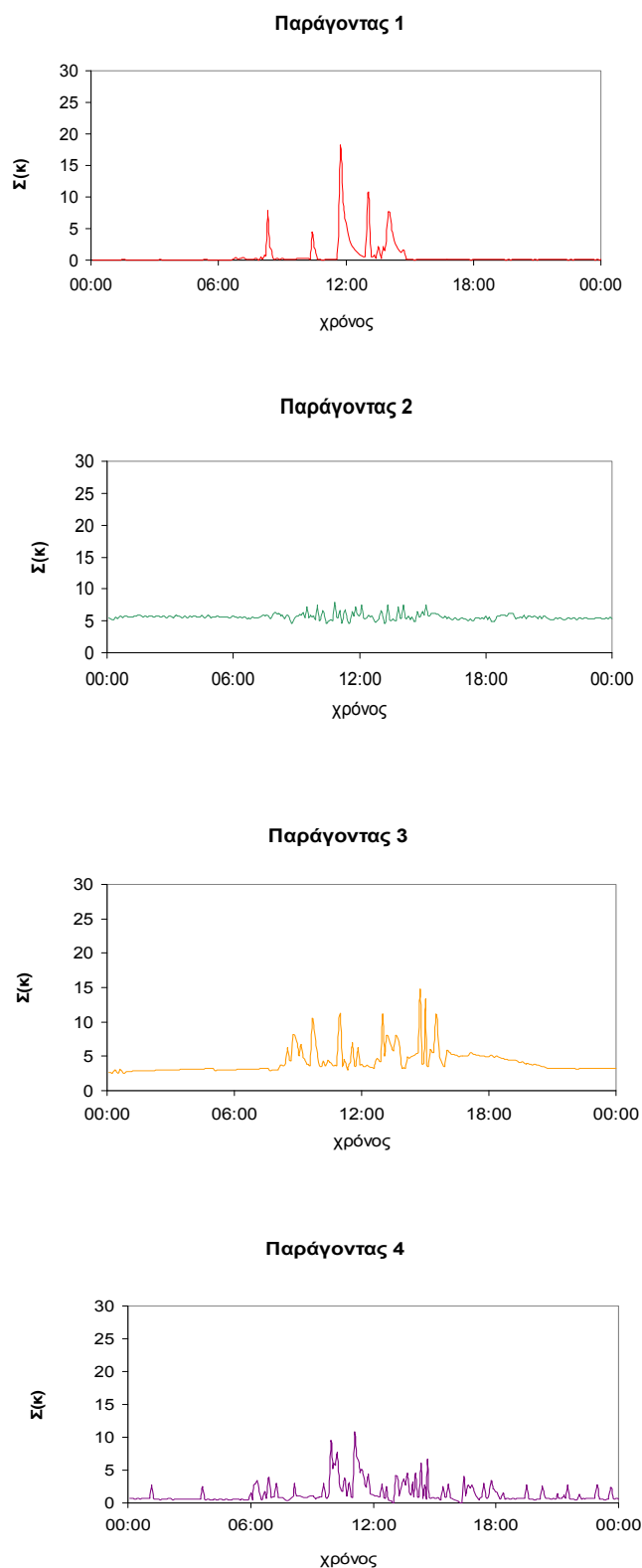


Σχήμα 6.9 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στο γραφείο **καπνιζόντων**.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

Ο **παράγοντας 1** αντιστοιχεί στο **κάπνισμα**. Ο παράγοντας αυτός εμφανίζει τη μεγαλύτερη συνεισφορά του στα πρώτα κανάλια, δηλαδή στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1μm. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη συνεισφορά του παρατηρείται στα σωματίδια διαμέτρου 0.23-0.8μm (σχήμα 6.9) όπως αναμένεται από τις μετρήσεις του προφίλ της πηγής του καπνίσματος (παράγραφος 4.2.1) αλλά και από τη βιβλιογραφία (Glytsos et al., 2010, Afshari et al., 2005, Klepeis et al., 2003, He et al., 2004; Ueno et al., 1986). Επίσης, η χρονοσειρά της συγκέντρωσης (σχήμα 6.10α) δείχνει πως ο παράγοντας αυτός εμφανίζεται κυρίως κατά τη διάρκεια των εργασιακών ωρών και μάλιστα οι κορυφές που διακρίνονται ταυτίζονται χρονικά με τα διαστήματα όπου καπνίστηκαν τσιγάρα (όπως καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια). Επιπλέον, οι κορυφές αυτές χαρακτηρίζονται από απότομη αύξηση της συγκέντρωσης και πιο αργή πτώση, παρατήρηση που συμφωνεί και με τις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών αλλά και με αναφορές από τη βιβλιογραφία (Halios et al., 2005; Morawska et al., 1997). Είναι εμφανής η ομοιότητα του παράγοντα αυτού με τον αντίστοιχο παράγοντα 1-κάπνισμα από τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων (ως προς το είδος των σωματιδίων που παράγονται και την εικόνα της διακύμανσής τους).

Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με τη **λειτουργία του κλιματιστικού και την επαναιώρηση σκόνης που προέρχεται από τα οικοδομικά υλικά, έπιπλα, εξοπλισμό και φωτιστικά μηχανήματα**. Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει στα σωματίδια με διάμετρο μεταξύ 0.5-3.0μm με μέγιστη συνεισφορά σε αυτά των 1.0-3.0μm (σχήμα 6.9), τα οποία συνδέονται με πηγές επαναιώρησης εν γένει, όπως έδειξαν και οι μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών (κεφάλαιο 4) αλλά και άλλες σχετικές μελέτες (Thatcher et al., 1995, He et al., 2004μ, Abt et al., 2000a, Montoya et al., 2005, Luoma and Batterman, 2001). Επίσης, παραμένει σχεδόν σταθερός με μικρές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας αλλά κατά το διάστημα της λειτουργίας του κλιματιστικού παρουσιάζει έντονη διακύμανση, πιθανών λόγω των ρευμάτων αέρα που δημιουργούνται (σχήμα 6.3β). Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγείται και η εξέταση του παράγοντα αυτού κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου όπου λειτουργούσε μόνο το κλιματιστικό (για τις ίδιες ώρες).



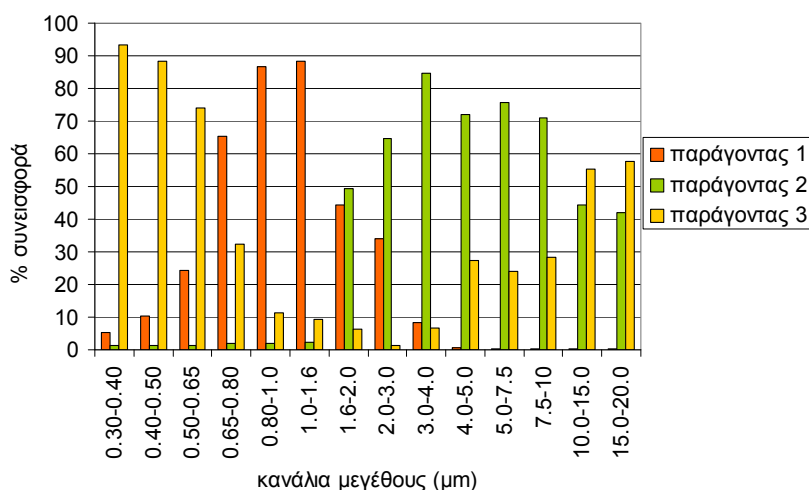
Σχήματα 6.10α-δ: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης $\Sigma(k)$ για τους παράγοντες 1-4, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στο γραφείο **καπνιζόντων**.

Ο παράγοντας 3 σχετίζεται επίσης με την **επαναιώρηση**, όμως συνδέεται με μεγαλύτερα σωματίδια. Πιο συγκεκριμένα σχετίζεται με σωματίδια μεγαλύτερα των 0.8μm με σημαντική συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεταξύ 4-20μm. Σε συνδυασμό με την εικόνα που παρουσιάζει η χρονοσειρά του (σχήμα 6.10.γ έντονη διακύμανση κατά τις εργασιακές ώρες και σταδιακή πτώση αργότερα και μέχρι τη νύχτα) ο παράγοντας αυτός μπορεί να συνδεθεί με **επαναιώρηση σκόνης κατά την κίνηση των ανθρώπων μέσα στο χώρο** (περπάτημα, δραστηριότητες γραφείου). Εξάλλου, όπως φάνηκε και από τις μετρήσεις του προφίλ των πηγών (παράγραφος 4.3.3), δραστηριότητες επαναιώρησης όπως το περπάτημα συνδέονται με εκπομπή σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 3μm.

Ο παράγοντας 4 σχετίζεται με το **εξωτερικό περιβάλλον**. Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας αυτός παρουσιάζει τη μέγιστη συνεισφορά του στα σωματίδια μεταξύ 1.6-7.5μm όπως φαίνεται στο σχήμα 6.10.δ. Παράλληλα, παρουσιάζει μικρή διακύμανση σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, η οποία γίνεται περισσότερο έντονη κατά το χρονικό διάστημα όπου εργάζονταν οι υπάλληλοι και τα παράθυρα παρέμεναν ανοιχτά, επιτρέποντας στον εξωτερικό αέρα να εισέλθει. Έτσι ο παράγοντας αυτός μπορεί να σχετιστεί με πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον (οχήματα, εργασίες σε δρόμους και δομικά έργα, μεταφερόμενη σκόνη από τα κωνοφόρα δένδρα της περιοχής κ.α.). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σωματίδια από τον εξωτερικό αέρα μπορούν να εισέλθουν στο εσωτερικό του κτιρίου μέσω μικρών σχισμών στα παράθυρα και τις πόρτες ενός κτιρίου (Diapoulis et al., 2008; Hanninen et al., 2004; Douglas, 1980). Έτσι, κορυφές στη συγκέντρωση μπορούν να εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Β. Γραφείο μη καπνιζόντων

Τα ποσοστά συνεισφορών του κάθε παράγοντα σε κάθε κλάσμα μεγέθους για το γραφείο των μη καπνιζόντων παρουσιάζονται στο σχήμα 6.11

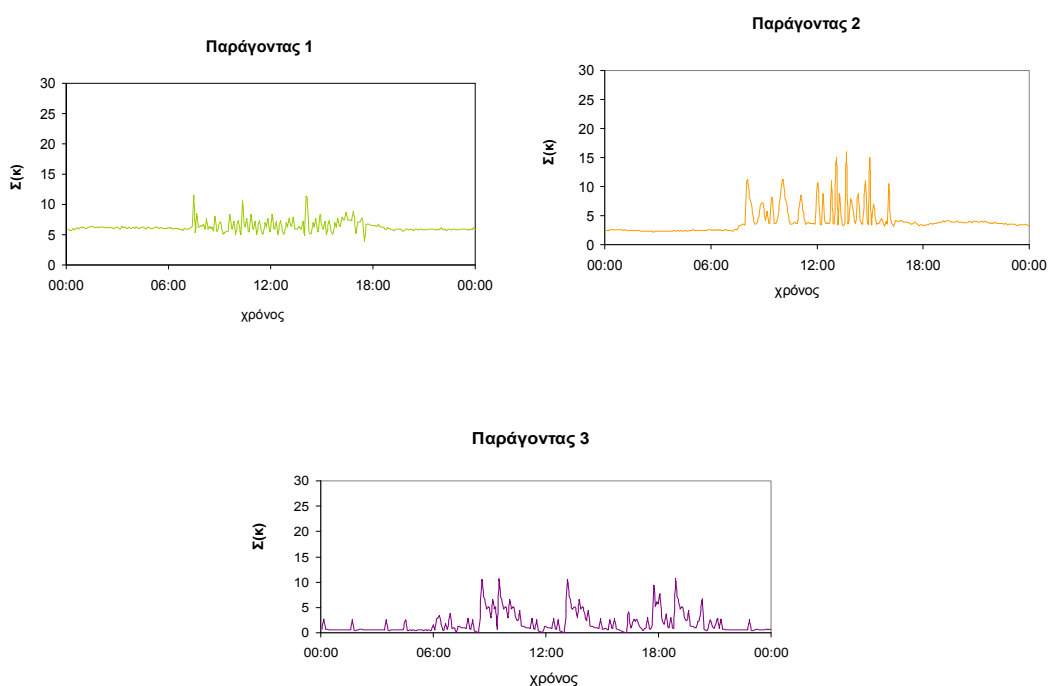


Σχήμα 6.11 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στο γραφείο **μη καπνιζόντων**.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

Οι **παράγοντες 1 και 2** είναι οι αντίστοιχοι των παραγόντων 2 και 3 στο γραφείο καπνιστών και συνδέονται με τις πηγές επαναιώρησης. Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας 1 συνεισφέρει σημαντικά στα σωματίδια μεταξύ 0.65-1.6μm (σχήμα 6.11) και εμφανίζει σταθερότητα σε όλο το εικοσιτετράωρο εκτός από τις ώρες κατά τις οποίες λειτουργεί η συσκευή κλιματισμού (σχήμα 6.12α). Έτσι, μπορεί να συνδεθεί με **τη λειτουργία του κλιματιστικού και την επαναιώρηση συσσωρευμένης σκόνης που προέρχεται από τα οικοδομικά υλικά, έπιπλα, εξοπλισμό και φωτοτυπικά μηχανήματα**. Ο παράγοντας 2 συνεισφέρει σημαντικά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 2μm. Επίσης, εμφανίζει έντονη διακύμανση κατά τις εργασιακές ώρες και σταδιακή πτώση αργότερα και μέχρι τη νύχτα (σχήμα 6.12β).. Έτσι, μπορεί να συνδεθεί με **επαναιώρηση σκόνης κατά την κίνηση των ανθρώπων μέσα στο χώρο** (περπάτημα, δραστηριότητες γραφείου).

Ο παράγοντας 3 σχετίζεται με το **εξωτερικό περιβάλλον**. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει σημαντικά και στα πολύ μικρά σωματίδια (έως 0.8 μm) αλλά και στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 4 μm (σχήμα 6.11). Παράλληλα, παρουσιάζει μικρή διακύμανση σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, η οποία γίνεται περισσότερο έντονη κατά τις ώρες εργασίας όπου τα παράθυρα παρέμεναν ανοιχτά, επιτρέποντας στον εξωτερικό αέρα να εισέλθει (σχήμα 6.12γ). Έτσι ο παράγοντας αυτός μπορεί να σχετιστεί με πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον που συνδέονται και με τα μικρότερα και με τα μεγάλα σωματίδια, δηλαδή αντίστοιχα με εκπομπές από τις εξατμίσεις οχημάτων (Pateraki et al., 2010; Maggos et al., 2006 & 2004; Hanninen et al., 2004). Η εμφάνιση κορυφών στη συγκέντρωση καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου δικαιολογείται όπως στη περίπτωση του γραφείου καπνιζόντων.



Σχήματα 6.12α-γ: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης για τους παράγοντες 1-3, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στο γραφείο **μη καπνιζόντων**.

6.1.4 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις μάζας σωματιδίων στους χώρους γραφείων.

Για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων και την ταυτοποίηση παραγόντων με τις πηγές εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Όπως και στην περίπτωση των μετρήσεων αριθμού σωματιδίων, έτσι και από τις μετρήσεις μάζας, για το γραφείο καπνιζόντων ανιχνεύτηκαν τέσσερις πηγές/ομάδες πηγών ενώ για το γραφείο των μη καπνιζόντων τρεις. Παρόλα αυτά, οι πηγές που ανιχνεύτηκαν και τα ποσοστά συνεισφορών τους δεν ήταν τα ίδια.

Η τελική εικόνα του αποτελέσματος της εφαρμογής του μοντέλου δίνεται από την ποσοτική εκτίμηση της συνεισφοράς των παραγόντων-πηγών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις. Στα σχήματα 6.13α,β,γ και 6.14α,β,γ παρουσιάζεται η συνεισφορά των πηγών σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm και *υπογραμμίζεται ότι τα ποσοστά συνεισφορών κάθε πηγής αφορούν στη μετρούμενη συγκέντρωση κάθε κλάσματος σωματιδίων για τις συγκεκριμένες ημέρες.*

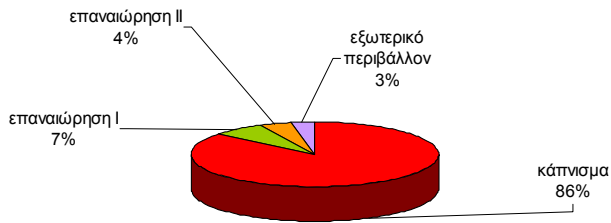
Στο γραφείο καπνιζόντων, τα μικρότερα σωματίδια (<1μm) προέρχονται κυρίως από το κάπνισμα (86%) ενώ στο γραφείο μη καπνιζόντων η μέγιστη συνεισφορά στο κλάσμα αυτό είναι εκείνη από τις εξωτερικές πηγές (60%).

Στα μεγαλύτερα σωματίδια (1-3μm), και στα δύο γραφεία, η σημαντικότερη συνεισφορά (περίπου 50%) προέρχεται από την επαναιώρηση I (επαναιώρηση σκόνης από εξοπλισμό/οικοδ. υλικά κλπ σχετιζόμενη με τη λειτουργία των κλιματιστικών). Το υπόλοιπο ποσοστό διαμορφώνεται από διαφορετικές πηγές στα δύο γραφεία. Στο γραφείο καπνιζόντων, συνεισφέρουν πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον, την επαναιώρηση από την κίνηση των ανθρώπων και το κάπνισμα (πιθανότατα από συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων που εκπέμπονται πρωτογενώς από το κάπνισμα, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 6.1.1). Από την άλλη πλευρά, στο γραφείο μη καπνιζόντων, το υπόλοιπο ποσοστό καλύπτεται κυρίως από την επαναιώρηση (II) από το περπάτημα και τις κινήσεις των ανθρώπων.

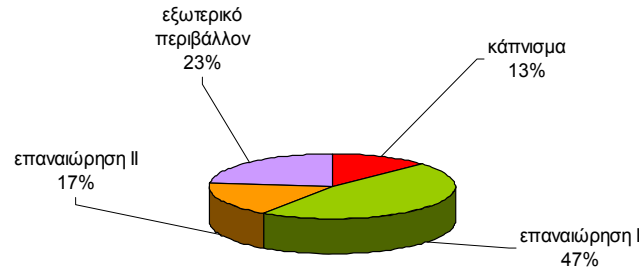
Στα μεγάλα σωματίδια (3-20μm), η εικόνα και στα δύο γραφεία είναι παρόμοια. Τη μεγαλύτερη συνεισφορά την έχουν οι πηγές επαναιώρησης (από το περπάτημα και τις κινήσεις των ανθρώπων) και οι εξωτερικές πηγές.

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη *Positive Matrix Factorization*

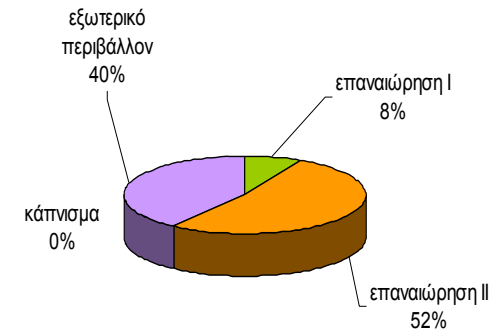
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.23-1.0μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm

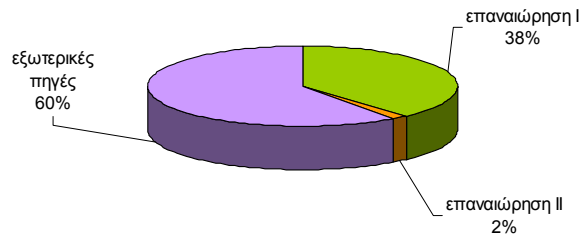


Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm



Σχήματα 6.13α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στο γραφείο **καπνιζόντων** σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm.

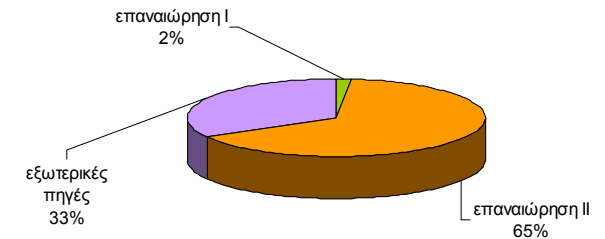
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.3-1μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm



Σχήματα 6.14α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στο γραφείο **μη καπνιζόντων** σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm.

6.1.5 Γενικά συμπεράσματα-συζήτηση για την εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις αριθμού και μάζας σωματιδίων στους χώρους γραφείων.

Αξιοσημείωτες είναι οι διαφορές που παρατηρήθηκαν τόσο *μεταξύ των δύο γραφείων* όσο και μεταξύ της εφαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα *αριθμού και μάζας* σωματιδίων.

Πιο συγκεκριμένα και όσον αφορά στις μετρήσεις *αριθμού σωματιδίων*, το μοντέλο ανιχνεύει δύο ξεχωριστές πηγές που σχετίζονται με το κάπνισμα (τα άμεσα εκπεμπόμενα σωματίδια από την καύση και τα λίγο μεγαλύτερα σωματίδια που προέρχονται από συσσωμάτωση και επαναιώρηση των πρώτων) στο γραφείο καπνιζόντων. Ακόμα και στο γραφείο μη καπνιζόντων, ανιχνεύεται ένας παράγοντας που σχετίζεται με σωματίδια που εισέρχονται από το γειτονικό γραφείο καπνιστών. Από την άλλη πλευρά, από την εφαρμογή της PMF στα δεδομένα *μάζας*, ανιχνεύεται ένας παράγοντας που σχετίζεται με το κάπνισμα, και μόνο στο γραφείο καπνιζόντων.

Έτσι, φαίνεται πως το μοντέλο της PMF, ***ως προς την ανίχνευση μιας πηγής που σχετίζεται κυρίως με την εκπομπή μικρών (<1μm) σωματιδίων*** –όπως είναι το κάπνισμα, αποκρίνεται καλύτερα όταν εφαρμόζεται σε δεδομένα ***αριθμού*** σωματιδίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα μικρά σωματίδια, η σημαντικότερη παράμετρος είναι το πλήθος τους και όχι η μάζα τους και κατά συνέπεια το σφάλμα εκτίμησης είναι πιο περιορισμένο.

Αντίστοιχα, ***ως προς την ανίχνευση μιας πηγής που σχετίζεται κυρίως με την εκπομπή μεγάλων (>3μm) σωματιδίων*** –όπως είναι η επαναιώρηση, το μοντέλο αποκρίνεται καλύτερα όταν εφαρμόζεται σε δεδομένα ***μάζας*** σωματιδίων. Πράγματι, παρατηρείται, πως από την εφαρμογή της PMF στα δεδομένα μάζας ανιχνεύτηκαν (και στα δύο γραφεία) δύο ξεχωριστές πηγές επαναιώρησης: εκείνη από την επαναιώρηση της συσσωρευμένης σκόνης από το περπάτημα και την κίνηση των ανθρώπων και εκείνη που σχετίζεται με τη λειτουργία των κλιματιστικών και την επαναιώρηση σκόνης που εκπέμπεται από τα οικοδομικά υλικά, τον εξοπλισμό κ.α.

Τέλος, ένα ακόμα σημείο προς παρατήρηση είναι ο παράγοντας των εξωτερικών πηγών και η σύνδεσή του με συγκεκριμένου μεγέθους σωματίδια. Όπως είναι γνωστό (Pateraki et al., 2010; Maggos et al., 2006 & 2004; Vasilakos et al., 2005;

Hanninen et al., 2004), στις εξωτερικές πηγές περιλαμβάνονται τόσο οι εκπομπές από τα οχήματα και άλλες πηγές καύσης (που συνδέονται με λεπτόκοκκα και υπέρλεπτα σωματίδια) και μεταφερόμενη σκόνη από τη βλάστηση, δομικά έργα κ.α. που συνδέεται με μεγαλύτερα σωματίδια. Στην παρούσα εφαρμογή, ο παράγοντας "εξωτερικές πηγές" περιελάμβανε και τα δύο κλάσματα σωματιδίων, στις περιπτώσεις της απουσίας καπνίσματος, δηλαδή στο γραφείο των μη καπνιζόντων. Στο γραφείο των καπνιζόντων, και κατά τις καθημερινές, ο παράγοντας "εξωτερικές πηγές" περιελάμβανε κυρίως τα μεγάλα σωματίδια καθώς η παρουσία της ισχυρής πηγής του καπνίσματος είχε τη μέγιστη συνεισφορά στα πολύ μικρά (<1 μ m) σωματίδια. Αντιθέτως, δεν παρατηρήθηκε το αντίστοιχο κατά το Σαββατοκύριακο, όπου δεν υπήρχε η δραστηριότητα του καπνίσματος.

6.2 Αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF στο περιβάλλον κατοικίας

Η κατοικία, σε σχέση με τα γραφεία, είναι πιο πολύπλοκος χώρος καθώς ο όγκος είναι μεγαλύτερος, η σχεδίαση διαφορετική, το πλήθος των πηγών μεγαλύτερο και οι δραστηριότητες περισσότερες και συχνότερες. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της PMF σε τρεις διαφορετικές ημέρες (24ωρα) στην κατοικία, οι οποίες χαρακτηρίζονται από:

I. έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα (μαγείρεμα, τηγάνισμα, ψήσιμο στο grill, χρήση τοστιέρας και καφετιέρας)

II. έντονη δραστηριότητα καθαριότητας (σκούπισμα, ξεσκόνισμα, τίναγμα μαξιλαριών, σιδέρωμα, χρήση καθαριστικού σπρέυ)

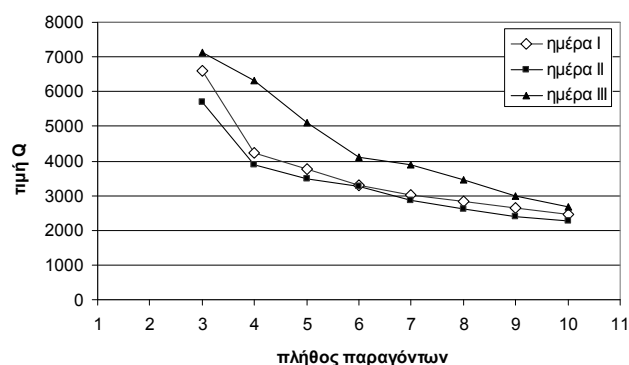
III. έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι (κάπνισμα, έντονη κινητικότητα, καύση αρωματικών στικς και κεριών, χρήση αρωματικού σπρέυ χώρου)

Πληροφορίες από τις υπόλοιπες ημέρες και τα Σαββατοκύριακα, χρησιμοποιήθηκαν για την βέλτιστη ανίχνευση των παραγόντων και την ταυτοποίησή τους με τις πηγές. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου αποτελούνται από τις μέσες τιμές της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων ανά 5 λεπτά (η επιλογή του διαστήματος αυτού εξηγείται στην παράγραφο 6.3).

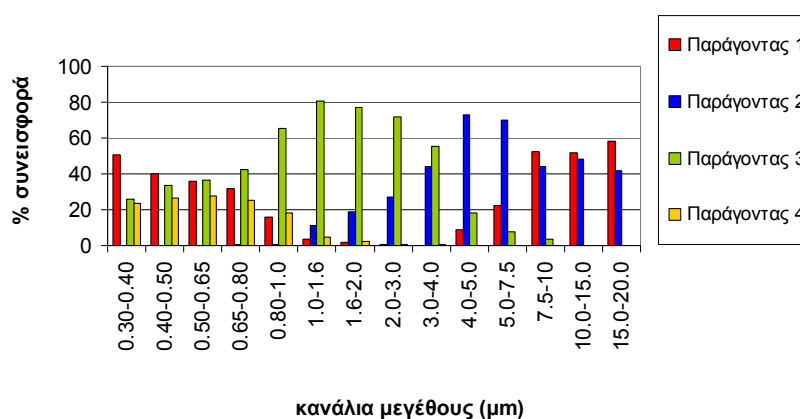
6.2.1 Εφαρμογή στις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων

I. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα

Η εφαρμογή της PMF στη συγκεκριμένη ημέρα κατέληξε στην ύπαρξη τεσσάρων παραγόντων (σχήμα 6.15). Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους φαίνεται στο σχήμα 6.16. Επίσης, στα σχήματα 6.17α,β,γ,δ δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).



Σχήμα 6.15 Γραφική παράσταση της σχέσης του πλήθους των παραγόντων που εξετάστηκαν (3-10) με την τιμή της παραμέτρου Q για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία (για τις τρεις ημέρες με τα διαφορετικά σενάρια δραστηριότητας).



Σχήμα 6.16 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτισμό με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

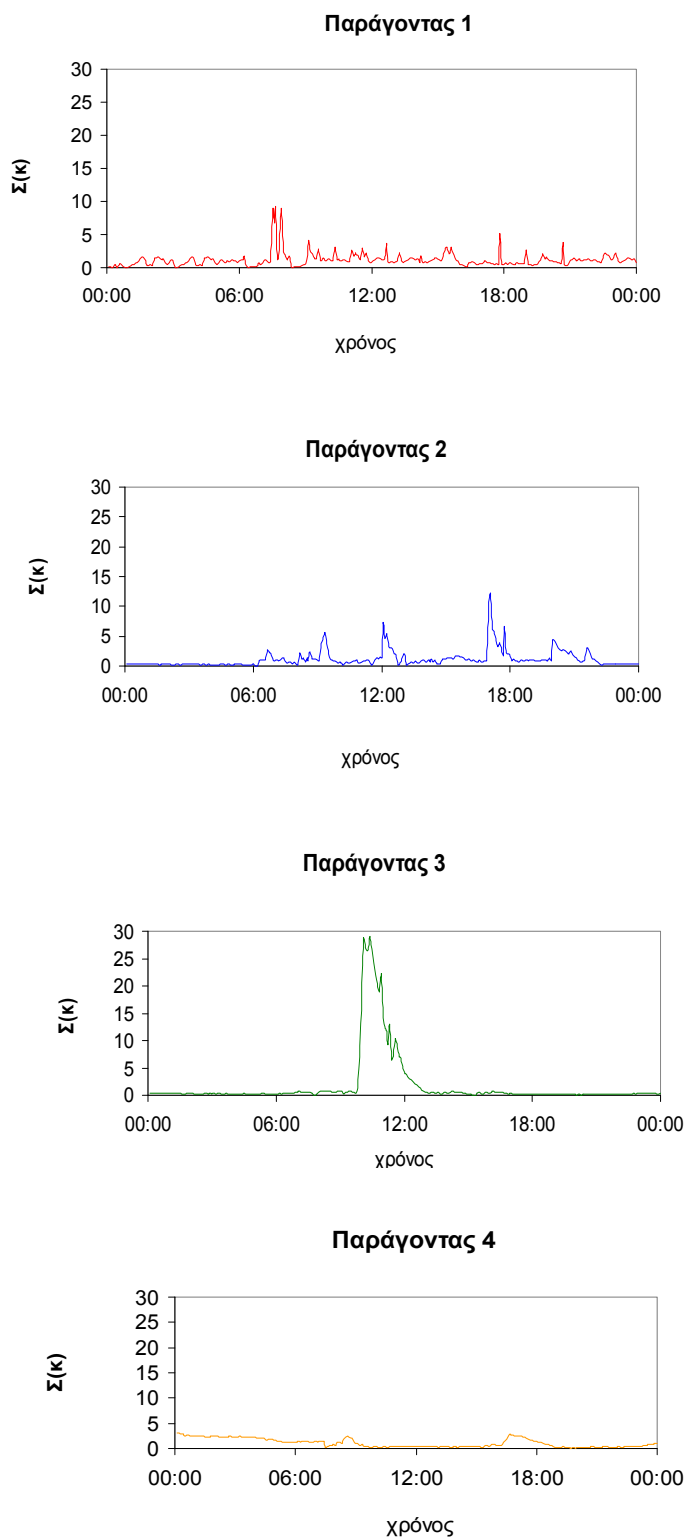
Ο **παράγοντας 1** σχετίζεται με πηγές από το **εξωτερικό περιβάλλον**. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζει μεγάλη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1μm και μεγαλύτερη των 5μm (σχήμα 6.16), χαρακτηριστικό των πηγών που σχετίζονται με εκπομπές από οχήματα και βλάστηση, δομικά έργα κ.α. αντίστοιχα (Pateraki et al., 2010; Maggos et al., 2006 & 2004; Vasilakos et al., 2005; Hanninen et al., 2004). Επιπλέον, ο παράγοντας αυτός παρουσιάζει διακύμανση σε όλο το εικοσιτετράωρο, αλλά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων, η

διακύμανση είναι πιο έντονη. Μάλιστα, κατά το διάστημα 7:30-8:00πμ (ανοιχτά παράθυρα σε όλο το σπίτι) , τα επίπεδα του παράγοντα αυτού είναι αυξημένα (σχήμα 6.17α).

Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με την **επαναιώρηση** της σκόνης από το περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων. Πιο συγκεκριμένα, έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1μm και κυρίως σε εκείνα με διάμετρο μεγαλύτερη των 3μm (σχήμα 6.16). Επίσης, καθ όλη τη διάρκεια της νύχτας, ο παράγοντας αυτός παραμένει σε χαμηλά επίπεδα χωρίς διακύμανση. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της ημέρας και κυρίως στα διαστήματα όπου υπάρχει έντονη κινητικότητα- όπως καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια- παρατηρούνται έντονες κορυφές (σχήμα 6.17β).

Ο **παράγοντας 3** σχετίζεται με τις δραστηριότητες του **ψησίματος** και του **τηγανίσματος**. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει στα σωματίδια με διάμετρο μέχρι 5μm αλλά η μέγιστη συνεισφορά του παρατηρείται στα σωματίδια μεταξύ 0.8-4μm (σχήμα 6.16), δηλαδή στο φάσμα μεγέθους σωματιδίων που εκπέμπουν οι πηγές αυτές (όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του προφίλ των πηγών –παράγραφοι 4.4.1 και 4.4.2- και τη βιβλιογραφία). Επιπλέον, περίπου στις 10:00 ο παράγοντας αυτός αυξάνεται απότομα, προσεγγίζοντας υψηλά επίπεδα (σχήμα 6.17γ) και ακολουθεί πτωτική πορεία για τις επόμενες 3 ώρες. Πράγματι, όπως σημειώθηκε και στο ερωτηματολόγιο, οι δραστηριότητες του τηγανίσματος και του ψησίματος πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 9:50 και 11:00πμ. Η αργή πτώση της συγκέντρωσης συμφωνεί με την αντίστοιχη παρατήρηση από τις μετρήσεις των προφίλ των πηγών αυτών (παράγραφος 4.8).

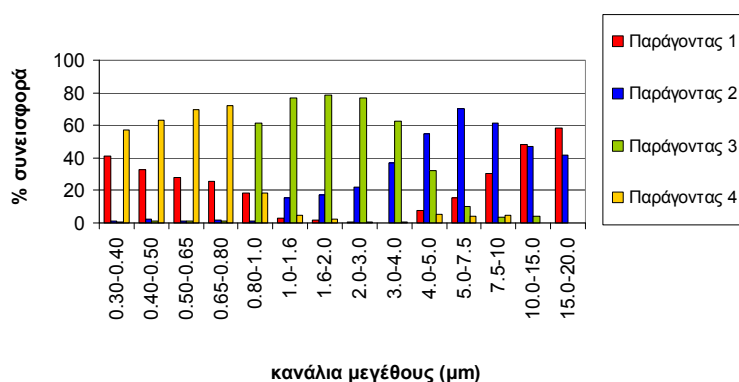
Ο **παράγοντας 4** μπορεί να σχετιστεί με ένα σύνολο δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν τη χρήση της **τοστιέρας**, της **καφετιέρας** και του **μαγειρέματος** που πραγματοποιήθηκαν την ημέρα αυτή. Ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει στα σωματίδια έως 1μm (σχήμα 6.16) ενώ εμφανίζει ομαλή αύξηση κατά τα διαστήματα 8:30-9:30 και 16:25-17:00 όπου έγινε χρήση τοστιέρας/καφετιέρας και μαγείρεμα (βράσιμο σε ηλεκτρική κουζίνα) αντίστοιχα (σχήμα 6.17δ). Επιπλέον, αυτός ο παράγοντας δείχνει να σχετίζεται και με την εκπομπή μικρών σωματιδίων από τα οικοδομικά υλικά, τα χαλιά και τα έπιπλα ακόμα κι αν δεν υπάρχουν δραστηριότητες, καθώς όπως φαίνεται στο σχήμα, αυξάνεται και παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών που το σπίτι μένει τελείως κλειστό.



Σχήματα 6.17α-δ: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης για τους παράγοντες 1-4, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα.

II. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας

Η εφαρμογή της PMF στη συγκεκριμένη ημέρα κατέληξε στην ύπαρξη τεσσάρων παραγόντων (σχήμα 6.15). Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους φαίνεται στο σχήμα 6.18. Επίσης, στα σχήματα 6.19α,β,γ,δ δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).



Σχήμα 6.18 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτισμό με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

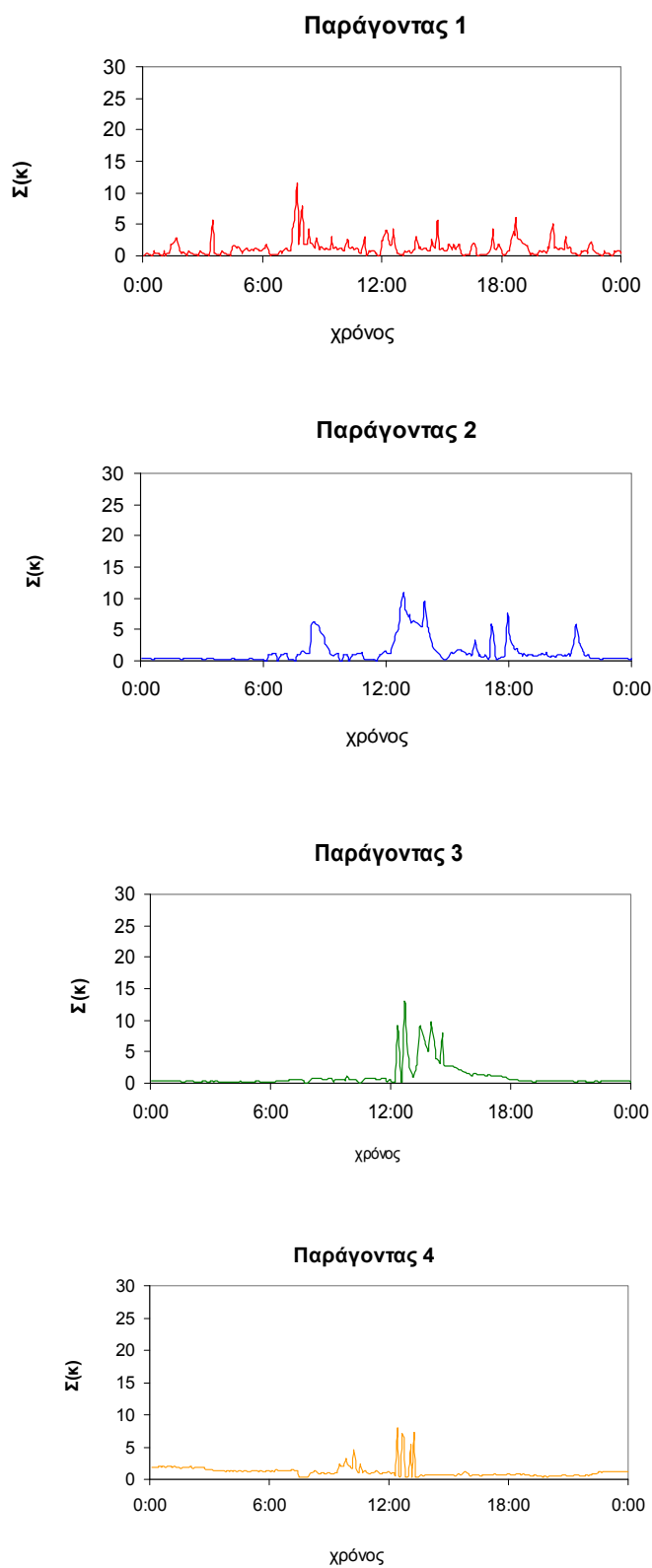
Ο **παράγοντας 1** σχετίζεται με πηγές από το **εξωτερικό περιβάλλον** και είναι ο αντίστοιχος του παράγοντα 1 της περίπτωσης I. Εμφανίζει μεγάλη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1μm και μεγαλύτερη των 5μm (σχήμα 6.18), χαρακτηριστικό των πηγών που σχετίζονται με εκπομπές από οχήματα και βλάστηση, δομικά έργα κ.α. αντίστοιχα. Επιπλέον, παρουσιάζει διακύμανση σε όλο το εικοσιτετράωρο, αλλά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων, η διακύμανση είναι πιο έντονη. Κατά το διάστημα 7:30-8:00πμ (ανοιχτά παράθυρα σε όλο το σπίτι), τα επίπεδα του παράγοντα αυτού αυξάνουν (σχήμα 6.19α).

Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με την **επαναιώρηση** της σκόνης από το **περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων** και είναι αντίστοιχος του παράγοντα 2 της περίπτωσης I. Πιο συγκεκριμένα, έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο

μεγαλύτερη του 1 μ m και κυρίως σε εκείνα με διάμετρο μεγαλύτερη των 4 μ m (σχήμα 6.18). Επίσης, καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας, ο παράγοντας αυτός παραμένει σε χαμηλά επίπεδα χωρίς διακύμανση ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρείται έντονη διακύμανση (σχήμα 6.19β). Ειδικά για το διάστημα 12:00-15:00, όπου έγιναν δραστηριότητες καθαριότητας στο σαλόνι, ο παράγοντας αυτός εμφανίστηκε ιδιαίτερα αυξημένος. Τέλος, χαρακτηριστικό του παράγοντα αυτού είναι ότι η συγκέντρωση επιστρέφει στα επίπεδα υποβάθρου σε χρονικό διάστημα περίπου μίας ώρας, γεγονός που παρατηρήθηκε και στις μετρήσεις του προφίλ του περπατήματος (παράγραφος 4.3).

Ο **παράγοντας 3** σχετίζεται επίσης με πηγές επαναιώρησης, αλλά όχι αποκλειστικά με το περπάτημα. Αφενός συνεισφέρει κυρίως σε μικρότερα σωματίδια από τον παράγοντα 2 (0.8-4 μ m) όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.18, αφετέρου είναι σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και εμφανίζει έντονες κορυφές κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων καθαριότητας (σχήμα 6.19γ). Πράγματι, κατά το διάστημα 12:00-15:00 πραγματοποιήθηκε **σκούπισμα, σφουγγάρισμα, ξεσκόνισμα, τίναγμα μαξιλαριών και τακτοποίηση του χώρου**, πηγές επαναιώρησης των οποίων τα προφίλ περιλαμβάνουν τα μεγέθη σωματιδίων που σχετίζονται με τον παράγοντα αυτό (ενότητα 4.3).

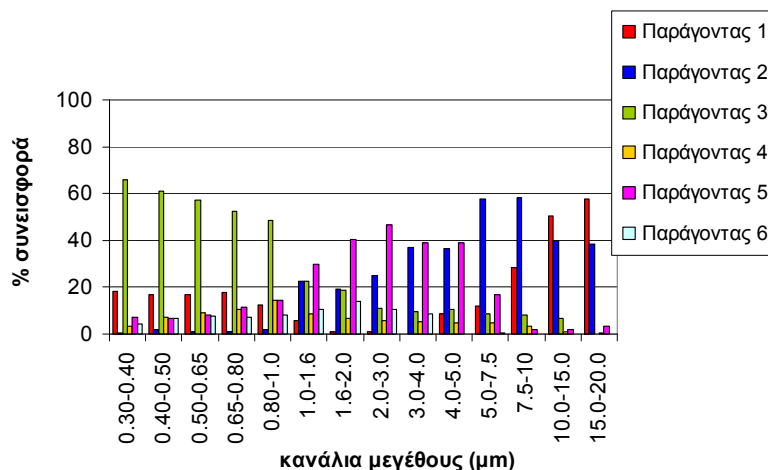
Ο **παράγοντας 4** συνδέεται με εκπομπή σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 0.8 μ m και εμφανίζει έντονες κορυφές κατά το διάστημα 9:30-10:30 (όπου πραγματοποιήθηκε **σιδέρωμα**) και το διάστημα 12:20-13:20 (όπου έγινε χρήση **καθαριστικού σπρέυ** και ξεσκόνισμα). Παρά τη διαφορετική φύση των πηγών αυτών, παρατηρείται εκπομπή σωματιδίων του ίδιου μεγέθους. Επιπλέον, ο παράγοντας αυτός εμφανίζεται αυξημένος κατά τις νυχτερινές ώρες που το σπίτι παραμένει κλειστό και πιθανόν να αντιστοιχεί και σε εκπομπή σωματιδίων από τα **οικοδομικά υλικά**, τα **χαλιά** και τα **έπιπλα**, όπως και ο παράγοντας 4 της περίπτωσης I.



Σχήματα 6.19α-δ: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης για τους παράγοντες 1-4, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας.

III. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι

Η εφαρμογή της PMF στη συγκεκριμένη ημέρα κατέληξε στην ύπαρξη έξι παραγόντων (σχήμα 6.15). Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους φαίνεται στο σχήμα 6.20. Επίσης, στα σχήματα 6.21α-στ δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).



Σχήμα 6.20 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτισμό με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

Ο **παράγοντας 1** σχετίζεται με πηγές από το **εξωτερικό περιβάλλον** και είναι ο αντίστοιχος του παράγοντα 1 των περιπτώσεων I και II. Ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει στα σωματίδια με διάμετρο έως 1μm (με μικρότερο ποσοστό από τις περιπτώσεις I και II) και με σημαντικό ποσοστό στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 5μm (σχήμα 6.20). Οι πηγές που αντιστοιχούν στα κλάσματα μεγέθους αυτά είναι οι εκπομπές από τα οχήματα και γενικότερα πηγές καύσης και η μεταφερόμενη σκόνη από φυτά και έργα στους δρόμους. Επιπλέον, παρουσιάζει διακύμανση σε όλο το εικοσιτετράωρο, αλλά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων, η διακύμανση είναι πιο έντονη (σχήμα 6.21α).

Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με την **επαναιώρηση** της σκόνης από το **περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων** και είναι αντίστοιχος του παράγοντα 2 των

περιπτώσεων I και II. Έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μm και κυρίως σε εκείνα με διάμετρο μεγαλύτερη των 5 μm (σχήμα 6.20). Επίσης, καθ όλη τη διάρκεια της νύχτας, ο παράγοντας αυτός παραμένει σε χαμηλά επίπεδα χωρίς διακύμανση ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται κορυφές (σχήμα 6.21β). Ο παράγοντας αυτός είναι ιδιαίτερα αυξημένος κατά το διάστημα 17:00-20:30, όπου υπήρχε έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι, καθώς υπήρχαν επισκέπτες στην κατοικία (συνολικά 6 άτομα στο σαλόνι). Μετά από αυτό το διάστημα, δεν υπήρξε κινητικότητα στο χώρο και η συγκέντρωση μειώνεται μέχρι αργά τη νύχτα.

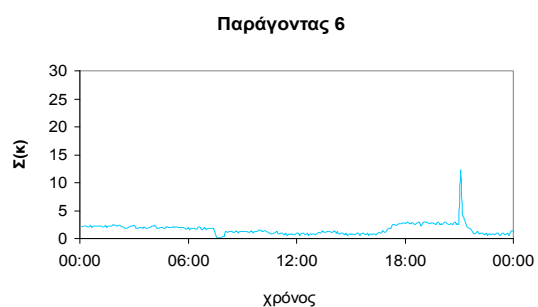
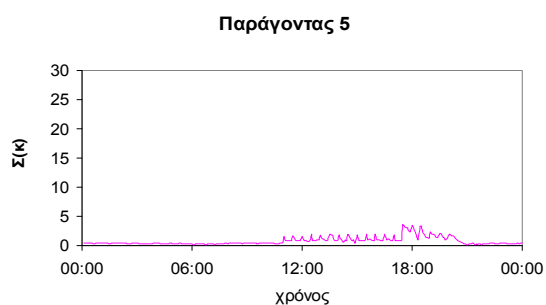
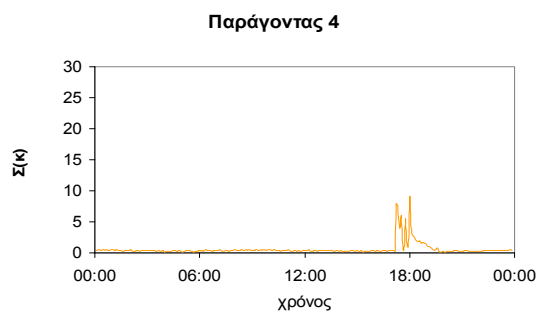
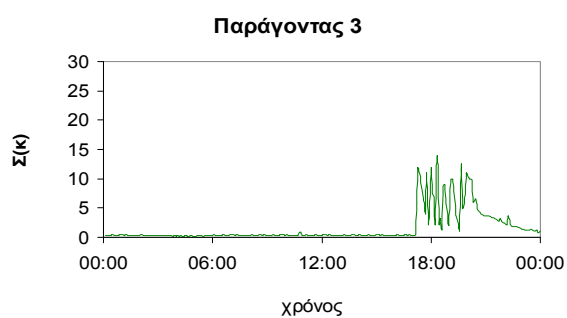
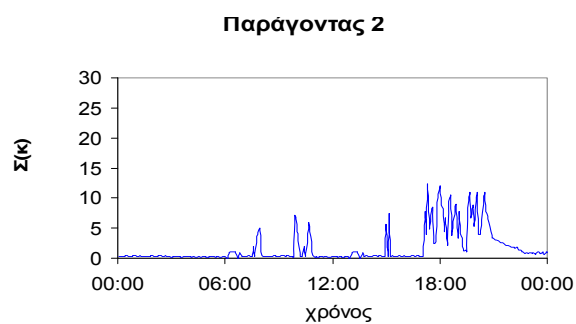
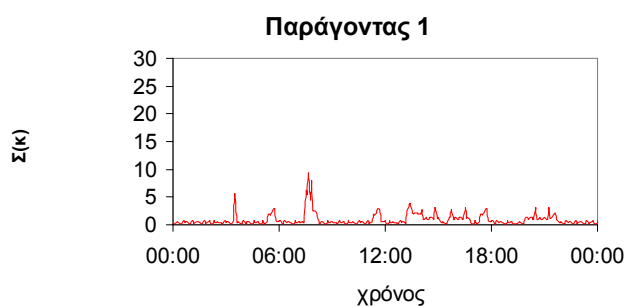
Ο **παράγοντας 3** αντιστοιχεί στο **κάπνισμα** δεδομένου ότι σχετίζεται με την εκπομπή σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη του 1 μm (σχήμα 6.20) και εμφανίζει υψηλές και απότομες κορυφές τις χρονικές στιγμές που καπνίστηκαν τα τσιγάρα (σχήμα 6.21γ). Πιο συγκεκριμένα, στον παράγοντα αυτό, αποδίδεται η εκπομπή περισσότερου από 50% των πολύ μικρών σωματιδίων (<1 μm) (παράγραφος 4.2.1). Αντίστοιχη παρατήρηση έγινε και για το γραφείο των καπνιστών, όπου το κάπνισμα κυριαρχεί μεταξύ των πηγών που εκπέμπουν πολύ μικρά σωματίδια (παράγραφος 6.1). Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της πηγής του καπνίσματος είναι η αργή πτώση της συγκέντρωσης μέχρι τα επίπεδα υποβάθρου, όπως έδειξαν και οι μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών. Πράγματι, η συγκέντρωση του παράγοντα αυτού επιστρέφει στα επίπεδα υποβάθρου μετά από τουλάχιστον 3.5 ώρες (παράγραφος 4.8).

Ο **παράγοντας 4** μπορεί να αντιστοιχηθεί στην **καύση των αρωματικών στικς**. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.20, ο παράγοντας αυτός έχει συνεισφορά στα σωματίδια μεταξύ 0.5-1 μm , παρατήρηση που συμφωνεί με το προφίλ της πηγής των στικς στο θάλαμο δοκιμών (παράγραφος 4.2.3). Επίσης, το χρονικό διάστημα στο οποίο βρίσκονται οι κορυφές που παρατηρούνται στο σχήμα 6.21δ ταυτίζεται με το διάστημα στο οποίο πραγματοποιήθηκε άναμμα αρωματικών στικς εκείνη τη μέρα (1^η φορά στις 17:18, 2^η φορά στις 17:32 και 3^η φορά στις 17:53, με διάρκεια καύσης περίπου 5 λεπτά).

Ο **παράγοντας 5** σχετίζεται με τη χρήση του **αρωματικού σπρέυ**. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει στα σωματίδια μεταξύ 1-7.5 μm (σχήμα 6.20), χαρακτηριστικό που συμφωνεί και με τις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών (παράγραφος 4.5.1). Επίσης, εμφανίζει κορυφές ανά περίπου 30 λεπτά για το χρονικό διάστημα μεταξύ 11:00 και 20:00. Πράγματι, όπως σημειώθηκε στα ερωτηματολόγια, δύο αυτόματες συσκευές ψεκασμού αρωματικού σπρέυ ψέκαζαν

ταυτόχρονα ανά 30 λεπτά για το διάστημα αυτό. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για το διάστημα 17:30-19:00 η συγκέντρωση εμφανίζεται αυξημένη.

Ο **παράγοντας 6** αντιστοιχεί σε δύο διαφορετικής φύσης πηγές οι οποίες παράγουν σωματίδια διαμέτρου 1-3 μ m (σχήμα 6.20): την καύση/σβήσιμο των **αρωματικών κεριών** (παράγραφος 4.2.2) και την εκπομπή σωματιδίων από **οικοδομικά υλικά**, τα **χαλιά** και τα **έπιπλα** (Saraga et al., 2010). Πράγματι, μελετώντας τη διακύμανση του παράγοντα αυτού, παρατηρείται μία ελαφρά αύξηση κατά το διάστημα 17:15-21:00 και μία απότομη κορυφή στις 21:05. Η κορυφή αυτή συμπίπτει χρονικά με το σβήσιμο των κεριών. Παρόλα αυτά, η περίοδος της ελαφρώς αυξημένης συγκέντρωσης που προηγείται φαίνεται να συνδέεται περισσότερο με την επαναιώρηση καθώς δεν συμπίπτει χρονικά με την καύση των κεριών (19:00-21:00). Από την άλλη πλευρά, ο παράγοντας αυτός φαίνεται να αυξάνεται όταν το σπίτι παραμένει τελείως κλειστό, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Μάλιστα, κατά το χρονικό διάστημα που τα παράθυρα παρέμεναν εντελώς ανοιχτά (7:30-8:00) η συγκέντρωσή του, μειώνεται αισθητά. Έτσι, εκτός από την πηγή των κεριών, ο παράγοντας αυτός σχετίζεται και με τις εκπομπές από τα έπιπλα, τα χαλιά και τα οικοδομικά υλικά, οι οποίες μειώνονται όταν ο αέρας ανανεώνεται από τον εξωτερικό.

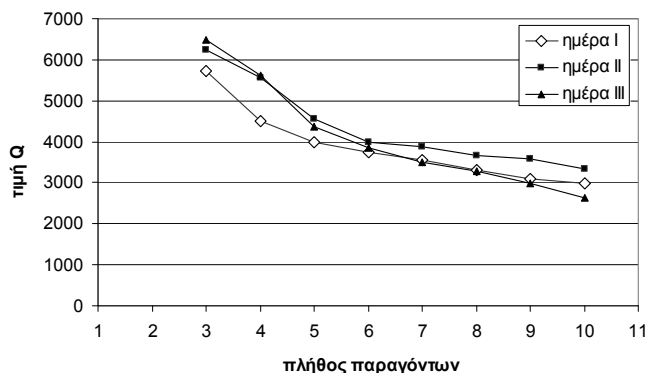


Σχήματα 6.21α-στ: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης $\Sigma(k)$ για τους παράγοντες 1-6, για τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας.

6.2.2 Εφαρμογή στις μετρήσεις μάζας σωματιδίων

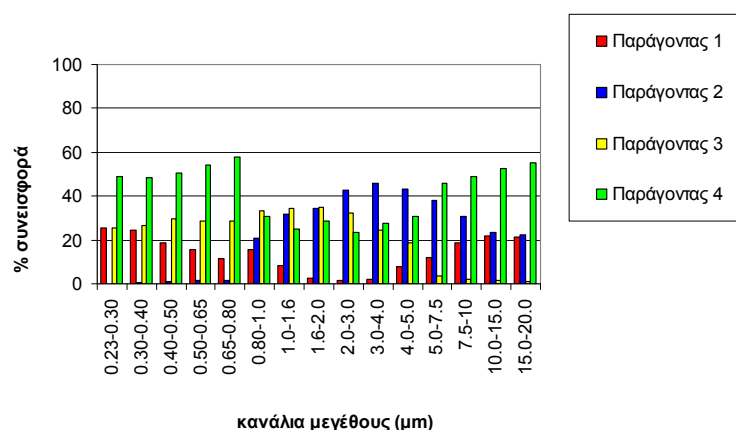
I. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα

Η εφαρμογή της PMF στη συγκεκριμένη ημέρα κατέληξε στην ύπαρξη τεσσάρων παραγόντων (σχήμα 6.22).



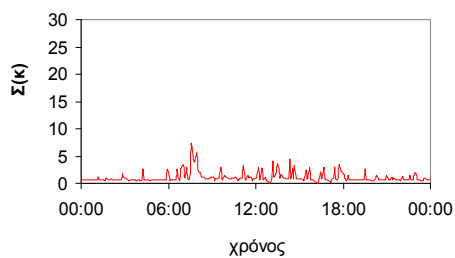
Σχήμα 6.22 Γραφική παράσταση της σχέσης του πλήθους των παραγόντων που εξετάστηκαν (3-10) με την τιμή της παραμέτρου Q για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία (για τις τρεις ημέρες με τα διαφορετικά σενάρια δραστηριότητας).

Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους φαίνεται στο σχήμα 6.23. Επίσης, στα σχήματα 6.24α-δ δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).

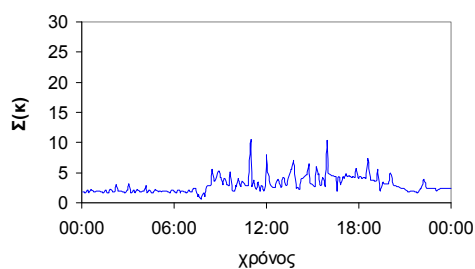


Σχήμα 6.23 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα.

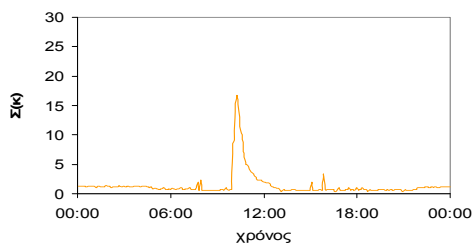
Παράγοντας 1



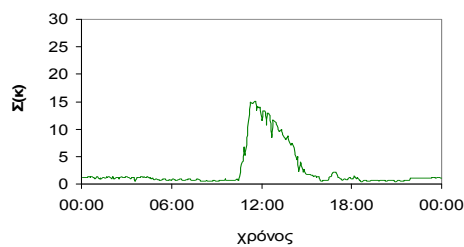
Παράγοντας 2



Παράγοντας 3



Παράγοντας 4



Σχήματα 6.24α-δ: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης για τους παράγοντες 1-4, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτισμό με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

Ο **παράγοντας 1** συνδέεται με πηγές **από το εξωτερικό περιβάλλον**. Πράγματι, συνεισφέρει στα σωματίδια όλου του φάσματος αλλά έχει την μεγαλύτερη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1 μ m και μεγαλύτερη των 5 μ m (σχήμα 6.23), χαρακτηριστικό των πηγών που σχετίζονται με εκπομπές από οχήματα και βλάστηση, δομικά έργα κ.α. αντίστοιχα. Επιπλέον, ο παράγοντας αυτός παρουσιάζει διακύμανση σε όλο το εικοσιτετράωρο, η οποία γίνεται περισσότερο έντονη τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων. Μάλιστα, κατά το διάστημα 7:30-8:00πμ (ανοιχτά παράθυρα σε όλο το σπίτι), τα επίπεδα του παράγοντα αυτού είναι αυξημένα (σχήμα 6.24α).

Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με την **επαναίωρηση** της σκόνης από το περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων. Πιο συγκεκριμένα, έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 0.8 μ m και κυρίως σε εκείνα με διάμετρο μεταξύ 1-10 μ m (σχήμα 6.23), χαρακτηριστικό της πηγής του περπατήματος (4.3.5-4.3.6). Επίσης, καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας, ο παράγοντας αυτός παραμένει σε χαμηλά επίπεδα χωρίς διακύμανση. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της ημέρας και κυρίως στα διαστήματα όπου υπάρχει έντονη κινητικότητα- όπως καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια- παρατηρούνται έντονες κορυφές (σχήμα 6.24β).

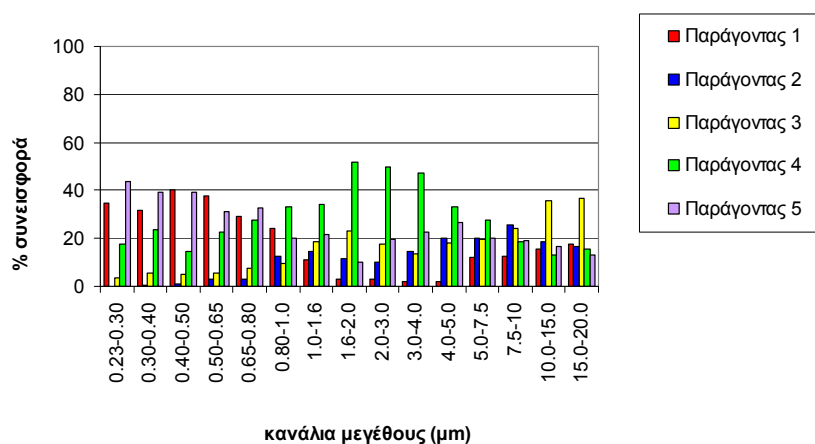
Ο **παράγοντας 3** σχετίζεται με τη δραστηριότητα του **τηγανίσματος**. Πιο συγκεκριμένα, η κορυφή που εμφανίζεται στη διακύμανση του παράγοντα αυτού ταυτίζεται χρονικά με τη δραστηριότητα του τηγανίσματος, η οποία πραγματοποιήθηκε μεταξύ 10:00 και 10:45πμ (σχήμα 6.24γ). Επίσης, ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει στα σωματίδια με διάμετρο 0.23-5 μ m (σχήμα 6.23), χαρακτηριστικό της πηγής αυτής αφού λαμβάνει χώρα ταυτόχρονη εκπομπή σωματιδίων από τη θερμαινόμενη επιφάνεια, την θέρμανση του λαδιού και των υλικών και την παραγωγή υδρατμών (παράγραφος 4.4.1).

Ο **παράγοντας 4** αντιστοιχεί στην πηγή του **ψησίματος στο grill** και στο **μαγείρεμα** στην ηλεκτρική κουζίνα, δύο πηγές στις οποίες εκτός από εκπομπή πολύ μικρών (<1 μ m) υπάρχει μεγάλη έκλυση υδρατμών (παράγραφοι 4.4.2 και 4.4.3). Πράγματι, ο

παράγοντας αυτός συνεισφέρει σε όλο το φάσμα μεγέθους σωματιδίων, με μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς στα κανάλια έως 0.8μm και μεγαλύτερα των 5μm (σχήμα 6.23), χαρακτηριστικό των πηγών που περιλαμβάνουν θερμαινόμενες επιφάνειες και μεγάλη έκλυση υδρατμών. Επίσης, ο παράγοντας 4 εμφανίζει μεγάλη και απότομη αύξηση, πέντε λεπτά μετά την έναρξη του ψησίματος (10:15). Η συγκέντρωση επανέρχεται στα επίπεδα υποβάθρου σε περισσότερο από 3 ώρες μετά τη λήξη της δραστηριότητας (σχήμα 6.24δ). Ακολουθεί μια μικρότερη και πιο ομαλή αύξηση όταν πραγματοποιήθηκε μαγείρεμα (16:15-17:20).

II. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας

Η εφαρμογή της PMF στη συγκεκριμένη ημέρα κατέληξε στην ύπαρξη πέντε παραγόντων (σχήμα 6.22). Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους φαίνεται στο σχήμα 6.25. Επίσης, στα σχήματα 6.26α-ε δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).



Σχήμα 6.25 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτισμό με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

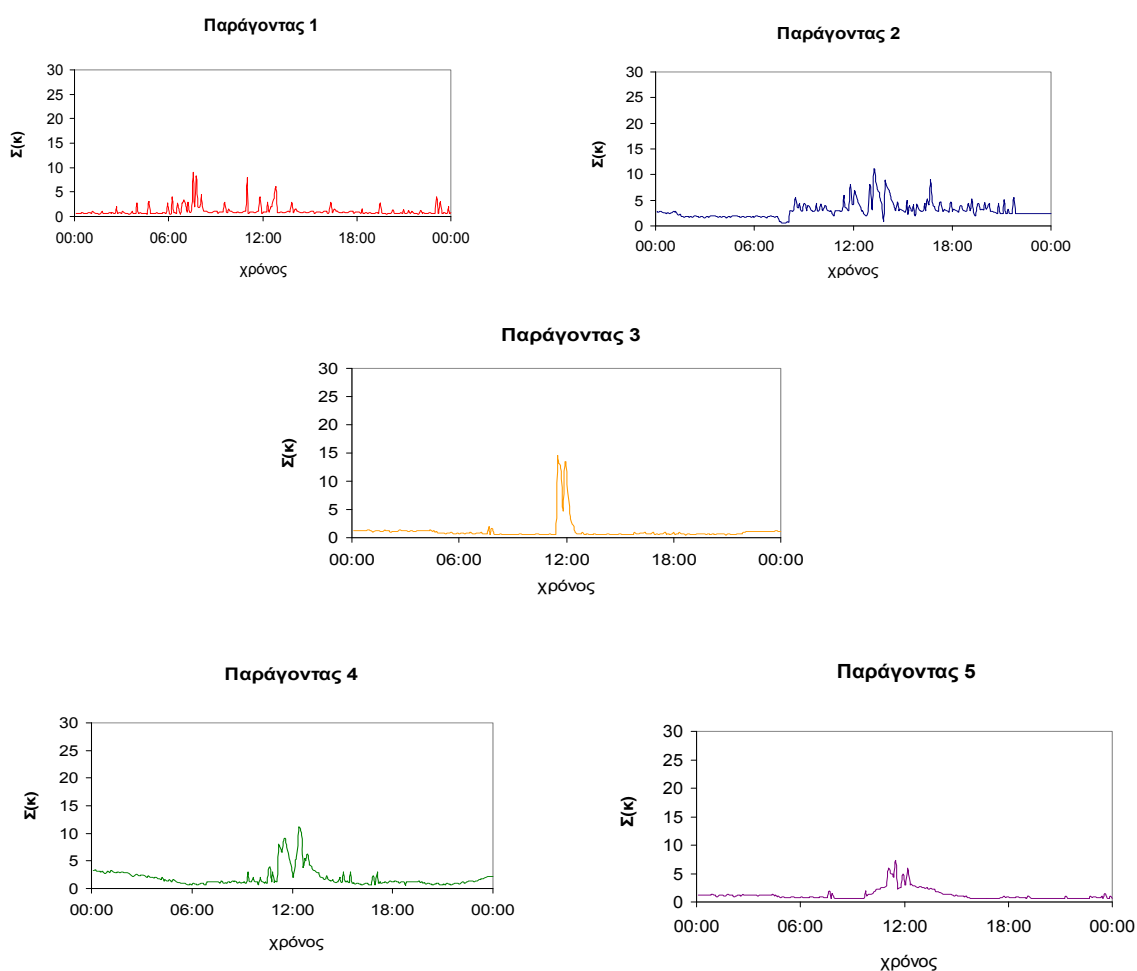
Ο **παράγοντας 1** σχετίζεται με πηγές από το **εξωτερικό περιβάλλον** και είναι ο αντίστοιχος του παράγοντα 1 της περίπτωσης I. Εμφανίζει μεγάλη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1 μ m και μικρότερη σε εκείνα με διάμετρο μεταξύ 5-20 μ m (σχήμα 6.25) χαρακτηριστικό των πηγών που σχετίζονται με εκπομπές από οχήματα και βλάστηση, δομικά έργα κ.α. αντίστοιχα. Επιπλέον, παρουσιάζει διακύμανση σε όλο το εικοσιτετράωρο, αλλά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων, η διακύμανση είναι πιο έντονη (σχήμα 6.26α).

Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με την **επαναιώρηση** της σκόνης από το **περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων** και είναι αντίστοιχος του παράγοντα 2 της περίπτωσης I. Πιο συγκεκριμένα, έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μ m και κυρίως σε εκείνα με διάμετρο μεταξύ 4-10 μ m (σχήμα 6.25). Επίσης, καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας, ο παράγοντας αυτός παραμένει σταθερός σε χαμηλά επίπεδα ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρείται έντονη διακύμανση (σχήμα 6.26β).

Ο **παράγοντας 3** σχετίζεται επίσης με μία πηγή επαναιώρησης, την **τοποθέτηση των χαλιών** η οποία πραγματοποιήθηκε μεταξύ 11:25 και 11:55 πμ. Πράγματι, αφενός συνεισφέρει κυρίως σε σωματίδια μεγαλύτερα από 1 μ m (μέγιστη συνεισφορά στα σωματίδια 10-20 μ m), αφετέρου είναι σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και εμφανίζει έντονες κορυφές κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας αυτής (σχήμα 6.26γ). Η εκπομπή κυρίως χονδρόκοκκων σωματιδίων, οι οξείς κορυφές και το σύντομο χρονικό διάστημα επιστροφής (λιγότερο από 1 ώρα) στα επίπεδα υποβάθρου είναι χαρακτηριστικά της πηγής αυτής, όπως παρατηρήθηκε και στις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών (παράγραφος 4.3.4). Παρόλα αυτά, ο παράγοντας αυτός φαίνεται να περιλαμβάνει και μία δευτερεύουσα πηγή που εκπέμπει και σωματίδια του ίδιου μεγέθους, η οποία προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον του σπιτιού καθώς εμφανίζεται την ώρα που όλα τα παράθυρα είναι τελείως ανοιχτά (σχήμα 6.26γ).

Ο παράγοντας 4 συνδέεται επίσης με επαναιώρηση και πιο συγκεκριμένα με τις δραστηριότητες του **σκουπίσματος, σφουγγαρίσματος, ξεσκονίσματος** και της **τακτοποίησης του χώρου**. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει στα σωματίδια όλων των διαμέτρων (σχήμα 6.25), με μέγιστο ποσοστό συνεισφοράς στα κανάλια 1.6-4 μ m (περίπου 40%). Επίσης, μεταξύ 11:00 και 13:00πμ (όπου πραγματοποιήθηκαν οι δραστηριότητες καθαριότητας σε όλο το σπίτι), εμφανίζονται αμβλείς κορυφές

(σχήμα 6.26δ). Ο χρόνος επαναφοράς στα επίπεδα υποβάθρου είναι περίπου μία-μιάμιση ώρα, επίσης χαρακτηριστικό των δραστηριοτήτων αυτών (παράγραφος 4.3). Επιπλέον, καθόλη τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται μικρότερες, οξείες κορυφές οι οποίες πιθανόν να οφείλονται σε επαναιώρηση από την κίνηση των κατοίκων ή ρεύματα αέρα, με εκπομπή σωματιδίων ίδιου μεγέθους. Τέλος, ο παράγοντας αυτός εμφανίζεται αυξημένος κατά τις νυχτερινές ώρες που το σπίτι παραμένει κλειστό και πιθανόν να αντιστοιχεί και σε εκπομπή σωματιδίων από τα **οικοδομικά υλικά**, τα **χαλιά** και τα **έπιπλα**.

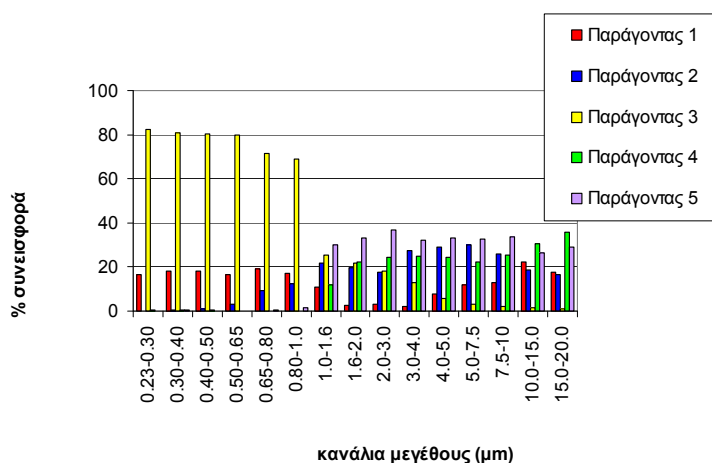


Σχήματα 6.19α-ε: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης για τους παράγοντες 1-5, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας.

Ο παράγοντας 5 σχετίζεται με τη δραστηριότητα του **σιδερώματος** και της χρήσης **καθαριστικού σπρέυ** (σχήμα 6.25). Πράγματι, συνδέεται με εκπομπή σωματιδίων σε όλο το φάσμα μεγέθους που μετρήθηκε (παράγραφοι 4.6.1 και 4.5.2). Επίσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.26ε, παρατηρείται μία μη απότομη αύξηση στη συγκέντρωση από τις 9:40πμ περίπου. Όπως καταγράφηκε στα ερωτηματολόγια, μεταξύ 9:40 και 10:40 πραγματοποιήθηκε σιδέρωμα στο χώρο του σαλονιού ενώ μεταξύ 11:00-12:30 χρησιμοποιήθηκε το καθαριστικό σπρέυ (σε συνδυασμό με τη δραστηριότητα του ξεσκονίσματος που περιγράφηκε προηγουμένως) στο οποίο οφείλονται και οι απότομες κορυφές που διακρίνονται μεταξύ 11:00 και 12:15.

III. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι

Η εφαρμογή της PMF στη συγκεκριμένη ημέρα κατέληξε στην ύπαρξη πέντε παραγόντων (σχήμα 6.22). Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους φαίνεται στο σχήμα 6.27. Επίσης, στα σχήματα 6.28α-ε δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).



Σχήμα 6.27 Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι.

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτισμό με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

Ο **παράγοντας 1** σχετίζεται με πηγές από το **εξωτερικό περιβάλλον** και είναι ο αντίστοιχος του παράγοντα 1 των περιπτώσεων I και II. Ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει κυρίως στα σωματίδια με διάμετρο έως 1 μm και μεγαλύτερη των 5 μm (σχήμα 6.27). Οι πηγές που αντιστοιχούν στα κλάσματα μεγέθους αυτά είναι οι εκπομπές από τα οχήματα και γενικότερα πηγές καύσης και η μεταφερόμενη σκόνη από φυτά και έργα στους δρόμους. Επιπλέον, εμφανίζει κορυφές σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, αλλά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων, η διακύμανση είναι περισσότερο έντονη. Κατά το διάστημα 7:30-8:00πμ (ανοιχτά παράθυρα σε όλο το σπίτι) , τα επίπεδα του παράγοντα αυτού αυξάνουν σημαντικά (σχήμα 6.28α).

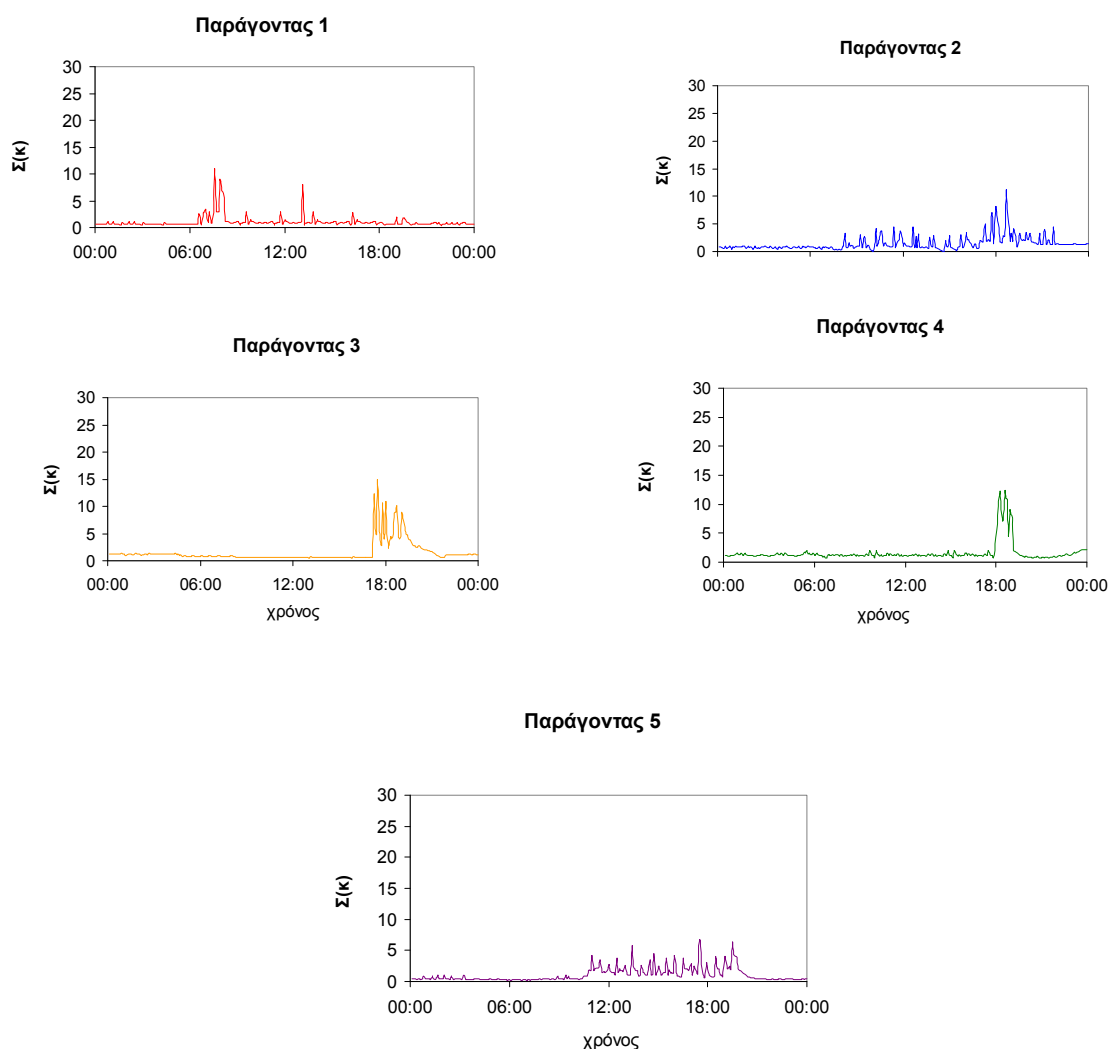
Ο **παράγοντας 2** συνδέεται με την **επαναιώρηση** της σκόνης από το **περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων** και είναι αντίστοιχος του παράγοντα 2 των περιπτώσεων I και II. Έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μm (σχήμα 6.27). Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, ο παράγοντας αυτός κατά τη διάρκεια της νύχτας παραμένει σταθερός σε χαμηλά επίπεδα χωρίς διακύμανση ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται κορυφές (σχήμα 6.28β). Οι κορυφές στη συγκέντρωση εμφανίζονται πιο έντονες κατά το διάστημα 17:00-20:00, όπου υπήρξε έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι, καθώς υπήρχαν επισκέπτες στην κατοικία (συνολικά 6 άτομα στο σαλόνι).

Ο **παράγοντας 3** αντιστοιχεί στο **κάπνισμα** δεδομένου ότι σχετίζεται με την εκπομπή σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη του 1 μm (σχήμα 6.27) και εμφανίζει υψηλές και απότομες κορυφές τις χρονικές στιγμές που καπνίστηκαν τα τσιγάρα (σχήμα 6.28γ) μεταξύ 17:00 και 19:00. Πιο συγκεκριμένα, στον παράγοντα αυτό, αποδίδεται η εκπομπή περισσότερου από 70% των πολύ μικρών σωματιδίων (<1 μm). Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της πηγής του καπνίσματος είναι η αργή πτώση της συγκέντρωσης μέχρι τα επίπεδα υποβάθρου, όπως έδειξαν και οι μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών (παράγραφος 4.2.1). Πράγματι, η συγκέντρωση του παράγοντα αυτού επιστρέφει στα επίπεδα υποβάθρου μετά από τουλάχιστον 3 ώρες.

Ο **παράγοντας 4** αντιστοιχεί στην **καύση των αρωματικών στικς**. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.27, ο παράγοντας αυτός έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 1.6 μm , παρατήρηση που συμφωνεί με το προφίλ της πηγής των στικς στο θάλαμο δοκιμών (παράγραφος 4.2.3). Επίσης, το χρονικό διάστημα στο οποίο βρίσκονται οι κορυφές που παρατηρούνται στο σχήμα 6.28δ ταυτίζεται με το διάστημα στο οποίο πραγματοποιήθηκε άναμμα αρωματικών στικς

εκείνη τη μέρα (1^η φορά στις 18:13, 2^η φορά στις 18:33 και 3^η φορά στις 18:53, με διάρκεια καύσης περίπου 5 λεπτά).

Ο **παράγοντας 5** σχετίζεται με τη χρήση του **αρωματικού σπρέυ**. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει στα σωματίδια μεταξύ 1 και 20 μ m (σχήμα 6.27), χαρακτηριστικό του προφίλ της πηγής αυτής που μετρήθηκε στο θάλαμο δοκιμών (παράγραφος 4.5.1). Επίσης, εμφανίζει κορυφές ανά περίπου 30 λεπτά για το χρονικό διάστημα μεταξύ 11:00 και 19:30. Πράγματι, όπως σημειώθηκε στα ερωτηματολόγια, δύο αυτόματες συσκευές ψεκασμού αρωματικού σπρέυ ψέκαζαν ταυτόχρονα ανά 30 λεπτά για το διάστημα αυτό.



Σχήματα 6.28α-ε: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης για τους παράγοντες 1-4, για τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία, την ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι.

6.2.3 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της PMF σε μετρήσεις αριθμού και μάζας σωματιδίων στον χώρο της κατοικίας.

Σκοπός της εφαρμογής του μοντέλου της Positive Matrix Factorization (PMF) ήταν να εντοπιστούν οι παράγοντες-πηγές που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις αριθμού σωματιδίων στον εσωτερικό αέρα της κατοικίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή στις μετρήσεις κατά τη διάρκεια τριών ημερών στις οποίες διαφορετικές δραστηριότητες έλαβαν χώρα. Για την ταυτοποίηση των πηγών χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία εξόδου του μοντέλου (από όλες τις ημέρες) όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους σε συνδυασμό με πληροφορίες που είχαν καταγραφεί στα ερωτηματολόγια δραστηριοτήτων (logbooks) αλλά και τα προφίλ πηγών που μετρήθηκαν στο θάλαμο δοκιμών. Για τις περιπτώσεις των πηγών των οποίων τα προφίλ δεν είναι διαθέσιμα από τις μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών, χρησιμοποιούνται πληροφορίες από τη βιβλιογραφία.

Η τελική εικόνα του αποτελέσματος της εφαρμογής του μοντέλου δίνεται από την ποσοτική εκτίμηση της συνεισφοράς των παραγόντων-πηγών στις μετρούμενες συγκεντρώσεις. Στα σχήματα 6.29-6.34 παρουσιάζεται η συνεισφορά των πηγών σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1 μ m, 1-3 μ m και 3-10 μ m, για τις τρεις ημέρες δραστηριοτήτων, μετρώντας αριθμό και μάζα σωματιδίων.

I. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα

Με βάση τις μετρήσεις **αριθμού** σωματιδίων, ανιχνεύτηκαν τέσσερις πηγές ή ομάδες πηγών:

- ✓ **το τηγάνισμα & το ψήσιμο στο grill**
- ✓ η επαναιώρηση από το περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων
- ✓ η χρήση **τοστιέρας/καφετιέρας, το μαγείρεμα** και η εκπομπή από **υλικά και έπιπλα στον χώρο**
- ✓ οι **εξωτερικές πηγές**

Όπως φαίνεται στα σχήματα 6.39αβγ (μετρήσεις αριθμού), τη μεγαλύτερη συνεισφορά (41%) στα μικρότερα του 1 μ m σωματίδια την έχει το τηγάνισμα/ψήσιμο

στο grill και ακολουθούν οι πηγές του εξωτερικού περιβάλλοντος και η χρήση τοστιέρας/καφετιέρας κλπ. Στα σωματίδια μεταξύ 1-3μm το ποσοστό της συνεισφοράς του τηγάνισματος/ψησίματος στο grill είναι εμφανώς αυξημένο (76%). Επίσης, συνεισφορά σε αυτό το κλάσμα σωματιδίων έχει και η επαναιώρηση. Στα μεγαλύτερα σωματίδια, συνεισφέρουν κυρίως η επαναιώρηση και το εξωτερικό περιβάλλον και με μικρότερο ποσοστό και το τηγάνισμα/ψήσιμο (λόγω των υδρατμών που παράγονται)

Με βάση τις μετρήσεις **μάζας** σωματιδίων, ανιχνεύτηκαν επίσης τέσσερις πηγές αλλά διαφορετικές:

- ✓ **το ψήσιμο στο grill & το μαγείρεμα**
- ✓ **το τηγάνισμα** (ως διαφορετική πηγή)
- ✓ **η επαναιώρηση** από το περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων
- ✓ **οι εξωτερικές πηγές.**

Η χρήση τοστιέρας και καφετιέρας δεν ανιχνεύτηκε με τις μετρήσεις μάζας, πιθανόν εξαιτίας του γεγονότος ότι κατά τη λειτουργία των πηγών αυτών παράγεται μικρή ποσότητα σωματιδίων μικρότερων του 1μm, στα οποίο ο αριθμός είναι σημαντικότερη παράμετρος. Όπως φαίνεται στα σχήματα 6.30α,β,γ τη μεγαλύτερη συνεισφορά (52%) στα μικρότερα του 1μm σωματίδια την έχει το *ψήσιμο στο grill* και ακολουθούν το τηγάνισμα και οι πηγές του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στα σωματίδια μεταξύ 1-3μm, οι πηγές του τηγάνισματος, του ψησίματος και της επαναιώρησης έχουν παρόμοια συνεισφορά (περίπου 30% η κάθε μία). Στα μεγαλύτερα σωματίδια, κυριαρχούν το ψήσιμο και η επαναιώρηση.

II. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας

Με βάση τις μετρήσεις **αριθμού** σωματιδίων, ανιχνεύτηκαν τέσσερις πηγές ή ομάδες πηγών:

- ✓ **το σκούπισμα, ξεσκόνισμα και η τοποθέτηση χαλιών (επαναιώρηση)**
- ✓ **το περπάτημα και η κίνηση των κατοίκων (επαναιώρηση)**
- ✓ **η χρήση καθαριστικού σπρέυ και το σιδέρωμα και η εκπομπή από υλικά και έπιπλα στον χώρο**
- ✓ **οι εξωτερικές πηγές**

Όπως παρατηρείται, με την εφαρμογή της PMF ανιχνεύτηκαν δύο διαφορετικές πηγές επαναιώρησης. Όπως φαίνεται στα σχήματα 6.31α,β,γ τη μεγαλύτερη συνεισφορά (56%) στα μικρότερα του 1μm σωματίδια την έχουν η χρήση του σπρέυ, το σιδέρωμα και η εκπομπή από τα οικοδομικά υλικά και τα έπιπλα στο χώρο. Ακολουθούν οι πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον (29%). Στα σωματίδια μεταξύ 1 και 3μm, η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από το σκούπισμα, το ξεσκόνισμα και την τοποθέτηση χαλιών (77%), ενώ με μικρότερο ποσοστό συνεισφέρει και η επαναιώρηση από το περπάτημα και την κίνηση των ανθρώπων (18%). Στα μεγάλα σωματίδια (3μm-20μm), οι πηγές που συνεισφέρουν περισσότερο είναι η επαναιώρηση από το περπάτημα (51%) και οι πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον (27%) ενώ ακολουθούν οι άλλες δύο πηγές με μικρότερα ποσοστά.

Με βάση τις μετρήσεις **μάζας** σωματιδίων, ανιχνεύτηκαν πέντε πηγές:

- ✓ **το περπάτημα και η κίνηση των κατοίκων (επαναιώρηση)**
- ✓ **η τοποθέτηση χαλιών (επαναιώρηση)**
- ✓ **το ξεσκόνισμα και σκούπισμα (επαναιώρηση)**
- ✓ **η χρήση καθαριστικού σπρέυ και το σιδέρωμα**
- ✓ **οι εξωτερικές πηγές**

Όπως παρατηρείται, με την εφαρμογή της PMF στα δεδομένα **μάζας** σωματιδίων ανιχνεύτηκε μία επιπλέον πηγή που ουσιαστικά προήλθε από το διαχωρισμό μιας ομάδας πηγών επαναιώρησης σε δύο (της τοποθέτησης χαλιών και του σκουπίσματος/ξεσκονίσματος). Η καλύτερη διάκριση των πηγών επαναιώρησης με την εφαρμογή της μεθοδολογίας στις μετρήσεις **μάζας** πιθανόν να δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι πηγές αυτές παράγουν μεγάλη ποσότητα χονδρόκοκκων σωματιδίων στα οποία η **μάζα** είναι σημαντικότερο μέγεθος από τον αριθμό. Όπως φαίνεται στα σχήματα 6.32α,β,γ τη μεγαλύτερη συνεισφορά (35-37%) στα μικρότερα του 1μm σωματίδια την έχουν η χρήση του σπρέυ και το σιδέρωμα και οι πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον. Ακολουθεί με μικρότερο ποσοστό το σκούπισμα και το ξεσκόνισμα (21%). Στα σωματίδια μεταξύ 1 και 3μm η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από το σκούπισμα και το ξεσκόνισμα (40%) ενώ με ισοδύναμα ποσοστά συνεισφοράς ακολουθούν οι υπόλοιπες πηγές. Στα πιο μεγάλα σωματίδια (3-20μm) το σκούπισμα και το ξεσκόνισμα έχουν τη μέγιστη συνεισφορά (31%) και

ακολουθούν με μικρότερα ποσοστά η τοποθέτηση χαλιών, το σπρέυ και το σιδέρωμα, το περπάτημα και οι εξωτερικές πηγές.

III. Ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι (επισκέπτες)

Με βάση τις μετρήσεις **αριθμού** σωματιδίων, ανιχνεύτηκαν έξι πηγές ή ομάδες πηγών:

- ✓ **το περπάτημα και η κίνηση των κατοίκων**
- ✓ **το κάπνισμα**
- ✓ **η καύση αρωματικών στικς**
- ✓ **η χρήση αρωματικού σπρέυ χώρου**
- ✓ **η καύση και το σβήσιμο αρωματικών κεριών**
- ✓ **οι εξωτερικές πηγές**

Όπως παρατηρείται στα σχήματα 6.33α,β,γ, τη μεγαλύτερη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο 0.3-1μm έχει η πηγή του καπνίσματος (56%) και με πολύ μικρότερα ποσοστά ακολουθούν και οι άλλες πηγές. Στα σωματίδια 1-3μm, η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από τον ψεκασμό του σπρέυ χώρου (30%) και ακολουθούν η επαναιώρηση (22%), το κάπνισμα (18%) και οι άλλες πηγές με μικρότερα ποσοστά. Στα σωματίδια μεταξύ 3-20μm, τη μεγαλύτερη συνεισφορά έχουν οι πηγές της επαναιώρησης (45%), το εξωτερικό περιβάλλον (26%), το σπρέυ χώρου (17%) και ακολουθούν οι άλλες πηγές με μικρότερα ποσοστά.

Με βάση τις μετρήσεις **μάζας** σωματιδίων, ανιχνεύτηκαν πέντε πηγές:

- ✓ **το περπάτημα και η κίνηση των κατοίκων**
- ✓ **το κάπνισμα**
- ✓ **η καύση αρωματικών στικς**
- ✓ **η χρήση αρωματικού σπρέυ χώρου**
- ✓ **οι εξωτερικές πηγές**

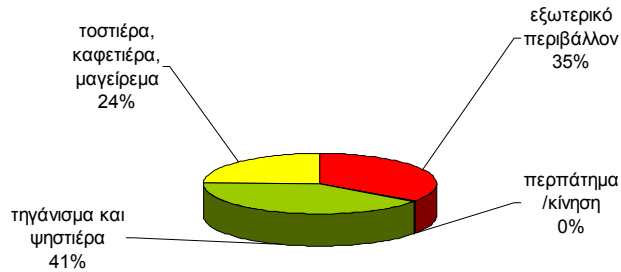
Όπως παρατηρείται, με την εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις μάζας, δεν ανιχνεύτηκε η πηγή της καύσης και του σβήσιματος των κεριών. Όπως παρατηρείται στα σχήματα 6.34α,β,γ, τη μεγαλύτερη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο 0.23-

1 μm έχει το κάπνισμα (79%) ακολουθούμενο από τις πηγές του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι άλλες τρεις πηγές έχουν πολύ χαμηλά ή μηδενικά ποσοστά συνεισφοράς. Στα σωματίδια μεταξύ 1-3 μm , το κάπνισμα εξακολουθεί να έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά (38%) αλλά στις μετρούμενες συγκεντρώσεις συνεισφέρουν και οι πηγές του σπρέυ χώρου, της επαναιώρησης από το περπάτημα, της καύσης των στικς και των εξωτερικών πηγών. Τέλος, στα σωματίδια με διάμετρο 3-20 μm η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από το σπρέυ χώρου (33%), την καύση των στικς και την επαναιώρηση από το περπάτημα (25%).

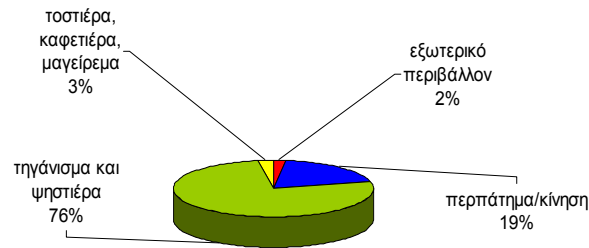
Από τη γενική εικόνα των πηγών που ανιχνεύτηκαν, παρατηρείται ότι εκείνες της επαναιώρησης και του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι κοινές σε όλες τις ημέρες. Τα μεγαλύτερα ποσοστά συνεισφοράς των πηγών που σχετίζονται με επαναιώρηση σωματιδίων παρατηρήθηκαν την ημέρα όπου έγινε εντατική δραστηριότητα καθαριότητας.

Όπως και στην περίπτωση της εφαρμογής της μεθοδολογίας στους χώρους γραφείων, παρατηρείται ότι η επιτυχημένη ανίχνευση πηγών εξαρτάται και από το είδος των μετρήσεων δηλαδή τη μέτρηση αριθμού ή μάζας σωματιδίων. Έτσι, φαίνεται πως το μοντέλο της PMF, **ως προς την ανίχνευση μιας πηγής που σχετίζεται κυρίως με την εκπομπή πολύ μικρών (<1 μm) σωματιδίων** –όπως είναι οι πηγές καύσης, αποκρίνεται καλύτερα όταν εφαρμόζεται σε δεδομένα **αριθμού** σωματιδίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα μικρά σωματίδια, η σημαντικότερη παράμετρος είναι το πλήθος τους και όχι η μάζα τους και κατά συνέπεια το σφάλμα εκτίμησης είναι πιο περιορισμένο. Αντίστοιχα, **ως προς την ανίχνευση μιας πηγής που σχετίζεται κυρίως με την εκπομπή μεγάλων (>3 μm) σωματιδίων** –όπως είναι η επαναιώρηση, το μοντέλο αποκρίνεται καλύτερα όταν εφαρμόζεται σε δεδομένα **μάζας** σωματιδίων.

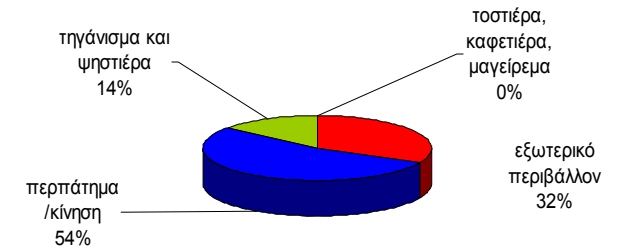
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.3-1.0μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm

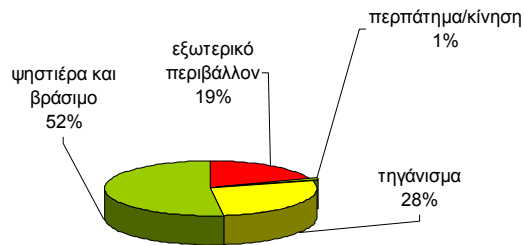


Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm



Σχήματα 6.29α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύθηκαν από τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm, κατά τη διάρκεια της ημέρας με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα.

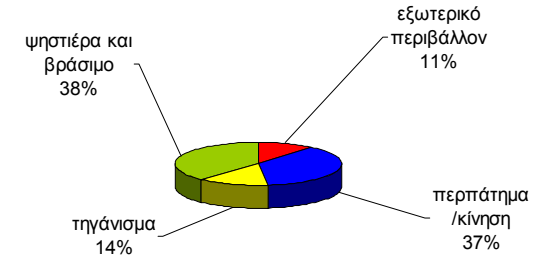
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.23-1.0μm



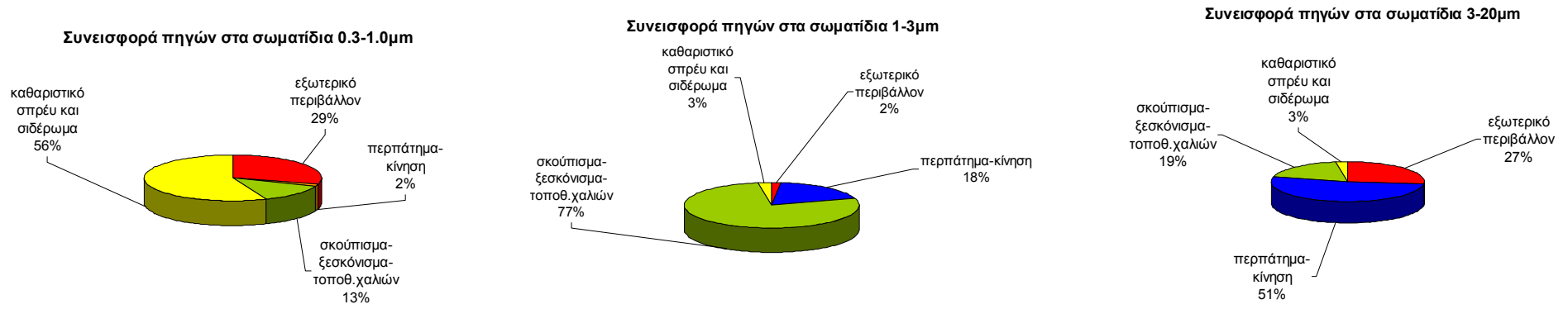
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm



Σχήματα 6.30α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύθηκαν από τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm, κατά τη διάρκεια της ημέρας με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα.



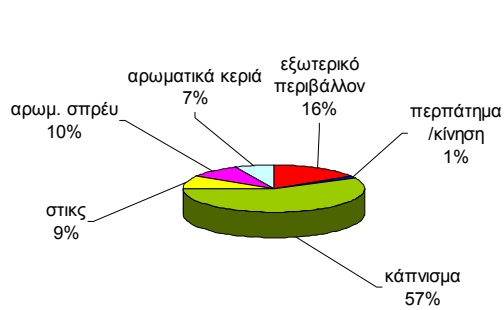
Σχήματα 6.31α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1µm, 1-3µm και 3-10µm, κατά τη διάρκεια της ημέρας με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας



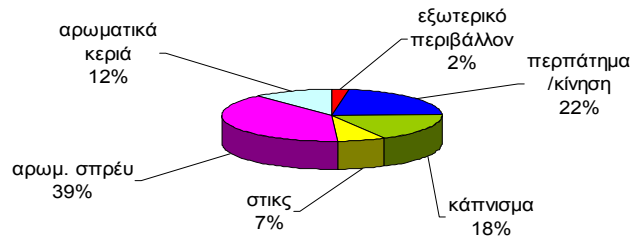
Σχήματα 6.32α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1µm, 1-3µm και 3-10µm, κατά τη διάρκεια της ημέρας με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη Positive Matrix Factorization

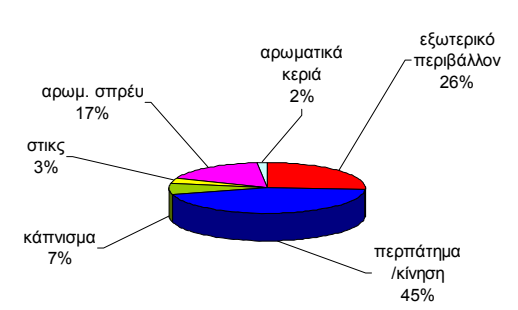
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.3-1.0μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm

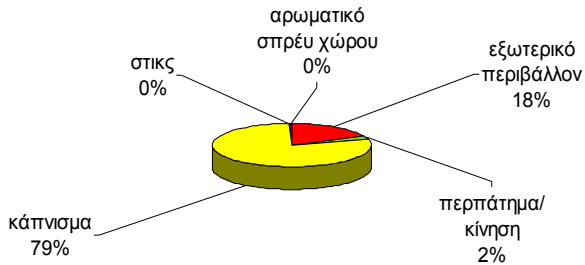


Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm

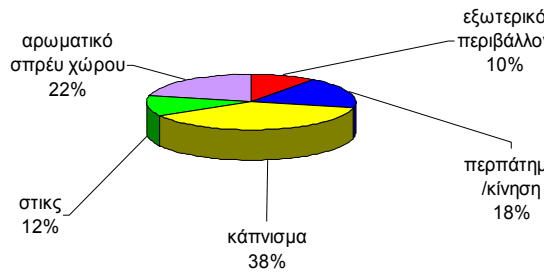


Σχήματα 6.33α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων στην κατοικία σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm, κατά τη διάρκεια της ημέρας με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι.

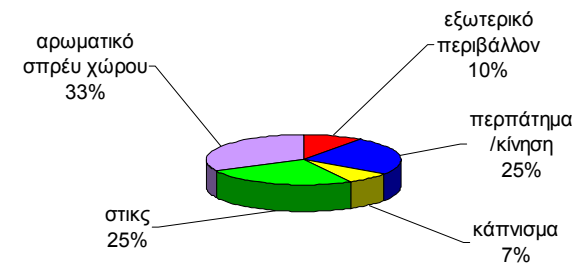
Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 0.23-1.0μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 1-3μm



Συνεισφορά πηγών στα σωματίδια 3-20μm



Σχήματα 6.34α,β,γ; Συνεισφορά των πηγών που ανιχνεύτηκαν από τις μετρήσεις μάζας σωματιδίων στην κατοικία σε 3 κλάσματα σωματιδίων: 0.3-1μm, 1-3μm και 3-10μm, κατά τη διάρκεια της ημέρας με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι

Ένα σημείο που πρέπει να υπογραμμιστεί, είναι το σφάλμα που μπορεί να προκληθεί στη μεθοδολογία από εσφαλμένες πληροφορίες στα ερωτηματολόγια. Εάν δεν έχουν καταγραφεί όλες οι δραστηριότητες και πιθανές πηγές σε ένα χώρο και δεν έχει εκτιμηθεί και σημειωθεί η ακριβής χρονική διάρκειά τους από τους εθελοντές, ενδεχομένως να υπάρξει δυσκολία στην ταυτοποίηση ενός παράγοντα με μία πηγή. Το πρόβλημα γίνεται περισσότερο εμφανές στις περιπτώσεις των πηγών των οποίων η εκπομπή διαρκεί λίγα λεπτά (ψεκασμός σπρέυ, κάπνισμα, αρωματικά στικς). Αν η χρονική στιγμή των εκπομπών δεν είναι ορθώς καθορισμένη, οι κορυφές (στη συγκέντρωση των σωματιδίων) που δημιουργούνται ενδέχεται να επικαλυφθούν από άλλες ταυτόχρονες εκπομπές, με αποτέλεσμα να αποτύχει η ανίχνευσή τους. Για το λόγο αυτό, ο ρόλος των εθελοντών-χρηστών των υπό εξέταση χώρων είναι ιδιαίτερα σημαντικός (Yakovleva et al., 1999).

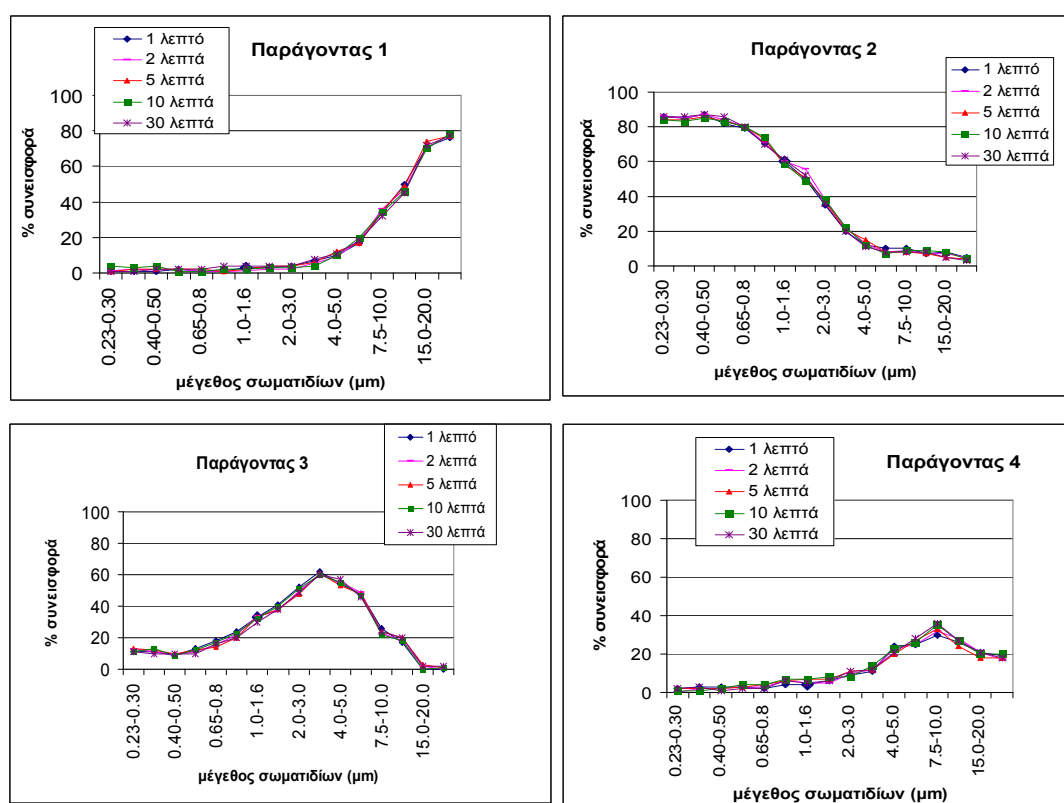
Επίσης, μία ακόμα δυσκολία που αντιμετωπίζεται είναι η ακριβής καταγραφή των εκπομπών επαναιώρησης σκόνης από περπάτημα και κίνηση και ανθρώπων σε έναν εσωτερικό χώρο. Παρόλο που ζητείται από τους εθελοντές να καταγράφουν την ώρα που εισέρχονται/εξέρχονται στο χώρο ή την ώρα που γίνεται έντονη δραστηριότητα, είναι πρακτικά δύσκολο να εντοπιστούν με ακρίβεια όλα τα διαστήματα που υπάρχει επαναιώρηση λόγω των κινήσεών τους. Εξάλλου, η επαναιώρηση λόγω της κίνησης σε πολλές περιπτώσεις συνυπάρχει με άλλες δραστηριότητες. Έτσι, η σύγκριση με τα αποτελέσματα της μεθόδου από τα χρονικά διαστήματα όπου υπάρχει βεβαιότητα για την απουσία της πηγής αυτής (νυχτερινές ώρες, ημέρες όπου απουσιάζουν οι κάτοικοι/υπάλληλοι) βοηθούν στην ανίχνευση της πηγής αυτής.

Τέλος, ένα σημείο προς μελέτη είναι και ο χρόνος στον οποίο υπολογίζεται ο μέσος όρος των μετρήσεων που θα εισαχθούν ως στοιχεία εισόδου στο μοντέλο της PMF. Όπως έχει αναφερθεί, η συγκέντρωση σωματιδίων καταγράφεται από το όργανο κάθε ένα λεπτό. Παρόλα αυτά, τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο μπορούν να αποτελούνται από τιμές του μέσου όρου των μετρήσεων ανά 5, 10, 30 λεπτά. Η μελέτη του κατάλληλου διαστήματος για τη βέλτιστη ανίχνευση των πηγών συζητείται στην επόμενη παράγραφο.

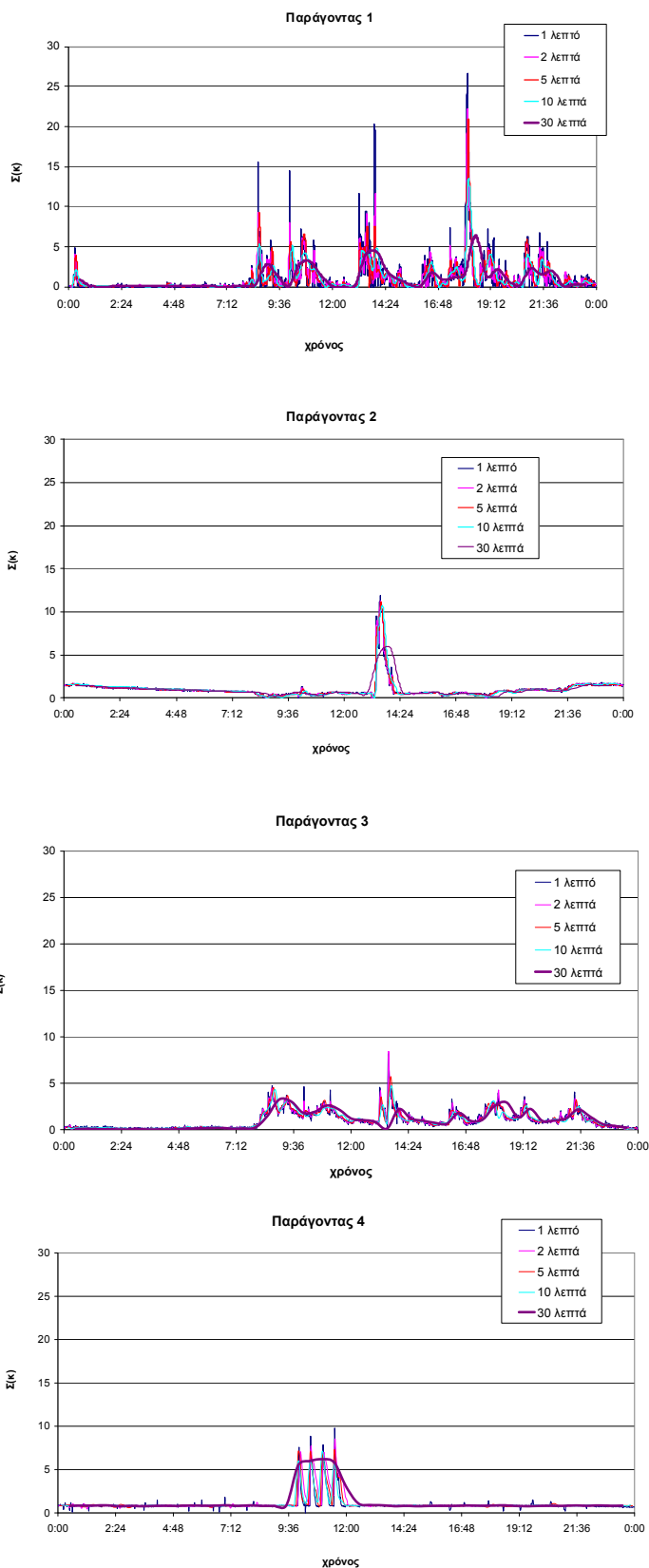
6.3 Μελέτη του κατάλληλου διαστήματος υπολογισμού μέσου όρου στα στοιχεία εισόδου της PMF.

Για τη διερεύνηση του κατάλληλου χρονικού διαστήματος, επιλέχθηκε και παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα μάζας σωματιδίων από μία ημέρα στην κατοικία. Οι δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν την ημέρα αυτή (όπως καταγράφηκαν στα ερωτηματολόγια) ήταν: ψήσιμο σε grill και χρήση σπρέυ, δύο δραστηριότητες με διαφορετικού είδους εκπομπές σωματιδίων (ως προς τη διάρκειά τους και το μέγεθος των σωματιδίων που παράγονται).

Καταρχήν, δημιουργήθηκαν βάσεις δεδομένων εισόδου ανά 1, 2, 5, 10 και 30 λεπτά και η μέθοδος εφαρμόστηκε σε κάθε ένα από αυτά. Για τη συγκεκριμένη ημέρα, εξετάστηκαν 3 έως 8 παράγοντες και βρέθηκε ότι το κατάλληλο πλήθος είναι τέσσερις. Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους φαίνεται στο σχήμα 6.35α-δ, όπου διακρίνεται και κάθε μία από τις περιπτώσεις του χρονικού διαστήματος που επιλέχθηκε. Έπίσης, στα σχήματα 6.36α-δ δίνονται οι χρονικές μεταβολές του κάθε παράγοντα (κανονικοποιημένη συγκέντρωση).



Σχήματα 6.35α-δ Επί τις εκατό (%) ποσοστό συνεισφοράς κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους, για τα 5 διαφορετικά χρονικά διαστήματα που επιλέχθηκαν.



Σχήματα 6.36α-δ: Χρονική μεταβολή της κανονικοποιημένης συγκέντρωσης $\Sigma(k)$ για τους παράγοντες 1-4, για τα πέντε διαφορετικά διαστήματα που εξετάστηκαν

Η ταυτοποίηση των παραγόντων με τις πηγές βάσει των παραπάνω καθώς και σε συσχέτιση με τις πληροφορίες από τα ερωτηματολόγια καταλήγει στα παρακάτω συνοπτικά συμπεράσματα:

Ο **παράγοντας 1** συνδέεται με την **επαναιώρηση** της σκόνης από το **περπάτημα και τις κινήσεις των κατοίκων** και είναι αντίστοιχος εκείνων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Πιο συγκεκριμένα, έχει συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1μm και κυρίως σε εκείνα με διάμετρο μεταξύ 4-20μm (σχήμα 6.35α). Επίσης, καθ όλη τη διάρκεια της νύχτας, ο παράγοντας αυτός παραμένει σταθερός σε χαμηλά επίπεδα ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρείται έντονη διακύμανση (σχήμα 6.36α).

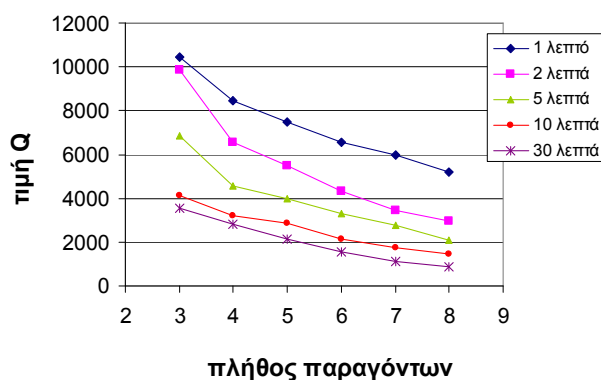
Ο **παράγοντας 2** αντιστοιχεί στην πηγή του **ψησίματος στο grill** και είναι αντίστοιχος εκείνων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Πράγματι, ο παράγοντας αυτός συνεισφέρει σε όλο το φάσμα μεγέθους σωματιδίων, με μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς στα κανάλια έως 5μm (σχήμα 6.35β). Επίσης, εμφανίζει μεγάλη και απότομη αύξηση, πέντε λεπτά μετά την έναρξη του ψησίματος (13:00).

Ο **παράγοντας 3** σχετίζεται με πηγές **από το εξωτερικό περιβάλλον** και είναι ο αντίστοιχος εκείνων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Εμφανίζει μεγάλη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο 0.23-10μm (σχήμα 6.35γ) χαρακτηριστικό των πηγών που σχετίζονται με εκπομπές από οχήματα και βλάστηση, δομικά έργα κ.α. αντίστοιχα. Επιπλέον, παρουσιάζει διακύμανση σε όλο το εικοσιτετράωρο, αλλά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας των οχημάτων, η διακύμανση είναι πιο έντονη (σχήμα 6.36β).

Ο **παράγοντας 4** σχετίζεται με τη χρήση του **αρωματικού σπρέυ**. Πιο συγκεκριμένα, συνεισφέρει στα σωματίδια μεταξύ 1 και 20μm (σχήμα 6.25δ). Επίσης, εμφανίζει κορυφές ανά περίπου 30 λεπτά για το χρονικό διάστημα μεταξύ 10:00 και 11:20, οι οποίες συμπίπτουν με τις χρονικές στιγμές που έγινε ψεκασμός σπρέυ στο χώρο.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου και ως προς την επί τοις εκατό % συνεισφορά του κάθε παράγοντα σε κάθε κανάλι μεγέθους (σχήματα 6.25), για τα 5 διαφορετικά χρονικά διαστήματα που επιλέχθηκαν, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές. Αντιθέτως, διαφορές παρατηρούνται στις καμπύλες που απεικονίζουν τη μεταβολή (κανονικοποιημένη συγκέντρωση) κάθε παράγοντα με το χρόνο (σχήματα 6.36). Αυτό γίνεται περισσότερο εμφανές στην περίπτωση του παράγοντα 4 δηλαδή του αρωματικού σπρέυ χώρου. Ενώ στις καμπύλες των διαστημάτων του 1, 2, 5 και 10 λεπτών διακρίνονται οι ξεχωριστές κορυφές που αντιστοιχούν στον κάθε ψεκασμό, στην καμπύλη των 30 λεπτών, δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο. Αντίθετα, στην καμπύλη των 1 και 2 λεπτών παρατηρούνται μικρές διακυμάνσεις σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, οι οποίες δεν αντιστοιχούν σε καταγεγραμμένη δραστηριότητα και πιθανώς ερμηνεύονται ως “θόρυβος”. Έτσι, αναζητώντας το κατάλληλο χρονικό διάστημα από το οποίο πρέπει να εξαχθούν οι μέσες τιμές των –ανά λεπτό– καταγραφών, θα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε από τη μία πλευρά, να μην συμπεριληφθεί ο “θόρυβος” και από την άλλη να μη “επικαλυφθούν” μικρής διάρκειας εκπομπές.

Παράλληλα, ένας έμμεσος τρόπος για να βρεθεί το κατάλληλο χρονικό διάστημα ήταν η μελέτη της επιλογής του πλήθους των παραγόντων. Όπως έχει αναφερθεί στην αρχή του κεφαλαίου, ένας τρόπος προσέγγισης είναι να εξεταστεί η τιμή της παραμέτρου Q. Το σημείο στο οποίο μεταβάλλεται η κλίση της καμπύλης της σχέσης “τιμή της ποσότητας Q” και “πλήθους παραγόντων”, αντιστοιχεί στο πλήθος των παραγόντων που προσεγγίζει τη λύση με τον βέλτιστο τρόπο. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, βρέθηκε ότι η καλύτερη προσέγγιση επιτυγχάνεται με την επιλογή του διαστήματος των 5 λεπτών (Q=4561 και το πλήθος των στοιχείων εισόδου είναι 4608), όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.37.



Σχήμα 6.37. Σχέση της τιμής της παραμέτρου Q και του πλήθους των παραγόντων που εξετάστηκαν, για τα πέντε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

Κεφάλαιο 7: Σύνοψη-συμπεράσματα. Προτάσεις για μελλοντική μελέτη

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει οδηγήσει τον άνθρωπο στην κατανάλωση περισσότερου από το 80% του χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους (κατοικία, εργασιακοί χώροι, δημόσια κτίρια, μέσα μεταφοράς, σχολεία, νοσοκομεία κ.α.). Παρόλα αυτά, η ποιότητα του αέρα μέσα στους χώρους αυτούς δεν είναι πάντοτε ικανοποιητική, με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στην εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τον αέρα εσωτερικών χώρων, στην ανίχνευση των ρύπων και των πηγών τους και στη μελέτη των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε αυτούς.

Ένας από τους σημαντικότερους ρύπους που συναντώνται στον αέρα εσωτερικών χώρων είναι τα **αιωρούμενα σωματίδια** (PM, particulate matter). Οι σύγχρονες επιστημονικές μελέτες έχουν στραφεί προς τη σύνδεση του μεγέθους των σωματιδίων που εισπνέονται με τις επιπτώσεις στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα και την ανθρώπινη υγεία γενικότερα. Παρόλο που ένας ικανοποιητικός αριθμός πηγών σωματιδίων που βρίσκονται σε ένα εσωτερικό περιβάλλον έχει μελετηθεί, μία πλήρης εικόνα για αυτές δεν έχει ακόμα σχηματιστεί. Πληροφορίες για το ποιες είναι οι πηγές και κατά πόσο συνεισφέρουν στη ρύπανση του αέρα εσωτερικών χώρων αναζητούνται από τις σύγχρονες έρευνες με σκοπό την εύρεση στρατηγικών για την επίλυση του προβλήματος και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Ο στόχος της παρούσας διατριβής ήταν η ανίχνευση πηγών ή ομάδων πηγών αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter PM) και την εκτίμηση των συνεισφορών τους στις συγκεντρώσεις στον αέρα εσωτερικών χώρων. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατανομής μεγέθους σωματιδίων σε απομονωμένο περιβάλλον (chamber room) και δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με τα προφίλ 25 πηγών σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις συγκεντρώσεων σωματιδίων και κατανομής τους στο ίδιο φάσμα μεγέθους σε πραγματικούς χώρους γραφείων και κατοικίας. Στα αποτελέσματα των μετρήσεων, εφαρμόστηκε μοντέλο αποδέκτη (receptor model) με την μέθοδο "Positive Matrix Factorization" με σκοπό την εκτίμηση των συνεισφορών των πηγών σωματιδίων στις παρατηρούμενες συγκεντρώσεις των τελευταίων σε πραγματικούς χώρους γραφείων και κατοικίας.

Τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής συνοψίζονται παρακάτω.

I) Από τα αποτελέσματα των **μετρήσεων των προφίλ πηγών στο δωμάτιο δοκιμών** εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

- Από τις μετρήσεις **κατανομής αριθμού σωματιδίων**, οι πηγές του καπνίσματος, της καύσης των κεριών και των στικς, της χρήσης καφετιέρας και τοστιέρας και του σιδερώματος ήταν εκείνες που συνδέθηκαν κυρίως με την εκπομπή μικρότερων του 1μm σωματιδίων. Με εκπομπή σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 10μm συνδέθηκαν το ξεσκόνισμα, το περπάτημα σε μοκέτα, το ψήσιμο στο grill, το αρωματικό σπρέυ και το τρίψιμο ξύλου. Οι υπόλοιπες πηγές, συνδέθηκαν με την παραγωγή περισσότερων κλασμάτων σωματιδίων. συμπεριλαμβανομένου και των ενδιάμεσων (1-10μm). Τη μεγαλύτερη τιμή ολικής συγκέντρωσης (0.3-20μm) παρουσίασε το ψήσιμο στο grill, το τηγάνισμα και το κάπνισμα.
- Όσον αφορά στις μετρήσεις **μάζας σωματιδίων**, όλες οι πηγές συνδέθηκαν με εκπομπή μεγάλων σωματιδίων (>3μm). Παρόλα αυτά, υπήρξαν πηγές που συνδέθηκαν με την εκπομπή και πολύ μικρών σωματιδίων (<1μm): *όλες οι πηγές καύσης, το ψήσιμο στο grill, η λειτουργία της τοστιέρας και το σιδέρωμα.* Τη μεγαλύτερη τιμή ολικής συγκέντρωσης (0.23-20μm) παρουσίασε το σπρέυ μαλλιών, το καλλυντικό σπρέυ και το ψήσιμο στο grill. Ακολουθούν όλες οι πηγές επαναιώρησης και το τρίψιμο ξύλου.
- Κοινό χαρακτηριστικό των **πηγών καύσης** ήταν η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης (αριθμού και μάζας) κατά το άναμμα των τσιγάρων και κατά το σβήσιμο των κεριών και των στικς. Μάλιστα, ο χρόνος της αύξησης (1-3 λεπτά) ήταν σε όλες τις περιπτώσεις κατά πολύ μικρότερος σε σχέση με το χρόνο μείωσης της συγκέντρωσης (60-180 λεπτά).
- Η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης (αριθμού και μάζας) δεν παρατηρήθηκε με την έναρξη του καπνίσματος αλλά ένα ή δύο λεπτά πριν ή και μετά τη λήξη υποδηλώνοντας πιθανώς δευτερογενή παραγωγή λόγω συσσωμάτωσης μικρότερων σε μεγαλύτερα σωματίδια ή φυσικοχημικών διεργασιών. Συγκρίνοντας τα **δύο είδη τσιγάρων** και όσον αφορά στον αριθμό των σωματιδίων, κατά την διάρκεια του καπνίσματος του βαρύ τσιγάρου, η μέγιστη συγκέντρωση του αριθμού των σωματιδίων που παρατηρήθηκε ήταν τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή κατά το κάπνισμα του ελαφριού τσιγάρου. Κάτι τέτοιο, δεν παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της μάζας, όπου οι μέγιστες συγκεντρώσεις των σωματιδίων ήταν σχεδόν ίδιες.

- Το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων παρήχθησαν όχι κατά τη διάρκεια της καύσης των **αρωματικών στικς** και **κεριών** αλλά *κατά το σβήσιμο* όπου παρατηρήθηκε απότομη αύξηση των *σωματιδίων με διάμετρο έως 3μm*. Κατά το σβήσιμο των κεριών παρήχθησαν τα διπλάσια σωματίδια απ' ότι κατά το σβήσιμο των στικς (στις μετρήσεις αριθμού και μάζας). Στην περίπτωση όμως της μάζας, κατά το σβήσιμο των στικς παρήχθησαν σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου απ' ότι κατά το σβήσιμο των κεριών, πιθανόν λόγω της διαφορετικής φύσης του υλικού που κάηκε.
- Στο κάπνισμα, η μέγιστη συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων ήταν έως και 34 φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη στο σβήσιμο των στικς και των κεριών.
- Κοινό χαρακτηριστικό των **πηγών επαναιώρησης** είναι η εκπομπή κυρίως μεγάλων (>1μm) σωματιδίων. Ένα ακόμα κοινό χαρακτηριστικό είναι η *έντονη διακύμανση της συγκέντρωσης* μετά από απότομη αύξηση στα πρώτα λεπτά κάθε δραστηριότητας. Η έντονη διακύμανση πιθανόν να οφείλεται σε μικρά ρεύματα αέρα που δημιουργούνται κατά τις δραστηριότητες αυτές.
- Από τις πηγές επαναιώρησης που εξετάστηκαν, εκείνη που παρουσίασε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση αριθμού αλλά και μάζας σωματιδίων ήταν αυτή του **σκουπίσματος με απλή σκούπα**, κατά την οποία εκπέμπονται σωματίδια όλου τα εύρους διαμέτρων. Στην ίδια δραστηριότητα αντιστοιχεί και το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ώστε οι τιμές της συγκέντρωσης να επιστρέψουν στα επίπεδα υποβάθρου.
- Συγκρίνοντας το **απλό ξεσκόνισμα** με το **ξεσκόνισμα με υγρό πανί**, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά τόσο στο μέγεθος των σωματιδίων όσο και στις μέγιστες τιμές της συγκέντρωσης, ειδικότερα στις μετρήσεις αριθμού σωματιδίων.
- Συγκρίνοντας το **περπάτημα σε μοκέτα** με το **περπάτημα σε γυμνό πάτωμα**, η εικόνα του αριθμού σωματιδίων είναι αρκετά διαφορετική. Ο αριθμός των σωματιδίων κατά το περπάτημα στη μοκέτα αυξήθηκε κατά 500 φορές σε σχέση με την τιμή του υποβάθρου, ενώ η αντίστοιχη αύξηση για το περπάτημα στο γυμνό πάτωμα ήταν κατά 11 φορές. Όπως έδειξαν οι μετρήσεις, από το περπάτημα στη μοκέτα παρήχθησαν σωματίδια όλων των διαμέτρων αλλά κυρίως εκείνα με διάμετρο μεγαλύτερη των 5μm. Αντίθετα, κατά το περπάτημα σε γυμνό πάτωμα, το ποσοστό των μεγάλων σωματιδίων ήταν μειωμένο. Είναι εμφανής η εκπομπή μεγάλης ποσότητας σωματιδίων μεγάλης διαμέτρου από την επαναιώρηση της σκόνης που συσσωρεύεται σε χαλιά και μοκέτες. Από την άλλη πλευρά, η μέτρηση της μάζας έδειξε

παρόμοια αποτελέσματα για τις δύο δραστηριότητες, με αυξημένη την εκπομπή σωματιδίων κατά το περπάτημα στη μοκέτα.

- Η **τοποθέτηση της μοκέτας** είναι μία δραστηριότητα που προκάλεσε έντονη ανατάραξη της συσσωρευμένης σκόνης με αποτέλεσμα η μέγιστη τιμή της μάζας να είναι μεγαλύτερη και από την περίπτωση του περπατήματος. Κάτι αντίστοιχο δεν παρατηρήθηκε στις μετρήσεις αριθμού (η δραστηριότητα αυτή διήρκεσε μόλις 3 λεπτά, δηλαδή στο ένα τρίτο της διάρκειας του περπατήματος).
- Συγκρίνοντας τη χρήση της **απλής σκούπας** με εκείνη της **ηλεκτρικής**, η πρώτη συνδέεται με σωματίδια σκόνης όλων των διαμέτρων, στα οποία καταγράφεται διαφορετικός ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης λόγω μηχανισμών βαρύτητας, εναπόθεσης κλπ. Η ηλεκτρική σκούπα συνδέεται με παραγωγή μεγάλων σωματιδίων - τα οποία προέρχονται από την επαναιώρηση ή δεν έχουν κατακρατηθεί από τη συσκευή αλλά και μικρότερα του 1 μm σωματίδια τα οποία εκπέμπονται από το μηχανικό μέρος. Επίσης, η μέγιστη ολική συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων στην περίπτωση της απλής σκούπας ήταν δεκαπλάσια από εκείνη της ηλεκτρικής. Η μέγιστη ολική συγκέντρωση μάζας για την απλή σκούπα ήταν αυξημένη κατά πενήντα φορές σε σχέση με εκείνη για την ηλεκτρική. Τέλος, η δραστηριότητα του **σφουγγαρίσματος** συνδέεται με εκπομπή σωματιδίων όλων των μεγεθών αλλά σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από τις περιπτώσεις του σκουπίσματος.
- Μεταξύ των πηγών που σχετίζονται με **μαγείρεμα**, το ψήσιμο στο grill και το τηγάνισμα παρουσίασαν τη μεγαλύτερη μέγιστη ολική συγκέντρωση με πολύ μεγάλη διαφορά έναντι των άλλων πηγών, ειδικά στις μετρήσεις της μάζας σωματιδίων.
- Εξετάζοντας το **τηγάνισμα** και το **ψήσιμο στο grill**, ως προς τη συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων, παρατηρήθηκε η εκπομπή και μικρών (<1μm) και μεγάλων (>2.5 μm) σωματιδίων και στις δύο δοκιμές λόγω της ταυτόχρονης εκπομπής σωματιδίων από τις θερμαινόμενες επιφάνειες και την παραγωγή υδρατμών από το ψήσιμο των υλικών. Μετρώντας τον αριθμό των σωματιδίων, για το grill βρέθηκε διπλάσια μέγιστη συγκέντρωση σε σύγκριση με το τηγάνισμα. Η αντίστοιχη αναλογία για τη μέτρηση της μάζας ήταν 48 φορές, υποδεικνύοντας ότι κατά το μαγείρεμα στο grill εκπέμπονται περισσότερα μεγάλα σωματίδια (στα οποία η μάζα γίνεται σημαντική). Αυτό

πιθανόν να συνδέεται με τη μεγαλύτερη παραγωγή υδρατμών κατά το μαγείρεμα στο grill.

- Κοινό χαρακτηριστικό των δοκιμών του **βρασίματος**, της χρήσης **τοστιέρας**, **καφετιέρας** και της λειτουργίας των **εστιών** ήταν οι χαμηλές -σε σχέση με όλες τις δοκιμές- μέγιστες συγκεντρώσεις και ο μικρός χρόνος επιστροφής της συγκέντρωσης στα επίπεδα υποβάθρου, μετά τη λήξη της εκπομπής.
- Κοινό χαρακτηριστικό των μετρήσεων από τις εκπομπές των **σπρέυ** είναι η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης από τα πρώτα 2 λεπτά του ψεκασμού και η αργή πτώση της που ακολούθησε (ειδικά στις μετρήσεις του αριθμού σωματιδίων). Εν γένει, η χρήση όλων των σπρέυ οδήγησε σε εκπομπή σωματιδίων όλων των μεγεθών. Παρόλα αυτά, μεγαλύτερα ποσοστά σε μικρού μεγέθους σωματίδια παρουσίασαν τα σπρέυ υπό πίεση (**καλλυντικό σπρέυ** και **σπρέυ μαλλιών**), τα οποία οδήγησαν και σε εμφανώς αυξημένη μέγιστη συγκέντρωση μάζας (κατά 27 φορές σε σχέση με το **καθαριστικό** και κατά 377 φορές σε σχέση με το **σπρέυ χώρου**).
- Οι μικρότερες τιμές του **ρυθμού μείωσης** της συγκέντρωσης αριθμού και μάζας σωματιδίων βρέθηκαν για τα σωματίδια με διάμετρο έως 1 μ m και συγκεκριμένα για τις πηγές επαναιώρησης, λειτουργίας των εστιών, της τοστιέρας και της καφετιέρας. Οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν στη δοκιμή του ψησίματος σε grill, του τηγανίσματος, του καπνίσματος και της χρήσης σπρέυ μαλλιών (για τον αριθμό σωματιδίων) και του ψησίματος σε grill, της χρήσης σπρέυ και της καύσης των κεριών και των στικς για τις μετρήσεις μάζας.
- Για τα μεγαλύτερα σωματίδια παρατηρήθηκε ότι η τιμή του ρυθμού μείωσης (στις περιπτώσεις που ήταν υπολογίσιμος) αυξάνει με το μέγεθος των σωματιδίων. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στις δοκιμές του ψησίματος και τηγανίσματος και τις πηγές επαναιώρησης.

II) Από τα αποτελέσματα της **εφαρμογής του μοντέλου της Positive Matrix Factorization στις μετρήσεις στους χώρους γραφείων και κατοικίας** εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

- Διαφορετικά συμπεράσματα ως προς το πλήθος και το είδος των πηγών που ανιχνεύονται εξάγονται όταν η Positive Matrix Factorization εφαρμοστεί σε δεδομένα μάζας και δεδομένα αριθμού σωματιδίων, για τον ίδιο χώρο και κατά τις ημέρες με όμοιες δραστηριότητες. Ως προς την ανίχνευση μιας πηγής

που σχετίζεται κυρίως με την εκπομπή πολύ μικρών (<1 μ m) σωματιδίων – όπως είναι το κάπνισμα, το μοντέλο αποκρίνεται καλύτερα όταν εφαρμόζεται σε δεδομένα αριθμού σωματιδίων. Αντίστοιχα, ως προς την ανίχνευση μιας πηγής που σχετίζεται κυρίως με την εκπομπή μεγάλων (>3 μ m) σωματιδίων – όπως είναι η επαναιώρηση, το μοντέλο αποκρίνεται καλύτερα όταν εφαρμόζεται σε δεδομένα μάζας σωματιδίων.

- Για τον χώρο των **γραφείων** και για τις μετρήσεις **αριθμού σωματιδίων** βρέθηκε ότι στα μικρότερα σωματίδια (<1 μ m) η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από πηγές που σχετίζονται με το *κάπνισμα*, τόσο στο γραφείο καπνιζόντων (85%) όσο και στο γραφείο μη καπνιζόντων (μεταφερόμενα από το γειτονικό γραφείο). Στα σωματίδια μεταξύ 1-3 μ m η εικόνα των δύο γραφείων διαφέρει: στο γραφείο των καπνιστών, οι πηγές του καπνίσματος, της *επαναιώρησης* και του *εξωτερικού περιβάλλοντος* (περίπου 30%) έχουν σχεδόν ισοδύναμη συνεισφορά σε αντίθεση με το άλλο γραφείο, όπου επικρατεί η επαναιώρηση της σκόνης (83%). Στα μεγαλύτερα σωματίδια, συνεισφέρουν κυρίως η επαναιώρηση και το εξωτερικό περιβάλλον, με διαφορετική αναλογία στον κάθε χώρο.
- Για τις μετρήσεις **μάζας σωματιδίων**, στο γραφείο καπνιζόντων, τα μικρότερα σωματίδια (<1 μ m) προέρχονται κυρίως από το *κάπνισμα* (86%) ενώ στο γραφείο μη καπνιζόντων η μέγιστη συνεισφορά στο κλάσμα αυτό είναι εκείνη από τις *εξωτερικές πηγές* (60%). Στα μεγαλύτερα σωματίδια (1-3 μ m), και στα δύο γραφεία, η σημαντικότερη συνεισφορά (περίπου 50%) προέρχεται από την επαναιώρηση I (*επαναιώρηση σκόνης από εξοπλισμό/οικοδ. υλικά κλπ σχετιζόμενη με τη λειτουργία των κλιματιστικών*). Το υπόλοιπο ποσοστό διαμορφώνεται από διαφορετικές πηγές στα δύο γραφεία. Στο γραφείο καπνιζόντων, συνεισφέρουν πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον, την *επαναιώρηση από την κίνηση των ανθρώπων* και το κάπνισμα (πιθανότατα από συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων που εκπέμπονται πρωτογενώς από το κάπνισμα, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 6.1.1). Από την άλλη πλευρά, στο γραφείο μη καπνιζόντων, το υπόλοιπο ποσοστό καλύπτεται κυρίως από την επαναιώρηση (II) από το περπάτημα και τις κινήσεις των ανθρώπων. Στα μεγάλα σωματίδια (3-20 μ m), η εικόνα και στα δύο γραφεία είναι παρόμοια. Τη μεγαλύτερη συνεισφορά την έχουν οι πηγές επαναιώρησης (από το περπάτημα και τις κινήσεις των ανθρώπων) και οι εξωτερικές πηγές.

- Για τον χώρο της **κατοικίας** και για την **ημέρα με έντονη δραστηριότητα στην κουζίνα**, η εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις **αριθμού σωματιδίων**, έδειξε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά (41%) στα μικρότερα του 1μm σωματίδια την έχει το *τηγάνισμα/ψήσιμο στο grill* και ακολουθούν οι πηγές του *εξωτερικού περιβάλλοντος* και η *χρήση τοστιέρας/καφετιέρας* κλπ. Στα σωματίδια μεταξύ 1-3μm το ποσοστό της συνεισφοράς του *τηγανίσματος/ψησίματος στο grill* είναι εμφανώς αυξημένο (76%). Επίσης, συνεισφορά σε αυτό το κλάσμα σωματιδίων έχει και η *επαναιώρηση* (21%). Στα μεγαλύτερα σωματίδια, συνεισφέρουν κυρίως η *επαναιώρηση* (54%) και το *εξωτερικό περιβάλλον* (32%) και με μικρότερο ποσοστό και το *τηγάνισμα/ψήσιμο* (14%).
- Αντίστοιχα η εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις **μάζας** σωματιδίων, έδειξε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά (52%) στα μικρότερα του 1μm σωματίδια την έχει το *ψήσιμο στο grill* και ακολουθούν το *τηγάνισμα* (28%) και οι πηγές του *εξωτερικού περιβάλλοντος* (19%). Στα σωματίδια μεταξύ 1-3μm, οι πηγές του *τηγανίσματος*, του *ψησίματος* και της *επαναιώρησης* έχουν ισοδύναμη συνεισφορά (περίπου 30% η κάθε μία). Στα μεγαλύτερα σωματίδια, κυριαρχούν το *ψήσιμο* (38%) και η *επαναιώρηση* (37%). Η *χρήση τοστιέρας και καφετιέρας* δεν ανιχνεύτηκε με τις μετρήσεις μάζας.
- Για τον χώρο της **κατοικίας** και για την **ημέρα με έντονη δραστηριότητα καθαριότητας**, η εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις **αριθμού σωματιδίων**, έδειξε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά (56%) στα μικρότερα του 1μm σωματίδια την έχουν η *χρήση του σπρέυ*, το *σιδέρωμα* και η εκπομπή από τα *οικοδομικά υλικά και τα έπιπλα στο χώρο*. Ακολουθούν οι πηγές από το *εξωτερικό περιβάλλον* (29%). Στα σωματίδια μεταξύ 1 και 3μm, η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από το *σκούπισμα*, το *ξεσκόνισμα* και την *τοποθέτηση χαλιών* (συνολικά 77%), ενώ με μικρότερο ποσοστό συνεισφέρει και η *επαναιώρηση από το περπάτημα και την κίνηση των ανθρώπων* (18%). Στα μεγάλα σωματίδια (3μm-20μm), οι πηγές που συνεισφέρουν περισσότερο είναι η *επαναιώρηση από το περπάτημα* (51%) και οι πηγές από το *εξωτερικό περιβάλλον* (27%) ενώ ακολουθούν οι άλλες πηγές (*σκούπισμα, ξεσκόνισμα, σπρέυ κ.α.*) με μικρότερα ποσοστά.
- Αντιστοίχα, η εφαρμογή της PMF στα δεδομένα **μάζας σωματιδίων** έδειξε ότι η μεγαλύτερη συνεισφορά (35-37%) στα μικρότερα του 1μm σωματίδια την έχουν η *χρήση του σπρέυ* και το *σιδέρωμα* και οι πηγές από το *εξωτερικό περιβάλλον*. Ακολουθεί με μικρότερο ποσοστό το *σκούπισμα* και το

ξεσκόνισμα (21%). Στα σωματίδια μεταξύ 1 και 3μm η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από το σκούπισμα και το ξεσκόνισμα (40%). Στα πιο μεγάλα σωματίδια (3-20μm) το σκούπισμα και το ξεσκόνισμα έχουν τη μέγιστη συνεισφορά (31%) και ακολουθούν με μικρότερα ποσοστά η τοποθέτηση χαλιών, το σπρέυ και το σιδέρωμα, το περπάτημα και οι εξωτερικές πηγές.

- Για τον χώρο της κατοικίας και για την **ημέρα με έντονη δραστηριότητα στο σαλόνι**, η εφαρμογή της PMF στις μετρήσεις **αριθμού σωματιδίων**, έδειξε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο 0.3-1μm έχει η πηγή του **καπνίσματος** (56%). Στα σωματίδια 1-3μm, η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από τον **ψεκασμό του σπρέυ χώρου** (30%) και ακολουθούν η **επαναιώρηση** (22%) και το **κάπνισμα** (18%). Στα σωματίδια μεταξύ 3-20μm, τη μεγαλύτερη συνεισφορά έχουν οι πηγές της **επαναιώρησης** (45%), το **εξωτερικό περιβάλλον** (26%), το **σπρέυ χώρου** (17%) και ακολουθούν οι άλλες πηγές (κάπνισμα, στικς, κεριά) με μικρότερα ποσοστά.
- Αντιστοίχα, η εφαρμογή της PMF στα δεδομένα **μάζας σωματιδίων** έδειξε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά στα σωματίδια με διάμετρο 0.23-1μm έχει το **κάπνισμα** (79%) ακολουθούμενο από τις πηγές του **εξωτερικού περιβάλλοντος**. Οι άλλες τρεις πηγές (στικς, σπρέυ χώρου και επαναιώρηση) έχουν πολύ χαμηλά ή μηδενικά ποσοστά συνεισφοράς. Στα σωματίδια μεταξύ 1-3μm, το **κάπνισμα** εξακολουθεί να έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά (38%) αλλά στις μετρούμενες συγκεντρώσεις συνεισφέρουν και οι πηγές του **σπρέυ χώρου**, της **επαναιώρησης από το περπάτημα**, της **καύσης των στικς** και των **εξωτερικών πηγών**. Τέλος, στα σωματίδια με διάμετρο 3-20μm η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από το **σπρέυ χώρου** (33%), την **καύση των στικς** και την **επαναιώρηση** (25%) από το **περπάτημα** (25%). Στην περίπτωση αυτή, δεν ανιχνεύτηκε η πηγή της καύσης και του σβησίματος των κεριών.

Συμπερασματικά, η ερευνητική εργασία, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, χαρακτηρίζεται από επιστημονική πρωτοτυπία καθώς περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία καινοτομίας:

- τη δημιουργία μίας **βάσης δεδομένων με τα προφίλ των βασικών δραστηριοτήτων-πηγών σωματιδίων** που λαμβάνουν χώρα σε ένα εσωτερικό περιβάλλον, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντικές μελέτες για την

ποιότητα του εσωτερικού αέρα, την επίπτωση της έκθεσης στην ανθρώπινη υγεία και την εύρεση λύσεων για τη βελτίωση του προβλήματος

- την εφαρμογή ενός μοντέλου αποδέκτη (Positive Matrix Factorization) σε δεδομένα κατανομής μεγέθους σωματιδίων (αριθμός και μάζα) που συλλέχθηκαν από μετρήσεις στον εσωτερικό αέρα κατοικίας και γραφείων με σκοπό την εκτίμηση των συνεισφορών των πηγών που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις.

Μελλοντική μελέτη μπορεί να πραγματοποιηθεί για τα προφίλ πηγών σωματιδίων (αλλά και άλλων ρύπων) σε περισσότερα είδη εσωτερικών χώρων όπως σχολεία, νοσοκομεία, εργοστάσια, μέσα μεταφοράς κ.α. Οι πληροφορίες αυτές θα βοηθήσουν σημαντικά στην εκτίμηση των συνεισφορών των πηγών και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στους χώρους αυτούς. Επίσης, η επέκταση της παρούσας εργασίας μπορεί να περιλαμβάνει και τη μελέτη των προφίλ πηγών σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους υπό διαφορετικές συνθήκες αερισμού με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού για τη ρύθμιση του ρυθμού ανταλλαγής αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον, η μελέτη των προφίλ των εκπομπών σε ένα ευρύτερο φάσμα μεγέθους σωματιδίων (συμπεριλαμβανομένου και των σωματιδίων με διάμετρο μερικών νανομέτρων) θα συνεισφέρει στην έρευνα για τη σύνδεση της ανθρώπινης έκθεσης με τα προβλήματα στην υγεία που προκαλούνται από αυτή.

Με δεδομένη τη γνώση των προφίλ μεγάλου πλήθους πηγών, περισσότερα μοντέλα αποδέκτη (που απαιτούν την εξ αρχής μερική ή ολική γνώση των προφίλ) μπορούν να εφαρμοστούν σε μετρούμενες συγκεντρώσεις σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους, με σκοπό τη μεταξύ τους σύγκριση και βελτίωση των παραμέτρων τους. Τέλος, επέκταση της παρούσας έρευνας μπορεί μελλοντικά να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δεδομένα χημικής ανάλυσης σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο. Ο νέος μετρητικός εξοπλισμός περιλαμβάνει όργανα που πραγματοποιούν συνεχή καταγραφή (on line) της σύστασης των σωματιδίων, γεγονός που ενδεχομένως να επιτρέπει τον εντοπισμό μιας πηγής με μεταβαλλόμενης χημικής σύστασης ή μικρής χρονικής διάρκειας εκπομπή. Ενδιαφέρον θα είχε και η εφαρμογή ενός μοντέλου αποδέκτη στο συνδυασμό δεδομένων κατανομής μεγέθους σωματιδίων και χημικής σύστασης.

Βιβλιογραφία

Abt, E., Suh H.H., Allen, G., Koutrakis, P. (2000)a Characterization of indoor particle sources: a study conducted in the metropolitan Boston area.' *Environmental Health Perspectives*, 108, pp. 35-44.

Abt E., Suh H.H., Catalano, P., Koutrakis P. (2000)b Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentrations. *Environmental Science & Technology*, 34, pp. 3579-3587

Afshari, A., Gunnarsen, L. (2000) Review of the sources of fine and ultra fine particles in indoor air. Danish Building Research Institute, *Environmental Engineering*, 13, pp. 45-51

Afshari, U. Matson, L. E. Ekberg (2005) Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber. *Indoor Air*, vol. 15, 141-150

Alvin C. K. Lai (2006) Particle Deposition and Decay in a Chamber and the Implications to Exposure Assessment. *Water Air & Soil Pollution*, 175, 323-334

Bennett W.O. and Zeman KL (1998). Deposition of fine particles in children spontaneously breathing at rest, *Inhal Toxicol* 10, 831–842.

Bi, X.H., Feng, Y.C., Wu, J.H., Wang, Y.Q. and Zhu, T. (2007). Source Apportionment of PM10 in Six Cities of Northern China. *Atmos. Environ.* 41: 903– 912.

Buonanno, G. Morawska L. and Stabile L. (2009) Particle emission factors during cooking activities, *Atmospheric Environment* 43, 3235–3242.

Chan and Mozurkewich, (2007) Application of absolute principal component analysis to size distribution data: Identification of particle origins, *Atmospheric Chemistry and Physics* 7 887–897.

Chang Y, Lee H. and Tseng H. (2007) The formation of incense smoke, *Journal of Aerosol Science* 38 (2007), 39–51.

Chao LL Yeung and Choi PSH (2002). Quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons and aliphatic hydrocarbons in air particulate samples in homes. *Indoor Built Environment* 11: 123–133

Cheng Y, Bechtold W., Yu C.C. and Hung IF (1995) Incense smoke: characterization and dynamics in indoor environments, *Aerosol Science and Technology* 23, 271–281.

Chio C.P, Cheng M.T, Wang C.F (2004) Source apportionment to PM10 in different air quality conditions for Taichung urban and coastal areas, Taiwan. *Atmospheric Environment* 38 6893-6905.

Chueinta W., Hopke P., Paatero P. Investigation of sources of atmospheric aerosol at urban and suburban residential areas in Thailand by positive matrix factorization. (2000). *Atmospheric Environment* 34, 3319-3329.

Cole C. (1998). Candle Soot Deposition and Its Impacts on Restorers, Sentry Construction Company, USA (1998).

Corsi R.L, Siegel J.A and Chiang C (2008). Particle resuspension during the use of vacuum cleaners on residential carpet, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 5, 232–238.

Delfino R.J. , Zeiger R, Seltzer J and Street DH (1998). Symptoms in pediatric asthmatics and air pollution: differences in effects by symptom severity, anti-inflammatory medication use and particulate averaging time, *Environ Health Perspect* 106,751–761.

Dennekamp M, Howarth S, Dick S, Cherrie J, Donaldson K, and Seaton A (2001) Ultrafine particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking. *Occup Environ Med.* August; 58(8): 511–516.

D'Ippoliti D., Forastiere F., Ancona C., Agabiti N., Fusco D., Michelozzi P., Perucci, C.A. (2003) 'Air pollution and myocardial infarction in Rome: A case-crossover analysis' *Epidemiology*, 14 (5), pp. 528-535.

Donaldson, K, Li X., MacNee W (1998). Ultrafine particle mediated lung injury. *Journal of Aerosol Science* 29, 553-560.

Edwards H.G.M., Farwell, D.W., Brooke, C.J. Raman spectroscopic study of a post-medieval wall painting in need of conservation (2005) *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 383 (2), pp. 312-321.

Eldering and Cass, 1996 A. Eldering and G.R. Cass, Source-oriented model for air pollutant effects on visibility, (1996) *Journal of Geophysical Research* 101.

Escudero M, Querol X, Pey J, Alastuey A, Pérez N and Ferreira F et al., (2007). A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks, *Atmospheric Environment* 41, 5516–5524.

Fan, C.W., Zhang, J.J. (2001) Characterization of emissions from portable household combustion devices: particle size distributions, emission rates and factors, and potential exposures.' *Atmospheric Environment*, 35, 1281-1290

Farhat S, Paulo R, Shimoda T, G.M.S. Conceicao, C.A. Lin and A.L.F. Braga et al. (2005), Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions, *Braz J Med Biol Res* 38 227–235.

Ferin J, Oberdorster G. and Penney D. (1992) Pulmonary retention of ultrafine and fine particles in rats, *Am J Resir Cell Mol Biol* 6, 535–542.

Ferro AR, R.J. Kopperud and L.N. Hildemann (2004) Source strengths for indoor human activities that resuspend particulate matter, *Environmental Science and Technology* 38, 1759–1764.

Fine P., Cass G., Simeoneit B (1999). Characterization of fine particle emissions from burning church candles. *Environmental Science and Technology* 33, 2352-2362.

Fubini B, Ivana Fenoglio, and Maura Tomatis, "Physicochemical Characteristics of Nanoparticles that Determine Potential Toxicity", (2007) Chapter 4 in "Nanotoxicology: characterization, dosing and health effects", edited by Nancy A. Monteiro-Riviere & C. Lang Tran, Informa Healthcare USA, Inc.

Jolliffe, I.T., *Principal Component Analysis*, SpringerVerlag, New York, 1986.

García JH, Li WW, Cárdenas N, Arimoto R, Walton J, Trujillo D. (2006) Determination of PM_{2.5} sources using time-resolved integrated source and receptor models. *Chemosphere*. Dec;65(11):2018-27. Epub 2006 Aug 9.

Garrett, M.H. et al., (1998) Respiratory systems in children and indoor exposure to nitrogen dioxide and gas stove. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 158, 891-895

Glytsos T J, Ondráček, L, Džumbová I, Kopanakis and M. Lazaridis (2010) Characterization of particulate matter concentrations during controlled indoor activities. *Atmospheric Environment*, 14 (12), 1539-1549

Grivas G., Asteriou C., Chaloulakou A., Spyrellis N. (2004) 'Particle number size distribution at a roadside location in Athens, Greece.' *Journal of Aerosol Science*, 35, S553-S554

Han JS, Moon KJ, Lee sj, Kim Y.J, Ryu SY, Cliff SS, Yi SM. Size-resolved source apportionment of ambient particles by positive matrix factorization at Gosan background site in East Asia. (2006) *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 211-223.

Harrison R. and Yin J (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health, *Sci Total Environ* 249, 85–101.

He C., Morawska L., Hitchins, J., Gilbert D. (2004) 'Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses.' *Atmospheric Environment*, 38, pp. 3405–3415

Henry RC, Chang YS and Spiegelman CH (2002) Locating nearby sources of air pollution by nonparametric regression of atmospheric concentrations on wind direction, *Atmospheric Environment* 36, 2237–2244.

Hirvonen, A., Savolainen, T., Ruuskanen, J., Tarhanen, J., Pasanen, P. Thermal desorption of settled household dust (1990) *Proceedings of Indoor Air '90*, 3, pp. 743-746.

Hopke P.K. Recent developments in receptor modeling. (2003) *J. Chemometrics* 17, 255-265.

Hopke PK, K. Ito, T. Mar, W.F. Christensen, D.J. Eatough and R.C. Henry et al. (2006) PM source apportionment and health effects: 1. Intercomparison of source apportionment results, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 16, 275–286

Hussein T., T. Glytsos, J. Ondráček, P. Dohányosová, V. Ždímal, K. Hämeri, M. Lazaridis, J. Smolík and M. Kulmala, Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house (2006) *Atmospheric Environment* 40, 4285–4307.

Huynh, C.K., Savolainen, H., Vu-Duc, T., Guillemin, M., Iselin, F. (1991) Impact of thermal proofing of a church on its indoor air quality: The combustion of candles and incense as a source of pollution *Science of the Total Environment*, 102, pp. 241-251.

IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans (2004) vol.83

Ilaqua V., Hänninen O, Saarela K, Katsouyanni K, Künzli N and Jantunen M (2007) Source apportionment of population representative samples of PM_{2.5} in three European cities using structural equation modelling, *Science of the Total Environment* 384. 77–92.

Ishizu, Y., Ohta, K., Okada, T. (1980) The effect of moisture on the growth of cigarette smoke particles *Beit zur Tabak Int*, 10, pp. 161-168.

Janssen N.A.H., Schwartz J., Zanobetti A., Suh H.H. (2002) 'Air conditioning and source-specific particles as modifiers of the effect of PM on hospital admissions for heart and lung disease' *Environmental Health Perspectives*, 110 (1), pp. 43-49

Karar K. Gupta A.K. (2007) Source apportionment of PM₁₀ at residential and industrial sites of an urban region of Kolkata, India. *Atmospheric Research* 84 30-41

Kao M. and C.-S. Wang (2002) Reactive oxygen species in incense smoke, *Aerosol and Air Quality Research* 2, 61–69.

Ke L, Liu W., Wang Y., Russell Armistead, Edgerton E., Zheng M. (2008) Comparison of PM_{2.5} source apportionment using positive matrix factorization and molecular marker-based chemical mass balance. *Science of total Environment* 394, 290

Kim E, Hopke P, T.V. Larson and D.S. Covert (2004) Analysis of ambient particle size distributions using UNMIX and positive matrix factorization, *Environmental Science and Technology* 38, 202–209.

Kleeman, M.J., Schauer J.J., Cass G.R. (1999) Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling and cigarettes. *Environmental Science & Technology*, 33, pp. 3516–3523

Klepeis N.E., Apte M.G., Gundel, L.A., Nazaroff W.W. Sextro, R.G. (1999) Characterizing ETS Emissions From Cigars: Chamber Measurements of Nicotine, Particle Mass, and Particle Size.' *Proceedings of Indoor Air'99*, vol. 2, Edinburgh, 903-908

Klepeis N.E., Apte M.G., Gundel, L.A., Sextro, R.G., Nazaroff W.W. (2003) 'Determining size-specific emission factors for environmental tobacco smoke particles.' *Aerosol Science & Technology*, 37, 780–790

Klepeis N.E., Nazaroff W.W. (2002) Characterizing size-specific ETS particle emissions. *Indoor Air*, pp. 162-167

Krafthefer, B.C., Macphaul, D. (1990) *Ultrafine particle emission from Base-board and other resistance - Type heaters (1990)* *Proceedings of the Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 3, pp. 659-664.

Lai, A.C.K. (2004) Modeling of airborne particle exposure and effectiveness of engineering control strategies *Building and Environment*, 39 (6), 599-610

Lee E, Chun CK and Paatero P (1999) Application of positive matrix factorization in source apportionment of particulate pollutants in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 33: 3201–3212

Lenschow P, Abraham H, Kutzner K., Lutz M, Preuß J and Reichenbacher W. (2001) Some ideas about the sources of PM₁₀, *Atmospheric Environment* 35 (Suppl. 1), 123–133.

Li CK and Kamens RM (1993) The use of polycyclic aromatic hydrocarbons as sources signatures in receptor modeling, *Atmospheric Environment* 27A: 523–532

Lioy, P.J., Wainman, T., Zhang, J.J., Goldsmith, S. (1999) Typical household vacuum cleaners: The collection efficiency and emissions characteristics for fine particles. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 49 (2), pp. 200-206.

Long C., Suh H., Koutrakis P. (2000) 'Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors.' *J. Air Waste Manage*, 50, pp. 1236-1250

Long C., Suh H., Catalano P., Koutrakis P. (2001)a 'Using time and size resolved particulate data to quantify indoor penetration and deposition behavior.' *Environmental Science & Technology*, 35, pp. 2089-2099.

Long C., Suh H., Kobzik L., Catalano P., Ning Y., Koutrakis P. (2001)b 'A pilot investigation of the relative toxicity of indoor and outdoor fine particles: in vitro effects of endotoxin and other particulate properties.' *Environmental Health Perspectives*, 109, pp. 1019-1026.

Luoma, M. and Batterman, S. A., (2001), Characterization of particulate emissions from occupant activities in offices, *Indoor Air*, 11, 35-48.

Maggos Th., J.G. Bartzis, D. Kotzias, Ch. Vassilakos, Ch. Agriodimas, J. Michopoulos, O. Geiss and C. Helmis (2006) Traffic-related air pollution measurements in two streets with different geometry in Athens Greece *Fresen. Environ. Bull.* Vol.15

Maggos Th, Michopoulos J, Vassilakos Ch, Bartzis J.G. Assessment of traffic air pollution using combined traffic, air pollution and meteorological data in the city of Athens. In: Brebbia C.A, editor. *Proc Air pollution 2004; Rhodes, Greece*, p. 425–34

Mannix RC, N.P. Khanh, T.W. Eric, H.E. Esther and F.R. Phalen (1996) Physical characterization of incense aerosols, *Science of the Total Environment* 193, 149–158.

Matson A. U., Ekberg L. E. (2005) Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles. A study conducted in a full-scale chamber. *Indoor Air*, 15(2) 141-150

Matson U., (2004) Ultrafine particles in indoor air. Measurements and modeling. Building Services Engineering, Department of Building Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

McCusker, K., Hiller, F.C., Mazumder, M., Bone, R.C. (1980) *Clin. Res.*, 28, pp. 841A.

Michaels R and Kleinman M. (2000) Incidence and apparent health significance of brief airborne particle excursions, *Aerosol Sci Tech* 32, 93–105.

Miller, S.L., Nazaroff, W.W. (2001) Environmental tobacco smoke particles in multizone indoor environments *Atmospheric Environment*, 35 (12), pp. 2053-2067.

Mitsakou M., C. Housiadas, K. Eleftheriadis, S. Vratolis, C. Helmis and D. Asimakopoulos (2007). Lung deposition of fine and ultrafine particles outdoors and indoors during a cooking event and no activity periods, *Indoor Air* 17, 143–152.

Montoya D.L., Hildemann M.L., (2005) Size distributions and height variations of airborne particulate matter and cat allergen indoors immediately following dust-disturbing activities. *Journal of Aerosol Science*, 36, pp. 735-749

Morawska, L., Jayaratne E., Mengersen K, Jamriska M., Thomas S (2004). Differences in airborne particle and gaseous concentrations in urban air between weekdays and weekends. *Atmospheric Environment* 36, 4375.

Morawska, L., Jamriska, M., Bofinger, N.D. Size characteristics and ageing of the environmental tobacco smoke (1997) *Science of the Total Environment* Volume 196, Issue 1, 9 March 1997, Pages 43-55

Nordtest Method NT VVS 105 (1994). Ventilation: Flow rate, total effective – by single zone approximation.

Oberdörster G., Ferin J and Lehnert BE. Correlation between particle size, in vivo particle persistence, and lung injury. *Environ Health Perspect.* 1994 October; 102 (Suppl 5): 173–179.

Ogulei D, Hopke PK, Zhou L, Paatero P, Park SS and Ondov JM (2005) Receptor modeling for multiple time resolved species: The Baltimore supersite, *Atmospheric Environment* 39, 3751–3762.

Ogulei D., Hopke P. K., Wallace L. A. (2006) Analysis of indoor particle size distributions in an occupied town house using positive matrix factorization. *Indoor air*, 16, 204-215

Ogulei D, Hopke PK, Chalupa DC and Utell MJ, (2007a) Modeling source contributions to submicron particle number concentrations measured in Rochester, NY, *Aerosol Science and Technology* 41 (2007a), pp. 179–201.

Ogulei D, Hopke PK, Ferro AR and Jaques PA. (2007b) Factor analysis of submicron particle size distributions near a major United States–Canada trade bridge, *Journal of the Air and Waste Management Association* 57, 190–203.

Ogulei D, Hopke PK, Zhou L, J.P. Pancras, N. Nair and J.M. (2006) Ondov, Source apportionment of Baltimore aerosol from combined size distribution and chemical composition data, *Atmospheric Environment* 40, S396–S410.

Paatero P (1997) Least squares formulation of robust non-negative factor analysis. *Chemometr. Intelligent Lab. Syst.* 6037: 23-35

Paatero P, Hopke PK, Song XH and Ramadan Z (2002) Understanding and controlling rotations in factor analytic models. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 60 (1-2): 253-264

Paatero P. and Tapper U Analysis of different modes of factor analysis as least squares fit Problems, *Chemom, Intell. Lab. Syst.* 18Q183-194.

Paatero, P and Tapper U. Positive matrix factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics* 5:111-126.

Pateraki, St., Asimakopoulou, D.N., Maggos, Th., Vasilakos, Ch., (2010). Particulate matter levels in a suburban Mediterranean area: Analysis of a 53-month long experimental campaign. *Journal of Hazardous Materials*, 1-3, 801-811

Pagels J, A. Wierzbicka, E. Nilsson, C. Isaxon, A. Dahl, E. Gudmundsson and M. Bohgard, (2009) Chemical composition and mass emission factors of candle smoke particles, *Journal of Aerosol Science* 40, 193–208.

Pancras JP, Ondov, JM,. Poor, N, Landis MS and Stevens R (2006). Identification of sources and estimation of emission profiles from highly time-resolved pollutant measurements in Tampa, FL, *Atmospheric Environment* 40, 467–481.

Park S., Kim Y. (2005) Source apportionment to fine particulate matter in an urban atmosphere. *Chemosphere* 59, 217-226.

Pedersen,E.K., Bjørseth,O., Syversen,T., Mathiesen,M. (2001) Physical changes of indoor dust caused by hot surface contact *Atmospheric Environment*, 35 (24), pp. 4149-4157.

Peters A., Dockery D.W., Muller J.E., Mittleman M.A. (2001) 'Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction *Circulation*', 103 (23), pp. 2810-2815

Polissar A.V., P.K Hopke, WC. Malm, J.F Sisler. *Atmospheric Aerosol over Alaska: 2. Elemental Composition and Sources*, *J.Geophys. Res.* 103: 19. 045-19;057.

M. Pilou, **D. Saraga**, S. Tsangaris, C. Vasilakos and C. Housiadas. Particle deposition in the lung during domestic activities. *International Aerosol Conference 2010, Helsinki, 29th August-3rd September 2010.*

M. Pilou, **D. Saraga**, P. Neofytou, C. Vasilakos and C. Housiadas. Internal dose estimation from particulate matter exposure in an office environment. *Nanotoxicology Conference 2nd-4th June 2010, Edinburg.*

Ren Y, Cheng T, Chen J (2006) Polycyclic aromatic hydrocarbons in dust from computers: one possible indoor source of human exposure. *Atmospheric Environment* 40: 6956-6965

Roscoe, BA, Hopke, PK. (1981) Error estimation of factor loadings and scores obtained with target transformation factor analysis, *Anal Chim Acta*, 132, 89-97.

Ruuskanen J, Tuch T, H. Brink, Peters A, Khlystov A and Mirme A. et al., (2001) Concentrations of ultrafine, fine and PM_{2.5} particles in three European cities, *Atmospheric Environment* 35, 3729–3738.

Schauer J.J., Kleeman M.J., Cass G.R., Simoneit B.R.T. (1999) 'Measurement of emissions from air pollution sources C1 through C29 organic compounds from meat charbroiling.' *Environmental Science & Technology*, 33, 1566-1577

Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. (1996) Daily mortality associated specifically with fine particles? *J Air Waste Manag Assoc.* 46(10):927-39.

Schwartz J, (2000) Is there harvesting in the association of airborne particles with daily deaths and hospital admissions. *Epidemiology* 12 55–61.

See WS, Balasubramanian R and Joshi U (2007) Physical characteristics of nanoparticles emitted from incense smoke, *Science and Technology of Advanced Materials* 8, 25–32.

Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. (1995) Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet.* Jan 21;345(8943):176-8.

Schauer J., Wolfgang F. Rogge, Lynn M. Hildemann, Monica A. Mazurek, Glen R. Cass, Bernd R. T. Simoneit. Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers. *Atmospheric Environment*, 30, 3837-3855.

Sjaastad A.K., Svendsen K., Jorgensen R.B. (2007) Sub-micrometer particles: their level and how they spread after pan frying of beefsteak.' *Indoor and Built Environment*, 17, 230-236.

Siegmann K and Sattler K. (1996) Aerosol from Hot Cooking Oil, a Possible Health Hazard *J. Aerosol Sci.* 27 , Suppl. 1, 493.

Sohn, M.D., Lai, A., Smith, B.V., Sextro, R.G., Feustel, H.E., Nazaroff, W.W. Modeling aerosol behavior in multizone indoor environments (1999) *Proceedings of Indoor Air'99*, 4, 785-790.

Thatcher, T.L., Layton, D.W. Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence (1995) *Atmospheric Environment*, 29 (13), 1487-1497.

Tsai Y., Chen C. Atmospheric aerosol composition and source apportionments to aerosol in southern Taiwan (2006). *Atmospheric Environment* 40, 4751-4763.

Tsiouri V., Kovalets I., Andronopoulos S., Bartzis J., 2010. Development and first tests of a data assimilation algorithm in a Lagrangian puff atmospheric dispersion model. *International Journal of Environment And Pollution* (accepted for publication in 2010)

Tuch et al. (2000) Comparison of two particle-size spectrometers for ambient aerosol measurements, *Atmospheric Environment* 34:139-149.

Ueno Y, Peters L.K., 1986. Size and generation rate of sidestream cigarette smoke particles *Aerosol Science and Technology*, 5 (4), 469-476.

Vassilakos C, Pateraki S, D. Veros, Th. Maggos, J. Michopoulos, **D. Saraga**, C.G. Helmis. (2006) Temporal determination of heavy metals in PM_{2.5} aerosols in a suburban site of Athens, Greece. *Journal of atmospheric chemistry* 57 (1), pp. 1-17

Vassilakos C, **Saraga D**, Th. Maggos, J. Michopoulos, S. Pateraki, C.G Helmis (2005) "Temporal variations of PM_{2.5} particulate matter in the ambient air from a suburban site in Athens and correlation with meteorological parameters and other air pollutants" *Science of Total Environment*, 349, 223-231

Vecchi R, Chiari M, D'Alessandro A, Fermo P, Lucarelli F., Mazzei F, Nava S, Piazzalunga, A. , Prati P, F. Silvani, G. Valli. (2008) A mass closure and PMF source apportionment study on the sub-micron sized aerosol fraction at urban sites in Italy. *Atmospheric Environment*, 42 (3), 2240

Viana M, Pandolfi M, Minguillón MC, Querol X, Alastuey A, Monfort E., Celades I. (2008) Inter-comparison of receptor models for PM source apportionment: Case study in an industrial area. *Atmospheric Environment* 42(16)3820-3832.

Visser, H., Buring, E., & Breugel, P. B. v. (2001). Composition and origin of airborne particulate matter in the Netherlands. National Institute for Public Health and the Environment, RIVM.

Wählin P, Palmgren F, Dingenen R and Raes F (2001). Experimental studies of ultrafine particles in streets and the relationship to traffic, *Atmospheric Environment* 35

Wallace L., (1996) Indoor particles: a review. *J. Air Waste Manage Assoc.*, 46, 98-126.

Wallace L. (2000) Real-time monitoring of particles, PAH, and CO in an occupied townhouse *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 15 (1), 39-47.

Wallace,L., Howard-Reed,C. Continuous monitoring of ultrafine, fine, and coarse particles in a residence for 18months in1999-2000 (2002) *Journal of the Air and Waste Management Association*, 52 (7), 828-844.

Watson J., Zhu T, Chow J, Engelbrecht J, Fujita E and Wilson W. (2002) Receptor modeling application framework for particle source attribution, *Chemosphere* 49, 1093–1136.

Wierzbicka,A., Gudmundsson,A., Pagels,J., Dahl,A., Löndahl,J., Swietlicki,E.(2008)*Characteristics of airborne particles in various Swedish indoor environments* Paper I in What Are the Characteristics of Airborne Particles that We Are Exposed to? Focus on Indoor Environments and Emissions from Biomass Fired District Heating *Ph.D. thesis, Lund University*

Wong T., T Yu, H Liu, and Wong A. (2004) Household gas cooking: a risk factor for respiratory illnesses in preschool children *Arch Dis Child*. July; 89(7): 631–636.

Yakovleva E, Hopke P, Wallace L (1999). Receptor modelling assessment of particle total exposure assessment methodology data. *Environ. Sci. Technol.* 33: 3645-3652.

Yang CR, T.-C. Lin and F.-H. Chang (2007) Particle size distribution and PAH concentration of incense smoke in a combustion chamber, *Environmental Pollution* 145, 606–615.

Yatkin S., Bayram A. (2008) Source apportionment of PM10 and PM2.5 using positive matrix factorization and chemical mass balance in IZMIR, Turkey. *Science of the total Environment* 390, 109-123.

Yeung L. (2008) To W. Size distributions of the aerosols emitted from commercial cooking processes. *Indoor Built Environment* 17;3;220-229.

Zai S., Zhen H., Jia-song W. (2006). Studies on the size distribution, number and mass emission factors of candle particles characterized by modes of burning. *Journal of Aerosol Science* 37, 1484-1496.

Zhao W., Hopke P., Norris G., Williams R., Paatero P. (2006). Source Apportionment and analysis on ambient and personal exposure samples with a combined receptor model and an adaptive blank estimation strategy. *Atmospheric Environment* 40 (2006) 3788-3801.

Zhou L, Kim E, Hopke PK, Stanier C and Pandis S, (2004) Advanced factor analysis on Pittsburgh particle size distribution data, *Aerosol Science and Technology* 38 (S1), 118–132.

Zhou L., Kim E, Hopke PK, Stanier C and Pandis S. (2005) Mining airborne particulate size distribution data by positive matrix factorization, *Journal of Geophysical Research* 110 D07S19.

Zhu Y, Hinds W, Kim S, Shen S and Sioutas C (2002) Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic, *Atmospheric Environment* 36, 4323–4335.

Zhu Y, Hinds W, Kim S, and Sioutas C (2002) Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway, *Journal of the Air and Waste Management Association* 52, 1032–1042.

www.epa.gov
www.ashrae.com

Δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής:

Saraga D., Sfetsos A., Andronopoulos S., Chronis A., Maggos Th., Vlachogiani D. and Bartzis J. An investigation of the parameters influencing the determination of the number of particle sources and their contribution to the air quality of an indoor residential environment. Editor: I.N. Athanassiadis et al., *Information Technologies in Environmental Engineering, Environmental Science and Engineering*, DOI 10.1007/978-3-540-88351-7_34, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009. pp.453-464.

Saraga D., Thomas Maggos, Athanasios Sfetsos, Evaggelos Tolis, Spyros Andronopoulos, John G. Bartzis and Christos Vasilakos. PAHs sources contribution to the air quality of an office environment: experimental results and receptor model (PMF) application. (2010) accepted for publication in *Journal of Air Quality, Atmosphere and Health* Volume 3, Issue 4 (2010), Page 225.

Saraga D., Ioannis Pappas, Thomas Maggos, Athanassios Sfetsos, Christos Vasilakos and John G. Bartzis. Deposition rate estimation of size resolved particulate matter data in a residence in Athens, Greece. *Healthy Buildings '09, Syracuse USA* September 2009.

Saraga D., T. Maggos, C. G. Helmis, A. Passa, C. Vasilakos and J. G. Bartzis. Particulate matter size distribution of main indoor sources: measurements in a real scale chamber. *European Aerosol Conference* 6-11 September 2009.

Saraga D., Sfetsos A., Andronopoulos S., Chronis A., Maggos Th., Vlachogiani D. and Bartzis J. An investigation of the parameters influencing the determination of the number of particle sources and their contribution to the air quality of an indoor residential environment. *Information Technologies in Environmental Engineering, Proceedings of the 4th International ICSC Symposium Thessaloniki, Greece, May 28-29, 2009.*

Saraga D., Maggos T, Tolis E, Sfetsos A, Andronopoulos S, Bartzis J and Vasilakos C. Estimation of PAHs sources contribution to indoor particulate matter concentrations in an office environment: experimental results and receptor modeling application. *Air Quality Conference 09, Istanbul* 24-27 March 2009.

Saraga D., Sfetsos A., Andronopoulos S., Bartzis J., Maggos T., Vasilakos C. Particle size distributions in an office environment: an experimental approach and a source apportionment analysis through positive matrix factorization. *IEMSS Conference Barcelona* 4-7 July 2008.

Προς δημοσίευση:

Saraga D. et al., 2011. *Particulate matter size distribution of twenty five indoor sources: measurements in a real scale chamber.*

Saraga D. et al., 2011. *Particle size distribution in a residential and an office environment. A source apportionment analysis through PMF.*

