

Έκθεση των εργαζομένων στη Νομαρχία Πειραιά σε αέρια σωματιδιακή ρύπανση Διασύνδεση με επίπεδα εξωτερικού περιβάλλοντος

Μ.Χριστόλης, Ε. Διαπούλη, Α. Χαλουλάκου, Ν.Χ. Μαρκάτος

*Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας II
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Αθήνα 15773*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια των εργαζομένων στα κτίρια της Νομαρχίας Πειραιά, σε μια περιοχή ιδιαίτερα επιβαρυνμένη από πλευράς κυκλοφορίας, και λόγω της καθημερινής λειτουργίας του λιμένα Πειραιά. Πέρα από την μελέτη των επιπέδων έκθεσης, εξετάστηκε και η διασύνδεση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στους εργασιακούς χώρους με αυτή του ευρύτερου περιβάλλοντος στην περιοχή του Λιμένα.

Ταυτόχρονες εσωτερικές και εξωτερικές μετρήσεις των σωματιδίων PM₁₀ και των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων, με διάμετρο μικρότερη από 1 μm (ultrafine particles, UFPs), πραγματοποιήθηκαν σε δύο κτίρια της Νομαρχίας Πειραιά, κατά την διάρκεια ψυχρής και θερμής περιόδου του 2009. Η συγκέντρωση των σωματιδίων PM₁₀ καταγράφηκε σε 24-ωρη βάση (00:00 – 00:00) με χρήση σταθμικών δειγματοληπτών Harvard (ρυθμός ροής 4 LPM), και με αυτόματη μετρητή DustTrak (Μοντέλο 8520, TSI, Inc.). Η κατά αριθμό συγκέντρωση των UFPs καταγράφηκε σε συνεχή βάση, με χρήση μετρητή Condensation Particle Counter (CPC, Μοντέλο 3007, TSI, Inc.).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταδεικνύουν σημαντικά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης. Ο αριθμητικός μέσος των ημερήσιων εξωτερικών συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM₁₀ υπερέβη το ημερήσιο πρότυπο ποιότητας για το κλάσμα αυτό (50 μg m⁻³) και στα δύο κτίρια, ενώ παρατηρήθηκε υπέρβαση του προτύπου κατά το 55 % και 77 % των συνολικών ημερών μέτρησης, για τα κτίρια Α και Β αντίστοιχα. Πολύ υψηλές κρίνονται επίσης οι εξωτερικές συγκεντρώσεις των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων.

Η μέση ημερήσια εσωτερική συγκέντρωση των PM₁₀ ήταν στα όρια της επικινδυνότητας, βάσει του σχετικού προτύπου ποιότητας για την εξωτερική ατμόσφαιρα, κατά το 20 % των ημερών μέτρησης. Αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν ακόμη και σε χώρους με κλειστά παράθυρα και χωρίς εσωτερικές πηγές σωματιδίων, καθώς τα εσωτερικά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης επηρεάζονταν σημαντικά από τα αντίστοιχα εξωτερικά.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πλήθος επιδημιολογικών μελετών αναφέρουν συσχετίσεις μεταξύ της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια και σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία (Pope and Dockery 2006, Pope et al. 2002). Το πρόβλημα εντοπίζεται στα μεγάλα αστικά κέντρα, τα οποία συγκεντρώνουν σημαντικές πηγές σωματιδιακής ρύπανσης (κυκλοφορία οχημάτων, κεντρικές θερμάνσεις κτιρίων). Τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων που καταγράφονται από τους σταθερούς σταθμούς των δικτύων παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι συχνά πολύ υψηλά, αναδεικνύοντας την ανάγκη μελέτης της έκθεσης των αστικών πληθυσμών.

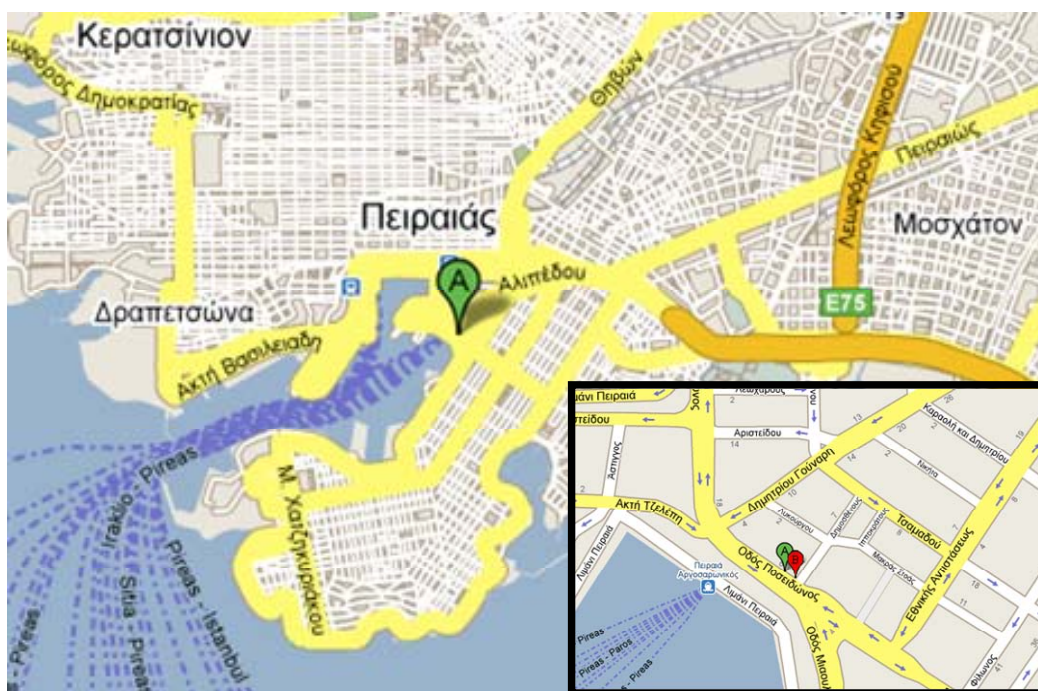
Στα πλαίσια της προσπάθειας εντοπισμού των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν τα επίπεδα έκθεσης, τις τελευταίες δεκαετίες έχει αρχίσει να αναδεικνύεται και μια άλλη πτυχή του προβλήματος: Κατά πόσον οι μετρήσεις της ρύπανσης της εξωτερικής ατμόσφαιρας είναι αντιπροσωπευτικές της πραγματικής έκθεσης του πληθυσμού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελετών σχετικών με την χωρο-χρονική απασχόληση του πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα, το 87 - 90 % του ημερήσιου χρόνου καταναλώνεται σε εσωτερικούς χώρους (Adgate et al. 2002, Klepeis et al. 1996). Επομένως γίνεται φανερό ότι η ποιότητα αέρα των εσωτερικών αυτών μικρο-περιβαλλόντων παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της συνολικής προσωπικής έκθεσης του πληθυσμού.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον δίνεται σε δύο μικρο-περιβάλλοντα, αυτό της κατοικίας και του χώρου εργασίας, καθώς αποτελούν και τα κυρίαρχα όσον αφορά τον χρόνο παραμονής (Brauer et al. 2000). Η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτούς τους χώρους είναι δυνατόν να οφείλεται τόσο σε εσωτερικές όσο και σε εξωτερικές πηγές. Οι εσωτερικές πηγές σχετίζονται συνήθως με διεργασίες καύσης (με βασική δραστηριότητα το κάπνισμα), χρήση προϊόντων σε μορφή αερολύματος ή λειτουργία μηχανημάτων (όπως φωτοτυπικά ή εκτυπωτικά μηχανήματα) (Destailats et al. 2008, Nazaroff & Klepeis 2004, Long et al. 2000). Η ίδια η παρουσία και κινητικότητα ατόμων μέσα στους χώρους είναι δυνατόν να προκαλέσει αύξηση των εσωτερικών συγκεντρώσεων, κυρίως μέσω επαναιώρησης των σωματιδίων που έχουν εναποτεθεί στις διάφορες επιφάνειες των χώρων (Nazaroff, 2004). Σημαντική είναι όμως και η συμβολή των εξωτερικών πηγών στην διαμόρφωση των εσωτερικών επιπέδων, μέσω της διείσδυσης των σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας στους εσωτερικούς χώρους (Diarouli et al. 2008, Riley et al., 2002)

Η πόλη της Αθήνας αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα σωματιδιακής ρύπανσης, με συχνές υπερβάσεις των προτύπων ποιότητας στις κεντρικές κυρίως περιοχές της (Mavroidis & Chaloulakou 2010, Grivas et al. 2008, Chaloulakou et al. 2003). Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια των εργαζομένων στα κτίρια της Νομαρχίας Πειραιά, σε μια περιοχή ιδιαίτερα επιβαρυνμένη από πλευράς κυκλοφορίας, και λόγω της καθημερινής λειτουργίας του λιμένα Πειραιά. Πέρα από την μελέτη των επιπέδων έκθεσης, εξετάζεται και η διασύνδεση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στους εργασιακούς χώρους με αυτή του ευρύτερου περιβάλλοντος στην περιοχή του λιμένα.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το σύνολο των μετρήσεων υλοποιήθηκε σε ψυχρή και θερμή περίοδο του 2009. Δύο κτίρια επιλέχθηκαν για παρακολούθηση, και τα δύο πάνω σε κεντρική κυκλοφοριακή αρτηρία (Σχήμα 1). Οι χώροι που μελετήθηκαν ήταν: η αίθουσα συνεδριάσεων στον 6ο όροφο του κεντρικού κτιρίου της Νομαρχίας Πειραιά (Κτίριο Α) και ένας χώρος γραφείου, στον 2ο όροφο ενός άλλου κτιρίου της Νομαρχίας (Κτίριο Β). Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα στον εσωτερικό των χώρων και στην εξωτερική ατμόσφαιρα των κτιρίων. Οι μετρήσεις στον εξωτερικό χώρο κρίθηκαν απαραίτητες για να διαπιστωθεί ο βαθμός διείσδυσης της ρύπανσης στους εσωτερικούς χώρους και της επίδρασης της στα επίπεδα έκθεσης των εργαζομένων. Οι εσωτερικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ύψος αναπνοής (~1,5 m). Κατά την περίοδο των μετρήσεων επικρατούσαν συνθήκες φυσικού αερισμού, ενώ η πόρτα και τα παράθυρα των υπό μελέτη χώρων παρέμειναν κλειστά. Οι εξωτερικοί δειγματολήπτες τοποθετήθηκαν έξω από τα παράθυρα των χώρων.



Σχήμα 1. Απεικόνιση θέσεων δειγματοληψίας: Κτίρια Α και Β.

Δύο σωματιδιακά κλάσματα επιλέχθηκαν προς παρακολούθηση: τα σωματίδια PM_{10} και τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια, με διάμετρο μικρότερη από $1 \mu m$ (ultrafine particles, UFPs). Για τα σωματίδια PM_{10} υφίσταται θεσμοθετημένη οριακή τιμή τόσο για την ημερήσια όσο και για την ετήσια συγκέντρωσή τους στην εξωτερική ατμόσφαιρα. Η μελέτη των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων βασίστηκε σε πρόσφατες τοξικολογικές μελέτες που

αναδεικνύουν το συγκεκριμένο κλάσμα ως το πλέον επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Donaldson et al. 2002, Ibalid-Mulli et al. 2002).

Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM_{10} καταγράφηκαν σε 24-ωρη βάση (00:00 – 00:00) με χρήση σταθμικών δειγματοληπτών Harvard (ρυθμός ροής 4 LPM). Επιλέχθηκαν φίλτρα ινών υάλου (Whatman Glass Microfibre Filters, GF/A). Η ζύγιση των φίλτρων πραγματοποιήθηκε σε ζυγό υψηλής ακρίβειας, 5 δεκαδικών ψηφίων (Sartorius M2P Electronic Microbalance). Για την ζύγιση των φίλτρων ακολουθήθηκε αυστηρό πρωτόκολλο διασφάλισης και ελέγχου ποιότητας, κατά την παραμονή τους σε χώρο ελεγχόμενης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Παράλληλα με τις σταθμικές δειγματοληψίες, πραγματοποιήθηκε και συνεχής παρακολούθηση των εξωτερικών συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM_{10} , με χρήση αυτόματου μετρητή συνεχούς καταγραφής DustTrak (Μοντέλο 8520), της εταιρείας TSI, Inc. Ο μετρητής είναι δυνατόν να μετρήσει συγκεντρώσεις στο εύρος $0,001 - 100 \text{ mg m}^{-3}$, με ανάλυση ίση με $\pm 0,1 \%$ ή $1 \mu\text{g m}^{-3}$.

Οι κατά αριθμό συγκεντρώσεις των UFPs καταγράφηκαν επίσης σε συνεχή βάση, με χρήση μετρητή Condensation Particle Counter (CPC, Μοντέλο 3007), της εταιρείας TSI, Inc. Ο μετρητής καταγράφει τον αριθμό των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο ίση από $0,01 \mu\text{m}$ έως μεγαλύτερη από $1 \mu\text{m}$, και είναι δυνατόν να μετρήσει συγκεντρώσεις έως και $100.000 \text{ σωματιδίων cm}^{-3}$, με ακρίβεια $\pm 20 \%$.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

1. Μετεωρολογικές συνθήκες

Στον Πίνακα 1 αναγράφονται βασικοί στατιστικοί δείκτες των μετεωρολογικών παραμέτρων κατά τις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Κατά την ψυχρή περίοδο, σε γενικές γραμμές οι μετεωρολογικές συνθήκες χαρακτηρίστηκαν από μεγάλες περιόδους έντονων βροχοπτώσεων και ισχυρών ανέμων. Η αυξημένη υγρασία και οι βροχοπτώσεις ευνοούν την κατακάλιση των αιωρούμενων σωματιδίων και επομένως τείνουν να προκαλούν μείωση των συγκεντρώσεών τους. Αντίστοιχη επίδραση παρουσιάζει και η επικράτηση ισχυρών ανέμων, καθώς οδηγεί σε διασπορά της ρύπανσης. Κατά την θερμή περίοδο παρατηρήθηκαν μόνο δύο ημέρες βροχόπτωσης, ενώ οι άνεμοι ήταν σημαντικά ασθενέστεροι.

Πίνακας 1. Βασικοί στατιστικοί δείκτες των μέσων ημερήσιων τιμών μετεωρολογικών παραμέτρων: θερμοκρασίας (T), σχετικής υγρασίας (RH), ταχύτητας ανέμου (Ws) και βροχόπτωσης (Rf), κατά τις δύο περιόδους μέτρησης.

	T (°C)	RH (%)	Ws (m/s)	Rf (mm)
Ψυχρή περίοδος	13,7 ± 2,2	68,2 ± 7,9	3,1 ± 1,4	3,8 ± 7,5
Θερμή περίοδος	25,4 ± 3,6	49,6 ± 10,9	1,9 ± 1,1	0,4 ± 1,5

2. Εξωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης

Βασικοί στατιστικοί δείκτες της μέσης 24-ωρης εξωτερικής συγκέντρωσης των σωματιδίων PM₁₀ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Τα μέσα επίπεδα συγκέντρωσης που μετρήθηκαν κατά την ψυχρή και θερμή περίοδο δεν παρουσίασαν σημαντική διαφορά, γεγονός που υποδεικνύει ότι υφίστανται μόνιμες πηγές σωματιδιακής ρύπανσης στη περιοχή, οι οποίες διαμορφώνουν την ποιότητα της εξωτερικής ατμόσφαιρας. Οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά τα επίπεδα ρύπανσης.

Πίνακας 2. Βασικοί στατιστικοί δείκτες της μέσης ημερήσιας εξωτερικής συγκέντρωσης των σωματιδίων PM₁₀ [$\mu\text{g m}^{-3}$], κατά τις δύο περιόδους μέτρησης.

	Ψυχρή περίοδος		Θερμή περίοδος
	Κτίριο A (6 ^{ος} όροφος)	Κτίριο B (2 ^{ος} όροφος)	Κτίριο B (2 ^{ος} όροφος)
Αριθμητικός μέσος	60,2	81,3	89,9
Τυπική απόκλιση	35,1	42,9	51,9
Ελάχιστη τιμή	12,0	20,6	30,5
Μέγιστη τιμή	136,5	192,4	227,8

Οι μέσες 24-ωρες συγκεντρώσεις κρίθηκαν σημαντικές, βάσει του αντίστοιχου ισχύοντος προτύπου ποιότητας. Ο αριθμητικός μέσος των ημερήσιων συγκεντρώσεων ήταν μεγαλύτερος από το ημερήσιο πρότυπο ποιότητας για τα σωματίδια PM₁₀ (50 $\mu\text{g m}^{-3}$) και στις δύο θέσεις δειγματοληψίας. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, το συγκεκριμένο πρότυπο ποιότητας δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερες από 35 φορές ετησίως (10 % του συνόλου των ημερών). Ο αριθμός υπερβάσεων που καταγράφηκαν στο κτίριο B είναι ίδιος κατά τις δύο περιόδους μέτρησης και ίσος με 25 ημέρες υπέρβασης (δηλαδή ποσοστό κατά προσέγγιση ίσο με 76 % και 78 % των συνολικών ημερών μέτρησης, κατά την ψυχρή και θερμή περίοδο αντίστοιχα). Στο κτίριο A, κατά την ψυχρή περίοδο παρατηρήθηκαν

λιγότερες υπερβάσεις, αλλά και πάλι το ποσοστό επί του συνόλου των ημερών ήταν υψηλό (18 ημέρες, δηλαδή ποσοστό κατά προσέγγιση ίσο με 55 % των συνολικών ημερών μέτρησης).

Οι εξωτερικές συγκεντρώσεις των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων (UFPs) καταγράφηκαν συστηματικά στο κτίριο A κατά την ψυχρή περίοδο και στο κτίριο B κατά την θερμή (Πίνακας 3). Στο κτίριο B πραγματοποιήθηκε επίσης, ενδεικτικά, περιορισμένος αριθμός μετρήσεων (συνολικά 2 ημέρες) κατά την ψυχρή περίοδο. Ο μέσος όρος της ημερήσιας συγκέντρωσης UFPs για τις ημέρες αυτές υπολογίστηκε ίσος με $6,8 \cdot 10^4$ σωματίδια cm^{-3} , δηλαδή υψηλότερος από τον αντίστοιχο της θερμής περιόδου.

Πίνακα 3. Βασικοί στατιστικοί δείκτες της μέσης ημερήσιας εξωτερικής κατά αριθμό συγκέντρωσης των σωματιδίων UFPs [10^4 σωματίδια cm^{-3}].

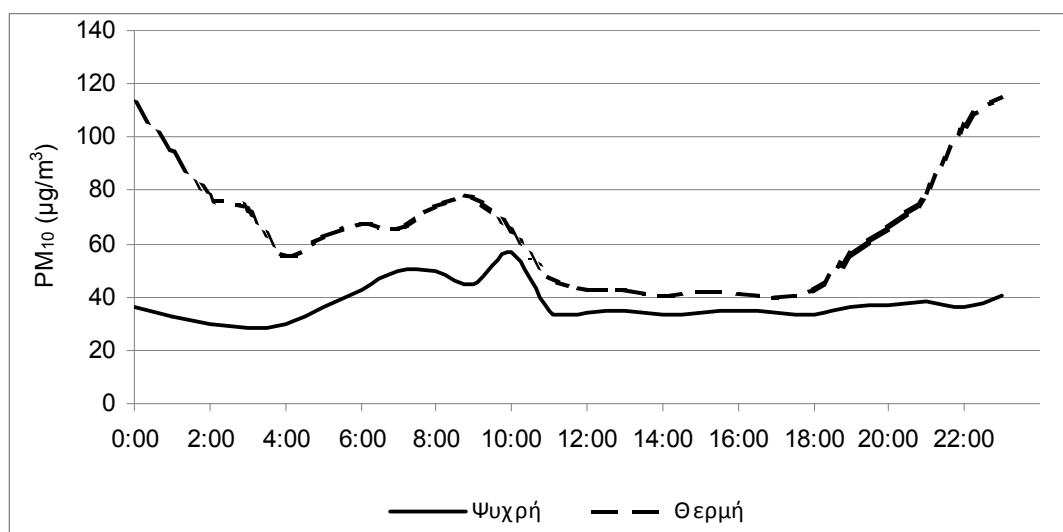
	Κτίριο A Ψυχρή περίοδος	Κτίριο B Θερμή περίοδος
Αριθμητικός μέσος	5,8	5,2
Τυπική απόκλιση	1,5	1,4
Ελάχιστη τιμή	2,9	3,3
Μέγιστη τιμή	7,9	7,1

Για το κλάσμα των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων δεν έχουν θεσπιστεί πρότυπα ποιότητας. Τα καταγραφόμενα επίπεδα ρύπανσης είναι δυνατόν να χαρακτηριστούν όμως μέσω σύγκρισης με αντίστοιχα αποτελέσματα άλλων σχετικών μελετών. Στον Πίνακα 4 παρατίθενται τα αποτελέσματα προηγούμενων μετρήσεων της ομάδας, καθώς και άλλων διεθνών μελετών. Η σύγκριση των επιπέδων αναδεικνύει την σοβαρότητα των επιπέδων εξωτερικής συγκέντρωσης. Τα μετρούμενα επίπεδα των UFPs κατατάσσονται στην ομάδα των υψηλότερων τιμών, τόσο για την περιοχή της Αθήνας, όσο και για άλλα μεγάλα αστικά κέντρα της Ευρώπης. Σημαντική πηγή του συγκεκριμένου σωματιδιακού κλάσματος είναι η καύση πετρελαίου ντήζελ, η οποία παρατηρείται τόσο σε θαλάσσια και επίγεια μέσα μεταφοράς στην περιοχή του λιμένα (πλοία / φορτηγά).

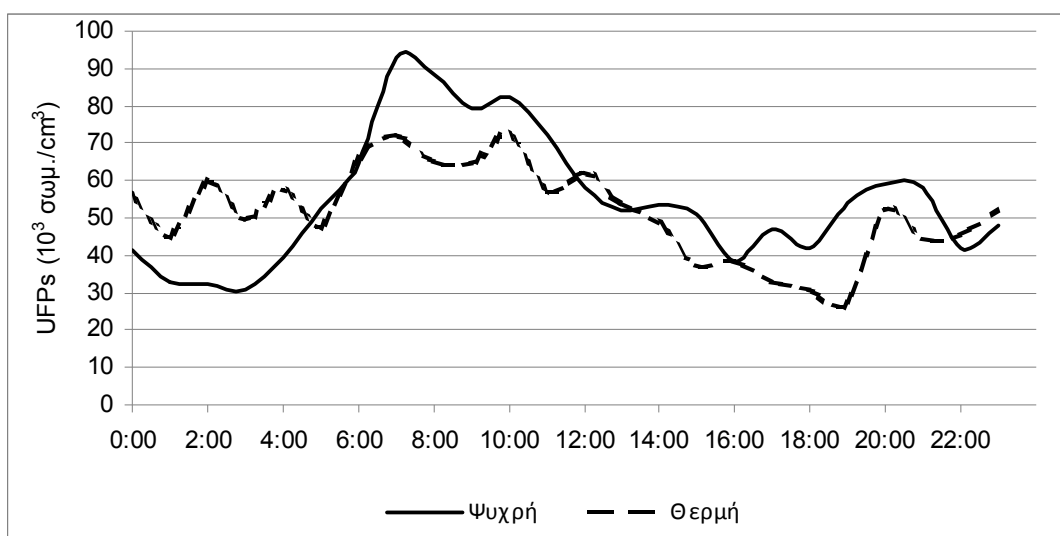
Πίνακας 4. Μέσα ημερήσια επίπεδα συγκέντρωσης των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων (UFPs) [10^4 σωματίδια cm^{-3}] στην εξωτερική ατμόσφαιρα της Αθήνας και άλλων Ευρωπαϊκών πόλεων, σε ψυχρή (Ψ) και θερμή (Θ) περίοδο.

Περιοχή	Περίοδος	UFPs	Αναφορά
Stockholm, Σουηδία	Θ/Ψ	1,0	Paatero et al. 2005
Helsinki, Φινλανδία	Θ/Ψ	1,2	Paatero et al. 2005
Αθήνα (περιοχή κατοικιών στα προάστια)	Θ/Ψ	1,3	Diapouli et al. 2007
Augsburg, Γερμανία	Θ/Ψ	1,3	Paatero et al. 2005
Αθήνα (περιοχή προαστίων, σε άμεση γειτνίαση με κεντρική οδική αρτηρία)	Θ	1,8	Diapouli et al. 2007
Erfurt, Γερμανία	Ψ	1,8	Cyrys et al. 2003
Αθήνα (κεντρική εμπορική περιοχή)	Θ/Ψ	3,6	Diapouli et al. 2007
Rome, Ιταλία	Θ/Ψ	4,7	Paatero et al. 2005
Πειραιάς (Κτίριο Β)	Θ/Ψ	5,2	Παρούσα μελέτη
Πειραιάς (Κτίριο Α)	Ψ	5,8	Παρούσα μελέτη
Barcelona, Ισπανία	Θ/Ψ	5,9	Paatero et al. 2005

Η χρήση μετρητών συνεχούς καταγραφής και των δύο σωματιδιακών κλασμάτων επέτρεψε την μελέτη των ημερήσιων κύκλων των συγκεντρώσεών τους. Στα Σχήματα 2 και 3 απεικονίζονται οι μέσοι ημερήσιοι κύκλοι της εξωτερικής συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} και UFPs αντίστοιχα, σε ψυχρή και θερμή περίοδο. Και τα δύο διαγράμματα παρουσίασαν αυξημένες συγκεντρώσεις κατά τις πρωινές ώρες αιχμής (6.00 – 10.00), υποδεικνύοντας την κυκλοφορία των οχημάτων και την συμπίπτουσα χρονικά αναχώρηση πλοίων, ως σημαντικές πηγές των δύο σωματιδιακών κλασμάτων.



Σχήμα 2. Μέσος ημερήσιος κύκλος της εξωτερικής συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} , σε ψυχρή και θερμή περίοδο.



Σχήμα 3. Μέσος ημερήσιος κύκλος της εξωτερικής συγκέντρωσης των σωματιδίων UFPs, σε ψυχρή και θερμή περίοδο.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το υψηλότερο μέγιστο στις συγκεντρώσεις των UFPs κατά την ψυχρή περίοδο πολύ νωρίς το πρωί (6:00 – 7:00), το οποίο ενδεχομένως να σχετίζεται περισσότερο με τις αναχωρήσεις πλοίων που παρατηρούνται κατά τις ώρες αυτές. Η παρουσία υψηλότερων μέγιστων κατά την ψυχρή περίοδο σε σχέση με την θερμή ίσως να οφείλονται στην χαμηλότερη θερμοκρασία των μηχανών κατά την εκκίνησή τους την ψυχρή περίοδο.

Όσον αφορά τα PM₁₀, εμφανίζουν το υψηλότερο μέγιστο αργότερα μέσα στο πρωινό (9:00 - 10:00), το οποίο πιθανόν να αντικατοπτρίζει την αυξημένη κίνηση οχημάτων που παρατηρείται τις πρωινές ώρες αιχμής. Οι συγκεντρώσεις των PM₁₀ ήταν γενικά υψηλότερες κατά την θερμή περίοδο, γεγονός που ενδεχομένως να σχετίζεται με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (ασθενέστεροι άνεμοι και σημαντικά λιγότερες βροχοπτώσεις), που επηρεάζουν κυρίως τα χονδρόκοκκα σωματίδια.

3. Εσωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης

Οι μετρούμενες εσωτερικές συγκεντρώσεις ήταν μικρότερες των αντίστοιχων εξωτερικών. Μία παράμετρος χαρακτηριστική της εισροής του αέρα της εξωτερικής ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς χώρους είναι ο λόγος της εσωτερικής-προς-εξωτερική συγκέντρωση (indoor/outdoor, I/O). Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τιμές του λόγου που υπολογίστηκαν από τα δεδομένα εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων.

Πίνακας 5. Βασικοί στατιστικοί δείκτες της μέσης ημερήσιας τιμής του λόγου εσωτερικής-προς-εξωτερική συγκέντρωση (I/O) των σωματιδίων PM₁₀.

	Ψυχρή περίοδος		Θερμή περίοδος
	Κτίριο A (6 ^{ος} όροφος)	Κτίριο B (2 ^{ος} όροφος)	Κτίριο B (2 ^{ος} όροφος)
Αριθμητικός μέσος	0,62	0,47	0,50
Τυπική απόκλιση	0,17	0,14	0,24
Ελάχιστη τιμή	0,42	0,20	0,14
Μέγιστη τιμή	0,87	0,65	0,90

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εσωτερικές μετρήσεις στα κτίρια A και B πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, ενώ ειδικά στο κτίριο A ήταν περιορισμένης διάρκειας. Για τον λόγο αυτό οι μέσοι λόγοι I/O που υπολογίστηκαν για τα δύο κτίρια δεν είναι άμεσα συγκρίσιμοι. Επίσης, σημαντικό ρόλο στην διαφοροποίηση των τιμών του λόγου μεταξύ των δύο κτιρίων είναι δυνατόν να παίζουν και η διαφορετική χρήση του κάθε χώρου (αίθουσα συνεδριάσεων στο κτίριο A και γραφείο που δεν χρησιμοποιείται στο κτίριο B), καθώς και τα διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δύο κτιρίων, που επηρεάζουν την μεταφορά του αέρα από και προς τους εσωτερικούς χώρους.

Το γενικό συμπέρασμα, όμως, είναι ότι ένα σημαντικό ποσοστό (κατά μέσο όρο άνω του 50 %) των σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας εισχωρεί στο εσωτερικό των κτιρίων. Από την παραπάνω ανάλυση έχει εξαιρεθεί μία ημέρα της ψυχρής περιόδου, κατά την οποία παρατηρήθηκε έντονη δραστηριότητα στο υπό μελέτη γραφείο του κτιρίου B, λόγω εργασιών μετακόμισης. Την συγκεκριμένη ημέρα ο λόγος I/O υπολογίστηκε ίσος με 3,35 δηλαδή σημαντικά μεγαλύτερος του 1,00 (χαρακτηριστικό εσωτερικής παραγωγής σωματιδίων), ενώ η εσωτερική συγκέντρωση ανήλθε στα 342.9 $\mu\text{g m}^{-3}$.

Το αποτέλεσμα της σημαντικής διείσδυσης του εξωτερικού αέρα στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων της Νομαρχίας είναι ότι παρατηρούνται σχετικά υψηλές εσωτερικές συγκεντρώσεις PM₁₀, σε συνθήκες απουσίας σημαντικών εσωτερικών πηγών (Πίνακας 6). Ειδικά όσον αφορά το κτίριο B, όπου πραγματοποιήθηκε μεγαλύτερος αριθμός εσωτερικών μετρήσεων, κατά το 20 % των ημερών, η ημερήσια εσωτερική συγκέντρωση ήταν

υψηλότερη ή στα επίπεδα του νομοθετημένου από την Ε.Ε. ημερήσιου προτύπου ποιότητας της ατμόσφαιρας για τα PM₁₀.

Κατά την θερμή περίοδο, πραγματοποιήθηκε και περιορισμένος αριθμός μετρήσεων της εσωτερικής συγκέντρωσης των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων (UFPs) στο κτίριο Β. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν σημαντική εισορή των εξωτερικής προέλευσης UFPs στον υπό μελέτη χώρο (μέση ημερήσια τιμή του λόγου της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση ίση με 0,70). Τα καταγραφόμενα εσωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης, κατά την διάρκεια ημερών με ελάχιστη δραστηριότητα, ήταν πολύ υψηλά (μέση ημερήσια εσωτερική συγκέντρωση ίση με $3,6 \pm 0,7 \cdot 10^3$ σωματίδια/cm³).

Πίνακας 6. Βασικοί στατιστικοί δείκτες της μέσης ημερήσιας εσωτερικής συγκέντρωσης των σωματιδίων PM₁₀ [$\mu\text{g m}^{-3}$].

	Ψυχρή περίοδος		Θερμή περίοδος
	Κτίριο Α (6 ^{ος} όροφος)	Κτίριο Β (2 ^{ος} όροφος)	Κτίριο Β (2 ^{ος} όροφος)
Αριθμητικός μέσος	27,1	35,1	37,3
Τυπική απόκλιση	7,5	28,5	10,2
Ελάχιστη τιμή	13,1	7,9	20,3
Μέγιστη τιμή	36,7	88,7	59,5

Τα συνολικά αποτελέσματα καταδεικνύουν υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης, και για τα δύο κλάσματα που μελετήθηκαν. Η σημαντική συνεισφορά της κίνησης των πλοίων στα επίπεδα εξωτερικής συγκέντρωσης των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων, και λιγότερο στα αντίστοιχα επίπεδα των σωματιδίων PM₁₀, όπως αναδείχθηκε από την μελέτη των ημερήσιων κύκλων των συγκεντρώσεων, παρουσιάζει ενδιαφέρον και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Όσον αφορά τα εσωτερικά επίπεδα συγκέντρωσης, φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από τα αντίστοιχα εξωτερικά. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι μετρούμενες συγκεντρώσεις αντιστοιχούν σε περιόδους ελάχιστης δραστηριότητας στους υπό μελέτη χώρους. Η παρουσία εσωτερικών πηγών, που είναι αναμενόμενη σε χώρους γραφείων, θα οδηγούσε σε ακόμη υψηλότερες εσωτερικές συγκεντρώσεις.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adgate J.L., Ramachandran G., Pratt G.C., Waller L.A., Sexton K., “Spatial and Temporal Variability in Outdoor, Indoor, and Personal PM_{2.5} Exposure”, *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 3255-3265, 2002.
2. Brauer M., Hruby F., Mihalikova E., Fabianova E., Miskovic P., Plzikova A., Lendacka M., Vandenberg J., Cullen A., “Personal Exposure to Particles in Banska Bystrica, Slovakia”, *Journal of Exposure Analysis and Environmental*, Vol. 10, pp. 478-487, 2000.
3. Chaloulakou A., Kassomenos P., Spyrellis N., Demokritou P., Koutrakis P., “Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} Particle Concentrations in Athens, Greece”, *Atmospheric Environment*, Vol. 37(5), pp. 649-660, 2003.
4. Cyrus J., Stolzel M., Heinrich J., Kreyling W.G., Menzel N., Wittmaack K., Tuch T., Wichmann H.-E., “Elemental Composition and Sources of Fine and Ultrafine Ambient Particles in Erfurt, Germany”, *Science of the Total Environment*, Vol. 305, pp. 143-156, 2003.
5. Destailats H., Maddalena R.L., Singera B.C., Hodgson A.T., McKone T.E., “Indoor Pollutants Emitted by Office Equipment: A Review of Reported Data and Information Needs”, *Atmospheric Environment*, Vol. 42, pp. 1371–1388, 2008.
6. Diapouli E., Chaloulakou A., Spyrellis N., “Indoor and Outdoor PM Concentrations at a Residential Environment, in the Athens Area”, *Global NEST*, Vol. 10(2), pp. 201-208, 2008.
7. Diapouli E., Chaloulakou A., Spyrellis N., “Concentration Levels of Ultrafine Particles in Different Microenvironments – Implications to Children Exposure”, *Science of the Total Environment*, Vol. 388, pp. 128-136, 2007.
8. Donaldson K., Brown D., Clouter A., Duffin R., Macnee W., Renwick L., Tran L., Stone V., “The Pulmonary Toxicology of Ultrafine Particles”, *Journal of Aerosol Medicine*, Vol. 15(2), pp. 213-220, 2002.
9. Grivas G., Chaloulakou A., Kassomenos P., “An Overview of the PM₁₀ Pollution Problem, in the Metropolitan Area of Athens, Greece. Assessment of Controlling Factors and Potential Impact of Long Range Transport”, *Science of the Total Environment*, Vol. 389(1), pp. 165-177, 2008.
10. Ibal-Mulli A., Wichmann H.-E., Kreyling W., Peters A., “Epidemiological Evidence of Health Effects on Ultrafine Particles”, *Journal of Aerosol Medicine*, Vol. 15(2), pp. 189-201, 2002.
11. Klepeis N.P., Tsang A.M., Bejar J.V., “Analysis of the National Human Activity Pattern Survey Respondents from a Standpoint of Exposure Assessment”, U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV, 1996.
12. Long C.M., Suh E.E., Koutrakis P., “Characterization of Indoor Particle Sources Using Continuous Mass and Size Monitors”, *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 50, pp. 1236-1250, 2000.

13. Mavroidis I., Chaloulakou A., “Characteristics and Expected Health Implications of Annual PM₁₀ Concentrations in Athens, Greece”, *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 41(1-2), pp. 124-139, 2010.
14. Nazaroff W.W., “Indoor Particle Dynamics”, *Indoor Air*, Vol. 14(Suppl.7), pp. 175-183, 2004.
15. Nazaroff W.W., Klepeis N.E., “Environmental Tobacco Smoke Particles”, *Indoor Environment: Airborne Particles and Settled Dust*, Morawska L., Salthammer T. Eds., pp. 245-274, 2004.
16. Paatero P., Aalto P., Picciotto S., Bellander T., Castano G., Cattani G., Cyrys J., Kulmala M., Lanki T., Nyberg F., Pekkanen J., Peters A., Sunyer J., Forastiere F., the HEAPSS Study Group, “Estimating Time-Series of Aerosol Particle Number Concentrations in the five HEAPSS Cities on the Basis of Measured Air Pollution and Meteorological Variables”, *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 2261-2273, 2005.
17. Pope C.A., Dockery D.W., “Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect”, *Journal of the Air and Waste Management Association*, Vol. 56, pp. 709-742, 2006.
18. Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D., “Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution”, *Journal of the American Medical Association*, Vol. 287(9), pp. 1132-1141, 2002.
19. Riley W.J., McKone T.E., Lai A.C., Nazaroff W.W., “Indoor Particulate Matter of Outdoor Origin: Importance of Size-Dependent Removal Mechanisms”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 37, pp. 200-207, 2002.