

ΕΛΕΓΧΟΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τμήμα ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
Τμήμα ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

480

Διαπανεπιστημιακό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Διπλωματική εργασία

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ Α. ΓΚΛΟΒΑΝΟΥ

«ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)
ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (PM10)
ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ.
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΥΠΟΟΜΑΔΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ»

Επιβλέπουσα:

ΔΡ. Α. ΧΑΛΟΥΛΑΚΟΥ

Επίκουρος Καθηγήτρια
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2003



00143206

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ.ΕΠ.	43206Α ΔΙ6*
ΔΩΔ.	25326
ΤΑΞΗ	363.73 ΓΚΛ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Στους γονείς μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά την περίοδο Ιουνίου 2002 – Ιανουαρίου 2003 υπό την επίβλεψη και διαρκή παρακολούθηση της Επικ. Καθηγήτριας του Ε.Μ.Π κ^ας Δρ. Α. Χαλουλάκου, στα πλαίσια του μεταπτυχιακού «Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος» του Πανεπιστημίου Πειραιώς και του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Προλογίζοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, δράττομαι της ευκαιρίας να απευθύνω τις ευχαριστίες μου σε εκείνους οι οποίοι συντέλεσαν στην επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ καταρχήν την Επίκουρο Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. κ^α Δρ. Α. Χαλουλάκου για την ανάθεση του θέματος, το αμείωτο ενδιαφέρον της και την υπομονή της καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Η εμπειρία και η διαρκής προθυμία της, με βοήθησαν πρακτικά και ηθικά.

Ευχαριστώ επίσης την υποψήφια διδάκτωρ του τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Ευαγγελία Διαπούλη, για την πολύτιμη συνδρομή της κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων και τη συζήτηση των αποτελεσμάτων.

Τέλος, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε συμφοιτητές και φίλους που μου συμπαραστάθηκαν ηθικά, καθώς και στους γονείς μου για την ανεκτίμητη και πολύπλευρη βοήθεια και συμπαράσταση που μου παρείχαν.

ΣΥΝΟΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μέτρηση της αέριας ρύπανσης από μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και αιωρούμενα σωματίδια PM10 σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, η στατιστική επεξεργασία των χρονοσειρών των συγκεντρώσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε εσωτερικούς χώρους κτιρίων (σχολεία, χώροι διασκέδασης και υπόγεια πάρκινγκ), σε εξωτερικούς χώρους σε κίνηση (με αυτοκίνητο και με τα πόδια) και σε εξωτερικούς χώρους σε άμεση γειτνίαση με το εσωτερικό κτιρίων.

Οι δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν καλύπτουν το διάστημα από Ιούνιο 2002 έως Ιανουάριο 2003. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων CO και αιωρούμενων σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν φορητοί ηλεκτροχημικοί δειγματολήπτες για το CO και φορητοί δειγματολήπτες συνεχούς καταγραφής για τα PM10. Επιχειρήθηκε επίσης μια πρώτη καταγραφή του αριθμού, αντί της μάζας των υπερλεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{uf}) σε χώρους έκθεσης υποομάδων πληθυσμού.

Από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων προέκυψε ότι:

➤ Οι μέγιστες μέσες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό των σχολικών αιθουσών ήταν $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM10 και 89.220 σωματίδια PM_{uf} ανά cm^3 . Οι τιμές αυτές καταγράφηκαν σε σχολείο της περιοχής της Νίκαιας και του Παγκρατίου αντίστοιχα.

➤ Οι συγκεντρώσεις CO στους χώρους διασκέδασης εξαρτώνται άμεσα από τον όγκο και τον τρόπο εξαερισμού τους, καθώς και από τον αριθμό των καπνιστών μέσα σε αυτούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις καταγράφηκαν μέσες 5-λεπτες

συγκεντρώσεις CO έως και 21 ppm. Στις δε καφετέριες/καφενεία, οι αντίστοιχες μέγιστες συγκεντρώσεις είναι 13,2 ppm CO και 2.600 μg PM10 ανά m^3 .

➤ Οι συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν σε υπόγειους χώρους στάθμευσης κυμαίνονται σε επικίνδυνα υψηλά επίπεδα για την υγεία των εργαζομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι μέσες 5-λεπτες συγκεντρώσεις υπερβαίνουν τα 113 ppm CO, τα 460 μg PM10 ανά m^3 και τα 222.400 PM_{uf} ανά cm^3 .

➤ Οι συγκεντρώσεις CO και αιωρούμενων σωματιδίων στις εξωτερικές μετρήσεις παρουσιάζονται αυξημένες κάτω από ειδικές συνθήκες όπως: σταματημένα οχήματα σε φωτεινούς σηματοδότες, κυκλοφοριακή συμφόρηση (μποτιλιαρίσματα), επιχωματικές εργασίες, κυκλοφορία οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας κ.λ.π. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν κατά τα χρονικά διαστήματα με μεγάλη κυκλοφοριακή αιχμή (07.00 – 08.30). Οι συγκεντρώσεις αυτές παρατηρήθηκαν στη λεωφόρο Κηφισίας (στο ύψος του Νέου Ψυχικού 45,3 ppm CO), στην περιοχή του Σκαραμαγκά (610 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αιωρούμενα σωματίδια PM10) και στην περιοχή της Νίκαιας (326.000 αιωρούμενα σωματίδια PM_{uf} ανά cm^3).

➤ Οι ημερήσιοι κύκλοι των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στις εξωτερικές μετρήσεις κτιρίων παρουσιάζουν παρόμοια διακυμάνση για τις ημέρες των εβδομάδων και τα Σαββατοκύριακα κατά το χρονικό διάστημα 03.00 – 17.00. Ωστόσο, ενώ τις καθημερινές οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων καταγράφονται κατά τις πρωινές ώρες αιχμής (μέγιστη μέση ωριαία συγκέντρωση 185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 08.00 π.μ.) τα Σαββατοκύριακα οι μέγιστες τιμές καταγράφονται κατά τις βραδινές ώρες ψυχαγωγίας (μέγιστη μέση ωριαία συγκέντρωση 378 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 20.00 μ.μ.) στην ίδια τοποθεσία.

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ	Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων
ΕΟΠ	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
ΠΕΡΠΙΑ	Πρόγραμμα Ελέγχου Ρύπανσης Περιοχής Αθηνών
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
ACS	American Cancer Society (Αμερικανική Αντικαρκινική Εταιρεία)
ΕΕΑ	European Environment Agency (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος – ΕΟΠ)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NRDC	National Resources Defence Council
OSHA	Occupational Safety and Health Administrator
PEL	Permissible Exposure Limits (Επιτρεπόμενη τιμή έκθεσης)
PM₁₀	Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως 10 μm
PM_{uf}	Υπερλεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια (Ultrafine) διαμέτρου έως 1 μm
TLV	Threshold Limit Value (Οριακή τιμή κατωφλιού)
US EPA	United States Environmental Protection Agency (Αμερικανικός Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος)
US-NAAQS	United States National Ambient Air Quality Standards (Αμερικανικά Εθνικά Πρότυπα Ποιότητας Αέρα)
WHO	World Health Organisation (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας – ΠΟΥ)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Σχήμα 1: Επιμέρους συμβολή των εξωτερικών πηγών στις συνολικές εκπομπές CO	17
Σχήμα 2: Ποσοστό αέριων ρύπων που εκπέμπονται από τα μέσα μεταφοράς. Το ραβδόγραμμα βασίζεται σε δεδομένα που καταγράφηκαν το έτος 1994 σε 28 κράτη της Ευρώπης	19
Σχήμα 3: Καύση βιομάζας σε θερμάστρα: Διεργασία δύο σταδίων	21
Σχήμα 4: Μεταβολή του πληθυσμού, των διανυόμενων αποστάσεων, του εθνικού ακαθάριστου προϊόντος και των συνολικών εκπομπών στις Η.Π.Α. μεταξύ 1970-2000	30
Σχήμα 5: Ποσοστό μεταβολής στην ποιότητα του αέρα και των εκπομπών συγκεντρώσεων ρύπων στην ατμόσφαιρα των Η.Π.Α.	31
Σχήμα 6: Τάση μεταβολής των εκπομπών CO στις Η.Π.Α. κατά τα έτη 1981-2000	32
Σχήμα 7: Σύγκριση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ετών 1970-2000	32
Σχήμα 8: Αριθμός ανθρώπων που ζουν σε περιοχές όπου τα επίπεδα των ρύπων υπερβαίνουν τα εθνικά πρότυπα ποιότητας NAAQS το 2000	33
Σχήμα 9: Σχηματική αναπαράσταση του ισοζυγίου μάζας σύμφωνα με το μοντέλου ενός χώρου	84
Σχήμα 10: Διεσδυτικότητα των σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό	105
Σχήμα 11: Σημείο δειγματοληψίας – σχολείο περιοχής Παγκρατίου	138
Σχήμα 12: Σημείο δειγματοληψίας – σχολείο περιοχής Νίκαιας	139
Σχήμα 13: Σημείο δειγματοληψίας – Μπαρ στην περιοχή της Κυψέλης	140

Σχήμα 14: Σημείο δειγματοληψίας – καφετέρια στην περιοχή του Νέου Ψυχικού	141
Σχήμα 15: Σημείο δειγματοληψίας – υπόγειο πάρκινγκ στην οδό Ιπποκράτους	142
Σχήμα 16: Σημείο δειγματοληψίας – υπόγειο πάρκινγκ στην οδό Σκουφά	143
Σχήμα 17: Σημείο δειγματοληψίας – έξω από σχολείο στην περιοχή Νέου Ηρακλείου	147
Σχήμα 18: Σημείο δειγματοληψίας – μπαλκόνι επί της λεωφόρου Πεντέλης στην περιοχή Χαλανδρίου	148
Σχήμα 19: Σημείο δειγματοληψίας – μπαλκόνι στην οδό Αριστοτέλους 17 (Υπουργείο Υγείας Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων)	149
Σχήμα 20: Όργανο μέτρησης Solomat MP SURVEYOR PRO	154
Σχήμα 21: Όργανο μέτρησης CO (ppm) Neotox Mk5	157
Σχήμα 22: Όργανο μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) DustTrak Aerosol Monitor	159
Σχήμα 23: Σχηματική απεικόνιση του εσωτερικού του οργάνου CPC	161
Σχήμα 24: Όργανο μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων Condensation Particle Counter (CPC)	162
Σχήμα 25: Το πίσω μέρος του οργάνου Condensation Particle Counter (CPC)	164
Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές των επιπέδων συγκέντρωσης του CO σε χαρακτηριστικούς χώρους δραστηριοτήτων	27
Πίνακας 2: Γενικότερη κατάταξη των επιπτώσεων CO στην ανθρώπινη υγεία ανάλογα με τα επίπεδα της COHb στο αίμα	55
Πίνακας 3: Κατάταξη των συμπτωμάτων έκθεσης ανάλογα με τα επίπεδα CO	57

στον ατμοσφαιρικό αέρα, στο αίμα και τη διάρκεια έκθεσης

Πίνακας 4: Προτεινόμενα όρια έκθεσης του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO's guidelines) για το CO	77
Πίνακας 5: Ισχύοντα οριακά επίπεδα έκθεσης για το CO	78
Πίνακας 6: Πληθυσμιακές υποομάδες ανάλογα με το είδος των δραστηριοτήτων τους	89
Πίνακας 7: Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά	112
Πίνακας 8: Προτεινόμενες τιμές κατά Ε.Ε., 1983	128
Πίνακας 9: Οριακές τιμές για τα σωματίδια (PM10) κατά Ε.Ε.	130
Πίνακας 10: Πρότυπα ποιότητας για αιωρούμενα σωματίδια κατά ΕΡΑ	134
Πίνακας 12: Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων παιδιού	225
Πίνακας 13: Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων ενήλικα/εργαζόμενου	226

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	II
ΣΥΝΟΨΗ	III
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ	V
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ	VI
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
I. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)	6
II. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	8
I. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO).....	12
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	12
1.2 ΕΠΙΠΕΔΑ CO ΣΤΗ ΓΗΙΝΗ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ	13
1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	15
1.4 ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	17
<i>1.4.1 Εξωτερικές πηγές</i>	<i>18</i>
<i>A. Μηχανοκίνητα μέσα.....</i>	<i>18</i>
<i>B. Βιομηχανικές δραστηριότητες και μονάδες διαχείρισης στερεών αποβλήτων</i>	<i>20</i>
.....
<i>1.4.2 Πηγές εσωτερικού χώρου</i>	<i>20</i>
<i>A. Οικιακές συσκευές καύσης.....</i>	<i>20</i>
<i>B. Η εξάτμιση του αυτοκινήτου στο εσωτερικό γκαράζ κατοικιών.....</i>	<i>23</i>
<i>Γ. Κόπνισμα.....</i>	<i>25</i>

1.5 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ CO	28
1.5.1 Αντιμετώπιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από CO	28
I. Η.Π.Α.....	28
II. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ	34
III. ΑΘΗΝΑ	36
1.5.2 Αντιμετώπιση CO στους εσωτερικούς χώρους	38
2. ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ CO	48
2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	48
2.1.1 Εισαγωγή	48
2.1.2 Τα συμπτώματα της έκθεσης στο CO	49
2.1.3 Ομάδες υψηλού κινδύνου	58
2.1.4 Επικινδυνότητα του CO	62
2.2 ΑΛΛΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	65
2.2.1 Επιπτώσεις στα ζώα ¹⁷	65
2.2.2 Επιπτώσεις στη χημική σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας και στις κλιματολογικές μεταβολές	66
3. ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥ CO	70
3.1 ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΘΙΕΡΩΣΗΣ ΟΡΙΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ CO	70
3.1.1 Τα πρότυπα όρια έκθεσης (Standard Concentration)	71
3.1.2 Τα προτεινόμενα όρια έκθεσης (Guidelines)	72
3.2 ΙΣΧΥΟΝΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ CO	73
3.2.1 Πρότυπα Ποιότητας κατά EPA	73
3.2.2 Όρια έκθεσης για τους εργαζομένους κατά OSHA, NIOSH και ACGIH. 74	
3.2.3 Προτεινόμενα Όρια Έκθεσης του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας WHO's guidelines)	76
4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΟ CO	79
4.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	81
4.1.1 Εισαγωγή	81

4.1.1	Εισαγωγή	81
4.1.2	Μοντέλα Ενός Χώρου (One Compartment Model: OCM)	82
4.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	85
4.2.1	Αντιπροσωπευτικά μικρο-περιβάλλοντα	85
4.2.2	Αντιπροσωπευτικές υποομάδες του πληθυσμού	86
4.2.3	Προγράμματα δραστηριοτήτων	90
5.	ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	91
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ^{65, 78}	91
5.2	ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	92
5.2.1	Εισαγωγή ^{72, 74, 89, 86}	92
5.2.2	Ανθρωπογενείς πηγές	93
5.2.3	Φυσικές πηγές	96
5.3	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	98
5.3.1	Ταξινόμηση με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού ^{78, 79}	99
5.3.2	Ταξινόμηση με κριτήριο το μέγεθος ^{65, 72, 93}	101
5.3.3	Ταξινόμηση με κριτήριο την διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό	105
5.4	ΣΧΕΣΗ ΠΗΓΗΣ - ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	108
5.5	ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ^{65, 68, 72, 86}	109
5.6	ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ⁹⁵	112
5.7	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΟΣΜΟ ⁸⁶	113
6.	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	115
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	115
6.2	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ^{74, 76, 81, 83}	115
6.3	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ^{65, 75, 76, 83}	117
6.4	ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ^{71, 73, 74, 82, 84, 92, 94}	120
6.5	Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΘΥΓΑΤΡΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΟ	126
6.6	ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ US-EPA ^{72, 73, 74}	130

7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	135
7.1 Η ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	135
7.1.1 Εσωτερικές μετρήσεις.....	135
I) Σχολεία.....	136
II) Χώροι διασκέδασης (καφτέρια/μπαρ).....	139
III) Υπόγειο πάρκινγκ (garage).....	141
7.1.2 Εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση	144
I) Διαδρομές με αυτοκίνητο.....	144
II) Διαδρομές με τα πόδια.....	145
7.1.3 Εξωτερικές μετρήσεις σταθερές	147
7.1.4 Κριτήρια επιλογής και πλεονεκτήματα του χώρου δειγματοληψίας	149
7.2 ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ.....	153
7.2.1 Όργανο μέτρησης Solomat MP SURVEYOR PRO.....	153
7.2.2 Όργανο μέτρησης Neotox Mk5.....	155
7.2.3 Όργανο μέτρησης DustTrak Aerosol Monitor 8520.....	158
7.2.4 Όργανο μέτρησης Condensation Particle Counter (CPC) 3007.....	160
7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	164
7.3.1 Προετοιμασία των οργάνων.....	164
7.3.2 Μεθοδολογία μετρήσεων	166
7.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	167
7.4.1 Εσωτερικές μετρήσεις.....	167
I) Σχολεία.....	167
II) Χώροι διασκέδασης.....	177
III) Υπόγεια πάρκινγκ (garage)	182
7.4.2 Εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση	188
I) Διαδρομές με αυτοκίνητο.....	188
II) Διαδρομές με τα πόδια.....	201
7.4.3 Εξωτερικές μετρήσεις σταθερές	208
I. Χειμώνας.....	208
II. Καλοκαίρι	213
III. Φθινόπωρο	217

7.5 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM10)	221
7.5.1 Επιλογή αντιπροσωπευτικών υποομάδων του πληθυσμού	221
7.5.2 Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων	222
7.5.3 Ποσοστό συμβολής του κάθε μικρο-περιβάλλοντος στην συνολική ημερήσια ατομική έκθεση	227
7.5.4 Αποτελέσματα και σχολιασμός	228
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	230
9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	234
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ	237

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

I. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένας τοξικός αέριος ρύπος, άχρωμος, άοσμος και άγευστος. Ανήκει στην κατηγορία των χημικών ασφυξιογόνων αερίων και είναι δύσκολα ανιχνεύσιμο. Η επικινδυνότητά του συνίσταται στην ύπουλη διείσδυσή του στον ανθρώπινο οργανισμό διαμέσου της αναπνευστικής οδού, στην χημική του σύνδεση με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και στην κατ' επέκταση παρεμπόδιση της μεταφοράς του οξυγόνου στους ιστούς του σώματος. Η προσβολή του ανθρώπινου οργανισμού από τον ρύπο αυτό συνεπάγεται τη διατάραξη του κεντρικού νευρικού συστήματος. Η ένταση των συμπτωμάτων, τόσο των βραχυπρόθεσμων όσο και των μακροπρόθεσμων, ποικίλει ανάλογα με τα επίπεδα και τη διάρκεια της έκθεσης. Η οξεία και μικρής διάρκειας έκθεση μπορεί να αποβεί θανατηφόρα, ενώ η ήπια και εκτεταμένης διάρκειας έκθεση μπορεί να προκαλέσει μακροπρόθεσμα χρόνιες παθήσεις του νευρικού συστήματος.

Ως το κυριότερο προϊόν οποιασδήποτε ατελούς καύσης, το CO εκπέμπεται σε σημαντικές ποσότητες στην εξωτερική ατμόσφαιρα και στους εσωτερικούς χώρους. Συνεπώς, δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι συνιστά το βασικό συστατικό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η καθημερινή εκπομπή του στην ατμόσφαιρα σε μεγάλες ποσότητες, σε συνδυασμό με την προαναφερθείσα υψηλή επικινδυνότητα, ήταν οι κυριότεροι λόγοι για την κατάταξή του στην ομάδα των έξι ρύπων - κριτήρια. Για τον λόγο αυτό άλλωστε, η επιστημονική κοινότητα επικέντρωσε τις τελευταίες δεκαετίες το ενδιαφέρον της στην μείωση των εκπομπών του CO τόσο στην εξωτερική ατμόσφαιρα όσο και στους εσωτερικούς χώρους και στη θέσπιση πρότυπων ορίων έκθεσης για την

μεγάλο ποσοστό του 24-ώρου του. Τέλος το υπόγειο πάρκινγκ (garage) επιλέχθηκε ως ένας τυπικός εργασιακός χώρος, με αναμενόμενες υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Πρόκειται για το εργασιακό περιβάλλον ενός μεγάλου αριθμού ατόμων, το οποίο επισκέπτεται καθημερινά ένας μεγάλος αριθμός πολιτών. Επιπλέον, η μελέτη των υπόγειων πάρκινγκ παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω του ότι ο αριθμός των δημοσιεύσεων έως τώρα σχετικά με αποτελέσματα μετρήσεων των ρύπων σε υπόγειο πάρκινγκ στον ελλαδικό χώρο είναι περιορισμένος. Στην κατηγορία των εξωτερικών μετρήσεων σε κίνηση, ανήκουν οι μετρήσεις εκείνες που έγιναν μέσα από κινούμενο αυτοκίνητο (διαδρομές με αυτοκίνητο) σε διάφορες περιοχές της Αθήνας, καθώς και εκείνες που έγιναν κατά την πεζοπορία (διαδρομές με τα πόδια) σε δρόμους της Αθήνας.

Η γνώση των επιπέδων CO που διαμορφώνονται στους παραπάνω χώρους διεξαγωγής μετρήσεων, αποτελεί τη βάση για την εκτίμηση του κινδύνου στον οποίο εκτίθεται η υγεία των εμπλεκόμενων πληθυσμιακών υποομάδων. Επιπλέον, ο προσδιορισμός των παραγόντων που επιδρούν στη διαμόρφωση των επιπέδων αυτών και η κατανόηση του μηχανισμού δράσης τους, αποτελεί την προϋπόθεση για τη λήψη μέτρων περιορισμού της ρύπανσης και προστασίας της υγείας των πολιτών.

II. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους χαρακτηριστικούς αέριους ρύπους της εποχής μας. Πρωτοαπασχόλησαν την οργανωμένη κοινωνία με την μορφή του καπνού της αιθάλης, ήδη από τον 14^ο αιώνα στην Αγγλία. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οι έρευνες που σχετίζονταν με τα αιωρούμενα σωματίδια εντατικοποιήθηκαν και πολλαπλασιάστηκαν, ιδιαίτερα στις βιομηχανικές χώρες (π.χ.

Η.Π.Α., Αγγλία). Οι πρώτοι αξιόλογοι δειγματολήπτες αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίστηκαν την δεκαετία του '50. Οι δειγματολήπτες αυτοί μετρούσαν το σύνολο των αιωρούμενων σωματιδίων και πάνω σε αυτούς βασίστηκε η τεχνολογική εξέλιξη που οδήγησε στους σημερινούς δειγματολήπτες.

Στην πορεία των ερευνών τα αιωρούμενα σωματίδια ομαδοποιήθηκαν κατάλληλα σε επιμέρους κλάσματα, με διάφορα κριτήρια (μέγεθος, σύσταση, τρόπο σχηματισμού, φυσικές / χημικές ιδιότητες κ.λ.π.). Το συνηθέστερο και ευρύτερα χρησιμοποιούμενο κριτήριο ομαδοποίησης, ωστόσο, είναι το μέγεθός τους.

Τα κράτη θεσπίζουν για τα αιωρούμενα σωματίδια πρότυπες οριακές τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας με σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος. Τα σωματίδια που μπορούν να αιωρηθούν στην ατμόσφαιρα για σημαντικό χρονικό διάστημα, μπορούν να έχουν μέγεθος έως 100 μm .

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες οι έρευνες ξεχώρισαν ένα κλάσμα από αυτά τα σωματίδια, ως το πιο επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Τα PM10, όπως καλούνται, είναι αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος έως 10 μm . Αποτελούν εκείνο το κλάσμα των σωματιδίων που απεδείχθη ότι κατά κύριο λόγο εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και για το λόγο αυτό καλούνται εισπνεύσιμα.

Η μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα της Αθήνας (και της Ελλάδας γενικότερα), παρέχει μια σειρά από δυνατότητες αξιοποίησής τους. Οι δυνατές χρήσεις δεδομένων σε αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζονται συνοπτικά ως ακολούθως:

1. Προστασία της δημόσιας υγείας

- Δείκτες αέριας ρύπανσης
- Καταγραφή της έκθεσης του πληθυσμού

- Θέσπιση /αναθεώρηση οριακών τιμών
2. Εκτίμηση της ποιότητας του αέρα
- Εξασφάλιση προόδου στην επίτευξη/διατήρηση των εθνικών προτύπων
3. Αξιολόγηση/δημιουργία σχεδίων ελέγχου της αέριας ρύπανσης
- Αποτίμηση/δημιουργία/αναθεώρηση τοπικών στρατηγικών ελέγχου κατά περιοχή
4. Ανάπτυξη και έλεγχος μοντέλων
- Επαλήθευση και βελτίωση μοντέλων
 - Αποτίμηση της αντιπροσωπευτικότητας των δικτύων παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης για επανασχεδιασμό ή/και επέκταση
5. Έρευνα
- Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε ανθρώπους, φυτά, ζώα και περιβάλλον
 - Μελέτη των πηγών, της μεταφοράς, των μετατροπών και της συμπεριφοράς των αιωρούμενων σωματιδίων από ανθρωπογενείς ή φυσικές εκπομπές
 - Ανάπτυξη και πιστοποίηση νέων οργάνων

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους, μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους (εν κινήσει) και σταθερές μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους. Οι λόγοι επιλογής των δύο πρώτων κατηγοριών είναι αυτοί που έχουν ήδη αναφερθεί για την περίπτωση των μετρήσεων CO στην προηγούμενη παράγραφο («Εισαγωγή - Μονοξείδιο του άνθρακα»). Κατά τις σταθερές εξωτερικές μετρήσεις οι δειγματολήπτες

λειτουργήσαν σε 24ωρη βάση με αποτέλεσμα την εξαγωγή χρήσιμων και εκμεταλλεύσιμων αποτελεσμάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το μονάκι με τον κωδικό Π.Ο. παραγγέλθηκε από την ομάδα αυτή σύμφωνα με αίτηση. Ευχαριστώ για την πρόκληση αυτή. Δεν είναι δυνατό να αφαιρεθεί όλη η εργασία και κατά συνέπεια η ομάδα που έλαβε την αποστολή δεν πρέπει να αναζητήσει άλλους. Η ομάδα που έλαβε την αποστολή είναι η ομάδα που έλαβε την αποστολή και στην κοινή προσπάθεια με σκοπό την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί και τους οποίους οι ενδιαφερόμενοι ομαδικοί μέλη πρέπει να τηρήσουν. Είναι σημαντικό ότι η φύση και ο αριθμός των εργασιών που πρέπει να γίνουν από κάποιους και τις εκπτώσεις που πρέπει να γίνουν από κάποιους άλλους. Για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν διαδοχικές εργασίες.

Το Ο.Ο. παραγγέλθηκε από τον κωδικό Π.Ο. παραγγέλθηκε.

Η ομάδα που έλαβε την αποστολή είναι η ομάδα που έλαβε την αποστολή και στην κοινή προσπάθεια με σκοπό την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί και τους οποίους οι ενδιαφερόμενοι ομαδικοί μέλη πρέπει να τηρήσουν.

Είναι σημαντικό ότι η φύση και ο αριθμός των εργασιών που πρέπει να γίνουν από κάποιους και τις εκπτώσεις που πρέπει να γίνουν από κάποιους άλλους. Για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν διαδοχικές εργασίες.

Το Ο.Ο. παραγγέλθηκε από τον κωδικό Π.Ο. παραγγέλθηκε.

Η ομάδα που έλαβε την αποστολή είναι η ομάδα που έλαβε την αποστολή και στην κοινή προσπάθεια με σκοπό την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί και τους οποίους οι ενδιαφερόμενοι ομαδικοί μέλη πρέπει να τηρήσουν.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

1. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) παράγεται κατά την ατελή καύση καυσίμων πλούσιων σε άνθρακα. Πρόκειται για έναν τοξικό αέριο ρύπο, ένα αέριο δηλητηριώδες, άχρωμο, άοσμο, άγευστο και κατά συνέπεια δύσκολα ανιχνεύσιμο. Ανήκει στην κατηγορία των χημικών ασφυξιογόνων αερίων. Η δηλητηριώδης δράση του συνίσταται στην ύπουλη είσοδό του στο αίμα και στην ικανότητά του να παρεμποδίζει τη μεταφορά του οξυγόνου στα όργανα και τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος. Είναι προφανές ότι η φύση του αερίου αυτού ρύπου, σε συνδυασμό με τις χημικές του ιδιότητες και τις επιπτώσεις που επιφέρει στην ανθρώπινη υγεία, το καθιστούν ιδιαίτερα επικίνδυνο. Για το λόγο αυτό επιλέγεται και ως το αντικείμενο μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Το CO συναντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις κυρίως:

- Κοντά σε κεντρικές αρτηρίες μεγάλης κυκλοφορίας, καθότι εκπέμπεται από την εξάτμιση κάθε μηχανοκίνητου οχήματος,
- Σε εσωτερικούς χώρους όπου λειτουργούν οικιακές συσκευές καύσης ή υπάρχουν καπνιστές.

Η καταγραφή των συγκεντρώσεών του στο εξωτερικό περιβάλλον δυσχεραίνεται λόγω του ότι ο ρύπος αυτός χαρακτηρίζεται από μεγάλη χρονική και χωρική διαφοροποίηση.

1.2 ΕΠΙΠΕΔΑ CO ΣΤΗ ΓΗΙΝΗ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας '80 τα παγκόσμια επίπεδα CO παρουσίασαν ετήσια αύξηση της τάξης του 0,8 – 2 %, κυρίως στο βόρειο ημισφαίριο. Προσφάτως όμως, τα επίπεδα CO τόσο στο νότιο όσο και στο βόρειο ημισφαίριο ελαττώθηκαν με ρυθμό ταχύτερο του ρυθμού αύξησης που παρουσίασαν κατά τη δεκαετία του '80. Από το 1988 έως το 1992, τα παγκόσμια επίπεδα CO μειώθηκαν ετησίως κατά 2,6 %. Οι υψηλότεροι ρυθμοί ελάττωσης παρατηρήθηκαν από το τέλος του έτους 1991 και καταγράφηκαν κατά κύριο λόγο στο νότιο ημισφαίριο. Ειδικότερα, σύμφωνα με τις πιο πρόσφατα βιβλιογραφικά αναφερόμενες μετρήσεις (1990-1993), ο παρατηρούμενος ρυθμός μείωσης των επιπέδων CO ήταν της τάξης του 6,1% στο βόρειο ημισφαίριο και 6,9% στο νότιο ημισφαίριο.¹

Η παρατηρούμενη μείωση αποδόθηκε στην ελάττωση των εκπομπών CO, σε συνδυασμό με την παράλληλη αύξηση του ρυθμού κατανάλωσής του στην ατμόσφαιρα, λόγω οξείδωσής του από τις ρίζες υδροξυλίου (OH). Αναλυτικότερα, οι αιτίες της παρατηρούμενης ελάττωσης CO είναι^{1,4}:

- Ο περιορισμός των εκπομπών CO κατά την χρήση φυσικών καυσίμων. Το γεγονός αυτό ήταν αποτέλεσμα της λήψης αυστηρότερων και αποτελεσματικότερων μέτρων ελέγχου των εκπομπών τόσο των οχημάτων όσο και των βιομηχανιών (Η.Π.Α., Ευρώπη, Ιαπωνία).
- Η μείωση των εκπομπών των διεργασιών καύσης στην πρώην Σοβιετική Ένωση και στην ανατολική Ευρώπη λόγω οικονομικής παρακμής.
- Η ελάττωση της καύσης της βιομάζας στις τροπικές χώρες του νοτίου ημισφαιρίου.

- Η αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης του ατμοσφαιρικού CO, λόγω της οξειδωσής του από τις ρίζες OH. Εκτιμάται ότι η συγκέντρωση των ριζών OH παρουσίαζε κατά τα έτη 1991 – 1993 ετήσια αύξηση της τάξης του 1 – 2 %. Στο γεγονός αυτό πιθανότατα συνέβαλε και η έκρηξη του ηφαιστείου Mt. Pinatubo στις Φιλιππίνες τον Ιούνιο του 1991.

Αξίζει να τονιστεί ότι η ακριβής εκτίμηση των μακροπρόθεσμων τάσεων μεταβολής του CO στην γήινη τροπόσφαιρα καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της μεγάλης εποχιακής και κατά γεωγραφικό πλάτος διακύμανσής του. Για τον λόγο αυτό απαιτείται συνεχής καταγραφή του ρύπου, σε περισσότερες τοποθεσίες και για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.⁴

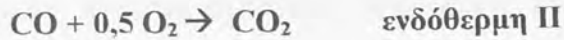
Η έως τώρα υπάρχουσα εκτίμηση για τον μέσο χρόνο ζωής του CO στη γήινη ατμόσφαιρα κυμαίνεται μεταξύ 0,1 – 0,4 έτη. Όπως επιβεβαιώνεται από τους ερευνητές Khalil και Rasmussen, ο χρόνος ζωής του ρύπου εμφανίζει τεράστια διακύμανση ανάλογα με την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Αναλυτικότερα, κατά τους χειμερινούς μήνες και σε μεγάλα ή μεσαία γεωγραφικά πλάτη, ο χρόνος ζωής του CO υπερβαίνει το ένα έτος, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη ο χρόνος ζωής προσεγγίζει τη μέση παγκόσμια τιμή των 0,2 ετών. Σύμφωνα με τους μελετητές Stevens et al., ο χρόνος παραμονής του CO στο βόρειο ημισφαίριο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι λιγότερο του 0,1 έτος. Είναι προφανές ότι το γεγονός αυτό αντανακλά στον εποχιακό κύκλο των ριζών OH και την διακύμανσή τους ανά γεωγραφικό πλάτος.⁴

1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Το CO παράγεται με φυσικό τρόπο, δηλαδή εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ως προϊόν φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στους ωκεανούς, στο έδαφος και στα φυτά, ως προϊόν της καύσης των δασών καθώς και ως προϊόν της οξείδωσης του μεθανίου και άλλων υδρογονανθράκων της ατμόσφαιρας. Επιπρόσθετα, το CO παράγεται ανθρωπογενώς ως προϊόν καύσης των φυσικών καυσίμων, ποικίλων βιομηχανικών δραστηριοτήτων, της καύσης της βιομάζας και της αποτέφρωσης απορριμμάτων. Σύμφωνα με σχετικές εκτιμήσεις, οι ανθρωπογενείς εκπομπές CO είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτές των φυσικών πηγών και σταδιακά αυξάνονται. Το γεγονός αυτό έχει έως τώρα επιφέρει διπλασιασμό της συγκέντρωσης CO στην γήινη ατμόσφαιρα σε σχέση με τα επίπεδα του ρύπου κατά την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στις ανθρωπογενείς πηγές CO, καθώς αυτές αποτέλεσαν εξ αρχής την αιτία διατάραξης της φυσικής ισορροπίας και της υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα.

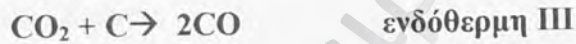
Το μονοξείδιο του άνθρακα αποτελεί έναν αέριο ρύπο που εκπέμπεται κατά την ατελή καύση αερίων πλούσιων σε άνθρακα. Παράγεται δηλαδή όταν ο παρεχόμενος για την καύση αέρας είναι λιγότερος από τον απαιτούμενο κατά την στοιχειομετρική αναλογία ($\mu < 1$, όπου μ ο λόγος περίσσειας αέρα, μ : πραγματικά παρεχόμενος αέρας / στοιχειομετρικά απαιτούμενος αέρας). Η παραγωγή CO πραγματοποιείται μέσω δύο διαφορετικών δρόμων²:

A. Κατά την επαφή των υδρογονανθράκων με το οξυγόνο, το CO σχηματίζεται μέσω μιας ταχύτατης χημικής αντίδρασης (αντίδραση I). Η ακόλουθη αντίδραση της μετατροπής του CO σε CO₂ (αντίδραση II) είναι βραδεία και απαιτεί για την ολοκλήρωσή της μεγάλο χρόνο παραμονής.



Οι παραπάνω αντιδράσεις πραγματοποιούνται στην πρώτη ζώνη της καύσης.

B. Στην συνέχεια της καύσης, μετά την πρώτη αντίδραση, αναπτύσσονται συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, με αποτέλεσμα το CO_2 να αρχίσει να μετατρέπεται σε CO κατά την αντίδραση Boudouar ως εξής:



Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται στο πρώτο στρώμα άκαυστου καυσίμου που έρχεται σε επαφή με τη φλόγα. Πρόκειται για μια ενδόθερμη αντίδραση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τα καυσαέρια που παράγονται στην πρώτη ζώνη, να ψύχονται σταδιακά κατά την εξέλιξη της καύσης. Η πτώση όμως της θερμοκρασίας επιφέρει και μείωση της ταχύτητας της αντίδρασης σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αποτέλεσμα είναι η συγκέντρωση του CO να σταθεροποιηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες της τάξης των $600 - 700^\circ\text{C}$.

Επομένως, όταν η καύση πραγματοποιείται υπό κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και συγκέντρωσης οξυγόνου, τα καυσαέρια που παράγονται στην πρώτη ζώνη καύσης και τα οποία περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 , είναι δυνατό να σταθεροποιηθούν ποσοτικά, καθώς από περιοχές άκαυστου καυσίμου. Συνεπώς, η εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών καύσης αποτελεί ένα βασικό μέτρο περιορισμού των εκπομπών CO .²

1.4 ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

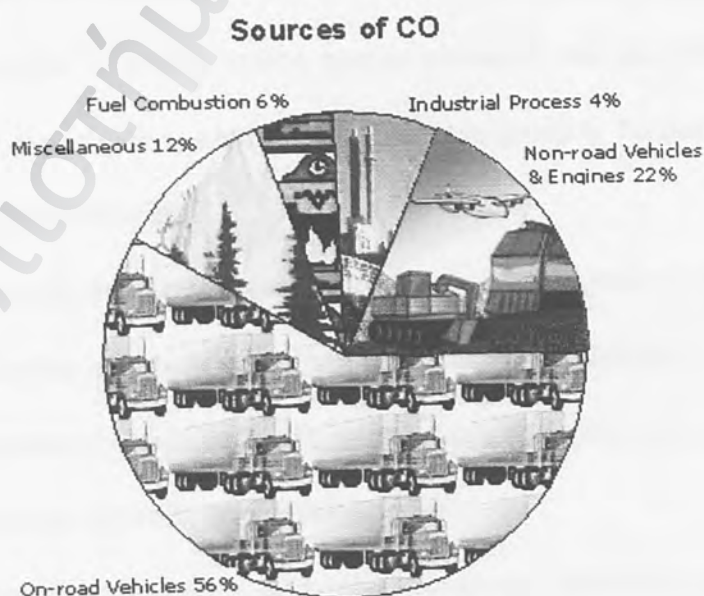
Το CO αποτελεί ένα από τα συστατικά της αέριας ρύπανσης τόσο της εξωτερικής ατμόσφαιρας (outdoor) όσο και των εσωτερικών χώρων (indoor). Οι πηγές εκπομπής του, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται και λειτουργούν, μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

Εξωτερικές πηγές:

- Μηχανοκίνητα μέσα
- Βιομηχανικές δραστηριότητες και Μονάδες Διαχείρισης Αποβλήτων

Πηγές εσωτερικών χώρων:

- Οικιακές συσκευές
- Εξάτμιση εν λειτουργία αυτοκινήτου σε κλειστό χώρο
- Κάπνισμα



Σχήμα 1: Επιμέρους συμβολή των εξωτερικών πηγών στις συνολικές εκπομπές CO⁶

1.4.1 Εξωτερικές πηγές

A. Μηχανοκίνητα μέσα

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλα τα μεταφορικά μέσα, τα οποία χρησιμοποιούν για την κίνησή τους καύσιμες ύλες: ιδιωτικά αυτοκίνητα, ταξί, λεωφορεία, φορτηγά κλπ.



Τα μέσα μεταφοράς αποτελούν την κυριότερη πηγή εκπομπής του CO στην ατμόσφαιρα (σχήμα 1). Στις ΗΠΑ, για παράδειγμα, τα μεταφορικά μέσα ευθύνονται για το 78% των συνολικών εκπομπών CO σε ολόκληρη τη χώρα. Στις αστικές περιοχές όπου το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι πολύ διαδεδομένο, η συμβολή των οχημάτων στα επίπεδα CO υπερβαίνει το 95%.⁶

Το CO, ως προϊόν της ατελούς καύσης των καυσίμων, εκπέμπεται άμεσα από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Η ατελής καύση πραγματοποιείται υπό τις συνθήκες κατά τις οποίες η αναλογία του μίγματος αέρα – καυσίμου είναι χαμηλή. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στις εξής περιπτώσεις⁹:

α) Κατά την έναρξη της λειτουργίας της μηχανής, διότι κατά τη φάση αυτή η παρεχόμενη στον κύλινδρο ποσότητα αέρα είναι περιορισμένη («choked»).

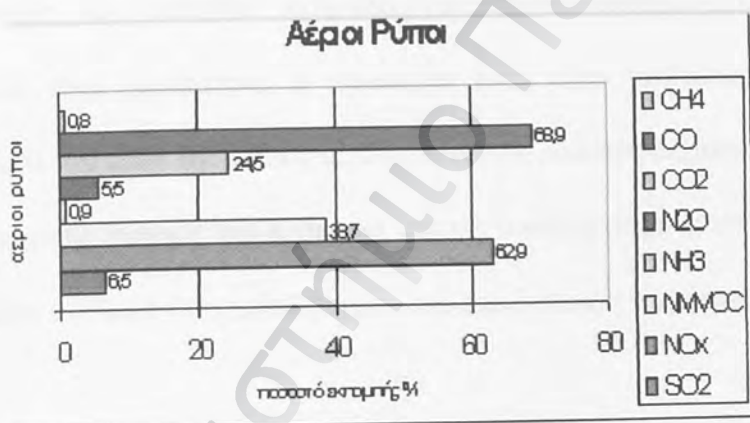
β) Κατά την περίπτωση όπου το σύστημα jigger που καθορίζει την αναλογία του μίγματος αέρα – καυσίμου δεν είναι σωστά ρυθμισμένο.

γ) Κατά την κίνηση του οχήματος σε μεγάλο υψόμετρο, διότι, λόγω της χαμηλής πυκνότητας του αέρα, η ποσότητα οξυγόνου που είναι διαθέσιμη για καύση είναι περιορισμένη. Εξαιρέση αποτελούν τα αυτοκίνητα που είναι κατάλληλα σχεδιασμένα ή προσαρμοσμένα να κινούνται σε μεγάλα υψόμετρα.

δ) Υπό συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών, διότι σε αυτές τις περιπτώσεις η μηχανή απαιτεί αρχικά τουλάχιστον, ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου για τη λειτουργία της. Επιπλέον, υπό τις συνθήκες αυτές, οι συσκευές ελέγχου των εκπομπών CO (δηλαδή οι καταλυτικοί μετατροπείς και οι αισθητήρες οξυγόνου) λειτουργούν λιγότερο αποτελεσματικά.

Επίσης, στον ευρωπαϊκό χώρο, τα μηχανοκίνητα οχήματα συνιστούν την κυριότερη πηγή εκπομπής CO, όπως φαίνεται και στο ραβδόγραμμα του σχήματος 2.

Στην Αθήνα το ποσοστό συμβολής των μηχανοκίνητων οχημάτων στα επίπεδα CO στην ατμόσφαιρα ανέρχεται στο 100%.



Σχήμα 2: Ποσοστό αέριων ρύπων που εκπέμπονται από τα μέσα μεταφοράς. Το ραβδόγραμμα βασίζεται σε δεδομένα που καταγράφηκαν το έτος 1994 σε 28 κράτη της Ευρώπης.⁷

Β. Βιομηχανικές δραστηριότητες και μονάδες διαχείρισης στερεών

αποβλήτων



Εκτός από τα μηχανοκίνητα οχήματα που αποτελούν την κυριότερη ανθρωπογενή πηγή εκπομπής CO στην ατμόσφαιρα, οι βιομηχανικές δραστηριότητες και οι διεργασίες επεξεργασίας απορριμάτων (κυρίως η αποτέφρωση) συνιστούν και αυτές αξιόλογες πηγές του τοξικού αυτού ρύπου. Οι εν λόγω δραστηριότητες ανήκουν στην κατηγορία των ακίνητων ανθρωπογενών πηγών εκπομπής CO. Λόγου του καθαρά τυπικού τους χαρακτήρα, η παρουσία τους είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα του αέρα της περιοχής. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, η κακή διαχείριση, ο ανεπαρκής έλεγχος και η σπάνια και μη συστηματική συντήρηση των βιομηχανικών μονάδων καθιστά τη συμβολή τους στην υποβάθμιση της περιοχής, καταστροφική.

1.4.2 Πηγές εσωτερικού χώρου

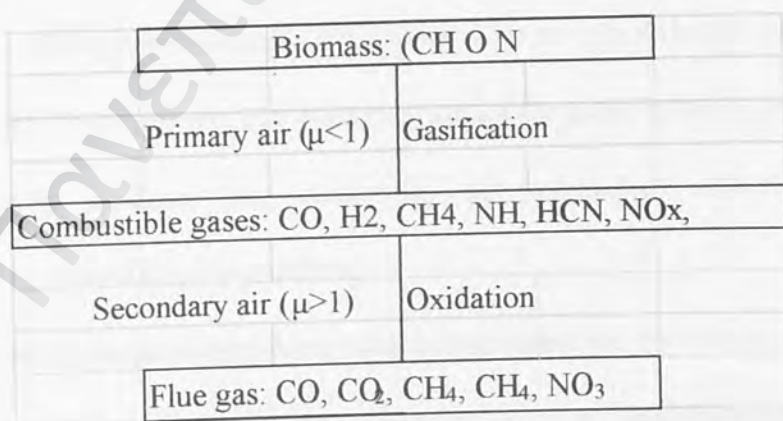
A. Οικιακές συσκευές καύσης

Οι οικιακές συσκευές καύσης αποτελούν μια από τις βασικότερες πηγές CO στους εσωτερικούς χώρους. Το CO είναι ο δεύτερος αέριος ρύπος μετά το CO₂ που εκπέμπεται από τις οικιακές συσκευές σε μεγάλες ποσότητες.⁷

Τυπικές καύσιμες ύλες που χρησιμοποιούνται από συσκευές καύσης είναι: η βενζίνη, το φυσικό αέριο, το υγραέριο (LP), η κηροζίνη, το πετρέλαιο, το ξύλο και το κάρβουνο. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν^{10,11}:

- Οι συσκευές υγραερίου: φούρνοι, κουζίνες, θερμοσίφωνες, θερμάστρες, στεγνωτήρες ρούχων.
- Η θερμάστρα πετρελαίου, το τζάκι, η σόμπα, το κάρβουνο ή ξύλο, το μαγκάλι με κάρβουνο.
- Η ψησταριά ή η σχάρα με κάρβουνο.
- Τα βενζινοκίνητα εργαλεία, όπως η βενζινοκίνητη μηχανή κουρέματος γρασιδιού, συσκευή πλυσίματος υπό πίεση, πριόνι για κοπή τσιμέντου, συσκευή οξυγονοκόλλησης, αντλίες, συμπιεστές, γεννήτριες κ.α.

Το CO εκπέμπεται από τις παραπάνω συσκευές ως προϊόν ατελούς καύσης του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Η εκπεμπόμενη ποσότητα του τοξικού αυτού αερίου ρύπου εξαρτάται από τη φύση του καυσίμου, το είδος της συσκευής, την καταλληλότητα της εγκατάστασής της, την ύπαρξη ή μη κατάλληλου συστήματος εξαερισμού της και την συχνότητα της συντήρησής της. Η απεικόνιση του τρόπου παραγωγής αέριων ρύπων κατά την λειτουργία μιας αντιπροσωπευτικής συσκευής καύσης (θερμάστρα) παρατίθεται στο ακόλουθο σχήμα (σχήμα 3) ²



Σχήμα 3: Καύση βιομάζας σε θερμάστρα: Διεργασία δύο σταδίων. ²

Συνήθως η χρήση συσκευών καύσης είναι ασφαλής. Υπό ορισμένες όμως συνθήκες, η εκπεμπόμενη ποσότητα CO μπορεί να ανέλθει σε επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία επίπεδα. Σύμφωνα με την CPSC (U.S. Consumer Product Safety Commission), κάθε χρόνο στις ΗΠΑ καταγράφονται 200 θάνατοι ανθρώπων από υπερβολική έκθεση σε CO, λόγω δυσλειτουργίας κάποιας συσκευής καύσης. Μεταξύ αυτών, 25 θάνατοι ετησίως οφείλονται στην χρήση ψησταριάς ή μαγκαλιού με κάρβουνο σε εσωτερικό χώρο.^{10, 11}

Τα παραπάνω τραγικά ατυχήματα είναι αποτέλεσμα της συμβολής ποικίλων παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί, άλλοτε μεμονωμένα και άλλοτε σε συνδυασμό, αφ' ενός δυσχεραίνουν την απομάκρυνση του CO από το εσωτερικό του χώρου, αφ' ετέρου δε συντελούν στην αύξηση των εκπομπών του ευνοώντας μάλιστα τη συσσώρευσή του. Οι κυριότεροι από αυτούς τους παράγοντες είναι οι εξής^{10, 11}:

- Η επιλογή συσκευών που:
 - Δεν διαθέτουν σύστημα εξαερισμού
 - Δεν είναι επίσημα ελεγμένες
 - Δεν έχει πιστοποιηθεί ότι ικανοποιούν τα ισχύοντα όρια ασφαλείας.
- Η εγκατάσταση των συσκευών με λανθασμένο τρόπο ή σε ακατάλληλο χώρο
- Η σύνδεση της συσκευής με αεραγωγό, πιθανότατα προϋπάρχοντα, ακατάλληλου μεγέθους
- Η χρησιμοποίηση ακατάλληλου καυσίμου για την συγκεκριμένη συσκευή
- Η επιπόλαια χρήση της συσκευής, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι οδηγίες του κατασκευαστή

- Ο ελλιπής εξαερισμός του χώρου (κλειστά παράθυρα και πόρτες), με αποτέλεσμα:
 - Να ευνοείται η ατελής καύση
 - Να παρεμποδίζεται η ανανέωση του αέρα
 - Να επέρχεται σταδιακή συσσώρευση του CO
- Η λόγω φθοράς εμφάνιση οπών ή ρωγμών στο υλικό του αεραγωγού
- Το φράξιμο του αεραγωγού από υπολείμματα της καύσης ή άλλα υλικά
- Η λειτουργία συσκευών εν απουσία αεραγωγού (π.χ. σόμπες, μαγκάλια, ψησταριές) σε εσωτερικούς χώρους και για μεγάλη χρονική διάρκεια.
- Η αμέλεια των χρηστών ως προς την συχνή και συστηματική επίβλεψη και συντήρηση τόσο των συσκευών όσο και των συστημάτων εξαερισμού που αυτές διαθέτουν (αεραγωγούς, καμινάδες κλπ.).

Στους παραπάνω παράγοντες αξίζει να προστεθεί το ότι οι σύγχρονες κατοικίες κατασκευάζονται περισσότερο στεγανές σε σχέση με τα παλαιότερα σπίτια. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει περισσότερο την ανανέωση του αέρα, ενώ παράλληλα αναπτύσσει συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, οι οποίες ευνοούν την ατελή καύση. Σε ότι αφορά στις παλαιότερες κατοικίες, η προσθήκη επιπλέον μόνωσης επιδεινώνει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, καθώς περιορίζει ακόμη περισσότερο την εισροή φρέσκου αέρα.

Β. Η εξάτμιση του αυτοκινήτου στο εσωτερικό γκαράζ κατοικιών

Η εξάτμιση αυτοκινήτου δεν αποτελεί αποκλειστικά εξωτερική πηγή εκπομπής CO στην ατμόσφαιρα. Αντιθέτως, συνιστά και μια επιπρόσθετη αιτία πρόκλησης ατυχημάτων στους εσωτερικούς χώρους, διαδεδομένη τόσο στις ΗΠΑ όσο και στον ευρωπαϊκό χώρο. Στις ΗΠΑ, σύμφωνα με δημοσιευμένη έρευνα, βασισμένη στα

καταχωρημένα πιστοποιητικά θανάτου μεταξύ των ετών 1979-1988, καταγράφηκαν συνολικά 6.600 θανατηφόρα ατυχήματα δηλητηρίασης από CO. Για το έτος 1998, ο αριθμός των καταγεγραμμένων θανάτων ήταν 500. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1979-1988, ο αριθμός των θανάτων παρουσίαζε μείωση της τάξης του 7 % ετησίως. Η αιτία σταδιακής μείωσης ήταν η θεσμοθέτηση αυστηρότερων προτύπων για τους εκπεμπόμενους ρύπους και η υιοθέτηση βελτιωμένων μεθόδων ελέγχου των εκπομπών αυτοκινήτων.³

Αιτία των θανατηφόρων ατυχημάτων που αποδίδονται στις εξαμίσεις των αυτοκινήτων είναι η παρουσία ακινητοποιημένων αυτοκινήτων με αναμμένη τη μηχανή τους:

- Είτε σε μικρή απόσταση από ανοιχτό παράθυρο του σπιτιού
- Είτε στο εσωτερικό ιδιωτικού γκαράζ, παρακείμενο του σπιτιού

Και στις δύο περιπτώσεις το τοξικό αέριο εισέρχεται στο εσωτερικό της κατοικίας, μέσω των διαφόρων δομικών ανοιγμάτων (παράθυρα, πόρτες, χαραμάδες, ρωγμές κλπ.) και σταδιακά συσσωρεύεται. Αποτέλεσμα είναι, μέσα σε ελάχιστο χρονικό διάστημα η συγκέντρωση του CO να ανέλθει σε θανατηφόρα επίπεδα. Μεταξύ των 128 θανάτων που καταγράφηκαν στην Καλιφόρνια κατά τα έτη 1979-1988, τα 80 ατυχήματα συνέβησαν στο εσωτερικό ιδιωτικού γκαράζ, ενώ τα 38 οφείλονταν σε αυτοκίνητο με αναμμένη μηχανή, παρκαρισμένο κοντά σε ανοιχτό παράθυρο του σπιτιού. Εις ότι αφορά τους θανάτους στο εσωτερικό των γκαράζ³:

- Το 42% οφειλόταν στην παραμονή του οδηγού εντός του εν λειτουργία αυτοκινήτου υπό την επήρεια αλκοόλ ή ναρκωτικών ουσιών,
- Το 25% έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια επισκευής ή συντήρησης του αυτοκινήτου,

- Το 23% οφειλόταν στη χρήση της αναμμένης μηχανής για την παροχή θερμότητας.

Γ. Κάπνισμα

Το CO αποτελεί έναν από τους ρύπους που εκπέμπονται κατά την καύση του καπνού του τσιγάρου. Αυτή η πηγή αέριας ρύπανσης είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, λόγω των καταστρεπτικών συνεπειών που προκαλεί στην ανθρώπινη υγεία. Οι παράγοντες που καθιστούν το κάπνισμα μια βασική πηγή CO των εσωτερικών χώρων συνοψίζονται στους εξής:

- Το κάπνισμα αποτελεί δραστηριότητα κυρίως των εσωτερικών χώρων
- Οι καπνιστές και το στενό τους περιβάλλον εκτίθενται σε αυτή την πηγή με υψηλή συχνότητα
- Οι εκπεμπόμενες κατά το κάπνισμα συγκεντρώσεις του CO είναι υψηλές
- Ο καπνιστής εκτίθεται συγχρόνως στις συγκεντρώσεις CO που περιέχονται στον καπνό που εισπνέει (mainstream smoke) και στις συγκεντρώσεις CO που απελευθερώνονται στον περιβάλλοντα χώρο όταν το τσιγάρο αφήνεται αναμμένο (sidestream smoke)
- Οι παθητικοί καπνιστές εκτίθενται στις συγκεντρώσεις CO του sidestream smoke, οι οποίες είναι κατά πολύ υψηλότερες σε σχέση με αυτές του mainstream smoke

Ενδεικτικά παραθέτουμε τις βιβλιογραφικά αναφερόμενες συγκεντρώσεις CO, που εκπέμπονται κατά το κάπνισμα τσιγάρου ⁵:

CO	mainstream	sidestream	mainstream / sidestream ratio
Mg / τσιγάρο	1-20	25-50	2,5

Όπως προαναφέρθηκε, το CO παρεμποδίζει την οξυγόνωση των ανθρώπινων ιστών, λόγω του ότι δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη, την πρωτεΐνη αυτή του αίματος που είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά του οξυγόνου. Η βραχυχρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO μπορεί να αποδειχθεί θανατηφόρα, ενώ η μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος. Είναι επομένως προφανές, ότι το κάπνισμα συνιστά για τους καπνιστές (παθητικούς και μη) μια ιδιαίτερα επιβλαβή συνήθεια. Και αυτό γιατί συνεπάγεται, μεταξύ άλλων, την έκθεση των καπνιστών σε ένα τόσο επικίνδυνο ασφυξιογόνο αέριο, όπως το CO.

Τα επίπεδα του CO στο αίμα των μη καπνιστών ποικίλουν ανάλογα με την ποιότητα του αέρα στον οποίο εκτίθενται και κυμαίνονται σε γενικές γραμμές μεταξύ 0 έως 8 ppm. Τα επίπεδα CO στο αίμα ενός καπνιστή είναι σαφώς υψηλότερα και εξαρτώνται από το πότε και πόσο καπνίζουν, καθώς και από το είδος του προϊόντος που επιλέγουν να καπνίσουν (τσιγάρο, πούρο, πίπα κ.α.). Ένας άνθρωπος που καπνίζει ένα πακέτο τσιγάρα την ημέρα έχει στο αίμα του επίπεδα CO της τάξης των 20 ppm, ενώ για ένα άτομο που καπνίζει δύο πακέτα την ημέρα τα επίπεδα ανέρχονται στα 40 ppm. Όταν το κάπνισμα διακόπτεται, οι συγκεντρώσεις CO στο αίμα επανέρχονται στα κανονικά τους επίπεδα εντός λίγων ημερών.

Ενδεικτικές τιμές των επιπέδων συγκέντρωσης του CO σε χαρακτηριστικούς χώρους δραστηριοτήτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Χώροι δραστηριοτήτων	Μέση συγκέντρωση CO [ppm]
Κατοικία χωρίς συσκευή υγραερίου	0,5 - 5
Χώρος με ορθά εγκατεστημένη συσκευή υγραερίου	5-15
Χώρος όπου υπάρχει συσκευή υγραερίου ακατάλληλα εγκατεστημένη	>30
Γραφεία, Εστιατόρια, μπαρ, γήπεδα όπου επιτρέπεται το κάπνισμα	3-30
Κουζίνα σπιτιού με φούρνο υγραερίου	3-8
Κατοικίες ή γραφεία σε κτίρια με εσωτερικούς χώρους στάθμευσης	Έως 100
Αυτοκινητόδρομος με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση	100
Τυπική αστική ατμόσφαιρα	5-50

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές των επιπέδων συγκέντρωσης του CO σε χαρακτηριστικούς χώρους δραστηριοτήτων.²⁰

1.5 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ CO

1.5.1 Αντιμετώπιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από CO

1. Η.Π.Α.

Στις Η.Π.Α. κατεβλήθησαν σημαντικές προσπάθειες για την ελάττωση των εκπομπών CO στην ατμόσφαιρα. Με την νομοθέτηση της γνωστής Clean Air Act, τόσο το κράτος όσο και οι τοπικές αρχές ανέλαβαν την ευθύνη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ρύπανσης που προέρχεται από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, από βιομηχανίες και άλλες ακίνητες πηγές. Παράλληλα, το Γραφείο Περιβαλλοντικής Προστασίας των Η.Π.Α. (EPA : Environmental Protection Agency) ανέλαβε τον έλεγχο των κινητών πηγών παραγωγής ρύπανσης. Αναλυτικότερα, τα μέτρα που ελήφθησαν συνοψίζονται στα εξής^{6,9}:

- ♦ Το πρόγραμμα της EPA για τα οχήματα σημείωσε σημαντική επιτυχία στη μείωση των εκπομπών του CO. Οι πρότυπες συγκεντρώσεις που νομοθετήθηκαν από την EPA στις αρχές της δεκαετίας του '70 προέτρεψαν τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να βελτιώσουν το βασικό σχεδιασμό της μηχανής των οχημάτων. Από το 1975, τα περισσότερα αυτοκίνητα διέθεταν καταλυτικούς μετατροπείς, σχεδιασμένους ειδικά για να μετατρέπουν το CO σε CO₂. Κατασκευάζονταν καταλύτες ικανοί να μειώνουν τις εκπομπές του CO έως και 80 %. Στις αρχές της δεκαετίας του '80, οι κατασκευαστές των αυτοκινήτων, στην προσπάθεια τους να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα του καταλυτικού μετατροπέα, εισήγαγαν την χρήση πιο εξελιγμένων καταλυτικών συστημάτων και εξόπλισαν τα οχήματα με συστήματα υπολογιστών και με αισθητήρες οξυγόνου.

♦ Ένα επιπρόσθετο μέτρο που ελήφθη ήταν ο συνυπολογισμός της επίδρασης των χαμηλών θερμοκρασιών στα εκπεμπόμενα επίπεδα CO. Έως το 1994, ο έλεγχος των οχημάτων για τις εκπομπές CO πραγματοποιούνταν στους 75 °F. Από την στιγμή όμως που διαπιστώθηκε η αρνητική επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών, η Clean Air Act του 1990 επέβαλε την εξής τροποποίηση: Με αφετηρία το έτος 1994, οι έλεγχοι των εκπομπών των αυτοκινήτων και των ελαφρών οχημάτων θα πραγματοποιούνται στους 20 °F και θα συγκρίνονται με αντίστοιχα νομοθετημένα πρότυπα.

♦ Επιπλέον, η Clean Air Act του 1990 ανέπτυξε αυστηρότερα και συστηματικότερα προγράμματα Επιθεώρησης και Συντήρησης των οχημάτων. Μέσω αυτών εξασφαλίζεται η δυνατότητα εντοπισμού των αυτοκινήτων που λόγω κάποιας δυσλειτουργίας τους εκπέμπουν υψηλές συγκεντρώσεις CO και άλλων ρύπων. Εκτός από αυτά τα συστήματα ελέγχου, υιοθετήθηκε η παράλληλη χρήση συσκευών προειδοποίησης. Οι συσκευές αυτές επισημαίνουν στον οδηγό ότι τα συστήματα ελέγχου εκπομπών του αυτοκινήτου του δυσλειτουργούν.

♦ Ένας εναλλακτικός τρόπος ελάττωσης των εκπομπών CO είναι η προσθήκη οξυγονούχων ενώσεων στη βενζίνη. Τα συστατικά αυτά έχουν την ιδιότητα να επιφέρουν επιπρόσθετη αύξηση της αναλογίας αέρα-καυσίμου, με συνέπεια να ευνοείται η πλήρης καύση του καυσίμου. Το πιο κοινό οξυγονούχο πρόσθετο είναι η αλκοόλη ή τα παράγωγα της. Τα οξυγονωμένα αυτά καύσιμα χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία για αρκετά χρόνια σε πολλές δυτικές πόλεις των Η.Π.Α.

Όλα τα παραπάνω μέτρα αντιμετώπισης είχαν ως αποτέλεσμα τα σημερινά επιβατικά οχήματα να εκπέμπουν κατά τη διάρκεια της ζωής τους 90% λιγότερο

Percent Change in Air Quality		
	1981–2000	1991–2000
NO _x	-14	-11
O ₃ 1-hr	-21	-10
O ₃ 8-hr	-12	-7
SO ₂	-50	-37
PM ₁₀	—	-19
PM _{2.5}	Trend data not available	
CO	-61	-41
Pb	-93	-50

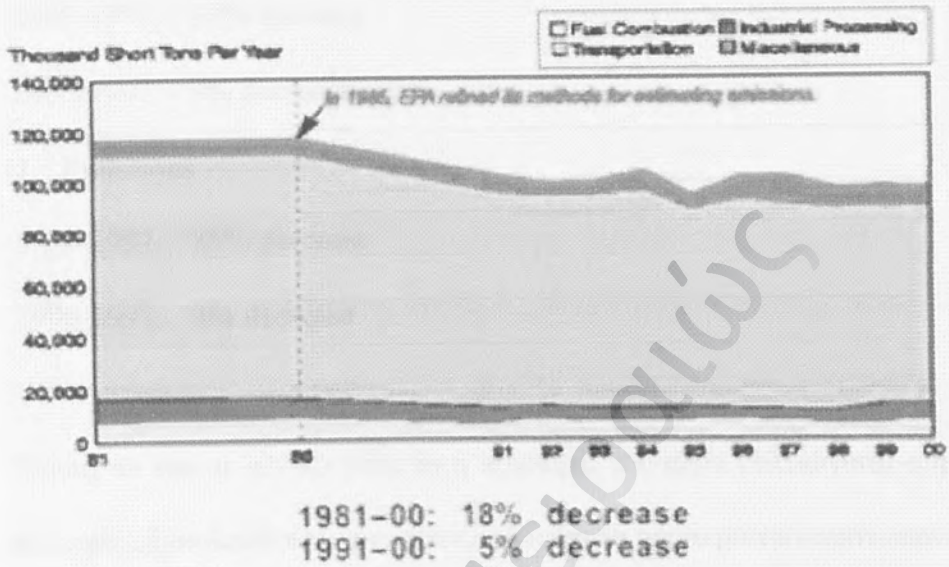
Percent Change in Emissions		
	1981–2000	1991–2000
NO _x	+4	+3
VOC	-32	-16
SO ₂	-31	-24
PM ₁₀ *	-47	-6
PM _{2.5} *	—	-5
CO	-18	-5
Pb	-94	-4

* includes only directly emitted particles.

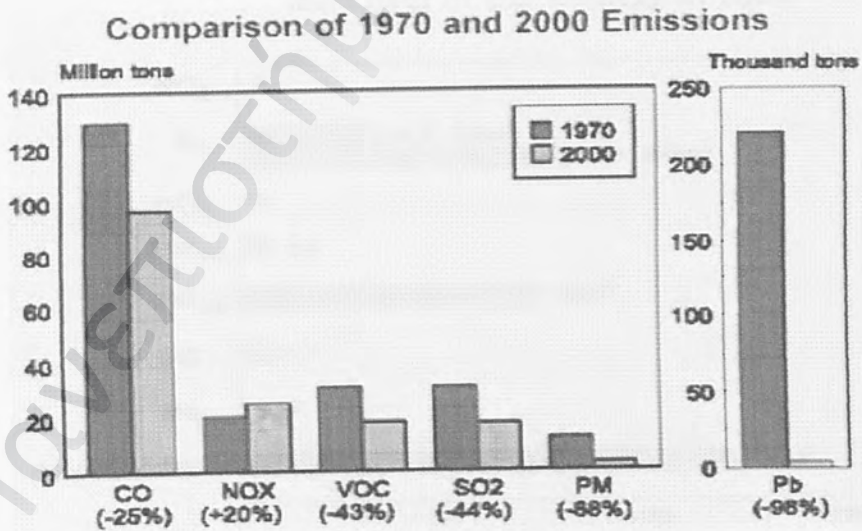
Σχήμα 5: Ποσοστό μεταβολής στην ποιότητα του αέρα και στις εκπομπές συγκεντρώσεων ρύπων στην ατμόσφαιρα των Η.Π.Α.⁶

Ειδικότερα για το CO, όπως επιβεβαιώνεται από τα ακόλουθα σχήματα, η επιτευχθείσα μείωση τόσο των εκπομπών του όσο και της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα είναι εντυπωσιακή.

CO Emissions, 1981–2000



Σχήμα 6: Σύγκριση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ετών 1970-2000⁶



Σχήμα 7: Τάση μεταβολής των εκπομπών CO στις Η.Π.Α. κατά τα έτη 1981-2000⁶

CARBON MONOXIDE

- Air Quality Concentrations

1988-1997 38% decrease

1996-1997 7% decrease

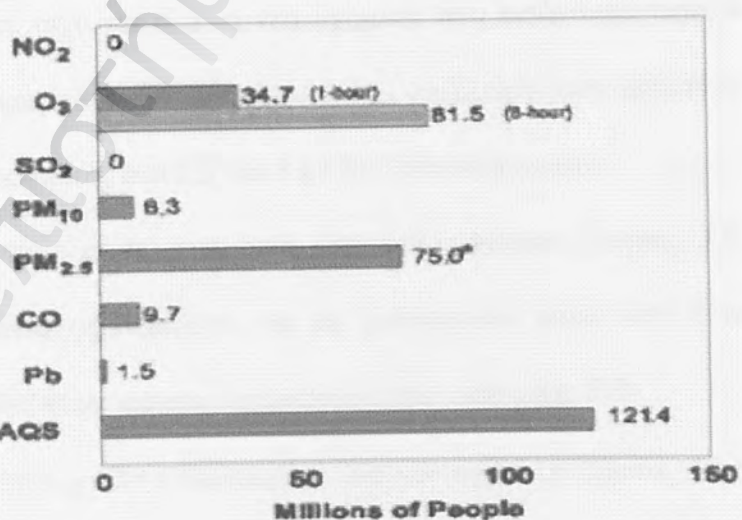
- Emissions

1988-1997 25% decrease

1996-1997 3% decrease

Όμως, αν και σε εθνικό επίπεδο η ποιότητα του αέρα βελτιώνεται σημαντικά, κάποιες περιοχές εξακολουθούν να εμφανίζουν επίπεδα ανώτερα των προτύπων ορίων.

Number of People Living in Counties with Air Quality Concentrations Above the Level of the NAAQS in 2000



Σχήμα 8: Αριθμός ανθρώπων που ζουν σε περιοχές όπου τα επίπεδα των ρύπων υπερβαίνουν τα εθνικά πρότυπα ποιότητας NAAQS το 2000 ⁶

Επιπλέον, λόγω της συνεχούς αύξησης του αριθμού των αυτοκινήτων και της συχνότητας χρήσης τους, προβλέπεται και πάλι άνοδος των επιπέδων του CO. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί μόνο εάν ληφθούν πιο αυστηρά και αποτελεσματικά μέτρα ελέγχου των εκπομπών.

II. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

Αναγνωρίζοντας τις βλαβερές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που οφείλονται στις εκπομπές κυρίως των μεταφορικών οχημάτων θέσπισε ειδική νομοθεσία για τις εκπομπές CO από τις εξαμίσεις των αυτοκινήτων. Αυτή συνοψίζεται στα κάτωθι⁴:

♦ Για τα επιβατικά οχήματα, μέγιστης χωρητικότητας 6 ατόμων και μεγίστου βάρους 2,5 tn: Το ανώτατο όριο εκπομπής CO των 2,72 g CO / διανυόμενο km τέθηκε σε ισχύ τον Ιούλιο του 1992. Το όριο αυτό αποτελεί προϋπόθεση για την είσοδο νέου τύπου οχημάτων στην ευρωπαϊκή αγορά. Από τον Δεκέμβριο του 1992, το όριο αυτό τέθηκε σε ισχύ για όλα τα νέα οχήματα που εισάγονται στην κυκλοφορία. Επιπλέον, για τις εκπομπές πετρελαιοκίνητων και ντιζελοκίνητων οχημάτων προτάθηκε μείωση του ορίου εκπομπής στα 2,2 και 1 g CO / διανυόμενο km.

♦ Για τα ελαφριά εμπορικά οχήματα, μεγίστου βάρους 3,5 tn και για βαριά οχήματα ειδικά σχεδιασμένα για να μεταφέρουν πάνω από 6 επιβάτες: Το Φεβρουάριο του 1993 θεσπίστηκαν ως ανώτατα όρια εκπομπής CO:

- Τα 2,72 g CO / διανυόμενο km για οχήματα βάρους μικρότερου των 1,25tn,
- 5,17 g CO / διανυόμενο km για οχήματα βάρους μεταξύ 1,25 και 1,7 tn και
- 6,9 g CO / διανυόμενο km για οχήματα βάρους μεγαλύτερου των 1,7 tn

- Για τα βαριά οχήματα: Το ανώτατο όριο εκπομπών CO που τέθηκε σε ισχύ από την 1^η Οκτωβρίου 1995 ως προϋπόθεση της εισόδου νέου τύπου αυτοκινήτων στην ευρωπαϊκή αγορά και από την 1^η Οκτωβρίου 1996 για όλα τα οχήματα που εισάγονται στην κυκλοφορία είναι της τάξης των 4 g CO / διανυόμενο km.

Η υιοθέτηση των παραπάνω οδηγιών από την Ε.Ε., σε συνδυασμό με την εισαγωγή του ελέγχου εκπομπών καυσαερίων στην ετήσια διαδικασία ελέγχου των μηχανοκίνητων οχημάτων που λαμβάνει χώρα σε εθνικό επίπεδο, αναμένεται να επιφέρει στο Ηνωμένο Βασίλειο μείωση των εκπομπών CO από τους 6 εκ. tn / έτος το 1992 στους 2,5 εκ. tn / έτος το 2010, τιμή που αντιστοιχεί στο 80 % του ετήσιου ρυθμού εκπομπών της δεκαετία του '70.⁴

Είναι προφανές ότι η βελτίωση των εκπομπών των μηχανοκίνητων οχημάτων είναι το μέτρο που εξασφαλίζει σε μεγαλύτερο βαθμό την μείωση των επιπέδων CO στις αστικές περιοχές. Δεν θα πρέπει όμως να υποτιμάται και η συμβολή του ελέγχου εκπομπών των υπολοίπων ανθρωπογενών πηγών στην γενικότερη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το 1990 η Νομοθετική Πράξη Περιβαλλοντικής Προστασίας (Environmental Protection Act) εισήγαγε ένα νέο πλαίσιο εφαρμογής των κανονισμών και ελέγχου των βιομηχανικών εκπομπών. Αυτό περιλαμβάνει ένα ειδικό χρονοδιάγραμμα εργασιών το οποίο βελτιώνει τις υπάρχουσες διαδικασίες ελέγχου.⁴

Από το 1996, οι περισσότερες βιομηχανίες στην Αγγλία, την Ουαλία και την Σκωτία ελέγχονται είτε από τις τοπικές αρχές είτε από τον οργανισμό HMIP (HM Industrial Pollution Inspectorate in Scotland). Ο οργανισμός HMIP έχει εκδώσει προτεινόμενες οριακές τιμές εκπομπών ειδικά διαμορφωμένες για διεργασίες καύσης σε μεγάλους λέβητες και κλιβάνους, για βιομηχανικές μονάδες επεξεργασίας μετάλλων και

για μονάδες διάθεσης και ανακύκλωσης απορριμμάτων. Σύμφωνα με αυτά τα προτεινόμενα όρια, η συγκέντρωση CO στο ρεύμα ξηρών καυσαερίων (σε θερμοκρασία 0 °C, πίεση $1,01 \cdot 10^5$ N/m², ογκομετρική αναλογία οξυγόνου 11 %) που προέρχονται από κλιβάνους αποτέφρωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει ⁴:

- ♦ Την μέση ωριαία τιμή των 100 μg/m³
- ♦ Την τιμή των 150 μg/m³ τουλάχιστον στο 95 % των μέσων δεκάλεπτων μετρήσεων που λαμβάνονται σε ένα 24ωρο.

Επιπλέον, ως ανώτερη μέση ημερήσια συγκέντρωση για την περίπτωση αποτέφρωσης χημικών και νοσοκομειακών αποβλήτων ορίστηκε η τιμή των 50 μg/m³.

Είναι προφανές ότι, προκειμένου να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη μείωση των επιπέδων CO στην ατμόσφαιρα επιβάλλεται η διαρκής ανανέωση και βελτίωση όλων των προαναφερθέντων μέτρων ελέγχου των εκπομπών. Πράγματι, τα αρμόδια όργανα της Ε.Ε. επιδίδονται σε συνεχείς βελτιώσεις των ήδη ισχυόντων κανονισμών ανάλογα με τα αποτελέσματα των σχετικών ερευνών που λαμβάνουν χώρα.

III. ΑΘΗΝΑ

Η Αθήνα είναι μία από τις ευρωπαϊκές πόλεις που, λόγω των μορφολογικών και κλιματολογικών χαρακτηριστικών της, παρουσιάζει υψηλά επίπεδα φωτοχημικής ρύπανσης. Μεταξύ των ρύπων που συμβάλουν ιδιαίτερα στην υποβάθμιση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι και το CO. Τα τελευταία χρόνια κατεβλήθησαν σημαντικές προσπάθειες για την βελτίωση της ποιότητας της αθηναϊκής ατμόσφαιρας. Τα μέτρα αυτά συνοψίζονται στα εξής ⁸:

- ♦ Το 1991, σε μια προσπάθεια ανανέωσης του στόλου των αυτοκινήτων, εφαρμόστηκε ένα πρόγραμμα απόσυρσης των παλαιών οχημάτων. Στόχος

ήταν η αντικατάσταση τους από νέα οχήματα, εξοπλισμένα με καταλυτικούς μετατροπείς. Το μέτρο εφαρμόστηκε σε πανελλήνια κλίμακα, διήρκεσε δυο χρόνια (1991-1992) και είχε ως αποτέλεσμα την απόσυρση συνολικά 260.000 αυτοκινήτων, εκ των οποίων τα 150.000 προέρχονταν από την Αθήνα.

- ◆ Το 1994, τέθηκε σε εφαρμογή το Πανελλήνιο Πρόγραμμα Επιθεώρησης, με στόχο τον έλεγχο των εκπομπών των αυτοκινήτων. Το πρόγραμμα προέβλεπε τον συστηματικό έλεγχο των εκπομπών όλων των οχημάτων. Αναλυτικότερα, το πρόγραμμα προέβλεπε έλεγχο για τα μεν ιδιωτικά αυτοκίνητα μια φορά τον χρόνο, ενώ για τα ταξί και τα ελαφρά οχήματα δυο φορές το χρόνο.
- ◆ Η κατασκευή και εφαρμογή του μετρό της Αθήνας έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική ελάττωση στις μετακινήσεις των οχημάτων στο κέντρο της πόλης.
- ◆ Τέθηκε σε εφαρμογή ένα πρόγραμμα αντικατάστασης των παλαιότερης τεχνολογίας λεωφορείων με καινούρια, που είναι εξοπλισμένα με συστήματα ελέγχου των εκπομπών.
- ◆ Στα πλαίσια της προσπάθειας του να καταστεί η μετακίνηση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς πιο ελκυστική στους Αθηναίους ελήφθησαν μέτρα για την βελτίωση των δρομολογίων (προσθήκη νέων δρομολογίων, αύξηση της συχνότητας των δρομολογίων κ.α.). Επιπλέον, στους δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας ορίστηκαν λωρίδες αποκλειστικά για την μετακίνηση των μέσων μαζικής μεταφοράς. Σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν, η εισαγωγή

των λεωφορειόδρομων επέφερε αύξηση στη μέση ωριαία ταχύτητα των λεωφορείων από 16 σε 30 km/h.

- ◆ Εισαγωγή μέτρων για την κίνηση των οχημάτων στον δακτύλιο της πόλης: εναλλακτική μετακίνηση των οχημάτων με μονό και ζυγό αριθμό κυκλοφορίας.
- ◆ Από το 1995, απαγορεύτηκε η κυκλοφορία όλων των μηχανοκίνητων οχημάτων (συμπεριλαμβανομένων των ταξί και των μοτοσικλετών), με εξαίρεση μόνο των δημόσιων λεωφορείων, στο εμπορικό κέντρο της Αθήνας.

Τα προαναφερθέντα μέτρα έχουν επιφέρει αξιοσημείωτη μείωση στα επίπεδα CO στην αθηναϊκή ατμόσφαιρα. Παρ' όλα αυτά όμως, υπό ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν την συσσώρευση του ρύπου (άπνοια, χαμηλή θερμοκρασία κ.α.) σε συνδυασμό με την αυξημένη κίνηση, τα επίπεδα ξεπερνούν τα προτεινόμενα όρια έκθεσης. Συνεπώς, επιβάλλεται η λήψη επιπρόσθετων, πιο αυστηρών μέτρων για την περαιτέρω ελάττωση των συγκεντρώσεων και την αποφυγή επεισοδίων.

1.5.2 Αντιμετώπιση CO στους εσωτερικούς χώρους

Οι βασικές στρατηγικές που εξασφαλίζουν τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους και την αποφυγή τραγικών ατυχημάτων είναι οι ακόλουθες:

- I. Ο έλεγχος των εκπομπών των πηγών εσωτερικού χώρου
- II. Η βελτίωση του εξαερισμού του χώρου
- III. Η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου του αέρα
- IV. Η χρήση συστημάτων ανίχνευσης του αέρα

I. Ο έλεγχος των εκπομπών των πηγών εσωτερικού χώρου

Ο πιο αποτελεσματικός και πιο αποδοτικός οικονομικά τρόπος για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους είναι ο συστηματικός έλεγχος των πηγών εκπομπής των υπό μελέτη ρύπων. Εις ότι αφορά στο CO, έναν ρύπο που όπως προαναφέρθηκε εκπέμπεται από κάθε οικιακή συσκευή καύσης (πχ. κουζίνες και θερμοσίφωνες υγραερίου, θερμάστρες πετρελαίου, μαγκάλια, τζάκια κλπ.)¹²:

- η κατάλληλη επιλογή,
- η σωστή εγκατάσταση,
- η σωστή ρύθμιση και χρήση,
- η συστηματική συντήρηση,

των πηγών εκπομπής του συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση των επιπέδων του στους εσωτερικούς χώρους.

II. Η βελτίωση του εξαερισμού του χώρου

Ο έλεγχος των εκπομπών δεν είναι πάντα εφικτός ή πρακτικός στον βαθμό που είναι επιθυμητός. Συνεπώς, αυτός ο τρόπος επίτευξης αποδεκτής ποιότητας αέρα δεν είναι πάντα επαρκής. Ο εξασφάλιση του απαιτούμενου εξαερισμού στον υπό μελέτη χώρο, είτε με φυσικό είτε με μηχανικό τρόπο, αποτελεί την δεύτερη πιο αποτελεσματική μέθοδο βελτίωσης της εσωτερικής ατμόσφαιρας.

Η διαδικασία εξαερισμού ενός χώρου συνίσταται στην αύξηση της ποσότητας του φρέσκου αέρα που εισάγεται στο χώρο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με:^{12, 13}

(α) Φυσικό τρόπο : Πρόκειται δηλαδή για την είσοδο φρέσκου αέρα μέσα από ανοιχτά παράθυρα και πόρτες, λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών και διαφορών

πίεσης που αναπτύσσονται μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής ατμόσφαιρας. Αποτελεί την πιο απλή, οικονομική και συνηθισμένη μέθοδο αερισμού των εσωτερικών χώρων.

(β) Μηχανικό τρόπο : Ο μηχανικός εξαερισμός αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία που προϋποθέτει την εγκατάσταση ενός συστήματος ικανού να αυξάνει τον ρυθμό εξαερισμού του χώρου. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι απλό (πχ. ανεμιστήρας) ή περισσότερο σύνθετο (πχ. σύστημα κλιματισμού).

Μια ολοκληρωμένη διαδικασία εξαερισμού περιλαμβάνει ³³:

- μηχανική είσοδο φρέσκου αέρα,
- κλιματισμό (θέρμανση ή ψύξη) του εισαγόμενου αέρα και ανάμιξη του με μέρος του εσωτερικού αέρα,
- κατανομή του αναμεμιγμένου αέρα σε όλο τον χώρο,
- εξαγωγή ενός ποσοστού του εσωτερικού αέρα στην ατμόσφαιρα.

Για τους χώρους μικρού όγκου, όπως μπάνια κουζίνες κλπ., η χρήση εξαεριστήρων, που απάγουν του εκπεμπόμενους στον χώρο ρύπους και τους διοχετεύουν άμεσα στην ατμόσφαιρα, είναι ικανοποιητική. Αντιθέτως, σε μεγάλους χώρους, όπως π.χ. γραφεία, αίθουσες συνεδριάσεων κλπ. Απαιτείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα εξαερισμού. Τέτοια συστήματα (HVAC: Heat Ventilation and Air Conditioning System), που βρίσκουν ευρύτατη εφαρμογή στα σύγχρονα γραφεία, εξασφαλίζουν τις κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες και τα επίπεδα υγρασίας, επιτυγχάνοντας συγχρόνως απομάκρυνση επικίνδυνων ρύπων ³³. Σε πολλές περιπτώσεις τα συστήματα αυτά είναι ενεργειακά αποδοτικά (energy efficient), δηλαδή περιλαμβάνουν εναλλάκτες θερμότητας οι οποίοι επιτυγχάνουν τον κλιματισμό του χώρου, χωρίς να απαιτούν πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας.

Πρότυπες τιμές για τον εξαερισμό εσωτερικών χώρων

Εις ότι αφορά τον εξαερισμό των εσωτερικών χώρων, η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) δημοσίευσε κατά το έτος 1989 τα «Πρότυπα 62-1989». Πρόκειται για προτεινόμενες τιμές, και αναλυτικότερα για τους ελάχιστους ρυθμούς εξαερισμού που εξασφαλίζουν αποδεκτή ποιότητα αέρα στους εσωτερικούς χώρους και αποτρέπουν την εκδήλωση αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία.³³

Η δημοσίευση της ASHRAE προτείνει ρυθμούς εξαερισμού για μια μεγάλη ποικιλία εσωτερικών χώρων, όπως καθαριστήρια, ξενοδοχειακούς χώρους, καταστήματα, σχολικές αίθουσες, χώρους διασκεδάσεως, νοσοκομειακούς χώρους κ.α. Οι προτεινόμενοι ρυθμοί με τους οποίους ο φρέσκος αέρας πρέπει να διοχετεύεται σε κάθε χώρο κυμαίνεται μεταξύ 15 και 60 cfm/άτομο (cfm: cubic feet per meter), ανάλογα με το είδος των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στον δεδομένο χώρο.³³

Τα «Πρότυπα 62-1989» είναι προαιρετικά πρότυπα, δηλαδή η εφαρμογή τους καθίσταται υποχρεωτική μόνο στην περίπτωση που το κράτος τα συμπεριλάβει στον πολεοδομικό κώδικα. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι οι περισσότεροι πολεοδομικοί κώδικες περιλαμβάνουν κάποιες πρότυπες τιμές εξαερισμού, οι οποίες όμως αναφέρονται στον τρόπο σχεδιασμού των κτιρίων και όχι στην λειτουργία του. Γι' αυτό καταβάλλονται προσπάθειες η ισχύς των προτύπων αυτών να επεκταθεί και στην λειτουργία των κτιρίων.

III. Η χρήση συστημάτων καθαρισμού αέρα - απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου του αέρα (Air Cleaner)

Η χρήση ενός συστήματος καθαρισμού αέρα αποτελεί ένα συμπληρωματικό μέτρο βελτίωσης της ποιότητας του αέρα. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να υποκαταστήσει τις άλλες μεθόδους ελέγχου της εσωτερικής αέριας ρύπανσης. Και αυτό διότι, τα συστήματα αυτά αδυνατούν να απομακρύνουν αποτελεσματικά το σύνολο του αέριου ρυπαντικού φορτίου των εσωτερικών χώρων. Τα εν λόγω συστήματα αποτελούν βασικό μέρος των συστημάτων εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Η αποδοτικότητα τους εξαρτάται από την αποδοτικότητα των χρησιμοποιούμενων φίλτρων και από την ικανότητα τους να διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες αέρα. Η χρήση αυτών των συστημάτων είναι η ιδανικότερη επιλογή σε χώρους που χαρακτηρίζονται από αυξημένο ρυπαντικό φορτίο όπως λχ. τα μεγάλα γραφεία.^{12, 13}

Τα συστήματα καθαρισμού αέρα έχουν την δυνατότητα να συγκρατούν τα αιωρούμενα σωματίδια (μικρών διαστάσεων στερεές ή υγρές ουσίες), όπως σκόνη, σωματίδια των spray κ.α.. Υπό ορισμένες συνθήκες, μπορούν να απομακρύνουν αποτελεσματικά και τα μικρότερων διαστάσεων εισπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles), όπως τα σωματίδια του καπνού. Επιπλέον, μερικά από τα συστήματα αυτά, επιτυγχάνουν απομάκρυνση και αερίων ρύπων, όπως το ράδιο. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει το ότι το σύστημα είναι εξοπλισμένο με ειδικά προσροφητικά υλικά, όπως ενεργό άνθρακα και αλουμίνα. Όσο αποδοτικό και αν είναι ένα τέτοιο σύστημα στην απομάκρυνση συγκεκριμένων αέριων ρύπων, τα συστήματα αυτά γενικά αδυνατούν να συγκρατήσουν το σύνολο των αερίων ρύπων που τυπικά συναντώνται σε έναν κλειστό χώρο. Στην περίπτωση δηλαδή του CO, που είναι το αντικείμενο μελέτης της παρούσας

εργασίας, η συμβολή των καθαριστών αέρα στην ελάττωση των επιπέδων θεωρείται μηδενική.^{12, 13}

Ενδεικτικά αναφέρουμε τα κυριότερα είδη συστημάτων καθαρισμού αέρα που υπάρχουν¹³:

- Μηχανικά φίλτρα.
- Ηλεκτρονικοί καθαριστές αέρα (όπως ηλεκτροστατικοί κατακρυσμινοί), οι οποίοι παγιδεύουν τα σωματίδια με χρήση ηλεκτρικού πεδίου.
- Ιονιστές, που φορτίζουν τα σωματίδια, τα οποία στη συνέχεια αποθέτονται σε επιφάνειες (πχ. τοίχους, πατώματα, κουρτίνες κλπ.) ή σε αντίστοιχα φορτισμένο συλλέκτη.
- Συσκευές «υβρίδια» που συνδυάζουν δυο ή περισσότερα χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων ειδών

IV. Η χρήση συστημάτων ανίχνευσης ρύπων

Η χρήση συστημάτων ανίχνευσης των ρύπων αποτελεί ένα σημαντικό μέτρο πρόληψης των ατυχημάτων που οφείλονται σε υψηλά επίπεδα αέριας ρύπανσης στους εσωτερικούς χώρους. Λειτουργούν ως δικλείδες ασφαλείας στις περιπτώσεις ανεπαρκούς ελέγχου των πηγών εκπομπής και ελλιπούς εξαερισμού του χώρου.

Στην περίπτωση του CO, η συμβολή των ανιχνευτών είναι καθοριστικής σημασίας. Και αυτό διότι πρόκειται για έναν μη ανιχνεύσιμο από τις ανθρώπινες αισθήσεις ρύπο ο οποίος συσσωρεύεται ταχύτατα σε κλειστούς χώρους, καθιστά εντός μικρού χρονικού διαστήματος τον οργανισμό ανήμπορο να αντιδράσει και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις επιφέρει το θάνατο. Χαρακτηριστικό είναι ότι σύμφωνα με την αμερικανική εφημερίδα JAMA (Journal of the American Medical Association), το CO

αποτελεί την υπ' αριθμόν μια αιτία θανάτου από δηλητηρίαση στις Η.Π.Α.¹⁵ Το γεγονός αυτό καθιστά την χρήση ανιχνευτών άμεση και επιτακτική ανάγκη.

Ο ανιχνευτής CO είναι ένα σύστημα συναγερμού το οποίο καταγράφει τα επίπεδα συγχρόνως με τη διάρκεια έκθεσης και ενεργοποιείται όταν οι συγκεντρώσεις CO στον χώρο υπερβούν ορισμένα όρια. Αρχικά, οι εταιρίες που εισήγαγαν τους ανιχνευτές CO καθόρισαν τα όρια ενεργοποίησης στα εξής επίπεδα CO¹⁴:

Μέσος όρος για 30 ημέρες : 16 ppm

Μέσος όρος για 28 min: 60 ppm

Μέσος όρος για 16 min: 100 ppm

Λόγω της συστηματικής χρήσης πηγών εκπομπής (τζάκια, θερμάστρες και κουζίνες υγραερίου, κάπνισμα κ.α.) σε συνδυασμό με το ανεπαρκές σύστημα εξαερισμού τόσο των συσκευών όσο και ολόκληρου του χώρου, η υπέρβαση των παραπάνω ορίων και η συνεπαγόμενη ενεργοποίηση των συναγερμών αποτελούσε Αχνότατο φαινόμενο. Οι ειδικοί της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας και των Υπηρεσιών Πρώτης Βοήθειας που κατέφθαναν στον χώρο διαπίστωναν μέσω του σχετικού εξοπλισμού τους ότι τα ανιχνευόμενα επίπεδα CO δεν ήταν επαρκώς υψηλά ώστε να αποτελούν απειλή για τη ζωή των κατοίκων. Ύστερα από πίεση των καταναλωτών και των Υπηρεσιών Πρώτης Βοήθειας, τα όρια ενεργοποίησης των ανιχνευτών καθορίστηκαν σε νέα, υψηλότερα επίπεδα.¹⁴ Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τα Πρότυπα (UL Standards 2034) που πρότεινε το ινστιτούτο Underwrites Laboratories, Inc (UL), ο ανιχνευτής ενεργοποιείται προτού το CO αγγίξει τα ακόλουθα επίπεδα:

Μέσος όρος για 90 min: 100 ppm

Μέσος όρος για 35 min: 200 ppm

Μέσος όρος για 15 min: 400 ppm

Τα πρότυπα αυτά προβλέπουν την ενεργοποίηση του συναγερμού προτού ένας μέσος, υγιής ενήλικας αρχίσει να εμφανίζει συμπτώματα δηλητηρίασης από το CO. Ο προειδοποιητικός ήχος παρέχει στα εντός του χώρου άτομα επαρκή χρόνο για να εγκαταλείψουν το χώρο.

Ως προς την αρχή λειτουργία τους, οι ανιχνευτές CO ταξινομούνται σε τρεις κυρίως τύπους: τους βιομιμητικούς, τους ανιχνευτές οξειδίου μετάλλου και τους ηλεκτροχημικούς. Αναλυτικότερα ³⁴:



Βιομιμητικοί ή Χημειοπτικοί Ανιχνευτές

Η ονομασία τους οφείλεται στο ότι είναι σχεδιασμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μιμούνται την αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού στο CO. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην χρήση δίσκων με ζελατινώδη επίστρωση, οι οποίοι μαυρίζουν παρουσία CO. Ανάλογα με τον βαθμό αμαύρωσης επέρχεται και η ενεργοποίηση του συναγερμού. Οι ανιχνευτές αυτοί πλεονεκτούν ως προς το χαμηλό κόστος τους, την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση την δυνατότητα

λειτουργίας τους με μπαταρίες. Επιπλέον, δεν παραπλανούνται από την παρουσία άλλων εκτός του CO καυσαερίων που εκπέμπονται από τις οικιακές συσκευές. Αντιθέτως, υστερούν λόγω της περιορισμένης, συγκριτικά με τις άλλες τεχνολογίες, ακρίβειάς τους και της ευαισθησίας τους στα πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά επίπεδα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Ειδικότερα, η αποτελεσματική λειτουργία τους προϋποθέτει σχετική υγρασία της τάξης των 40-60 % και θερμοκρασίες μεταξύ 60-80 °F. ³⁴

Ανιχνευτές Οξειδίων Μετάλλων

Η χρήση ημιαγωγών αποτελεί την παλαιότερη τεχνολογία στον χώρο των ανιχνευτών. Το χρησιμοποιούμενο οξείδιο, κατά κύριο λόγο το οξείδιο του κασσιτέρου (SnO), αφού θερμανθεί αντιδρά με το CO προκειμένου να προσδιοριστούν τα επίπεδα του τοξικού αερίου. Λόγω της περιοδικής, ανά λίγα λεπτά, θέρμανσης του οξειδίου, ο ανιχνευτής καταναλώνει δεκαπλάσια ποσότητα ενέργειας συγκριτικά με τις άλλες τεχνολογίες. Το γεγονός αυτό αποκλείει την δυνατότητα χρήσης μπαταριών. Οι εν λόγω ανιχνευτές πλεονεκτούν λόγω του μικρού χρόνου απόκρισης στις μεταβολές των συγκεντρώσεων. Παράλληλα όμως, μειονεκτούν λόγω του κινδύνου να παραπλανηθούν από τις άλλες αέριες εκπομπές των οικιακών συσκευών, καθώς και λόγω της ευαισθησίας που εμφανίζουν σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας. ³⁴

Ηλεκτροχημικοί Ανιχνευτές

Η αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών αυτών συνίσταται στην χρήση τριών ηλεκτροδίων πλατίνας, βυθισμένων σε διάλυμα ηλεκτρολύτη. Τα εν λόγω ηλεκτρόδια παράγουν ενέργεια κατά την αντίδρασή τους με το CO. Αυτή η τεχνολογία

χρησιμοποιείται ευρύτατα τα τελευταία 20 χρόνια στην κατασκευή ανιχνευτών ειδικών για βιομηχανικούς χώρους. Οι ανιχνευτές αυτοί υπερτερούν λόγω του μικρού χρόνου απόκρισης που τους χαρακτηρίζει. Μειονεκτούν όμως λόγω του μικρού χρόνου ζωής τους. Η χρήση τους απαιτεί συστηματικό έλεγχο, καθώς ο ανιχνευτής μπορεί να καταστεί ανενεργός, χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό από τον χρήστη. Για τον λόγο αυτό, επιβάλλεται η περιοδική αντικατάστασή του κάθε δύο χρόνια. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων των συσκευών αυτών είναι η δυνατότητά τους να φέρουν συνεχή ψηφιακή ένδειξη, LCD οθόνη καθώς και μνήμη, γεγονός που επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει τα επίπεδα CO στο χώρο και κατά την διάρκεια της απουσίας του.³⁴

Σημαντική παράμετρος για την αποτελεσματική λειτουργία του ανιχνευτή CO είναι η τοποθέτηση του. Η CPSC (Consumer Product Safety Commission) συνιστά την τοποθέτηση των ανιχνευτών^{15, 34}:

- κατά πρώτη προτεραιότητα κοντά στα υπνοδωμάτια. Η τοποθέτηση πρόσθετων ανιχνευτών σε κάθε όροφο του σπιτιού εξασφαλίζει μεγαλύτερη ασφάλεια.
- μακριά από χώρους που έχουν υγρασία και σε απόσταση μεγαλύτερη των 4,5 m από κάθε οικιακή συσκευή καύσης.
- σε όσο δυνατόν μεγαλύτερο ύψος. Αυτό οφείλεται στο ότι, λόγω του μικρότερου ειδικού βάρους του CO ($0,9657 \text{ cm}^3/\text{g}$) σε σχέση με αυτό του αέρα ($1 \text{ cm}^3/\text{g}$), το CO παρασύρεται από τον θερμό αέρα που προέρχεται από τις συσκευές.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε τα αποτελέσματα μιας μελέτης που επισημαίνει την σημασία των ανιχνευτών CO στην πρόληψη των ατυχημάτων. Σύμφωνα, λοιπόν, με τους συγγραφείς του σχετικού άρθρου στην εφημερίδα JAMA, ένας ηλεκτρονικός ανιχνευτής θα μπορούσε να αποτρέψει περισσότερες από τις μισές θανατηφόρες δηλητηριάσεις που μελετήθηκαν (78 στις 136).¹⁶

2. ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ CO

2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

2.1.1 Εισαγωγή

Το CO που περιέχεται στο ανθρώπινο αίμα έχει διπλή προέλευση ¹⁴:

1) Αποτελεί παραπροϊόν του φυσικού μεταβολισμού και ειδικότερα της καταβολικής διαδικασίας. Συνήθως, στους φυσιολογικούς ανθρώπους τα επίπεδα του δεν υπερβαίνουν το 0,5 έως 0,7 %. Αντιθέτως, σε ανθρώπους που πάσχουν από ασθένειες, όπως η αναιμία, τα επίπεδα στο αίμα κυμαίνονται από 1,0 έως 1,5%.

2) Πρόκειται για το CO που περιέχεται στον εισπνεόμενο από τον άνθρωπο αέρα. Το ασφυξιογόνο αυτό αέριο εισέρχεται στην αναπνευστική οδό και, λόγω της μικρής του διαλυτότητας, φτάνει εύκολα στους πνεύμονες. Από εκεί, μέσω των κυψελίδων των πνευμόνων διαχέεται στο αίμα.

Κατά την παρουσία του στο αίμα, το CO ενώνεται αντιστρεπτά με το ενεργό κέντρο του μορίου της αιμοσφαιρίνης που είναι υπεύθυνο για την μεταφορά του οξυγόνου. Η χημική συγγένεια του με την αιμοσφαιρίνη (Hb) είναι περίπου 218 -250 φορές ισχυρότερη από την συγγένεια οξυγόνου και Hb. Συνεπώς, παρουσία του CO, η Hb αντιδρά επιλεκτικά με αυτό σχηματίζοντας την ανθρακο-οξυαιμοσφαιρίνη (COHb), ενώ παράλληλα τα επίπεδα της οξυαιμοσφαιρίνης (OHb) σταδιακά μειώνονται. ^{5, 17} Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κάθε ppm CO στον αέρα απενεργοποιεί 0,17 % της COHb ή Hb του αίματος. ⁴ Αποτέλεσμα είναι η παρεμπόδιση της μεταφοράς O₂ από την Hb, και κατ' επέκταση της σωστής οξυγόνωσης των ιστών και των οργάνων του ανθρώπινου

σώματος. Επιπρόσθετα, η σχηματιζόμενη COHb παρεμβαίνει στην διαδικασία απελευθέρωσης του οξυγόνου από τα άθικτα μόρια αιμοσφαιρίνης, επιφέροντας έτσι περαιτέρω στέρηση των ιστών από το ζωτικό O₂.

Χαρακτηριστικό είναι ότι η μείωση της ικανότητας του αίματος να μεταφέρει το οξυγόνο είναι ανάλογη της ποσότητας της σχηματιζόμενης COHb. Επιπλέον, οι παράγοντες εκείνοι που επιφέρουν αύξηση του ρυθμού αναπνοής και της κυκλοφορίας του αίματος επιταχύνουν και τον σχηματισμό της COHb. Συνεπώς, η άσκηση, οι υψηλές θερμοκρασίες, το μεγάλο υψόμετρο και η αναιμία αυξάνουν τον κίνδυνο που απορρέει από την έκθεση στο CO [Glosselin 1984].¹⁸ Άλλοι παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο είναι ο υπερθυροειδισμός, η παχυσαρκία, η βρογχίτιδα, το άσθμα και οι προϋπάρχουσες καρδιακές παθήσεις [NLM 1993].¹⁹ Επιπλέον, άτομα υπό την επίρεια ναρκωτικών ουσιών ή αλκοόλ παρουσιάζουν πιο έντονα συμπτώματα κατά την έκθεση τους στο CO. Τέλος, η σύγχρονη έκθεση σε άλλους ρύπους, όπως το μεθυλενοχλωρίδιο (ένας διαλύτης ο οποίος μεταβολίζεται στο αίμα προς τον σχηματισμό CO) αυξάνει τον κίνδυνο.¹⁷

2.1.2 Τα συμπτώματα της έκθεσης στο CO

Το CO είναι ένα χημικά ασφυξιογόνο, δηλητηριώδες αέριο. Τα συμπτώματα δηλητηρίασης που προκαλεί είναι αποτέλεσμα της ανεπαρκούς οξυγόνωσης των ιστών του ανθρώπινου σώματος. Ζωτικά όργανα, όπως η καρδιά και ο εγκέφαλος, τα οποία απαιτούν για την λειτουργία τους μεγάλες ποσότητες O₂, εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία. Το είδος, η διάρκεια και η σοβαρότητα των εκδηλωνόμενων συμπτωμάτων είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων. Οι βασικότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

- τα επίπεδα CO στα οποία εκτίθεται το άτομο

- η διάρκεια της έκθεσης
- το είδος της δραστηριότητας που επιτελείται κατά την διάρκεια της έκθεσης
- ο ρυθμός αναπνοής του ατόμου και ο ρυθμός κυκλοφορίας του αίματός του
- η ηλικία του ατόμου
- η γενικότερη κατάσταση της υγείας του
- το είδος της ασθένειας από την οποία πιθανότατα πάσχει το εκτιθέμενο άτομο (κυρίως καρδιο-αναπνευστικά προβλήματα)

Αναλυτικότερα, οι επιπτώσεις του CO στην ανθρώπινη υγεία μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες :

I. Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα συμπτώματα που εκδηλώνονται κατά την μικρής διάρκειας έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO. Πρόκειται για αναστρέψιμες επιπτώσεις, που σπάνια καταλήγουν σε μόνιμες βλάβες. Αναστέλλονται με την έγκαιρη παροχή καθαρού αέρα στον δηλητηριασμένο οργανισμό. Γενικά, η αποβολή του ημίσεως της ποσότητας CO από το αίμα επιτυγχάνεται περίπου σε διάρκεια 1 ώρας. Στην περίπτωση όπου, στον οργανισμό παρέχεται 100 % καθαρό οξυγόνο, η απομάκρυνση του ρύπου ολοκληρώνεται ταχύτερα.^{17, 20, 21, 22} Τα συμπτώματα που κατατάσσονται σε αυτήν την κατηγορία είναι τα εξής:

- Πονοκέφαλος
- Ναυτία, τάση προς εμετό

- Ίλιγγος
- Συμπτώματα γρίπης (πυρετός, ρίγη)
- Εμφάνιση εξανθημάτων
- Σωματική αδυναμία
- Πόνοι των μυών και των αρθρώσεων, κράμπες
- Μούδιασμα, δυσκαμψία
- Απώλεια αισθήσεων
- Πτώση σε κώμα
- Θάνατος

Επιπροσθέτως, τα άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα ή αρτηριοσκλήρωση παρουσιάζουν επιπλέον:

- Δύσπνοια
- Πόνο στο στήθος
- Ταχυκαρδία
- Ισχυρούς πόνους στα πόδια

II. Μακροπρόθεσμες επιπτώσεις

Πρόκειται για χρόνια συμπτώματα που εκδηλώνονται λόγω της επαναλαμβανόμενης και για μεγάλη διάρκεια έκθεσης των ατόμων σε χαμηλότερα επίπεδα CO. ^{17, 20, 21, 22} Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν:

- Προβλήματα του πεπτικού συστήματος (ανορεξία)
- Προβλήματα της στοματικής κοιλότητας και του λαιμού
- Καρδιακές ανωμαλίες (αρρυθμίες)
- Προβλήματα όρασης

- Απώλεια ακοής
- Απώλεια μνήμης
- Διαταραχές του ύπνου
- Σωματική αδυναμία
- Απώλεια συγκέντρωσης
- Χειρωνακτική αδεξιότητα
- Σύγχυση, αποπροσανατολισμός
- Αισθήματα πανικού
- Παισιθήσεις, βύθιση σε κατάσταση λήθαργου
- Κατάθλιψη

Η συγκέντρωση της σχηματιζόμενης COHb στο αίμα, αποτελεί έναν βιολογικό δείκτη του βαθμού έκθεσης στο CO. Εκφράζεται ως ποσοστό επί της εκατό της τιμής κορεσμού του αίματος σε COHb (% COHb). Η τιμή της είναι ενδεικτική της εισπνεόμενης ποσότητας CO και συνδέεται άμεσα με το είδος, την διάρκεια και την σοβαρότητα των εκδηλωνόμενων συμπτωμάτων. Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης από CO σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα επίπεδα COHb στο αίμα παραθέτονται στον πίνακα 2. Επιπλέον, στον πίνακα 3 παρουσιάζεται η γενική κατάταξη των παρατηρούμενων κλινικών συμπτωμάτων της δηλητηρίασης, αναφορικά με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις CO στον αέρα, την διάρκεια έκθεσης καθώς και τα αντίστοιχα επίπεδα COHb στο αίμα.

Επίπεδα COHb στο αίμα (%)	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	
<10	<1	Δεν εκδηλώνονται εμφανή συμπτώματα
	1-2	Πρώτες ενδείξεις της επίδρασης του ρύπου στη συμπεριφορά του ατόμου
	2,3-7,0	Μειωμένη αντοχή στην μικρής διάρκειας, έντονη σωματική άσκηση σε υγιή νεαρά άτομα. Μείωση της ικανότητας χρονικού διαχωρισμού των γεγονότων.
	2,9-5,9	Μειωμένη αντοχή σε ήπια σωματική άσκηση, λόγω έντονων πόνων στο στήθος (angina) σε άτομα πάσχοντα από ισχαιμικές καρδιακές παθήσεις.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

<p>10-20 (ήπια τοξικότητα)</p>	<p>Συμπτώματα διαταραχής του νευρικού συστήματος (δυσλειτουργία των κινητικών και αισθητικών νεύρων) και διαταραχής της συμπεριφοράς σε υγιή, νεαρά και ενήλικα άτομα.</p> <p>Εξασθένηση της ικανότητας χρονικού διαχωρισμού των γεγονότων, της οξύτητας της όρασης, της ικανότητας διαχωρισμού των χρωμάτων, της ικανότητας ακοής.</p> <p>Μεταβολές στη λειτουργία των πνευμόνων και της καρδιάς.</p> <p>Μείωση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου κατά την μικρής διάρκειας έντονη σωματική άσκηση σε υγιή νεαρά άτομα.</p> <p>Πονοκέφαλος, ναυτία, τάση για εμετό, ζαλάδα, διαταραχή της όρασης, δυσκολία στην αναπνοή, σύγχυση, εκνευρισμός.</p> <p>Μειωμένη πνευματική ετοιμότητα, φαινόμενο ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους οδηγούς οχημάτων.</p>
<p>10</p>	<p>Έντονη δύσπνοια κατά τη διάρκεια ήπιας σωματικής άσκησης.</p> <p>Πονοκέφαλος εντοπισμένος κυρίως στο μέτωπο.</p>
<p>20</p>	<p>Έντονη δύσπνοια κατά τη διάρκεια ήπιας σωματικής άσκησης.</p> <p>Περιστασιακές κεφαλαλγίες, συνοδευόμενες από σφίξιμο στους κροτάφους.</p> <p>Μειωμένη πνευματική ετοιμότητα, φαινόμενο ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους οδηγούς οχημάτων.</p>

30-40 (Μέτρια τοξικότητα)	<p>Ισχυρός πονοκέφαλος.</p> <p>Ζαλάδα.</p> <p>Μικρής διάρκειας απώλεια αισθήσεων.</p> <p>Ταχυκαρδία.</p> <p>Ευερεσθητικότητα.</p> <p>Εύκολη κόπωση.</p> <p>Διαταραγμένη κριτική ικανότητα.</p> <p>Περιορισμός της κριτικής αντίληψης.</p>
40-50 (Μεγάλη τοξικότητα)	<p>Ισχυρός πονοκέφαλος.</p> <p>Λιποθυμία.</p> <p>Σύγχυση.</p> <p>Λιποθυμία κατά τη διάρκεια άσκησης.</p> <p>Κίνδυνος καρδιακής προσβολής.</p> <p>Αδυναμία αναπνοής.</p>
60-70	<p>Απώλεια αισθήσεων.</p> <p>Διαλείπον παροξυσμός.</p> <p>Έντονη ναυτία.</p> <p>Διακοπή αναπνοής.</p> <p>Θάνατος μετά από έκθεση μεγάλης διάρκειας.</p>
80	Ταχύτατα θανατηφόρο.

Πίνακας 2: Γενικότερη κατάταξη των επιπτώσεων CO στην ανθρώπινη υγεία ανάλογα με τα επίπεδα της COHb στο αίμα.^{4,31}

Συγκέντρωση ατμοσφαιρικού CO [ppm]*	Επίπεδα COHb στο αίμα (%)	Διάρκεια έκθεσης	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία
200	30	2-3 h	Ήπιος πονοκέφαλος, κόπωση, ναυτία, ζαλάδα.
400	45	1-2 h	Ισχυρός πονοκέφαλος επικεντρωμένος στην περιοχή του μετώπου. Ενίσχυση των υπόλοιπων συμπτωμάτων. Κίνδυνος θανάτου μετά από έκθεση 3h
800	60	45 min	Έντονη ναυτία και ζαλάδα. Παροξυσμός. Απώλεια αισθήσεων εντός 1-2 h. Θάνατος εντός 2-3 h.
1.600	75	20 min	Πονοκέφαλος, ζαλάδα και ναυτία. Θάνατος μέσα σε 1-2 h
3.200	90	5-10 min	Πονοκέφαλος, ζαλάδα και ναυτία. Θάνατος μέσα σε 1 h
6.400	104	1-2 min	Πονοκέφαλος, ζαλάδα και ναυτία. Θάνατος μέσα σε 25-30 min.
12.800	119	1-3 min	Άμεση απώλεια αισθήσεων. Θάνατος μέσα σε 1-3 min.

*η συγκέντρωση του CO στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τα επίπεδα COHb

στο αίμα.

Πίνακας 3: Κατάταξη των συμπτωμάτων έκθεσης ανάλογα με τα επίπεδα CO στον ατμοσφαιρικό αέρα, στο αίμα και τη διάρκεια έκθεσης.^{14, 22, 23, 24, 35}

Από τα δεδομένα του πίνακα, καθίσταται εμφανής η μεγάλη ευαισθησία του ανθρώπινου κεντρικού νευρικού συστήματος στο CO. Πράγματι, οι πρώτες επιπτώσεις της δηλητηρίασης από CO αφορούν στην ικανότητα του ατόμου να ανταποκριθεί σε δραστηριότητες που απαιτούν είτε μεγάλη προσοχή και συγκέντρωση, είτε χειρονακτική επιδεξιότητα, είτε καλά αντανακλαστικά. Όπως έχει παρατηρηθεί, όταν τα επίπεδα COHb στο αίμα είναι ακόμα σχετικά χαμηλά (της τάξης των 10 %), η ικανότητα αυτή παρουσιάζει σημαντική μείωση. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι 8-ωρη έκθεση σε ατμόσφαιρα 10 ppm CO έχει σαν αποτέλεσμα τα επίπεδα της COHb στο αίμα να υπερβαίνουν το 2 %, επίπεδο που όπως προαναφέρθηκε συνεπάγεται έναρξη διατάραξης του νευρικού συστήματος.⁴ Για τον λόγο αυτό, οι παραπάνω παρατηρήσεις έχουν αποτελέσει την βάση για την διαμόρφωση και την θέσπιση των ανώτερων ορίων έκθεσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η προστασία του πληθυσμού.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών, επίπεδα COHb στο αίμα της τάξης των 35 % συνεπάγονται εξασθένηση της χειρονακτικής επιδεξιότητας. Επίσης, έχει αποδειχτεί ότι 40 % COHb στο αίμα προκαλεί πνευματική σύγχυση και απώλεια προσανατολισμού, σε βαθμό ικανό να αποτελέσει αιτία ατυχήματος κατά την οδήγηση.^{61, 62}

Είναι προφανές ότι αυτά τα επίπεδα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα όταν διαμορφώνονται στους χώρους εργασίας, καθώς αποτελούν βασική αιτία πρόκλησης ατυχημάτων. Γι' αυτό τον λόγο, ο οργανισμός OSHA (Occupational Safety & Health Administration) έχει επιδοθεί στην λήψη μέτρων για την αποφυγή διαμόρφωσης

τέτοιων επιπέδων COHb στο αίμα των εργατών.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα συμπτώματα έκθεσης ενός υγιούς ατόμου σε χαμηλά και μέτρια επίπεδα CO (όπως σωματική αδυναμία, ήπιες κεφαλαλγίες, ζαλάδα, ναυτία, πυρετός, ρίγη κ.α.) εμφανίζουν μεγάλη ομοιότητα με αυτά της γρίπης, του κρυολογήματος ή της τροφικής δηλητηρίασης. Το γεγονός αυτό καθιστά την διάγνωση της δηλητηρίασης από CO και κατ' επέκταση την έγκαιρη λήψη μέτρων αντιμετώπισης, ιδιαίτερα δύσκολη.

2.1.3 Ομάδες υψηλού κινδύνου

Στις ομάδες υψηλού κινδύνου ανήκουν όλες εκείνες οι υποομάδες του πληθυσμού οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία κατά την έκθεση τους στο CO, ακόμα και σε μειωμένες συγκεντρώσεις. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- Οι εγκυμονούσες γυναίκες και τα έμβρυα
- Τα βρέφη και τα παιδιά
- Οι καπνιστές
- Τα άτομα που πάσχουν από καρδιο-αναπνευστικές παθήσεις
- Οι ηλικιωμένοι

❖ **Εγκυμονούσες γυναίκες – Έμβρυα**^{14, 27, 28, 30}

Οι εγκυμονούσες γυναίκες συνιστούν μια ιδιαίτερα ευαίσθητη υποομάδα του πληθυσμού, καθώς η έκθεση τους στο CO έχει αρνητικές επιπτώσεις στον οργανισμό τόσο της μητέρας όσο και του εμβρύου. Η έκθεση γυναικών σε έστω και χαμηλές συγκεντρώσεις CO κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης μπορεί να οδηγήσει σε αποβολή του εμβρύου, στο θάνατο του εντός της μήτρας καθώς και σε εκ γενετής

προβλήματα του εγκεφάλου και του νευρικού του συστήματος. Όπως άλλωστε έχει αποδειχτεί από μελέτες, η προσβολή του εμβρύου καθώς και οι επικείμενες βλάβες στον οργανισμό του είναι σοβαρότερες συγκριτικά με την μητέρα. Τα έμβρυα είναι ιδιαίτερα ευπαθή στο CO για τρεις κυρίως λόγους:

1. Ο σχηματισμός της ανθρακο-οξυαιμοσφαιρίνης στο αίμα της μητέρας περιορίζει την ποσότητα του οξυγόνου που απελευθερώνεται στο έμβρυο.

2. Η αιμοσφαιρίνη του εμβρύου εμφανίζει μεγαλύτερη χημική συγγένεια ως προς το CO σε σχέση με την αιμοσφαιρίνη των ενηλίκων. Συνεπώς, ενώ αρχικά τα επίπεδα COHb στο έμβρυο υστερούν σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα στο αίμα της μητέρας, τελικά τα επίπεδα COHb στο εμβρυακό αίμα υπερβαίνουν αυτά της μητέρας.

3. Τα επίπεδα του CO στο έμβρυο θα συνεχίσουν να αυξάνουν και μετά την στιγμή κατά την οποία τα επίπεδα στο μητρικό αίμα μεγιστοποιούνται και αρχίζουν να ελαττώνονται. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι το έμβρυο καθυστερεί να αποβάλει το τοξικό αέριο από το αίμα του.

Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι το κάπνισμα κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης έχει ως αποτέλεσμα την έκθεση του εμβρύου σε συγκεντρώσεις CO της τάξης των 500 – 1000 ppm. Καταγεγραμμένες συνέπειες μιας τέτοιας έκθεσης, εκτός από τον κίνδυνο αποβολής, είναι ο θάνατος του εμβρύου λόγω ελλιπούς βάρους, επανειλημμένες εισαγωγές του παιδιού σε νοσοκομεία κατά τα 5 πρώτα χρόνια της ζωής του, καθώς και χαμηλότερη από την αναμενόμενη απόδοσή του στις σχολικές δραστηριότητες κατά τα 11 πρώτα χρόνια της ζωής του.

❖ **Παιδιά και βρέφη** ^{27, 28, 29, 30}

Τα παιδιά, κυρίως μικρής ηλικίας, αποτελούν μια ευαίσθητη υποομάδα του

πληθυσμού. Σύμφωνα με τον Dr Marc Bayer, Ιατρικό Διευθυντή του Connecticut Poison Control Center, το CO μπορεί να προκαλέσει στα εκτιθέμενα παιδιά νευρολογικά προβλήματα, μαθησιακή ανικανότητα και προβλήματα ανάπτυξης. Ο υψηλός κίνδυνος που αντιμετωπίζουν τα παιδιά οφείλεται στις υψηλότερες απαιτήσεις τους σε οξυγόνο.

Αναλυτικότερα, τα παιδιά χαρακτηρίζονται από ταχύτερους ρυθμούς μεταβολισμού σε σχέση με τους ενήλικες, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις των ζωτικών τους οργάνων, όπως ο εγκέφαλος και η καρδιά, σε οξυγόνο να είναι μεγαλύτερες. Επιπλέον, εφόσον το CO παρεμποδίζει την μεταφορά και την απελευθέρωση του οξυγόνου στους ιστούς και τα κύτταρα του οργανισμού, μπορεί να βλάψει το αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα των βρεφών.

❖ Καπνιστές

Τα επίπεδα COHb στο αίμα υγιών ενηλίκων, μη καπνιστών, είναι της τάξης των 0,4 - 0,7 % και οφείλονται στις μεταβολικές διεργασίες. Αντιθέτως, στους καπνιστές τα επίπεδα είναι κατά πολύ υψηλότερα και κυμαίνονται μεταξύ 4 - 20%.

Αναλυτικότερα, η περιεκτικότητα του καπνού του τσιγάρου σε CO κυμαίνεται μεταξύ 200 και 400 ppm. Αποτέλεσμα αυτού είναι το 5,9 % των μορίων αιμοσφαιρίνης στο αίμα ενός καπνιστή, που καπνίζει 1 πακέτο τσιγάρα / ημέρα, να είναι δεσμευμένα από το CO με την μορφή COHb. Στην περίπτωση ενός καπνιστή που καπνίζει 2 πακέτα ανά ημέρα, τα επίπεδα να ανέρχονται στο 10-15%, ενώ για έναν καπνιστή πούρων τα επίπεδα ανέρχονται στο 20 %. Τα υψηλά αυτά επίπεδα θέτουν τους καπνιστές σε ιδιαίτερο κίνδυνο στην περίπτωση περαιτέρω έκθεσης.^{4, 17, 25, 27, 28, 29}

Όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μερικές μελέτες επισήμαναν την ικανότητα

πληθυσμού. Σύμφωνα με τον Dr Marc Bayer, Ιατρικό Διευθυντή του Connecticut Poison Control Center, το CO μπορεί να προκαλέσει στα εκτιθέμενα παιδιά νευρολογικά προβλήματα, μαθησιακή ανικανότητα και προβλήματα ανάπτυξης. Ο υψηλός κίνδυνος που αντιμετωπίζουν τα παιδιά οφείλεται στις υψηλότερες απαιτήσεις τους σε οξυγόνο.

Αναλυτικότερα, τα παιδιά χαρακτηρίζονται από ταχύτερους ρυθμούς μεταβολισμού σε σχέση με τους ενήλικες, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις των ζωτικών τους οργάνων, όπως ο εγκέφαλος και η καρδιά, σε οξυγόνο να είναι μεγαλύτερες. Επιπλέον, εφόσον το CO παρεμποδίζει την μεταφορά και την απελευθέρωση του οξυγόνου στους ιστούς και τα κύτταρα του οργανισμού, μπορεί να βλάψει το αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα των βρεφών.

❖ Καπνιστές

Τα επίπεδα COHb στο αίμα υγιών ενηλίκων, μη καπνιστών, είναι της τάξης των 0,4 - 0,7 % και οφείλονται στις μεταβολικές διεργασίες. Αντιθέτως, στους καπνιστές τα επίπεδα είναι κατά πολύ υψηλότερα και κυμαίνονται μεταξύ 4 - 20%.

Αναλυτικότερα, η περιεκτικότητα του καπνού του τσιγάρου σε CO κυμαίνεται μεταξύ 200 και 400 ppm. Αποτέλεσμα αυτού είναι το 5,9 % των μορίων αιμοσφαιρίνης στο αίμα ενός καπνιστή, που καπνίζει 1 πακέτο τσιγάρα / ημέρα, να είναι δεσμευμένα από το CO με την μορφή COHb. Στην περίπτωση ενός καπνιστή που καπνίζει 2 πακέτα ανά ημέρα, τα επίπεδα να ανέρχονται στο 10-15%, ενώ για έναν καπνιστή πούρων τα επίπεδα ανέρχονται στο 20 %. Τα υψηλά αυτά επίπεδα θέτουν τους καπνιστές σε ιδιαίτερο κίνδυνο στην περίπτωση περαιτέρω έκθεσης.^{4, 17, 25, 27, 28, 29}

Όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μερικές μελέτες επισήμαναν την ικανότητα

του ανθρώπινου οργανισμού να προσαρμόζεται σε ορισμένα επίπεδα έκθεσης. Πράγματι, υγιή νεαρά άτομα που εκτέθηκαν σε συγκέντρωση CO της τάξης των 44 ppm για μια παρατεταμένη περίοδο, δεν εκδήλωσαν συμπτώματα δηλητηρίασης [ACGIH 1986].²⁶ Επιπλέον, ενώ τα άτομα που εκτέθηκαν σε συγκέντρωση 50 ppm για μερικές μόνο μέρες εκδήλωσαν πονοκεφάλους, τα ίδια άτομα, κατά την έκθεσή τους σε συγκέντρωση 40 ppm για 60 ημέρες, δεν εκδήλωσαν κανένα σύμπτωμα [ACGIH 1986].²⁶ Κατ' ανάλογο τρόπο και οι καπνιστές εμφανίζουν κάποια προσαρμοστικότητα στα υψηλά επίπεδα COHb που διαμορφώνονται στο αίμα τους.

❖ **Άτομα που πάσχουν από καρδιοαναπνευστικές παθήσεις**

Όπως προαναφέρθηκε, τα υγιή, μη καπνίζοντα άτομα εκδηλώνουν συμπτώματα δηλητηρίασης όταν τα επίπεδα COHb στο αίμα τους είναι περίπου 5 %. Τα άτομα όμως που πάσχουν από καρδιακά νοσήματα (στηθάγχη, κακή κυκλοφορία κ.α.) εκδηλώνουν συμπτώματα όταν τα επίπεδα COHb στο αίμα τους είναι αρκετά χαμηλότερα (2,5 %). Το CO επιδρά στην ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς και επιδεινώνει την δυσλειτουργία της. Τα άτομα αυτά υποφέρουν από ισχυρούς πόνους στο στήθος και έντονο αίσθημα κόπωσης, κατά την διάρκεια ήπιας σωματικής άσκησης.^{25, 27, 29}

❖ **Ηλικιωμένοι**

Ιδιαίτερα ευαίσθητη υποομάδα του πληθυσμού αποτελούν και τα άτομα προχωρημένης ηλικίας. Ο εξασθενημένος από τα χρόνια οργανισμός τους, οι μειωμένες από τις ασθένειες αντοχές τους και η περιορισμένη κινητική και αντιληπτική τους ικανότητα, τους καθιστούν ευπρόσβλητους από το CO. Επιπρόσθετα, περιορίζουν την

ικανότητα τους να δράσουν έγκαιρα και αποτελεσματικά, προκειμένου να σώσουν τη ζωή τους.

2.1.4 Επικινδυνότητα του CO

Σύμφωνα με το αμερικανικό περιοδικό JAMA (Journal of the American Medical Association), το CO αποτελεί την βασικότερη αιτία θανάτου από δηλητηρίαση στις Η.Π.Α. ⁴ Αναλυτικότερα, το ύπουλο αυτό ασφυξιογόνο αέριο ευθύνεται ετησίως για την εκδήλωση συμπτωμάτων δηλητηρίασης (πυρετός, ρίγη, πονοκέφαλοι, ζαλάδες, ναυτία κ.α.) σε 10.000 περίπου ανθρώπους, οι οποίοι καταφεύγουν σε ιατρική υποστήριξη. Παράλληλα, το CO αποτελεί ετησίως την αιτία θανάτου 800 - 1000 ανθρώπων, εκ των οποίων οι 200, σύμφωνα με την CPSC (U.S. Consumer Product Safety Commission) σχετίζονται με την λειτουργία οικιακών συσκευών. Οι ειδικοί επισημαίνουν ότι είναι δύσκολο να εκτιμήσουν τον συνολικό αριθμό των περιστατικών, λόγω του ότι τα συμπτώματα της δηλητηρίασης από αυτόν τον ρύπο παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με τα συμπτώματα πολλών καθημερινών ασθενειών. ^{34, 40}

Ειδικότερα, στην Καλιφόρνια, το τοξικό αυτό αέριο ευθύνεται για το θάνατο 45 κατά μέσο όρο κατοίκων ετησίως. Περισσότεροι από τους μισούς θανάτους οφείλονται στην δυσλειτουργία ή στην ανυπαρξία κατάλληλου συστήματος εξαερισμού των οικιακών συσκευών, που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας πλούσια σε άνθρακα καύσιμα, όπως θερμάστρες και φούρνους υγραερίου, μαγκάλια κ.α. Το 1/3 των θανάτων οφείλεται στην παρουσία αυτοκινήτων εν λειτουργία σε κλειστά ιδιωτικά γκαράζ ή αυτοκινήτων ακινητοποιημένων για μεγάλο χρονικό διάστημα έξω από το σπίτι. ¹⁵

Επιπλέον, σύμφωνα με στοιχεία της ετήσιας έκθεσης της Association of Poison Control Centers Toxic Exposure Surveillance System για τα έτη 1996 και 1997:

Προσβληθείσες υποομάδες	1996	1997
Παιδιά ηλικίας κάτω των 6 ετών	3.029	3.116
Παιδιά ηλικίας μεταξύ 6 και 19 ετών	3.814	3.530
Ενήλικες ηλικίας άνω των 19 ετών	12.220	11.869

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με μελέτη των Kim και Kreisel στην Κορέα, στο 70% των νοικοκυριών χρησιμοποιείται ως συσκευή θέρμανσης και μαγειρέματος η μπριγκέτα κάρβουνου. Το γεγονός αυτό αποτελεί τη βασική αιτία για τις 4.304 δηλητηριάσεις που καταγράφηκαν κατά τα έτη 1965 – 1976, εκ των οποίων οι 3.158 απέβησαν θανατηφόρες.⁴

Επιπλέον, το CO καθίσταται ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους κατοίκους των μεγάλων πόλεων, οι οποίοι εκτίθενται αναπόφευκτα σε καθημερινή βάση στα υψηλά επίπεδα του ρύπου που χαρακτηρίζουν τις αστικές ατμόσφαιρες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η συγκέντρωση CO στους κεντρικούς αστικούς δρόμους, κατά τις ώρες αιχμής, κυμαίνεται μεταξύ 50 - 100 ppm. Συνεπώς, ο κίνδυνος προβλημάτων υγείας που διατρέχουν οι πεζοί, οι ποδηλάτες, οι μοτοσικλετιστές και οι πολίτες που εργάζονται στο δρόμο (πχ. οι τροχονόμοι, οι οδοκαθαριστές, τα πληρώματα των κινητών επισκευών, οι διανομείς κλπ.) είναι αρκετά υψηλός. Μελέτες που διεξήχθησαν σε διάφορες χώρες απέδειξαν ότι, ενώ οι συγκεντρώσεις CO στο εσωτερικό των αυτοκινήτων τείνουν να είναι κατά μέσο όρο 4 - 5 φορές υψηλότερες των αντίστοιχων αστικών συγκεντρώσεων υποβάθρου, τα επίπεδα έκθεσης των πεζών και των ποδηλατών είναι 40 - 60 % των καταμετρούμενων συγκεντρώσεων στο εσωτερικό των

αυτοκινήτων.⁴

Ειδικότερα, οι μελέτες που διεξήγαγε ο Chovin στο Παρίσι αναφέρουν μια αξιολογητή αύξηση της συγκέντρωσης CO στο αίμα των τροχονόμων μετά από 5 h εργασίας. Παράλληλα, η ίδια μελέτη επισημαίνει την εμφάνιση υψηλών επιπέδων COHb στο αίμα και των οδηγών των αυτοκινήτων. Επιπρόσθετα, οι Colwill και Hickman ανέφεραν ότι η μέση συγκέντρωση CO στο εσωτερικό των αυτοκινήτων που κινούνται στο κέντρο του Λονδίνου κυμαίνεται μεταξύ 12 και 60 ppm, δηλαδή μεταξύ 30 - 80 % των επιπέδων του ρύπου στο δρόμο. Οι ίδιοι μελετητές εκτίμησαν ότι τα επίπεδα COHb στο αίμα των επιβατών που εκθέτονται σε αυτές τις συγκεντρώσεις κυμαίνεται από 1,5 - 3,0 %.⁴

Επιπλέον, μελέτες που διεξήχθησαν σε διάφορες πόλεις των Η.Π.Α. επισήμαναν ότι επιβάτες των οχημάτων, κυρίως αυτών που κινούνται σε περιοχές κυκλοφοριακής συμφόρησης εκτίθενται σε επίπεδα της τάξης τουλάχιστον των 7 ppm και σε μερικές περιπτώσεις στην επικίνδυνα υψηλή συγκέντρωση των 77 ppm. Στο Λος Άντζελες, οι Petersen και Allen ανέφεραν ότι οι επιβάτες των οχημάτων εκτίθενται σε συγκεντρώσεις CO της τάξης του 92 % των αντίστοιχων επιπέδων του δρόμου. Σύμφωνα με τις μελέτες, στη Βοστώνη, οι ποδηλάτες εκθέτονται κατά μέσο όρο σε συγκεντρώσεις της τάξης των 12 ppm, ενώ κατά τις ώρες αιχμής οι στιγμιαίες μέγιστες τιμές έκθεσης ανέρχονται στα 100 ppm. Επιπλέον, οι Koushki et al. απέδειξαν ότι, στην πόλη Riyadh της Σαουδικής Αραβίας, κατά τις ώρες αιχμής, οι μοτοσικλετιστές εκτίθενται σε μια μέση συγκέντρωση CO που κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40 ppm, δηλαδή στο 84 % του μέσου επιπέδου CO στο δρόμο.⁴

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί η επικινδυνότητα του τσιγάρου ως πηγή εκπομπής του CO. Όπως προαναφέρθηκε, η περιεκτικότητα του καπνού του τσιγάρου σε CO

ανέρχεται στα 200 - 400 ppm. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι τα επίπεδα COHb στο αίμα ενός μέσου καπνιστή κυμαίνονται μεταξύ 5-10 %, ενώ στην περίπτωση μανιωδών καπνιστών τα επίπεδα ανέρχονται στα 15 - 17 %. Είναι προφανές ότι τα επίπεδα αυτά είναι από μόνα επαρκώς υψηλά για προκαλέσουν προβλήματα υγείας, ενώ παράλληλα επιδεινώνουν τον κίνδυνο των καπνιστών σε περίπτωση περαιτέρω έκθεσης. Επιπλέον, η συσσώρευση CO λόγω καπνίσματος στο εσωτερικό ενός οχήματος επιφέρει αύξηση των επιπέδων CO στα 90 ppm.

Επιπρόσθετα, έχει αποδειχθεί ότι το κάπνισμα σε εσωτερικούς χώρους, όπως καφετέριες και εστιατόρια, συνεπάγεται η συγκέντρωση του CO να ανέρχεται στα 20 - 30 ppm. Συνεπώς, είναι προφανές ότι η μεγάλης διάρκειας ή μεγάλης συχνότητας παραμονή ατόμων σε τέτοιους χώρους κρύβει υψηλό κίνδυνο για την υγεία των εκτιθέμενων.⁴

2.2 ΑΛΛΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

2.2.1 Επιπτώσεις στα ζώα¹⁷

Για τα ποντίκια, η μέση θανατηφόρος συγκέντρωση (LC₅₀) δηλαδή η συγκέντρωση CO στον αέρα η οποία, όταν παρέχεται στα ποντίκια για 4 h, επιφέρει τον θάνατο του 50 % αυτών, είναι 1807 ppm [NIOSH 1993].¹⁷

Στους σκύλους, επίπεδα COHb της τάξης των 5 % αυξάνουν την σοβαρότητα της εκδηλωνόμενης ισχαιμίας του μυοκαρδίου και συνδέονται άμεσα με την εκδήλωση οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου [ACGIH 1991].¹⁷

Γενικότερα, τα πειραματόζωα, κατά την δηλητηρίασή τους από το CO, παρουσιάζουν μειωμένη ταχύτητα διάδοσης των νευρικών κυμάτων και μεταβολή της μορφής των νευρικών κυττάρων [Glosselin 1984].¹⁸

Επιπρόσθετα, έχει διαπιστωθεί ότι το CO διέρχεται μέσα από τον πλακούντα της μήτρας των ζώων και επιδρά στο έμβρυο. Οι γόνιμοι ποντικών σε κατάσταση εγκυμοσύνης που εκτέθηκαν σε συγκεντρώσεις CO 150 ppm γεννήθηκαν ελλιποβαρείς, παρουσίαζαν μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης και εκδήλωναν μειωμένη ικανότητα ανταπόκρισης σε διάφορα ερεθίσματα. Επιπλέον, η έκθεση ποντικών σε κατάσταση εγκυμοσύνης σε 180 ppm CO προκάλεσε τον θάνατο κατά την διάρκεια της γέννας των 43 από τους 123 γόνους. Σημειώνεται ότι σε αντίστοιχο δείγμα ποντικών που δεν υπεβλήθησαν σε έκθεση CO, καταγράφηκε μόνο ένας θάνατος. Γενικά, το βάρος των νεογνών των ζώων που έχουν υποβληθεί σε έκθεση σε CO είναι κατά μέσο όρο 10 gr λιγότερο των νεογνών των μη εκτιθέμενων ζώων.¹⁷

2.2.2 Επιπτώσεις στη χημική σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας και στις κλιματολογικές μεταβολές

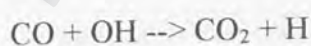
Το CO είναι ένα δραστικό χημικό είδος της γήινης ατμόσφαιρας που βρίσκεται σε αφθονία, καθ' ότι αντιπροσωπεύει το 80 % ανθρωπογενώς εκπεμπόμενων αερίων. Η σημαντική συμβολή του στις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα οφείλεται στην ικανότητα του να δεσμεύει τις ισχυρά οξειδωτικές ρίζες υδροξυλίου (OH). Η αντίδραση με το CO απομακρύνει περίπου το 75 % των OH σε περιοχές με καθαρή ατμόσφαιρα όπου τα NO_x και τα NMHC (non-methane hydrocarbons) είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα για να απομακρύνουν τις ρίζες OH (Thomson, 1992). Σύμφωνα με σχετικές μελέτες, έχει αποδειχθεί ότι, σε καθαρή τροπόσφαιρα, μια αύξηση x % στην συγκέντρωση CO επιφέρει μείωση των τροποσφαιρικών ριζών OH κατά $x/4(\pm 1)$ %.^{1,4}

Οι ρίζες OH διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην φωτοχημεία της τροπόσφαιρας. Αναλυτικότερα, η αντίδραση με τις OH θεωρείται ως ο κυριότερη αιτία καταστροφής πολλών αερίων της ατμόσφαιρας, ιδίως αυτών που χαρακτηρίζονται από χαμηλή διαλυτότητα στο νερό, όπως τα NO, SO₂, O₃ και άλλοι πτητικοί υδρογονάνθρακες, συμπεριλαμβανομένων των χλωριοφθοριωμένων και θειούχων HC.^{1,4} Συνεπώς, η αύξηση του τροποσφαιρικού CO έχει ως αποτέλεσμα:

- την αύξηση των συγκεντρώσεων και του χρόνου ζωής αυτών των αερίων, τα οποία συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου,
- την αύξηση της μεταφοράς των αερίων αυτών στην στρατόσφαιρα, γεγονός που επιδρά στην συγκέντρωση του στρατοσφαιρικού O₃.

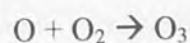
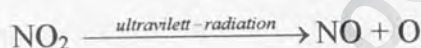
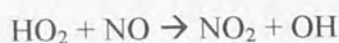
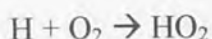
Παρόλα αυτά, οι ερευνητές Kuhlman et al. απέδειξαν ότι η παρουσία του CO στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις 15 - 30 ppm προκαλεί σημαντική μείωση στο ρυθμό οξείδωσης του ατμοσφαιρικού SO₂ προς τον σχηματισμό αερολυμάτων θεικών. Τα αερολύματα αυτά στην τροπόσφαιρα λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης υδρατμών οι οποίοι ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το CO μέσω των σχηματιζόμενων αερολυμάτων εξουδετερώνουν σε κάποιο βαθμό στην πλανητική θέρμανση που προκαλούν τα αέρια του θερμοκηπίου.⁴

Η κυριότερη συμβολή του CO στο φαινόμενο του θερμοκηπίου συνίσταται στην παραγωγή CO₂, ως προϊόν της οξείδωσης του από τις ρίζες OH.



Μια επιπλέον έμμεση συμβολή του CO στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η συμμετοχή του στην παραγωγή του O₃. Και αυτό διότι το όζον παίζει σημαντικό ρόλο στην Πλανητική Θέρμανση (Global Warming), καθώς απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία στη μέση του «ατμοσφαιρικού παραθύρου» (μήκη κύματος 8 - 10 μm)

εκεί όπου τα περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου έχουν μικρή επίδραση. Αναλυτικότερα οι αντιδράσεις οξειδωσης του CO που οδηγούν στο σχηματισμό σημαντικής ποσότητας O₃ λαμβάνουν χώρα παρουσία επαρκούς ποσότητας NO (δηλαδή συγκέντρωσης μεγαλύτερης των 3 – 8 ppm στο επίπεδο του εδάφους και 20 ppm στην ανώτερη τροπόσφαιρα).⁴



Σε αυτήν περίπτωση, ο ρυθμός παραγωγής όζοντος είναι περίπου ανάλογος της συγκέντρωσης NO. Επιπλέον, όπως έχει αποδειχθεί, η αντίδραση ενός μορίου O με μια OH οδηγεί στο σχηματισμό ενός μορίου O₃.⁴ Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις NO δεν είναι ασυνήθιστες :

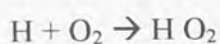
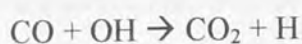
α) στις βιομηχανικές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους του βόριου ημισφαιρίου,

β) στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και τα κατώτερα της στρατόσφαιρας, όπου υπάρχουν φυσικές πηγές NO_x και

γ) στις τροπικές και υποτροπικές ηπείρους κατά τις περιόδους καύσης της ξηρής βιομάζας.

Το γεγονός αυτό ερμηνεύει τουλάχιστον μερικώς την παρατηρούμενη αύξηση του O₃ τόσο στις περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους του βόριου ημισφαιρίου, όσο και στις τροπικές περιοχές της Αφρικής και της Ν. Αμερικής.

Αντιθέτως, σε περιβάλλον φτωχό σε NO, η οξειδωση του CO ακολουθεί έναν διαφορετικό δρόμο, ο οποίος καταλήγει στην καταστροφή του τροποσφαιρικού όζοντος.⁴



Επιπρόσθετα η έμμεση συμβολή του CO στο φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν περιορίζεται μόνο στην μέσω αυτού παραγωγή του CO₂ και O₃. Συμβάλλει και στην αύξηση του χρόνου ζωής του μεθανίου (CH₄) στην γήινη τροπόσφαιρα, ενός αερίου που αποτελεί το δεύτερο, μετά το CO₂, σε σημαντικότητα αέριο θερμοκηπίου. Αναλυτικότερα, λόγω της ικανότητας του να μειώνει τη διαθεσιμότητα των ριζών OH, παρεμποδίζει την αντίδραση κατανάλωσης του CH₄:



με αποτέλεσμα αυτό να συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η συνεισφορά του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι της τάξης του 18 %, ενώ αυτή του CO₂ είναι 49 %. Επιπλέον, η δραστηριότητα του είναι 24 φορές μεγαλύτερη από αυτή του CO₂ και ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα λόγω των ανθρωπογενών εκπομπών υπερβαίνει αυτή του CO₂. Λαμβάνοντας συνεπώς υπόψη το ότι μετά από 50 περίπου χρόνια το CH₄ θα είναι αυτό που θα ευθύνεται κατά κύριο λόγο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, και αυτή η συμβολή του CO είναι σημαντική.⁴

3. ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥ CO

3.1 ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΘΙΕΡΩΣΗΣ ΟΡΙΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ CO

Η συνειδητοποίηση της ανάγκης για έλεγχο της ποιότητας του αέρα επικέντρωσε το επιστημονικό ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες στην μελέτη της συμπεριφοράς μιας σχετικά μικρής ομάδας ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι ρύποι αυτοί είναι γνωστοί με τον όρο *ρύποι-κριτήρια* και σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσεται και το CO. Στόχος των επιστημόνων είναι η κατά το δυνατόν ολοκληρωμένη εκτίμηση των επιπτώσεων της έκθεσης του ανθρώπου στους ρύπους αυτούς και η λήψη αποτελεσματικών μέτρων για την προστασία της Δημόσιας Υγείας.²⁰

Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας, η καθιέρωση των ορίων για καθέναν από τους ρύπους-κριτήρια και η ενσωμάτωσή τους στην Εθνική Νομοθεσία κάθε χώρας αποτελεί σημαντικό βήμα για την προστασία της υγείας του πληθυσμού. Η θέσπιση όμως ορίων έκθεσης προϋποθέτει την ποσοτική εκτίμηση της σχέσης δόσης - αποτελέσματος του κάθε ρύπου στον ανθρώπινο οργανισμό. Κάτι τέτοιο είναι πολύ δύσκολο καθώς, η ανταπόκριση του οργανισμού (άμεσες ή χρόνιες επιπτώσεις) είναι η συνισταμένη μεγάλου αριθμού παραγόντων (πχ. χαρακτηριστικά πληθυσμιακών υποομάδων, συνθήκες έκθεσης, κλιματολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έκθεσης κ.α.). Το βασικό κριτήριο καθορισμού των ορίων έκθεσης εντοπίζεται στην εξασφάλιση της προστασίας της Δημόσιας Υγείας γενικότερα και ειδικότερα των ομάδων υψηλού κινδύνου. Γι' αυτό τον λόγο, η διαμόρφωσή τους στηρίζεται στα αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών και βιολογικών τοξικολογικών ερευνών σε πειραματόζωα.^{20, 36}

Τα όρια έκθεσης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την υποχρεωτική ή μη φύση τους:

- ◆ Τα πρότυπα όρια έκθεσης (Air Quality Standards)
- ◆ Τα προτεινόμενα όρια έκθεσης (Guidelines ή Recommended Exposure Limits ή Limit Values)

3.1.1 Τα πρότυπα όρια έκθεσης (Standard Concentration)

Πρόκειται για θεσμοθετημένες οριακές συγκεντρώσεις έκθεσης, οι οποίες, περιλαμβάνοντας ένα «ικανοποιητικό περιθώριο ασφαλείας», εξασφαλίζουν την προστασία της Δημόσιας Υγείας από τις επιπτώσεις του εκάστοτε ρύπου-κριτήριου. Τα πρότυπα αυτά διαμορφώνονται με βάση τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (επιπτώσεις στην υγεία) και όχι με βάση τα αίτια που την προκαλούν. Τα πρότυπα αυτά θεσμοθετούνται από οργανισμούς όπως η ΕΡΑ των Η.Π.Α. (Environmental Protection Agency).²⁰

Υπάρχουν δυο είδη προτύπων :

- ◆ Τα αρχικά (*primary*) πρότυπα, τα οποία οφείλουν να προστατεύουν το σύνολο του πληθυσμού, συμπεριλαμβανομένων και των πλέον ευαίσθητων υποομάδων (ομάδες υψηλού κινδύνου) από τις επιπτώσεις του ρύπου στην υγεία τους.
- ◆ Τα δευτερεύοντα (*secondary*) πρότυπα, τα οποία στοχεύουν στην προστασία της Δημόσιας Ευημερίας, δηλαδή στην προστασία για τις γεωργικές σοδειές, την βλάστηση, τα οικοσυστήματα, την διαύγεια της ατμόσφαιρας, τις υφάνσιμες ύλες, τις κατασκευές κλπ. Είναι προφανές ότι τα πρότυπα αυτά πρέπει να είναι πιο αυστηρά από τα αντίστοιχα αρχικά.

Για το CO, το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επισημαίνεται ότι δεν έχουν θεσπιστεί έως τώρα δευτερεύοντα πρότυπα.

3.1.2 Τα προτεινόμενα όρια έκθεσης (Guidelines).

Αποτελούν προτεινόμενες οριακές τιμές έκθεσης που καθορίζονται από οργανισμούς διεθνούς κύρους, όπως η WHO (World Health Organization). Πρόκειται για τα επίπεδα του εκάστοτε ρύπου, κάτω από τα οποία, η έκθεση για μια δεδομένη διάρκειας περίοδο δεν επιφέρει επιπτώσεις στην Δημόσια Υγεία. Με αυτόν τρόπο οι τιμές αυτές αποτελούν την βάση για την θέσπιση πρότυπων ορίων σε εθνικό ή διεθνές επίπεδο.^{37,38}

Όμως, ο καθορισμός προτύπων, κατάλληλων να ενταχθούν στις Εθνικές Νομοθεσίες, προϋποθέτει την συνεκτίμηση ενός πλήθους άλλων παραγόντων. Τέτοιοι είναι τα επικρατούντα σε κάθε χώρα επίπεδα έκθεσης, το τεχνολογικώς εφικτό των ορίων, τα εφαρμοζόμενα μέτρα ελέγχου των εκπομπών, οι υιοθετηθείσες στρατηγικές ελάττωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς και διάφοροι επιπρόσθετοι κοινωνικοί, οικονομικοί και πολιτιστικοί παράγοντες. Συνεπώς, τα εθνικά ή διεθνή νομοθετημένα πρότυπα μπορεί να είναι υψηλότερα ή χαμηλότερα σε σχέση με τα προτεινόμενα όρια, καθώς αυτά διαμορφώνονται με μοναδικό κριτήριο την Δημόσια Υγεία.^{37,38}

Οι προτεινόμενες τιμές δεν διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν η έκθεση στον εκάστοτε ρύπο λαμβάνει χώρα σε εσωτερικό χώρο ή στην εξωτερική ατμόσφαιρα, και αυτό διότι, αν και ο χώρος έκθεσης καθορίζει το είδος και την συγκέντρωση των αερίων ρύπων, δεν επιδρά άμεσα στην σχέση δόσης - αποτελέσματος.^{37,38}

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι αν και τα προτεινόμενα όρια έκθεσης λειτουργούν προστατευτικά στην ανθρώπινη υγεία, σε καμιά περίπτωση δεν αποτελούν

«πράσινο φως» για την αέρια ρύπανση. Είναι προφανές ότι οι προσπάθειες πρέπει να ενταθούν ώστε τα επίπεδα της αέριας ρύπανσης, εσωτερικής ή εξωτερικής, να είναι τόσο χαμηλά, όσο πρακτικά αυτό είναι εφικτό.

3.2 ΙΣΧΥΟΝΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ CO

Τα ισχύοντα όρια έκθεσης για το CO, ανάλογα με την νομοθετική ή μη ισχύ τους και με το είδος του χώρου έκθεσης για τον οποίο διαμορφώνονται κατατάσσονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες :

- ◆ Τα Πρότυπα Ποιότητας Αέρα (Ambient Air Quality)
- ◆ Τα Όρια Έκθεσης για τους Εργαζομένους (Occupational Exposure Limits)
- ◆ Τα Προτεινόμενα Επίπεδα Ποιότητας Αέρα (Εσωτερικών και εξωτερικών Χώρων) (Air Quality Guidelines)

3.2.1 Πρότυπα Ποιότητας κατά EPA

Ο οργανισμός EPA των Η.Π.Α. (Environmental Protection Agency) έχει θεσπίσει τα Εθνικά Πρότυπα Ποιότητας Ατμοσφαιρικού Αέρα (NAAQS: National Ambient Air Quality Standards). Τα πρότυπα αυτά αναφέρονται στους ακόλουθους έξι ρύπους-κριτήρια : το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τον μόλυβδο (Pb), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το όζον (O₃), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) και το διοξείδιο του θείου (SO₂). Τα εν λόγω όρια έκθεσης είναι ενσωματωμένα στην νομοθεσία των Η.Π.Α. και

κατά καιρούς ανανεώνονται, βάσει νέων στοιχείων που προκύπτουν από επιδημιολογικές μελέτες και σχετικές έρευνες.

Για το CO, τα νομοθετημένα πρότυπα που εκδόθηκαν από την EPA και είναι σε ισχύ από το έτος 1997 προβλέπουν :

♦ Η μέση 8-ωρη συγκέντρωση CO στην ατμόσφαιρα, των διαδοχικών μη αλληλοεπικαλυπτόμενων (nonoverlapping) 8-ώρων, να μην υπερβεί το όριο των **9 ppm** ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) περισσότερες από μια φορά τον χρόνο. Μια περιοχή, για να θεωρηθεί ότι έχει επιτύχει σημαντική βελτίωση στην ποιότητα του αέρα ως προς το CO, θα πρέπει να ικανοποιεί τα πρότυπα NAAQS τουλάχιστον για δύο διαδοχικά έτη.

♦ Η μέση ωριαία συγκέντρωση CO στην ατμόσφαιρα, να μην υπερβεί το όριο των **35 ppm** ($40 \text{mg}/\text{m}^3$) περισσότερες από μία φορά το χρόνο.

3.2.2 Όρια έκθεσης για τους εργαζομένους κατά OSHA, NIOSH και

ACGIH

Ορισμένες κατηγορίες εργαζομένων, εξαιτίας της φύσης της εργασίας που επιτελούν, διατρέχουν επιπρόσθετο κίνδυνο έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις CO. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν: οι εργάτες των μονάδων παραγωγής ακετυλενίου, οι εργαζόμενοι ζυθοποιίας και των μονάδων παραγωγής μαύρου άνθρακα, οι χειριστές φούρνων υψηλών θερμοκρασιών και φούρνων που καίνε κάρβουνο, οι χειριστές μηχανών diesel, οι εργαζόμενοι σε αποβάθρες και αποθήκες, οι μηχανικοί αυτοκινήτων σε γκαράζ, οι μεταλλωρύχοι, οι εργαζόμενοι πετροχημικών μονάδων και διυλιστηρίων, οι εργαζόμενοι χαρτοβιομηχανιών και μονάδων επεξεργασίας χαρτοπολλτού, οι εργαζόμενοι μονάδων επεξεργασίας χαλκού και άλλων μετάλλων κ.λ.π.³⁹

Συνεπώς, η δημοσίευση οριακών επιπέδων έκθεσης για το CO, ειδικά διαμορφωμένων για να είναι εφαρμόσιμες σε εργασιακή ατμόσφαιρα, αποτέλεσε επιτακτική ανάγκη για την προστασία των εργαζομένων. Τρεις οργανισμοί, διεθνούς κύρους, ανέλαβαν την έκδοση οριακών τιμών έκθεσης (L.V. : Limit Value) για τους εργαζομένους :

1. Ο OSHA (Occupational Safety and Health Administration) έχει εκδώσει τρία είδη επιτρεπόμενων ορίων έκθεσης (PEL: Permissible Exposure Limit) που είναι σήμερα σε ισχύ:

- ◆ **TLV-TWA: 50 ppm** (Threshold Limit Value-Time Weight Average)

Πρόκειται για τη μέση χρονικά σταθμισμένη συγκέντρωση CO, για κανονική 8-ωρη ημερήσια εργασία και 40-ωρη εβδομαδιαία, στην οποία σχεδόν όλοι οι εργαζόμενοι μπορούν επανειλημμένα να εκτεθούν χωρίς ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην υγεία τους.

- ◆ **TLV-C: 200 ppm** (TLV - Ceiling)

Πρόκειται για την οριακή τιμή οροφής, δηλαδή η συγκέντρωση που δεν πρέπει να ξεπεραστεί για διάστημα 15 min κατά τη διάρκεια έκθεσης των εργαζομένων.

- ◆ **Στιγμιαία οριακή τιμή : 1.500 ppm**

2. Το ινστιτούτο NIOSH των Η.Π.Α. (National Institute of Occupational Safety Health) εξέδωσε το 1992 τις εξής προτεινόμενες οριακές τιμές (REL: Recommended Exposure Limit) για το CO:

- ◆ **TLV-TWA: 35 ppm** (Threshold Limit Value-Time Weight Average)

Η μέση χρονικά σταθμισμένη συγκέντρωση των 35 ppm για 8-ωρη ημερήσια

και 40-ωρη εβδομαδιαία εργασία αντιστοιχεί στα προτεινόμενα επίπεδα COHb στο αίμα των εργαζομένων των 5%.

◆ **TLV-C: 200 ppm (TLV - Ceiling)**

Αξιίζει να αναφερθεί ότι τα L.V. της NIOSH διαμορφώθηκαν με στόχο να αποτρέψουν τον επικείμενο κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων. Είναι προφανές ότι οι προτεινόμενες αυτές τιμές ταυτίζονται με τα PEL του OSHA.

3. Η Αμερικανική Εταιρεία ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) όρισε την οριακή τιμή κατωφλίου (TLV) για το CO ως εξής:

◆ **TLV-TWA: 25 ppm (Threshold Limit Value-Time Weight Average)**

Η μέση χρονικά σταθμισμένη συγκέντρωση CO, για κανονική 8-ωρη ημερήσια εργασία και 40-ωρη εβδομαδιαία.

Τα προτεινόμενα αυτά όρια έχουν οριστεί κατά τρόπο που να προστατεύουν τους εργαζομένους από τον κίνδυνο εμφάνισης υψηλών επιπέδων COHb στο αίμα τους.

3.2.3 Προτεινόμενα Όρια Έκθεσης του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας

WHO's guidelines)

Ο οργανισμός WHO (World Health Organization) δημοσιεύει προτεινόμενα όρια έκθεσης, τα οποία δεν είναι δια νόμου υποχρεωτικά, αλλά αποτελούν τη βάση για τον καθορισμό ορίων έκθεσης σε εθνικό επίπεδο.^{37, 38} Για το CO, τα όρια αυτά διατυπώθηκαν το 1994, με βάση την απαίτηση τα επίπεδα COHb στο αίμα των εκτεθειμένων ατόμων να μην υπερβαίνουν το κρίσιμο επίπεδο των 2,5%. Αυτά παραθέτονται στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 4):

WHO	Μέση ετήσια συγκέντρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα	Κρίσιμο επίπεδο για την υγεία	Προτεινόμενη τιμή		Μέση τιμή
			mg/m ³	ppm	
CO	500-7.000 [g/m ³]	COHb < 2,5%	100	87	15 Min
			60	52	30 Min
			30	26	1 H
			10	9	8 H

Πίνακας 4: Προτεινόμενα όρια έκθεσης του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO's guidelines) για το CO. ^{37,38}

Τα παραπάνω προτεινόμενα όρια έκθεσης της WHO αποτελούν τη βάση για τον καθορισμό των οριακών τιμών έκθεσης στα κράτη - μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα, δεν υπάρχουν επίσημα πρότυπα ή προτεινόμενες τιμές για τα επιτρεπόμενα επίπεδα έκθεσης στο CO. Στο εγγύς όμως μέλλον αναμένεται η καθιερωμένη ντιρεκτίβα της Ε.Ε., η οποία θα περιλαμβάνει οριακές τιμές έκθεσης και για το CO. Αυτή θα αποτελέσει τη βάση για τη θεσμοθέτηση των εθνικών προτύπων για το CO.

Όλα τα προαναφερθέντα οριακά επίπεδα έκθεσης για το CO παραθέτονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 5)

CO	Οργανισμός	Όριο έκθεσης (ppm)	Περίοδος αναφοράς της μέσης τιμής
Ambient Air Quality Standard	EPA	9	8 h
		35	1 h
Occupational Limit Values	OSHA	50	8 h
		200	5 min
		1.500	Στιγμιαία
	NIOSH	35	8 h
		200	5 h
	ACGIH	25	8h
Indoor/Outdoor Guidelines	WHO	87	15 min
		52	30 min
		26	1h
		9	8 h

Πίνακας 5: Ισχύοντα οριακά επίπεδα έκθεσης για το CO. ^{6, 17, 22, 37, 38}

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΟ

CO

Τις τελευταίες δεκαετίες, κατεβλήθησαν σε παγκόσμια κλίμακα σημαντικές προσπάθειες για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η λήψη μέτρων για την ελάττωση των ανθρωπογενών εκπομπών και η θέσπιση διαρκώς αυστηρότερων προτύπων για τα επιτρεπόμενα επίπεδα έκθεσης επέφεραν αξιόλογη βελτίωση στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Το γεγονός αυτό όμως δεν εξασφάλισε αντίστοιχη μείωση της συνολικής έκθεσης του πληθυσμού σε ιδιαίτερα επικίνδυνους ρυπαντές, όπως CO, NO_x, TSP, υδρογονάνθρακες κ.α. Αιτία αποτελεί η καθοριστική συμβολή της «εσωτερικής» αέριας ρύπανσης στη διαμόρφωση των επιπέδων ημερήσιας ατομικής έκθεσης.

Όπως επισημαίνουν μελέτες του Αμερικανικού Γραφείου Περιβαλλοντικής Προστασίας (Environmental Protection Agency / EPA), τα επίπεδα των αερίων ρύπων στους εσωτερικούς χώρους μπορεί να είναι 2-5 φορές υψηλότερα των επιπέδων στην εξωτερική ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού περνάει το 75-90 % του ημερήσιου χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους. Μάλιστα, κοινωνικές υποομάδες ιδιαίτερα ευάλωτες στις επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης, όπως οι ηλικιωμένοι, οι ασθενείς και τα βρέφη, δαπανούν πρακτικά το 100 % του χρόνου τους σε κλειστούς χώρους. Επομένως, δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι η EPA κατατάσσει την αέρια ρύπανση των εσωτερικών χώρων μεταξύ των κυριότερων απειλών της ανθρώπινης υγείας.

Συνεπώς, για ρύπους που εκπέμπονται τόσο από εξωτερικές όσο και από εσωτερικές πηγές, όπως το CO, τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης (ΠΕΡΠΑ) παρέχουν μια παραπλανητική εικόνα των επιπέδων ατομικής έκθεσης. Από μόνα τους είναι ανεπαρκή για να εκτιμηθεί η σοβαρότητα του προβλήματος στις πραγματικές της διαστάσεις και να ληφθούν μέτρα για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η σύγχρονη γνώση τόσο εξωτερικών όσο και των εσωτερικών επιπέδων του υπό μελέτη ρύπου.

Στην παρούσα εργασία, ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων CO στους κλειστούς χώρους πραγματοποιείται με χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης της «εσωτερικής» αέριας ρύπανσης. Το χρησιμοποιούμενο μοντέλο θεωρεί ότι τα επίπεδα CO στο εσωτερικό είναι αποτέλεσμα της συμβολής των εξής παραγόντων :

- i) της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.
- ii) του ρυθμού εναλλαγής του αέρα μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.
- iii) των εσωτερικών πηγών εκπομπής του ρύπου.
- iv) του βαθμού απομάκρυνσης του ρύπου λόγω της χημικής του δραστηριότητας.

4.1 ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

4.1.1 Εισαγωγή

Βιβλιογραφικά αναφέρονται αρκετές προσεγγίσεις του προβλήματος εκτίμησης της αέριας ρύπανσης που διαμορφώνεται στο εσωτερικό ενός χώρου. Οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: ⁵

➤ Τα ντετερμινιστικά μοντέλα, τα οποία αναπτύσσονται βάσει του ισοζυγίου μάζα του υπό εξέταση ρύπου σε ένα πλήρως καθορισμένο όγκο ελέγχου.

➤ Τα εμπειρικά μοντέλα, που αναπτύσσονται βάσει των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης πειραματικών δεδομένων που ελήφθησαν τόσο από την εξωτερική ατμόσφαιρα όσο και από το εσωτερικό του χώρου. Βασικό εργαλείο για την διατύπωση τέτοιων εξισώσεων είναι η ανάλυση των ελαχίστων τετραγώνων.

➤ Τα ημιεμπειρικά μοντέλα, που αποτελούν έναν συνδυασμό των δυο παραπάνω κατηγοριών, Η ανάπτυξη αυτών των μοντέλων βασίζεται στην εμπειρική προσαρμογή των παραμέτρων του ισοζυγίου μάζας σε τιμές που προκύπτουν από την στατιστική ανάλυση πειραματικών μετρήσεων.

Η καθεμιά από τις παραπάνω προσεγγίσεις έχει τα δικά της πλεονεκτήματα. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα έχουν γενικότερη εφαρμογή, δεδομένου ότι δεν υπόκεινται σε περιορισμούς, Αντίθετα, η χρήση πειραματικών δεδομένων για την εξαγωγή παραμέτρων στα εμπειρικά μοντέλα περιορίζει τις συνθήκες εφαρμοσιμότητας του μοντέλου. Ωστόσο, τα εμπειρικά μοντέλα, όταν εφαρμόζονται εντός των ορίων ισχύος τους, παρέχουν πιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με τα ντετερμινιστικά. Τέλος, τα ημιεμπειρικά μοντέλα έχουν στόχο να

συνδυάσουν, κατά τον πιο αποτελεσματικό τρόπο, τα πλεονεκτήματα και των δυο παραπάνω μοντέλων.

Το Μοντέλο Ενός Χώρου (*One Compartment Model: OCM*), το οποίο θα αναπτυχθεί και θα εφαρμοστεί στην παρούσα εργασία, ανήκει στην κατηγορία των ντετερμινιστικών μοντέλων.

4.1.2 Μοντέλα Ενός Χώρου (One Compartment Model: OCM)

Το Μοντέλο Ενός Χώρου (OCM) είναι ένα μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης της αέριας ρύπανσης στους εσωτερικούς χώρους. Αναπτύχθηκε με σκοπό να επιτρέπει τον προσδιορισμό της ημερήσιας ατομικής έκθεσης διαφόρων υποομάδων του πληθυσμού, λαμβάνοντας υπόψη το ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων (activity pattern) της κάθε υποομάδας.

Η γενική εξίσωση του μοντέλου προέρχεται από το ισοζύγιο μάζας του υπό μελέτη ρύπου, στον εξεταζόμενο όγκο ελέγχου. Παίρνοντας ως δεδομένα τις συγκεντρώσεις του εκάστοτε ρύπου στην ατμόσφαιρα και λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που επιδρούν στην διαμόρφωση της εσωτερικής ρύπανσης:

- α) την χαρακτηριστικά του χώρου (όγκος, υλικό επιφανειών, φυσικός - μηχανικός εξαερισμός, ύπαρξη εσωτερικών πηγών εκπομπής κλπ.) και
- β) τις φυσικές - χημικές ιδιότητες του ρύπου

Υπολογίζονται οι αντίστοιχες ωριαίες εσωτερικές συγκεντρώσεις. Και με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η εκτίμηση των επιπέδων ατομικής έκθεσης σε διαφορετικά μικρο-περιβάλλοντα.

Το OCM θεωρεί τον υπό μελέτη χώρο ως ένα ενιαίο κυβικό δωμάτιο, όγκου ίσου με το άθροισμα των όγκων των επιμέρους τμημάτων του. Ο χώρος αυτός

θεωρείται ότι διαθέτει μεγάλη επιφάνεια για την απόθεση των ρύπων, Η είσοδος του υπό εξέταση ρύπου στον εξεταζόμενο όγκο ελέγχου θεωρείται ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους:⁵

- ♦ με την φυσική εισροή του ατμοσφαιρικού αέρα από παράθυρα, πόρτες, χαραμάδες, κλειδαρότρυπες κλπ. (infiltration)
- ♦ με την εξαναγκασμένη εισροή του αέρα μέσω του εγκατεστημένου συστήματος εξαερισμού (makeup air)
- ♦ μέσω του συστήματος ανακυκλοφορίας, το οποίο ανακυκλώνει ορισμένη ποσότητα από το εξερχόμενο ρεύμα αέρος (recirculation)

Σε δυο από τα τρία σημεία εισόδου του αέρα στον χώρο, δηλ. στο σύστημα εξαναγκασμένης εισροής και στο σύστημα ανακυκλοφορίας, λαμβάνεται υπόψη η ενδεχόμενη ύπαρξη συστημάτων καθαρισμού του αέρα ανάλογα με την ικανότητα τους να απομακρύνουν ποσοστό του συγκεκριμένου ρύπου.

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το αναπτυσσόμενο μοντέλο, η έξοδος του ρύπου από τον όγκο ελέγχου μπορεί να πραγματοποιηθεί με δυο τρόπους:⁵

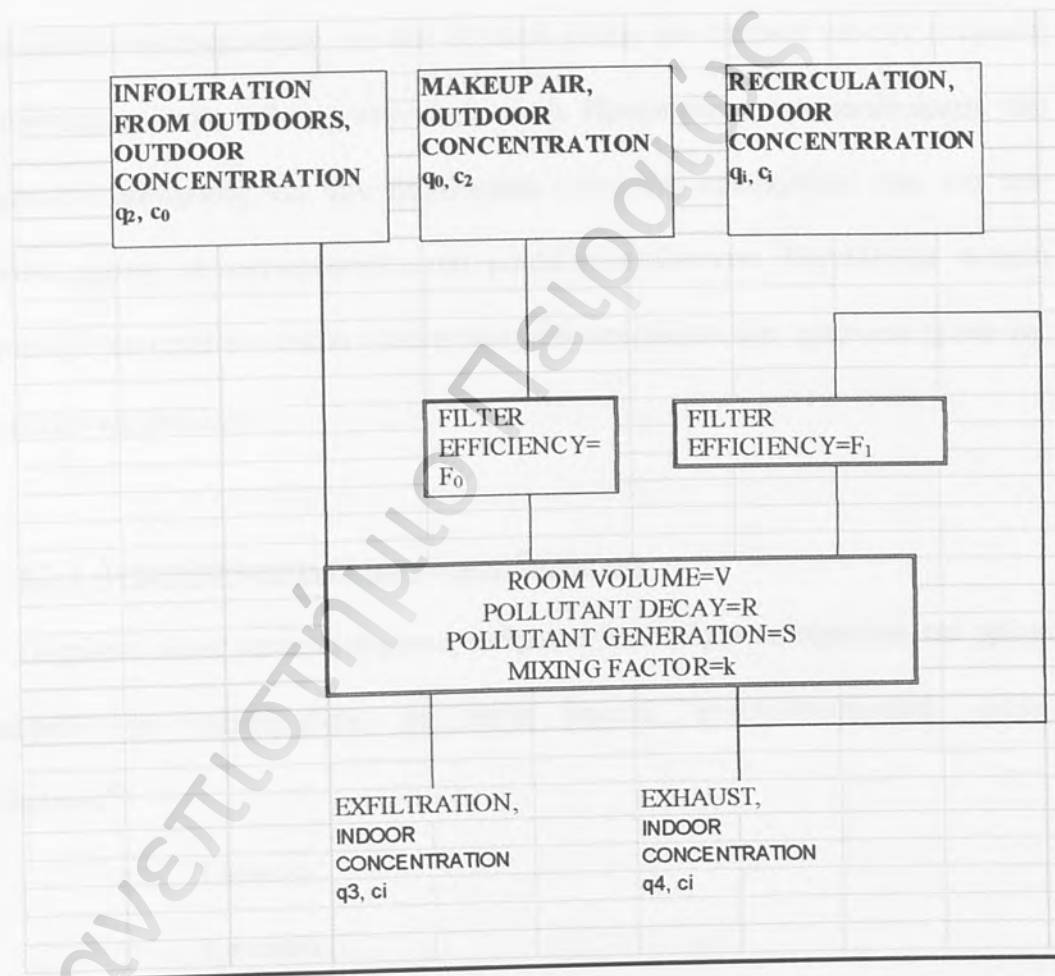
- ♦ Με τη φυσική εκροή του περιεχομένου στο χώρο αέρα από τα παράθυρα, πόρτες, χαραμάδες, κλειδαρότρυπες κλπ. (exfiltration)
- ♦ Με την εξαναγκασμένη εκροή του περιεχόμενου στο χώρο αέρα μέσω του σωλήνα εξόδου του συστήματος εξαερισμού (exhaust)

Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη το συντελεστή ανάμιξης του περιεχόμενου στο χώρο αέρα. Η τιμή του καθορίζεται από πλήθος παραγόντων, όπως τον όγκο του εξεταζόμενου χώρου, την ύπαρξη ή μη συστήματος τεχνητής ανάμιξης κ.α.

Επιπλέον, ως παράμετρος του μοντέλου θεωρείται ο ρυθμός κατακρήμνισης του ρύπου. Η τιμή αυτού του ρυθμού επιλέγεται ανάλογα με το είδος του εξεταζόμενου

ρύπου καθώς και με την εσωτερική μορφολογία του χώρου (ύπαρξη ή μη ταπετσαρίας, χαλιών, καλυμμάτων επίπλων κ.α.).

Η παραπάνω περιγραφή του μοντέλου παριστάνεται συνοπτικά στο ακόλουθο σχήμα (σχήμα 9):



Σχήμα 9: Σχηματική αναπαράσταση του ισοζυγίου μάζας σύμφωνα με το μοντέλου ενός χώρου⁵

4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ

ΕΚΘΕΣΗΣ

Το μοντέλο ενός χώρου (OCM) επιτρέπει την πρόβλεψη των επιπέδων ενός ρύπου στο εσωτερικών πολλών διαφορετικών χώρων. Η γνώση όμως των εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων του υπό εξέταση ρύπου δεν επαρκεί για την εκτίμηση της ημερήσιας ατομικής έκθεσης του πληθυσμού. Προϋποθέτει την υποδιαίρεση του πληθυσμού σε υποομάδες και την ταξινόμηση τόσο των εσωτερικών όσο και των εξωτερικών χώρων σε αντιπροσωπευτικά μικρο-περιβάλλοντα. Παράλληλα απαιτεί γνώση του τρόπου κατά τον οποίο η κάθε υποομάδα κατανέμει τον ημερήσιο χρόνο της σε κάθε μικρο-περιβάλλον.

4.2.1 Αντιπροσωπευτικά μικρο-περιβάλλοντα

Οι χώροι στους οποίους ο μέσος άνθρωπος κατανέμει καθημερινά τον χρόνο του μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε βασικά, αντιπροσωπευτικά μικρο-περιβάλλοντα:⁴¹

- Γραφείο
- Κατοικία
- Μηχανοκίνητο όχημα
- Εξωτερικό περιβάλλον, διπλά σε αυτοκινητόδρομο
- Εξωτερικό περιβάλλον (οπουδήποτε αλλού)

Τα πέντε παραπάνω μικρο-περιβάλλοντα μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δέκα επιμέρους μικρο-περιβάλλοντα, βάσει ορισμένων χαρακτηριστικών που τα διαφοροποιούν μεταξύ τους:

- Γραφείο με τυπικό σύστημα κλιματισμού που εξασφαλίζει τόσο την θέρμανση όσο και την ψύξη του χώρου
- Γραφείο με ενεργειακά αποδοτικά (energy-efficient) συστήματα
- Σχολείο
- Κατοικία κατασκευασμένη πριν από το 1975, με κλειστά παράθυρα
- Κατοικία κατασκευασμένη μετά το 1975 βάσει ενεργειακά αποδοτικού συστήματος (energy-efficient), με κλειστά παράθυρα
- Κατοικία με ανοιχτά παράθυρα
- Κατοικία με σύστημα κλιματισμού σε λειτουργία
- Εσωτερικό μηχανοκίνητο οχήματος
- Εξωτερικό περιβάλλον, κοντά σε αυτοκινητόδρομο
- Εξωτερικό περιβάλλον (οπουδήποτε αλλού)

Σημειώνεται ότι η ποιότητα του αέρα στα 8 από τα 10 μικρο-περιβάλλοντα εκτιμάται μέσω της εφαρμογής του μοντέλου ενός χώρου (OCM).

4.2.2 Αντιπροσωπευτικές υποομάδες του πληθυσμού

Η υποδιαίρεση του πληθυσμού σε υποομάδες είναι απαραίτητη για να διαμορφωθούν ημερήσια προγράμματα δραστηριοτήτων, που να αντιπροσωπεύουν το σύνολο του πληθυσμού. Μια τυπική τέτοια ταξινόμηση είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε από τους Roddin et al ⁵⁶ για τις δραστηριότητες διαφόρων υποομάδων πληθυσμού. Η συγκέντρωση αυτών των δεδομένων είχε στόχο την

εφαρμογή του Μοντέλου Εκτίμησης της Ατομικής Έκθεσης της NAAQS, ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε για το Αμερικανικό Γραφείο Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA).

Βάσει επομένως αυτών των δεδομένων, ο πληθυσμός υποδιαιρείται σε 12 διαφορετικές υποομάδες, ανάλογα με την ηλικία και το είδος της απασχόλησης. Στη συνέχεια αυτές οι υποομάδες υποδιαιρούνται σε 56 επιμέρους ομάδες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προγράμματος δραστηριοτήτων τους που τις διαφοροποιούν. Οι υποομάδες αυτές παρατίθενται στον πίνακα 6.

Age/ occupation group	Activity pattern subgroup
Students 18 and over	<30 min commute, 8 a.m. class <30 min commute, 9 a.m. class >30 min commute, 8 a.m. class >30 min commute, 9 a.m. class
Managers and professionals	<30 min commute, single family house <30 min commute, others >30 min commute, single family house >30 min commute, others
Sales workers	Indoor work <30 min commute Indoor work >30 min commute Outdoor work Indoor and outdoor work Travelling
Clerical and kindred workers	Indoor work, 1 st shift, <30 min commute Indoor work, 1 st shift, >30 min commute Indoor work, 2 nd shift <30 min commute

	<p>Indoor work, 2nd shift >30 min commute</p> <p>Outdoor work</p> <p>Indoor and outdoor work</p>
Craftsmen and kindred workers	<p>Indoor work, 1st shift, <30 min commute</p> <p>Indoor work, 1st shift, >30 min commute</p> <p>Indoor work, 2nd shift</p> <p>Indoor work, 3rd shift</p> <p>Outdoor work</p> <p>Indoor and outdoor work</p>
Operatives and labourers	<p>Indoor work, 1st shift, <30 min commute</p> <p>Indoor work, 1st shift, >30 min commute</p> <p>Indoor work, 2nd shift</p> <p>Indoor work, 3rd shift</p> <p>Outdoor work</p> <p>Work in motor vehicle</p>
Farmers	<p>Assumed to have the same activity pattern as that of outdoor operatives and labourers</p>
Service, military and private household workers	<p>Service daytime work, <30 min commute</p> <p>Service daytime work, >30 min commute</p> <p>Service night time</p> <p>Service in motor vehicle</p> <p>Military</p>

	Private household
Housewives	No children at home Some children <13 No children >13, some 13 to 18
Unemployed and retired	Unemployed, job hunting Unemployed, not job hunting Disabled Retired, full mobility Retired, limited mobility Retired, confined indoors
Children under 5	0 to 12 months 13 to 24 months 25 to 36 months 37 to 60 months
Children 5 to 17	Elementary school, <30 min commute Elementary school, >30 min commute, walk or bike Elementary school, >30 min commute, vehicle High school <30 min commute High school >30 min commute, walk or bike High school >30 min commute, vehicle

Πίνακας 6: Πληθυσμιακές υποομάδες ανάλογα με το είδος των

δραστηριοτήτων τους.

4.2.3 Προγράμματα δραστηριοτήτων

Η διαμόρφωση των ημερήσιων προγραμμάτων δραστηριοτήτων (activity pattern: AP), για κάθε μια από τις προαναφερθείσες υποομάδες του πληθυσμού, πραγματοποιείται με ανά ώρα κατανομή των μελών της κάθε υποομάδας σε ένα από τα πέντε βασικά μικρο-περιβάλλοντα και σε ένα από τα τρία επίπεδα φυσικής δραστηριότητας (υψηλό, μέτριο, χαμηλό). Σημειώνεται ότι για τις ημέρες του σαββατοκύριακου διαμορφώνονται διαφορετικά AP.

Έχοντας πλέον διαμορφώσει τα AP και έχοντας εκτιμήσει μέσω του OCM τις ωριαίες συγκεντρώσεις του υπό μελέτη ρύπου σε κάθε «εσωτερικό» μικρο-περιβάλλον, καθίστανται γνωστά τα επίπεδα στα οποία εκτίθενται σε ωριαία βάση τα μέλη της κάθε υποομάδας, ανάλογα με το είδος των δραστηριοτήτων τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, εκτιμάται η «πραγματική» ατομική έκθεση του πληθυσμού και καθίσταται δυνατή η σύγκρισή της με την έως τώρα υπολογιζόμενη «πλασματική» έκθεση. Η τελευταία βασιζόταν στην υπόθεση ότι η ποιότητα του αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον αποτελούσε έναν αξιόπιστο δείκτη του επιπέδου της ατομικής έκθεσης. Λόγω όμως του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού περνάει περισσότερο από 80% του χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους, καθίσταται σαφές ότι η υπόθεση αυτή είναι λανθασμένη και παραπλανητική. Τέλος, από την σύγκριση των δύο επιπέδων της ατομικής έκθεσης, μπορούν να ληφθούν αξιολογικά συμπεράσματα για τη συμβολή της «εσωτερικής» αέριας ρύπανσης στα συνολικά επίπεδα έκθεσης του πληθυσμού.

5. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ^{65, 78}

Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία πηγών και έχουν ένα σημαντικό εύρος διαφορετικών μορφολογικών, χημικών, φυσικών και θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών. Η διάμετρος των σωματιδίων ποικίλει από μερικά νανόμετρα έως μερικές εκατοντάδες μικρόμετρα και σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο σχηματισμού και εκπομπής τους. Κάποια σωματίδια βρίσκονται σε υγρή φάση και κάποια σε στερεά μορφή, ενώ άλλα αποτελούνται από συνδυασμό στερεού πυρήνα καλυμμένου από υγρή φάση. Στην ατμόσφαιρα έχουν ανιχνευθεί συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ως προς την μάζα από μερικά $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως και αρκετές εκατοντάδες $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ατμοσφαιρικά επιβαρημένες περιοχές. Τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας περιέχουν ανόργανα ιόντα και χημικά στοιχεία, στοιχειακό άνθρακα, οργανικές και κρυσταλλικές ενώσεις. Κάποια από τα σωματίδια δε, είναι υγροσκοπικά και περιέχουν χημικά δεσμευμένο νερό.

Ως παραδείγματα αιωρούμενων στερεών μπορούν να αναφερθούν τα σωματίδια αιθάλης που παράγονται από τις νηξελομηχανές, τα φωτοχημικά σχηματιζόμενα σωματίδια, όπως εκείνα που βρίσκονται στο φωτοχημικό νέφος των πόλεων, σωματίδια άλατος προερχόμενα από την θάλασσα και σωματίδια σκόνης προερχόμενα από το έδαφος.

5.2 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

5.2.1 Εισαγωγή ^{72, 74, 89, 86}

Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων μπορούν να είναι **πρωτογενείς** (δηλαδή να εκπέμπονται μέσα στην ατμόσφαιρα) ή να είναι **δευτερογενείς** (δηλαδή να σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από αέριες ενώσεις μέσω ομογενών ή ετερογενών χημικών αντιδράσεων). Εξαιτίας αυτής της διαφοροποίησης των πηγών τα σωματίδια έχουν διαφορετική σύσταση και κατανομή κατά μέγεθος. Ανάλογα με το μέγεθός τους, κάποια σωματίδια έχουν την δυνατότητα να μεταφέρονται με τα ρεύματα αέρα σε μεγάλες ή μικρές αποστάσεις.

Όσον αφορά στα πρωτογενή σωματίδια, αυτά μπορούν να προέλθουν από την κίνηση των οχημάτων, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καύσεις (αστικές και βιομηχανικές), εμπρησμούς δασών ή ακόμα από οικοδομές, λατομεία, ορυχεία, όπως επίσης και από τα θαλάσσια αερολύματα, την επαναιώρηση σωματιδίων από τον άνεμο και τέλος από εκπομπές ηφαιστειών. Τα δε δευτερογενή σωματίδια μπορούν να παραχθούν από την έντονη κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων που μαζί με την βιομηχανοποίηση αποτελούν τις πιο ουσιώδεις αιτίες σχηματισμού δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων, ενώ μπορούν επίσης να παραχθούν από φυσικά αίτια. Για παράδειγμα το διοξείδιο του θείου σχηματίζεται από την οξείδωση του διμέθυλοσουλφιδίου το οποίο παράγεται από το φυτοπλακτόν στην θάλασσα, ενώ διοξείδιο του θείου εκπέμπεται και από ηφαίστεια. Τα δευτερογενή σωματίδια σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσα σε διάστημα ωρών ή ημερών.

Στις αστικές περιοχές η κυρίαρχη πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι κινητήρες των οχημάτων και ο σχηματισμός σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με χημικές αντιδράσεις από τα αέρια οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι συγκεντρώσεις των

αιωρούμενων σωματιδίων τείνουν να εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες σε περιοχές με μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα, κοντινές βιομηχανικές περιοχές ή γεωργικές εκτάσεις ή όπου η τοπογραφία ή οι μετεωρολογικές συνθήκες συμβάλουν σε αναστροφές του αέρα στρώματος.

5.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές

Τα καυσαέρια των πάσης φύσεως οχημάτων και η φθορά από την χρήση των ελαστικών και των φρένων είναι κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων.

Οι εκπομπές από μηχανές ντήζελ περιέχουν κυρίως αιθάλη δηλαδή σωματίδια στοιχειακού άνθρακα, πτητικές οργανικές ενώσεις και μερικά θειικά από το θείο που περιέχει το καύσιμο. Όταν οι οργανικές ενώσεις και τα θειικά διοχετεύονται από την εξάτμιση του οχήματος στο περιβάλλον συμπυκνώνονται πάνω σε αιωρούμενα σωματίδια και κυρίως επάνω στα σωματίδια άνθρακα που βρίσκονται και αυτά μέσα στα ίδια καυσαέρια. Τα σωματίδια που σχηματίζονται με τον τρόπο αυτό έχουν μέγεθος από 0,01 έως 2,5μm. Η κίνηση των οχημάτων στις οδούς προκαλεί επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου.

Η καύση κάρβουνου μέσα στα σπίτια ήταν στο παρελθόν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων κατά τους χειμερινούς μήνες. Στην εποχή μας αυτή η πηγή είναι ασήμαντη και μόνο σε κάποιες βόρειες ευρωπαϊκές πόλεις όπου το κάρβουνο χρησιμοποιείται ακόμη για οικιακή χρήση έχει σημαντικό ρόλο.

Οι βιομηχανικές εκπομπές συνεισφέρουν στη παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικές περιοχές ανάλογα με την απόσταση της βιομηχανίας από την αστική περιοχή και την τεχνολογία που εφαρμόζουν. Για παράδειγμα βιομηχανικές

διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών, όπως είναι η τήξη μετάλλων και η παραγωγή ατσαλιού αποτελούν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Γενικά τα σωματίδια που προέρχονται από βιομηχανικές εκπομπές, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της πηγής έχουν μέγεθος από 0,5 έως 100 μm .

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες η μέθοδος της αποτεφρωσης χρησιμοποιείται ως μία σημαντική οδός διάθεσης αποβλήτων. Οι κύριοι τύποι ρύπων (καυσαέρια και ιπτάμενη τέφρα) εκπέμπονται από αποτεφρωτήρες. Η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από αιθάλη, ιχνοστοιχεία μετάλλων, σκόνη και εν μέρει καμένα υλικά. Τόσο το μέγεθος όσο και η ποσότητα της ιπτάμενης τέφρας που εκπέμπεται είναι χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αποτεφρωτήρα και της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την κατακράτηση των σωματιδίων στην εκπομπή. Άλλωστε η στάχτη που κατακρατείται από τα φίλτρα του αποτεφρωτήρα πρέπει να τοποθετείται σε χώρους υγειονομικής ταφής σκουπιδιών έτσι ώστε να μην εκπέμπονται στον αέρα με τη μορφή διαφεύγουσας σκόνης. Ωστόσο, αυτού του είδους η πηγή είναι παροδική και επιδρά μόνο τοπικά.

Όσον αφορά στις εκπομπές σωματιδίων από οικοδομές, λατομεία, ορυχεία, τα δεδομένα που ποσοτικοποιούν τις εκπομπές σε σωματίδια είναι ανεπαρκή, όμως κάποιες έρευνες που έγιναν στις ΗΠΑ δίνουν μία προσέγγιση για εκπομπές ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP). Σύμφωνα με αυτές, οι εκπομπές σε ζώνες με μεγάλη οικονομική δραστηριότητα σε εξέλιξη, αναμένεται να εκπέμπονται 2,5 τόνοι ανά εκτάριο ανά μήνα ολικών αιωρούμενων σωματιδίων. Τα σωματίδια που εκπέμπονται είναι κατά κύριο λόγο μεγέθους μεγαλύτερου των 10 μm . Δύσκολη επίσης είναι και η εκτίμηση της διαφεύγουσας σκόνης που εκπέμπεται από λατομεία και ορυχεία που λειτουργούν κοντά σε αστικές περιοχές. Οι συντελεστές εκπομπών που έχει υιοθετήσει

η US-EPA για μεταφορές πρώτων υλών, εργασίες σε ορυχεία και λατομεία, ποικίλουν από 0,007 έως 0,119 kg/τόνο ύλης -

Όσον αφορά στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας τα οποία δεν βρίσκονται απομακρυσμένα από αστικούς χώρους, όπως συνήθως γίνεται, μπορούν να αποτελέσουν πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη είναι εφοδιασμένα με συστήματα κατακράτησης σωματιδίων από τις εκπομπές. Τέτοια συστήματα μπορεί να είναι κυκλώνες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα τα οποία κατακρατούν κατά μέσον όρο 99,5% των εκπομπών σε σωματίδια. Επομένως μόνο η ιπτάμενη τέφρα καταλήγει στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια αυτά λόγω του μικρού τους μεγέθους μπορούν να μεταφερθούν μέσω των ρευμάτων του αέρα και σε άλλες περιοχές. Στην περίπτωση που το εργοστάσιο έχει πολύ μεγάλες καπνοδόχους, το μεγαλύτερο ποσοστό από τα σωματίδια μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Αντίθετα τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας από πετρέλαιο δεν είναι εφοδιασμένα με συστήματα κατακράτησης σωματιδίων παρόλα αυτά όμως εκπέμπουν λιγότερη σωματιδιακή μάζα ανά MWh από ότι αυτά με λιγνίτη. Οι εκπομπές από τα εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούνται η κύρια πηγή διοξειδίου του θείου στην Ευρώπη.

Όσον αφορά στις δασικές και γεωργικές φωτιές η γενική συμβολή στη μόλυνση της ατμόσφαιρας από τον καπνό της φωτιάς είναι προσωρινή, ενώ σε περιοχές με μεγάλες δασικές πυρκαγιές αυτή η πηγή μπορεί να αποκτήσει μεγάλη σημασία. Τόσο οι άμεσες εκπομπές όσο και η επαναιώρηση σωματιδίων από την καμένη γη μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Το πυρογενές αυτό υλικό αποτελείται από οργανική ύλη, στοιχειακό άνθρακα και ανόργανα υλικά. Είναι σε μεγάλο ποσοστό μεγέθους κάτω από 10 μm και για αυτό μπορεί εύκολα να επαναιωρηθεί λόγω του ανέμου.

5.2.3. Φυσικές πηγές

Η θραύση των κυμάτων στην θάλασσα δημιουργεί πολλά μικρά σταγονίδια από θαλασσινό νερό τα οποία ξηραίνονται με την εξάτμιση με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αιωρούμενα σωματίδια από θαλασσινό αλάτι. Σωματίδια επίσης εκπέμπονται και άμεσα με το σπάσιμο αέριων φυσαλίδων στην επιφάνεια της θάλασσας. Το αιωρούμενο θαλασσινό αλάτι έχει μεγάλη ομοιότητα στη χημική του σύσταση με το θαλασσινό αλάτι, με ανιόντα (θειικά και χλωρίου), κατιόντα (ασβεστίου, μαγνησίου και φωσφόρου). Επίσης έχουν ανιχνευθεί σε περιοχές με λιμενικές εγκαταστάσεις και μεταλλικά ιχνοστοιχεία όπως κάδμιο, μόλυβδος, βανάδιο και ψευδάργυρος. Αυτός ο εμπλουτισμός σε μέταλλα προέρχεται από εκείνες τις φυσαλίδες του νερού που πρώτα έρχονται σε επαφή με μεταλλικά αντικείμενα πριν διαραγούν.

Η επαναιώρηση της σκόνης από το χώμα οφείλεται σε μετεωρολογικούς μηχανισμούς όπως είναι ο άνεμος οι μεταβολές στη θερμοκρασία και η υγρασία. Η σκόνη αυτή είναι δυνατόν να μεταφερθεί από τον άνεμο. Η κατανομή της ως προς το μέγεθος εξαρτάται από το είδος της αρχικής πηγής (πέτρα, ορυκτό). Γενικά το μέγεθος κυμαίνεται μέσα στα όρια των 5 έως 50 μm . Η χημική σύσταση της σκόνης από χώμα είναι όμοια με εκείνη της γεωλογικής πηγής όπως π.χ. δολομίτης, γύψος, χαλαζίας και αργιλικά πετρώματα.

Η επίδραση των ανέμων σε χαλαρές επιφάνειες ξηρού χώματος έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται τα σωματίδια αυτά στον αέρα. Οι παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο είναι το ποσό της εκτιθέμενης ξηρής επιφάνειας από σωματίδια και η ταχύτητα του ανέμου. Στις πόλεις τέτοιου είδους εκτεθειμένες χωμάτινες

επιφάνειες είναι μάλλον σπάνιες ιδιαίτερα στο κέντρο των πόλεων. Όμως υπάρχουν αξιοσημειώτες ποσότητες σκόνης πάνω στους δρόμους και στα πεζοδρόμια. Η σκόνη αυτή προέρχεται από :

- την σκόνη που μεταφέρεται πάνω στα ελαστικά των οχημάτων
- την σκόνη που καθιζάνει από την ατμόσφαιρα
- την φθορά της επιφάνειας του ίδιου του δρόμου
- την σταδιακή αποσάθρωση τμημάτων του οχήματος ιδιαίτερα των

ελαστικών

Καθώς η σκόνη αυτή επικάθεται επάνω σε επιφάνειες όπου και ξηραίνεται εύκολα, είναι εκτεθειμένη στους αέριους στροβιλισμούς που δημιουργεί το πέρασμα των οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει πάντα μία εν δυνάμει πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Η ποσότητα των σωματιδίων που μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθεί ή μετρηθεί καθώς εξαρτάται έντονα από παράγοντες όπως:

- το φορτίο των επικαθιμένων σωματιδίων επάνω στην επιφάνεια
- τον χρόνο ξήρανσης που προηγείται της επαναιώρησης
- την ταχύτητα των κινούμενων οχημάτων

Η κατανομή κατά μέγεθος και η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων στις αστικές περιοχές δίνουν μια ξεκάθαρη ένδειξη ότι αυτή η πηγή συνεισφέρει σημαντικά στο φορτίο σε αιωρούμενα σωματίδια στις πόλεις.

Τα αέρια ρεύματα που παρασύρουν αιωρούμενα σωματίδια από την έρημο της Σαχάρας έχει εκτιμηθεί ότι μεταφέρουν 150 εκ. τόνους σκόνης ετησίως προς το βόρειο ημισφαίριο. Με τον ίδιο τρόπο εκτιμάται ότι μεταφέρονται 3,9 εκ. τόνοι σωματιδίων από την έρημο της Σαχάρας προς τη βορειοδυτική περιοχή της Μεσογείου, εμφανή ως

κόκκινη βροχή, ετησίως. Αν και ο κύριος όγκος των μεταφερόμενων από τη Σαχάρα σωματιδίων μεταφέρεται προς τη περιοχή της Μεσογείου τέτοια σωματίδια μεταφέρονται επίσης και προς τη βόρεια Ευρώπη όπως και προς άλλες περιοχές όπως την Αμερικανική Ήπειρο. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται άμεσα με τις ανεμοθύελλες στις ερήμους που είναι συνηθισμένες κατά την διάρκεια περιόδων με ισχυρούς ανέμους. Ωστόσο, το ίδιο παρατηρείται και σε άλλες περιοχές της υφελίου. Η ένταση του φαινομένου γενικά μειώνεται όσο η υγρασία του εδάφους αυξάνεται και όσο περισσότερο καλύπτεται η επιφάνεια του από βλάστηση.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα λαμβάνει ακόμη χώρα σε κάποιες νησιωτικές περιοχές της Ευρώπης όπως είναι οι Κανάριοι Νήσοι και η Σικελία. Τα σωματίδια με τη μορφή ιπτάμενης τέφρας που εκπέμπουν τα ηφαίστεια μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική τοπική πηγή σωματιδίων σε κοντινές πόλεις. Για παράδειγμα το ηφαίστειο στο βουνό Αίτνα εκτιμήθηκε ότι εκπέμπει κατά μέσο όρο 4.000 τόνους διοξειδίου του θείου ημερησίως.

5.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα πιο συνηθισμένα κριτήρια είναι τρία : ο τρόπος σχηματισμού τους, το μέγεθός τους και η διεισδυτικότητά τους στον ανθρώπινο οργανισμό.

5.3.1. Ταξινόμηση με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού^{78, 79}

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, τα αιωρούμενα σωματίδια κατατάσσονται σε: σκόνη, καπνό, ιπτάμενη τέφρα, αιθάλη, σπρί ή ομίχλη. Τα πρώτα τέσσερα είναι στερεά (σχηματίζονται από τη διασπορά στερεών σωματιδίων σε αέριο μέσο) και τα δύο τελευταία υγρά αερολύματα (σχηματίζονται από τη διασπορά υγρών σωματιδίων σε αέριο μέσο).

- **Σκόνη** : Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών κατά την διάρκεια διαδικασιών όπως σύνθλιψη, τριβή, έκρηξη. Τυπικό μέγεθος 1 έως 10.000 μm . Η χρήση του όρου σκόνη υποδηλώνει σωματίδια φυσικής και συνήθως γεωλογικής προέλευσης.

- **Καπνός** : Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση οργανικών υλών όπως το κάρβουνο, ο καπνός ή το ξύλο. Τυπικό μέγεθος 0,5 έως 1 μm .

- **Ιπτάμενη τέφρα** : Μικρά, μη καύσιμα ορυκτά ή μεταλλικά σωματίδια που εκπέμπονται από τις καπνοδόχους από τη καύση κάρβουνου. Τυπικό μέγεθος 1 έως 1.000 μm . Η σύσταση της ιπτάμενης τέφρας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου. Τα κύρια συστατικά της είναι οξειδία του αργιλίου, του ασβεστίου, του σιδήρου και του πυριτίου αλλά και ιχνοστοιχεία όπως Mg, S, Ti, Na, K.

- **Αιθάλη** : Μικρά, στερεά σωματίδια, τα οποία σχηματίζονται από την συμπύκνωση ατμών στερεών υλικών συχνά οξειδίων των μετάλλων όπως είναι τα οξειδία του ψευδαργύρου και του μολύβδου και στοιχειακό άνθρακα. Τυπικό μέγεθος 0,03 έως 0,3 μm .

- **Σπρί** : Υγρά σωματίδια που μορφοποιούνται από το ράντισμα υγρών, όπως τα φυτοφάρμακα ή τα παρασιτοκτόνα. Τυπικό μέγεθος 10 έως 1000 μm . Στην

ατμόσφαιρα και τα ατμοσφαιρικά, υγρά αερολύματα η μάζα των συμπυκνωμένων υδρατμών πάνω από το έδαφος, υπό τη μορφή ορατής συγκέντρωσης υγροσταγονιδίων, παγοκρυστάλλων ή και των δύο, ονομάζεται νέφος (cloud) ή απλά σύννεφο. Ο μετεωρολογικός όρος ομίχλη, που στην αγγλική γλώσσα αποδίδεται με την αγγλική ονομασία «fog», υποδηλώνει την ύπαρξη νέφους σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους και με πυκνότητα τέτοια, ώστε η ορατότητα σε οριζόντια διεύθυνση να είναι μικρότερη από 1000 μέτρα.

Κάτω από παρόμοιες συνθήκες αλλά με ορατότητα μεγαλύτερη των 1000 μέτρων, το αερόλυμα ονομάζεται **αχλός** (haze). Το τυπικό μέγεθος των σωματιδίων των νεφών κυμαίνεται από 2 έως 80 μm .

Τα υγρά σωματίδια που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα σε μέγεθος μεγαλύτερο από 100 μm , έχουν ελάχιστο χρόνο αιώρησης και η ονομασία τους ταυτίζεται με τα ορατά φαινόμενα της βροχής (άνω των 500 μm) ή της ψιχάλας (drizzle) (κάτω των 50 μέτρων).

- **Ομίχλη** : Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που δημιουργούνται από τη συμπύκνωση ατμών. Τυπικό μέγεθος 0,1 έως 10 μm .

Τα μεγάλα σωματίδια έχουν την τάση να καθιζάνουν. Τα μικρότερα είναι πιο κινητικά και καθιζάνουν συνήθως μετά από συσσωμάτωση με άλλα σωματίδια.

5.3.2. Ταξινόμηση με κριτήριο το μέγεθος^{65, 72, 93}

Τα σωματίδια έχουν διάφορα σχήματα και συνεπώς είναι αδύνατη η έκφραση κοινής παραμέτρου μεγέθους, αφού πολλές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται από το μέγεθός τους (όγκος, μάζα, ταχύτητα εναπόθεσης). Στις κατανομές κατά μέγεθος ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται το μέγεθος της «ισοδύναμης διαμέτρου» του σωματιδίου. Καθώς το μέγεθος αυτό είναι μία έννοια συμβατική, υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί. Η ισοδύναμη διάμετρος ενός σωματιδίου μπορεί να προσδιορισθεί:

- Γεωμετρικά (με οπτική ή ηλεκτρονική μικροσκοπία)
- Από την σκέδαση που προκαλεί στο φως
- Από τα χαρακτηριστικά του όπως είναι η ηλεκτρική ευκινησία, η ταχύτητα

εναπόθεσης ή αεροδυναμική του συμπεριφορά.

Από τα παραπάνω, συνηθέστερο είναι να χρησιμοποιείται η φυσική συμπεριφορά του σωματιδίου ως κριτήριο καθορισμού της ισοδύναμης διαμέτρου. Συγκεκριμένα, συνήθως χρησιμοποιείται η διάμετρος Stoke (D_p) ή η αεροδυναμική διάμετρος (D_a). Ο ορισμός της πρώτης βασίζεται στο προσδιορισμό της αντίστασης που εμφανίζεται πάνω στο σωματίδιο όταν αυτό κινείται μέσα σ'ένα ρευστό, με διαφορετική ταχύτητα. Σωματίδια με ίδια διάμετρο Stoke και ίδια πυκνότητα έχουν την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης. Η αεροδυναμική διάμετρος εξαρτάται από τη πυκνότητα του σωματιδίου και ορίζεται ως «η διάμετρος σφαίρας πυκνότητας μονάδας (1g/cm^3), η οποία έχει την ίδια τελική ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο». Σωματίδια με το ίδιο πρακτικό μέγεθος και σχήμα αλλά με διαφορετικές πυκνότητες θα έχουν ίδιες διαμέτρους Stoke αλλά όχι τις ίδιες αεροδυναμικές διαμέτρους. Για σωματίδια μεγαλύτερα από $0,5\ \mu\text{m}$ χρησιμοποιείται η αεροδυναμική διάμετρος διότι

ατμόσφαιρα και τα ατμοσφαιρικά, υγρά αερολύματα ή μάζα των συμπυκνωμένων υδρατμών πάνω από το έδαφος, υπό τη μορφή ορατής συγκέντρωσης υγροσταγονιδίων, παγοκρυστάλλων ή και των δύο, ονομάζεται νέφος (cloud) ή απλά σύννεφο. Ο μετεωρολογικός όρος ομίχλη, που στην αγγλική γλώσσα αποδίδεται με την αγγλική ονομασία «fog», υποδηλώνει την ύπαρξη νέφους σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους και με πυκνότητα τέτοια, ώστε η ορατότητα σε οριζόντια διεύθυνση να είναι μικρότερη από 1000 μέτρα.

Κάτω από παρόμοιες συνθήκες αλλά με ορατότητα μεγαλύτερη των 1000 μέτρων, το αερόλυμα ονομάζεται **αχλός** (haze). Το τυπικό μέγεθος των σωματιδίων των νεφών κυμαίνεται από 2 έως 80 μm .

Τα υγρά σωματίδια που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα σε μέγεθος μεγαλύτερο από 100 μm , έχουν ελάχιστο χρόνο αιώρησης και η ονομασία τους ταυτίζεται με τα ορατά φαινόμενα της βροχής (άνω των 500 μm) ή της ψιχάλας (drizzle) (κάτω των 50 μέτρων).

- **Ομίχλη** : Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που δημιουργούνται από τη συμπύκνωση ατμών. Τυπικό μέγεθος 0,1 έως 10 μm .

Τα μεγάλα σωματίδια έχουν την τάση να καθιζάνουν. Τα μικρότερα είναι πιο κινητικά και καθιζάνουν συνήθως μετά από συσσωμάτωση με άλλα σωματίδια.

από αυτή εξαρτάται η μεταφορά του σωματιδίου από αέρια ρεύματα, η συλλογή στους δειγματολήπτες και η εναπόθεση μέσα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

Ταξινόμηση των σωματιδίων :

Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSP) :

Είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Τα TSP ποικίλουν γενικά σε μέγεθος από 0,01 μm έως και μερικές εκατοντάδες μm . Ωστόσο τα σωματίδια εκείνα με μέγεθος άνω των 50 μm έχουν την τάση να καθιζάνουν πολύ εύκολα. Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε επιμέρους κλάσματα.

1. Τα λεπτόκοκκα (fine mode)

Λεπτόκοκκα καλούνται τα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 2,5 μm . Συνήθως τα σωματίδια αυτά παράγονται δευτερογενώς από αέριες ενώσεις. Χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο κατηγορίες.

1i. Υπό κατηγορία πυρήνα (nuclei mode/nuclei range)

Μέγεθος 0,01 έως 0,05 μm . Τα σωματίδια αυτά προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης έχουν μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα γιατί συσσωματώνονται μεταξύ τους ή με λίγο μεγαλύτερα σωματίδια και σχηματίζουν σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου. Η υποκατηγορία αυτή χωρίζεται στις επόμενες δύο ομάδες

1ια. Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken Nuclei)

Αντιπροσωπεύει εκείνη την ομάδα των σωματιδίων πυρήνα που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος πάνω από τα 15nm.

1ιβ. Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra-fine Nuclei)

Πρόκειται για τα υπόλοιπα σωματίδια πυρήνα. Τα σωματίδια αυτά παρουσιάζουν τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος κάτω από τα 15nm.

1ii. Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range)

Μέγεθος 0,05 έως 2,5μm. Τα σωματίδια αυτά προέρχονται από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων (υποκατηγορίας πυρήνα) και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές. Έχουν χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από 7 έως 30 ημέρες. Τα σωματίδια συσσώρευσης ομαδοποιούνται και αυτά με τη σειρά τους σε:

1iia. Σταγονίδια (droplet mode)

Είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αντιδράσεις υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη ή παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας, επάνω στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων. Η συσσωμάτωση που επέρχεται ως αποτέλεσμα δημιουργεί την ομάδα των σταγονιδίων, τα οποία παρουσιάζουν μέγιστο στην κατά μάα κατανομή 0,7 μm.

Η απομάκρυνση των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα γίνεται με ξηρή και υγρή απόθεση. Τα σωματίδια υποκατηγορίας συσσώρευσης διαχέονται στην επιφάνεια της γης, μια διαδικασία που επιβραδύνεται καθώς το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνει.

Όσον αφορά την υγρή απόθεση, μόνο αν τα σωματίδια έχουν τις κατάλληλες υγροσκοπικές ιδιότητες μπορούν να απομακρυνθούν ως βροχή.

Συνεπώς η απομάκρυνσή τους από την ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα δύσκολη, γι' αυτό και τα σωματίδια συσσωρεύονται σε αυτή την κατηγορία μεγέθους. Τα σωματίδια υποκατηγορίας συσσώρευσης έχουν χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από 7 έως 30 ημέρες.

1iib. Συμπυκνώματα (condensation mode)

Πρόκειται για μικρότερα σωματίδια από τα προηγούμενα. Σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα και παρουσιάζουν μέγιστο στην κατανομή κατά μάζα περίπου στα 0,2 μm .

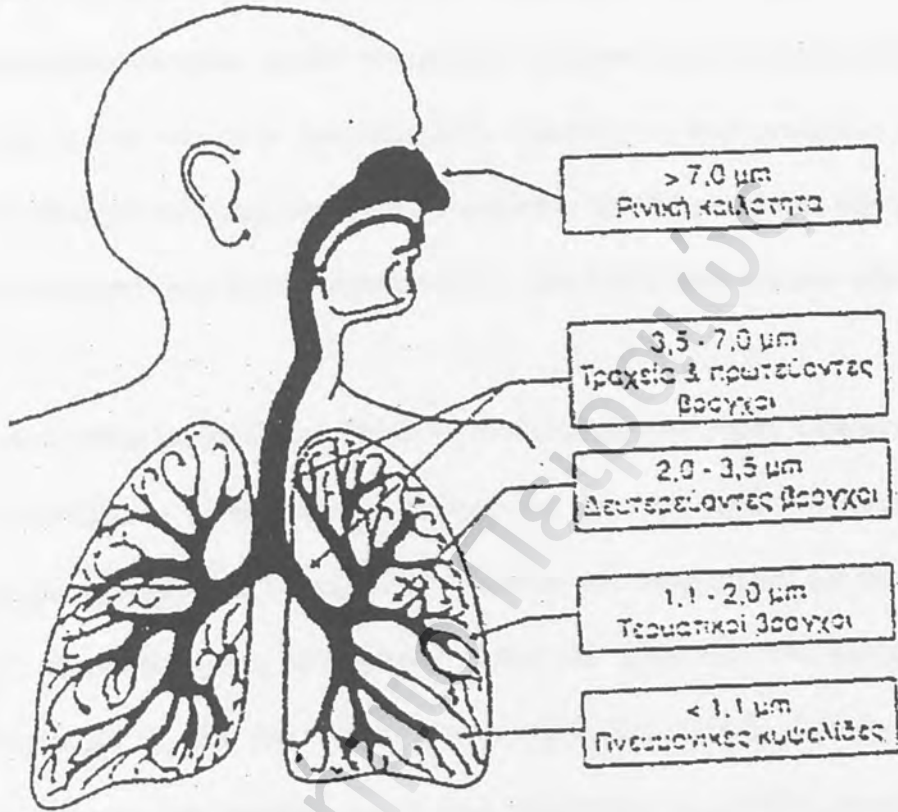
2. Τα χονδρόκοκκα (coarse mode)

Χονδρόκοκκα καλούνται τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου των 2,5 μm . Παράγονται συνήθως με μηχανικούς τρόπους.

Στο περιβάλλον τα μεγαλύτερα σωματίδια π.χ. εκείνα με διάμετρο 10 μm είναι δυνατόν να μείνουν σε αιώρηση 10 με 20 ώρες πριν την καθίζησή τους στο κάτω τμήμα της τροπόσφαιρας. Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι περίπου 7 m/s, συνεπώς, τα σωματίδια αυτά μπορούν να ταξιδέψουν έως 20 με 30 χιλιόμετρα, ενώ τα μικρότερα σωματίδια (διαμέτρου 0,1 έως 1 μm) μπορούν να απομακρυνθούν έως και αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα από το σημείο εκπομπής τους. Ένα μικρό ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να φτάσει έως το άνω τμήμα της τροπόσφαιρας (περίπου 8 με 15 χιλιόμετρα ύψος). Τα σωματίδια αυτά μπορούν να μείνουν αιωρούμενα για μεγάλους χρόνους (έως και 1 έτος).

5.3.3. Ταξινόμηση με κριτήριο την διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο

οργανισμό



Σχήμα 10: Διεισδυτικότητα των σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό ^{78,79,86}

Η συμπεριφορά των σωματιδίων μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό (αναπνευστικό σύστημα, στομάχι) είναι θέμα που έχει απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα και που ακόμη μελετάται. Ωστόσο τα μέχρι σήμερα συμπεράσματα φαίνονται να εντοπίζονται στις εξής υποομάδες των συνολικά αιωρούμενων σωματιδίων (TSP):

1. Στα εισπνεύσιμα σωματίδια (inspirable particles ή PM10)

Εισπνεύσιμα σωματίδια (PM10) είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Τα PM10 συμπεριλαμβάνονται στην ομάδα των ρύπων- κριτήρια για την αέρια ρύπανση τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Στην Αμερική, οι συγκεντρώσεις των PM10 παρακολουθούνται από όλες σχεδόν τις Ευρωπαϊκές χώρες, σε μόνιμη βάση και έχουν ανώτατα επιτρεπτά όρια συγκεντρώσεων βάσει των προτάσεων οδηγιών (directive) της Ε.Ε.

Θεωρείται γενικά ότι τα PM10 έχουν διάμετρο έως 10 μm . Ωστόσο ο ορισμός αυτός δεν λαμβάνει υπόψη του το γεγονός ότι είναι αδύνατον να κατασκευασθεί δειγματολήπτης ικανός να αποκλείει τη συλλογή των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο παραπλήσια της επιθυμητής, ώστε να μπορούμε να προσδιορίσουμε σωματίδια μέχρι ή από μία διάμετρο και πέρα. Στην πράξη δηλαδή τα PM10 περιλαμβάνουν και ένα περιορισμένο αριθμό σωματιδίων με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm . Για το λόγο αυτό ο αυστηρός ορισμός όπως τον αναφέρει η ΕΕ στις οδηγίες της είναι :

«PM10 νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10 μm ».

2. Στα θωρακικά σωματίδια (thoracic particles)

Θωρακικά σωματίδια καλείται το κλάσμα των PM10 που καταφέρνει να διαπερνά το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Θεωρείται ότι έχουν μέγεθος μικρότερο των 7 μm .

3. Στα αναπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles ή PM2,5)

Το κλάσμα με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου έως περίπου 2,5 μm είναι το πιο σημαντικό από άποψη επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Τα σωματίδια αυτά καταφέρνουν γενικά να διεισδύσουν έως τα βάθη των πνευμόνων και γι' αυτό καλούνται αναπνεύσιμα.

Τα PM2,5 συμπεριελήφθησαν τα τελευταία χρόνια, μαζί με τα PM10 στους ρύπους-κριτήρια για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στην Ευρώπη οι κρατικές δομές οργανώνονται έτσι ώστε να είναι εφικτή η συνεχής παρακολούθηση της συγκέντρωσης αυτών των σωματιδίων στις πόλεις. Ο αντίστοιχος ορισμός της ΕΕ για τα PM2,5 είναι:

«PM2,5 νοούνται σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5 μm »

5.4. ΣΧΕΣΗ ΠΗΓΗΣ - ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η ανάγκη κατανόησης του ποσοστού της συμβολής της κάθε πηγής στο συνολικό πρόβλημα αιωρούμενων σωματιδίων μιας περιοχής και η πρόβλεψη των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του μείγματος των αιωρούμενων σωματιδίων μιας περιοχής, οδήγησε στην προσπάθεια αποκάλυψης της σχέσης πηγής και εκπεμπόμενων σωματιδίων. Μια συσχέτιση που αφορά το μέγεθος και την σύσταση του σωματιδίου τόσο από πλευράς χημικών στοιχείων / ενώσεων όσο και από πλευράς ποσόστωσής τους μέσα στο σωματίδιο.

Οι πιθανές πηγές μερικών από τα παραπάνω στοιχεία, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Στοιχείο	Προέλευση
<i>Al, Fe, Ca, Si</i>	Διάβρωση του εδάφους, σκόνη από βράχο, καύση κάρβουνου
<i>Na, Cl</i>	Αερολύματα από παραλίες, χλωρίδια από την καύση οργανικών πολυμερών.
<i>Sb, Se</i>	Πολύ πτητικά στοιχεία, πιθανά προέρχονται από την καύση λαδιού, κάρβουνου ή αποβλήτων
<i>V</i>	Καύση υπολείμματος πετρελαίου
<i>Zn</i>	Βρίσκεται συνήθως σε μικρά σωματίδια, μάλλον προέρχεται από καύσεις.
<i>Pb</i>	Καύση μολυβδομένων βενζινών και αποβλήτων που περιέχουν μόλυβδο.

Με βάση την πηγή, αντιστοιχείται η χημική σύσταση και ο τύπος των σωματιδίων που παράγονται σε κάθε πηγή.

5.5. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ^{65, 68, 72, 86}

Κατά προσέγγιση η μάζα των PM10 αποτελείται από 6 βασικές κατηγορίες συστατικών:

- Γεωλογικά υλικά
- Οργανικό άνθρακα
- Στοιχειακό άνθρακα
- Θειικά
- Νιτρικά
- Αμμωνιακά

Σημαντική επίσης ομάδα συστατικών αποτελούν και τα βαρέα μέταλλα που περιέχονται στα αιωρούμενα σωματίδια με την μορφή μεταλλικών ιχνοστοιχείων. Επιπλέον το υγρό H₂O είναι ένα ακόμα βασικό συστατικό στα διαλυτοποιήσιμα σωματίδια. Προσροφάται σε αυτά όταν η σχετική υγρασία υπερβαίνει περίπου το 70%. Ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού του νερού εξατμίζεται στα φίλτρα πριν τη μέτρηση

Σύμφωνα με μελέτες, μετρώντας ξεχωριστά τα παραπάνω 6 βασικά συστατικά, είναι δυνατό αθροίζοντας τα να έχουμε με απόκλιση 10% την ολική μαζική συγκέντρωση των PM10 και PM2,5. Συνήθως μάλιστα, το 50% των PM10 οφείλεται σε γεωλογικά υλικά, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στα PM2,5 είναι μικρότερο του 10%.

- Γεωλογικά υλικά: Η αιωρούμενη σκόνη αποτελείται από οξείδια του αλουμινίου, πυριτίου, ασβεστίου, τιτανίου, σιδήρου και άλλα μεταλλικά οξείδια. Ο ακριβής συνδυασμός αυτών των ανόργανων ενώσεων εξαρτάται από την γεωλογία της περιοχής και τις βιομηχανικές εφαρμογές (παραγωγή ατσαλιού, τήξη μετάλλων,

ορυχεία, παραγωγή τσιμέντου). Τα γεωλογικά υλικά είναι, όπως ήδη έχει αναφερθεί, κυρίως στη μορφή των χονδρόκοκκων σωματιδίων. Μια τυπική κατανομή θα έχει 50% PM10 και μόνο 5 με 15% PM2,5.

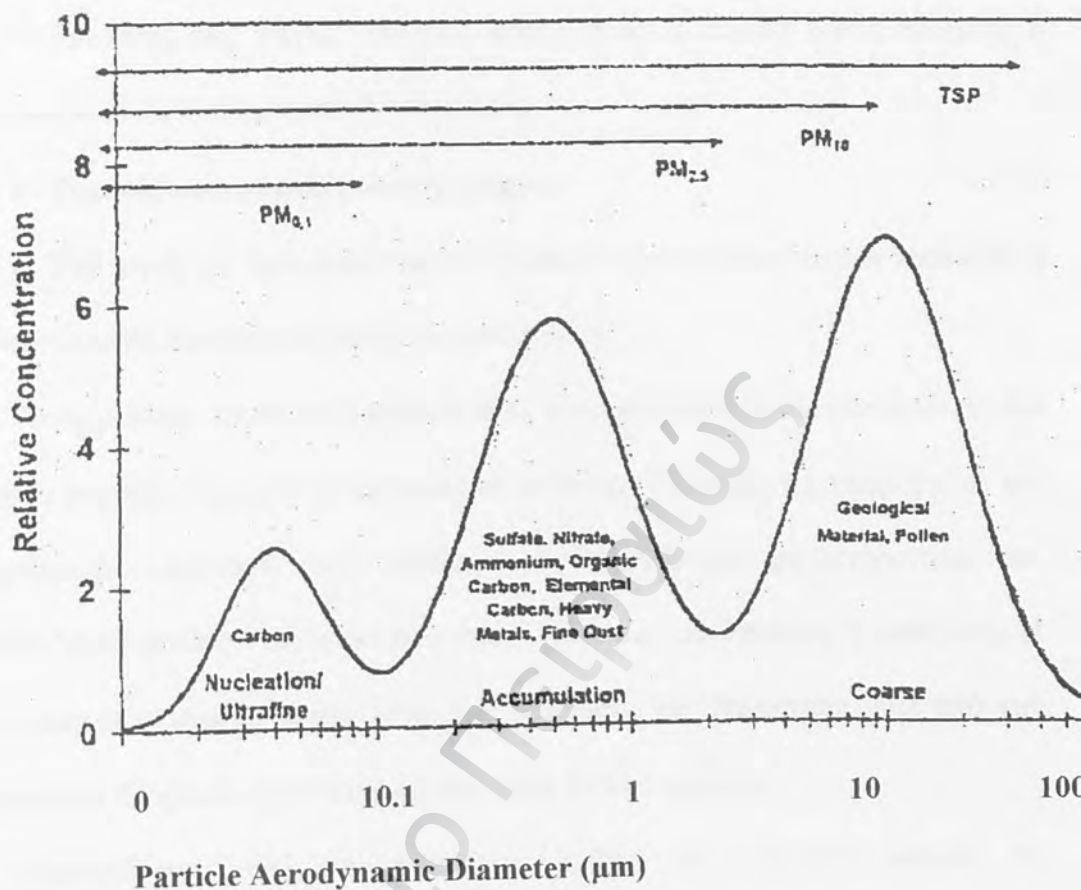
- Οργανικός άνθρακας : Ο οργανικός άνθρακας των σωματιδίων βρίσκεται με τη μορφή εκατοντάδων διαφορετικών οργανικών ενώσεων. Η συνολική μάζα του οργανικού άνθρακα μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια, αλλά μόνο το 10% των ακριβών οργανικών ενώσεων έχει προσδιοριστεί. Καυσαέρια οχημάτων, καύσεις αστικές και αγροτικές, ψήσιμο, καύση καυσίμων (κάρβουνο, ξύλο) σκόνη από το δρόμο και δημιουργία σωματιδίων από ογκώδεις αέριους υδρογονάνθρακες (C₈ έως C₂₀) είναι οι κύριες πηγές οργανικού άνθρακα στα PM2,5.

- Στοιχειακός άνθρακας : Ο στοιχειακός άνθρακας είναι μαύρος και συχνά καλείται και αιθάλη. Περιέχει καθαρό άνθρακα σε μορφή γραφίτη, αλλά επίσης περιέχει υψηλού μοριακού βάρους μαύρη, μη πτητική ύλη όπως πίσσα και κωκ . Ο στοιχειακός άνθρακας συνήθως συνυπάρχει με τον οργανικό άνθρακα σε εκπομπές από καύσεις. Την μεγαλύτερη παραγωγή σε στοιχειακό άνθρακα έχουν οι νηζελομηχανές.

- Θειικά : Το θειικό αμμώνιο, το διθειικό αμμώνιο, το θειικό οξύ είναι οι πιο κοινές μορφές θειικών που υπάρχουν στα αιωρούμενα σωματίδια που δημιουργούνται από την μετατροπή αερίου σε σωματίδιο. Αυτές οι ενώσεις είναι υδατοδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα PM2,5. Θειικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές όπου το θειικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Αν και ο γύψος και κάποια άλλα γεωλογικά υλικά περιέχουν θειικά, αυτά δεν είναι εύκολα διαλυτοποιήσιμα στο νερό για να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκα σωματίδια έναντι των PM2,5 και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά.

• Νιτρικά: Το νιτρικό αμμώνιο είναι το πιο συχνά απαντώμενο και προέρχεται από την αντιστρεπτή μετατροπή αέριας-σωματιδιακής μορφής, μεταξύ της αέριας αμμωνίας, του νιτρικού οξέος και του σωματιδιακού νιτρικού αμμωνίου. Επειδή αυτή η μετατροπή είναι αντιστρεπτή τα σωματίδια νιτρικού αμμωνίου μπορούν εύκολα να εξατμισθούν στην ατμόσφαιρα ή μετά τη συλλογή τους σε φίλτρο λόγω των μεταβολών σε θερμοκρασία και σχετική υγρασία. Το νιτρικό νάτριο συναντάται στα PM_{2,5} και σε χονδρόκοκκα σωματίδια κοντά σε ακτές, όπου το νιτρικό οξύ αντιδρά μη αντιστρεπτά με το θαλασσινό αλάτι.

• Αμμωνιακά: Το θειϊκό αμμώνιο, το διθειϊκό αμμώνιο και το νιτρικό αμμώνιο είναι πιο κοινά αμμωνιακά. Τα δύο πρώτα προέρχονται από την μη αντιστρεπτή αντίδραση μεταξύ του θειϊκού οξέος και της αέριας αμμωνίας. Αν και το μεγαλύτερο ποσοστό του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου που αποτελούν πρώτες ύλες για το σχηματισμό αμμωνιακών, προέρχονται από τη χρήση καυσίμου σε κινητές και στατικές πηγές, η περισσότερη από την αμμωνία προέρχεται από βιολογικές πηγές και ιδιαίτερα από εκτροφεία ζώων.



Πίνακας 7: Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά⁶⁹

5.6. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ⁹⁵

Τα σωματίδια έχουν ένα εξαιρετικά πολύπλοκο τρόπο διασκορπισμού ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα όπως είναι οι πόλεις, όπου παρατηρείται μεγάλη ποικιλία σε πηγές και σημαντικές ανομοιογένειες στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διασπορά των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες:

- **Μετεωρολογικές συνθήκες** (με πολύ σημαντική την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου)

- Το ύψος της πηγής (ισόγειες πηγές όπως η κίνηση στους δρόμους ή μεγάλου ύψους όπως οι βιομηχανικές καμινάδες)
- Τοπικές γεωγραφικές ιδιαιτερότητες
- Την πηγή (αν πρόκειται για ένα σταθερό σημείο όπως είναι η καμινάδα ή πολλά διεσπαρμένα σημεία όπως είναι τα αυτοκίνητα)

Τα σωματίδια, κατά την διασπορά τους, είναι δυνατόν να συμμετέχουν σε ένα ευρύ φάσμα χημικών αλλαγών και μεταφορών ενώσεων. Εξαιτίας της ανάμιξης με τον αέρα προκαλείται αραίωσή τους. Ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σωματιδίων είναι δυνατόν να προκληθεί συσσωμάτωση, αεριοποίηση ή καθίζηση. Η καθίζηση μπορεί να προέλθει είτε λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, είτε από την παράσυρση από βροχή είτε με ανάσχεση από φυτά ή άλλα εμπόδια.

Συμπεραίνουμε από τα παραπάνω λοιπόν ότι δύσκολα μπορεί να μοντελοποιηθεί η διασπορά των σωματιδίων και άρα δεν μπορεί να γίνει ασφαλής εκτίμηση των επιπέδων έκθεσης στον άνθρωπο.

5.7. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΟΣΜΟ⁸⁶

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), η βόρεια Αμερική, οι χώρες στο δυτικό κομμάτι του ειρηνικού ωκεανού(εκτός από την Κίνα) και η δυτική Ευρώπη, έχουν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις σε TSP που κυμαίνονται από 20 έως 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ σε PM10 κυμαίνονται μεταξύ 10 και 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Πολύ υψηλές μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (TSP και PM10) στον αέρα εμφανίζονται στην νοτιοανατολική Ασία και κυμαίνονται μεταξύ 100 και 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για TSP και

μεταξύ 100 και 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για PM10. Εξάλλου από τις δέκα πόλεις στον κόσμο με την μεγαλύτερη ρύπανση της ατμόσφαιρας που περιλαμβάνονται στην έκθεση του Ινστιτούτου Παγκοσμίων Πόρων, οι εννέα βρίσκονται στην Κίνα και η μία στην Ινδία. Η χειρότερη είναι η Λαν-τζίου, πρωτεύουσα της επαρχίας Κάνσου στη βορειοδυτική Κίνα, όπου βρίσκονται μια μεγάλη πετροχημική βιομηχανία και πολλά δυλιστήρια.

Η έκθεση που χρηματοδοτήθηκε από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, την Αμερικάνικη Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος και άλλες οργανώσεις, εξετάζει τρεις δείκτες της μόλυνσης της ατμόσφαιρας: τα συνολικά αιωρούμενα στερεά, το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του αζώτου.

Οι υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων που έχουν καταγραφεί σε όλο τον κόσμο, είναι στην περιοχή των 300 έως 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και ανιχνεύθηκαν στις ανωτέρω πόλεις της Κίνας.

Όσον αφορά στην Ευρώπη τα επίπεδα συγκεντρώσεων των PM10 παρακολουθούνται σε κάποια από τα αστικά δίκτυα ήδη από το 1990. Ωστόσο, δεν υπάρχουν πανευρωπαϊκά στοιχεία για PM10, αφού δεν υπάρχει μια τυποποιημένη μέθοδος μέτρησης PM10 στην Ευρώπη. Επιπρόσθετα, μόνο σε λίγες πόλεις οι μετρήσεις αυτές συνεχίστηκαν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με χρήση αυτόματων δειγματοληπτών. Η ανάλυση των δεδομένων σε PM10 από όλη την Ευρώπη, αποδεικνύει ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων διαφέρουν από χώρα σε χώρα αλλά και από πόλη σε πόλη. Η ετήσια αριθμητική μέση συγκέντρωση ποικίλει από 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στην περιοχή των Άλπεων έως 120 με 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε κάποιες βιομηχανικές περιοχές. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η βόρεια Ευρώπη έχει χαμηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων από ότι έχει η νότια.

6. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες οι έρευνες έδειξαν ότι τα PM10 αποτελούν εκείνο το κλάσμα των σωματιδίων που κατά κύριο λόγο εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Τα δύο δε τελευταία χρόνια, δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στα PM2,5 τα οποία μπορούν να διεισδύσουν σε μεγάλο βάθος του αναπνευστικού συστήματος. Εκτός αυτών όμως τα PM2,5 ευθύνονται και για την μείωση της ορατότητας στην ατμόσφαιρα των ρυπασμένων περιοχών, ενώ συμβάλουν σημαντικά και σε άλλες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

6.2. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ^{74, 76, 81, 83}

Τα PM10 και ιδιαίτερα τα PM2,5 είναι συνδεδεμένα με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Τα συμπτώματα που αναφέρονται στην βιβλιογραφία είναι πολλά. Αναφέρουμε τα συνηθέστερα: Μπορούν να προκαλέσουν ή να επιδεινώσουν προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος, καρδιαγγειακές ασθένειες, να επιδράσουν στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, να προκαλέσουν βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων, καρκινογενέσεις και πρόωρο θάνατο. Στις συνέπειες συγκαταλέγονται ακόμη και κάποιες λιγότερο επώδυνες, όπως : Επίμονος βήχας, φλέγματα, ζαλάδες και αδιαθεσία. Είναι γενικά παραδεκτό ότι η

μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να μειώσει τη διάρκεια της ζωής από 1 έως 2 χρόνια κατά μέσο όρο. Ακόμα, υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία ακόμη και σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια.

Τα περισσότερα από τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα των 10 μm απομακρύνονται με κατακράτηση στο στόμα ή στη μύτη. Από τα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο των 10 μm , ένα 10 έως 60% είναι πιθανό να εναποτεθεί τελικά στους πνεύμονες. Το ποσοστό εναπόθεσης στους πνεύμονες εξαρτάται από το μέγεθος του κάθε σωματιδίου και κυμαίνεται από 20% για σωματίδια με διάμετρο περί τα 3 μm έως 60% για εκείνα με διάμετρο περίπου 0,03 μm .

Υπάρχουν μελέτες που υποστηρίζουν ότι υψηλή απόθεση σωματιδίων στην ρινική χώρα μπορεί να συσχετιστεί με ασθένειες του άνω αναπνευστικού συστήματος όπως είναι: ρινίτιδα, αλλεργίες και μολύνσεις στα ιγμόρια.

Όταν ξηρά αλλά διαλυτοποιήσιμα σωματίδια εισχωρούν στο ανθρώπινο σώμα, όπου η σχετική υγρασία ξεπερνά το 99 %, το μέγεθός τους αυξάνει σημαντικά καθώς προσροφάται σε αυτό νερό. Με τον τρόπο αυτό, τα σωματίδια παίρνουν τη μορφή και το μέγεθος σταγονιδίων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, είναι αξιοσημείωτο ότι αυτά τα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερη βλάβη στους πνεύμονες από ότι τα μη υγροσκοπικά σωματίδια ή τα σωματίδια που έχουν εισέλθει ήδη σε μορφή σταγονιδίων.

Προβλήματα υγείας δε προκαλούνται όχι μόνο πρωτογενώς λόγω της διείσδυσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα και της τοξικής τους δράσης, αλλά και δευτερογενώς λόγω της εξασθένησης του οργανισμού. Υπάρχουν πολλές μελέτες που αποδεικνύουν ότι εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δυνατή η εμφάνιση

αναπνευστικών προβλημάτων, αλλοιώσεων στην λειτουργία των πνευμόνων και στους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού των πνευμόνων και η δημιουργία φλεγμονών στους πνεύμονες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη ευαισθησία. Η αυξημένη ευαισθησία στη συνέχεια, είναι δυνατό να ευνοήσει την συμπίκνωση υγρού μέσα στους πνεύμονες, ιδιαίτερα σε ανθρώπους με καρδιακές παθήσεις.

Επιπρόσθετα, ενώσεις-μεσολαβητές που εκκρίνονται λόγω της αντίδρασης του οργανισμού σε φλεγμονές, μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο να σχηματισθούν θρομβώσεις στο αίμα και καρδιακές προσβολές. Η έκθεση σε σωματίδια μπορεί επίσης, να αυξήσει την ευαισθησία του πνεύμονα σε μολύνσεις από βακτήρια ή ιούς. Το γεγονός αυτό προκαλεί την αύξηση επεισοδίων πνευμονίας στην ομάδα των ευπαθών ατόμων.

6.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ^{65, 75, 76, 83}

Η αέρια ρύπανση μπορεί να αλλοιώσει την αντίληψή μας για τα χρώματα αντικειμένων που παρατηρούμε μέσα στην ατμόσφαιρα αλλά και τα χρώματα της ίδιας της ατμόσφαιρας. Η ελάττωση της ορατότητας είναι αποτέλεσμα της ποιότητας του αέρα και μπορεί να οριστεί μόνο για μια συγκεκριμένη κάθε φορά κατεύθυνση (οπτική διαδρομή). Επομένως η ποσοτικοποίησή της απαιτεί αναφορά όχι μόνο στην φωτεινότητα της ατμόσφαιρας αλλά και στην κατεύθυνση που επιλέγουμε.

Η ελάττωση της ορατότητας είναι άμεσο αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2,5μm και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα PM_{2,5} ελαττώνουν την ορατότητα λειτουργώντας ως ένα είδος φίλτρου ως προς την ηλιακή ακτινοβολία. Μόνο ένα ποσοστό από αυτή καταφέρνει να τη διαπεράσει. Όταν ηλιακή ακτινοβολία συναντά τα PM_{2,5}, τότε ένα ποσοστό από αυτή διαχέεται, ένα ποσοστό απορροφάται από τα σωματίδια και ένα άλλο αντανακλάται, ό,τι μένει είναι η ακτινοβολία που διαπερνά το στρώμα των σωματιδίων. Μειωμένη και αλλοιωμένη ηλιακή ακτινοβολία συνεπάγεται ελαττωμένη ορατότητα. Αναφέρεται ότι μία συγκέντρωση γύρω στα 150 μg/m³ συνεπάγεται ορατότητα το πολύ 8 χιλιόμετρα. Μια άλλη συνέπεια από τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της επίδρασης των σωματιδίων είναι και η ελάττωση της γεωργικής παραγωγής στις αγροτικές περιοχές.

Η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στο κλίμα ποικίλει στο χώρο και στο χρόνο. Εξαρτάται ισχυρά από τις τοπικές εκπομπές σε σωματίδια, τον σχετικά μικρό χρόνο ζωής και τον τρόπο αλληλεπίδρασης των σωματιδίων αυτών με την ηλιακή ακτινοβολία. Ανάλογα με το μέγεθος και τον βαθμό ανάκλασής τους τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να ανακλούν την μικρού μήκους κύματος εισερχόμενη προς τη γη υπεριώδη ακτινοβολία ή τη μεγάλου μήκους κύματος εξερχόμενη από τη γη υπέρυθη ακτινοβολία. Στη πρώτη περίπτωση επέρχεται ψύξη ενώ στη δεύτερη περίπτωση προκαλείται η θέρμανση της ατμόσφαιρας γνωστή και ως φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα αιωρούμενα σωματίδια ωστόσο, επιδρούν και μ'ένα ακόμη έμμεσο τρόπο στο παγκόσμιο κλίμα. Η έμμεση αυτή δράση προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο επιδρούν τα σωματίδια στις μικροφυσικές ιδιότητες των νεφών. Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα είναι η ελάττωση του μεγέθους των σταγονιδίων των νεφών. Αυτό συμβαίνει διότι τα σωματίδια δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης προκαλώντας τον σχηματισμό σταγόνων και στερώντας έτσι τα σύννεφα πρώτιστα από τα ογκωδέστερα

των σταγονιδίων τους. Άλλη επίπτωση είναι η αύξηση της ζωής των συννεφών αλλά και η χημική ρύπανση των σταγόνων (όξινη βροχή) .

Επίσης είναι γνωστό ότι τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν επιφανειακές αλλοιώσεις σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που μπορούμε να συναντήσουμε γύρω μας. Έτσι οι επιφανειακές αλλοιώσεις μπορούν να προκληθούν σε φυτά, δένδρα, μεταλλικές επιφάνειες, υφάσματα, χρωματισμένες επιφάνειες, ηλεκτρονικά κυκλώματα κ.α. Στη συνέχεια αναφέρονται οι δύο βασικές κατηγορίες μηχανισμών που εξηγούν αυτές τις αλλοιώσεις.

Διάβρωση : Η έκθεση σε φορτισμένα σωματίδια μπορεί να επιτείνει σημαντικά το ρυθμό διάβρωσης ιδιαίτερα των ηλεκτρονικών συσκευών, μέχρι προκλήσεως βλαβών. Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από μερικές δεκάδες Angstroms έως 1μm και προκαλούν διάβρωση καθώς είναι υγροσκοπικά και διαβρωτικά στις φυσιολογικές συνθήκες σχετικής υγρασίας, ώστε να επιδρούν άμεσα στα μεταλλικά εξαρτήματα ή ακόμη και να σχηματίζουν λεπτά αγωγίμα φιλμ υγρασίας προκαλώντας βραχυκυκλώματα στη συσκευή. Η επίδραση των σωματιδίων δεν είναι μόνο άμεση. Τα σωματίδια λειτουργούν με δύο επί πλέον τρόπους. Κατά πρώτον λειτουργούν άμεσα ως φορείς ενώσεων οι οποίοι δρουν διαβρωτικά επιτυγχάνοντας να εισχωρήσουν και κάτω από την επιφάνεια του υλικού. Ενώ κατά δεύτερο τα εναποτιθέμενα σωματίδια μπορούν να λειτουργήσουν και ως σημεία συμπύκνωσης και άλλων ρύπων που με τη σειρά τους διαβρώνουν την επιφάνεια. Τα σωματίδια δρώντας συνεργιστικά ευνοούν και επιτείνουν τη διαβρωτική επίδραση των φυσικών περιβαλλοντικών παραγόντων (άνεμος, βροχή, ήλιος κλπ.) . Το φαινόμενο αυτό έχει σημαντική επίδραση και στο χρόνο ζωής των υλικών.

- **Επικάθηση** : Μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η επικάθησή τους πάνω στις επιφάνειες. Ήδη από το 1959 είχε μελετηθεί το φαινόμενο κατά το οποίο όταν σωματίδια βομβάρδιζαν μια χάρτινη επιφάνεια σε ένα χώρο με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων το χαρτί παρέμενε καθαρό για ένα διάστημα και στη συνέχεια φαινόταν ξαφνικά σκονισμένο. Το καθάρισμα, το πλύσιμο ή το βάψιμο είναι κατά περίπτωση η λύση αυτού του φαινομένου. Η αύξηση της συχνότητας αυτών των δραστηριοτήτων όμως συνεπάγεται άμεσο οικονομικό κόστος αλλά και μείωση του χρόνου ωφέλιμης χρήσης της επιφάνειας. Εξάλλου εκτός από την επίπτωση στην αισθητική η επικάθηση των σωματιδίων μειώνει την ανακλαστικότητα των αδιαφανών επιφανειών αλλά και το ποσοστό του φωτός που διεπερνά τις διαφανείς επιφάνειες.

6.4. ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ^{71, 73, 74, 82, 84, 92, 94}

Παρακάτω παρουσιάζεται μια σειρά επιδημιολογικών μελετών οι οποίες ερευνούν τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

«PEACE» (*Pollution effects on Asthmatic Children in Europe*): Πρόκειται για μια μελέτη που συνδυάζει τις προσπάθειες δεκατεσσάρων κέντρων, τα οποία δούλευαν σύμφωνα με το ίδιο πρωτόκολλο, να ερευνήσουν τις Ευρωπαϊκές διαστάσεις της ρύπανσης του αέρα και τις βραχυχρόνιες επιδράσεις χαμηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και NO₂ στο αναπνευστικό σύστημα ασθματικών παιδιών σχολικής ηλικίας. Η μελέτη «PEACE» συντονίστηκε από τον καθηγητή Bert Brunekreef από το Πανεπιστήμιο του Wageningen στην Ολλανδία.

«APHEA» (*Short Term Effects of Air Pollution on Health: An European Approach Using Epidemiologic Time-Series Data*): Πρόκειται για μια μελέτη που χρησιμοποιεί εγγεγραμένους ως αποβιώσαντες και αρχεία εισαγωγής νοσοκομείων από 12 Ευρωπαϊκές πόλεις ώστε να ερευνήσει τις επιπτώσεις της ρύπανσης της αστικής ατμόσφαιρας στην υγεία. Η μελέτη «APHEA» συντονίστηκε από την καθηγήτρια Κλεάνθη Κατσουγιάννη του Πανεπιστημίου της Αθήνας.

«PHARE» (*Project on Environmental Health and Air Pollution*): Πρόκειται για μια μελέτη που συντονίστηκε από τον δόκτορα Eric Lebert από το RIVM, από τον καθηγητή Bert Brunekreef από το Πανεπιστήμιο του Wageningen και τον δόκτορα Tony Fletcher από το London School of Hygiene and Tropical Medicine. Η μελέτη επικεντρώθηκε όχι μόνο στις σχέσεις μεταξύ της ποιότητας του αέρα και της υγείας, αλλά και στην δημιουργία κατανοητών επιδημιολογικών μοντέλων και μεθοδολογιών σε έξι περιοχές (Πολωνία, Ουγγαρία, Ρουμανία, Βουλγαρία, Τσέχικη και Σλοβάκικη δημοκρατία).

«SAVIAH»: (*Study Analysis of Area Variation in Air Quality and Health*): Πρόκειται για μια μελέτη που πρότεινε, δοκίμασε καθόρισε νέες μεθοδολογίες στον τομέα της επιδημιολογίας, γεωγραφίας και ρύπανσης. Αυτή η μελέτη συνδίασε τις προσπάθειες 8 αστικών κέντρων της Αγγλίας, των Κάτω Χωρών, της Πολωνίας και της Τσεχοσλοβακίας και συντονίστηκε από τον δόκτορα Paul Elliot του London School of Hygiene and Tropical Medicine.

«AULIS»: Πρόκειται για μια μελέτη που επικεντρώνεται στην ποσότητα έκθεσης σε σωματιδιακή αέρια ρύπανση ώστε να υπολογίσει πόσο ευαίσθητες και συγκεκριμένες είναι οι τεχνικές υπολογισμού της έκθεσης αυτής.

«*CEPLACA*»: Πρόκειται για μια μελέτη που καλύπτει εκτενώς την σχέση μεταξύ: εκπομπής - σωματιδιακής αέριας ρύπανσης - έκθεσης - ποσότητας έκθεσης, αλλά επικεντρώνεται σε ιχνοστοιχεία εκπεμπόμενα κατά την λειτουργία των κινητήρων όπως Pt, Pa και Rh.

«*EXPOLIS*»: Πρόκειται για μια μελέτη που καλύπτει την σχέση μεταξύ: σωματιδιακής αέριας ρύπανσης - εσωτερικής αέριας ρύπανσης - έκθεσης στις Ευρωπαϊκές πόλεις, με σκοπό να παράγει τρόπους ώστε να προβλέψει τις συνέπειες της έκθεσης αυτής και να προτείνει λύσεις.

«*ULTRA I-II*»: Πρόκειται για μια μελέτη που καλύπτει την σχέση μεταξύ: σωματιδιακής αέριας ρύπανσης - έκθεσης - υγείας, και επικεντρώνεται στα μέσα και στους λόγους μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων, στις σχέσεις μεταξύ σωματιδιακών αερίων επιπέδων, εκθέσεων και καρδιοαναπνευστικών συνεπειών.

«*TRAPCA*»: Πρόκειται για μια μελέτη που στοχεύει στην μοντελοποίηση και μέτρηση της σχέσης μεταξύ: εκπομπής - σωματιδιακής αέριας ρύπανσης - έκθεσης μικρών παιδιών σε αέρια ρύπανση προερχόμενη από την κίνηση οχημάτων.

Στα πλαίσια του προγράμματος «Ευρωπαϊκή συντονισμένη δράση στην επιδημιολογία της αέριας ρύπανσης», που βρίσκεται σε ισχύ από το 1989, οργανώθηκε η μελέτη «*EXPOLIS*» προκειμένου να μετρηθούν οι εκθέσεις ενήλικων αστικών πληθυσμών σε σημαντικούς αέριους ρύπους και κάποιοι παράμετροι κλειδιά που επηρεάζουν αυτές τις εκθέσεις.

Η συλλογή των δεδομένων (αιωρούμενα στερεά, πτητικές οργανικές ενώσεις, CO, NO₂) διεξήχθη από το καλοκαίρι του 1996 μέχρι το χειμώνα του 1997-98 και έλαβε χώρα σε έξι ευρωπαϊκές πόλεις (Αθήνα, Βασιλεία, Μιλάνο, Πράγα, Ελσίνκι,

Γκρενομπλ). Κάθε υποκείμενο μετέφερε μια συσκευή μέτρησης της έκθεσής του σε αέρια ρύπανση και το σπίτι του, εσωτερικά και εξωτερικά καθώς και ο χώρος εργασίας του εξοπλίστηκαν με συσκευές μέτρησης αέριας ρύπανσης, ενώ η περίοδος των μετρήσεων διαρκούσε 48 ώρες για κάθε υποκείμενο. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε αστικό πληθυσμό ηλικίας 25-55 ετών.

Από τις επιδημιολογικές μελέτες προέκυψαν κάποια συμπεράσματα για τις επιπτώσεις των αέριων ρύπων στην ανθρώπινη υγεία στα οποία αξίζει να αναφερθούμε. Έτσι, υπάρχουν επαρκείς λόγοι ώστε να υποθέσουμε ότι τα λεπτόκοκκα αιωρούμενα στερεά στην αστική ατμόσφαιρα είναι επικίνδυνα για την δημόσια υγεία, παρότι καμία μελέτη δεν υποστηρίζει κανένα όριο κατωφλίου, κάτω από το οποίο η έκθεση σε PM να θεωρείται ασφαλής. Αντί λοιπόν για κατευθυντήριες γραμμές παρατίθενται κάποια ποσοστά κινδύνου από τα PM.

Συμπερασματικά:

- Μία αύξηση $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σε 24ωρη μέση PM₁₀ έκθεση οδηγεί σε 12 έως 19% αύξηση στους καθημερινούς θανάτους
- Μία αύξηση $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σε 24ωρη μέση PM₁₀ έκθεση οδηγεί σε 25% αύξηση σε συνολικές νοσοκομειακές εισαγωγές
- Σε ασθματικούς, μία $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση σε 24ωρη μέση PM₁₀ έκθεση οδηγεί σε 12% αύξηση του βήχα.

Στον πληθυσμό, υπάρχουν μερικές ομάδες ανθρώπων οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις επιπτώσεις των σωματιδίων.^{74, 75, 76, 82} Οι κυριότερες ομάδες υψηλού κινδύνου συμπεριλαμβάνουν άτομα με χρόνια αναπνευστικά προβλήματα (εμφύσημα, άσθμα), με καρδιαγγειακά προβλήματα, άτομα με γρίπη, ηλικιωμένοι και

παιδιά. Έχει υπολογισθεί ότι ο χρόνος ζωής μπορεί να ελαττωθεί από ένα έως δύο χρόνια κατά μέσο όρο για τα άτομα υψηλού κινδύνου, που διαμένουν σε περιοχές με έντονη ρύπανση.

Άλλες έρευνες ⁷² που έχουν γίνει στην Αθήνα από το Εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών δείχνουν μεταξύ άλλων αύξηση στους θανάτους από αναπνευστικές αιτίες. Στους ηλικιωμένους, τις ημέρες υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης σημειώθηκε θνησιμότητα μεγαλύτερη κατά 16% από τις «καθαρές ημέρες». Σε ότι αφορά τον αριθμό των εισαγωγών επειγόντων περιστατικών στα Νοσοκομεία της Αθήνας, ήταν αυξημένος τις ημέρες ρύπανσης σε σχέση με τις «καθαρές ημέρες». Τους χειμερινούς μήνες σημειώθηκε αύξηση 16 % από καρδιαγγειακά αίτια και 24 % από αναπνευστικά προβλήματα.

Επίσης στην Αθήνα έχουν γίνει δύο επιδημιολογικές μελέτες οι οποίες έδειξαν ότι τα άτομα που έχουν ζήσει όλη τους τη ζωή στην Αθήνα έχουν διπλάσια πιθανότητα να αναπτύξουν χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια σε σχέση με άτομα που έχουν ζήσει εξ ολοκλήρου ή εν μέρει τουλάχιστον σε αγροτικές ή ημιαστικές περιοχές .

Άλλη μελέτη του εργαστηρίου Υ.Ε.Ι.Σ.Π.Α επικεντρώθηκε στα νοσοκομεία Σεισμανόγλιο και Σωτηρία διότι εκεί εισάγονται περισσότερο από το 90% των αναπνευστικών περιστατικών. Οι εισαγωγές με παρόξυνση άσθματος ήταν αυτές που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αύξηση περισσότερο σε άτομα κάτω των 65 ετών (35%). Πρόκειται για μικρή αύξηση, αλλά αντιστοιχεί σε μία εισαγωγή περίπου την ημέρα. Ακολουθούν οι εισαγωγές με παρόξυνση χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα άνω των 65 ετών, οι οποίες παρουσίασαν 12% αύξηση.

Αύξηση στα περιστατικά των παιδιών με αναπνευστικά προβλήματα που επισκέπτονται το Τζάνειο νοσοκομείο τις ημέρες κατά τις οποίες αυξάνονται οι τιμές των ρύπων στον Πειραιά δείχνει μελέτη που έγινε τη χρονική περίοδο 1990-1992 από το τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών του Πανεπιστημίου Πατρών και του Γενικού Νοσοκομείου Πατρών «Αγιος Ανδρέας». Οι ρύποι που εξετάστηκαν σε αυτή τη μελέτη, είναι ο καπνός, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του αζώτου και το όζον. Οι εισαγωγές παιδιών ηλικίας μέχρι 14 ετών με συμπτώματα λαρυγγίτιδας, οξείας ρινολαρυγγίτιδας, ωτίτιδας, βρογχοπνευμονίας, πνευμονίας και άσματος αποτελούσαν το 35% των συνολικών περιστατικών τη διετία 91-92. Η μελέτη συμπεραίνει ότι υπάρχει άμεση επίδραση όλων των ρύπων στα περιστατικά με αναπνευστικά προβλήματα.

Από καρκίνους και καρδιαγγειακά προβλήματα πεθαίνουν στην πλειονότητά τους οι κάτοικοι των σοβαρά επιβαρημένων από τη ρύπανση περιοχών. Αυτό είναι το συμπέρασμα έρευνας που έγινε στον Ασπρόπυργο τη χρονική περίοδο 1982-1994 από το Εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας των Τ.Ε.Ι. . Η έρευνα δείχνει ότι η αύξηση των θανάτων αυξήθηκε κατά 85,2%. Ειδικότερα η θνησιμότητα στη περιοχή ανά 1000 κατοίκους ήταν 6,1 το 1982, ανέβηκε στο 10 το 1992 και έφθασε στο 11,3 το 1994.

6.5. Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΘΥΓΑΤΡΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΟ

Οι δυνατότητες της εκάστοτε διοίκησης να ελέγξει τις πηγές και τα επίπεδα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, συχνά υπαγορεύονται από διεθνείς και εθνικές πολιτικές και νόμους. Για παράδειγμα, ο τρόπος με τον οποίο μία βιομηχανική μονάδα λειτουργεί και τα επίπεδα των επιτρεπόμενων εκπομπών, συνήθως αποφασίζονται σε εθνικό επίπεδο. Το ίδιο συμβαίνει και με τις οριακές τιμές για τις εκπομπές των αυτοκινήτων. Ωστόσο, συχνά η τοπική διοίκηση σε επίπεδο Δήμου ή Νομού είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή της Νομοθεσίας π.χ. με την έγκριση αδειών για βιομηχανικές μονάδες. Η τοπική διοίκηση μπορεί ακόμη να παρεμβαίνει στον έλεγχο της ποιότητας του αέρα, την απαγόρευση ή την άδεια κυκλοφορίας των οχημάτων σε συγκεκριμένες περιοχές. Ο σχεδιασμός σχετικών προγραμμάτων ελέγχου είναι ένα μέσο διασφάλισης ότι κύριες σημειακές πηγές ρύπανσης δεν εγκαθίστανται σε αστικές ή άλλες προστατευόμενες περιοχές. Με σκοπό να βοηθήσουν οι δημόσιες υπηρεσίες των κρατών, να ελέγξουν και να μειώσουν τις επιπτώσεις στην υγεία αλλά και άλλους κινδύνους από τους αέριους ρύπους, διεθνείς οργανισμοί όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), η Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλοι κρατικοί οργανισμοί ορίζουν κατευθυντήριες γραμμές και εθνικά πρότυπα ποιότητας αέρα για τους περισσότερους από τους διαδεδομένους αέριους ρύπους. Πρέπει άλλωστε να αναφερθεί ότι το 1994, ιδρύθηκε ο ευρωπαϊκός οργανισμός περιβάλλοντος με έδρα την Κοπεγχάγη.

Σκοπός της ύπαρξης του οργανισμού αυτού είναι να βοηθήσει τα κράτη μέλη να πετύχουν τους στόχους της περιβαλλοντικής προστασίας και αποκατάστασης με τα διάφορα περιβαλλοντικά προγράμματα της ένωσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι

κατευθυντήριες γραμμές και τα πρότυπα ποιότητας αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM10) από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Σε επίπεδο νομοθεσίας η Ευρωπαϊκή Ένωση, εκδίδει οδηγίες-πλαίσιο, βάσει των οποίων οφείλουν τα κράτη μέλη να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία. Η οδηγία-πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών οδηγιών. Κάθε θυγατρική οδηγία αναφέρεται σε ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων.

Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας μετά από επίπονη προετοιμασία μια νέα θυγατρική οδηγία που αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια (PM10).

Η οδηγία αναφέρει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε οι συγκεντρώσεις PM10 στον ατμοσφαιρικό αέρα, να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές, στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα και πριν από τις αναφερόμενες στην οδηγία ημερομηνίες. Ακόμη σύμφωνα με την οδηγία τα κράτη μέλη οφείλουν να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για τη συλλογή στοιχείων σχετικών με τις συγκεντρώσεις PM2,5. Η Ε.Ε. αν και δεν έχει ακόμα αρκετά στοιχεία (χρονοσειρές) ώστε να ορίσει οριακές τιμές για τα PM2,5 ωστόσο προβλέπει συνεχή καταγραφή του ρύπου αυτού, σε όλα τα μέλη, ώστε σύντομα να υπάρχουν αρκετά στοιχεία για την θέσπιση οριακών τιμών και για τα PM2,5. Είναι άλλωστε χαρακτηριστικό το σχετικό σημείο, όπου αναφέρεται σαφώς ότι: τα κράτη μέλη οφείλουν να διαβιβάζουν ετησίως στην Επιτροπή, όχι αργότερα από εννέα μήνες μετά το τέλος κάθε έτους, τον αριθμητικό μέσο, το διάμεσο, το 98ο εκατοστημόριο και τη μέγιστη συγκέντρωση που υπολογίζεται από τις μετρήσεις PM2,5 για 24 ώρες μέσα στο έτος.

Η παλαιά θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. (του 1983), όριζε για τα αιωρούμενα σωματίδια προτεινόμενες τιμές (guidelines) ως εξής:

Ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP)	Ετήσια τιμή (μέσος όρος 24-ωρων μετρήσεων)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Χειμώνας (μέσος όρος 24-ωρων μετρήσεων)	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	98 ^ο εκατοστημόριο, από τις 24-ωρες μετρήσεις του έτους	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 8: Προτεινόμενες τιμές κατά Ε.Ε., 1983

Ωστόσο, εδώ και χρόνια η Ε.Ε. ετοιμάζει μια νέα θυγατρική οδηγία που θα αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια. Από το προτεινόμενο κείμενο της οδηγίας αυτής, σύμφωνα και με την τελευταία διόρθωσή της, προέρχεται ο παρακάτω πίνακας για τις οριακές τιμές συγκεντρώσεων PM10.

	Περίοδος αναφορά για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία για τη συμμόρφωση προς την οριακή τιμή
Στάδιο 1				
1. 24-ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 που δεν πρέπει να υπερβαίνονται πάνω από 25 φορές ανά	50% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, μειούμενο γραμμικά από	1η Ιανουαρίου 2005

		έτος*	την 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες μέχρι να φτάσει το 0% την 1/1/2005	
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10	50% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, μειούμενο γραμμικά από την 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες μέχρι να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1η Ιανουαρίου 2005
Στάδιο 2				
1. 24-ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 που δεν πρέπει να υπερβαίνονται πάνω από 7 φορές ανά έτος	[Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή του σταδίου 1]	1η Ιανουαρίου 2010
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10	50% την 1/1/2005 μειούμενο γραμμικά κάθε 12 μήνες μέχρι να φθάσει το	1η Ιανουαρίου 2010

			0% την 1/1/2010	
* Όταν οι υπερβάσεις συνδέονται με ασυνήθεις οξείες περιπτώσεις, ο επιτρεπόμενος αριθμός υπερβάσεων θα μειωθεί σε 14 ανά έτος.				

Πίνακας 9: Οριακές τιμές για τα σωματίδια (PM10) κατά Ε.Ε.

6.6 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ US-EPA^{72, 73, 74}

Ο ρόλος του αμερικανικού οργανισμού προστασίας του περιβάλλοντος, είναι σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης των ΗΠΑ (US Clean Air Act 1970,1977,1990), να ορίζει και να θέτει σε ισχύ τα εθνικά πρότυπα ποιότητας αέρα της χώρας (National Ambient Air Quality Standards- NAAQS). Αυτά τα όρια πρέπει να είναι αρκετά αυστηρά ώστε να προστατεύεται η υγεία ακόμα και των πιο ευαίσθητων ομάδων του πληθυσμού.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι για την EPA ένας από τους ρύπους-κριτήρια. Ρύπους κριτήρια καλούμε τους αέριους ρύπους εκείνους που η EPA έχει αποφασίσει ότι είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό και την καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης. Έτσι τα εθνικά πρότυπα ποιότητας (NAAQS) των ΗΠΑ, αναφέρονται στους αέριους ρύπους: μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο του θείου, όζον, σωματιδιακό μόλυβδο και αιωρούμενα σωματίδια.

Από την θέσπισή τους, τα πρότυπα ποιότητας αέρα των ΗΠΑ (NAAQS), ορίστηκε ότι επανεξετάζονται κάθε πέντε χρόνια, από τον αμερικάνικο οργανισμό προστασίας του περιβάλλοντος (US-EPA), ώστε να αντανακλούν την πρόσφατη επιστημονική γνώση.

Το 1987 θεσπίστηκε ένα εθνικό αμερικάνικο πρότυπο ποιότητας αέρα (NAAQS) για τα PM10. Συγκεκριμένα, το πρότυπο δεν επέτρεπε οι συγκεντρώσεις στο περιβάλλον να υπερβαίνουν τα $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ετήσια μέση τιμή) περισσότερο από μια φορές σε τρία συνεχόμενα χρόνια και τα $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ωρη τιμή) περισσότερο από τρεις φορές μέσα σε τρία έτη.

Το 1992 η αμερικάνικη πνευμονολογική εταιρεία (American Lung Association) μήνυσε την US-EPA επειδή δεν είχε επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM10. Το δικαστήριο που έγινε στην πολιτεία της Αριζόνα απεφάνθη στις 6 Οκτωβρίου 1994, ότι η EPA οφείλει να επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM10 και αν κριθεί απαραίτητο να αναθεωρήσει τα αμερικάνικα πρότυπα ποιότητας αέρα το αργότερο έως τις 31 Ιανουαρίου 1997.

Ήδη τον Ιούλιο 1997, η EPA είχε προσδιορίσει τις αναθεωρήσεις που έπρεπε να γίνουν στο πρότυπο ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια, ώστε να ανταποκρίνονται στην τότε τρέχουσα επιστημονική γνώση. Τελικά οι αναθεωρήσεις αυτές (40 CFR Part 50) τέθηκαν σε ισχύ στις 16 Σεπτεμβρίου 1997. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια όπως ίσχυαν το 1987 με την αναθεώρηση που τους έγινε το 1997.

Η προσθήκη προτύπου ποιότητας για τα PM_{2,5} προκάλεσε αρκετές διαμάχες στις ΗΠΑ. Για να αποκτηθεί μεγαλύτερο επιστημονικό υπόβαθρο, το αμερικάνικο Κογκρέσο χρηματοδότησε την EPA με επιπλέον 49,6 εκ.\$ το 1998. Τα χρήματα αυτά θα αξιοποιηθούν μόνο για έρευνες σχετικές με τα αιωρούμενα σωματίδια και την καλύτερη κατανόηση της συσχέτισής τους με την ανθρώπινη υγεία. Στα πλαίσια αυτών των ερευνών, άλλωστε, χρηματοδοτήθηκε και μια μελέτη του εθνικού ερευνητικού οργανισμού των ΗΠΑ (National Research Council- NRC), της οποίας θέμα είναι ο

προσδιορισμός των πιο σημαντικών ερευνητικών προτεραιοτήτων ώστε να διευκολυνθεί η θέσπιση και ο έλεγχος των νέων προτύπων ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια, που πρόκειται να ανακοινωθούν στο μέλλον.

Η ΕΡΑ πάντως, εκτιμά ότι χάρη στο νέο πρότυπο των PM_{2,5} θα μειωθούν κατά 15.000 περίπου οι πρόωροι θάνατοι και κατά 250.000 περίπου τα κρούσματα σοβαρών αναπνευστικών προβλημάτων σε παιδιά, ετησίως.

Κλάσμα αιωρούμενων σωματιδίων	Οριακή τιμή (1987)	Επεξήγηση	Οριακή τιμή (1997)	Επεξήγηση
Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως 10 μm (PM ₁₀)	Ετήσια 50 μg/m³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων για 3 συνεχόμενα χρόνια, δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή 50 μg/m ³ πάνω από μία φορά	Ετήσια 50 μg/m³	Καμία αλλαγή σε σχέση με το 1987

	24-ωρη 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Οι 24-ώρες μετρήσεις από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής δεν πρέπει να υπερβούν την τιμή των $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ περισσότερο από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη	24-ωρη 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Το 99 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή των $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, περισσότερο από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη
Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως $2,5 \mu\text{m}$ (PM _{2,5})		Δεν υπάρχει οριακή τιμή	Ετήσια 15,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24-ωρων μετρήσεων από έναν ή περισσότερους σταθμούς σε οικιστικές περιοχές, δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$

		Δεν υπάρχει οριακή τιμή	24-ωρη 65 μg/m³	Το 98 ^ο εκατοστιμόριο από το σύνολο των 24-ωρων συγκεντρώσεων ενός έτους, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 65 μg/m ³ σε μέσο όρο για τρία συνεχόμενα έτη και για κάθε δειγματολήπτη μέσα σε συγκεκριμένη περιοχή
--	--	-------------------------	--	---

Πίνακας 10: Πρότυπα ποιότητας για αιωρούμενα σωματίδια κατά ΕΡΑ

7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

7.1 Η ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Με σκοπό την εξασφάλιση αντιπροσωπευτικών δειγματοληψιών και την κάλυψη διαφόρων περιβάλλοντων στα οποία διαβιώνουν καθημερινά ευαίσθητες πληθυσμιακές ομάδες η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε διάφορους τόπους και εποχές. Το σύνολο των ημερών κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία καλύπτει το διάστημα από τον Ιούνιο 2002 έως τον Ιανουάριο 2003.

Για την καλύτερη μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων κρίθηκε σκόπιμο να κατηγοριοποιηθούν οι μετρήσεις ως ακολούθως:

- **Εσωτερικές μετρήσεις** (σχολεία, χώροι διασκέδασης, υπόγεια πάρκινγκ)
- **Εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση** (διαδρομές με αυτοκίνητο, διαδρομές με τα πόδια)
- **Εξωτερικές μετρήσεις σταθερές**

7.1.1 Εσωτερικές μετρήσεις

Για την μελέτη της ρύπανσης σε εσωτερικούς χώρους επιλέχθηκαν τρεις αντιπροσωπευτικοί χώροι, το **σχολείο**, ο **χώρος διασκέδασης** (καφετέρια/μπαρ) και το **υπόγειο πάρκινγκ (garage)**.

Το σχολείο επιλέχθηκε ως το εργασιακό περιβάλλον δύο αντιπροσωπευτικών υποομάδων του πληθυσμού, ενός τυπικού εργαζόμενου (δασκάλου-καθηγητή) και μιας από τις πιο ευαίσθητες ομάδες υψηλού κινδύνου (των παιδιών). Ο χώρος διασκέδασης (καφετέρια), αποτελεί ταυτόχρονα εργασιακό περιβάλλον αλλά και περιβάλλον στο

οποίο περνά ένας μέσος πολίτης ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό του 24-ώρου του. Τέλος το υπόγειο πάρκινγκ (garage) επιλέχθηκε ως ένας τυπικός εργασιακός χώρος, με αναμενόμενες υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Πρόκειται για το εργασιακό περιβάλλον ενός μεγάλου αριθμού ατόμων, το οποίο επισκέπτεται καθημερινά ένας μεγάλος αριθμός πολιτών. Επιπλέον, η μελέτη των υπόγειων πάρκινγκ παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω του ότι ο αριθμός των δημοσιεύσεων (έως τώρα σχετικά με αποτελέσματα μετρήσεων των ρύπων σε υπόγειο πάρκινγκ στον ελλαδικό χώρο είναι περιορισμένος.

Στη συνέχεια ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των συγκεκριμένων χώρων που χρησιμοποιήθηκαν:

1) Σχολεία

Για τη μελέτη της επίδρασης της εξωτερικής αέριας ρύπανσης στην ποιότητα του αέρα των εσωτερικών χώρων σχολείων, επιλέχθηκαν δύο σχολικά κτίρια που βρίσκονται σε δύο πολυσύχναστες περιοχές της Αθήνας:

- Περιοχή Παγκρατίου, Νηπιαγωγείο - 2^ο Δημοτικό - 28ο/7^ο Γυμνάσιο και Λύκειο, οδός Σπύρου Μερκούρη 20 και Στράβωνος.
- Περιοχή Νίκαιας, 26^ο Δημοτικό σχολείο, οδός Γρηγορίου Λαμπράκη

Ως θέσεις δειγματοληψίας επιλέχθηκαν αίθουσες διδασκαλίας και γραφεία καθηγητών. Αναλυτικότερα:

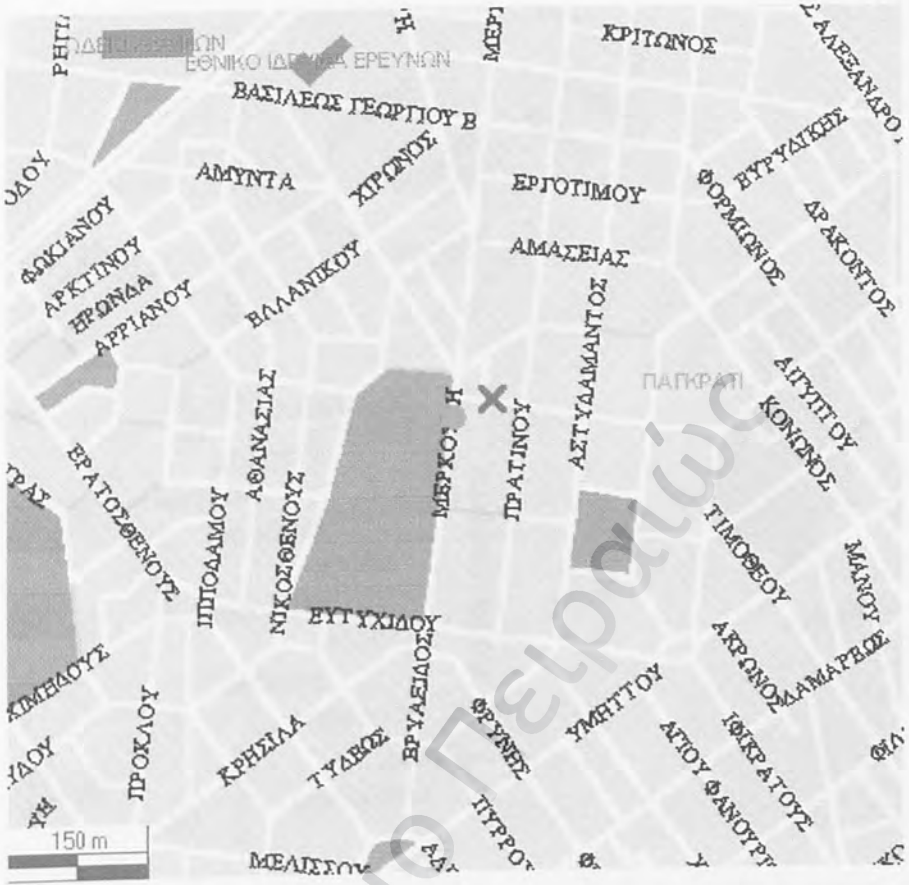
Η αίθουσα διδασκαλίας του σχολείου στο Παγκράτι είναι μια γωνιακή αίθουσα, κείμενη επί των οδών Σπύρου Μερκούρη και Στράβωνος. Βρίσκεται στο ισόγειο του σχολικού κτιρίου και έχει διαστάσεις 12 x 8 x 4,5 m. Στη συγκεκριμένη αίθουσα έχουν μαθημα τα παιδιά του Νηπιαγωγείου δηλαδή ηλικίας 5 ετών. Η αίθουσα

έχει συνολικά πέντε παράθυρα. Επί της οδού Σπύρου Μερκούρη υπάρχουν δύο παραθυρα ενώ επί της οδού Στράβωνος τρία.

Η οδός Σπύρου Μερκούρη είναι δρόμος διπλής κυκλοφορίας και αποτελεί «όριο» για το δακτύλιο. Απέναντι από το σχολικό συγκρότημα υπάρχει άλσος με πεύκα και άλλα δέντρα. Η οδός Στράβωνος αποτελεί μονόδρομο, ελαφρά ανηφορικό (άνοδος οχημάτων), όπου τα αυτοκίνητα κινούνται συνήθως με χαμηλές ταχύτητες εφόσον προηγείται στροφή και επίκειται σταμάτημα λόγου του STOP που υπάρχει στη διασταύρωση με τον κάθετο δρόμο. Στα εξήντα μέτρα από τη διασταύρωση των οδών (Σπύρου Μερκούρη και Στράβωνος) και επί της οδού Σπύρου Μερκούρη, υπάρχει φωτίνος σηματοδότης (φανάρι). Λίγα μέτρα πριν, υπάρχει στάση λεοφορείων ΟΑΣΑ από όπου διέρχονται τέσσερις γραμμές λεοφορείων με συχνότητα 15-30 λεπτά το καθένα.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση CO και PM μέσα στην αίθουσα ήταν τοποθετημένα κοντά σε παράθυρα σε ύψος 1,5 μέτρου από το δάπεδο καθώς και σε κεντρικό σημείο της αίθουσας. Η απόσταση μεταξύ των οργάνων είναι τέτοια ώστε να μην υπάρχει αλληλεπίδραση στον αέρα δειγματοληψίας, αλλά παράλληλα να μπορεί να θεωρηθεί ότι η δειγματοληψία γίνεται από το ίδιο ρεύμα αέρα πάντα, όπως ορίζει η ΕΠΑ αλλά και η ΕΕ στην οδηγία της (ΕΕ αριθ. C 259/98, σ. 10 – COM (1998) 386 τελικό -97/0266(SYN)).

Η ακριβής τοποθεσία του εν λόγω σχολείου υποδεικνύεται με την κόκκινη τελεία στον ακόλουθο χάρτη.



Σχήμα 11: Σημείο δειγματοληψίας – σχολείο περιοχής Παγκρατίου

Στο σχολείο της περιοχής της Νίκαιας, οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε αίθουσα διδασκαλίας που βρίσκεται στον 1^ο όροφο του σχολικού κτιρίου και σε γραφείο καθηγητών που βρίσκεται στο ισόγειο. Το Δημοτικό σχολείο βρίσκεται επί της οδού Γρηγορίου Λαμπράκη. Πάνω στη Γρηγορίου Λαμπράκη βρίσκεται ένα γήπεδο μπάσκετ και πίσω βρίσκονται οι αίθουσα διδασκαλίας και το γραφείο του διευθυντή (στο ισόγειο του σχολικού κτιρίου).

Η ακριβής τοποθεσία του εν λόγω σχολείου υποδεικνύεται με την κόκκινη τελεία στον ακόλουθο χάρτη.



Σχήμα 12: Τοποθεσία δειγματοληψίας – σχολείο περιοχής Νίκαιας

II) Χώροι διασκέδασης (καφέ/μπαρ)

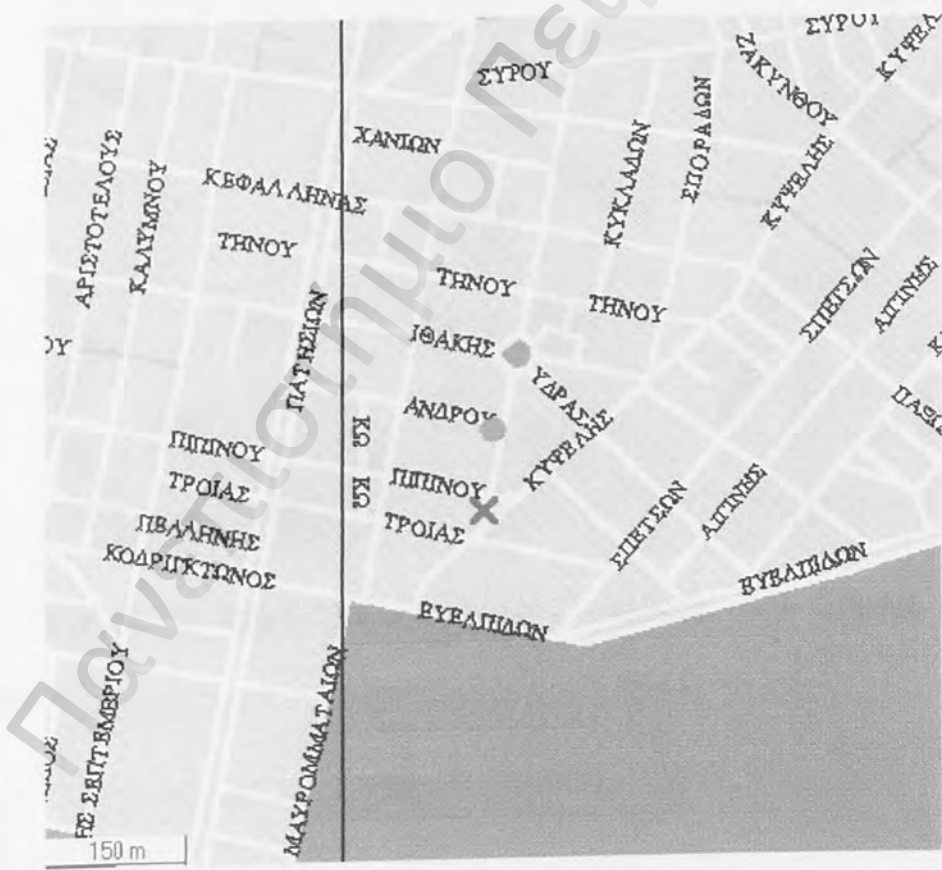
Μετρήσεις σε κέντρα διασκέδασης πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικούς χώρους. Πιο συγκεκριμένα, σε:

- Καφενείο, επί της οδού Γρηγορίου Λαμπράκη στη Νίκαια, απέναντι από το Δημοτικό σχολείο στο οποίο έγιναν οι εσωτερικές μετρήσεις.
- Μπαρ, στην οδό Επτανήσου και Άνδρου στην περιοχή της Κυψέλης.
- Καφετέρια στην οδό Δημ. Βασιλείου 5 και Περικλέους στην περιοχή του Νέου Ψυχικού.

Στο καφενείο επί της οδού Γρηγορίου Λαμπράκη στη Νίκαια έγιναν μετρήσεις CO. Η πόρτα του καφενείου παρέμεινε κλειστή καθόλη τη διάρκεια της μέτρησης. Ο

χώρος είχε διαστάσεις 16 x 7 x 2,6 μέτρα και μύριζε συνεχώς καπνός τσιγάρου. Ο χώρος του μπαρ στην περιοχή της Κυψέλης σχηματίζει ένα «Π». Οι πλευρές του έχουν περίπου 14 μέτρα μήκος, 6 μέτρα πλάτος και 4 μέτρα ύψος. Το όργανο παρέμεινε πάνω στο τραπέζι, σε ύψος 1,2 μέτρα καθόλη τη διάρκεια της μέτρησης. Ορισμένες φορές μετακινήθηκε με σκοπό να απομακρυνθεί από τα τασάκια των καπνιστών οι οποία επηρέαζαν σημαντικά τις ενδείξεις του οργάνου.

Η ακριβής τοποθεσία του εν λόγω κέντρου διασκέδασης υποδεικνύεται με την κόκκινη τελεία στον ακόλουθο χάρτη.



Σχήμα 13: Σημείο δειγματοληψίας – Μπαρ στην περιοχή της Κυψέλης

Στην καφετέρια στην περιοχή του Νέου Ψυχικού, οδός Δημητρίου Βασιλείου 5 και Περικλέους πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις CO και PM. Η καφετέρια είναι

δυόροφη. Τα όργανα βρίσκονταν τοποθετημένα σε τραπέζι ύψους ενός μέτρου από το δάπεδο του ισογείου αυτής.

Η ακριβής τοποθεσία του εν λόγω κέντρου διασκέδασης υποδεικνύεται με την κόκκινη τελεία στον ακόλουθο χάρτη.



Σχήμα 14: Σημείο δειγματοληψίας – καφετέρια στην περιοχή του Νέου

Ψυχικού

III) Υπόγειο πάρκινγκ (garage)

Τα υπόγεια πάρκινγκ (garage) αποτελούν χώρο εργασίας ενός μεγάλου αριθμού ατόμων και συγχρόνως είναι χώροι τους οποίους επισκέπτεται καθημερινά ένας μεγάλος αριθμός πολιτών. Για τον λόγο αυτό καθίσταται επιτακτική η ανάγκη

καταγραφής των επιπέδων CO και PM που διαμορφώνονται σε αυτούς τους χώρους και η εκτίμηση των επιπτώσεων που αυτά συνεπάγονται.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε δύο διαφορετικά υπόγεια πάρκινγκ (garage)

Πιο συγκεκριμένα, σε:

- Υπόγειο πάρκινγκ (garage) στην οδό Ιππόκρατους και Σόλωνος στο κέντρο της Αθήνας.
- Υπόγειο πάρκινγκ (garage) στην οδό Σκουφά και Λυκαβηττού στην περιοχή του Κολωνακίου.

Οι ακριβείς τοποθεσίες των υπογείων πάρκινγκ υποδηλώνονται με την κόκκινη τελεία στους χάρτες που ακολουθούν.



Σχήμα 15: Σημείο δειγματοληψίας – υπόγειο πάρκινγκ στην οδό Ιπποκράτους



Σχήμα 16: Σημείο δηγματοληψίας – υπόγειο πάρκινγκ στην οδό Σκουφά

Τα χαρακτηριστικά του κάθε υπογείου πάρκινγκ συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Χαρακτηριστικά υπογείων πάρκινγκ	Ιπποκράτους	Σκουφά
Ολική χωρητικότητα	90 αυτοκίνητα	110 αυτοκίνητα
Αριθμός υπογείων	2	2
Χωρητικότητα ανά υπόγειο	1 ^ο : 55 αυτοκίνητα	1 ^ο : 55 αυτοκίνητα
	2 ^ο : 35 αυτοκίνητα	2 ^ο : 55 αυτοκίνητα
Εξαερισμός υπογείων	Μηχανικός (έξοδος)	Φυσικός
Σύστημα ελέγχου του εξαερισμού	Ναι	Όχι
Παρκάρισμα αυτοκινήτων από	Υπαλλήλους	Υπαλλήλους

7.1.2 Εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση

Στην κατηγορία των εξωτερικών μετρήσεων σε κίνηση, ανήκουν οι μετρήσεις εκείνες που πάρθηκαν μέσα από κινούμενο ιδιωτικό όχημα (**διαδρομές με αυτοκίνητο**) σε διάφορες περιοχές της Αθήνας, καθώς και εκείνες που έγιναν κατά την πεζοπορία (**διαδρομές με τα πόδια**) σε δρόμους της Αθήνας.

1) Διαδρομές με αυτοκίνητο

Στην κατηγορία των εξωτερικών μετρήσεων με αυτοκίνητο ανήκουν οι μετρήσεις εκείνες που έγιναν μέσα μέσα από κινούμενο αυτοκίνητο σε διάφορους δρόμους της Αθήνας, ώρες της ημέρας, εποχές και κλιματολογικές συνθήκες. Μέσα στο αυτοκίνητο περνούν καθημερινά ένα μεγάλο μέρος του 24-ώρου διάφορες πληθυσμιακές ομάδες. Πολλοί εργαζόμενοι χρησιμοποιούν καθημερινά το αυτοκίνητο ως μέσο μεταφοράς από και προς το χώρο εργασίας τους και σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις μεταφέρουν με αυτό τα παιδιά τους στο σχολείο.

Οι διαδρομές που ακολουθήθηκαν, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Διαδρομές εξωτερικών μετρήσεων σε κίνηση
Λεωφ. Κηφισίας (από Ψυχικό έως Ολυμπιακό Στάδιο)
Λεωφ. Μεσογείων (από Χαλάνδρι – έως Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου)
Λεωφ. Κηφισίας - Αλεξάνδρας - κέντρο Αθήνας
Λεωφ. Μεσογείων - Μιχαλακοπούλου (έως Χαλάνδρι)
Λεωφ. Μεσογείων (άνοδος και κάθοδος)
Λεωφ. Μεσογείων - λεωφ. Μαραθώνος (έως ύψος Ραφήνας)
Λεωφ. Μεσογείων - Λεωφ. Αθηνών - Σκαραμαγκάς
Λεωφ. Κηφισίας - Κατεχάκη (από Πολυτεχνειούπολη μέχρι Ν. Ηράκλειο)
Λεωφ. Κηφισίας - λεωφ. Μεσογείων (από Ψυχικό έως Χαλάνδρι)
Λεωφ. Μεσογείων - κέντρο Αθήνας - Πειραιώς - Γρ. Λαμπράκη (Νίκαια)

II) Διαδρομές με τα πόδια

Στην κατηγορία των εξωτερικών μετρήσεων – διαδρομές με τα πόδια, ανήκουν οι μετρήσεις εκείνες που πραγματοποιήθηκαν περπατώντας σε διάφορους δρόμους τις Αθήνας, καθώς και έξω από σχολεία στις περιοχές Παγκρατίου και Νέου Ηρακλείου. Σε ορισμένα χρονικά διαστήματα κατά τις διαδρομές στο κέντρο της Αθήνας μετρήσεις του CO πάρθηκαν και στο εσωτερικών κεντρικών καταστημάτων. Σκοπός των μετρήσεων αυτών ήταν να πάρουμε μια όσο γίνεται πιο αντιπροσωπευτική εικόνα για τα επίπεδα του ρύπου CO που αναπνέει ένας άνθρωπος που κινείται μια εργάσιμη ημέρα σε δρόμους και στην αγορά της Αθήνας.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτών τα όργανα τοποθετήθηκαν πάνω στο ανθρώπινο σώμα σε ύψος 1,5 μέτρο. Στις περιπτώσεις των μετρήσεων έξω από σχολικά κτίρια τα όργανα ήταν τοποθετημένα σε σημείο που βρισκόταν πάνω στο πεζοδρόμιο, απήχε 4 μέτρα από το δρόμο και σε 85 εκατοστά ύψος.

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις περιοχές:

- Παγκράτι: Νηπιαγωγείο / 2^ο Δημοτικό / 28^ο και 7^ο Γυμνάσιο και Λύκειο, οδός Σπύρου Μερκούρη 20 και Στράβωνος
- Νέο Ηράκλειο: οδός Πευκών και Ρόδων, Γυμνάσιο – Λύκειο
- Αθήνα (κέντρο): οδοί Ιπποκράτους, Ακαδημίας, Κάνιγγος, Σίνα, Πανεπιστημίου, Σταδίου, Σύνταγμα, Ομόνοια

Οι χάρτες για τους τόπους δειγματοληψίας Παγκρατίου και Αθήνας έχουν προηγηθεί στις κατηγορίες «σχολεία» και «υπόγεια πάρκινγκ» αντίστοιχα. Η ακριβής τοποθεσία του σχολείου στην περιοχή του Νέου Ηρακλείου υποδηλώνεται με την κόκκινη τελεία στον χάρτη που ακολουθεί.



Σχήμα 17: Τόπος δειγματοληψίας – έξω από σχολείο στην περιοχή Νέου Ηρακλείου

7.1.3 Εξωτερικές μετρήσεις σταθερές

Στις σταθερές εξωτερικές μετρήσεις συγκαταλέγονται οι μετρήσεις εκείνες που πραγματοποιήθηκαν σε σταθερά σημεία σε εξωτερικό χώρο. Για την εξασφάλιση της ασφαλούς διεξαγωγής των μετρήσεων αυτών και παράλληλα της αντιπροσωπευτικότητας των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκαν ως τόποι δειγματοληψίας οι βεράντες δύο κτιρίων.

Η μία βεράντα βρίσκεται στο δεύτερο όροφο πολυκατοικίας στην περιοχή του Χαλανδρίου, οδός Ηρ. Αττικού 34. Να σημειωθεί ότι η οδός αυτή αποτελεί πρώτη παράλληλο της, με υψηλή κυκλοφορία, λεωφόρου Πεντέλης, η εν λόγω δε βεράντα

βρίσκεται επί της λεωφόρου Πεντέλης. Ως χώρος δειγματοληψίας επιλέχθηκε επίσης και το μπαλκόνι του πρώτου ορόφου σε κεντρικό κτίριο της Αθήνας, οδός Αριστοτέλους 17, όπου ακριβώς στεγάζεται το Υπουργείο Υγείας Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων.

Η ακριβής τοποθεσία των εν λόγω τοποθεσιών υποδεικνύονται με την κόκκινη τελεία στους χάρτες που ακολουθούν.



Σχήμα 18: Σημείο δειγματοληψίας – μπαλκόνι επί της λεωφόρου Πεντέλης στην περιοχή Χαλανδρίου



Σχήμα 19: Σημείο δειγματοληψίας – μπαλκόνι στην οδό Αριστοτέλους 17

(Υπουργείο Υγείας Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων)

Οι σταθερές εξωτερικές μετρήσεις έλαβαν χώρα κατά καλοκαιρινούς, φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες.

7.1.4 Κριτήρια επιλογής και πλεονεκτήματα του χώρου δειγματοληψίας

Τα κυριότερα κριτήρια βάσει των οποίων έγινε η επιλογή των χώρων και των θέσεων δειγματοληψίας είναι τα ακόλουθα:

- Ο χώρος της δειγματοληψίας θα πρέπει να βρίσκεται **κοντά σε κεντρικές οδικές αρτηρίες μεγάλης κυκλοφορίας** όπου οι ρύποι να εκπέμπονται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Η ανάγκη αυτή υπαγορεύεται από τη μεγάλη χωρική

διαφοροποίηση που εμφανίζουν οι ρύποι CO και PM, χαρακτηριστικό που δυσχεραίνει ιδιαίτερα την καταγραφή των σε εξωτερικούς χώρους. Όπως άλλωστε επιβεβαιώνεται και από τους χάρτες, οι θέσεις δειματοληψίας που επιλέχθηκαν βρίσκονται πάνω ή κοντά σε οδικές αρτηρίες μεγάλης κυκλοφορίας τόσο ιδιωτικών οχημάτων όσο και μέσων συγκοινωνίας (λεωφόρος Πεντέλης, λεωφόρος Γρηγορίου Λαμπράκη, οδός Σπύρου Μερκούρη, οδός Ακαδημίας). Επίσης στην περίπτωση των υπογείων πάρκινγκ, από τα πολυάριθμα που υπάρχουν στην Αθήνα, επιλέχθηκαν εκείνα που βρίσκονται πάνω ή πολύ κοντά σε πολυσύχναστους δρόμους υψηλού κυκλοφοριακού φορτίου.

- Ο χώρος δειματοληψίας θα πρέπει να επιτρέπει την **εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων ως προς την ποιότητα του εργασιακού περιβάλλοντος αντιπροσωπευτικών υποομάδων του πληθυσμού**. Τα σχολικά κτίρια επιλέχθηκαν λόγω του ότι εξασφαλίζουν τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων τόσο για ένα τυπικό εργαζόμενο (καθηγητή / δάσκαλο) όσο και για τα παιδιά, μια από τις πιο ευαίσθητες υποομάδες του πληθυσμού. Οι μετρήσεις που καταγράφονται στην σχολική αίθουσα καθώς και στα γραφεία των καθηγητών μπορούν να ληφθούν ως ενδεικτικές της ποιότητας του αέρα στην οποία εκτίθενται οι μαθητές. Ο χώρος διασκέδασης (καφετέρια), αποτελεί ταυτόχρονα εργασιακό περιβάλλον αλλά και περιβάλλον στο οποίο περνά ένας μέσος πολίτης ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό του 24-ώρου του. Το δε υπόγειο πάρκινγκ (garage) επιλέχθηκε ως ένας τυπικός εργασιακός χώρος, με αναμενόμενες υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Πρόκειται για το εργασιακό περιβάλλον ενός μεγάλου αριθμού ατόμων, το οποίο επισκέπτεται καθημερινά

ένας μεγάλος αριθμός πολιτών. Επιπλέον, η μελέτη των υπόγειων πάρκινγκ παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω του ότι ο αριθμός των δημοσιεύσεων έως τώρα σχετικά με αποτελέσματα μετρήσεων των ρύπων σε υπόγειο πάρκινγκ στον ελλαδικό χώρο είναι περιορισμένος. Χρήσιμα συμπεράσματα εξάγονται επίσης και μέσα από τις μετρήσεις που πάρθηκαν μέσα από κινούμενο αυτοκίνητο. Μέσα στο αυτοκίνητο περνούν καθημερινά ένα μεγάλο μέρος του 24-ώρου διάφορες πληθυσμιακές ομάδες. Πολλοί εργαζόμενοι χρησιμοποιούν καθημερινά το αυτοκίνητο ως μέσο μεταφοράς από και προς το χώρο εργασίας τους και σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις μεταφέρουν με αυτό και τα παιδιά τους στο σχολείο. Μέσα από τις μετρήσεις CO που έγιναν κατά το περπατώντας σε κεντρικούς δρόμους της Αθήνας, παίρνουμε μια όσο γίνεται πιο αντιπροσωπευτική εικόνα για τις τιμές του CO που αναπνέει ένας άνθρωπος που κινείται μια εργάσιμη ημέρα σε δρόμους και στην αγορά της Αθήνας. Τέλος, με τις σταθερές εξωτερικές μετρήσεις (μετρήσεις σε βεράντες) έχουμε τη δυνατότητα να πάρουμε ημερήσιες τιμές εκπομπής των ρύπων και να εξάγουμε πιο ολοκληρωμένα συμπεράσματα και συμπεράσματα για τις τιμές των ρύπων σε σχέση με τη διάσταση του χρόνου και του τόπου και των κλιματολογικών συνθηκών.

- Ο χώρος δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι **ελεγχόμενος, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία του αναλυτή**. Παράλληλα θα πρέπει να διαθέτει επαρκή υποδομή για την εγκατάσταση των οργάνων, δηλαδή διαθέσιμη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και κατάλληλο χώρο για τη σωστή και ασφαλή τοποθέτηση των οργάνων.

■ Η θέση της δειγματοληψίας θα πρέπει να εξασφαλίζει τη **λήψη αντιπροσωπευτικών και αξιοποιήσιμων μετρήσεων**. Για το λόγο αυτό, στην περίπτωση των μετρήσεων σε σχολικές αίθουσες οι οποίες διαθέτουν δύο διαφορετικής διεύθυνσης παράθυρα, το στόμιο του δειγματολήπτη εξωτερικού αέρα επιλέχθηκε να τοποθετηθεί έξω από τα παράθυρα των οδών εκείνων που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κυκλοφορία οχημάτων. Το στόμιο στερεώθηκε σε απόσταση από το επίπεδο του δρόμου, όχι μικρότερη από εκείνη που θα είχε κίνδυνο δολιοφθοράς από περαστικούς και όχι μεγαλύτερη από εκείνη που επέτρεπε η μορφολογία του οργάνου. Το επιτυγχανόμενο ύψος δειγματοληψίας (1,6 μέτρα) θεωρείται μια ικανοποιητική απόσταση από την πηγή (εξάτμιση αυτοκινήτων). Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται και το δυνατό η καθ' ύψος διασπορά των ρύπων και παράλληλα εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή προσέγγιση της ζώνης αναπνοής των πεζών. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την αξιοποίηση των καταγραφόμενων από τα όργανα εξωτερικών συγκεντρώσεων για την εκτίμηση επιπέδων έκθεσης των διερχόμενων πεζών. Ειδικότερα, η σύγκριση των συγκεντρώσεων αυτών με τα ισχύοντα πρότυπα ποιότητας αέρα, μας παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της σοβαρότητας του κινδύνου που διατρέχει η υγεία των πεζών Αθηναίων κατά τη μετακίνησή τους σε πολυσύχναστους δρόμους της πρωτεύουσας. Επίσης στην περίπτωση των υπογείων πάρκινγκ, οι χώροι δειγματοληψίας θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από μεγάλη συχνότητα εισόδου – εξόδου αυτοκινήτων. Το κριτήριο αυτό πληρείται από το σύνολο των επιλεγμένων γκαράζ, καθώς βρίσκονται στο κέντρο της Αθήνας, σε μικρή απόσταση από πλήθος υπηρεσιών και άλλων χώρων εργασίας (π.χ. τράπεζες, δικηγορικά γραφεία, Πανεπιστήμια κλπ).

7.2 ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων CO και αιωρούμενων σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μετρητές:

- Ένας φορητός ηλεκτροχημικός μετρητής CO, μοντέλο **MP SURVEYOR PRO** της εταιρείας **Solomat** ο οποίος μετράει ppm CO,
- τρεις φορητοί μετρητές της εταιρείας **Neotronics, Zellweger Analytics** μοντέλα **Neotox Mk5** που επίσης μετρούν ppm CO,
- ένας φορητός μετρητής της εταιρείας **TSI, μοντέλο 8520 DustTrak Aerosol Monitor** ο οποίος μετράει μg αιωρούμενων σωματιδίων PM10 ανά m³.
- ένας φορητός μετρητής της εταιρείας **TSI, μοντέλο 3007 Condensation Particle Counter (CPC)** ο οποίος μετράει αριθμό αιωρούμενων σωματιδίων PM10 ανά cm³

Τα χαρακτηριστικά και ο προγραμματισμός λειτουργίας του κάθε μετρητή ακολουθούν στη συνέχεια.

7.2.1 Όργανο μέτρησης Solomat MP SURVEYOR PRO

Το όργανο μέτρησης Solomat MP SURVEYOR PRO της εταιρείας Zellweger Analytics δύναται να μετρήσει μια ποικιλία παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτές περιλαμβάνουν την ταχύτητα του αέρα, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη σχετική υγρασία και το CO. Το όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για φορητές μετρήσεις φερόμενο στο σώμα του διεξαγωγέα των μετρήσεων. Στη συνέχεια μπορεί να συνδεθεί

με ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου μεταφέρονται τα δεδομένα των μετρήσεων και αναλύονται περαιτέρω. Το εν λόγω όργανο διαθέτει:

- Έναν ηλεκτροχημικό αισθητήρα ανίχνευσης CO,
- Ένα σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων,
- Ένα σύστημα που παρέχει τη δυνατότητα του προγραμματισμού και της λειτουργίας του οργάνου.

Το όργανο έχει διαστάσεις 260 x 130 x 40 mm και ζυγίζει 893 g μαζί με τον αισθητήρα. Διαθέτει πληκτρολόγιο με τη βοήθεια του οποίου τίθεται σε λειτουργία καθώς και προσδιορίζονται ορισμένες παράμετροι πριν από κάθε μέτρηση, όπως η ημερομηνία και η τοποθεσία της δειγματοληψίας. Διαθέτει, επίσης, οθόνη με διαστάσεις 64 x 40 mm. Με τη βοήθεια καλωδίου 2 μέτρων συνδέεται ο αισθητήρας CO με το όργανο. Το όργανο μπορεί να λειτουργήσει και με μπαταρίες και με ηλεκτρικό ρεύμα με τη βοήθεια ειδικού καλωδίου.



Σχήμα 20: Όργανο μέτρησης Solomat MP SURVEYOR PRO

Εις ό,τι αφορά το σύστημα προγραμματισμού της λειτουργίας του αναλυτή, αυτό παρέχει τη δυνατότητα προγραμματισμού:

- Της ώρας και της ημερομηνίας έναρξης της λειτουργίας του οργάνου
- Της ώρας και της ημερομηνίας λήξης της λειτουργίας του οργάνου
- Τη συχνότητα αποθήκευσης του οργάνου

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή Solomat MP SURVEYOR PRO συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Εύρος μετρήσεων (Range)	0-1000 ppm
Συνολική ακρίβεια - όργανο και αισθητήρας (Total accuracy)	± 2 ppm (<80ppm) ± 5 ppm (>80ppm)
Διακριτική ικανότητα (Resolution)	0,1 ppm
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας (Temperature range)	-23°C έως +93°C
Χρόνος ζωής του αισθητήρα	18 – 24 μήνες
Προτεινόμενη συχνότητα βαθμονόμησης	Κάθε 6 μήνες

Στη συνέχεια της εργασίας ο συγκεκριμένος μετρητής εμφανίζεται με το όνομα «Solomat».

7.2.2 Όργανο μέτρησης Neotox Mk5

Το όργανο Neotox Mk5 της εταιρείας Zellweger Analytics αποτελεί ένα προσωπικό μετρητή ενός αερίου και δύναται να μετρήσει ένα από τα ακόλουθα αέρια: εκρηκτικά, οξυγόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, χλώριο, διοξείδιο του αζώτου,

υδροκυάνιο ή αμμωνία. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση μονοξειδίου του άνθρακα (CO).

Οι ανιχνευτές υψηλής ακρίβειας του οργάνου εξασφαλίζουν ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις. Το Neotox Mk5 ενδείκνυται και για καθημερινές μετρήσεις σε βιομηχανικά εργασιακά περιβάλλοντα. Παρόλο που είναι μικρό σε μέγεθος και ελαφρύ, είναι ανθεκτικά σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να αντέχει σε καταπονήσεις κατά την καθημερινή του χρήση.

Το όργανο είναι εφοδιασμένο με σύστημα συναγερμού, ο οποίος ενεργοποιείται όταν υπάρξει υπέρβαση των διεθνών ορίων STEL (Short-Term Exposure Limit) και LTEL (Long Term Exposure Limit), οι τιμές των οποίων έχουν προεγκατασταθεί στο όργανο. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα καταγραφής και επισήμανσης των κορυφών των τιμών (peak readings) εφόσον ζητηθεί. Κατά την ενεργοποίηση του συναγερμού αναβοσβήνουν γρήγορα δύο ιδιαίτερα φωτεινά λαμπάκια καθώς και δύτονος ακουστικός συναγερμός που δύσκολα μπορεί να αγνοηθούν από τα άτομα του περιβάλλοντα χώρου. Με χαμηλή περιοδικότητα, αναβοσβήνει το λαμπάκι του συναγερμού και «χτυπά» ο ακουστικός συναγερμός, γεγονός που δηλώνει την ομαλή λειτουργία του οργάνου.

Οι διαστάσεις του οργάνου είναι 49 x 75 x 128 mm και έχει βάρος 220 g. Το όργανο φέρει ειδική λαβή που εξυπηρετεί στην τοποθέτηση του πάνω στα ρούχα του διεξαγωγέα των μετρήσεων, διευκολύνοντας έτσι την ελευθερία κινήσεων και την κατά βούληση εναλλαγή του τόπου δειγματοληψίας. Στις ακμές του είναι καλυμμένο με ειδικό πλαστικό με σκοπό την προστασία του σε περίπτωση πτώσης.



Σχήμα 21: Όργανο μέτρησης CO (ppm) Neotox Mk5

Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο όργανο για χρονικό διάστημα το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί μέσω του υπολογιστή. Μετά από κάθε μέτρηση συνδέουμε το όργανο με ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου και μεταφέρονται τα δεδομένα.

Το όργανο είναι επαναφορτιζόμενο. Η επαναφόρτισή του γίνεται με ειδική βάση η οποία τοποθετείται στην πρίζα. Φορτίζοντας το όργανο επί 8 ώρες, εξασφαλίζονται 24 ώρες λειτουργίας.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή Neotox Mk5 συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Εύρος μετρήσεων (Range)	0-1000 ppm
Διακριτική ικανότητα (Resolution)	1 ppm
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας (Temperature range)	-20°C έως +50°C
Χρόνος ζωής του αισθητήρα	36 μήνες
Προτεινόμενη συχνότητα βαθμονόμησης	Κάθε 6 μήνες

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων υπήρχαν διαθέσιμα τρεις μετρητές Neotox Mk5 όπου στη συνέχεια της εργασίας αναφέρονται με τα ονόματα «Neotox 24», «Neotox 25», «Neotox 26».

7.2.3 Όργανο μέτρησης DustTrak Aerosol Monitor 8520

Το DustTrak Aerosol Monitor αποτελεί ένα φορητό φωτομετρικό μετρητή που λειτουργεί με μπαταρίες και μετρά και καταγράφει τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις σε διάφορα περιβάλλοντα., από γραφεία μέχρι βιομηχανικούς χώρους εργασίας. Οι συνηθέστερες εφαρμογές του είναι:

- Έρευνα της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων
- Έλεγχος ποιότητας του αέρα σε βιομηχανικούς εργασιακούς χώρους
- Έλεγχος ποιότητας του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος
- Αξιολόγηση της ποιότητας φίλτρων και μηχανολογικός έλεγχος

Το όργανο έχει ψηφιακή οθόνη στην οποία εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Τα δεδομένα καταγράφονται αυτόματα στη μνήμη του οργάνου. Η μνήμη του είναι αρκετή για να αποθηκεύσει μετρήσεις μερικών εβδομάδων, ακόμη και όταν το όργανο είναι προγραμματισμένο να καταγράφει τιμές ανά ένα λεπτό (one-minute intervals).

Οι διαστάσεις του οργάνου είναι 221 x 150 x 87 mm και ζυγίζει 1,5 kg μαζί με τις μπαταρίες. Οι μπαταρίες που απαιτούνται είναι αλκαλικές μπαταρίες μεγέθους C και φτάνουν για μετρήσεις 16 ωρών.



Σχήμα 22: Όργανο μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) DustTrak Aerosol Monitor

Το όργανο μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να ξεκινήσει και να σταματήσει μόνο του τις μετρήσεις χωρίς να είναι απαραίτητη η συνεχής επιτήρηση και παρουσία του διεξαγωγέα των μετρήσεων. Εκτελεί τις οδηγίες που του δίνονται με την ακρίβεια που του παρέχεται από τον μικροεπεξεργαστή με τον οποίο είναι εφοδιασμένο. Τα δεδομένα που καταγράφει είναι ασφαλώς αποθηκευμένα στη μνήμη με τη βοήθεια της μπαταρίας λιθίου.

Το όργανο συνδέεται στη συνέχεια με ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου μεταφέρονται τα δεδομένα και ακολουθεί η περαιτέρω επεξεργασία. Μπορεί δηλαδή να παρουσιαστεί η διακύμανση των αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια του χρόνου καθώς και να εντοπιστούν τα χρονικά διαστήματα με υψηλές συγκεντρώσεις σε μετρήσεις αέρα σε εσωτερικούς χώρους ή και προβλήματα σε βιομηχανικούς εργασιακούς χώρους.

Το DustTrak Aerosol Monitor έχει τη δυνατότητα ρύθμισης ειδικού συναγερμού που ενεργοποιείται ανάλογα με τις ρυθμίσεις του χρήστη για να

ειδοποιήσει για ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις, απότομη αλλαγή των συνθηκών μέτρησης κλπ.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή DustTrak Aerosol Monitor συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

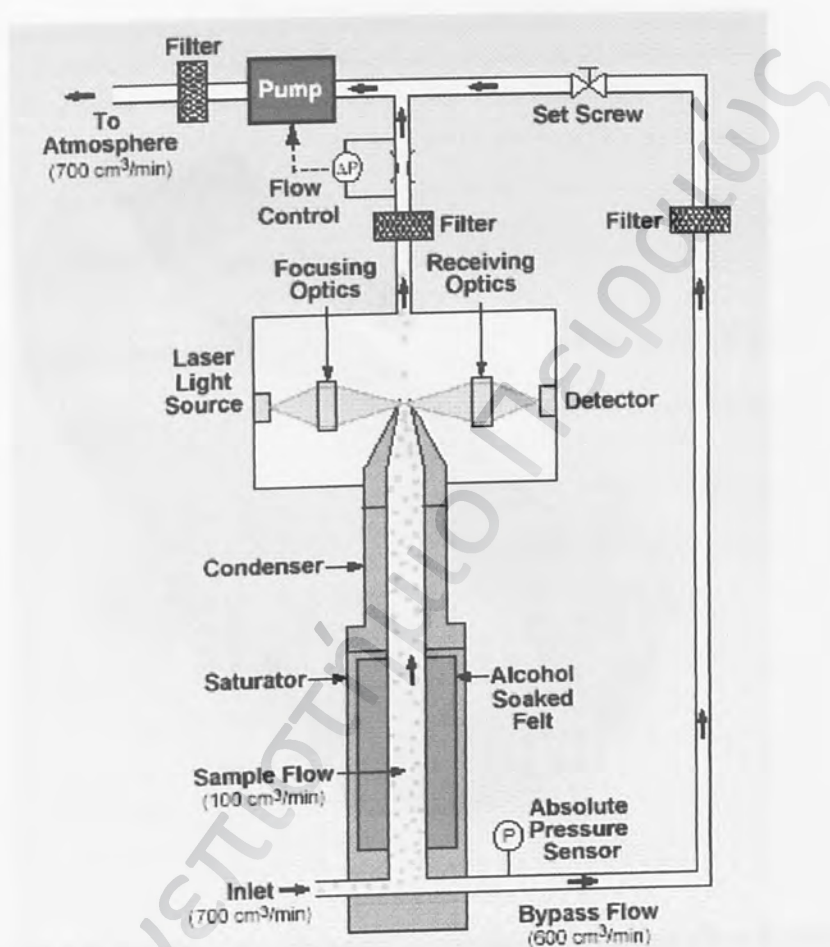
Εύρος μετρήσεων (Range)	0,001 – 100 mg/m ³
Εύρος μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων (Particle size range)	0,1 – 10 μm
Διακριτική ικανότητα (Resolution)	0,001 mg/m ³
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας (Temperature range)	0 – 50 °C
Εύρος υγρασίας κατά τη λειτουργία (Operating humidity)	0 – 95 %
Τυπική απόκλιση σε σχέση με τη θερμοκρασία (Temperature coefficient)	±0,001 mg/m ³ ανά °C
Ρυθμός ροής (Flow rate)	1,7 l/min

Στη συνέχεια της εργασίας ο συγκεκριμένος μετρητής εμφανίζεται με το όνομα «DustTrak».

7.2.4 Όργανο μέτρησης Condensation Particle Counter (CPC) 3007

Το Condensation Particle Counter (CPC) αποτελεί ένα φορητό όργανο μέτρησης των υπερλεπτόκοκκων (μικρής διαμέτρου) αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀ particles) διαμέτρου 0,01 έως 1 μm. Πρόκειται για ένα φορητό και συνεπώς εύκολο στη μεταφορά όργανο με ποικίλες εφαρμογές.

Στο εσωτερικό του οργάνου υπάρχει ειδική αντλία με τη βοήθεια της οποίας περνάει δείγμα αέρα μέσα στο όργανο. Αφού εισέλθει στο όργανο δείγμα αέρα, περνάει μέσα από ένα αποστακτικό σωλήνα όπου ατμοποιείται αλκοόλη στο ρεύμα του δείγματος. Η ροή του δείγματος αέρα αποστειρώνεται με την εξάτμιση της αλκοόλης.



Σχήμα 23: Σχηματική απεικόνιση του εσωτερικού του οργάνου CPC

Στη συνέχεια το δείγμα εισέρχεται σε σωλήνα συμπύκνωσης, όπου ο ατμός της αλκοόλης υπερξηραίνεται και στερεοποιείται πάνω σε σωματίδια διαμέτρου μεγαλύτερης από 10 nm . Τα σταγονίδια που σχηματίζονται εξέρχονται από το σωλήνα και περνούν μέσα από ένα δακτύλιο φωτεινής ακτινοβολίας λέιζερ. Ένα οπτικό

σύστημα καταγράφει τα δεδομένα σε φωτοανιχνευτή. Τα σήματα του φωτός μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία καταγράφονται στον μετρητή των αιωρούμενων σωματιδίων.

Το όργανο μέτρησης Condensation Particle Counter (CPC) έχει διαστάσεις 292 x 140 x 140 mm και βάρος 1,7 kg μαζί με τις μπαταρίες.

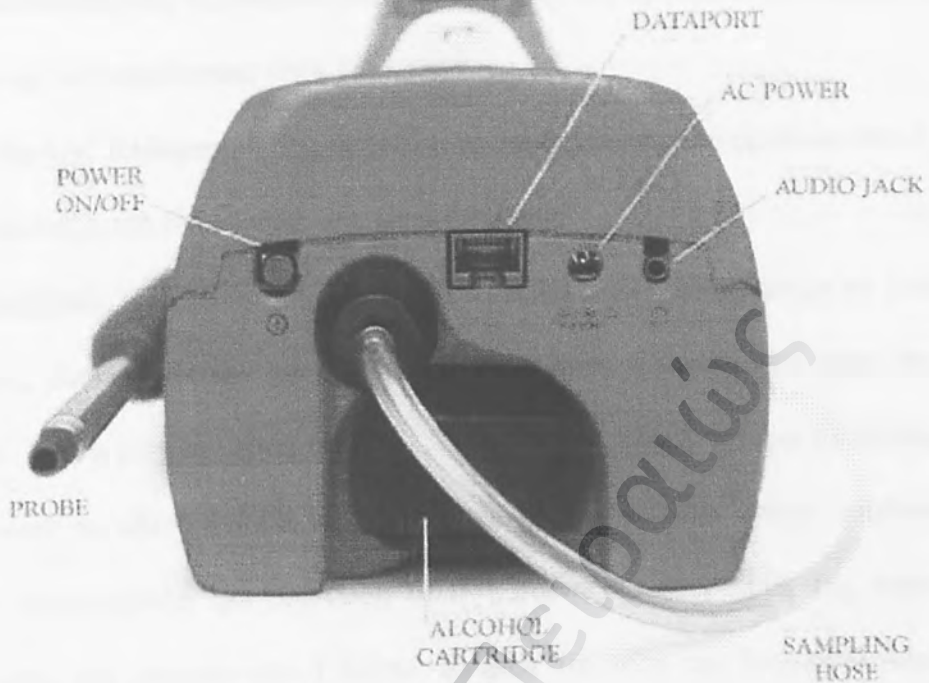


Σχήμα 24: Όργανο μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων Condensation Particle Counter (CPC)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή Condensation Particle Counter (CPC) συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Εύρος μετρήσεων (Range)	0 έως 1×10^5 particles/cm ³
Εύρος μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων (Particle size)	0,01 έως μεγαλύτερα από

range)	1 μm
Εύρος απόλυτης πίεσης (Absolute pressure sensor)	0 – 1400 mBar
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας (Temperature range)	50–95 °C (λειτουργία) -40–70 °C (αποθήκευση)
Ρυθμός ροής (Flow rate)	100 cm ³ /min (δείγμα) 700 cm ³ /min (συνολικός)
Τυπική απόκλιση	<0,01 particles/cm ³
Ενεργειακή απαίτηση (Power requirement)	6 αλκαλικές μπαταρίες τύπου AA (διάρκεια ζωής 6h στους 21 °C)
Απαίτηση σε αλκοόλη (Alcohol requirement)	100% reagent grade isopropyl (διάρκεια ζωής 6 h στους 21 °C)



Σχήμα 25: Το πίσω μέρος του οργάνου Condensation Particle Counter (CPC)

Στη συνέχεια της εργασίας ο συγκεκριμένος μετρητής εμφανίζεται με το όνομα «CPC».

7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

7.3.1 Προετοιμασία των οργάνων

Ένεκα της υψηλής τεχνολογικής δυνατότητας των οργάνων, η προετοιμασία αυτών πριν από κάθε μέτρηση περιορίζεται, σύμφωνα με τα εγχειρίδια του κάθε οργάνου, στα εξής:

Solomat: Καταγραφή της ημερομηνίας και του τόπου της δειγματοληψίας καθώς και καθορισμός της συχνότητας αποθήκευσης του οργάνου στο 1 λεπτό. Έναρξη και λήξη της δειγματοληψίας κατά βούληση.

Neotox: Καθορισμός της συχνότητας αποθήκευσης του οργάνου στο 1 λεπτό. Έναρξη και λήξη της δειγματοληψίας κατά βούληση.

DustTrak: Πατάμε το κουμπί «ON/OFF» και περιμένουμε μέχρι το όργανο να δείξει τιμές συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων. Τοποθετούμε στην είσοδο το ροόμετρο. Εάν η ροή δεν είναι ίση με 1,7 l/min, την ρυθμίζουμε με το κατσαβιδάκι. Τοποθετούμε το «Zero Filter» και ελέγχουμε εάν το όργανο φτάνει σταδιακά στη μηδενική συγκέντρωση (με απόκλιση $\pm 0,001 \text{ mg/m}^3$). Καθορισμός της συχνότητας αποθήκευσης του οργάνου στο 1 λεπτό. Έναρξη και λήξη της δειγματοληψίας κατά βούληση.

CPC: Πριν από την έναρξη κάθε δειγματοληψίας ξεβιδώνουμε το καπάκι που βρίσκεται στο κάτω μέρος του οργάνου και τοποθετούμε το ειδικό κυλινδρικό εξάρτημα που προηγουμένως έχει φυλαχθεί στην αλκοόλη (isopropyl). Κλείνουμε το καπάκι και θέτουμε το όργανο σε λειτουργία. Η συχνότητα αποθήκευσης του οργάνου έχει καθοριστεί στο 1 λεπτό.

Η επιλογή της συγκεκριμένης συχνότητας αποθήκευσης (ανά 1 λεπτό), εξασφαλίζει:

- Μια ολοκληρωμένη και ακριβή αποτύπωση των διακυμάνσεων συγκέντρωσης CO και PM στο χώρο και
- Ένα ακριβή υπολογισμό των μέσων ωριαίων, 15-λεπτών και κυρίως των 5-λεπτών συγκεντρώσεων.

7.3.2 Μεθοδολογία μετρήσεων

Λόγω των πολλών διαφορετικών τοποθεσιών δειγματοληψίας, χρονικών διαστημάτων και οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν, κρίνεται σκόπιμο να αποδοθεί η μεθοδολογία των μετρήσεων με τρόπο συγκεντρωτικό στον πίνακα που ακολουθεί. Στις στήλες των οργάνων σημειώνονται με αστερίσκο (*) τα όργανα εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν για τις αντίστοιχες μετρήσεις.

Τύπος δειγματοληψίας	Neotox	Solomat	Dust Trak	CPC
Σχολεία	*	*	*	*
Χώροι διασκέδασης	*		*	
Υπόγεια πάρκινγκ	*		*	*
Διαδρομές με αυτοκίνητο	*	*	*	*
Διαδρομές με τα πόδια	*	*	*	*
Βεράντες			*	

7.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Σε όλες τις κατηγορίες μετρήσεων οι δειγματολήπτες παίρνουν μέτρηση ανά ένα λεπτό. Ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται τόσο μικρός χρόνος δειγματοληψίας είναι για να καταστεί δυνατό να παρατηρηθούν οι πιθανές επιδράσεις διαφόρων παραγόντων μικρής χρονικής διάρκειας, όπως η ύπαρξη φορτηγών, αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας, συνθήκες κίνησης κ.λ.π. Τα διαγράμματα των εσωτερικών μετρήσεων και των εξωτερικών μετρήσεων σε κίνηση αντιπροσωπεύουν τις μέσες 5-λεπτες συγκεντρώσεις των μετρούμενων ρύπων. Στην κατηγορία δε των σταθερών εξωτερικών μετρήσεων τα διαγράμματα αντιπροσωπεύουν τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις.

7.4.1 Εσωτερικές μετρήσεις

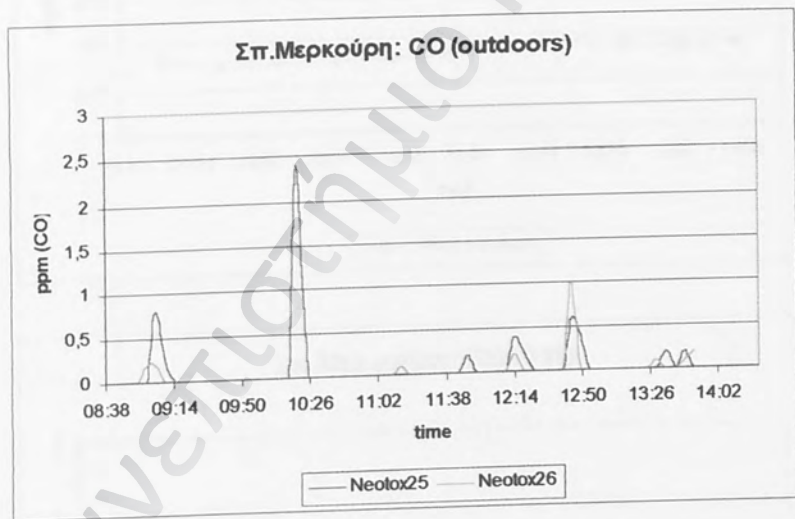
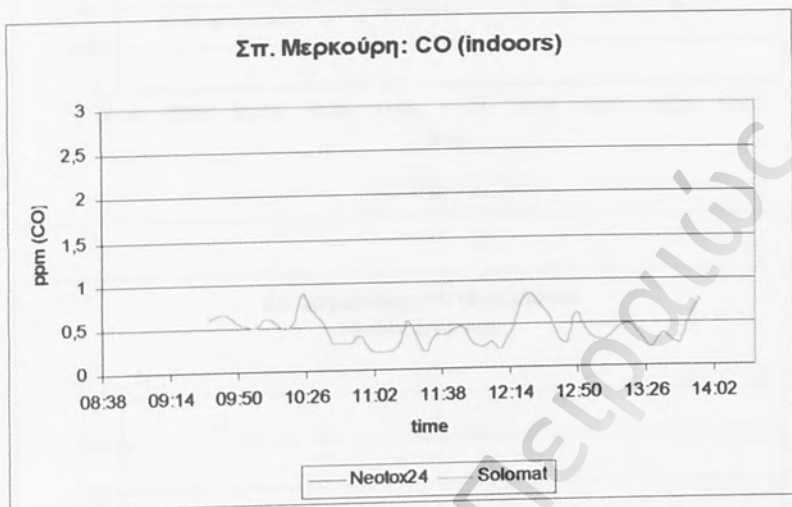
1) Σχολεία

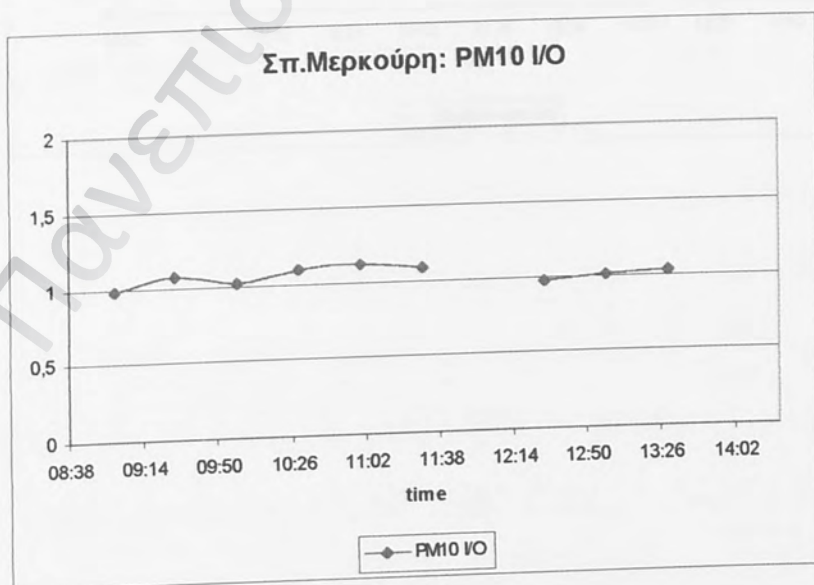
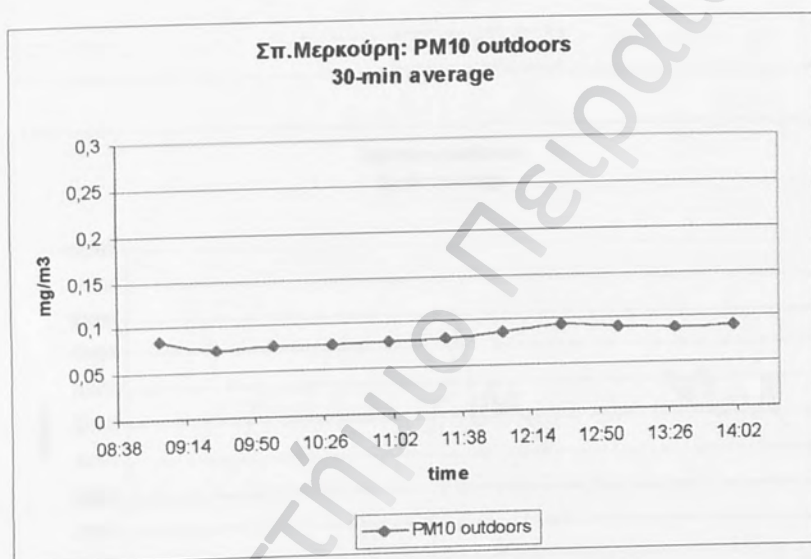
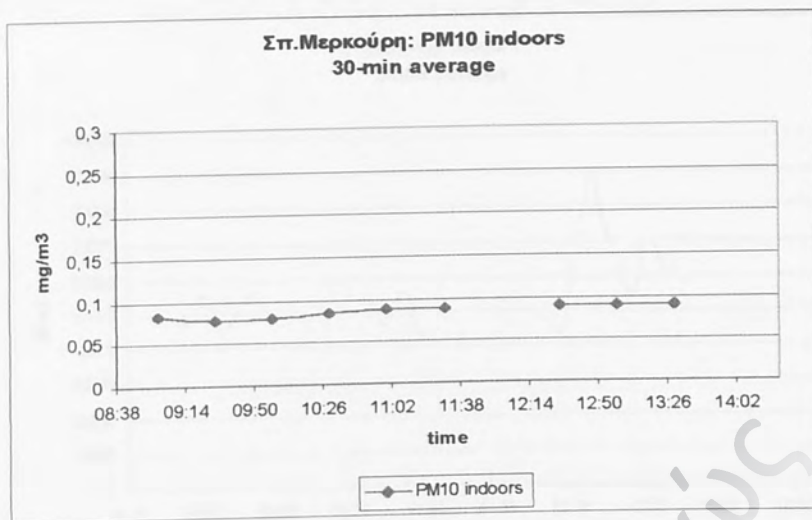
Οι μετρήσεις στα σχολεία που πραγματοποιήθηκαν σε εσωτερικούς χώρους (αίθουσες διδασκαλίας και γραφεία καθηγητών) αναφέρονται στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν με την ένδειξη «indoors», ενώ αυτές που έγιναν στο προαύλιο ή άλλους εξωτερικούς χώρους των σχολείων αναφέρονται με την ένδειξη «outdoors». Στη συνέχεια παρατίθενται χαρακτηριστικά διαγράμματα μέρους του αριθμού των ημερών κατά τις οποίες διεξήχθησαν μετρήσεις.

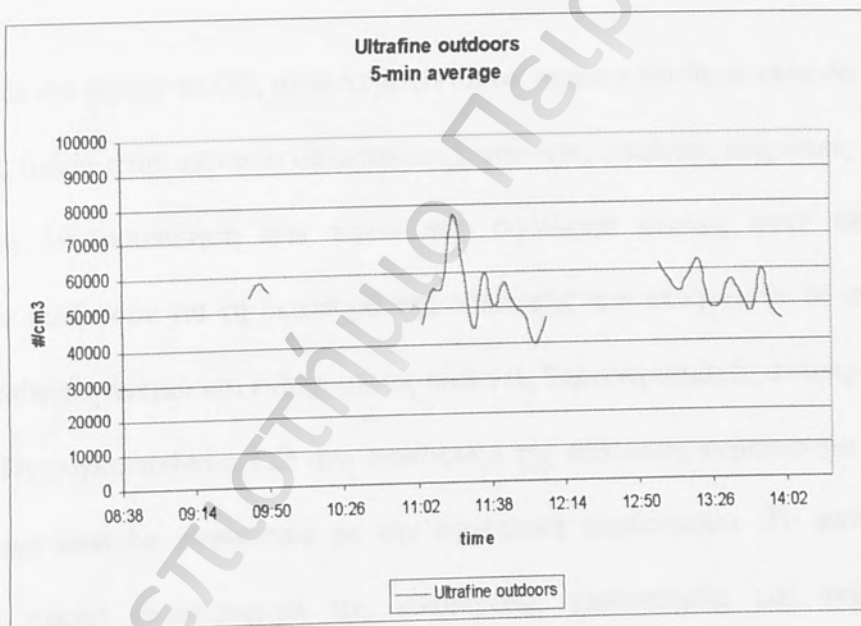
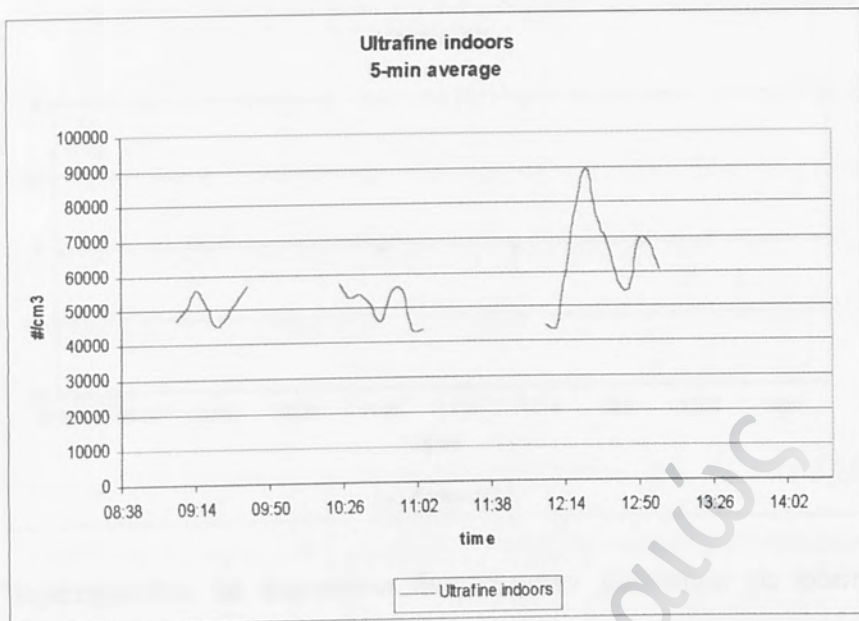
➤ Τρίτη 18 Ιουνίου 2002

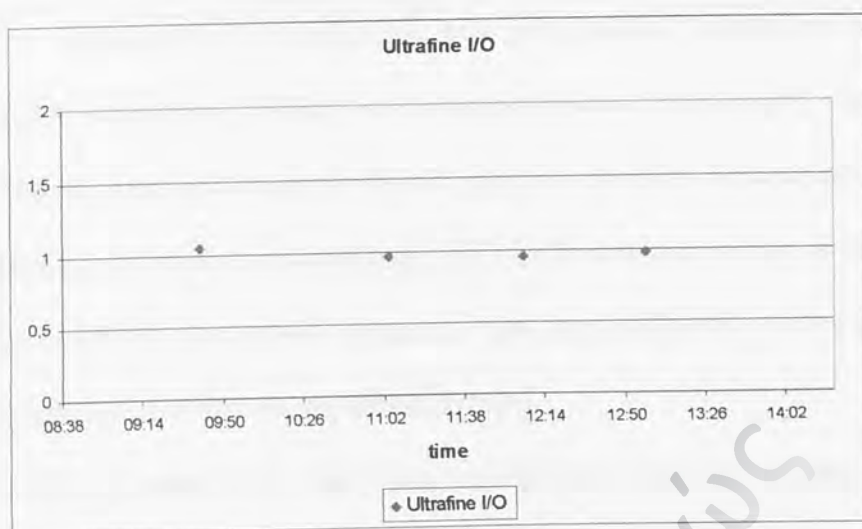
Την Τρίτη 18 Ιουνίου 2002, τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το 2^ο δημοτικό σχολείο Παγκρατίου, φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν και που

απεικονίζουν τις μέσες 5-λεπτες συγκεντρώσεις, εκτός από τις περιπτώσεις "PM10 indoors", "PM10 outdoors" όπου απεικονίζονται 30-λεπτες συγκεντρώσεις και "Ultrafine I/O" όπου απεικονίζονται ωριαίες.









Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να επισημάνουμε τα εξής:

Σε ότι αφορά το CO, αυτό κυμαίνεται σε σχετικά σταθερά επίπεδα στις indoors μετρήσεις (μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας), ενώ στις outdoors μετρήσεις παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση των τιμών που οφείλεται κυρίως στην επίδραση των δυσμενών συνθηκών για τη διασπορά της ρύπανσης που επικρατούν τη συγκεκριμένη ημέρα (ασθενείς άνεμοι και ενδεχομένως ασθενείς θερμοκρασιακές αναστροφές).

Οι συγκεντρώσεις CO στο εσωτερικό της αίθουσας κυμαίνονται σε εμφανώς χαμηλότερα επίπεδα συγκριτικά με την εξωτερική ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί τυπική συμπεριφορά της εσωτερικής χρονοσειράς και αντανακλά την επίδραση των εξωτερικών επιπέδων CO στην διαμόρφωση των εσωτερικών.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα, οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM 10) μέσα και έξω από το σχολείο δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα «PM10 I/O» (ο λόγος Indoors/Outdoors) όπου οι τιμές των συγκεντρώσεων κυμαίνονται πολύ κοντά στη μονάδα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα παράθυρα παρέμειναν ανοιχτά κατά τη διάρκεια της μέτρησης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν.

Σε ότι αφορά τα υπερλεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{ul}), αυτά παρουσιάζουν σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων τους ακόμη και μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας φτάνοντας τα 90.000 ανά cm^3 . Ωστόσο παρατηρείται σημαντική μεταβλητότητα των τιμών που οφείλεται στην επίδραση του ανέμου (στις εξωτερικές μετρήσεις) αλλά και των αέριων ρευμάτων που σχηματίζονταν κατά τις εσωτερικές μετρήσεις διατηρώντας κάποια παράθυρα ανοιχτά.

Συγκεντρωτικά, οι μέσοι όροι, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	ppm CO CO indoors	ppm CO CO outdoors	mg/m ³ PM10 indoors	mg/m ³ PM10 outdoors	I/O PM10
M.O.	0,443522	0,123889	0,086111	0,084953	1,042787
MIN	0,2	0	0,07	0,0722	0,971708
MAX	0,88	3,4	0,0936	0,145	1,121946

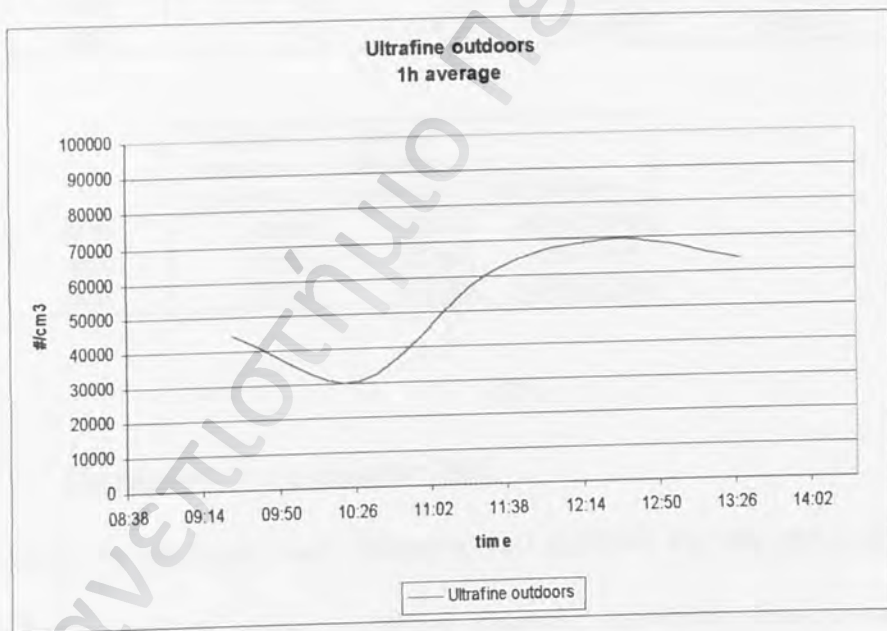
	#/cm ³ Ultrafine indoors	#/cm ³ Ultrafine outdoors	I/O Ultrafine
M.O.	56473	53876	0,984051
MIN	43440	39600	0,958155
MAX	89220	77100	1,041897



➤ Πέμπτη 20 Ιουνίου 2002

Τη συγκεκριμένη ημέρα, στο δημοτικό σχολείο της περιοχής Παγκρατίου, τα όργανα Neotox 26 και Solomat μέτρησαν 0 ppm CO καθόλη τη διάρκεια της μέτρησης μέσα στην αίθουσα του σχολείου. Στις δε εξωτερικές μετρήσεις πέρα από μία απότομη και μικρής διάρκειας αύξηση της συγκέντρωσης έως τα 0,6 ppm, οι υπόλοιπες τιμές ήταν μηδενικές.

Οι συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα σωματίδια (PM10) δεν ξεπέρασαν τα 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ακόμη και έξω από το σχολείο. Οι συγκεντρώσεις μέσα στην αίθουσα παρουσιάζονται ελαφρά αυξημένες σε σχέση με τις εξωτερικές λόγω του ισχυρού ανέμου που επικρατούσε.



Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των διαγραμμάτων των υπερλεπτόκοκκων (PM_{uf}) σωματιδίων μέσα και έξω από τη σχολική αίθουσα. Το διάγραμμα των εσωτερικών συγκεντρώσεων του αριθμού των PM_{uf} ανά cm^3 φαίνεται να «ακολουθεί» το αντίστοιχο των εξωτερικών συγκεντρώσεων με χρόνο υστέρησης 1 ώρα σύμφωνα με το φαινόμενο της εσωτερικής χρονοσειράς.

Σημαντικό ρόλο κατά τη συγκεκριμένη ημέρα έπαιξαν οι κλιματολογικές συνθήκες, που όπως φαίνεται και στον πίνακα Α του παραρτήματος, επικράτησαν ισχυροί άνεμοι άνεμοι ταχύτητας έως και 9,6 m/s. Το αποτέλεσμα ήταν να παρατηρηθούν μικρότερες συγκεντρώσεις ιδιαίτερα στην περίπτωση των PM10.

Συγκεντρωτικά, οι μέσοι όροι, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα (με χρόνο αναφοράς τα 5 λεπτά) φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	ppm CO CO indoors	ppm CO CO outdoors	mg/m3 PM10 indoors	mg/m3 PM10 outdoors	I/O PM10
M.O.	0	0,017142	0,045224	0,039153	1,165891
MIN	0	0	0,0378	0,033	1,043178
MAX	0	1,2	0,0642	0,0464	1,373802

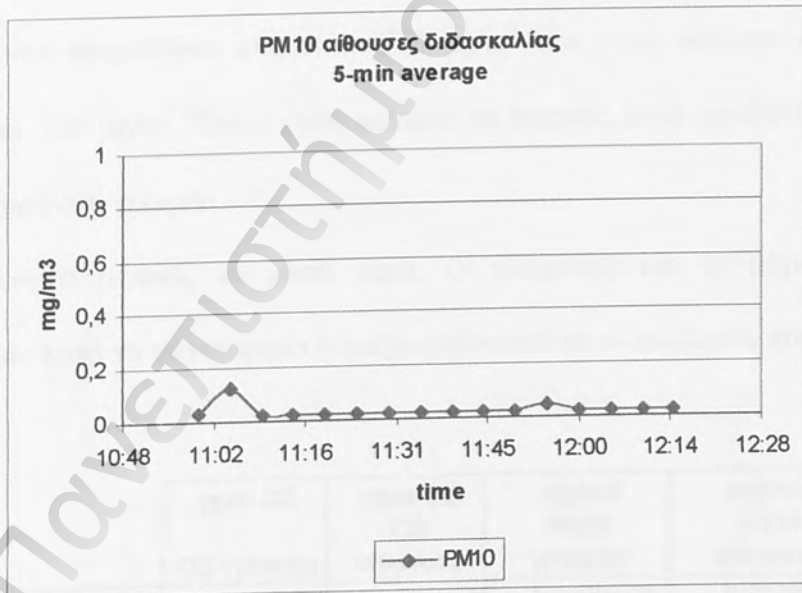
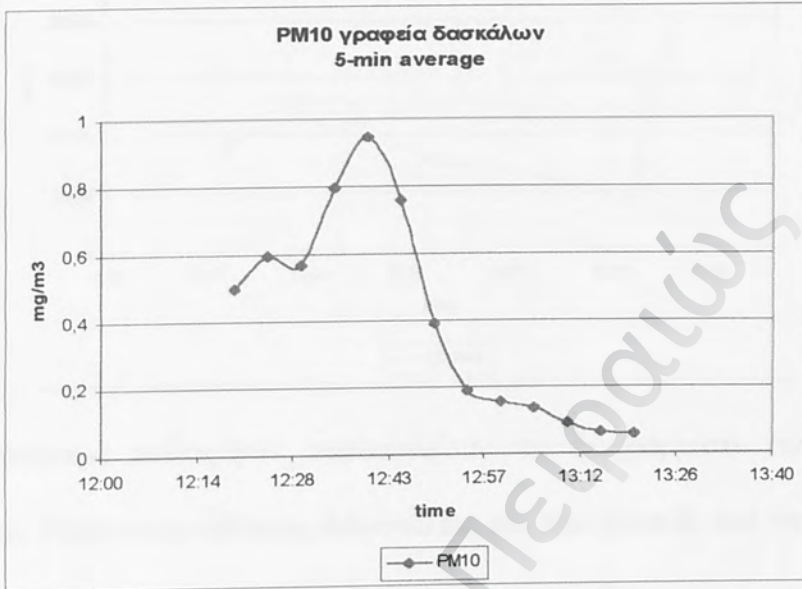
	#cm3 Ultrafine indoors	#cm3 Ultrafine outdoors	I/O Ultrafine
M.O.	49165	53694	0,91565166
MIN	27760	26740	1,0381451
MAX	74420	82320	0,90403304

➤ Παρασκευή 20 Δεκεμβρίου 2002

Κατά τη χειμερινή αυτή μέτρηση στο σχολείο της περιοχής της Νίκαιας, παρατηρήθηκαν σπάνιες για την Αθήνα καιρικές συνθήκες. Επικράτησε διαρκής χιονόπτωση ενώ η θερμοκρασία δεν ξεπέρασε (κατά το μεσημέρι) τους 5,5 βαθμούς Κελσίου. Υπήρχε, επίσης, υγρασία και μέτριοι άνεμοι.

Μέσα στις αίθουσες διδασκαλίας το όργανο Solomat μέτρησε 0 ppm CO. Στα δε γραφεία των καθηγητών, σημειώθηκαν για μικρά χρονικά διαστήματα, τιμές έως και 0,9 ppm CO που οφείλονται στο κάπνισμα των καθηγητών μέσα στην αίθουσα. Να

σημειωθεί ότι περιοδικά, ανοίγονταν το παράθυρο του γραφείου με σκοπό τον εξαερισμό του χώρου από τον καπνό τσιγάρου και με αποτέλεσμα την διατήρηση χαμηλών επιπέδων συγκέντρωσης CO μέσα στα γραφεία των καθηγητών.





Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα διαγράμματα των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην αίθουσα διδασκαλίας και στο γραφείο των καθηγητών, καθώς και η μεταξύ τους σύγκριση. Στο γραφείο των καθηγητών η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων φτάνει τα $950 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ στην αίθουσα διδασκαλίας δεν ξεπερνά τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Όπως είναι φανερό, το γεγονός αυτό οφείλεται στο κάπνισμα ατόμων μέσα στο γραφείο.

Συγκεντρωτικά, οι μέσοι όροι, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	ppm CO CO γραφεία	ppm CO CO αίθουσες	mg/m3 PM10 γραφεία	mg/m3 PM10 αίθουσες	#/cm3 Ultrafine γραφεία
M.O.	0,158194444	0	0,05761525	0,06826325	56746,33333
MIN	0,006666667	0	0,0378	0,033	27760
MAX	0,366666667	0	0,0789	0,145	89220

Συγκεντρωτικές τιμές ρύπων σε σχολεία

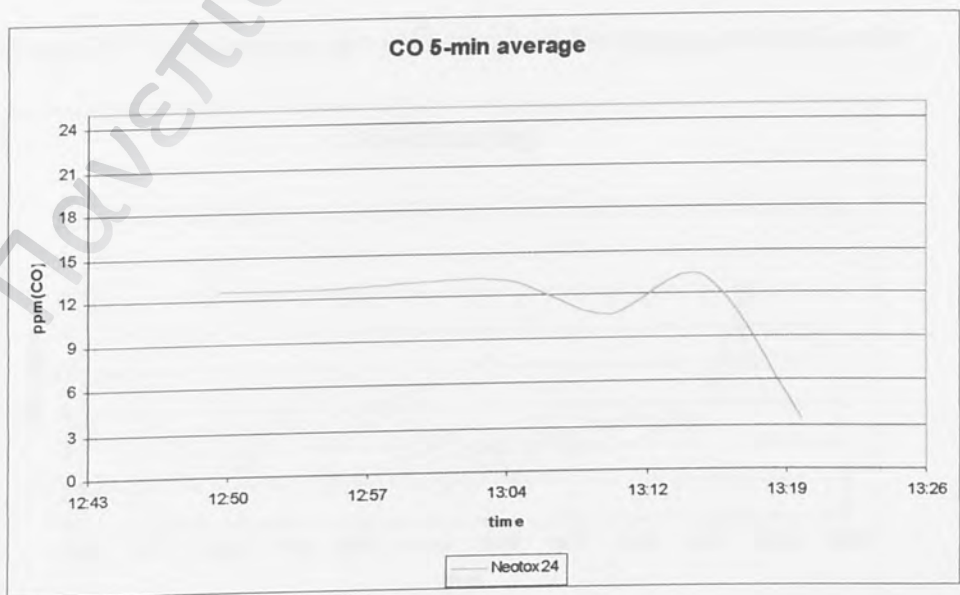
	ppm CO CO indoors	ppm CO CO outdoors	mg/m3 PM10 indoors	mg/m3 PM10 outdoors
M.O.	0,148	0,071	0,066	0,062
MIN	0	0	0,03	0,033
MAX	0,88	3,4	0,94	0,145

	I/O PM10	#/cm3 Ultrafine indoors	#/cm3 Ultrafine outdoors	I/O Ultrafine
M.O.	1,1	52819	53785	0,945
MIN	0,97	27760	33170	0,9
MAX	1,37	89220	82320	1,04

II) Χώροι διασκέδασης

➤ Παρασκευή 20 Δεκεμβρίου 2002

Σε καφενείο επί της οδού Γρηγορίου Λαμπράκη στην περιοχή της Νίκαιας πραγματοποιήθηκε μέτρηση συγκέντρωσης CO. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



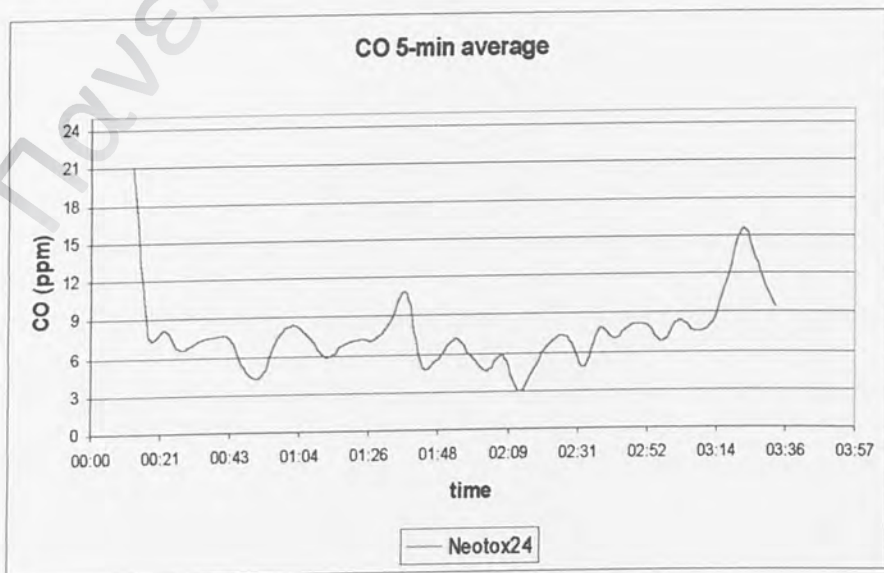
Παρατηρούμε ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων CO στον εσωτερικό χώρο του καφενείου δητηρούνται σε υψηλά επίπεδα σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο όγκος του καφενείου ήταν αρκετά μεγάλος (είχε διαστάσεις 16 x 7 x 2,6 μέτρα) καθώς και ότι παρόλο που δεν υπήρχαν άλλοι θαμώνες, μύριζε συνεχώς καπνός τσιγάρου. Ο ανεπαρκής εξαερισμός του εσωτερικού χώρου, είχε σαν αποτέλεσμα τη διατήρηση σε υψηλά επίπεδα των συγκεντρώσεων CO.

Συγκεντρωτικά, ο μέσος όρος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	ppm CO
M.O.	11,2
min	3,4
max	13,2

➤ Κυριακή 22 Δεκεμβρίου 2002

Σε μπαρ στην περιοχή της Κυψέλης, πραγματοποιήθηκε μέτρηση συγκέντρωσης CO. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



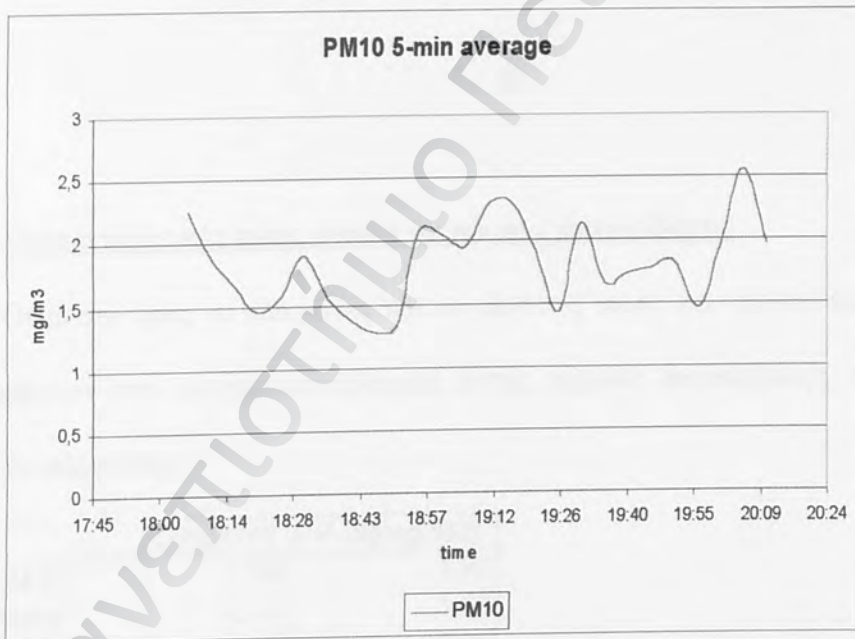
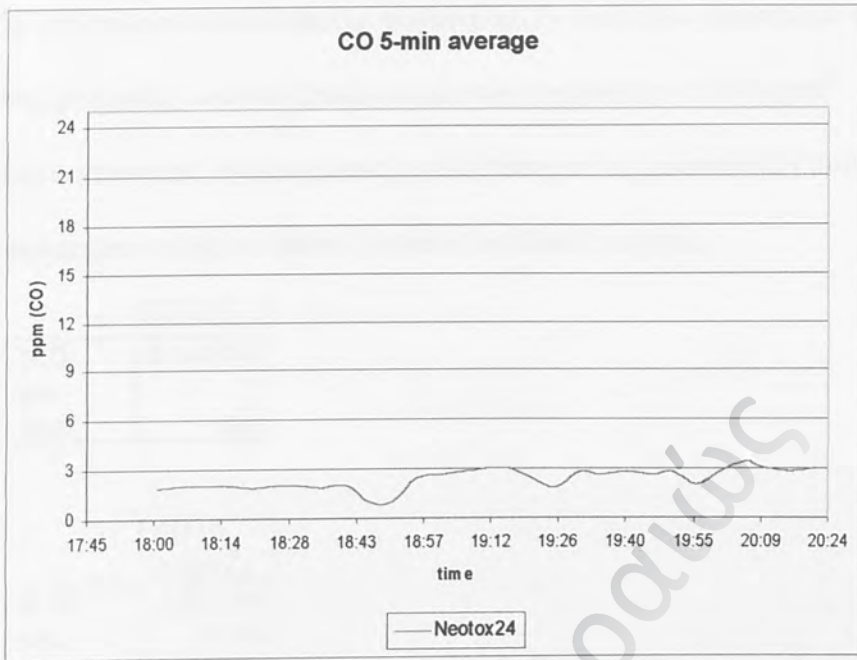
Ο αριθμός των καπνιζόντων μέσα στο μπαρ ήταν αυξημένος, μεταβαλλόμενος και επηρέαζε σημαντικά τις ενδείξεις του οργάνου. Παρόλο που υπήρχε σύστημα εξαερισμού, έντονη μυρωδιά καπνού υπήρχε καθόλη τη διάρκεια της μέτρησης.

Συγκεντρωτικά, ο μέσος όρος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	ppm CO
M.O.	7,702439
min	3
max	21

➤ Κυριακή 29 Δεκεμβρίου 2002

Στη συγκεκριμένη καφετέρια της περιοχής του Νέου Ψυχικού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις CO και αιωρούμενων σωματιδίων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα:



Οι συγκεντρώσεις CO στον συγκεκριμένο χώρο διασκέδασης κυμάνθηκαν συγκριτικά με τους δύο προηγούμενους χώρους διασκέδασης σε χαμηλότερα επίπεδα. Όπως είναι καταχωρημένο στο πρωτόκολλο των μετρήσεων της συγκεκριμένης ημέρας, υπάρχουν λίγοι καπνιστές στον συγκεκριμένο χώρο, ενώ η ατμόσφαιρα δεν είναι αποπνικτική. Στους εσωτερικούς χώρους, η συμβολή του καπνίσματος ως πηγή εκπομπής του CO είναι άμεση.

Σε ότι αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια, οι τιμές των μετρήσεων παρουσίασαν αρκετές αυξομειώσεις, ενώ δεν ξεπέρασαν σε συγκέντρωση τα 2550 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Συγκεντρωτικά, ο μέσος όρος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	ppm CO
M.O.	2,344828
min	1
max	3,4

	PM10 (mg/m^3)
M.O.	1,821154
min	1,296
max	2,5478

Συγκεντρωτικές τιμές ρύπων σε χώρους διασκέδασης

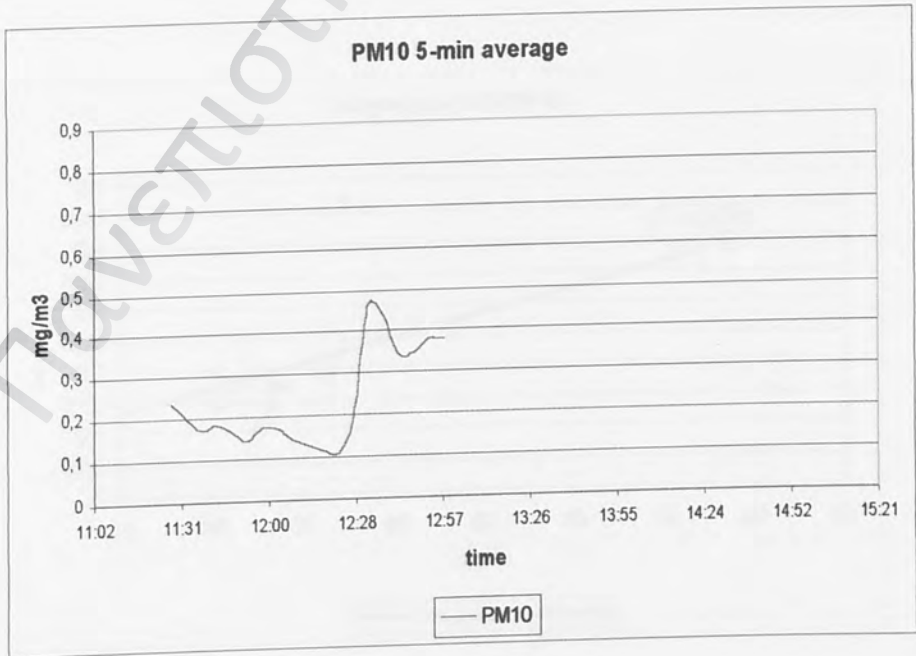
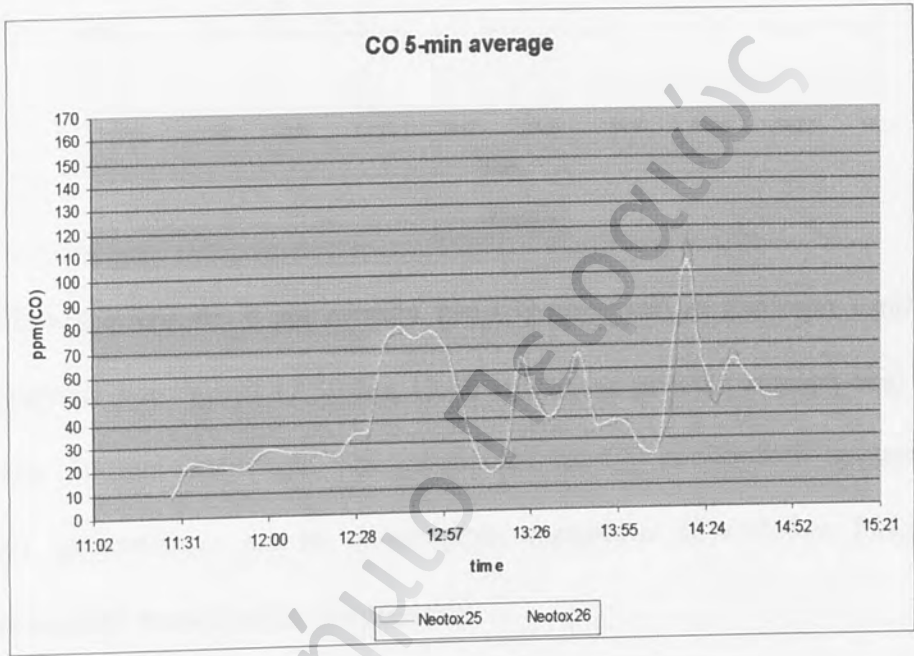
Οι μέσοι όροι, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των συγκεντρώσεων όλων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στους χώρους διασκέδασης, συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

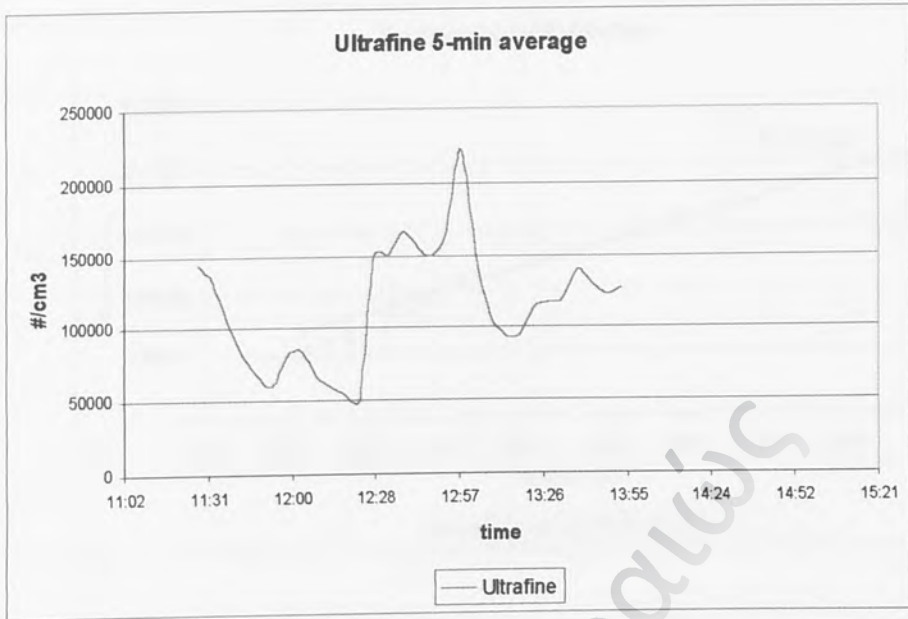
	CO(ppm)	PM10(mg/m^3)
M.O.	7,08	1,82
MIN	2,47	1,30
MAX	12,53	2,55

III) Υπόγεια πάρκινγκ (garage)

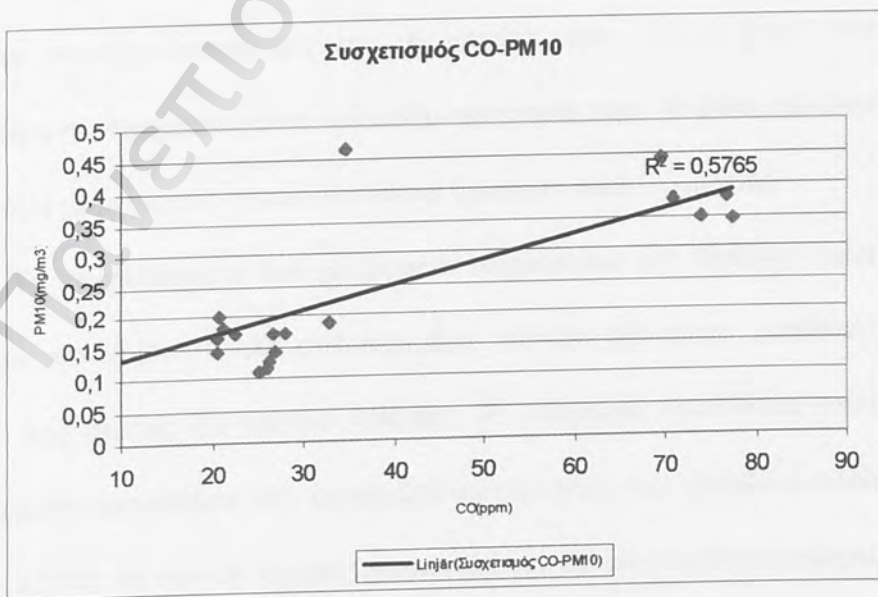
➤ Τετάρτη 18 Δεκεμβρίου 2002

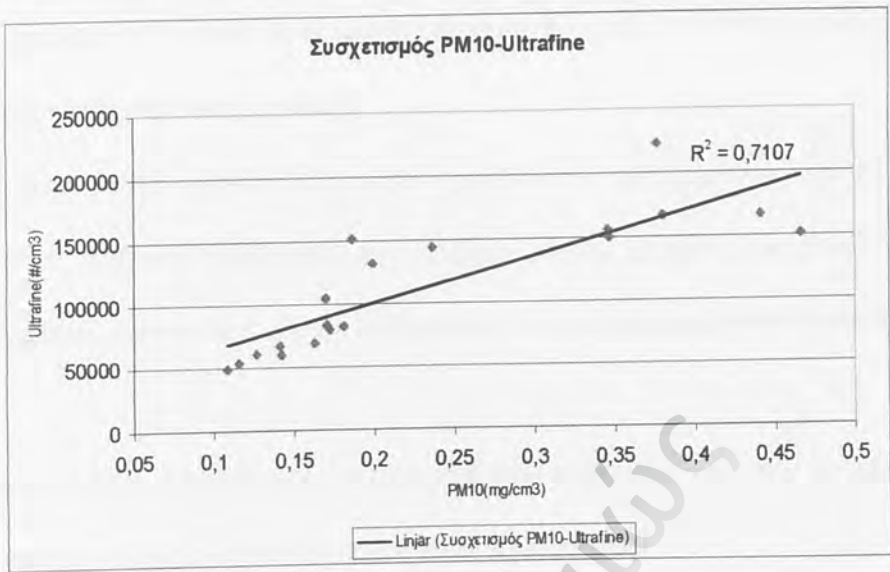
Στο υπόγειο πάρκινγκ της οδού Ιπποκράτους οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε CO και αιωρούμενα σωματίδια (PM10 και PM_{10f}), κυμάνθηκαν στα επίπεδα που φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν:





Παρατηρούμε ότι η χρονοσειρά του CO παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές κατά τα χρονικά διαστήματα 12.30 έως 13.00 καθώς και μέγιστη κορυφή στις 14.20 με τιμές 80 και 110 ppm αντίστοιχα. Την χρονοσειρά του CO ακολουθούν εμφανώς και οι αντίστοιχες χρονοσειρές για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀ και PM_{ultr}), όπως προκύπτει και από τα ακόλουθα διαγράμματα.





Τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία οι τιμές των μετρούμενων ρύπων παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές συμπίπτουν με τις ώρες λήξης λειτουργίας καταστημάτων και υπηρεσιών και συνεπώς, διαστήματα κατά τα οποία μεγάλος αριθμός οχημάτων εξέρχεται του υπογείου πάρκινγκ. Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο και οφείλεται στο ότι τα εξερχόμενα οχήματα εκπέμπουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων σε σχέση με τα εισερχόμενα. Αυτό αποδίδεται στο ότι κατά την έναρξη λειτουργίας της, η μηχανή των αυτοκινήτων είναι κρύα, με αποτέλεσμα η παρεχόμενη στον κύλινδρο ποσότητα αέρα να είναι περιορισμένη και οι καταλυτικοί μετατροπείς να αδυνατούν να δράσουν αποτελεσματικά.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκλίνουν στη θλιβερή διαπίστωση ότι η υγεία των εργαζομένων στο συγκεκριμένο υπόγειο πάρκινγκ εκτίθεται καθόλη τη διάρκεια της ημέρας σε μεγάλο κίνδυνο. Τα ιδιαίτερα επικίνδυνα επίπεδα CO και αιωρούμενων σωματιδίων, δεν περιορίζονται στο χώρο του υπογείου, αλλά επικρατούν και στην έξοδο. Αν λοιπόν ληφθεί υπόψη ότι στην έξοδο-ταμείο του υπογείου πάρκινγκ

οι υπάλληλοι περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας τους, καθίσταται σαφές ότι ο υποκρυπτόμενος κίνδυνος είναι μεγάλος.

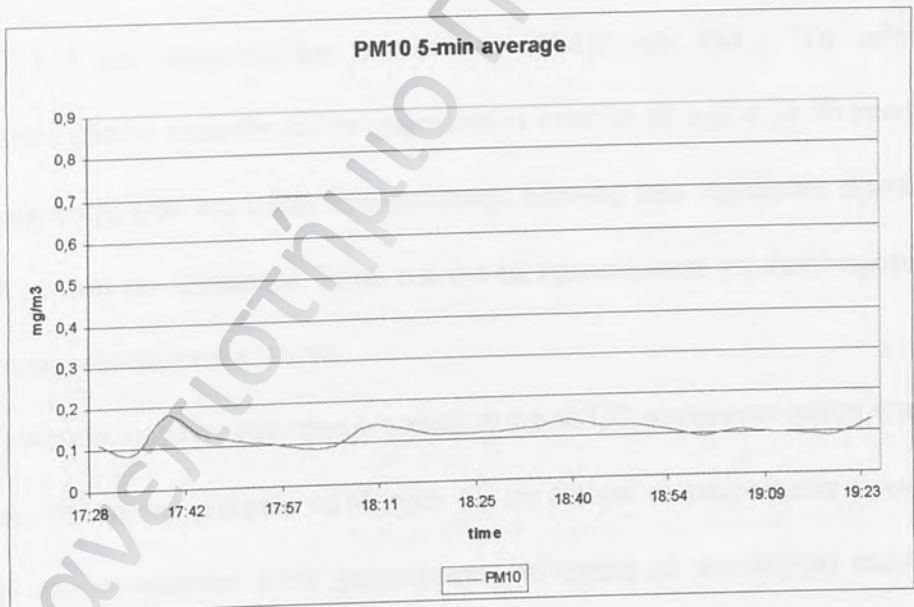
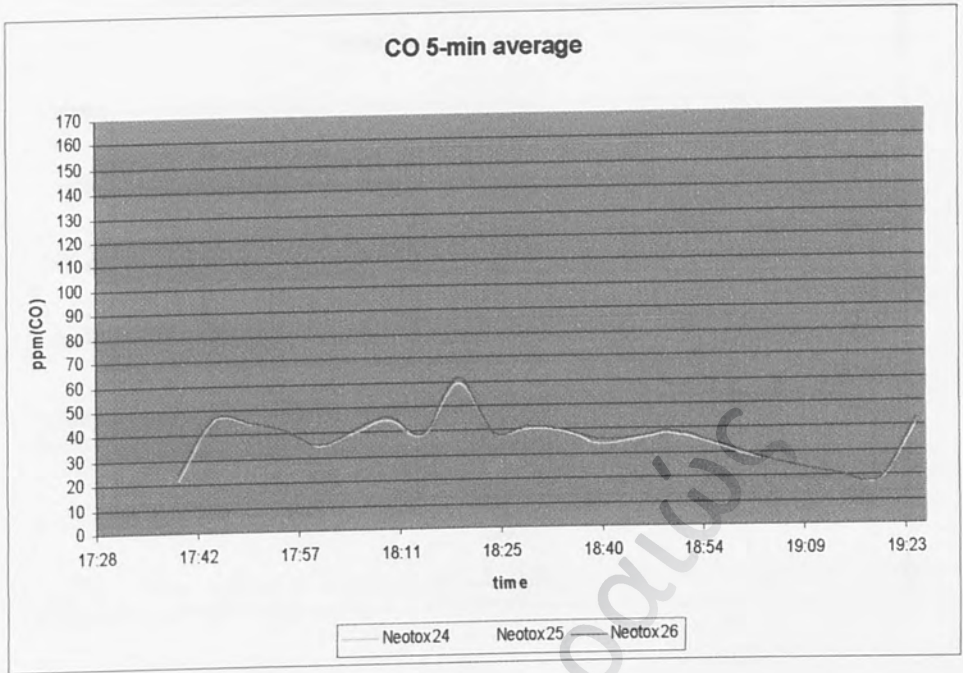
Οι σοβαρός κίνδυνος που διατρέχει η υγεία των εργαζομένων στο εν λόγω υπόγειο πάρκινγκ, καθιστά επιτακτική την ανάγκη λήψης μέτρων αποτόνωσης του ρυπαντικού φορτίου, πιθανότατα με τη λειτουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος εξαερισμού.

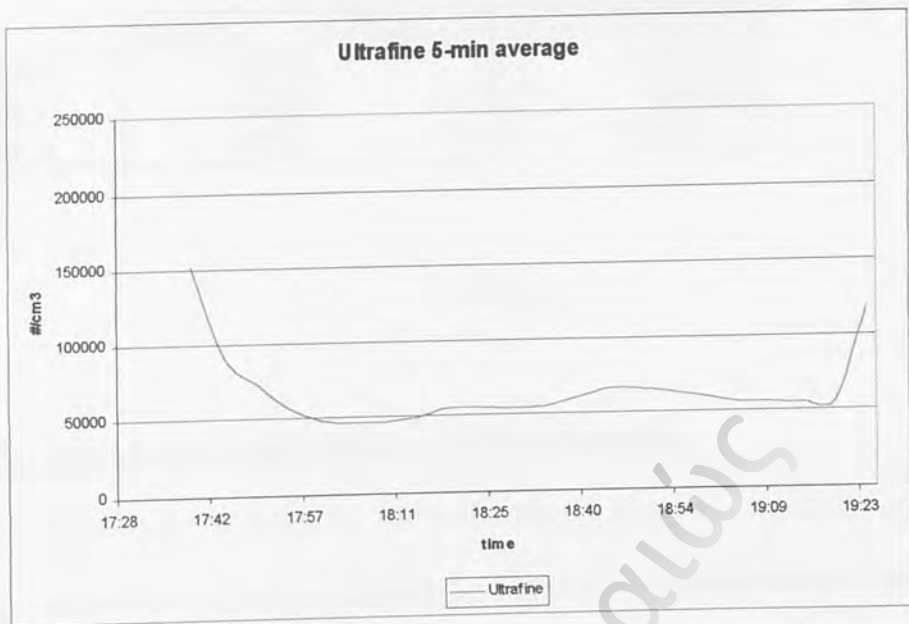
Συγκεντρωτικά, ο μέσος όρος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	CO(ppm)	PM10(mg/m3)	Ultrafine(#/cm3)
M.O.	42,53	0,24	115697,28
MIN	8,70	0,11	49045,00
MAX	109,30	0,47	222406,00

➤ Δευτέρα 30 Δεκεμβρίου 2002

Σε υπόγειο πάρκινγκ της οδού Σκουφά οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε CO και αιωρούμενα σωματίδια, κυμάνθηκαν στα επίπεδα που φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν:





Στο συγκεκριμένο υπόγειο πάρκινγκ πραγματοποιήθηκαν απογευματινές μετρήσεις CO και αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀ και PM_{uf}). Τα επίπεδα των μετρούμενων ρύπων κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με το προηγούμενο υπόγειο πάρκινγκ (επί της οδού Ιπποκράτους), γεγονός που σχετίζεται άμεσα με την μειωμένη κίνηση των οχημάτων λόγω του ότι τα καταστήματα τις απογευματινές ώρες της Δευτέρας παραμένουν κλειστά.

Ωστόσο, οι τιμές των συγκεντρώσεων για το CO παρέμεινε σταθερά πάνω από τα 35 ppm, φτάνοντας μάλιστα τα 60 ppm. Σε ότι αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια, οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι χαμηλότερες σε σχέση με το υπόγειο πάρκινγκ της οδού Ιπποκράτους, καθότι πρόκειται για απογευματινές μετρήσεις κατά τις οποίες τα καταστήματα παραμένουν κλειστά και οι κίνηση των οχημάτων είναι μειωμένη.

Συγκεντρωτικά, ο μέσος όρος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που μετρήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη ημέρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	CO(ppm)	PM10(mg/m3)	Ultrafine(#/cm3)
M.O.	35,94	0,11	65516,04
MIN	18,53	0,09	46269,60
MAX	60,07	0,18	152469,80



Συγκεντρωτικές τιμές ρύπων σε υπόγεια πάρκινγκ

Οι μέσοι όροι, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν σε υπόγειους χώρους στάθμευσης, συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	CO(ppm)	PM10(mg/m3)	Ultrafine(#/cm3)
M.O.	39,23	0,18	90743,00
MIN	13,62	0,10	48785,80
MAX	84,68	0,36	178451,20

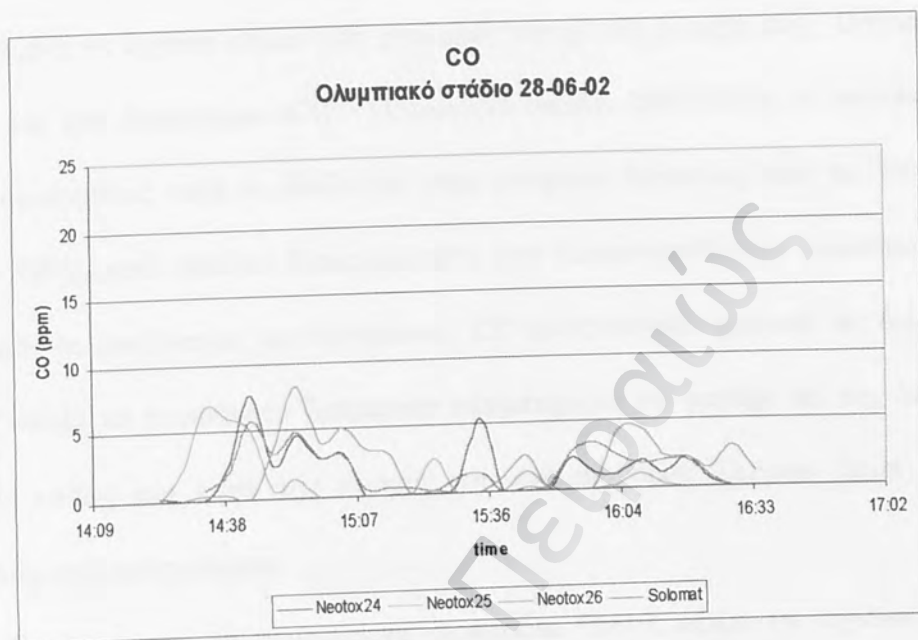
7.4.2 Εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση

1) Διαδρομές με αυτοκίνητο

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μέσα από κινούμενο αυτοκίνητο σε δρόμους της Αθήνας και του νομού Αττικής, καλύπτουν τους καλοκαιρινούς, φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα πιο αντιπροσωπευτικά από τα διαγράμματα που προκύπτουν μέσα από την επεξεργασία των μετρήσεων. Κατά των σχολιασμό των διαγραμμάτων, επισημαίνονται παράγοντες των οποίων η συμβολή επηρεάζει αισθητά τα αποτελέσματα των μετρήσεων (π.χ. κίνηση κοντά σε αυτοκίνητο παλαιάς

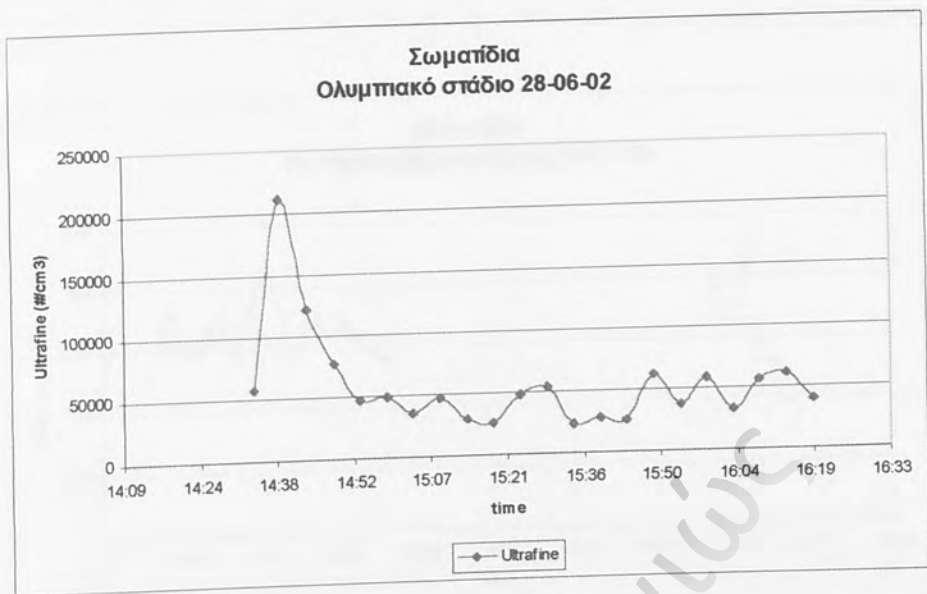
τεχνολογίας ή φορητό αυτοκίνητο) και οι οποίοι καταχωρήθηκαν στο πρωτόκολλο των μετρήσεων κατά τον ακριβή χρόνο εμφάνισής τους.



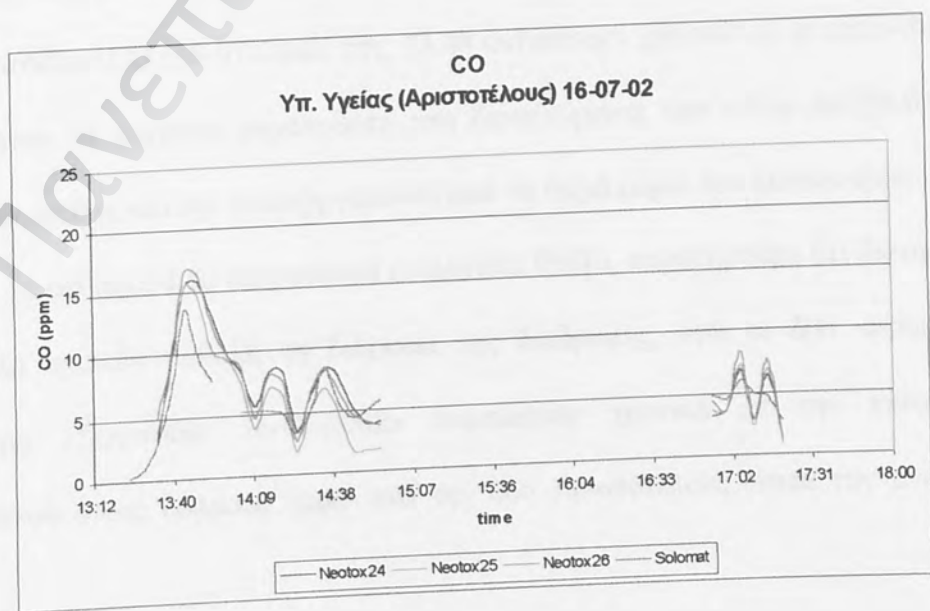
Κατά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την 28-06-2002 τα όργανα ήταν τοποθετημένα σε διαφορετικά σημεία του αυτοκινήτου γεγονός στο οποίο αποδίδονται

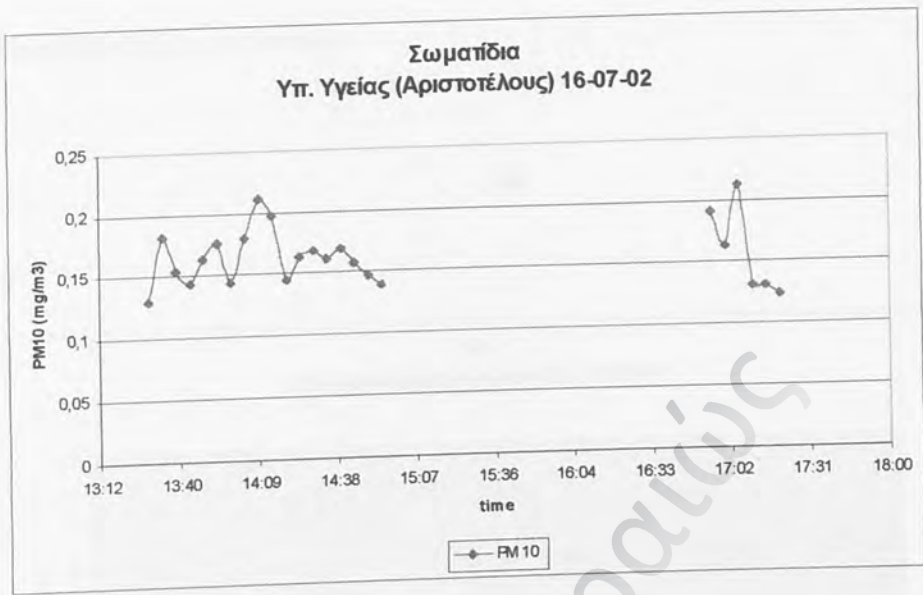
και οι εμφανείς διαφορές στις συγκεντρώσεις του CO που μετρήθηκαν από τον κάθε δειγματολήπτη. Τα ρεύματα αέρα που υπήρχαν από το συνδυασμό της κίνησης του αυτοκινήτου και των ανοιχτών παραθύρων του, είχαν σαν αποτέλεσμα να μην παρουσιάζουν τα όργανα σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα «CO - Ολυμπιακό στάδιο 28/6/2002», οι συγκεντρώσεις CO είναι αυξημένες κατά τη διαδρομή στην λεωφόρο Κηφισίας, από το Νέο Ψυχικό μέχρι το Ολυμπιακό στάδιο. Όπως μάλιστα έχει καταχωρηθεί στο πρωτόκολλο των μετρήσεων, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις CO αντιστοιχούν χρονικά σε διαστήματα κατά τα οποία το αυτοκίνητο βρισκόταν σταματημένο σε φανάρι επί της λεωφόρου Κηφισίας καθώς και κατά την κίνησή του επί της οδού Σπύρου Λούη η οποία παρουσίαζε αυξημένη κίνηση.

Σε ότι αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια PM10, αξίζει να σημειωθεί ότι η κορυφή στο διάγραμμα των σωματιδίων PM10 (28-6-2002) στις 15.00 αντιστοιχεί χρονικά με την κίνηση του αυτοκινήτου «μέσα σε ένα σύννεφο σκόνης», όπως χαρακτηριστικά έχει καταγραφεί στο πρωτόκολλο των μετρήσεων. Πράγματι, από την αριστερή πλευρά της λεωφόρου Κηφισίας πραγματοποιούνταν έργα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ακάλυπτοι σωροί χώματος καθώς και ορατή σκόνη στον ορίζοντα.



Από το διάγραμμα των υπερλεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) προκύπτει ότι οι υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων (μέχρι και 220.000 σωματίδια ανά cm^3) αντιστοιχούν στην περίοδο κίνησης του αυτοκινήτου στη λεωφόρο Κηφισίας και ειδικότερα κατά την αναμονή του σε φανάρια.

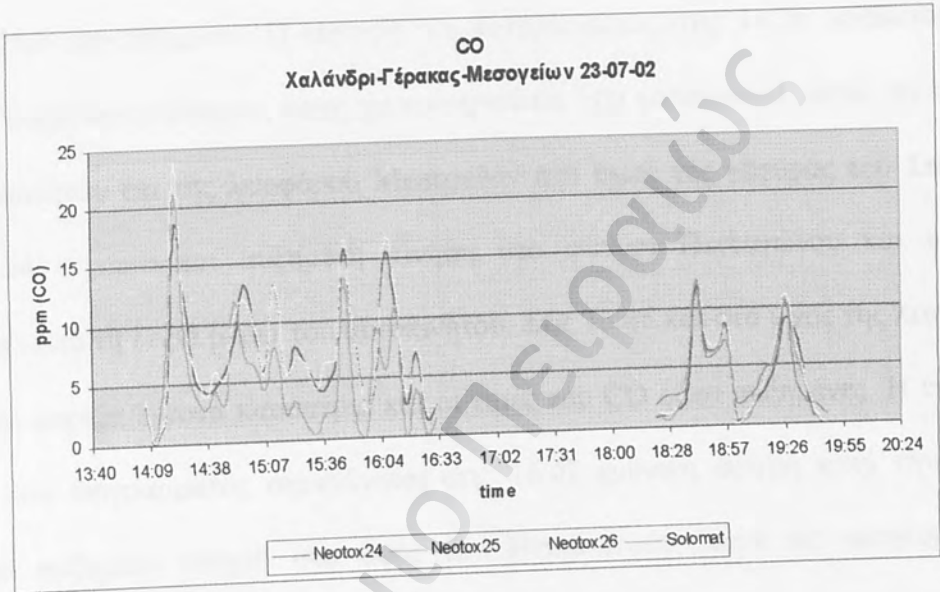




Η διαδρομή της συγκεκριμένης ημέρας (16-07-2002) ξεκίνησε περίπου μία ώρα νωρίτερα από την προηγούμενη διαδρομή. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των δύο αντίστοιχων διαγραμμάτων CO των ημερών 28-06-2002 και 16-07-2002. Στο διάγραμμα CO 16-07-2002 οι συγκεντρώσεις πλησιάζουν τα 17 ppm στο διάστημα από 13.20 έως 14.05. Στη συνέχεια τα επίπεδα των συγκεντρώσεων κυμαίνονται στα αντίστοιχα της 28-06-2002. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η κορυφή στο διάγραμμα των σωματιδίων CO (16-07-2002) στις 13.48 αντιστοιχεί χρονικά με το σταμάτημα του αυτοκινήτου σε φωτεινό σηματοδότη στη διασταύρωση των οδών Αλεξάνδρας και Πατησίων, καθώς και την ύπαρξη γερανού από τη δεξιά μεριά του αυτοκινήτου.

Σε ότι αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια PM10, παρατηρούμε ότι διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα καθόλη τη διάρκεια της διαδρομής, ενώ οι δύο κορυφές στο διάγραμμα «Σωματίδια 16-07-2002» συμπίπτουν χρονικά με την κίνηση του αυτοκινήτου στους δρόμους γύρω από την οδό Αριστοτέλους (κατά την αναζήτηση

χώρου στάθμευσης) και με το σταμάτημα στο φωτεινό σηματοδότη στη διασταύρωση Κηφισίας και Πανόρμου αντίστοιχα.

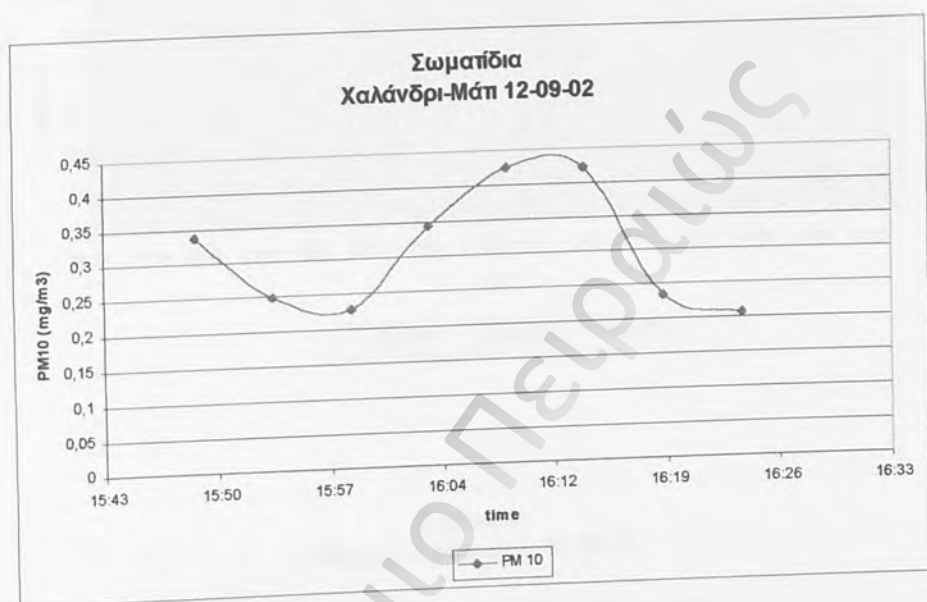


Την 23-07-2002 η διαδρομή που ακολουθήθηκε ήταν: Χαλάνδρι, Γέρακας, άνοδος και κάθοδος Μεσογείων. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις CO πλησίασαν τα 25 ppm. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις -κορυφές στο διάγραμμα CO της 23-07-2002- σημειώνονται σε χρονικές στιγμές κατά τις οποίες συντρέχουν καθοριστικοί παράγοντες που έχουν καταγραφεί στο πρωτόκολλο των μετρήσεων.

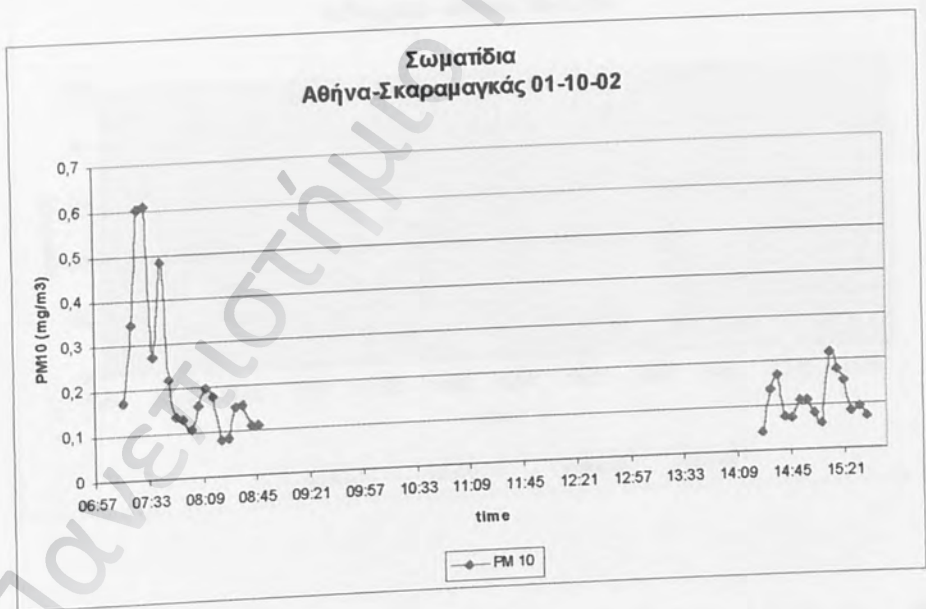
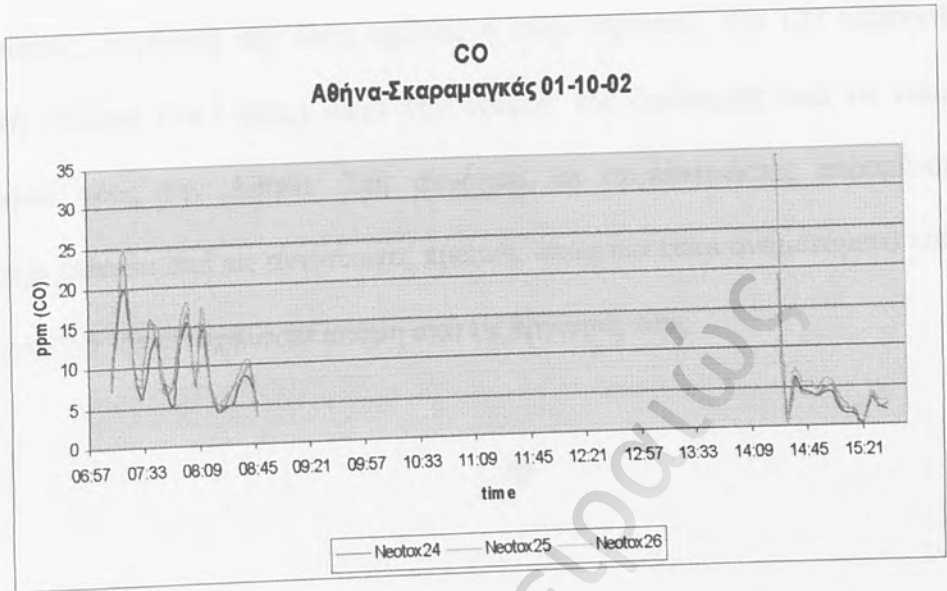
Πιο συγκεκριμένα: Η κορυφή του διαγράμματος στις 14.26 οφείλεται στην «μεγάλη ουρά αυτοκινήτων», όπως χαρακτηριστικά έχει καταγραφεί, κατά την κίνηση του αυτοκινήτου επί της λεωφόρου Μεσογείων στο ύψος της γέφυρας του Σταυρού. Στις 14.54 σημειώνεται αυξημένη κίνηση στο φανάρι Πενταγώνου και υπάρχει φορτηγάκι από τη δεξιά μεριά του αυτοκινήτου. Στις 15.45 και στο ύψος της λεωφόρου Κατεχάκη μυρίζει έντονα καυσαέριο και οι τιμές του CO είναι αυξημένες. Η επόμενη κορυφή του διαγράμματος σημειώνεται στις 16.07 χρονική στιγμή κατά την οποία επικρατεί αυξημένη κίνηση στο ύψος του Πενταγώνου. Κατά τις απογευματινές μετρήσεις της ίδιας ημέρας σημειώνεται κορυφή στη χρονική στιγμή 18.38 η οποία αντιστοιχεί στην αυξημένη κίνηση στο ύψος του Χολαργού καθώς και στην ύπαρξη μπουλντόζας από τη δεξιά μεριά του αυτοκινήτου. Ο σχεδόν μηδενισμός των συγκεντρώσεων CO στις 19.00 αντιστοιχεί στην μη ύπαρξη κίνησης όπως καταγράφεται στο πρωτόκολλο, ενώ η τελευταία κορυφή του διαγράμματος στις 19.27 αντιστοιχεί στην επανεμφάνιση της κίνησης και στην ύπαρξη λεωφορείου από τη δεξιά μεριά του αυτοκινήτου.

Σε ό,τι αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια παρατηρούμε ότι η χρονοσειρά τους ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό την αντίστοιχη του CO. Αυτό γίνεται περισσότερο εμφανές κατά το χρονικό διάστημα γύρω από τις 14.20 όπου και καταγράφεται η μέγιστη τιμή

και για τους δύο υπό μελέτη ρύπους. Για τα αιωρούμενα σωματίδια η μέγιστη αυτή τιμή είναι τα $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

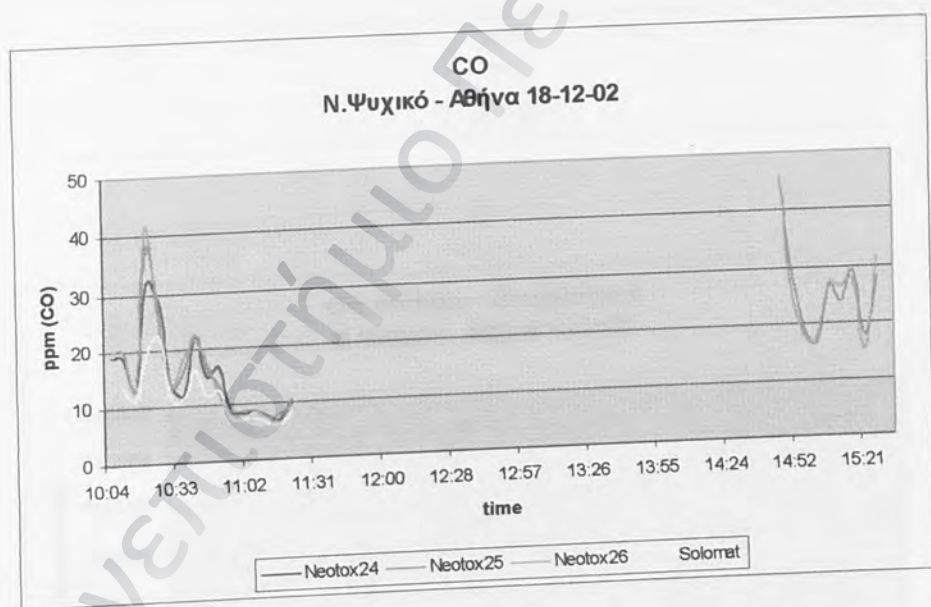


Ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 καταγράφηκαν κατά της μετρήσεις της διαδρομής Χαλάνδρι – Μάτι – Χαλάνδρι που πραγματοποιήθηκαν στις 12-09-2002. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων πλησιάζει τα $450 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 16.15 το απόγευμα, μέρα κατά την οποία παρόλο που η θερμοκρασία κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (27 βαθμοί Κελσίου), υπήρχε υγρασία καθώς και τοπικές βροχοπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ημέρα ήταν Τετάρτη, μέρα κατά την οποία τα καταστήματα παραμένουν κλειστά και η κίνηση των οχημάτων στις γειτονικές περιοχές εξακολουθεί να είναι αυξημένη. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων κυμάνθηκε από 210 έως $440 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με μέση τιμή τα $340 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



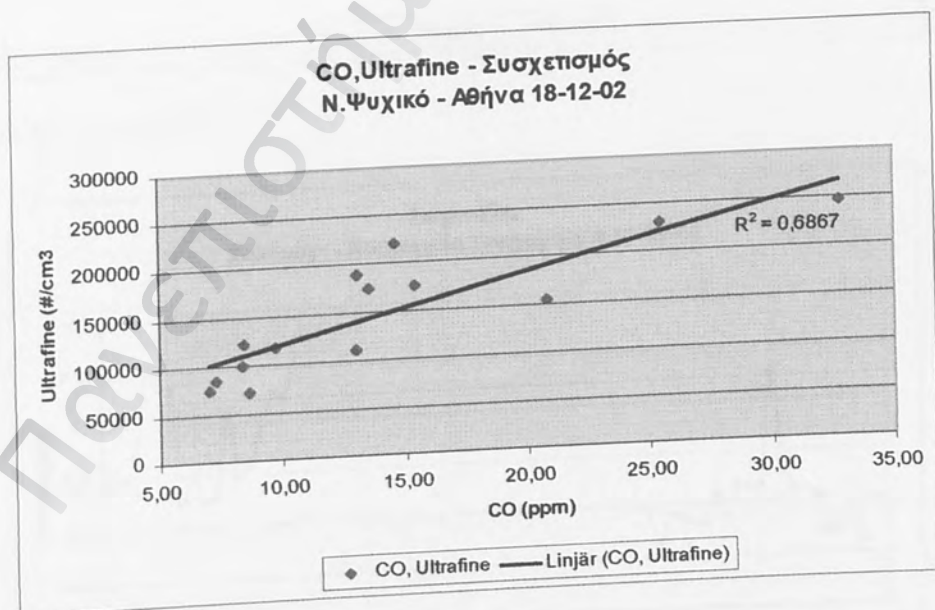
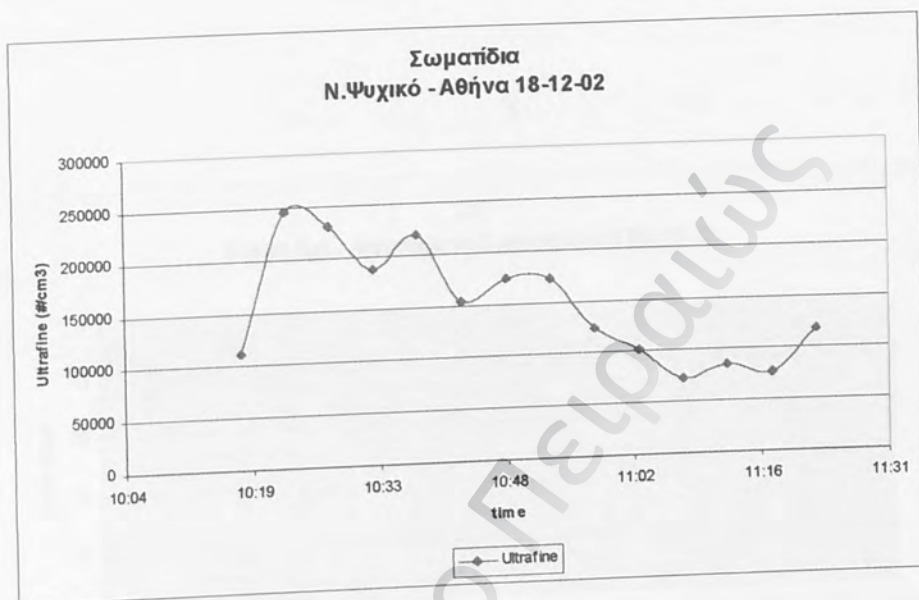
Την 1-10-2002 η διαδρομή που ακολουθήθηκε ήταν Αθήνα – Ναυπηγεία Σκαρμαγκά – Αθήνα. Η συγκεκριμένη μέτρηση ξεκινά νωρίς το πρωί. Οι συγκεντρώσεις CO και αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά το χρονικό διάστημα της αιχμής της κίνησης των αυτοκινήτων, φτάνουν τα 25 ppm και 610 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Το

διάστημα αυτό συμπίπτει χρονικά με την κίνηση των εργαζομένων προς τις εργασίες τους. Μετά τις 8.20 παρατηρείται αισθητή ελάττωση των συγκεντρώσεων. Κατά τις απογευματινές μετρήσεις της ίδιας ημέρας η συγκεντρώσεις του CO παρουσιάζουν σημαντική αύξηση (34,5 ppm) κατά την έναρξη της διαδρομής από τα ναυπηγεία Σκαρμαγκά προς την Αθήνα. Στη συνέχεια, οι συγκεντρώσεις παραμένουν σε χαμηλότερα επίπεδα από τις αντίστοιχες πρωινές όπως και είναι αναμενόμενο καθότι οι εργαζόμενοι δεν έχουν σχολάσει ακόμη από τις εργασίες τους.



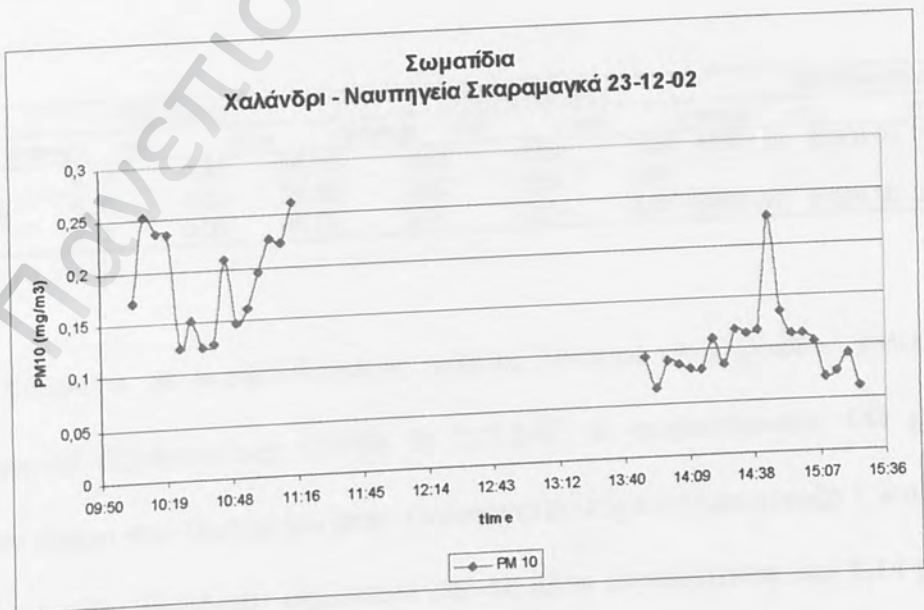
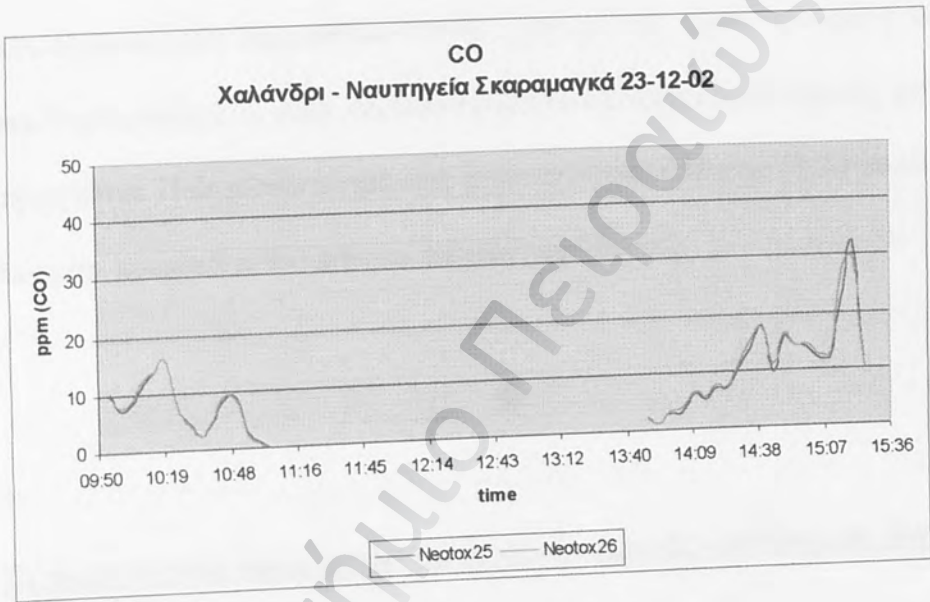
Κατά τις μετρήσεις της ημέρας 18-12-2002 στη διαδρομή Νέο Ψυχικό - Παγκράτι, οι συγκεντρώσεις του CO κυμάνθηκαν σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα ξεπερνώντας τα 45 ppm. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κορυφή που παρατηρείται στο διάγραμμα στις 10.26 συμπίπτει χρονικά με την πολύ αυξημένη κίνηση στην λεωφόρο

Κηφισίας. Επίσης, όπως και έχει καταγραφεί στο πρωτόκολλο των μετρήσεων, τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή προηγείται φορτηγό και μυρίζει έντονα καυσαέριο.



Όπως φαίνεται στο διάγραμμα CO, Ultrafine – Συσχετισμός, παρατηρείται πολύ καλός συσχετισμός μεταξύ των συγκεντρώσεων του CO και των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{uf} .

Αντίθετα, ο συσχετισμός των PM_{10} με το CO δεν είναι εξίσου καλός.



Κατά την διαδρομή Χαλάνδρι – Ναυπηγεία Σκαρμαμαγκά – Χαλάνδρι στις 23-12-20002 οι συγκεντρώσεις CO κατά τις προμεσημεριανές ώρες παραμένουν σε επίπεδα που δεν ξεπερνούν τα 16 ppm. Το γεγονός αυτό συνδυάζεται με το ότι η αυξημένη πρωινή κίνηση των αυτοκινήτων έχει προηγηθεί. Ωστόσο, στις 10.18 καταγράφεται στο πρωτόκολλο των μετρήσεων ότι προηγείται όχημα παλαιάς τεχνολογίας, όπου και οφείλεται το τοπικό μέγιστο που παρατηρείται στα διαγράμματα των CO και αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Επίσης, στις 14.49, η κορυφή κατά τις απογευματινές μετρήσεις στα αιωρούμενα σωματίδια οφείλεται στην ύπαρξη φορτηγού το οποίο προηγείται. Η δε μέγιστη τιμή στις συγκεντρώσεις CO στις 15.20 συνδυάζεται με το γεγονός ότι προηγείται αυτοκίνητο παλαιάς τεχνολογίας.

Συγκεντρωτικές τιμές ρύπων κατά τις εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση με αυτοκίνητο (ανά εποχή)

	CO (ppm)			PM10(mg/m3)			Ultrafine(#/cm3)		
	average	min	max	average	min	max	average	min	max
Καλοκαίρι	8,14	0,00	155,20	0,13	0,05	0,29	66180,13	23300,00	212000,00
Φθινόπωρ	6,35	0,00	29,08	0,22	0,04	0,61			
Χειμώνας	9,11	0,00	45,30	0,11	0,03	0,30	158501,67	61298,00	326805,40

Σύμφωνα με περιβαλλοντικές μελέτες [Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology (1999) 9, 237-244] οι συγκεντρώσεις CO μέσα σε κινούμενο όχημα στο Παρίσι και στην Ουάσινγκτον κυμαίνονται μεταξύ 5 και 14 ppm και επομένως δεν διαφέρουν σημαντικά από τη μέση συγκέντρωση των 8,14 ppm CO κατά την κίνηση με όχημα σε δρόμους του λεκανοπεδίου της Αττικής, όπως φαίνεται

στον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα. Στην ίδια μελέτη, στοιχεία από μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Ελσίνκι της Φιλανδίας, δείχνουν ότι μέσα σε κινούμενο όχημα κατά τις ώρες αιχμής οι μέσες συγκεντρώσεις του CO δεν ξεπερνούν τα 5,7 ppm.

II) Διαδρομές με τα πόδια

Οι μετρήσεις που έγιναν κατά τις διαδρομές με τα πόδια, πραγματοποιήθηκαν γύρω και μέσα στο σχολικό συγκρότημα που βρίσκεται επί των οδών Σπύρου Μερκούρη και Στράβωνος στην περιοχή του Παγκρατίου. Επίσης, στην περιοχή Νέου Ηρακλείου γύρω και μέσα στο σχολικό συγκρότημα επί των οδών Πευκών και Ρόδων. Τα σχολεία αποτελούν αντιπροσωπευτικούς χώρους στους οποίους περνά καθημερινά ένα μεγάλο μέρος του 24-ώρου ένας ευαίσθητος πληθυσμός, τα παιδιά, καθώς και μια αντιπροσωπευτική υποομάδα [βλ. § 4.2.2] εργαζόμενων (καθηγητές, δάσκαλοι, προσωπικό σχολείου). Τέλος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε κεντρικούς δρόμους της Αθήνας καθώς και στον εσωτερικό χώρο καταστημάτων. Πρόκειται για τυπικές διαδρομές τις οποίες ακολουθούν καθημερινά ένας μεγάλος αριθμός πολιτών κατά τις εμπορικές και εργασιακές τους δραστηριότητες.

Στη συνέχεια επιλέγονται και παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ορισμένων από τις ημέρες δειγματοληψίας.

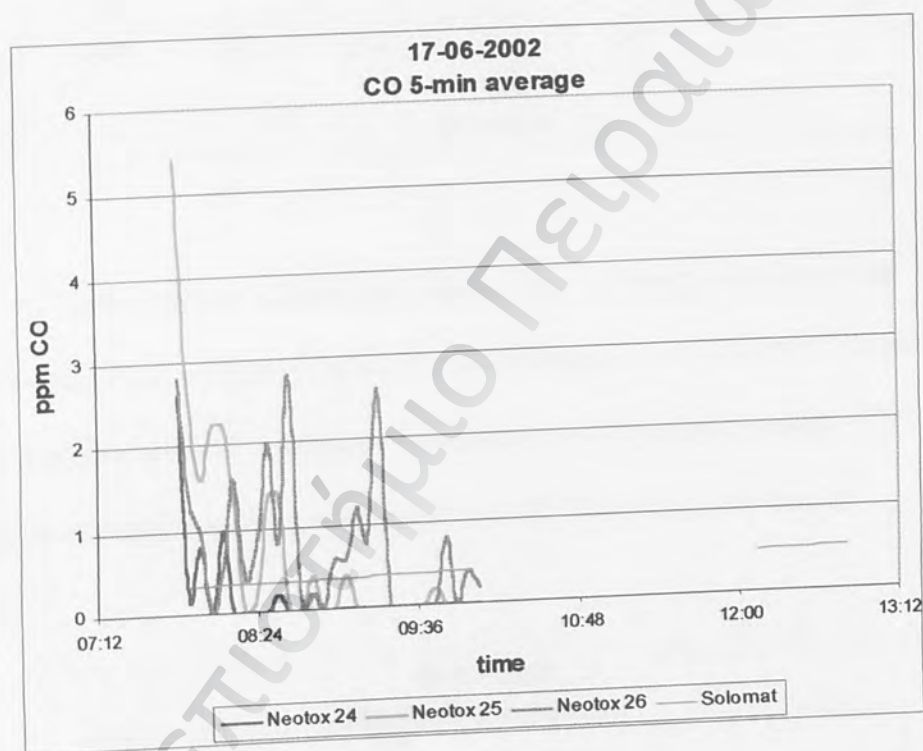
➤ Δευτέρα 10 Ιουνίου 2002

Τη συγκεκριμένη ημέρα, κατά τις μετρήσεις γύρω από το σχολείο της περιοχής του Παγκρατίου, οι καιρικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα η ταχύτητα του ανέμου που έφτανε τα 7,38 m/s είχε σαν αποτέλεσμα τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι ιδιαίτερα χαμηλά. Η συγκέντρωση του CO δεν ξεπέρασε τα 0,4 ppm, ενώ η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων διατηρήθηκε κάτω από τα 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM₁₀ και 50.000 σωματίδια ανά cm^3 για τα PM_{10f}.

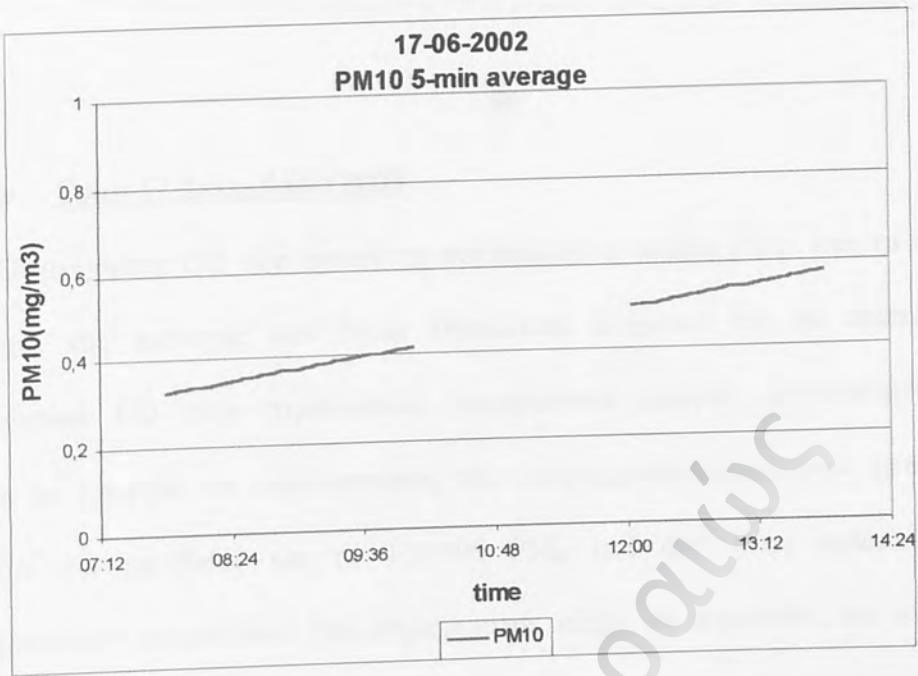
➤ Δευτέρα 17 Ιουνίου 2002

Μία εβδομάδα αργότερα από την προηγούμενη μέτρηση και στην ίδια τοποθεσία, τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαφοροποιούνται. Η ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα, ενώ οι συγκεντρώσεις των ρύπων είναι υψηλότερες. Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει καθοριστικά τις συγκεντρώσεις των ρύπων, σε συνδυασμό βέβαια και με άλλους παράγοντες όπως η απόσταση από την πηγή εκπομπής, η υγρασία κ.α. Σε παρόμοια συμπεράσματα σχετικά με την συμβολή της κυκλοφοριακής κίνησης και της ταχύτητας του ανέμου στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀ και PM_{10f}) και του CO, καταλήγουν και περιβαλλοντικές μελέτες σε διάφορες χώρες του κόσμου (Φιλανδία, Αμερική, Αυστραλία). [Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology (1999)9, 237-244], [Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 52 (sept. 2002),1032-1042], [Atmospheric Environment 34(2000) 51-59].

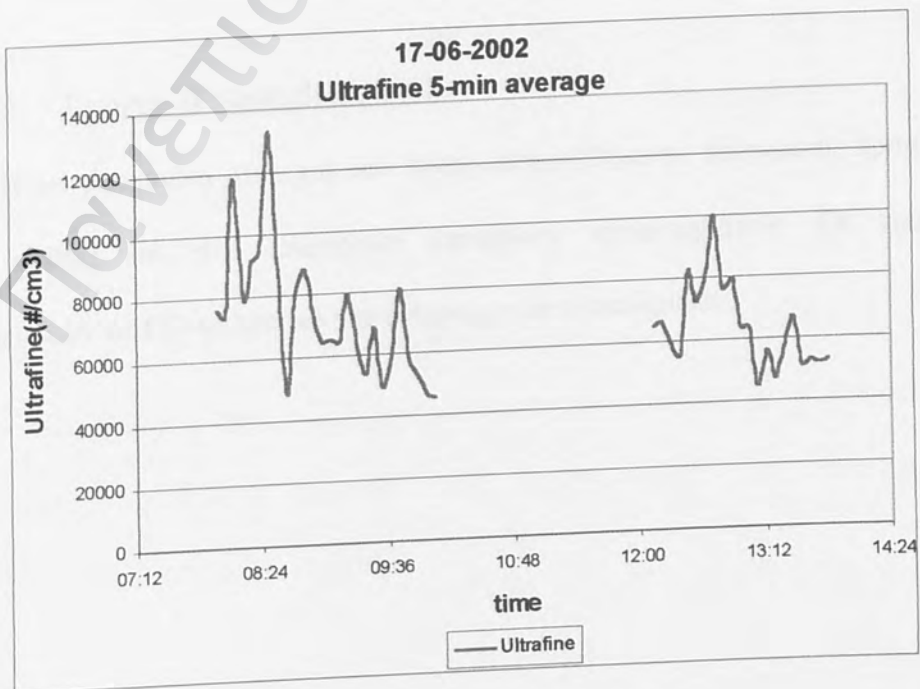
Από τα διαγράμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των μετρήσεων παρατηρούμε ότι κατά τις πρωινές ώρες, ώρες μέγιστης κυκλοφοριακής αιχμής, οι τιμές των συγκεντρώσεων CO ξεπερνούν τα 5 ppm. Στη συνέχεια, η περιοδική εμφάνιση λεωφορείων, το ξεκίνημα σταματημένων οχημάτων στο φωτεινό σηματοδότη, οι ταχύτητα του ανέμου, διαμορφώνουν τις συγκεντρώσεις που φαίνονται στο διάγραμμα «17-06-2002 CO 5-min average».



Οι τιμές των συγκεντρώσεων σε αιωρούμενα σωματίδια πλησιάζουν τα 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, σημειώνοντας μάλιστα μια σταθερή ανοδική τάση κατά το πέρασμα του χρόνου όπως φαίνεται καθαρά στο διάγραμμα «17-06-2002 PM10 5-min average».



Τα λεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀) παρουσιάζουν αρκετές εναλλαγές στις τιμές τους όπως φαίνεται στο διάγραμμα «17-06-2002 Ultrafine 5-min average» ενώ στο χρονικό διάστημα της υψηλής κυκλοφοριακής αιχμής 7.30 – 8.30 οι τιμές των συγκεντρώσεών τους πλησιάζουν τα 140.000 σωματίδια ανά cm³.

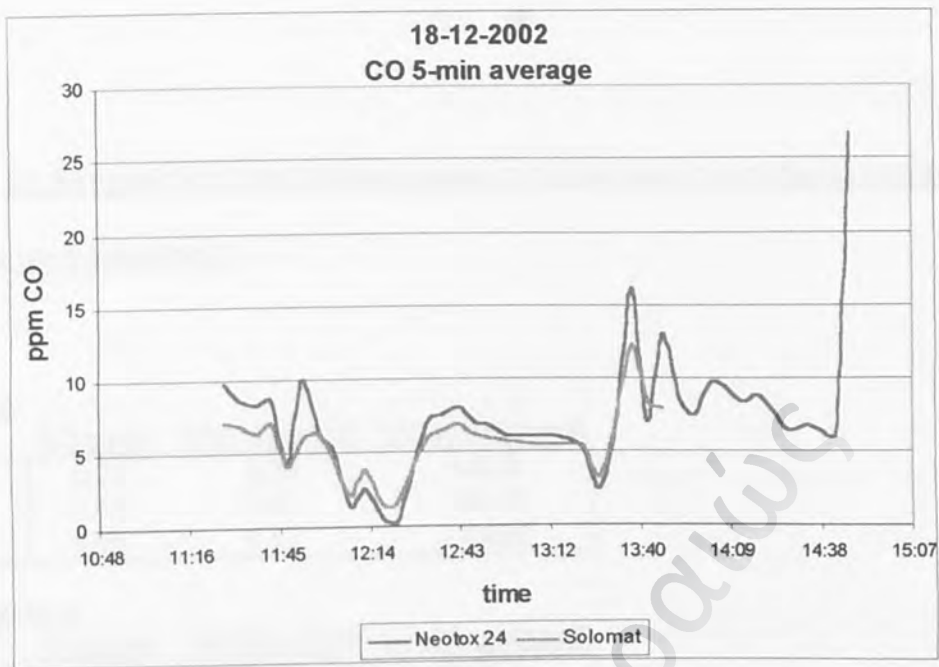


➤ Τρίτη 17 Δεκεμβρίου 2002

Οι μετρήσεις CO που έγιναν τη συγκεκριμένη ημέρα γύρω από το σχολικό συγκρότημα της περιοχής του Νέου Ηρακλείου δείχνουν ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων CO στην ατμόσφαιρα διατηρούνται χαμηλά. Συγκεκριμένα, δεν ξεπερνούν τα 1,4 ppm. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων έφτασαν τα 450 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ για τα PM10 και τα 220.000 PM_{10} ανά cm^3 στην περίπτωση των υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί, ότι οι δρόμοι που περιβάλλουν το συγκεκριμένο σχολικό συγκρότημα είναι μονής κυκλοφορίας και δεν υπάρχουν φωτεινοί σηματοδότες ή δρομολόγια λεωφορείων. Η απουσία των παραγόντων αυτών -σε αντίθεση με το σχολικό συγκρότημα της περιοχής Παγκρατίου-, συμβάλλουν στην διατήρηση των εξεταζόμενων ρύπων σε χαμηλά επίπεδα.

➤ Τετάρτη 18 Δεκεμβρίου 2002

Η συγκεκριμένη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε σε κεντρικούς δρόμους της Αθήνας καθώς και στο εσωτερικό κεντρικών καταστημάτων. Οι τιμές των συγκεντρώσεων σε CO φαίνονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Η διαδρομή που ακολουθείται είναι από την οδό Ακαδημίας (πλατεία Κάνιγγος) έως την οδό Σίνα. Όπως έχει σημειωθεί στο πρωτόκολλο των μετρήσεων, οι τιμές των οργάνων ανεβαίνουν όταν περνάει αυτοκίνητο και ειδικότερα λεωφορείο κοντά στο πεζοδρόμιο. Στις 12.26 η διαδρομή συνεχίζεται μέσα στο εσωτερικό του βιβλιοπωλείου «Ελευθερουδάκης» επί της οδού Πανεπιστημίου. Ο συγκεντρώσεις σε CO διατηρούνται σε σταθερά επίπεδα μεταξύ 6 έως 8 ppm. Μετρήσεις πάρθηκαν σε όλους του ορόφους του βιβλιοπωλείου χωρίς να παρατηρηθούν σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές των ρύπων. Στις 13.27 η διαδρομή συνεχίζεται στους δρόμους της Αθήνας ενώ στις 13.38 σημειώνεται κορυφή στο διάγραμμα η οποία οφείλεται σε μπουτιλιάρισμα στις οδούς Σταδίου και Αμερικής λόγω πορείας. Η διαδρομή καταλήγει στην οδό Ιπποκράτους όπου προσεγγίζεται υπόγειο πάρκινγκ με ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις (τελευταία κορυφή του διαγράμματος που αντιπροσωπεύει συγκέντρωση μεγαλύτερη των 25 ppm).

Συγκεντρωτικές τιμές ρύπων κατά τις εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση με

τα πόδια (ανά τοποθεσία)

Παγκράτι

	<u>CO(ppm)</u>	<u>PM10(mg/m3)</u>	<u>Ultrafine(#/cm3)</u>
M.O.	0,27	0,26	49822
MIN	3,60	0,07	24540
MAX	0,00	0,57	133000

Νέο Ηράκλειο

	<u>CO(ppm)</u>	<u>PM10(mg/m3)</u>	<u>Ultrafine(#/cm3)</u>
M.O.	0,20	0,09	79654
MIN	0,00	0,04	64196
MAX	1,01	0,20	108624

Αθήνα

	<u>CO(ppm)</u>
M.O.	7,03
MIN	1,00
MAX	26,80

Σύμφωνα με περιβαλλοντικές μελέτες [Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology (1999) 9, 237-244] οι συγκεντρώσεις CO κατά την κίνηση με τα πόδια σε κεντρικούς δρόμους στο Παρίσι και στην Ουάσινγκτον κυμαίνονται μεταξύ 4 και 8 ppm. Στην Αθήνα η αντίστοιχη μέση συγκέντρωση είναι 7,3 ppm CO, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα.

Οι μέσες συγκεντρώσεις των PM10 κοντά σε δρόμο σε άλλες πόλεις του κόσμου, ήταν, σύμφωνα με μελέτες [Atmospheric Environment 35(2001) 453-468], 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο Παρίσι, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο Μπέρμινγχαμ και 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο Χονγκ Κονγκ.

Σε ότι αφορά τα υπερλεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια PM_{uf} , ενώ στην περιοχή του Παγκρατίου η μέση συγκέντρωσή του είναι 49.822 PM_{uf} ανά cm^3 , η αντίστοιχη συγκέντρωση στην πόλη Μπρίσμπειν της Αυστραλίας (με ίδια ταχύτητα

ανέμου) είναι 37.500 PM_{10} ανά cm^3 σύμφωνα με μελέτη [Atmospheric Environment 34(2000) 51-59]. Επίσης οι μέσες 24-ωρες συγκεντρώσεις στο Μπέρμινχαμ της Αγγλίας ήταν 26.800 PM_{10} ανά cm^3 σύμφωνα μελέτη [The Science of the Total Environment 235 (1999) 51-64].

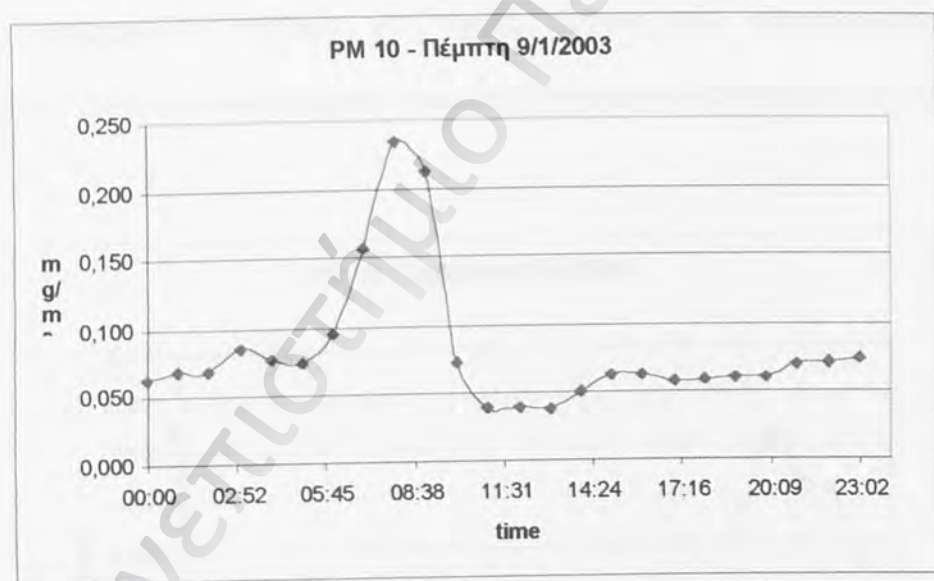
7.4.3 Εξωτερικές μετρήσεις σταθερές

Λόγω του μεγάλου αριθμού των εξωτερικών σταθερών μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων που πραγματοποιήθηκαν, κρίθηκε αναγκαία η διαλογή χαρακτηριστικών δειγμάτων των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, τα διαγράμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, κατηγοριοποιούνται στις εποχές χειμώνα, καλοκαίρι και φθινόπωρο κατά τις οποίες διεξήχθησαν οι μετρήσεις. Τα διαγράμματα αντιπροσωπεύουν τις μέσες ωριαίες τιμές, ενώ τα όργανα έπαιρναν μέτρηση (δείγμα αέρα) κάθε ένα λεπτό. Για κάθε εποχή παρατίθενται διαγράμματα από μια καθημερινή (ημέρα της εβδομάδος), ένα Σάββατο ή/και Κυριακή, καθώς και συγκεντρωτικά για όλες τις καθημερινές και όλα τα Σαββατοκύριακα της συγκεκριμένης εποχής.

I. Χειμώνας

Τα διαγράμματα που ακολουθούν δίνουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα της διαμόρφωσης των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα « PM_{10} – Πέμπτη 09-01-2003» είναι έκδηλη η σταθερή αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων από τις 5.30 το πρωί όποτε και ξεκινάει η κυκλοφοριακή δραστηριότητα των οχημάτων για τη μεταφορά των εργαζομένων προς τις εργασίες τους. Στις 8.00 σημειώνεται το μέγιστο

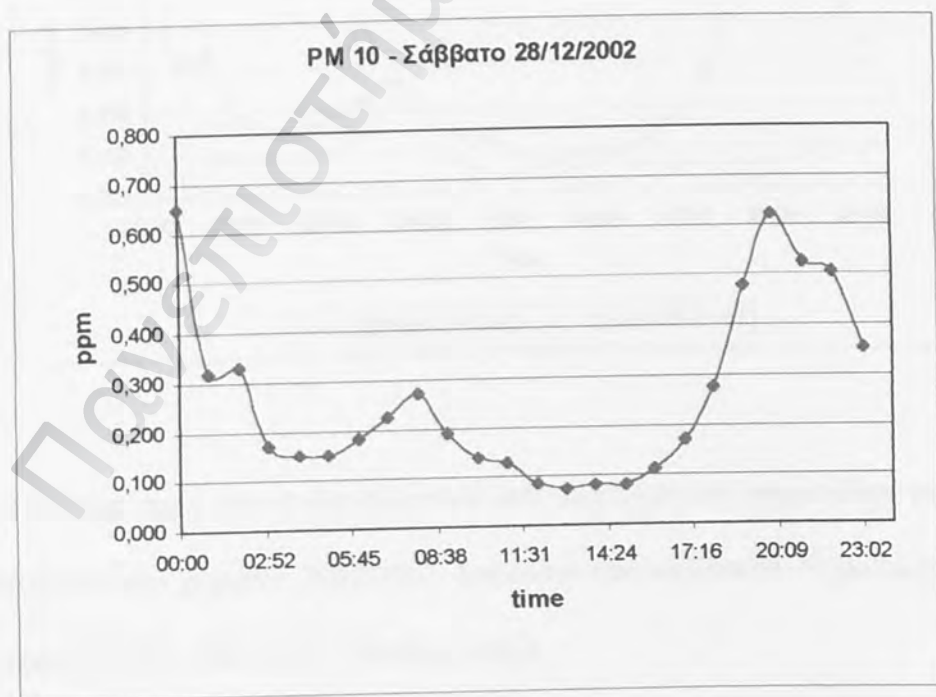
της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων, $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, όποτε και ξεκινάει η καθοδική πορεία των συγκεντρώσεων, με ρυθμό μείωσης ομοιάζων κατά πολύ αυτού της προηγηθείσης αύξησης. Μικρή αύξηση των συγκεντρώσεων παρατηρείται και κατά το χρονικό διάστημα το οποίο συμπίπτει με το σχόλασμα μέρους των εργαζομένων. Καθότι βάσει του χειμερινού ωραρίου των καταστημάτων τα τελευταία παραμένουν ανοιχτά μέχρι τις 20.30, δεν παρατηρείται ιδιαίτερη μεταβολή στις συγκεντρώσεις μέχρι και το διάστημα αυτό. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων παραμένουν χαμηλά κατά το υπόλοιπο της συγκεκριμένης ημέρας και αυτό είναι λογικό αφού η ημέρα που ακολουθεί είναι εργάσιμη και κατά συνέπεια οι βραδινές μετακινήσεις των κατοίκων για κοινωνικές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες είναι περιορισμένες.



Σε αντίθεση με το προηγούμενο διάγραμμα, στο διάγραμμα του Σαββάτου «PM10 - Σάββατο 28-12-2002» παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις από τις πρώτες πρωινές ώρες όποτε και σημειώνεται και η μέγιστη τιμή των $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά τα μεσάνυχτα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην έντονη μετακίνηση των κατοίκων κατά τα χρονικά αυτά διαστήματα, καθότι ένα μεγάλο μέρος των πολιτών δεν εργάζεται

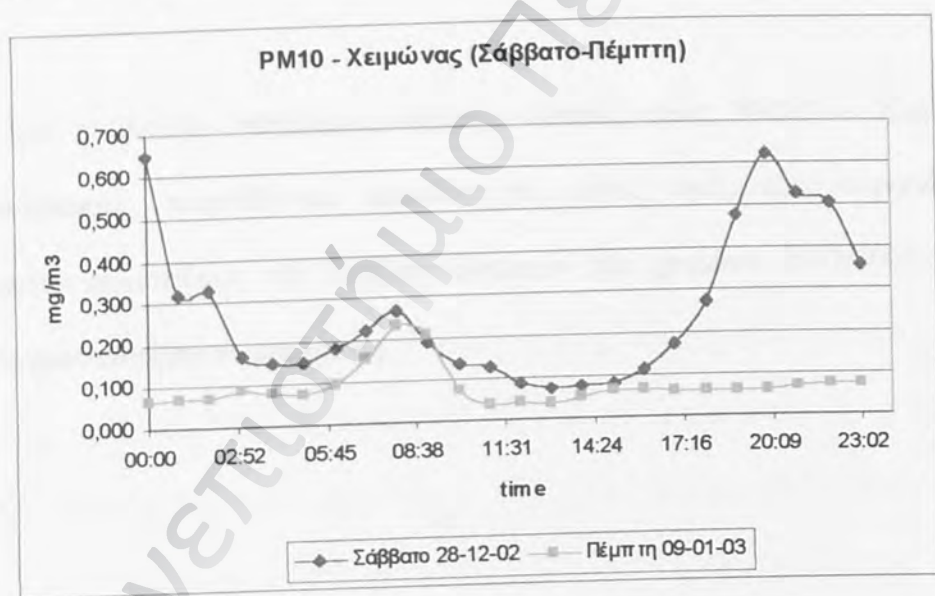
το Σάββατο, οπότε την Παρασκευή ξημερώνοντας Σάββατο οι μετακινήσεις με αυτοκίνητο για ψυχαγωγικούς λόγους παρουσιάζει αύξηση. Επιπλέον, η συγκεκριμένη ημέρα ανήκει στην περίοδο των Χριστουγέννων και πολλών ονομαστικών εορτών, οπότε και οι συγκεντρώσεις σε σπίτια και χώρους διασκέδασης είναι αυξημένες. Ανάλογα αυξάνονται και οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων όπως φαίνεται στο εν λόγω διάγραμμα.

Η λειτουργία των καταστημάτων κατά την ημέρα του Σαββάτου έχει σαν αποτέλεσμα να ακολουθούν οι χρονοσειρές των συγκεντρώσεων της συγκεκριμένης ημέρας τις αντίστοιχες της καθημερινής που προηγήθηκε (Πέμπτη 09-01-2003) για το χρονικό διάστημα που τα καταστήματα παραμένουν ανοιχτά (μέχρι τις 15.00). Στη συνέχεια, παρατηρείται σταθερή και υψηλή αύξηση των συγκεντρώσεων που παρουσιάζουν διακριτό τοπικό μέγιστο στις 20.00 με τιμή συγκέντρωσης $630 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

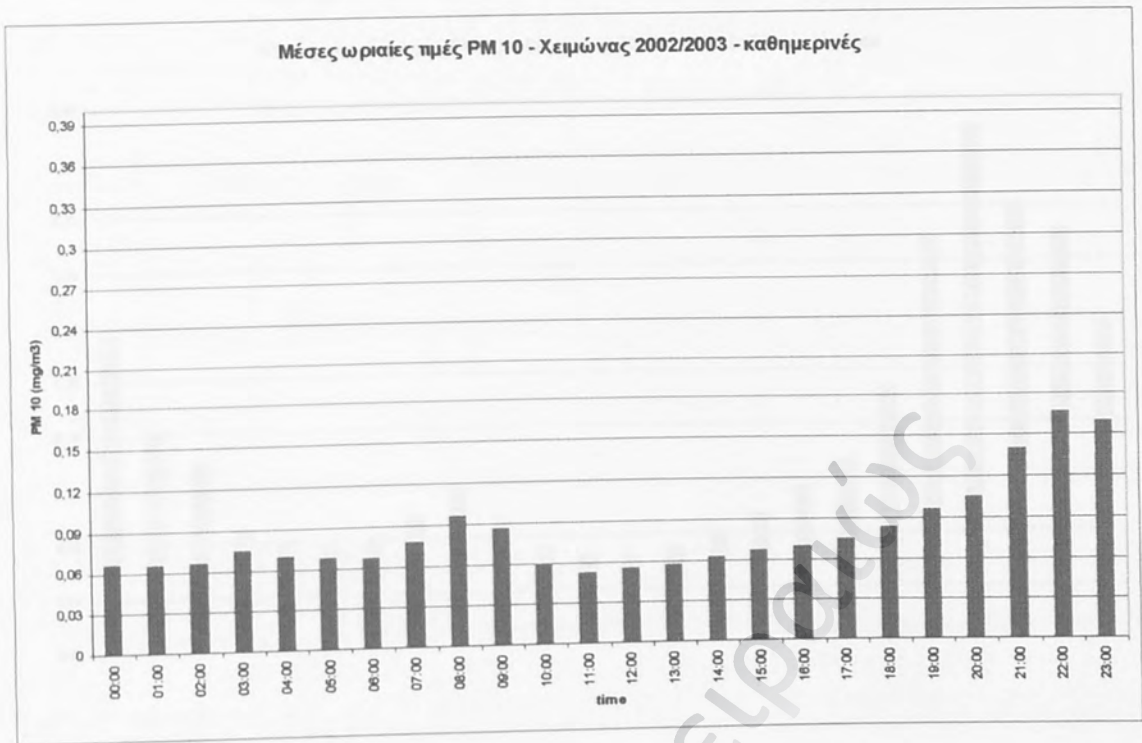


Λόγου του ότι τα διαγράμματα «PM10 – Πέμπτη 09-01-2003» και «PM10 – Σάββατο 28-12-2002» έχουν για πρακτικούς λόγους διαφορετική κλίμακα στους άξονες των συγκεντρώσεων, παρατίθεται στη συνέχεια διάγραμμα στο οποίο φαίνονται και οι δύο χρονοσειρές των συγκεκριμένων ημερών. Στο διάγραμμα αυτό «PM10 – Χειμώνας (Σάββατο-Πέμπτη)» μπορεί κανείς εύκολα να συγκρίνει τις διαφορές και τις ομοιότητες των δύο ημερών έχοντας μια κοινή κλίμακα τιμών των συγκεντρώσεων.

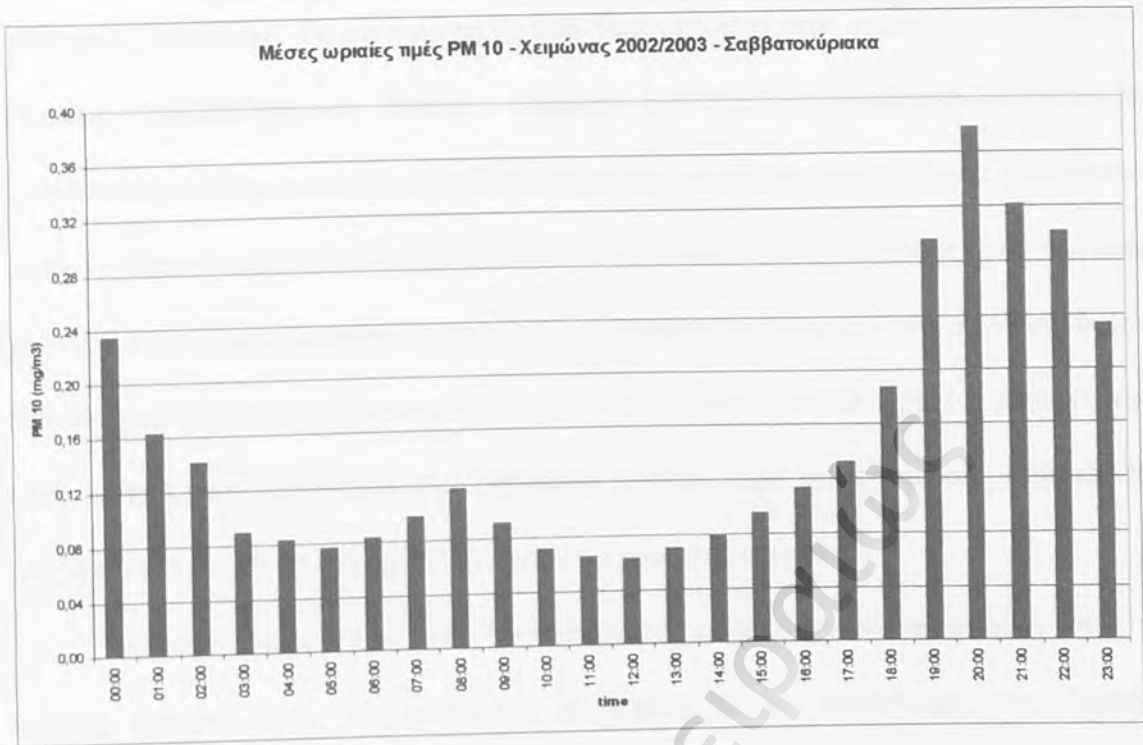
Επιπλέον, οι κλιματολογικές συνθήκες που επικράτησαν κατά τις δύο παραπάνω ημέρες δεν παρουσιάζουν αξιόλογες διαφορές μεταξύ τους οπότε, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο παράγων αυτός δεν συνέβαλλε σημαντικά στη διαμόρφωση των συμπερασμάτων που προκύπτουν.



Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για τον για τις καθημερινές του χειμώνα 2002/2003 φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα «Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Χειμώνας – Καθημερινές».



Στο ακόλουθο διάγραμμα, «Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Χειμώνας – Σαββατοκύριακα», παρατίθενται συνολικά οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων των Σαββατοκύριακων του χειμώνα 2002/2003 κατά τα οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.



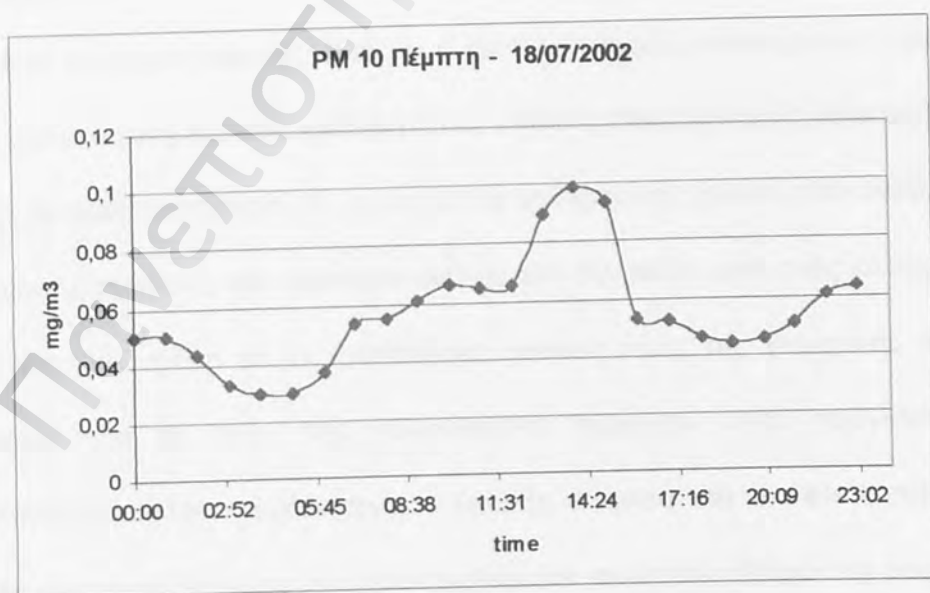
Από τα δύο παραπάνω διαγράμματα («Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Χειμώνας – Καθημερινές» και «Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Χειμώνας – Σαββατοκύριακα») καθίσταται εμφανές ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων τα Σαββατοκύριακα του χειμώνα και κατά τα χρονικά διαστήματα που παρατηρείται αυξημένη κινητικότητα των οχημάτων (00.00 - 03.00 και 17.00 – 00.00) για τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω, εμφανίζονται δύο με τρεις φορές μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που ισχύουν τις καθημερινές. Κατά το υπόλοιπο χρονικό διάστημα της ημέρας (03.00 – 17.00) διαπιστώνουμε ότι και οι δύο χρονοσειρές (καθημερινές και Σαββατοκύριακα) ακολουθούν παρόμοιες διακυμάνσεις.

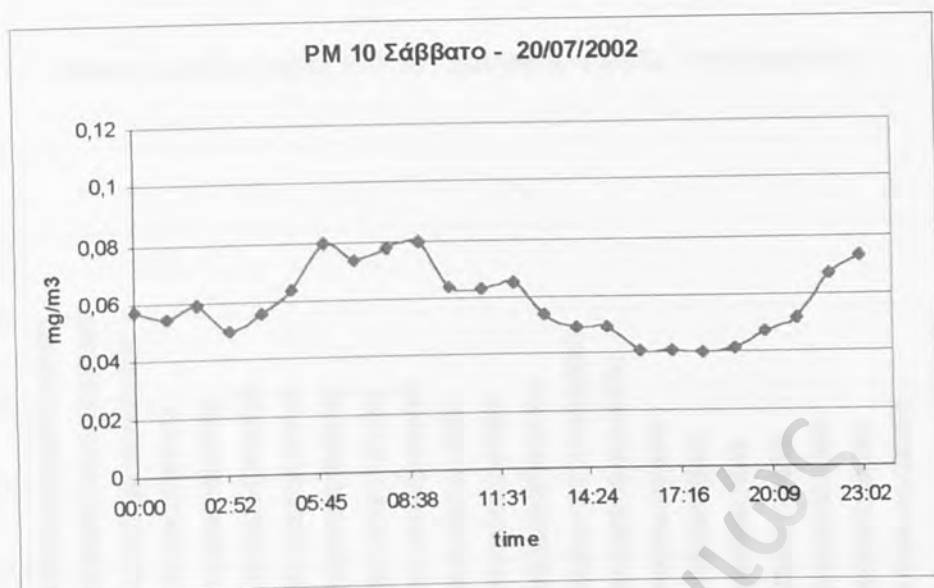
II. Καλοκαίρι

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζονται εμφανώς μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες της

χειμερινής περιόδου. Συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα που ακολουθούν («PM10 – Πέμπτη – 18/07/2002» και «PM10 – Σάββατο 20/07/2002»), παρατηρούμε ότι οι δύο χρονοσειρές (καθημερινές και Σαββατοκύριακα) ακολουθούν παρόμοια διακύμανση κατά τα διαστήματα 10.00 έως 12.00 και 16.00 έως 01.00. Αντίθετα, στα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα διαπιστώνεται αισθητή διαφορά στις τιμές των συγκεντρώσεων. Ειδικότερα, ενώ στις 14.00 στο διάγραμμα της Πέμπτης σημειώνεται η μέγιστη τιμή ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), στο διάγραμμα του Σαββάτου μέγιστη τιμή συγκέντρωσης σημειώνεται στις 6.00 και στις 9.00 ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στις δύο χρονικές στιγμές).

Οι υψηλότερες τιμές στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων κατά τις πρώτες πρωινές ώρες του Σαββάτου σε σχέση με τις αντίστοιχες της Πέμπτης εξηγούνται από το γεγονός της αυξημένης μετακίνησης των πολιτών για ψυχαγωγικούς λόγους κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου (ξεκινώντας από το βράδυ της Παρασκευής).

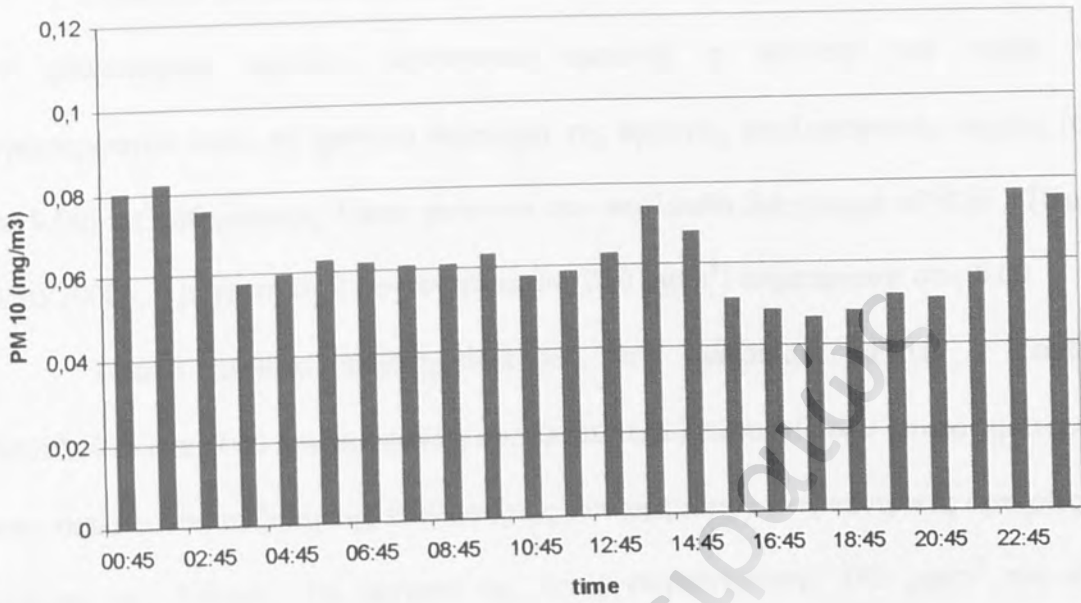




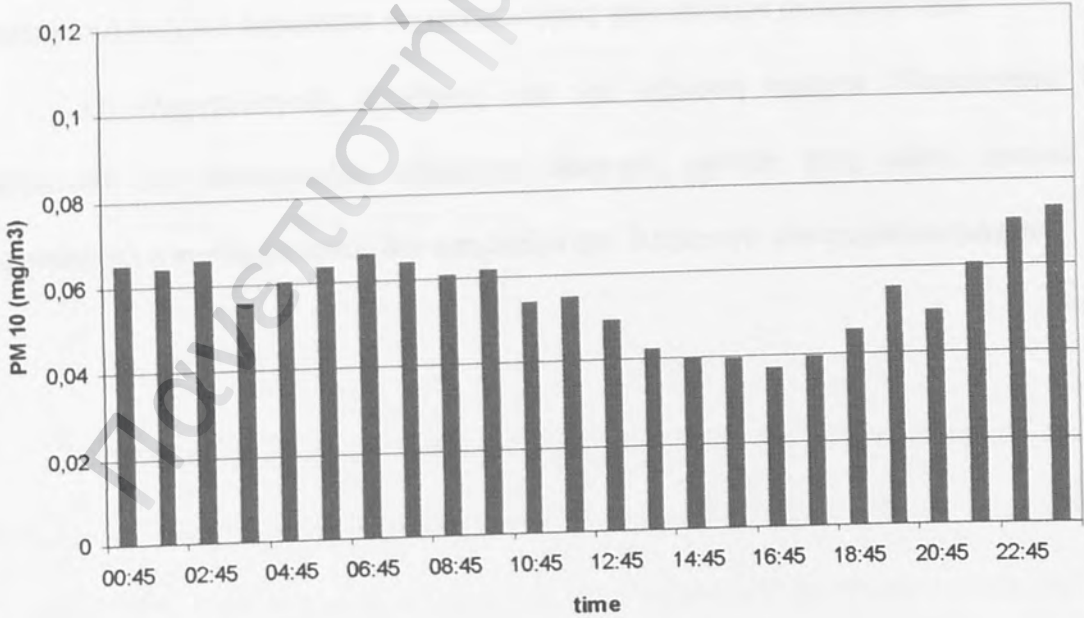
Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για τις καθημερινές και τα Σαββατοκύριακα του καλοκαιριού 2002 φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν («Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Καλοκαίρι 2002 – Καθημερινές» και «Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Καλοκαίρι 2002 – Σαββατοκύριακα»).

Από τις μέσες ωριαίες τιμές των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο προκύπτει ότι, παρατηρείται ότι αυτές είναι αισθητά πιο μειωμένες τα σαββατοκύριακα σε σχέση με τις καθημερινές γεγονός που οφείλεται στο ότι ένα μεγάλο ποσοστό των κατοίκων φεύγει από την πόλη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τέλος, σε σχέση με τις αντίστοιχες ωριαίες τιμές της χειμερινής περιόδου, παρατηρούμε ότι οι τιμές της καλοκαιρινής περιόδου είναι χαμηλότερες. Οι κλιματολογικές συνθήκες (ειδικότερα η ύπαρξη ανέμου) και η αποσυμφόρηση της πόλης από τους εργαζόμενους εν αδεία συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη διαμόρφωση του αποτελέσματος αυτού.

Μέσες ωριαίες πμές PM 10 - Καλοκαίρι 2002 - καθημερινές



Μέσες ωριαίες πμές PM 10 - Καλοκαίρι 2002 - Σαββατοκύριακα

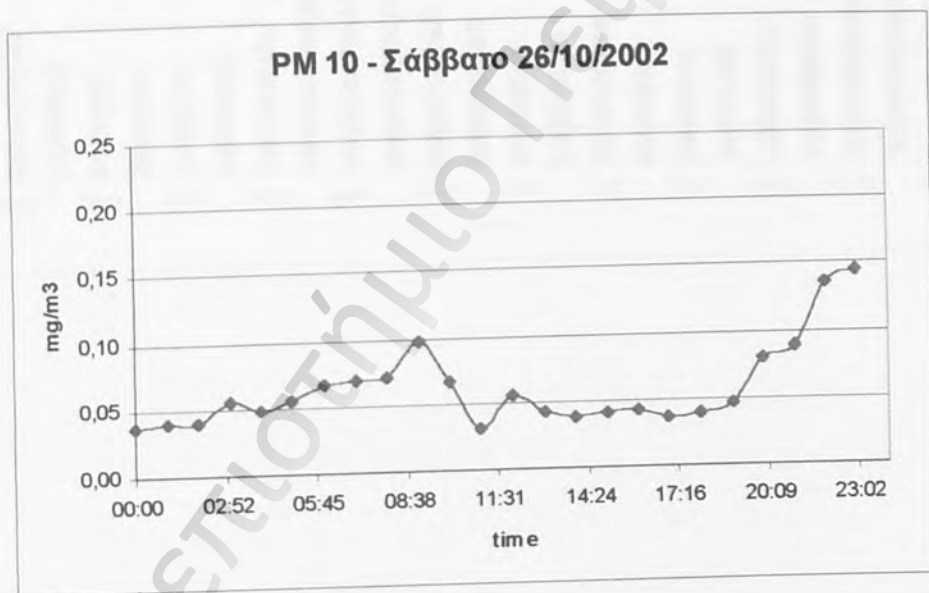
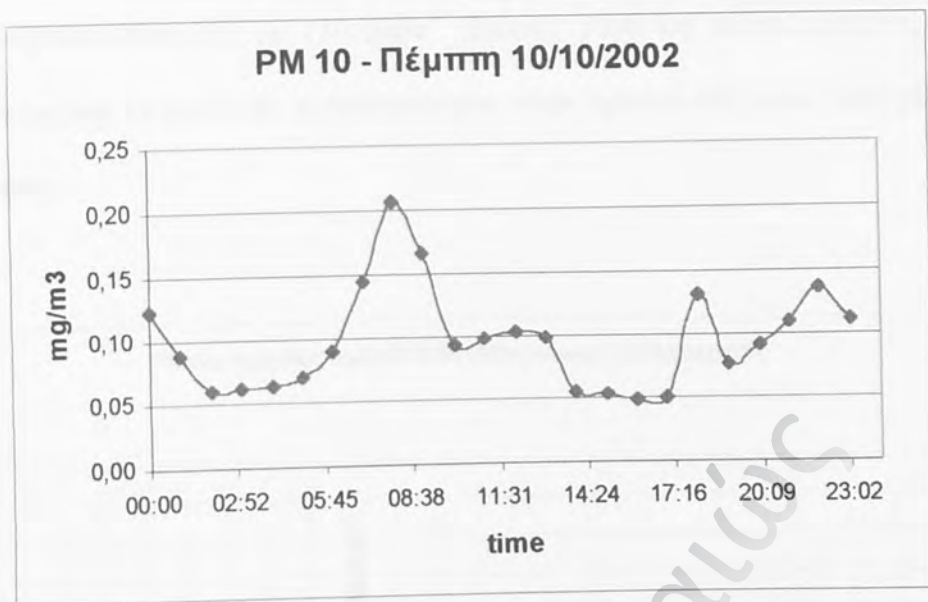


III. Φθινόπωρο

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων κατά την φθινοπωρινή περίοδο, καθίσταται εμφανής η αύξηση των τιμών των συγκεντρώσεων κατά το χρονικό διάστημα της πρωινής κυκλοφοριακής αιχμής (6.00 έως 9.00) τις καθημερινές. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα «PM10 - Πέμπτη 10/10/2002», η μέγιστη τιμή συγκεντρώσεων ($210 \mu\text{g}/\text{m}^3$) σημειώνεται στις 8.00.

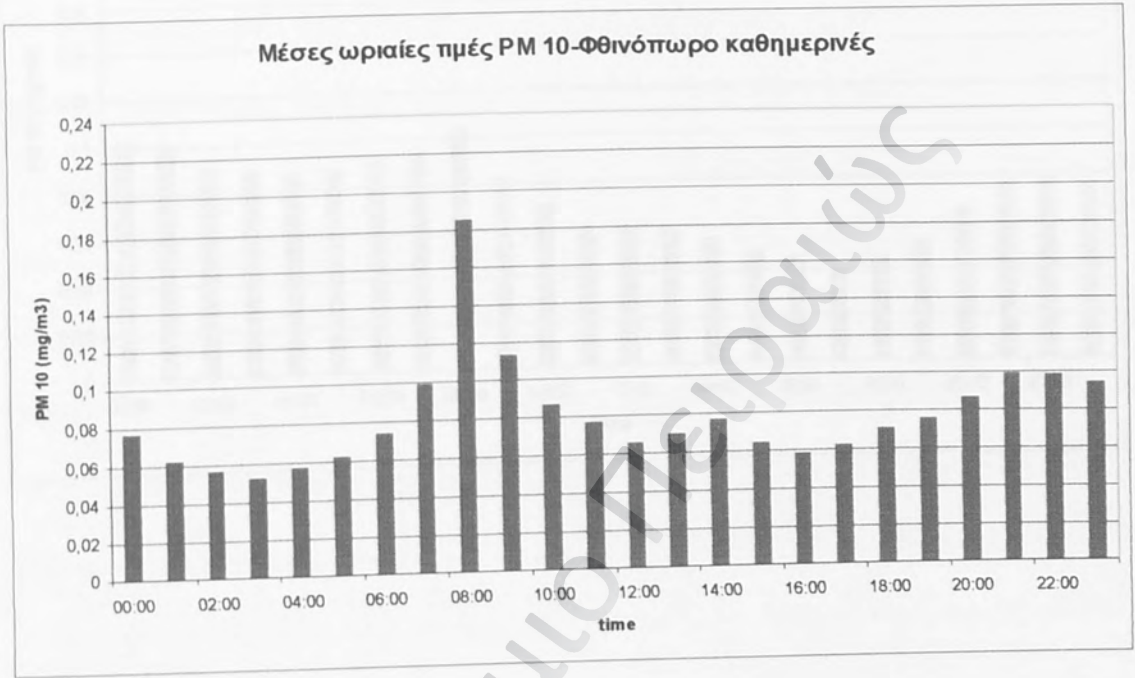
Τοπικό μέγιστο παρατηρείται και στο διάγραμμα «PM10 - Σάββατο 26/10/2002» στις 9.00 που προφανώς οφείλεται στην λειτουργία των καταστημάτων και στην επακόλουθη αύξηση της κυκλοφορίας των οχημάτων στις κεντρικές αρτηρίες και κόμβους της Αθήνας. Το μέγιστο της τιμής συγκέντρωσης $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ του ίδιου διαγράμματος σημειώνεται, ωστόσο, στις 23.00 γεγονός που εξηγείται αφενός λόγω της αυξημένης μετακίνησης των πολιτών για ψυχαγωγικούς λόγους τις βραδινές ώρες του Σαββάτου και αφετέρου λόγω του ότι η ονομαστική εορτή της 26^{ης} Οκτωβρίου (Αγίου Δημητρίου) αυξάνει περαιτέρω τις μετακινήσεις των πολιτών με αυτοκίνητο.

Οι κλιματολογικές συνθήκες των υπό εξέταση ημερών (Παρασκευής και Σαββάτου) δεν παρουσίαζαν αξιόλογες διαφορές μεταξύ τους οπότε μπορεί να θεωρηθεί ότι ο παράγον αυτός δεν επηρεάζει την διεξαγωγή των συμπερασμάτων.

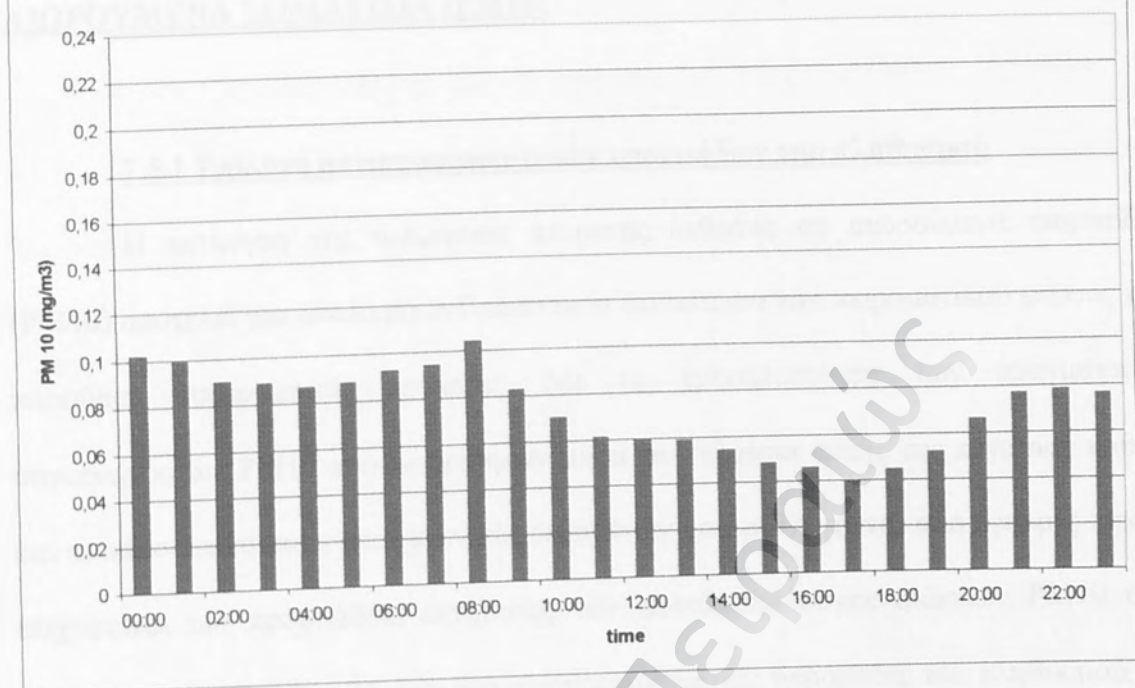


Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για τις καθημερινές και τα Σαββατοκύριακα του φθινοπώρου 2002 φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν («Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Φθινόπωρο Καθημερινές» και «Μέσες ωριαίες τιμές PM10 – Φθινόπωρο Σαββατοκύριακα»). Χαρακτηριστικές είναι οι αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στις 8.00. Τις καθημερινές, το μέγιστο των μέσων ωριαίων τιμών ξεπερνά τα $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ το αντίστοιχο μέγιστο τα

Σαββατοκύριακα είναι ίσο με $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Επίσης, κατά τις πρώτες πρωινές ώρες τα Σαββατοκύριακα, οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι σχετικά αυξημένες σε σχέση με τις καθημερινές.



Μέσες ωριαίες τιμές PM 10-Σαββατοκύριακα



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM10)

7.5.1 Επιλογή αντιπροσωπευτικών υποομάδων του πληθυσμού

Η εκτίμηση της ημερήσιας ατομικής έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια (PM10) αποτελεί μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα συνιστώσα του πειραματικού μέρους της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Με τη χρησιμοποίηση των πραγματικών συγκεντρώσεων PM10 που μετρήθηκαν μέσα στα πλαίσια αυτής της εργασίας καθώς και αντιπροσωπευτικών στοιχείων και δεδομένων που συλλέγονται από έγκυρες πηγές, επιχειρείται μια προσπάθεια εκτίμησης των συνολικών συγκεντρώσεων PM10 στα οποία εκτίθενται σε ένα 24-ωρο δύο αντιπροσωπευτικές υποομάδες του πληθυσμού, το παιδί και ο εργαζόμενος/ενήλικας.

Ο σκοπός του υπολογισμού της πραγματικής ημερήσιας ατομικής έκθεσης είναι, αφενός για να διευκολυνθεί η εκτίμηση του κινδύνου που διατρέχει ο άνθρωπος από την καθημερινή έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια, και αφετέρου, για να καταστεί πιο αποτελεσματική η αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η επιλογή των αντιπροσωπευτικών υποομάδων του πληθυσμού δεν είναι τυχαία. Το παιδί αντιπροσωπεύει μια από τις πιο ευαίσθητες υποομάδες του πληθυσμού. Η έκθεσή του στα αιωρούμενα σωματίδια δύναται, ανάλογα με τη συγκέντρωση στην οποία εκτίθεται, τη διάρκεια παραμονής και την ιδιαιτερότητα του οργανισμού του κάθε παιδιού, να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, πνευμονικές παθήσεις και εξασθένηση του οργανισμού του. Ο ενήλικας αντιπροσωπεύει μια ευρεία υποομάδα του πληθυσμού, αυτή του τυπικού εργαζόμενου.

7.5.2 Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων

Ο χρόνος παραμονής του ατόμου σε κάθε μικρο-περιβάλλον συμβάλλει σημαντικά στη διαμόρφωση της συνολικής ημερήσιας ατομικής έκθεσης σε PM10. Για το λόγο αυτό, συντάσσεται το ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων για το παιδί και τον ενήλικα/εργαζόμενο. Οι ημερήσιες δραστηριότητές τους και ο χρόνος διάρκειας της καθεμιάς καταγράφονται σύμφωνα με ένα ρεαλιστικό σενάριο.

Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι το παιδί ηλικίας 8 με 12 ετών, περνά το 24-ωρό του ως εξής: Από τις 00:00 έως τις 7:30 το πρωί βρίσκεται στο σπίτι. Στη συνέχεια, διανύει με τα πόδια μια διαδρομή μισής ώρας μέχρι να φτάσει στο σχολείο του στις 8:00 το πρωί. Εκεί παραμένει μέχρι τις 14:00 όπου και τελειώνουν τα μαθήματά του και επιστρέφει με τα πόδια στο σπίτι. Στο σπίτι παραμένει μέχρι τις 20:00 το απόγευμα και στη συνέχεια πηγαίνει με τα πόδια σε φροντιστήριο ξένων γλωσσών ή ωδείο ή γυμναστήριο, δηλαδή δραστηριότητα που συνηθίζουν να ασκούν παιδιά αυτών των ηλικιών. Από τις 21:30 έως τις 00:00 παρνά το χρόνο του στο σπίτι.

Στην περίπτωση του ενήλικα/εργαζόμενου το πρόγραμμα των ημερήσιων δραστηριοτήτων θεωρήθηκε ως εξής: Από τις 00:00 έως τις 7:00 το πρωί βρίσκεται στο σπίτι. Από 7:00 έως τις 7:30 χρησιμοποιεί το ιδιωτικό του αυτοκίνητο, το οποίο αφήνει σε υπόγειο χώρο στάθμευσης και μεταβαίνει στην εργασία του. Στις 16:00 σχολάει από τη δουλειά του, παραλαμβάνει το αυτοκίνητό του από τον υπόγειο χώρο στάθμευσης και επιστρέφει στο σπίτι του. Εκεί παραμένει από τις 16:40 έως τις 19:00. Στη συνέχεια πηγαίνει έξω με τα πόδια για εξωτερικές εργασίες (π.χ. αγορές στα μαγαζιά). Στις 20:00 επιστρέφει σπίτι, παίρνει το ιδιωτικό του αυτοκίνητο ή ταξί και πηγαίνει σε χώρο διασκέδασης. Εκεί παραμένει μέχρι τις 23:30 όποτε και επιστρέφει σπίτι (με το ιδιωτικό του αυτοκίνητο ή ταξί).

Σε κάθε μικρο-περιβάλλον όπου περνούν το 24-ωρο τους οι υποομάδες, έχει μετρηθεί η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών, που προέρχονται από τις μετρήσεις που διεξήχθησαν μέσα στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, οδηγούν στον υπολογισμό της πραγματικής ημερήσιας ατομικής έκθεσης σε PM10, όπως αυτή φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα αντλήθηκαν:

- Για το χώρο του σχολείου και του φροντιστηρίου, από τις μετρήσεις που πάρθηκαν μέσα στις αίθουσες διδασκαλίας.
- Για το χώρο της εργασίας, από μετρήσεις που πάρθηκαν σε γραφεία καθηγητών και χώρους διδασκαλίας. Υποθέτουμε ότι πρόκειται για δάσκαλο σε σχολείο, ο οποίος παίρνει το 80% του χρόνου του σε αίθουσες διδασκαλίας και το 20% σε γραφείο καθηγητών.
- Για τις διαδρομές με τα πόδια, από την κατηγορία «εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση – διαδρομές με τα πόδια» που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- Για τις διαδρομές με το αυτοκίνητο, από την κατηγορία «εξωτερικές μετρήσεις σε κίνηση – διαδρομές με αυτοκίνητο» που επίσης αναπτύχθηκε παραπάνω.
- Για το υπόγειο πάρκινγκ, από μετρήσεις που πάρθηκαν σε υπόγειους χώρους στάθμευσης.
- Για το χώρο διασκέδασης, από μετρήσεις που πάρθηκαν στο εσωτερικό καφετεριών.
- Για την περίπτωση του σπιτιού, υπάρχουν τα δεδομένα από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν μόνο σε εξωτερικούς χώρους όπως βεράντες (outdoors). Ωστόσο, σύμφωνα με έρευνα του εργαστηρίου ατμοσφαιρικής ρύπανσης του

Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ο λόγος της εσωτερικής προς την εξωτερική συγκέντρωση (Indoors/Outdoors) σε αιωρούμενα σωματίδια PM10 είναι 0,65. Χρησιμοποιώντας το δεδομένο αυτό, υπολογίζεται η συγκέντρωση PM10 στο εσωτερικό του σπιτιού (indoors) γνωρίζοντας την αντίστοιχη συγκέντρωση στο εξωτερικό (outdoors).

- Για την περίπτωση του σπιτιού, υπάρχουν τα δεδομένα από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν μόνο σε εξωτερικούς χώρους όπως βεράντες (outdoors). Ωστόσο, σε έρευνα του εργαστηρίου ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου μετρήθηκε ένας μέσος όρος εσωτερικής προς εξωτερικής συγκέντρωσης PM10 ίσος με 0,65 (τα παράθυρα παρέμειναν κλειστά σε όλες τις δειγματοληψίες). Χρησιμοποιώντας το δεδομένο αυτό, υπολογίζεται η συγκέντρωση PM10 στο εσωτερικό του σπιτιού (indoors) γνωρίζοντας την αντίστοιχη συγκέντρωση στο εξωτερικό (outdoors).

Οι τιμές των συγκεντρώσεων PM10 που χρησιμοποιήθηκαν, αντιπροσωπεύουν τις μέσες συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν κατά τα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που διαβιώνει το άτομο σε κάθε μικρο-περιβάλλον μέσα στο 24-ωρο, σύμφωνα με το σενάριο που υιοθετήθηκε. Η διάρκεια παραμονής σε κάθε μικρο-περιβάλλον και η αντίστοιχη συγκέντρωση των PM10, υποδηλώνει τη συμβολή του κάθε μικρο-περιβάλλοντος στην ημερήσια ατομική έκθεση του ατόμου.

Στη συνέχεια παρατίθενται πίνακες με τον ημερήσιο κύκλο δραστηριοτήτων που ακολουθούν οι υποομάδες που επιλέχθηκαν. Οι στήλες των πινάκων δίνουν πληροφορίες σχετικά με τα χρονικά διαστήματα τα οποία περνά το άτομο σε κάθε μικρο-περιβάλλον, τη μέση συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων που μετρήθηκε (στο συγκεκριμένο μικρο-περιβάλλον και για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα) και

την πραγματική συγκέντρωση στην οποία εκτίθεται το άτομο στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα και μικρο-περιβάλλον.

Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων παιδιού			
Διάρκεια παραμονής	Μικρο-περιβάλλοντα	Μέση μετρηθείσα συγκέντρωση PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πραγματική ημερήσια ατομική συγκέντρωση
00:00 – 07:30	Σπίτι	45,5	341,25
07:30 – 08:00	Διαδρομή με τα πόδια	332	166
08:00 – 14:00	Σχολείο	54,6	327,6
14:00 – 14:30	Διαδρομή με τα πόδια	71,2	35,6
14:30 – 19:30	Σπίτι	49,5	247,5
19:30 – 20:00	Διαδρομή με τα πόδια	26	13
20:00 – 21:30	Φροντιστήριο	81,25	121,9
21:30 – 00:00	Σπίτι	101,2	253
Συνολική ημερήσια ατομική έκθεση σε PM10			1.504,8 / 24 = 62,7

Πίνακας 11: Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων παιδιού

Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων ενήλικα/εργαζόμενο			
Χρόνος παραμονής	Μικρο-περιβάλλοντα	Μέση μετρηθείσα συγκέντρωση PM10 (μg/m³)	Πραγματική ημερήσια ατομική συγκέντρωση
00:00 – 07:00	Σπίτι	45,3	317,1
07:00 – 07:30	Διαδρομή με όχημα	290	145
07:30 – 7:40	Υπόγειο πάρκινγκ	150	25
07:40 – 16:00	Χώρος εργασίας	170,3	1419,2
16:00 – 16:10	Υπόγειο πάρκινγκ	235,5	39,25
16:10 – 16:40	Διαδρομή με όχημα	124,5	62,25
16:40 – 19:00	Σπίτι	55,7	130
19:00 – 20:00	Διαδρομή με τα πόδια	26	26
20:00 – 21:00	Σπίτι	80,1	80,1
21:00 – 21:30	Διαδρομή με όχημα	172	86
21:30 – 23:30	Χώρος διασκέδασης	1.821	3.642
23:30 – 00:00	Διαδρομή με όχημα	80	40
Συνολική ημερήσια ατομική έκθεση σε PM10			6.011,9 / 24 = 250,5

Πίνακας 12: Ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων ενήλικα/εργαζόμενο

7.5.3 Ποσοστό συμβολής του κάθε μικρο-περιβάλλοντος στην συνολική

ημερήσια ατομική έκθεση

Ο βαθμός στον οποίο κάθε μικρο-περιβάλλον συμβάλλει στην διαμόρφωση της συνολικής ημερήσιας ατομικής έκθεσης του παιδιού και του ενήλικα/εργαζόμενου υπολογίζονται στη συνέχεια.

Παιδί:

- Σπίτι: $(341,25+247,5+253)/1.504,8 = 0,559$ ή ποσοστό **55,9%**
- Διαδρομή με τα πόδια: $(166+35,6+13)/1.504,8 = 0,143$ ή ποσοστό **14,3%**
- Σχολείο/Φροντιστήριο: $(327,6+121,9)/1.504,8 = 0,299$ ή ποσοστό **29,9%**

Ενήλικας/εργαζόμενος:

- Σπίτι: $(317,1+130+80,1)/6.011,9 = 0,0954$ ή ποσοστό **8,8%**
- Διαδρομή με όχημα: $(145+62,25+86+40)/6.011,9 = 0,0554$ ή ποσοστό **5,5%**
- Υπόγειο πάρκινγκ: $(25+39,25)/6.011,9 = 0,0106$ ή ποσοστό **1,1%**
- Χώρος εργασίας: $1419,2/6.011,9 = 0,2360$ ή ποσοστό **23,6%**
- Διαδρομή με τα πόδια: $26/6.011,9 = 0,0043$ ή ποσοστό **0,4%**
- Χώρος διασκέδασης: $3.642/6.011,9 = 0,6057$ ή ποσοστό **60,6%**

Για την περίπτωση του παιδιού, τον μικρο-περιβάλλον το οποίο «ευθύνεται» σε μεγαλύτερο βαθμό για το ύψος της ημερήσιας ατομικής έκθεσής του σε αιωρούμενα σωματίδια PM10 είναι το σπίτι (ποσοστό 55,9%) και ακολουθεί το σχολείο/φροντιστήριο με ποσοστό 29,9%. Το αντίστοιχο μικρο-περιβάλλον στην

περίπτωση του ενήλικα/εργαζόμενου αποτελεί ο χώρος διασκέδασης με ποσοστό 60,6% και ακολουθεί ο χώρος εργασίας με ποσοστό 23,6%.

7.5.4 Αποτελέσματα και σχολιασμός

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η συνολική ημερήσια ατομική έκθεση σε PM10 είναι $62,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για το παιδί και $250,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τον ενήλικα/εργαζόμενο. Και στις δύο υποομάδες παρατηρείται υπέρβαση του προτύπου ορίου των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση PM10 ξεπέρασε το όριο αυτό στα περισσότερα επιμέρους μικρο-περιβάλλοντα, κατά τα χρονικά διαστήματα που διαβίωναν οι επιλεγθείσες υποομάδες πληθυσμού.

Μελετώντας το ποσοστό συμβολής του κάθε μικρο-περιβάλλοντος στην συνολική ημερήσια ατομική έκθεση, συμπεραίνουμε ότι στους εσωτερικούς χώρους εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα του παιδιού και του ενήλικα/εργαζόμενου η μεγαλύτερη ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Οι εσωτερικοί αυτοί χώροι είναι το σπίτι στην περίπτωση του παιδιού και ο χώρος διασκέδασης στην περίπτωση του ενήλικα/εργαζόμενου.

Καθίσταται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη, όχι μόνο λήψης μέτρων περιορισμού των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων PM10, αλλά και η ταυτόχρονη βελτίωση των τρόπων εξαερισμού των εσωτερικών χώρων (σε περίπτωση που η πηγή εκπομπής βρίσκεται μέσα στον εσωτερικό χώρο, π.χ. κάπνισμα) και κατασκευή κτιρίων που εμποδίζουν την εισροή των σωματιδίων στο εσωτερικό (στην περίπτωση που η πηγή εκπομπής βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο, π.χ. δρόμος ταχείας κυκλοφορίας).

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, βασίστηκαν σε ένα συγκεκριμένο σενάριο ημερήσιου προγράμματος δραστηριοτήτων και αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες

υποομάδες πληθυσμού (παιδί και ενήλικας/εργαζόμενος). Είναι σαφές ότι υπάρχουν πολλά εναλλακτικά σενάρια, τα οποία βασίζονται στις ιδιαιτερότητες της κάθε υποομάδας (π.χ. διαβίωση σε υποβαθμισμένη ατμοσφαιρικά περιοχή ή μη, συχνή χρήση οχήματος, κάπνισμα στο χώρο εργασίας κ.λ.π.). Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διαμόρφωση μοντέλου εκτίμησης της ημερήσιας ατομικής έκθεσης σε PM10, το οποίο θα λάμβανε υπόψη του τις ποικίλες παραμέτρους που ισχύουν σε κάθε διαφορετική περίπτωση.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι μέγιστες ημερήσιες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό των σχολικών αιθουσών ήταν $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM10 και 89.220 σωματίδια PM_{10} ανά cm^3 . Η αντίστοιχη τιμή της συγκέντρωσης των PM10 σε γραφεία δασκάλων ήταν $403 \mu\text{g}/\text{m}^3$ γεγονός που υποδηλώνει τον μεγάλο βαθμό συμβολής του καπνίσματος σε εσωτερικούς χώρους στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων σε επικίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό επίπεδα. Τα προαναφερθέντα επίπεδα συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 είναι ιδιαίτερα υψηλά σε σχέση με το όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που ορίζει η Ε.Ε. για τις μέσες 24-ωρες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων PM10
- Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε αίθουσες διδασκαλίας με ανοιχτά παράθυρα οι τιμές των συγκεντρώσεων στο εσωτερικό και το εξωτερικό των σχολικών αιθουσών δεν παρουσίαζαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.
- Η ημερήσια χρονοσειρά των συγκεντρώσεων CO στο εσωτερικών των σχολικών αιθουσών, αν και εμφανίζει διαμόρφωση παρόμοια με αυτή της αντίστοιχης χρονοσειράς στην εξωτερική ατμόσφαιρα, διατηρείται σε σαφώς χαμηλότερα επίπεδα. Επιπλέον, οι καταγεγραμμένες διακυμάνσεις στο εσωτερικό των αιθουσών εμφανίζονται ιδιαίτερα εξασθενημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες καταγεγραμμένες στην εξωτερική ατμόσφαιρα.

➤ Οι συγκεντρώσεις CO στους χώρους διασκέδασης εξαρτώνται άμεσα από τον όγκο και τον τρόπο εξαερισμού τους, καθώς και από τον αριθμό των καπνιστών μέσα σε αυτούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις καταγράφηκαν μέσες 5-λεπτες συγκεντρώσεις CO έως και 21 ppm. Στις δε καφετέριες/καφενεία, οι αντίστοιχες μέγιστες συγκεντρώσεις είναι 13,2 ppm CO και 2.600 $\mu\text{g PM}_{10}$ ανά m^3 . Σε καφετέριες και καφενεία, σημειώθηκαν υπερβάσεις του ορίου έκθεσης των 9 ppm (για μέσες 8-ωρες συγκεντρώσεις) που ορίζει η EPA για το CO, καθώς και του ορίου των 50 $\mu\text{g PM}_{10}$ ανά m^3 που ορίζεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO). Οι μέσες συγκεντρώσεις ήταν 11,2 ppm και 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για το CO και τα PM_{10} αντίστοιχα.

➤ Οι συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν σε υπόγειους χώρους στάθμευσης κυμαίνονται σε επικίνδυνα υψηλά επίπεδα για την υγεία των εργαζομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι μέσες 5-λεπτες συγκεντρώσεις υπερβαίνουν τα 113 ppm CO, τα 460 $\mu\text{g PM}_{10}$ ανά m^3 και τα 222.400 $\text{PM}_{10\text{UF}}$ ανά cm^3 . Υπερβάσεις του 8-ωρου ορίου των 9 ppm CO που ορίζει η Ε.Ε. σημειώθηκαν σε όλους τους χώρους υπόγειας στάθμευσης όπου οι μέσες συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 36 και 43 ppm. Επίσης σημειώθηκαν πολλαπλές υπερβάσεις του ορίου των 35 ppm για τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις CO. Αναφορικά με τα αιωρούμενα σωματίδια, υπερβάσεις σημειώθηκαν στο σύνολο των χώρων υπόγειας στάθμευσης όπου διεξήχθησαν μετρήσεις.

➤ Οι συγκεντρώσεις CO και αιωρούμενων σωματιδίων στις εξωτερικές μετρήσεις παρουσιάζονται αυξημένες κάτω από ειδικές συνθήκες όπως: σταματημένα οχήματα σε φωτεινούς σηματοδότες, κυκλοφοριακή συμφόρηση (μποτιλιαρίσματα), επιχρωματικές εργασίες, κυκλοφορία οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας κ.λ.π. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν κατά τα χρονικά διαστήματα με μεγάλη

κυκλοφοριακή αιχμή (07.00 – 08.30). Οι συγκεντρώσεις αυτές παρατηρήθηκαν στη λεωφόρο Κηφισίας (στο ύψος του Νέου Ψυχικού 45,3 ppm CO), στην περιοχή του Σκαραμαγκά (610 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αιωρούμενα σωματίδια PM10) και στην περιοχή της Νίκαιας (326.000 αιωρούμενα σωματίδια PM_{10f} ανά cm^3). Ως μέτρο σύγκρισης, αναφέρουμε ότι τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια PM_{10f} στην πόλη Μπέρμινχαμ της Αγγλίας δεν υπερβαίνουν, κάτω από παρόμοιες συνθήκες δειγματοληψίας, τα 190.000 PM_{10f} ανά cm^3 σύμφωνα με μελέτες. Υπερβάσεις σημειώθηκαν στο 35% των διαδρομών με ιδιωτικό όχημα σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις CO σε περιοχές του κέντρου των Αθηνών και του Σκαραμαγκά. Αναφορικά με τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 σημειώθηκαν υπερβάσεις κατά το 94% των διαδρομών που ακολουθήθηκαν, ενώ οι σοβαρότερες από αυτές καταγράφηκαν στην περιοχή του Σκαραμαγκά και στο Μάτι Αττικής όπου οι μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις ήταν 310 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

➤ Κατά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κίνηση με τα πόδια δεν σημειώθηκαν υπερβάσεις του ορίου για τις συγκεντρώσεις του CO. Ωστόσο, σε ότι αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 η τιμή των 444 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπερέβη το όριο των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ της Ε.Ε. (μέση 24-ωρη τιμή συγκέντρωσης που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 25 φορές το χρόνο).

➤ Οι ημερήσιοι κύκλοι των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στις εξωτερικές μετρήσεις κτιρίων παρουσιάζουν παρόμοια διακυμάνση για τις ημέρες των εβδομάδων και τα Σαββατοκύριακα κατά το χρονικό διάστημα 03.00 π.μ – 17.00 μ.μ. Ωστόσο, ενώ τις καθημερινές οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων καταγράφονται κατά τις πρωινές ώρες αιχμής (μέγιστη μέση ωριαία συγκέντρωση 185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 08.00 π.μ.) τα Σαββατοκύριακα οι μέγιστες τιμές καταγράφονται κατά τις βραδινές ώρες ψυχαγωγίας (μέγιστη μέση ωριαία συγκέντρωση 378 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 20.00

μ.μ.) στην ίδια τοποθεσία. Υπερβάσεις του προτύπου που ορίζει η Ε.Ε. σημειώθηκαν στο 94% του συνόλου των ημερών δειγματοληψίας. Οι σοβαρότερες από αυτές καταγράφηκαν φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες με τιμές που έφταναν τα 261 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24-ωρη συγκέντρωση στις 28/12/2002).

➤ Τα κλιματολογικά στοιχεία των ημερών κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκε μέτρηση συμβάλλουν σημαντικά στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα και των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τις μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους. Όπως προέκυψε από τις μετρήσεις σε διαφορετικές εποχές και κλιματολογικές συνθήκες, στις ημέρες με ηλιοφάνεια η συγκέντρωση των ρύπων παρουσιάστηκε αυξημένη, ενώ αντίθετα σε μέρες όπου επικράτησαν άνεμοι ή/και υγρασία, βροχή, χιόνι οι τιμές των συγκεντρώσεων κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα.

9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια καταγραφής των επιπέδων CO και PM10 στα οποία εκτίθενται καθημερινά αντιπροσωπευτικές ομάδες του πληθυσμού (μαθητές, εργαζόμενοι σε σχολείο, εργαζόμενοι σε υπόγεια πάρκινγκ κ.λ.π.). Η γνώση και η δυνατότητα πρόβλεψης των πραγματικών επιπέδων ατομικής έκθεσης, αποτελεί ένα θέμα μεγάλου επιστημονικού ενδιαφέροντος. Και αυτό διότι επιτρέπει τον εντοπισμό, εκείνων των εσωτερικών χώρων αλλά και των περιοχών που χαρακτηρίζονται από επικίνδυνα υποβαθμισμένη ποιότητα αέρα και των πληθυσμιακών υποομάδων, η υγεία των οποίων τίθεται σε κίνδυνο.

Συνεπώς, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν τα επίπεδα του ρύπου στο εσωτερικό και στο εξωτερικό και άλλων μικρο-χώρων, όπως κατοικίες σε ατμοσφαιρικά υποβαθμισμένες περιοχές, γραφεία, βρεφονηπιακούς σταθμούς και νοσοκομεία του κέντρου της Αθήνας. Η λήψη μετρήσεων σε νοσοκομεία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς στους χώρους αυτούς δαπανούν το 100% του ημερήσιου χρόνου τους ευαίσθητες υποομάδες του πληθυσμού, όπως οι ηλικιωμένοι και οι πάσης φύσεως ασθενείς. Παράλληλα, προκειμένου να αξιοποιηθούν στο έπακρο οι μετρούμενες και προβλεπόμενες συγκεντρώσεις, θα πρέπει να προηγηθεί κατηγοριοποίηση του πληθυσμού σε αντιπροσωπευτικές υποομάδες και να επιλεγθούν ως αντικείμενα μελέτης αυτές που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Επιπλέον, θα πρέπει να διαμορφωθεί το ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριοτήτων κάθε υποομάδας. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα καταστεί δυνατή η εκτίμηση της πραγματικής συνολικής ημερήσιας έκθεσης του πληθυσμού και κυρίως των ομάδων υψηλού κινδύνου.

Επιπροσθέτως, θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθούν οι συνθήκες εργασίες και άλλων εργαζομένων, οι οποίοι είναι υποχρεωμένοι να παραμένουν για πολλές ώρες σε ένα περιβάλλον με υψηλές αναμενόμενες συγκεντρώσεις CO και PM10. Μια τέτοια ομάδα εργαζομένων, που παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον, είναι οι τροχονόμοι. Η καταγραφή των επιπέδων έκθεσής τους και η εκτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία τους με τη βοήθεια κατάλληλου μοντέλου, αποτελεί μια επιστημονική πρόκληση. Εξίσου ενδιαφέρουσα θα είναι η μελέτη των αναμενόμενων υψηλών επιπέδων στα οποία εκτίθενται ημερησίως οι οδηγοί βυτιοφόρων κατά την πλήρωση των δεξαμενών καυσίμων των πελατών τους. Είναι προφανές ότι οι κίνδυνοι τους οποίους διατρέχει αυτή η κατηγορία των εργαζομένων είναι ιδιαίτερα σοβαροί, αν ληφθεί υπόψη ότι σε ημερήσια βάση εκτίθενται κατ' επανάληψη σε τόσο υψηλά επίπεδα.

Σημαντικό είναι ακόμη, να μη γίνεται χρήση ενός μόνο σταθμού μέτρησης, αλλά περισσότερων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μελέτη και της χωρικής συσχέτισης των συγκεντρώσεων CO και PM10. Εξάλλου, με τον τρόπο αυτό καθίσταται εφικτό να εκτιμηθεί, αφενός, η αντιπροσωπευτικότητα των εν λόγω σταθμών μέτρησης και αφετέρου, η τοπική ή μη εμβέλεια των CO και PM10.

Η εποχιακή συσχέτιση είναι ένα ακόμη θέμα που είναι χρήσιμο να διερευνηθεί, ενώ ειδικά για την Αθήνα, είναι σημαντικό να αναλυθεί και η επίπτωση διαφόρων σημαντικών γεγονότων (π.χ. απεργίες στα μέσα μαζικής μεταφοράς, αλλαγή στο ωράριο των καταστημάτων κ.λ.π.) στις συγκεντρώσεις CO και PM10.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, η εκτίμηση του βαθμού αντιπροσωπευτικότητας των σταθερών σταθμών μέτρησης CO και PM10 σε σχέση με πραγματική έκθεση του ατόμου. Για μια εμπειρισταωμένη έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση πρέπει να επιλεγθεί συγκεκριμένη ομάδα ατόμων στην οποία θα

μοιραστούν έντυπα ερωτηματολόγια σχετικά με το ημερολόγιο των δραστηριοτήτων τους. Ύστερα από την επεξεργασία των στοιχείων που θα προκύψουν από τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων και αφού ληφθούν υπόψη παράγοντες χωροταξικοί, χρονικοί (διάρκεια παραμονής του ατόμου στο κάθε μικρο-περιβάλλον), συνθηκών περιβάλλοντος (π.χ. ύπαρξη καπνιστών σε εσωτερικούς χώρους, κλιματολογικά συνθήκες σε εξωτερικά περιβάλλοντα) θα διαπιστωθεί ποιο από τα μικρο-περιβάλλοντα συμβάλλει σε μεγαλύτερο βαθμό στην έκθεση του ατόμου στους υπό μελέτη ρύπους.

Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον άρχισε να επικεντρώνεται στο θέμα της ημερήσιας προσωπικής έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους. Πρόκειται για ένα ζήτημα που πλέον απασχολεί σοβαρά πολλούς επιστημονικούς κλάδους, μεταξύ αυτών και την ιατρική, η οποία μελετά τις σοβαρότατες επιπτώσεις των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία. Σημαντική είναι η συνδρομή πολλών επιστημονικών κλάδων. Η πολεοδομία και η αρχιτεκτονική σκέπτονται την αλλαγή του τρόπου σχεδιασμού των κτιρίων, ώστε να αποτρέπονται οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων στο εσωτερικό τους. Τέλος και η μηχανική ασχολείται με την βελτίωση των ρυπογόνων μηχανών (αυτοκίνητα, αεροπλάνα κ.λ.π.), έτσι ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο δυνατό οι εκπομπές επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία ρύπων στο εξωτερικό περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

1. Conny J.M., «The Isotopic Characterization of Carbon Monoxide in the Troposphere», *Atmospheric Environment*, Vol. 32, No 14/15, pp. 2669-2683, 1998.
2. Ndiema C. K. W., Mpendazoe F. M., Williams A., «Emission of Pollutants from a Biomass Stove», *Energy Convers. Mgmt*, Vol 13, pp. 1357-1367, 1998.
3. Marr L. C., Morrison G. C., Nazaroff W. W., Harley R. A., «Reducing the Risk of Accidental Death Due to Vehicle-Related Carbon Monoxide Poisoning», *J. of Air and Waste Management Association*, 48: 8999, 1998.
4. Badr, O., Probert S. D., «Sinks and Environmental Impacts for Atmospheric Carbon Monoxide», *Applied Energy*, Volume 50, Issue 4, pp. 339-372, 1995.
5. Wadden R. A., Scheff P.A., «Indoor Air Pollution: Characterization, Prediction, Control», *John Wiley & Sons: New York*, 1983.
6. <http://www.epa.gov/oar/aqtrn97/chapter2.pdf>
7. <http://www.eea.eu.int.80/Document/Topicrep/air/AirHealth/sources.htm>
8. <http://www.eea.eu.int.80/Document/Topicrep/air/AirHealth/athens.htm>
9. <http://www.epa.gov/OMSWWW/03-co.htm>
10. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/combust.htm>
11. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/coalert.htm>
12. <http://www.epa.gov/iaq/is-imprv.htm>
13. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/airclean.htm>
14. <http://frontpage1.shadow.net/usa829fl/USA/carbon.html>
15. <http://www.homesafe.com/coalert/detect.htm>

16. http://www.ama-assn.org/sci-pubs/journals/archive/jama/vol_279/no_9/br80028a.htm
17. <http://www.osha-slc.gov/SLTC/healthguidelines/carbonmonoxide/recognition.html>
18. Gosseline RE, Smith RP, Hodge HC (1984), "Clinical Toxicology of Commercial Products», 5th ed. Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
19. NLM (1993), «Hazardous Substances Data Bank: Carbon Monoxide», Bethesda, MD: National Library of Medicine.
20. Ν. Χαλουλάκου, Σημειώσεις Παραδόσεων: «Προβλήματα Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης», Αθήνα 1994.
21. <http://www.epa.gov/iaq/co.html>
22. http://www.osha-slc.gov/SLTC/analytical_methods/inorganic/id_209.html
23. <http://pp.okstate.edu/ehs/training/cotox.html>
24. <http://dhclimatecontrol.com>
25. <http://www.eea.eu.int/80/aegb/cap03/b333.htm>
26. ACGIH (1986), «Documentation of the threshold values and the biological exposure indices», 5th ed. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
27. <http://www.phymac.med.wayne.edu/FacultyProfile/penney/COHQ/co1.html>
28. http://lungusa.org/air/carbon_factsheet.html
29. <http://www.homesafe.com/coalert/>
30. <http://www.homesafe.com/coalert/fetal.htm>
31. http://www.safebaby.net/nightproofers/carbon_monoxide.html
32. <http://www.freenet.msp.mn.us/people/guestb/pubed/cofaq.html>

33. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/ventilat.html>
34. http://www.safebaby.net/nightproofers/carbon_monoxide.html
35. <http://www.freenet.msp.mn.us/people/guestb/pubed/cofaq.html>
36. Ν. Χαλουλάκου, Σημειώσεις Παραδόσεων: «Υγιεινή και Ασφάλεια στις Χημικές Εγκαταστάσεις», Αθήνα 1994
37. <http://www.who.dk/eh/airqual.htm>
38. <http://www.who.int/peh/air/airguides2.htm>
39. http://www.osha-slc.gov/OshDoc/Fact_data/FSNO92-11.html
40. <http://www.phymac.med.maine.edu/FacultyProfile/penney/COHQ/co1.html>
41. Hayes S. R., «Estimating the Effect of Being Indoors on Total Personal Exposure to Outdoor Air Pollution», J. Air and Waste Management Association, 39: p. 1453, 1982.
42. Allen R. J., Wadden R.A., «Analysis of Indoor Concentration of Carbon Monoxide and Ozone in an Urban Hospital», Environmental Research, 27 : pp. 136-149, 1982.
43. Yoshiaki Ishizu, «General Equation for the Estimation of Indoor Pollution», Environ. Sci. Technol., Vol 14: 1254, 1980.
44. F.H. Shair, K.L. Heitner, «Theoretical model for relating indoor pollutant concentrations to those outside», Environmental Science Technology, 8 : p. 444, 1974.
45. ASHRAE (1981). ASHRAE 62-73R: Standards for ventilation, required for minimum acceptable indoor air quality. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, New York.

46. ASHRAE (1981). ASHRAE Handbook: 1981 Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, New York.
47. «Indoor Pollutants», NAS, National Academy Press, Washington, D.C., 1981.
48. D. J. Moschandreas, et al., J. Zabransky, D. J. Peltan, «Comparison of Indoor and Outdoor Air Quality», Electric Power Research Institute (EA-1733), 1981.
49. Shaw, C. Y. (1981), «Air Tightness. Supermarkets and shopping malls», ASHRAE J., pp. 44-46, March.
50. R. S. Sabesky, D. Sinema, F. M. Shair, «Concentrations, decay rates and removal of ozone and their relation to establishing clean indoor air», Environmental Science Technology, 7:347, 1973.
51. X. L. Mueller, L. Loeb, W. H. Mapes, «Decomposition rates of ozone in living areas», Environmental Science Technology, 7:342 (1983).
52. C. J. Weschler, S. P. Ketly, J. E. Lingousky, «The effect of building fan operation on indoor-outdoor dust relationships», JAPCA 33:624 (1983).
53. Turk A., ASHRAE J., 1963, 5, 55.
54. N. A. Eamen, «Characterization of contaminant concentrations in enclosed spaces», Environmental Science Technology, 12:337 (1981).
55. D. W. Dochery, J. D. Spengler, «Indoor-outdoor relationships of respirable sulfates and particles», Atmospheric Environment, 15:335 (1981).
56. M. F. Roddin, H. T. Ellis, M. W. Siddiquee, «Background data for human activity patterns, Volumes 1 and 2», prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1979.
57. Fobres, W. H., Sargent, F. & Roughton, F. J. W., «The rate of carbon monoxide uptake by normal men», Am. J. Physiol., 143 (1945) 594-608.

58. Petron, J. E. & Stewart, R. D., «Absorption and elimination of carbon monoxide by inactive young men» Arch. Environ. Health, 21 (1970) 165-71
59. Chovin P., Comments on paper presented by H. Antweiler, In Proc. Of the European Colloquium Carbon Monoxid Environmental Pollution and Public Health, Luxembourg. Commission of the European Communities, Directorate General Scientific and Technical Information Management, 1973, pp. 225-236.
60. Honigman B., Cromer R. & Kurt T. L., «Carbon Monoxide level in athletes during exercise in an urban environment», J. Air Pollution Control Association, 32 (1982) 77-79.
61. <http://www.cdc.gov/niosh/630080.html>
62. Stewart RL (1975), «The effect of carbon monoxide on humans», Am Rev Pharmacol 15:409-423.
63. NIOSH (1972). «NIOSH criteria for a recommended standard: occupational exposure to carbon monoxide», Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) Publication No. HSM 73-11000.
64. Chovin P., «Carbon monoxide: analysis of exhaust gas investigations in Paris», Environ. Res., 1 (1967) 199-216.
65. U.S. Environmental Protection Agency's (EPA) Office of Research and Development (ORD), «Air Quality Criteria for Particulate Matter», (EPA/600/P-95/001aF-cF), Federal Register 61 (89):20522, 5/7/1996

66. The quality of Urban Air Review Group (1996), «Airborne Particulate matter in the United Kingdom. Third report of the Quality of urban Air Review Group.», May 1996
67. E. Manahan Stanley (1991), «Environmental chemistry», 5th edition, Lewis publishers, USA.
68. Dessert research institute (Watson John G., Chow Judith C., Moosmoller Hans, Green Mark, Frank Neil, Pitchford Marc), 1998, «Guidance for using continuous monitors in PM2.5 monitoring network», prepared for Office of Air Quality Planning and Standards – U.S. Environmental Protection Agency (Research Triangle Park, NC 27711), DRAFT 03/06/1998
69. Watson John G., Chow Judith C., Moosmoller Hans, Green Mark, Frank Neil, Pitchford Marc (1997), «Guidance for network design and optimum site exposure for PM2.5 and PM10», prepared for Office of Air Quality Planning and Standards – U.S. Environmental Protection Agency (Research Triangle Park, NC 27711), 15 Dec. 1997
70. De Nevers Noel (1995), «Air Pollution control engineering», Mc Graw Hill, U.S.A.
71. Lents James M. and Kelly William J. (1993), «Clearing the air in Los Angeles», Scientific American, October 1993, pp 32-39.
72. Chow Judith C. (1995), «Measurement methods to determine compliance with the ambient air quality standards for suspended particles», Air and Waste Management Assoc. Vol 17, No 12, pp. 320-382.
73. «Particulate Matter firmly linked to deaths. Should EPA alter particulate matter standards?» Environmental Management, Vol. 1 April 1995, pp. 34-35.

74. <http://www.alaw.org/pmfact.html>
75. <http://www.epa.gov/region09/airbreath96/pm10.html>
76. <http://www.epa.gov/oar/oaqps/regusmog/infpact.html>
77. Εγκυκλοπαίδεια Britannica σε CD έκδοσης 1997, Book of the Year (1997):
«The Environment – Air Pollution»
78. http://bigmac.civil.mtu.edu/public_html/classes/cd352/labs/particulates.html
79. <http://www.nrdc.org/find/aibresum.html>
80. http://bigmac.civil.mtu.edu/public_html/classes/ce352/lectures/Lecture2.html
81. <http://www.arb.ca.gov/health/health.html>
82. <http://mail.igc.apc.org/nrdc/faqs/aibrefaq.html>
83. <http://doc.mmu.ac.uk/aric/notes/bn25.htm>
84. http://news3.news.wisc.edu/030air_pollution/air5.html
85. <http://www.sph.unc.edu/envr/esenotes/june96/reist.htm>
86. Technical working group on particles (by European Commission), 24 July 1996, «Ambient air pollution by particulate matter – Draft position paper», version 4.0
87. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1997), «Πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου σχετικά με οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΕΕ αριθ. C9/98, σ. 6), COM(97) 500 τελικό – 97/0266(SYN)», Υποβλήθηκε από την Επιτροπή στις 21 Νοεμβρίου 1997.
88. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1998), «Τροποποιημένη πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου σχετικά με οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΕΕ αριθ.

C259/98, σ. 10), COM(1998) 386 τελικό – 97/0266(SYN)» Υποβλήθηκε από την Επιτροπή σύμφων με το άρθρο 189 Α παράγραφος 2 της συνθήκης ΕΚ τις 8 Ιουλίου 1998.

89. http://www.gnest.org/global_issues/Aerosol.htm
90. <http://www.outdoors.org/conservation/air/air-quality-monitoring.html>
91. <http://www.eea.eu.int/document/topicrep/air/airhealth/sources.htm>
92. <http://www.eea.eu.int/document/topicrep/air/airhealth/conclusion.htm>
93. <http://www.eea.eu.int/document/topicrep/air/airhealth/air%20pollutants.htm>
94. <http://www.eea.eu.int/document/topicrep/air/airhealth/epidemiology.htm>
95. <http://www.eea.eu.int/document/topicrep/air/airhealth/dispersal.htm>
96. <http://www.eea.eu.int/document/topicrep/air/airhealth/taking%20actions.htm>
97. <http://www.who.int/peh/air/airguides2.htm>
98. <http://www.who.int/inf-fs/en/fact187.htm>

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου