



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ - ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑΤΑ: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ – ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**Π.Μ.Σ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**  
**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ II: ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Α.ΧΑΛΟΥΛΑΚΟΥ, ΕΠ.ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ**

**Μελέτη συμπεριφοράς συγκεντρώσεων  
αιωρούμενων σωματιδίων  
(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10-2.5</sub>)  
στην ατμόσφαιρα της Αθήνας**

**Διπλωματική εργασία  
ΚΟΥΡΟΥΚΛΗ ΜΑΡΙΑ**

**Α.Μ: ΜΠΣ/0114**

**ΜΑΡΤΙΟΣ 2005**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Είδη ατμοσφαιρικής ρύπανσης	2
1.3	Επεισόδια ρύπανσης	5
1.4	Θερμοκρασιακές αναστροφές	5
	1.4.1 Αναστροφές ακτινοβολίας	6
	1.4.2 Αντικυκλωνικές αναστροφές	7
	1.4.3 Μετωπικές αναστροφές	8
1.5	Αστικό περιβάλλον και κλίμα	9
	1.5.1 Θερμική νησίδα	9
	1.5.2 Αστική χαράδρα	11
	1.5.3 Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στη ρύπανση στο κέντρο της Αθήνας	14
1.6	Ατμοσφαιρικοί ρύποι σε αστικό περιβάλλον	15

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

2.1	Ορισμοί	19
2.2	Ταξινόμηση με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμό τους	20
2.3	Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων	21
2.4	Χημική σύσταση	24
2.5	Διασπορά αιωρούμενων σωματιδίων	26

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

3.1 Επιπτώσεις στην ορατότητα και στο κλίμα	27
3.2 Επιπτώσεις στα υλικά (Effects on materials)	27
3.3 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Health effects)	28
3.4 Επιδημιολογικές μελέτες	30

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΩΝ

4.1 Εισαγωγή	32
4.2 Πολιτικές αντιμετώπισης των κινητών πηγών ρύπων	33
4.2.1 Πολιτικές αντιμετώπισης των κινητών πηγών ρύπων στο σημείο παραγωγής	33
4.2.2 Πολιτικές αντιμετώπισης των κινητών πηγών ρύπων των οχημάτων κατά την χρήση τους	36
4.3 Πολιτικές αντιμετώπισης του νέφους που εφαρμόστηκαν στο λεκανοπέδιο της Αθήνας	38
4.3.1 Χωροταξικός και Πολεοδομικός σχεδιασμός για μια βιώσιμη πόλη	39
4.3.2 Καύσιμα	41
4.3.3 Φυσικό αέριο	43
4.3.4 Έλεγχος πηγών (κινητών-σταθερών) ατμοσφαιρικής ρύπανσης	43
4.3.4.1 Κινητές πηγές ρύπανσης	43
4.3.4.2 Σταθερές πηγές ρύπανσης	45
4.3.5 Πόλη-Λειτουργία-Ρυθμός-Κίνηση	46
4.3.6 Περιοριστικά μέτρα- Μέτρα αποθάρρυνσης της χρήσης ΙΧ	47
4.3.7 Βελτίωση και ενίσχυση των ΜΜΜ	48
4.3.8 Παρεμβάσεις-Οδικά έργα στην Αττική για τη βελτίωση της κυκλοφορίας	49
4.3.9 Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις- Χώροι στάθμευσης-Σηματοδότηση	49

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

5.1	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας	50
5.2	Πρότυπα ποιότητας US-EPA	50
5.3	Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία-πλαίσιο	51

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1	Τοποθεσία δειγματοληψίας	54
6.1.1	Περιγραφή του χώρου δειγματοληψίας	54
6.1.2	Επιλογή του χώρου δειγματοληψίας	55
6.2	Όργανα (Apparatus)	56
6.2.1	Partisol Model 2000 Air Sampler	57
	Α. Στόμιο των $PM_{10}$	57
	Β. Στόμιο των $PM_{2.5}$	57
	Γ. Φίλτρα	59
	Δ. Διαδικασία συντήρησης	59
6.2.2	Ζυγός (the balance)	61

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.1	Υπολογισμός της ημερήσιας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων	62
7.2	Υπολογισμός σφαλμάτων	63
7.3	Γενικά στατιστικά στοιχεία για τις χρονοσειρές των $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ & $PM_{10-2.5}$	64
7.4	Σύγκριση των μέσων 24ωρων μετρήσεων με τα πρότυπα ποιότητας	69
7.4.1	Σύγκριση των μέσων 24ωρων μετρήσεων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ με τα πρότυπα ποιότητας US-EPA	69

7.4.2	Σύγκριση των μέσων 24ωρων μετρήσεων $PM_{10}$ με τα πρότυπα ποιότητας της Ευρωπαϊκής θυγατρικής οδηγίας-πλαισίου	71
7.5	Ανάλυση χρονοσειρών	72
7.5.1	Ορισμοί	72
7.5.2	Εξομάλυνση χρονοσειράς	72
7.6	Ανάλυση συσχέτισης των σωματιδιακών κλασμάτων	78
7.7	Συσχέτιση της μέσης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων με τις ημέρες και τις εβδομάδες.	79
7.7.1	Μοντέλο ανάλυσης διακύμανσης (Anova Two)	79
7.7.2	Εφαρμογή του πίνακα ανάλυσης διακύμανσης για σύγκριση των εβδομάδων και ημερών εβδομάδων	80
7.8	Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ της μέσης τιμής εβδομάδας, μέση τιμή πενθημέρου, μέση τιμή Σαββατοκύριακων.	82
7.9	Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ & $PM_{10-2.5}$ και των μετεωρολογικών δεδομένων	84
7.10	Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ και των μετρήσεων άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων	85
7.11	Παραδείγματα αύξησης της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων	86
7.11.1	Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων	86
7.11.2	Επίδραση ρύπων	87

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1	Σχολιασμός χρονοσειρών $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ & $PM_{10-2.5}$	89
8.2	Εφαρμογή πολιτικών αντιμετώπισης των ρύπων	90

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Κ.Μητροπέτρος  
«Μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων (PM<sub>10</sub> και PM<sub>2.5</sub>) στην ατμόσφαιρα της Αθήνας. Στατιστική επεξεργασία χρονοσειρών συγκεντρώσεων»  
Αθήνα 1999  
Τομέας ΙΙ: Ανάλυσης, Σχεδιασμού & Ανάπτυξης Διεργασιών & Συστημάτων  
Επιβλέπουσα: Δρ. Χαλουλάκου
- 2 Μ.Πετράκης  
«Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε αστικό περιβάλλον και η εξέλιξη των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης»  
Δήμος Θεσσαλονίκης, Τμήμα Περιβάλλοντος, Αρ.Μελέτης 12 (19/3/2003)  
Μάρτιος 2003
- 3 Κυρ.Μασαβέτας  
«Σχεδιασμός Πειραμάτων και Μαθηματική Επεξεργασία Πειραματικών Δεδομένων-Θεωρία Σφαλμάτων», Αθήνα 1990
- 4 Operating Manual, Partisol Model 2000 Air Sampler  
Revision A, R&P Part Number 42-002522  
May 1996, Rupprecht&Patashnick Co
- 5 Σημειώσεις από το μάθημα «Επίλυση Προβλημάτων με Η/Υ» του ΜΠΣ:  
Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος,  
Αθήνα 2001
- 6 Σημειώσεις από το μάθημα «Ανάλυση Περιβαλλοντικών Συστημάτων-Επιπτώσεις» του ΜΠΣ: Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Αθήνα 2001
- 7 A.Chaloulakou, P.Kassomenos, N.Spyrellis, P.Demokritou, P.Koutrakis  
Measurements of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particle concentrations in Athens, Greece  
Atmospheric Environment 37 (2003) 649-660
- 8 Tom Tietenberg  
«Οικονομική του Περιβάλλοντος και των Φυσικών Πόρων»  
Τόμος Α', Μετάφραση: Π.Γρεβενίτης, Gutenberg, Αθήνα 1998

- 9 ΥΠΕΧΩΔΕ – Γεν.Δ/νση Περιβάλλοντος-Δ/νση ΕΑΡΘ-Τμ. Ποιότητας Ατμόσφαιρας  
Η Ατμοσφαιρική ρύπανση της Αθήνας: Έκθεση 2002  
Αθήνα 2003
- 10 Επιμέλεια Ν.Μουσιόπουλος  
Εγχειρίδιο απογραφή επιστημονικών ομάδων, μαθηματικών μοντέλων, ερευνητικών προγραμμάτων και φορέων-χρηστών: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Έρευνας και Τεχνολογίας ΕΠΕΤ II, Μέτρο 4.2, Δράση «Ανθρώπινα Δίκτυα Διάδοσης της Ε&Τ Γνώσης» Υπολογισμός Διαφορές Ρύπων στην Ατμόσφαιρα  
Θεσσαλονίκη 1997  
Εκδόσεις Ύδρα
- 11 Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Αιτωλοακαρνανίας  
Βιώσιμη ανάπτυξη με την περιβαλλοντική αγωγή  
Μεσολόγγι 1997
- 12 ΕΜΠ, Τμ.ΧΜ-ΤομII Ανάλυσης, Σχεδιασμού & Ανάπτυξης Διεργασιών Συστημάτων, Εργ.Τεχνικής Χημικών Διεργασιών  
Ανάπτυξη μεθολογίας σχεδιασμού άριστης στρατηγικής απορρύπανσης αστικών περιοχών: Εφαρμογή για τον έλεγχο CO από την κυκλοφορία οχημάτων στην περιοχή Αθηνών την επόμενη πενταετία.  
Αθήνα 1989
13. ΑΤΤΙΚΗ SOS [www.minenv.gr](http://www.minenv.gr)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

#### 1.1 Εισαγωγή

Τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ελλάδα άρχισαν να εμφανίζονται από τη στιγμή που το μοντέλο ανάπτυξης της κοινωνίας προϋπέθετε υπερσυγκέντρωση πληθυσμού και βιομηχανιών στα αστικά κέντρα. Έτσι, η εισροή πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα έγινε ευκαιριακά και άναρχα. Η έλλειψη προγραμματισμού οδήγησε σε διόγκωση των πόλεων κατά τρόπο αυθαίρετο, τόσο από πολεοδομική, όσο και από λειτουργική άποψη, με κορυφαίο παράδειγμα την περίπτωση της Αθήνας. Παράλληλα, οι έντονες κοινωνικές ανάγκες, που έπρεπε να αντιμετωπιστούν τις πρώτες δεκαετίες μετά το Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο δεν άφησαν περιθώρια για τη λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος. Αποτέλεσμα ήταν τα περιβαλλοντικά προβλήματα, και κυρίως τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, να πάρουν μεγαλύτερη έκταση και να γίνουν πολυπλοκότερα και οξύτερα, από όσο θα ήταν σε μια προγραμματισμένη ή τουλάχιστον ελεγχόμενη αστικοποίηση της χώρας. Στην επιδείνωση της κατάστασης συνέβαλε και η αδυναμία των κυβερνήσεων να εγγυηθούν αξιόπιστα και αποτελεσματικά μέσα μαζικής μεταφοράς, αλλά και των κοινωνικών προτύπων, που επέβαλαν τα ΙΧ αυτοκίνητα ως λύση στις μετακινήσεις των πολιτών. Τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με δυσμενή, από την άποψη της δυνατότητας διάχυσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τοπογραφία, αποτελούν παράγοντες που επιδεινώνουν το πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα, το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλιοφάνεια και θερμοκρασία, συνθήκες που εννοούν την εμφάνιση της φωτοχημικής ρύπανσης. Παράλληλα, η παρουσία πολλών ορεινών όγκων, σε συνδυασμό με τη γειτνίαση της θάλασσας, οδηγεί σε ανάπτυξη παλινδρομικών συστημάτων κυκλοφορίας του αέρα, που



δυσχεραίνει σημαντικά τη δυνατότητα καθαρισμού της ατμόσφαιρας με τους μηχανισμούς της διάχυσης και μεταφοράς.

Η Αθήνα έχει πληθυσμό 4.000.000 περίπου και βρίσκεται σε λεκανοπέδιο έκτασης 450km<sup>2</sup> Δυτικά, Βόρεια και Ανατολικά συνορεύει με τα βουνά του Αιγάλεω, της Πάρνηθας και της Πεντέλης και του Υμητού αντίστοιχα, ενώ Νότια με την θάλασσα. Η όλη περιοχή εμφανίζει γεωφυσικό ανάγλυφο με σημαντικές υψομετρικές διαφορές.

Με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία προκύπτει ότι οι άνεμοι που επικρατούν είναι βόρειοι και βορειοανατολικοί και συμπίπτουν με τον κύριο πολεοδομικό άξονα της πόλης. Έτσι συντελούν στην ανακούφιση του κέντρου της Αθήνας από την ρύπανση, με την μεταφορά των ρύπων προς τη θάλασσα ενώ ταυτόχρονα επιβαρύνουν τις ήδη βεβαρυμένες περιοχές της Δραπετσώνας και του Πειραιά.

Τα βουνά του λεκανοπεδίου αποτελούν ένα φράγμα για την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και διασπορά και σε συνδυασμό με τις πολύ μεγάλες εκπομπές ρύπων από τα αυτοκίνητα και τις βιομηχανίες, δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για την εμφάνιση επεισοδίων ρύπανσης.

## **1.2 Είδη ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η παρουσία ξένων ουσιών στην ατμόσφαιρα ή η αλλαγή των αναλογιών των υφισταμένων, σε ποσότητα, με χαρακτηριστικά και για διάρκεια, που μπορεί να είναι βλαβερή για τη βλάστηση, τα ζώα, τα εδάφη, την ποιότητα του νερού, τα κτίρια, τα μνημεία και πάνω από όλα την υγεία και ευεξία του ανθρώπου.

Επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να προκύψουν είτε από μια απροσδόκητη αύξηση των εμπομπών, είτε από την εμφάνιση ιδιαίτερα δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών είτε, από το συνδυασμό των δύο παραπάνω περιπτώσεων. Η απροσδόκητη

αύξηση των εκπομπών έχει ουσιαστικά την έννοια του ατυχήματος σε κάποια βιομηχανική μονάδα. Η εμφάνιση ιδιαίτερα δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών είναι φαινόμενο συχνότερο από τα ατυχήματα σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες και αφορούν συνήθως ευρύτερες περιοχές. Ιδιαίτερα δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες θεωρούνται αυτές, που με έναν οποιοδήποτε μηχανισμό, δημιουργούν παγίδευση και συσσώρευση της ρύπανσης στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας. Κύρια χαρακτηριστικά στις συνθήκες αυτές είναι η ατμοσφαιρική ευστάθεια, δηλαδή η έλλειψη οριζόντιας και κατακόρυφης κίνησης του αέρα, η αυξημένη υγρασία και η αυξημένη ηλιοφάνεια, που πέρα από τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων ευνοούν το σταδιακό μετασχηματισμό της παγιδευμένης ρύπανσης σε φωτοχημική. Η ταχύτητα του ανέμου καθορίζει κατά τρόπο αντιστρόφως ανάλογο τις τιμές ρύπανσης. Ακόμα, σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση υψηλών επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παίζει το φαινόμενο των θερμοκρασιακών αναστροφών.

Υπάρχουν δύο τύποι επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης:

*Αιθαλομίχλη τύπου Λονδίνου ή νέφος καπνομίχλης*

Στις 4 Δεκεμβρίου 1952 δημιουργήθηκε στο Λονδίνο θερμοκρασιακή αναστροφή, που συσσώρευσε μεγάλες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου και καπνού πάνω από την πόλη. Η αιθαλομίχλη που σχηματίστηκε παρέμεινε επί πέντε ημέρες και προκάλεσε το θάνατο 4000 ατόμων. Η μελέτη του επεισοδίου έδειξε, ότι οι επιπτώσεις από το διοξείδιο του θείου γίνονται πρώτα αντιληπτές από τις πιο ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού (ηλικιωμένους, αρρώστους, παιδιά) και γενικεύονται αργότερα, εφόσον η κατάσταση παραμένει η ίδια ή χειροτερεύει στον υπόλοιπο πληθυσμό. Οι θάνατοι οφείλονταν σε ένα δηλητηριώδες μείγμα σωματιδίων καπνού και διοξειδίου του θείου, απόρροια της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας και της καύσης του άνθρακα για του πετρελαίου, το οποίο τότε περιείχε υψηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Το νέφος καπνομίχλης σχηματίζεται όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση ρύπων όπως το διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.

#### Αιθανομίχλη τύπου Λος-Άντζελες ή φωτοχημικό νέφος

Στο Λος-Άντζελες (ΗΠΑ) πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1940 το φωτοχημικό νέφος. Το Λος-Άντζελες είναι μια πόλη με αρκετά εκατομμύρια ανθρώπους και οχήματα, με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα με ηλιόλουστο κλίμα και χαμηλής έντασης ανέμους. Η πόλη περιβάλλεται από βουνά από τις τρεις πλευρές και θάλασσα από την άλλη. Έτσι η μεγαλούπολη αυτή συγκεντρώνει τις ιδανικότερες συνθήκες για την ανάπτυξη του φωτοχημικού νέφους.

Το φωτοχημικό νέφος παρουσιάζεται όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα και δευτερογενών προϊόντων τους.

Στην Αθήνα τον χειμώνα με λίγο ήλιο επικρατεί το νέφος της καπνομίχλης και το καλοκαίρι με μεγάλη ηλιοφάνεια επικρατεί το νέφος της φωτοχημικής ρυπάνσεως. Η συνύπαρξη των δύο τύπων νεφών εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες καθώς και από την ένταση των αστικοβιομηχανικών δραστηριοτήτων. Το κλίμα και η γεωγραφική θέση της Αθήνας συμβάλουν σε ακόμη μεγαλύτερη επιβάρυνση της πρωτεύουσας.

Η φωτοχημική ρύπανση χαρακτηρίζεται και ως ρύπανση της ευημερίας, διότι σχηματίζεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα προάστια, κυρίως στα βόρεια, όπου εκεί δεν υπάρχει σημαντική πρωτογενής ρύπανση. Πράγματι το όζον σχηματίζεται με υστέρηση μερικών ωρών στα προάστια, διότι εκεί δεν υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του αζώτου που προέρχεται από τα αυτοκίνητα, και το παραγόμενο ατομικό οξυγόνο από τις φωτοχημικές αντιδράσεις αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο προς όζον.

Για αποφυγή επεισοδίων ρύπανσης οι κυβερνήσεις παρακολουθούν τις μετρήσεις των ρύπων και θέτουν όρια επιφυλακής και όρια συναγερμού στις τιμές των ρύπων.

### **1.3 Επεισόδια ρύπανσης**

Η *οριακή τιμή* ενός ατμοσφαιρικού ρύπου είναι μια τιμή που δεν πρέπει να ξεπερνιέται για μια ορισμένη περίοδο.

Το *όριο επιφυλακής* είναι η τιμή που θέτει τις αρμόδιες υπηρεσίες σε επιφυλακή σε ότι αφορά την παρακολούθηση της εξέλιξης του φαινομένου, ενώ παράλληλα, με την έκδοση ανακοινώσεων, ενημερώνει τις ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού να πάρουν με δική τους ευθύνη, τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης.

Τα *όρια συναγερμού* βρίσκονται ή προσεγγίζουν τα επίπεδα επικινδυνότητας για το γενικό πληθυσμό του συγκεκριμένου ρύπου, στον οποίο αναφέρονται και έτσι η υπέρβασή τους υποχρεώνει την πολιτεία να λάβει μέτρα για την προστασία της δημόσιας υγείας.

### **1.4 Θερμοκρασιακές αναστροφές**

Το φαινόμενο της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα σε σχέση με το ύψος, έχει σαν αποτέλεσμα τη διαρκή κυκλοφορία του θερμού αέρα προς πάνω (αστάθεια της ατμόσφαιρας) και την αντικατάσταση του με ψυχρότερες μάζες, που έρχονται από τα πλάγια. Στην πορεία τους προς τα πάνω οι αέριοι ρύποι, που εκλύονται από τις δραστηριότητες της πόλης διαλύονται και διαχέονται ευκολότερα από τους δυνατούς ανέμους που συνήθως πνέουν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Οι ανοδικές κινήσεις των αέριων ρύπων διευκολύνονται και γίνονται εντονότερες, επειδή οι αέριοι ρύποι, ως προϊόντα καύσης, είναι θερμότεροι από τα κατώτερα στρώματα του αέρα. Έτσι, η μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος αποτελεί ένα από τους βασικότερους

μηχανισμούς για την αραίωση της ρύπανσης και την εξυγίανση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος των μεγαλουπόλεων.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος παρουσιάζει ένα μέσο ρυθμό ελάττωσης της τάξεως των  $0.6^{\circ}\text{C}$  ανά 100m και αναφέρεται σαν κανονική κατακόρυφη θερμοβαθμίδα. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις, όταν επικρατούν ειδικές συνθήκες, η θερμοκρασία της τροπόσφαιρας (περιοχή της ατμόσφαιρας που εφάπτεται της γης) αντί να ελαττώνεται με το ύψος, αντιθέτως αυξάνει. Αυτό το φαινόμενο της αναστροφής της θερμοβαθμίδας είναι γνωστό σαν αναστροφή της θερμοκρασίας ή θερμοκρασιακή αναστροφή. Το στρώμα του αέρα μέσα στο οποίο συμβαίνει το εν λόγω φαινόμενο, ονομάζεται στρώμα αναστροφής. Το πάχος του στρώματος αναστροφής ποικίλλει από μερικά μέτρα μέχρι 2-3 km, ενώ το μέγεθός του μπορεί να πάρει τιμές ακόμα και πάνω από  $10^{\circ}\text{C}$ . Οι παράγοντες, που οδηγούν στην εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών είναι αρκετοί και συχνά δρουν σε συνδυασμό. Εκτός από το μηχανισμό που τις προκαλεί, βασικά στοιχεία μιας αναστροφής είναι η διάρκεια, η έκταση, η ένταση (βαθμός αναστροφής), το υψόμετρο και το βάθος ή πάχος της αναστροφής.

Υπάρχουν τρία είδη θερμοκρασιακών αναστροφών. Οι αναστροφές ακτινοβολίας, οι αντικυκλωνικές και οι μετωπικές αναστροφές.

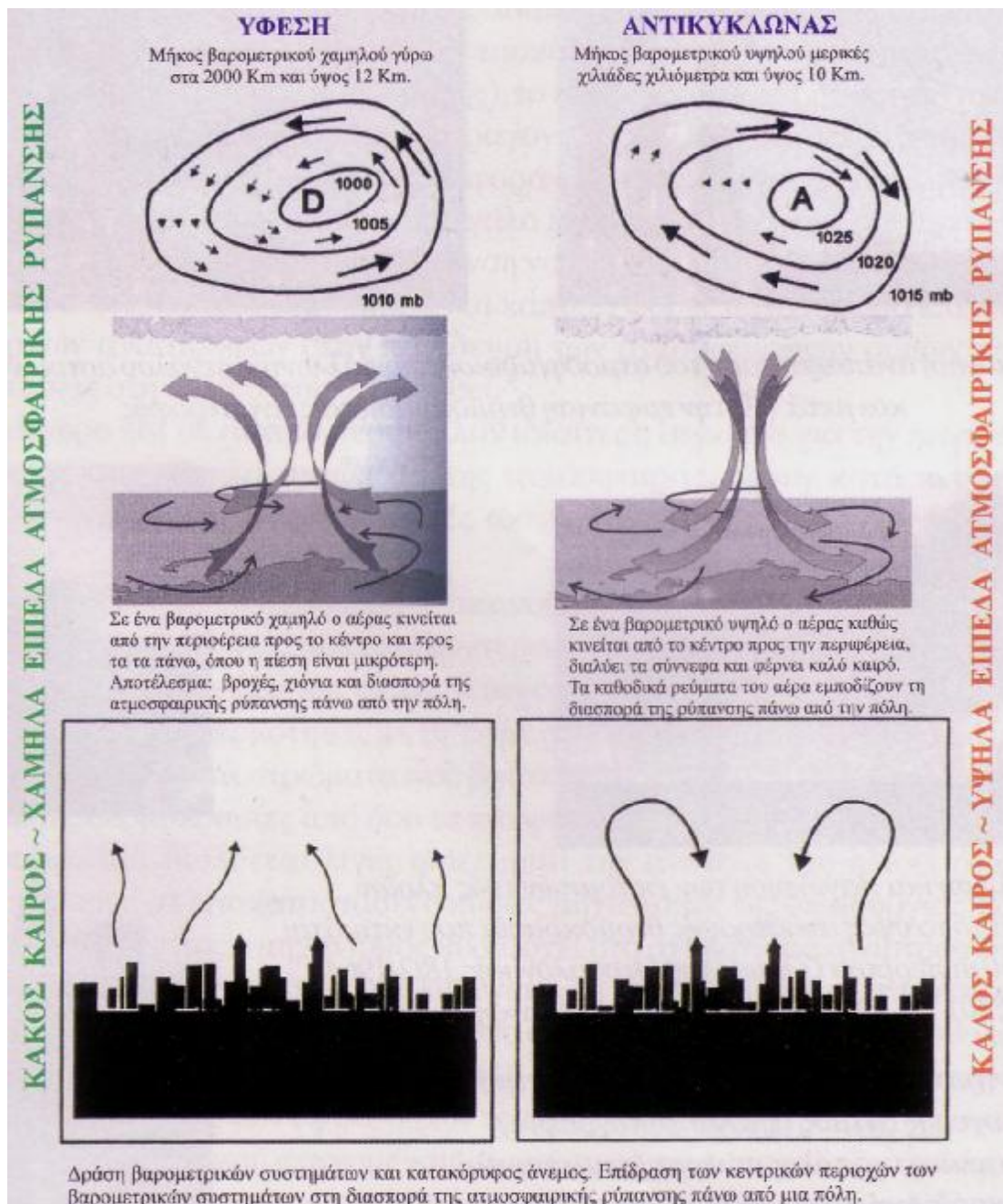
#### **1.4.1 Αναστροφές ακτινοβολίας**

Οι αναστροφές ακτινοβολίας δημιουργούνται στη διάρκεια της νύχτας. Στη διάρκεια της νύχτας η γη ακτινοβολεί θερμότητα προς τα έξω και ψύχεται ταχύτερα από όσο τα υπερκείμενα στρώματα αέρα, που ψύχονται από εναλλαγές θερμότητας με τη γη με ρεύματα και σταδιακά από κάτω προς τα πάνω. Το αποτέλεσμα είναι, η γη και τα στρώματα που βρίσκονται χαμηλότερα, να παρουσιάζουν μετά από λίγες ώρες μικρότερες θερμοκρασίες από όσο τα πιο ψηλά στρώματα. Έτσι, δημιουργείται αναστροφή που

τελικά διασπάται και διαλύεται λίγες ώρες μετά την ανατολή του ηλίου, όταν έχει ανέβει η θερμοκρασία της γης και έχει αποκατασταθεί ο κύριος μηχανισμός της δημιουργίας των κατακόρυφων διαφορών θερμοκρασίας. Αυτός ο μηχανισμός κυριαρχεί στο σχηματισμό αναστροφών και δημιουργεί αβαθείς αναστροφές (μικρού πάχους), επίσης ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την μέση ημερήσια πορεία των περισσοτέρων ατμοσφαιρικών ρύπων. Έτσι τόσο στην Αθήνα όσο και στη Θεσσαλονίκη οι μέγιστες τιμές ρύπανσης παρατηρούνται τις πρωινές ώρες (10-11πμ) λίγο πριν τη διάσπαση της αναστροφής ακτινοβολίας. Ευνοϊκές συνθήκες για τις αναστροφές ακτινοβολίας είναι η έλλειψη κυκλωνικών συστημάτων, ο αίθριος νυχτερινός ουρανός και ο ασθενής άνεμος (μικρότερος των 3m/sec)

#### **1.4.2 Αντικυκλωνικές αναστροφές**

Πολλές φορές κατά τις καθοδικές κινήσεις του αέρα στις κεντρικές περιοχές ενός αντικυκλώνα, συμβαίνει ένα αέριο στρώμα που κατέρχεται και θερμαίνεται αδιαβατικά να γίνεται θερμότερο από το υποκείμενο στρώμα. Έτσι, δημιουργούνται στρώματα αναστροφής μεγάλης έκτασης με ύψος από 1 έως 2000m, που χαρακτηρίζονται σαν αναστροφές κατολίσθησης ή αντικυκλώνικες.



### 1.4.3 Μετωπικές αναστροφές

Αυτές σχηματίζονται κατά τη συνάντηση δύο αέριων μαζών με διαφορετικούς θερμοκρασιακούς χαρακτήρες. Τότε, ο ψυχρότερος αέρας τοποθετείται κάτω από το θερμότερο και δημιουργείται έτσι μια μετωπική αναστροφή. Οι αναστροφές αυτές αναφέρονται και σαν αναστροφές από μεταφορά, διότι οι αέριες

μάζες που εμπλέκονται μεταφέρονται από μακρινές αποστάσεις και αποτελούν μέρος των μετακινήσεων του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον ελλαδικό χώρο παρουσιάζει η μετακίνηση θερμών μαζών με νοτιοδυτικούς ανέμους από την Αφρική. Όπως έχει βρεθεί από σχετικές παρατηρήσεις, η εγκατάσταση των ρευμάτων αυτών πάνω από τη χώρα μας, συνδέεται με τις πιο ισχυρές και επίμονες σε διάρκεια αναστροφές.

## **1.5 Αστικό περιβάλλον και κλίμα**

Το κλίμα των πόλεων επηρεάζεται από το δομημένο περιβάλλον, το είδος και την ποιότητα των κτιρίων. Δύο είναι τα φαινόμενα, που κατά κύριο λόγο συντελούν στη μεταβολή της θερμικής αεροδυναμικής συμπεριφοράς των πόλεων: α) Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας, που σχετίζεται με την ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών στο κέντρο των πόλεων και β) Το φαινόμενο της αστικής χαράδρας που αφορά τη μείωση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου, καθώς και την θερμοκρασιακή στρωμάτωση του αέρα στους δρόμους των πόλεων.

### **1.5.1 Θερμική νησίδα**

Οι κύριοι παράγοντες που συνεισφέρουν στην εμφάνιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας είναι οι εξής:

- ο *Η γεωμετρία των κτιρίων και των αστικών δρόμων*

Λόγω των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δρόμων, μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από τα κτίρια, τα πεζοδρόμια και την άσφαλτο, προσπίπτει στις επιφάνειες των κτιρίων, υφίσταται πολλαπλές ανακλάσεις και με τον τρόπο αυτό παγιδεύεται και δεν διαφεύγει προς την ελεύθερη ατμόσφαιρα.



- *Οι θερμικές και οπτικές ιδιότητες των υλικών*  
Λόγω των ακατάλληλων οπτικών και θερμικών χαρακτηριστικών πολλών υλικών, μεγάλο μέρος της θερμότητας που μεταφέρει η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τα υλικά και επαναακτινοβολείται στην ατμόσφαιρα.
  
- *Η ανθρωπογενείς θερμότητα*  
Παράγεται κυρίως από τις καύσεις (αυτοκίνητα, και σταθερές πηγές)
  
- *Το φαινόμενο του θερμοκηπίου*  
Συμβάλει στην αύξηση της θερμικής ακτινοβολίας που ανακλάται από τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα και προσπίπτει στο σύνολο των επιφανειών μιας πόλης.
  
- *Η μειωμένη εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση.*  
Οφείλονται στην έλλειψη πρασίνου και επιφανειών νερού στις πόλεις.
  
- *Η μείωση της ροής του αέρα στους δρόμους*  
Τα κτίρια μειώνουν τη ροή του αέρα και οι επιφάνειες των κτιρίων δεν ψύχονται επαρκώς.

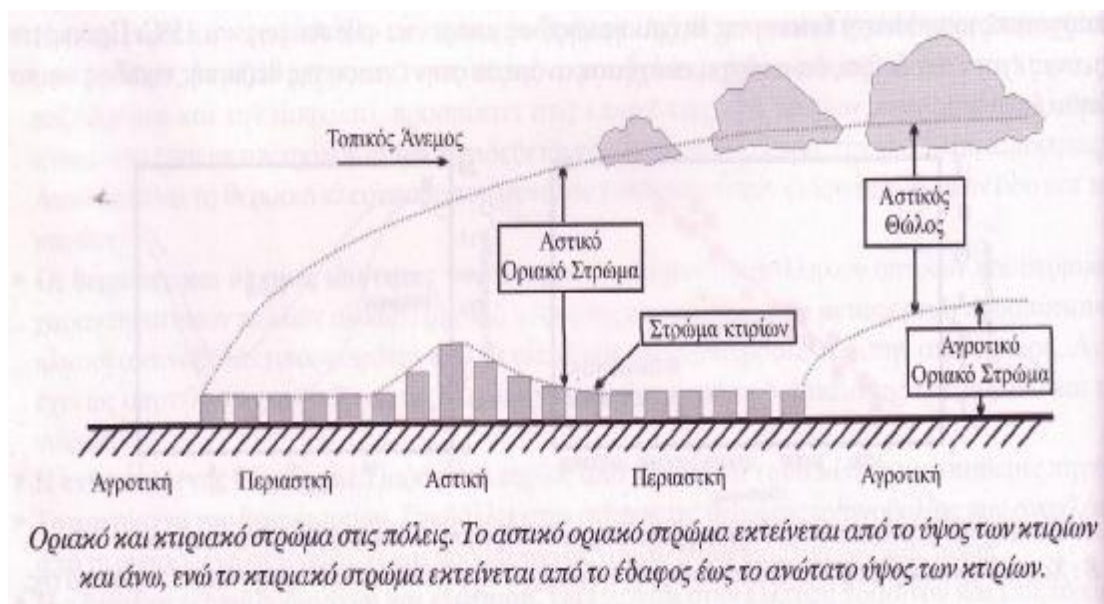
Μιά από τις συνέπειες της αστικής νησίδας θερμότητας είναι η ανάπτυξη ενός τοπικού συστήματος κυκλοφορίας του ανέμου και ονομάζεται «αύρα της υπαίθρου». Ο αέρας πάνω από την αστική περιοχή είναι συνήθως κατά μερικούς βαθμούς θερμότερος από ότι στα περίχωρά της. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν επιφανειακά ρεύματα αέρα, που συγκλίνουν προς το θερμικό κέντρο της πόλης από τις παρυφές της. Στη συνέχεια, ο αέρας ανυψώνεται, αποκλίνει προς τα έξω και κατόπιν καθιζάνει πάλι στις παρυφές για να κλείσει το δακτύλιο κυκλοφορίας αφού ενωθεί με το ρεύμα εισροής. Το τοπικό αυτό σύστημα ανέμου είναι αρκετά επικίνδυνο διότι είναι

ένα κλειστό αυτοσυντηρούμενο σύστημα που δρα πάνω από μια περιοχή με μεγάλο πλήθος πηγών ρύπανσης. Η «αύρα της υπαίθρου» γίνεται ακόμα πιο επικίνδυνη, όταν στις παρυφές της πόλης υπάρχουν εγκατεστημένες ρυπογόνες βιομηχανίες, οπότε μέσω αυτού του συστήματος ευνοείται η μεταφορά ρύπων από τις παρυφές στο κέντρο της πόλης.



### 1.5.2 Αστική χαράδρα

Η κυκλοφορία του αέρα στο αστικό περιβάλλον είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο φαινόμενο. Καθώς ο άνεμος πνέει από τις γειτονικές αγροτικές περιοχές προς την πόλη, οφείλει να προσαρμοστεί στις νέες συνθήκες που συναντά. Αυτό οδηγεί στην κατακόρυφη στρωμάτωση του αέρα.



Στην περιοχή του κτιριακού στρώματος, η ροή του αέρα ρυθμίζεται από τα χαρακτηριστικά της ροής του αέρα υπεράνω των κτιρίων καθώς και από τοπικά φαινόμενα όπως η τοπογραφία των δρόμων, το είδος και το ύψος των κτιρίων, η κυκλοφορία των οχημάτων και η ύπαρξη των δέντρων.

Η κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του αέρα εντός του στρώματος των κτιρίων έχει εκθετική μορφή και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μικρή ταχύτητα, σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα στο οριακό στρώμα πάνω από τα κτίρια. Μετρήσεις που έγιναν στην Αθήνα κατά τη θερινή περίοδο, εντός και εκτός του δρόμου έδειξαν ότι σπανίως η ταχύτητα υπερβαίνει το 1m/sec, ενώ η μέση τιμή ήταν συνήθως γύρω στα 0.2-0.3m/sec. Την ίδια χρονική στιγμή, η ταχύτητα του αέρα πάνω από τα κτίρια έφθανε έως και τα 6m/sec.

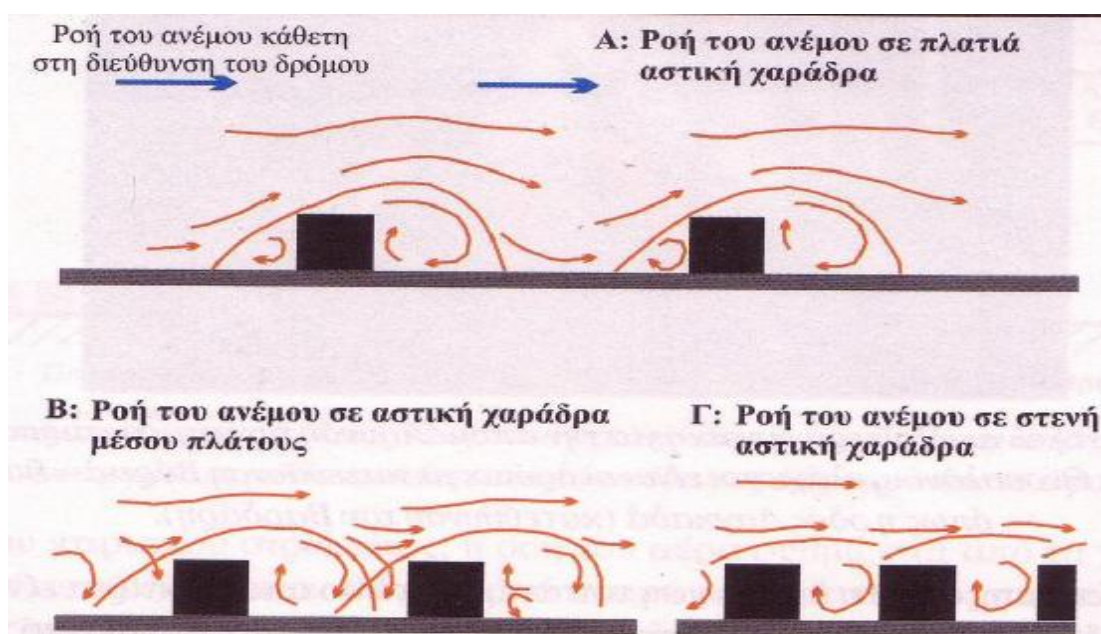
Ο χαρακτηρισμός της ροής του ανέμου σε ένα δρόμο γίνεται με βάση τη γωνία πρόσπτωσης του ανέμου στο δρόμο, καθώς και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου: το μέσο ύψος των κτιρίων  $H$ , το πλάτος  $W$ , και το μήκος  $L$  του δρόμου. Σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης του ανέμου, το είδος της ροής ταξινομείται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Στην πρώτη περίπτωση, η ροή του αέρα είναι παράλληλη προς τον άξονα του δρόμου, εκτός από τις περιοχές κοντά στις κατακόρυφες επιφάνειες, όπου παρατηρείται ανοδική ροή.
- Στην δεύτερη περίπτωση, όπου η διεύθυνση του ανέμου πάνω από τα κτίρια είναι περίπου κάθετη προς τον άξονα του δρόμου, το είδος της ροής εντός του δρόμου εξαρτάται από τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Ανάλογα με το ύψος των κτιρίων  $H$ , το πλάτος  $W$ , και το μήκος του δρόμου, η ροή του αέρα ταξινομείται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

**A)** Όταν το πλάτος του δρόμου είναι μεγάλο, και το ύψος των κτιρίων μικρό ( $H/W < 0.3-0.4$ ), ο άνεμος που πνέει πάνω από τα κτίρια διεισδύει στο δρόμο, διατρέχει ένα μέρος του και στη συνέχεια εξέρχεται. Έτσι επιτυγχάνεται ιδιαίτερα καλός αερισμός του χώρου περιξ των κτιρίων.

**B)** Όταν το πηλίκο του ύψους των κτιρίων ως προς το πλάτος του δρόμου μειώνεται, αλλά παραμένει μικρότερο από 0.7 τότε ο αέρας εισέρχεται εν μέρει μόνο στο δρόμο, σαρώνει κατακόρυφα την επιφάνεια του υπήνεμου κτιρίου και εξέρχεται στο μέσο του ύψους της κατακόρυφης διάστασης του δρόμου. Στην περίπτωση αυτή η επιφάνεια του προσήνεμου κτιρίου χαρακτηρίζεται από μικρές κατακόρυφες ταχύτητες του αέρα και άρα το δυναμικό αερισμού των κτιρίων αυτών είναι περιορισμένο.

**Γ)** Τέλος, όταν το πηλίκον του ύψους των κτιρίων ως προς το πλάτος του δρόμου είναι μεγαλύτερο από 0.7, τότε ο αέρας που ρέει υπεράνω των κτιρίων δεν εισέρχεται πρακτικά στο δρόμο. Η κίνηση αυτή δημιουργεί μια σπειροειδή ροή χαμηλής ταχύτητας στο χώρο ανάμεσα στα κτίρια. Στην περίπτωση αυτή το δυναμικό φυσικού αερισμού των κτιρίων είναι σχετικά μικρό.



- ο Στην τρίτη περίπτωση όπου η διεύθυνση του ανέμου που πνέει πάνω από τα κτίρια σχηματίζει γωνία ως προς τον άξονα ενός δρόμου, η ροή ανάμεσα στα κτίρια χαρακτηρίζεται από ελικοειδή κίνηση του αέρα κατά πλάτος του δρόμου και διαδίδεται ταυτόχρονα κατά μήκος τους. Στην περίπτωση αυτή η ταχύτητα του αέρα καθ' ύψος του υπήνεμου κτιρίου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του αέρα του προσήνεμου κτιρίου. Όταν η σχέση ύψους κτιρίων προς το πλάτος του δρόμου είναι μεγάλη (μεγαλύτερη από 0.7) το δυναμικό φυσικού αερισμού των κτιρίων είναι σχετικά μικρό.

Συμπερασματικά, η συγκέντρωση κτιρίων με επιφάνειες που λειτουργούν σαν θερμοσυσσωρευτές και που με τον όγκο τους και τον προσανατολισμό τους εμποδίζουν την κυκλοφορία του αέρα προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των αερίων ρύπων. Οι μεταβολές αυτές επιδρούν αρνητικά στο μικροκλίμα της πόλης και υποβαθμίζουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων των πόλεων. Η σύγχρονη οικολογική αντίληψη αρχίζει να αντιμετωπίζει το δομημένο περιβάλλον ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα που επηρεάζει και επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες.

### **1.5.3 Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στη ρύπανση στο κέντρο της Αθήνας**

Οι παράμετροι της μετεωρολογίας που επηρεάζουν την διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι: η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Δευτερευόντως, επηρεάζει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, το ύψος των βροχοπτώσεων και η σχετική υγρασία.

Μικρότερες τιμές συγκέντρωσης για όλους τους ρύπους, παρατηρούνται με ανέμους του βορειοανατολικού τομέα, γεγονός που κύρια αποδίδεται στους ακόλουθους λόγους:

- η κλειστή τοπογραφία του λεκανοπεδίου της Αθήνας, δυσχεραίνει την κυκλοφορία και τον αερισμό συνεπώς και τη διάχυση των ρύπων λόγω της ύπαρξης ορεινών όγκων, ενώ έχει ως αποτέλεσμα, η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου να είναι είτε Βορειοανατολική είτε Νοτιοδυτική.
- Οι άνεμοι του βόρειου τομέα είναι συνοπτικοί και έχουν συνήθως μεγάλη μέση ταχύτητα συντελώντας έτσι καθοριστικά στην διάχυση των ρύπων.
- Σε περίπτωση ασθενούς ή απουσίας συνοπτικής ροής, οι άνεμοι του νότιου τομέα είναι αποτέλεσμα τοπικού συστήματος κυκλοφορίας (θαλάσσια αύρα) γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη υψηλών συγκεντρώσεων δευτερογενών (φωτοχημικών) ρύπων στην περιφέρεια του λεκανοπεδίου.

### **1.6 Ατμοσφαιρικοί ρύποι σε αστικό περιβάλλον**

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που καθορίζουν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος των πόλεων είναι οι εξής:

#### *Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)*

Είναι αέριο, χωρίς χρώμα και οσμή. Κύρια πηγή στις αστικές περιοχές είναι οι κινητήρες των βενζινοκίνητων οχημάτων. Τα συμπτώματα βαθμιαίας δηλητηρίασης από CO είναι πονοκέφαλος, υπνηλία, ναυτία και ίλιγγος. Εποχιακά, οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται το χειμώνα, λόγω της έντονης κυκλοφοριακής κίνησης, των χειρότερων συνθηκών λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή) και των δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών διάχυσης.

### Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)

Είναι αέριο, άχρωμο, με αισθητά δυσάρεστη οσμή σε ένα μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων, που περιέχουν θείο, όπως άνθρακας, μαζούτ και ντήζελ. Σε αστικό περιβάλλον κύριες πηγές SO<sub>2</sub> είναι η βιομηχανία, η κεντρική θέρμανση και τα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Επιδεινώνει γενικά τις πνευμονικές και καρδιακές παθήσεις και αυξάνει τα επεισόδια στους πάσχοντες από άσθμα, χρόνια βρογχίτιδα και εμφύσημα. Μειώνει την κανονική λειτουργία των πνευμόνων και προκαλεί ερεθισμό στα μάτια.

Εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία, τα οξείδια του θείου και τα αεροζόλ του θειϊκού οξέος που παράγονται από αυτά παρουσία υγρασίας, διαβρώνουν τα μέταλλα, γυψοποιούν τα μάρμαρα των μνημείων, προκαλούν κιτρίνισμα στα φύλλα των φυτών, ελαττώνουν την ορατότητα και επιτείνουν την όξινη βροχή. Εποχιακά, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου παρατηρούνται το χειμώνα, λόγω λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.

### Οξείδια του Αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν κυρίως το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Το NO είναι αέριο, άχρωμο, με μικρή σχετικά τοξικότητα. Σχηματίζεται από τις καύσεις σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία. Εκπέμπεται από τα αυτοκίνητα και τις θερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Το NO<sub>2</sub> είναι αέριο, με χρώμα καφεκίτρινο και γλυκίζουσα οσμή. Αν και εκλύεται με τα καυσαέρια, θεωρείται κυρίως δευτερογενής ρύπος. Οι συγκεντρώσεις του οξειδίου του αζώτου εξαρτάται όχι μόνο από τις εκπομπές αλλά και από τις μετεωρολογικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, άπνοια, υγρασία).

### Όζον ( $O_3$ ) και άλλα φωτοοξειδωτικά

Τα φωτοοξειδωτικά περιλαμβάνουν κυρίως το όζον, το υπεροξυακετυλονιτρίλιο (PAN), το υπεροξυβενζολονιτρίλιο (PBN), τη φορμαλδεΐδη. Η ποσότητα των φωτοοξειδωτικών στην ατμόσφαιρα εκτιμάται συνήθως με την μέτρηση του όζοντος. Τα οξειδωτικά είναι δευτερογενείς ρύποι και παράγονται κατά τις φωτοχημικές αντιδράσεις, με πρόδρομες ουσίες τα  $NO_x$ , τους υδρογονάνθρακες και την ηλιακή ακτινοβολία. Ο περιορισμός των επιπέδων του στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκύψει μόνο ως αποτέλεσμα της μείωσης των εκπομπών των πρωτογενών ρύπων, δηλαδή των υδρογοναθράκων και των οξειδίων του αζώτου. Το όζον και τα οξειδωτικά είναι ερεθιστικά στα μάτια, τη μύτη και το λαιμό και είναι ιδιαίτερα βλαπτικά για την υγεία διότι καταστρέφουν τις κυψελίδες των βρόγχων, προκαλώντας μόνιμη βλάβη στις αναπνευστικές διόδους.

### Υδρογονάνθρακες (HC)

Περιλαμβάνει όλες τις ενώσεις, που αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα, εκτός από τα οξείδια του άνθρακα, τα καρβίδια και τα ανθρακικά άλατα. Οι υδρογονάνθρακες παράγονται από ανθρωπογενείς πηγές (ατελείς καύσεις των πτητικών καυσίμων, τις αποτεφρώσεις, τη χρήση οργανικών διαλυτών, τις απώλειες κατά τη διακίνηση και αποθήκευση υγρών καυσίμων) είτε από φυσικές πηγές (δάση, σήψη οργανικών ουσιών). Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τους πτητικούς και μη πτητικούς υδρογονάνθρακες. Πτητικοί υδρογονάνθρακες είναι κάθε πτητική οργανική ένωση η οποία όταν εισέλθει στην ατμόσφαιρα μπορεί να παραμείνει σε αυτή τόσο χρονικό διάστημα, όσο απαιτείται για να πάρει μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις. Από τους πτητικούς υδρογονάνθρακες οι ολεφίνες και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, που εκλύονται, κυρίως από τα καυσαέρια των βενζινοκίνητων οχημάτων, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη φωτοχημική δραστηριότητα. Πτητικοί υδρογονάνθρακες που μετρούνται στους σταθμούς είναι το βενζόλιο, το τολουόλιο, το ξυλόλιο.



Οι σημαντικότερες πηγές έκλυσης του βενζολίου στην ατμόσφαιρα είναι από τα οχήματα και από τις απώλειες κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και πώλησης υγρών καυσίμων. Είναι ύποπτο για καρκινογένεση στον άνθρωπο. Μπορεί να προκαλέσει λευχαιμία

#### Αιωρούμενα σωματίδια

Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφεται αναλυτικά ο ρύπος αυτός. Αναφέρονται οι πηγές, η χημική σύσταση, οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

#### 2.1 Ορισμοί

##### *Αέρια ρύπανση*

Ορίζεται ως η εισαγωγή από τον άνθρωπο στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον ουσιών ικανών να απειλήσουν την ανθρώπινη υγεία, να προκαλέσουν ζημιά στις πηγές ζωής και τα οικοσυστήματα.

##### *Ολικά αιωρούμενα σωματίδια*

##### *Total Suspended Particles (TSP) ή Particulate matter (PM)*

Αιωρούμενα σωματίδια (airborne particulates) είναι το σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα.

Το μέγεθος ποικίλει από 0.01μm έως και μερικές εκατοντάδες μm. Δεν έχουν όμως όλα την ικανότητα να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό και να προκαλέσουν βλάβη.

Τα σωματίδια που έχουν την ικανότητα να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό και να προκαλέσουν βλάβη είναι:

- $PM_{10}$  ή χονδρόκοκκα (coarse mode) είναι τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος έως 10μm. Αποτελούν εκείνο το κλάσμα των σωματιδίων που αποδείχθηκε ότι κατά κύριο λόγο εισέρχεται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού του ανθρώπου, για το λόγο αυτό καλούνται και εισπνεύσιμα σωματίδια (inspirable particles)

- $PM_{2.5}$  ή λεπτόκκοκα (fine mode) καλούνται αναπνεύσιμα και μπορούν να διεισδύσουν σε μεγάλο βάθος του αναπνευστικού συστήματος, έως τις κυψελίδες των πνευμόνων. Γι'αυτό καλούνται και αναπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles)

#### *Ορισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης*

Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί δειγματολήπτης ικανός να αποκλείει την συλλογή σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο παραπλήσια της επιθυμητής, ώστε να προσδιορίσουμε σωματίδια μέχρι ή από μια διάμετρο και πέρα. Ο ορισμός που δίνει στις οδηγίες η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι:

$PM_{10}$  νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται διά στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10 $\mu$ m.

$PM_{2.5}$  νοούνται σωματίδια που διέρχονται διά στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2.5 $\mu$ m.

#### *Αεροδυναμική διάμετρο*

Αεροδυναμική διάμετρος ορίζεται η διάμετρος σφαίρας πυκνότητας μονάδας (1g/cm<sup>3</sup>), η οποία έχει την ίδια τελική ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το υπό εξέταση σωματιδίου.

## **2.2 Ταξινόμηση με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμό τους**

*Σκόνη (Dust)*: Μικρά, στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την θραύση μεγαλύτερων μαζών κατά τη διάρκεια διαδικασιών όπως σύνθλιψη, τριβή, έκρηξη. Τυπικό μέγεθος: 1,0 έως 10000 $\mu$ m.

*Καπνός (Smoke)*: Μικρά, στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση άνθρακα. Τυπικό μέγεθος: 0,5 έως 1,0 $\mu$ m.

*Ιπτάμενη τέφρα (Fly Ash):* Λεπτόκοκκα σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων που παρασύρονται με τα καυσαέρια. Τυπικό μέγεθος: 1,0 έως 1000μm.

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

*Spray:* Υγρά σωματίδια που μορφοποιούνται από το ράντισμα υγρών φυτοφαρμάκων ή παρασιτοκτόνα. Τυπικό μέγεθος: 10 έως 1000μm.

*Ομίχλη (Mist):* Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που δημιουργούνται από την συμπύκνωση ατμών. Ορατά σταγονίδια σε διασπορά. Τυπικό μέγεθος 0,1 έως 10μm.

### 2.3 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

- Εκπομπές από την κίνηση οχημάτων

Τα καυσαέρια των μηχανών και η φθορά από την χρήση των ελαστικών και των φρένων. Οι ντηζελοκινητήρες εκπέμπουν περισσότερη μάζα σωματιδίων από ότι οι κινητήρες πετρελαίου και βενζίνης.

Όταν οι οργανικές ενώσεις και θειϊκά διοξειδώνονται από την εξάτμιση του οχήματος προς το περιβάλλον συμπυκνώνονται πάνω σε αιωρούμενα σωματίδια και κυρίως επάνω στα σωματίδια άνθρακα που βρίσκονται στα καυσαέρια.

- Εκπομπές από διαδικασίες καύσης από οικιακές πηγές και βιομηχανικές εκπομπές

- Εκπομπές από οικοδομές, λατομεία, ορυχεία. Η ποσότητα των σωματιδίων που εκπέμπονται στην κάθε πόλη, εξαρτάται από το είδος των οικοδομικών εργασιών που βρίσκονται σε εξέλιξη. Ακόμη, ένα μέρος από τα σωματίδια που εκπέμπονται θα μπορούσαν να επανααιωρηθούν μετά την φυσική τους καθίζηση, είτε λόγω της κίνησης των αυτοκινήτων, είτε εξαιτίας του ανέμου.

- Επαναιώρηση σκόνης από χώμα

Μετεωρολογικοί μηχανισμοί όπως είναι: ο άνεμος, οι μεταβολές στην θερμοκρασία και η υγρασία, δημιουργούν σκόνη από χώμα μέσω της αποσάθρωσης πετρών και ορυκτών. Η σκόνη αυτή είναι δυνατό να μεταφερθεί από τον άνεμο.

Η χημική σύσταση της σκόνης από χώμα, είναι όμοια με εκείνη της γεωλογικής πηγής όπως πχ δολομίτης, γύψος, χαλαζίας και αργιλικά πετρώματα (dolomite, gypsum quartz and clay minerals). Συνήθως όταν μια χημική ανάλυση δείχνει ότι το σωματίδιο είναι πλούσιο σε πυρίτιο, ασβέστιο, σίδηρο και αλουμίνιο αυτό είναι ενδεικτικό της γεωλογικής του προέλευσης.

Η επίδραση του ανέμου πάνω σε χαλαρές επιφάνειες ξηρού χώματος έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται τα σωματίδια αυτά στον αέρα. Οι παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο είναι το ποσό εκτιθέμενης ξηρής επιφάνειας από λεπτόκοκκα σωματίδια, και η ταχύτητα του ανέμου.

Στις πόλεις τέτοιου είδους εκτεθειμένες χωμάτινες επιφάνειες είναι μάλλον σπάνιες, ιδιαίτερα στο κέντρο των πόλεων. Όμως υπάρχουν αξιοσημείωτες ποσότητες σκόνης επάνω 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 του)

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 μια εν δυνάμει πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Η ποσότητα των σωματιδίων που μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα, όμως είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθεί ή να μετρηθεί, καθώς εξαρτάται έντονα από παράγοντες όπως

- το φορτίο των επικαθεμένων σωματιδίων επάνω στην επιφάνεια
- τον χρόνο ξήρανσης που προηγείται της επανααιώρησης
- την ταχύτητα των κινούμενων οχημάτων.

- Δασικές πυρκαγιές.

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 επανααιωρηθεί λόγω του ανέμου.

- Έρημο της Σαχάρας

Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται άμεσα με τις ανεμοθύελλες στις ερήμους, που είναι συνηθισμένες κατά την διάρκεια περιόδων με ισχυρούς ανέμους. Ωστόσο, το ίδιο παρατηρείται (αιώρηση σωματιδίων λόγω της δράσης του ανέμου), και σε άλλες περιοχές της υφελίου. Η ένταση του φαινομένου γενικά, μειώνεται όσο η

υγρασία του εδάφους αυξάνεται και όσο περισσότερο καλύπτεται η επιφάνειά του από βλάστηση.

Τα σωματίδια που μεταφέρονται από την έρημο της Σαχάρας, είναι συνήθως χονδρόκοκκα (coarse particles) και συχνά έχοντας μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα, μπορούν να μετατοπισθούν σε σχετικά μικρές ακτίνες. Όμως η ανίχνευσή τους από την βόρεια Αφρική σε χώρες της βόρειας Ευρώπης, αποδεικνύει ότι ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει πάντα.

Η σύσταση των σωματιδίων που προέρχονται από την Σαχάρα, εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη (calcite) με κάποιες ποσότητες γύψου (gypsum), αργιλικών υλών (clay minerals) και μετάλλων.

- Εκπομπές από ηφαίστεια.

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια με την μορφή ιπτάμενης τέφρας (fly ash), που εκπέμπουν τα ηφαίστεια, μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική τοπική πηγή PM<sub>10</sub> σωματιδίων, σε κοντινές πόλεις.

## 2.4 Χημική σύσταση

### *Γεωλογικά υλικά (Geological material)*

Η αιωρούμενη σκόνη αποτελείται από οξείδια του αλουμινίου, πυριτίου, ασβεστίου, τιτανίου, σιδήρου και άλλα μεταλλικά οξείδια. Τα γεωλογικά υλικά είναι κυρίως στην μορφή των χονδρόκοκκων σωματιδίων. Μια τυπική κατανομή έχει 50% PM<sub>10</sub> και μόνο 5-15% PM<sub>2.5</sub>.

### *Οργανικός άνθρακας (Organic carbon):*

Καυσαέρια οχημάτων, καύσεις αστικές και αγροτικές. Υδρογονάνθρακες (C<sub>8</sub> έως C<sub>20</sub>) είναι οι κύριες πηγές οργανικού άνθρακα στα PM<sub>2.5</sub>.

### *Στοιχειακός άνθρακας (Element Carbon):*

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 (tar) και κωκ (coke). Ο στοιχειακός άνθρακας συνήθως συνυπάρχει με τον οργανικό άνθρακα σε εκπομπές από καύσεις.

### *Θειικά (Sulfate)*

Το θειικό αμμώνιο  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , το διθειικό αμμώνιο  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ , το *θειικό* οξύ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  είναι οι πιο κοινές μορφές θειικών που υπάρχουν στα αιωρούμενα σωματίδια που δημιουργούνται από την μετατροπή αερίων σε σωματίδια. Αυτές είναι υδροδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα  $\text{PM}_{2.5}$ .

### *Νιτρικά (Nitrate)*

Το νιτρικό αμμώνιο  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  είναι το πιο συχνά συναντώμενο και προέρχεται από την αντιστρεπτή μετατροπή αέριας-σωματιδιακής μορφής, ματαξύ της αέριας αμμωνίας  $\text{NH}_3$ , του νιτρικού οξέος  $\text{HNO}_3$ , και του σωματιδιακού νιτρικού αμμωνίου. Επειδή αυτή η μετατροπή είναι αντιστρεπτή, τα σωματίδια νιτρικού αμμωνίου μπορούν εύκολα να εξατμισθούν στην ατμόσφαιρα, ή μετά την συλλογή τους σε φίλτρο, λόγω των μεταβολών σε θερμοκρασία και σχετική υγρασία.  $\text{NaNO}_3$  συναντάται στα  $\text{PM}_{2.5}$

### *Αμμωνιακά (Ammonium)*

Το θειικό αμμώνιο  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , το διθειικό αμμώνιο  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  και το νιτρικό αμμώνιο  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  είναι τα πιο κοινά αμμωνιακά. Προέρχονται από την χρήση καυσίμου σε κινητές (οχήματα) και στατικές πηγές, η περισσότερη από την αμμωνία προέρχεται από βιολογικές πηγές και ιδιαίτερα από εκτροφεία ζώων.



## 2.5 Διασπορά αιωρούμενων σωματιδίων

Κατά την διασπορά τους τα σωματίδια είναι δυνατό να συμμετέχουν σε ένα ευρύ φάσμα χημικών αλλαγών και μεταφορών χημικών ενώσεων. Εξαιτίας της ανάμιξης με τον αέρα προκαλείται αραίωσή τους. Ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σωματιδίων είναι δυνατό να προκληθεί συσσωμάτωση, αεριοποίηση ή καθίζηση.

Η καθίζηση (επικάθιση) μπορεί να προέλθει είτε λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, είτε από την παράσυρση από βροχή είτε με ανάσχεση από φυτά ή άλλα εμπόδια.

Υπάρχουν δύο τύποι καθίζησης:

*Ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης (wet deposition/scavenging)*

1<sup>ος</sup> σχηματισμός: Ο ρύπος εμπλέκεται σε σταγονίδια ή σωματίδια κατά τη διάρκεια της δημιουργίας πυρήνων και ανάπτυξης τους στο σχηματισμό νέφους. Ο ρύπος πιθανόν να ενισχύει το σχηματισμό πυρήνων σταγονιδίων.

2<sup>ος</sup> σχηματισμός: Όταν το νερό (σε στερεή ή υγρή μορφή) κατακρημνίζεται, αέριοι ρύποι και σωματίδια συλλέγονται στην κατακόρυφη διαδρομή του μέσα από τη ρυπασμένη περιοχή.

*Ξηρή κατακάθιση (dry deposition)*

Ο όρος ξηρή κατακάθιση χρησιμοποιείται για όλους τους φυσικούς μηχανισμούς απόσυρσης στην επιφάνεια της γης με εξαίρεση την υγρή κατακρήμνιση. Υπάρχουν τρεις μηχανισμοί:

Κατακάθιση λόγω βαρύτητας, πρόσκρουση, απορρόφηση.

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. Συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι ότι δύσκολα μπορεί να μοντελοποιηθεί αυτή μια τέτοια διασπορά και άρα δύσκολο μπορεί να γίνει ασφαλής εκτίμηση-πρόβλεψη των επιπέδων έκθεσης στον άνθρωπο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

#### 3.1 Επιπτώσεις στην ορατότητα και στο κλίμα

Τα fine particulates  $PM_{2.5}$  ελαττώνουν την ορατότητα λειτουργώντας ως ένα είδος φίλτρου ως προς την ηλιακή ακτινοβολία. Μόνο ένα ποσοστό από αυτή καταφέρνει να τα διαπεράσει. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία συναντούν τα  $PM_{2.5}$  τότε ένα ποσοστό από αυτά διαχέεται, ένα ποσοστό απορροφάται από τα σωματίδια και ένα άλλο ανακλάται. Μειωμένη και αλλοιωμένη ηλιακή ακτινοβολία συνεπάγεται ελαττωμένη ορατότητα.

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να ανακλούν την μικρού μήκους κύματος εισερχόμενη προς την γη υπεριώδη ακτινοβολία ή την μεγάλου μήκους κύματος εξερχόμενη από την γη υπέρυθη ακτινοβολία. Στην πρώτη περίπτωση επέρχεται ψύξη ενώ στην δεύτερη περίπτωση προκαλείται η θέρμανση της ατμόσφαιρας (φαινόμενο του θερμοκηπίου).

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

#### 3.2 Επιπτώσεις στα υλικά (Effects on materials)

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν επιφανειακές ελλοιώσεις σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που μπορούμε να συναντήσουμε γύρω μας. Μηχανισμοί που εξηγούν αυτές τις αλλοιώσεις είναι οι εξής:

### *Διάβρωση (Corrosion)*

Τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν άμεσα στα μεταλλικά εξαρτήματα με το σχηματισμό λεπτού αγώγιμου φιλμ υγρασίας προκαλώντας βραχυκυκλώματα στις συσκευές.

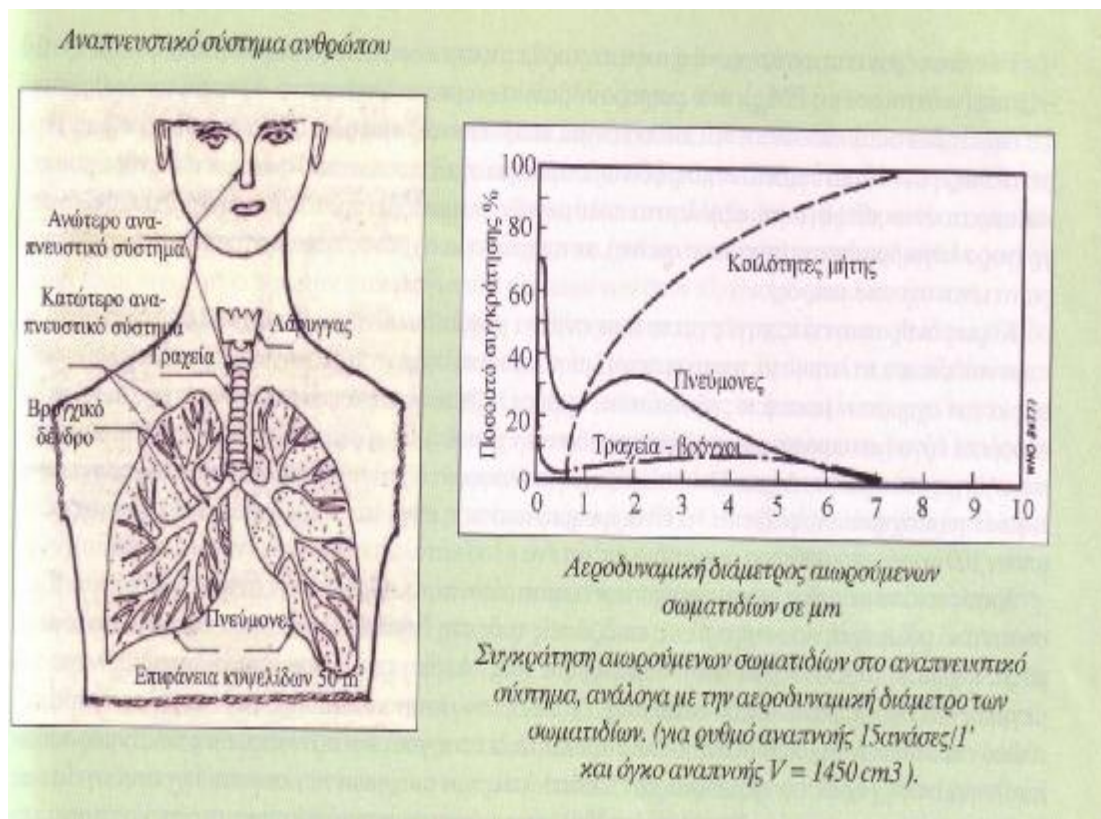
Επιδρούν έμμεσα ως φορείς ενώσεων οι οποίες δρουν διαβρωτικά επιτυγχάνοντας να εισχωρήσουν και κάτω από την επιφάνεια του υλικού.

### *Επικάθιση (Soiling)*

Αναφερόμαστε στην επικάθιση (μηχανικά ή ηλεκτροστατικά) κυρίως σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 10μm. Το καθάρισμα, το πλύσιμο ή το βάνισμο είναι κατά περίπτωση η λύση αυτού του φαινομένου. Εξάλλου εκτός από την επίπτωση στην αισθητική, η επικάθιση των σωματιδίων μειώνει την ανακλαστικότητα των αδιάφανων επιφανειών αλλά και το ποσοστό του φωτός που διαπερνά τις διαφανείς επιφάνειες.

## **3.3 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Health effects)**

Μπορούν να προκαλέσουν ή να επιδεινώσουν προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος, καρδιαγγειακές ασθένειες, να επιδράσουν στον μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, να προκαλέσουν βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων, καρκινογένεσεις και πρόωρο θάνατο. Στις επιπτώσεις συγκαταλέγονται ακόμη και κάποιες λιγότερο επώδυνες, όπως: επίμονος βήχας, φλέγματα, ζαλάδες και αδιαθεσία.



Το αναπνευστικό μας σύστημα είναι φτιαγμένο να φιλτράρει τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο των 10μm αποβάλλονται εύκολα από τον οργανισμό στα σημεία εισαγωγής. Οι πνεύμονες του ανθρώπου είναι τρωτοί όμως στα PM<sub>10</sub>, τα οποία μπορούν να διαφύγουν από τους μηχανισμούς άμυνας του αναπνευστικού συστήματος και γι'αυτό καλούνται και αναπνεύσιμα (inhalable particles). Παρόλα αυτά ο κύριος όγκος των σωματιδίων με μέγεθος μεταξύ 2,5 και 10μm (PM coarse) αποβάλλονται από το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Τα PM<sub>2.5</sub> δεν αποβάλλονται εύκολα αντίθετα μπορούν να εισχωρήσουν βαθύτερα μέσα στους βρόγχους και να προκαλέσουν την μεγαλύτερη βλάβη. Τα σωματίδια στην πορεία τους προς το βάθος των πνευμόνων περνάνε μέσα από τους ολοένα και στενότερους βρόγχους. Τα πολύ μικρά σωματίδια μπορούν να φθάσουν μέχρι και τις κυψελίδες των πνευμόνων. Οι κυψελίδες αυτές λειτουργούν ως μικροί σάκοι με αέρα από όπου το οξυγόνο εισέρχεται στο αίμα.

Τα ξηρά (αλλά διαλυτοποιήσιμα) σωματίδια εισχωρούν στο ανθρώπινο σώμα, όπου η σχετική υγρασία ξεπερνά το 99%, το μέγεθός τους αυξάνει σημαντικά καθώς προσροφάται σε αυτά νερό. Με το τρόπο αυτό, τα σωματίδια παίρνουν τη μορφή και το μέγεθος σταγονιδίων. 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.

Εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δυνατή η εμφάνιση αναπνευστικών προβλημάτων, αλλοιώσεων στην λειτουργία των πνευμόνων, και στους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού των πνευμόνων και τη 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 αύξηση επεισοδίων πνευμονίας στην ομάδα των ευπαθών ατόμων.

### **3.4 Επιδημιολογικές μελέτες**

Πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες, της δεκαετίας του '90, αποδεικνύουν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αυξημένης θνησιμότητας διαφόρων ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος και επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης.

Τα εγκυρότερα ευρήματα περιέχονται από δύο πολυκεντρικές μελέτες που βασίστηκαν σε υλικό πολλών πόλεων: τη μελέτη APHEA στην Ευρώπη (Air Pollution and Health: European Approach) και τη μελέτη NMMAPS (National Mortality, Morbidity and Air Pollution Study) στις ΗΠΑ.

Σύμφωνα με την μελέτη της APHEA, η αύξηση του επιπέδου των αιωρούμενων σωματιδίων κατά  $10 \mu\text{m}/\text{m}^3$  σχετίζεται με αύξηση 0.6% ημερησίως στην ολική θνησιμότητα, 0.8% στη θνησιμότητα από αναπνευστικές παθήσεις και 0.4% στη θνησιμότητα από νοσήματα του καρδιαγγειακού συστήματος. Όσον αφορά τις εισαγωγές στα νοσοκομεία, φαίνεται ότι τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων επιδρούν σ' αυτήν, με αύξηση 0.6% στον ημερήσιο αριθμό ενηλίκων 15-64 ετών και 0.4% στα άτομα >65 ετών και 0.8% στις εισαγωγές περιστατικών χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας. Αντίστοιχες αυξήσεις συνδυάζονται με τα επίπεδα όζοντος. Στα αποτελέσματα αυτά παρατηρήθηκε ετερογένεια στις εκτιμήσεις μεταξύ των πόλεων, κυρίως μεταξύ των πόλεων της Δυτικής Ευρώπης και της Κεντρικής-Ανατολικής Ευρώπης. Μετά από διερεύνηση των παραγόντων, που προκαλούν ετερογένεια στις επιδράσεις των σωματιδίων στη θνησιμότητα, βρέθηκε ότι τα σωματίδια επιδρούν περισσότερο στην υγεία, όταν προέρχονται από την κυκλοφορία των οχημάτων, όταν το κλίμα είναι θερμότερο και όταν η αναλογία των ηλικιωμένων στον πληθυσμό είναι μεγαλύτερη.

Η έρευνα NMMAPS κατέληξε ότι η αύξηση της θνησιμότητας, που σχετίζεται με τα ίδια επίπεδα  $\text{PM}_{10}$ , όπως παραπάνω είναι 0.5% και η ίδια αύξηση της θνησιμότητας βρέθηκε να σχετίζεται με τα επίπεδα όζοντος το καλοκαίρι.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΩΝ

#### 4.1 Εισαγωγή

Η ρύπανση προκαλείτε εν μέρει από την προσωρινή θέση της πηγής. Αυτό συμβαίνει σε ώρες κυκλοφοριακής αιχμής στις μητροπολιτικές περιοχές.

Οι κινητές πηγές ρύπανσης είναι πολύ περισσότερες από τις σταθερές πηγές ρύπανσης. Η επιβολή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας είναι προφανώς πιο δύσκολη όταν ο αριθμός των πηγών που πρέπει να ελεγχθούν είναι πολύ μεγαλύτερος.

Οι σταθερές πηγές ρύπανσης λειτουργούν υπό την ευθύνη επαγγελματιών διευθυντών, ενώ τα αυτοκίνητα ανήκουν σε ερασιτέχνες. Το γεγονός ότι την ευθύνη της λειτουργίας τους την έχουν ερασιτέχνες καθιστά πολύ πιθανόν να επιδεινώνεται με την πάροδο του χρόνου ο έλεγχος των εκπομπών, ως αποτέλεσμα της απουσίας αξιόπιστης συντήρησης και φροντίδας των οχημάτων.

Μονολότι κάθε αυτοκίνητο από μόνο του δεν αντιπροσωπεύει παρά ένα απειροελάχιστο μέρος του προβλήματος, οι κινητές πηγές ως σύνολο ευθύνονται για ένα σημαντικό μέρος των τριών ρύπων: του όζοντος, του μονοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του αζώτου.

Η χρονική κατανομή των εκπομπών είναι επίσης πολύ σημαντική, επειδή τα πρότυπα οδικής κυκλοφορίας οδηγούν σε συγκέντρωση των εκπομπών στις πρωινές και απογευματινές ώρες κυκλοφοριακής αιχμής. Πράγματι, οι μετρήσεις της συγκέντρωσης ρύπων στις αστικές περιοχές στη διάρκεια μιας συνηθισμένης ημέρας δίνουν συνήθως ένα διάγραμμα με δύο κορυφές που αντιστοιχούν στις δύο ώρες κυκλοφοριακής αιχμής. Αφού λοιπόν οι συγκεντρώσεις ρύπων είναι πιο επικίνδυνες από τις χαμηλές συγκεντρώσεις, κάποια διασπορά σε μια περίοδο 24 ωρών.

## 4.2 Πολιτικές αντιμετώπισης των κινητών πηγών ρύπων

Για να αντιμετωπιστούν οι κινητές πηγές ρύπων, πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί ο παράγοντας που θα είναι υπεύθυνος για την μείωση των εκπομπών. Οι πιθανοί υποψήφιοι είναι ο κατασκευαστής του αυτοκινήτου και ο οδηγός ιδιοκτήτης. Η εξισορρόπηση της ευθύνης αυτής θα εξαρτηθεί από την συγκριτική ανάλυση κόστους και οφέλους, με ιδιαίτερη αναφορά σε συντελεστές όπως:

- ο ρυθμός επιδείνωσης στη διάρκεια της χρήσης των οχημάτων
- η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής των οχημάτων
- το κόστος των προγραμμάτων για τη μείωση των εκπομπών στο σημείο της παραγωγής και στο σημείο της χρήσης.

### 4.2.1 Πολιτικές αντιμετώπισης των κινητών πηγών ρύπων στο σημείο παραγωγής

Τα επίπεδα εκπομπών για τα καινούργια αυτοκίνητα ελέγχονται μέσα από ένα πρόγραμμα πιστοποίησης και από ένα συνοδευτικό πρόγραμμα εφαρμογής.

#### **Πρόγραμμα πιστοποίησης:**

Το πρόγραμμα πιστοποίησης ελέγχει πρωτότυπα μοντέλων για να διαπιστώσει κατά πόσον συμμορφώνονται με τα όρια εκπομπών. Στην διάρκεια του ελέγχου, ένα πρωτότυπο όχημα από κάθε οικογένεια μηχανής οδηγείται για 50 000 μίλια σε μια διαδρομή ελέγχου, ακολουθώντας μια προκαθορισμένη πορεία γρήγορης και αργής οδήγησης, στάσης, και εκκινήσεων με ζεστό και κρύο κινητήρα. Οι κατασκευαστές παρακολουθούν τους ελέγχους και



καταγράφουν τα επίπεδα των εκπομπών ανά 5000 μίλια. Αν το όχημα βρίσκεται εντός των ορίων για τις εκπομπές των συγκεκριμένων ρύπων σε όλο το τεστ των 50 000 μιλίων, τότε περνά με επιτυχία το πρώτο μέρος του προγράμματος πιστοποίησης-τη δοκιμασία της φθοράς.

Το δεύτερο μέρος του προγράμματος πιστοποίησης επιβάλλει λιγότερο απαιτητικές δοκιμασίες σε τρία επιπλέον πρωτότυπα της ίδιας οικογένειας κινητήρων. Μετρήσεις των εκπομπών γίνονται τώρα στα 0 και στα 4 000 μίλια και κατόπιν χρησιμοποιώντας το συντελεστή φθοράς, που διαπιστώθηκε στο πρώτο μέρος του ελέγχου πιστοποίησης, προβάλλονται στο σημείο των 50000 μιλίων. Αν τα προβαλλόμενα επίπεδα εκπομπών καλύπτουν τα πρότυπα, τότε αυτή η οικογένεια κινητήρων παίρνει πιστοποιητικό συμμόρφωσης. Μόνον οικογένειες κινητήρων που έχουν τέτοιο πιστοποιητικό επιτρέπεται να πωλούνται.

#### **Συνοδευτικό πρόγραμμα εφαρμογής**

Το συνοδευτικό πρόγραμμα εφαρμογής περιλαμβάνει ελέγχους στη γραμμή συναρμολόγησης, διαδικασίες ανάκλησης και προβλέπει ορισμένους εγγυητικούς όρους.

Για να εξασφαλιστεί ότι τα πρωτότυπα οχήματα θα είναι αντιπροσωπευτικά, ελέγχει ένα στατιστικά αντιπροσωπευτικό δείγμα οχημάτων που βγαίνουν από τη γραμμή συναρμολόγησης. Αν οι έλεγχοι αυτοί αποδείξουν ότι ποσοστό πλέον του 40% δεν τηρούν τα πρότυπα εκπομπών, τότε αναστέλεται το πιστοποιητικό καταλληλότητας.

Διαδικασίες ανάκλησης: Απαιτούνται από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να ανακαλούν και να επισκευάζουν ελαττώματα που προκαλούν εκπομπές πάνω από τα επίπεδα ρύπων. Αν οι κατασκευαστές δεν συμμορφωθούν, μπορεί να διαταχθεί ανάκληση.

Οι εγγυητικοί όροι έχουν ως σκοπό να εξασφαλίσουν ότι η αυτοκινητοβιομηχανία θα έχει κίνητρο να κατασκευάζει αυτοκίνητα τα οποία, εφόσον συντηρούνται σωστά, θα ικανοποιούν τα πρότυπα εκπομπών σε όλη την ωφέλιμη ζωή τους. Ο πρώτος εγγυητικός όρος

απαιτεί να μην έχει το αυτοκίνητο ελαττώματα που δεν θα του επιτρέπουν να συμμορφώνονται με τα πρότυπα εκπομπών. Κάθε τέτοιο ελάττωμα που ανακαλύπτεται από τους κατασκευαστές, θα πρέπει να διορθώνεται με έξοδα του κατασκευαστή και υπό την επίβλεψή του.

Ο δεύτερος εγγυητικός όρος απαιτεί από τον κατασκευαστή να επιδιορθώσει, με δικά του έξοδα, κάθε όχημα που αποτυγχάνει σε κάποια δοκιμασία τεχνικού ελέγχου και συντήρησης ώστε να συμμορφώνονται με τα πρότυπα εκπομπών. Μετά τους 24 μήνες ή τα 24000 μίλια, η εγγύηση περιορίζεται απλώς στην αντικατάσταση των εξαρτημάτων που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τον έλεγχο της ρύπανσης, όπως είναι οι καταλυτικοί μετατροπείς.

Η ρύθμιση στο σημείο της παραγωγής *εμφανίζεται εξαιρετικά ελκυστική*, αφού είναι ευκολότερο και λιγότερο δαπανηρό να τεθεί σε εφαρμογή ένα σύστημα που ελέγχει ευάριθμες πηγές ρύπανσης.

Υπάρχουν όμως και μερικά *μειονεκτήματα* στην εφαρμογή αυτού του μέτρου. Ο έλεγχος στο σημείο της παραγωγής μπορεί να εξασφαλίσει μόνο προσωρινές μειώσεις των εκπομπών, αφού η ελεγχόμενη από το εργοστάσιο τιμή εκπομπής επιδεινώνεται στη διάρκεια της κανονικής χρήσης. Ο έλεγχος στο σημείο της παραγωγής, που επηρεάζει μόνο τα καινούργια οχήματα, χρειάζεται αρκετό χρόνο για να επιφέρει μια μείωση στις συνολικές εκπομπές, αφού τα καινούργια, ελεγχόμενα οχήματα αντικαθιστούν τα παλαιά με πολύ βραδύ ρυθμό. Ο έλεγχος στο σημείο της παραγωγής θα μειώνει τις εκπομπές ρύπων με βραδύτερο ρυθμό από ότι ένα πρόγραμμα που θα εξασφάλιζε τη μείωση των εκπομπών τόσο στα μεταχειρισμένα όσο και στα καινούργια οχήματα.

#### 4.2.2 Πολιτικές αντιμετώπισης των κινητών πηγών ρύπων των οχημάτων κατά την χρήση τους

Τα μέτρα που οι τοπικές αρχές μπορούν να λάβουν περιλαμβάνουν την απαίτηση τα καινούργια αυτοκίνητα που ταξινομούνται στις περιοχές αυτές να πληρούν τις πιο αυστηρές προδιαγραφές εκπομπών, φορολογική διαφοροποίηση οχημάτων, οι έλεγχοι της στάθμευσης στους δρόμους, οι οδικές επιβαρύνσεις, μείωση του αριθμού των διανυομένων μιλίων ανά όχημα, εφαρμογή προγράμματος τεχνικού ελέγχου και συντήρησης των οχημάτων και επιβολή φορολογίας.

Οι τοπικές αρχές απαιτούν τα καινούργια οχήματα να πληρούν τις πιο αυστηρές προδιαγραφές εκπομπών. Σύμφωνα με αυτό το πρόγραμμα απαιτούν ολοένα και αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών με την πάροδο του χρόνου για τα οχήματα που κινούνται με συμβατικά καύσιμα. Οι τοπικές αρχές απαιτούν από τις εταιρίες καυσίμων να εφοδιάσουν την αγορά με αμόλυβδη βενζίνη. Εξασφαλίζοντας τη διαθεσιμότητα αμόλυβδης βενζίνης, η ρύθμιση επεδίωκε να μειώσει την ποσότητα του μολύβδου που αιωρείται στην ατμόσφαιρα, αλλά και να προστατεύσει την αποτελεσματικότητα των καταλυτικών μετατροπών τους οποίους αδρανοποιεί ο μολύβδος.

Το σύστημα διαφορετικών φορολογικών συντελεστών, ενθαρρύνει τους καταναλωτές να αγοράζουν (και τους αυτοκινητοβιομήχανους να κατασκευάζουν) καινούργια αυτοκίνητα αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Η φορολογική διαφοροποίηση δίνει ένα φορολογικό πλεονέκτημα (άρα συμφέρουσα τιμή αυτοκινήτου μετά τη φορολογία) για τα καθαρότερα αυτοκίνητα. Το ύψος του φόρου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των εκπομπών του αυτοκινήτου (υψηλότερη φορολογία επιβάλλεται στα αυτοκίνητα που ρυπαίνουν περισσότερο το περιβάλλον), από το μέγεθος του αυτοκινήτου (για να αντισταθμίζονται οι σχετικά υψηλές απαιτήσεις ελέγχου που τα βαρύνουν) και από το έτος αγοράς (οι φορολογικές διαφορές μειώνονται με την πάροδο του χρόνου, αφού όλα τα

αυτοκίνητα πρέπει τελικά να προσαρμοστούν στα νέα πρότυπα εκπομπών)

Ένα μέτρο για την μείωση των εκπομπών ρύπων είναι να *ελέγχεται η στάθμευση των οχημάτων από τις τοπικές αρχές*. Παρά το γεγονός ότι το κόστος κατασκευής και συντήρησης των χώρων στάθμευσης είναι υψηλό, η στάθμευση προσφέρεται ελεύθερα. Η δυνατότητα ελεύθερης στάθμευσης ενός ιδιωτικού αυτοκινήτου λειτουργεί ως κίνητρο υπέρ της μετακίνησης με ιδιωτικό αυτοκίνητο και όχι με τα μέσα μαζικής μεταφοράς.

Το *κόστος κατασκευής και συντήρησης των δρόμων* χρηματοδοτείται κυρίως από τα δημόσια έσοδα. Το οριακό κόστος ενός πρόσθετου διανυόμενου χιλιομέτρου στην κατασκευή και συντήρηση δρόμων είναι μηδέν, αν και το κοινωνικό κόστος δεν είναι. Η ύπαρξη διοδίων αποθαρρύνει την χρησιμοποίησή τους.

Ο αριθμός των ατυχημάτων αυξάνεται όταν αυξάνονται τα διανυόμενα χιλιόμετρα. Το κόστος που συνδέεται με τα ατυχήματα αυτά βαρύνει τα *ασφάλιστρα* του οχήματος. Επομένως τα συμβόλαια πρέπει να αντανακλούν τη σχέση μεταξύ ατυχημάτων και διανυόμενων χιλιομέτρων.

Σκοπός του προγράμματος *τεχνικού ελέγχου και συντήρησης* για τις εκπομπές είναι να εντοπιστούν τα αυτοκίνητα που παραβιάζουν τα πρότυπα και να επιφέρουν την προσαρμογή, να αποτραπούν οι παραποιήσεις και να ενθαρρυνθεί η τακτική συντήρηση των αυτοκινήτων. Εξαιτίας του κόστους και της αμφίβολης αποτελεσματικότητάς τους, τα προγράμματα αυτά είναι η πιο αμφιλεγόμενη πολιτική της δέσμης των μέτρων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των εκπομπών από κινητές πηγές.

Μερικά πιθανά μέσα μείωσης της ρύπανσης από κινητές πηγές δεν μπορούν να εφαρμοστούν ρυθμίζοντας τις εκπομπές στο σημείο της παραγωγής, επειδή συνεπάγονται επιλογές οι οποίες γίνονται από τους ιδιοκτήτες των οχημάτων. Μόνον ο ιδιοκτήτης του οχήματος μπορεί να αποφασίσει τι τύπο οχήματος θα οδηγεί, όπως και τότε και πού θα το οδηγεί.

Αφού οι συγκεντρωμένες κατά ομάδες εκπομπές προκαλούν υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης από τις διεσπαρμένες εκπομπές, η οδήγηση σε αστικές περιοχές προκαλεί σοβαρότερη βλάβη στο περιβάλλον από την οδήγηση σε αγροτικές περιοχές. Οι στρατηγικές τοπικού ελέγχου μπορούν να εσωτερικεύσουν αυτά τα τοπικά στοιχεία κόστους, ενώ μια ομοιόμορφη εθνική στρατηγική, η οποία επικεντρώνεται μόνο στο σημείο της παραγωγής, δεν μπορεί.

Οι αυστηρότεροι νόμοι δεν οδηγούν κατά ανάγκη στην πιο γρήγορη συμμόρφωση. Θεσμοθετώντας μια προϋπόθεση που δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθεί, στην πραγματικότητα δεν πραγματοποιείτε τίποτα.

#### **4.3 Πολιτικές αντιμετώπισης του νέφους που εφαρμόστηκαν στο λεκανοπέδιο της Αθήνας**

Τα μέτρα που έχουν ληφθεί από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 έως σήμερα είναι τα εξής:

- Οι νόμοι 1327/83 (ΦΕΚ 21Α) για την εφαρμογή εκτάκτων μέτρων για την αντιμετώπιση των επεισοδίων ρύπανσης και 1650/86 (ΦΕΚ 160Α) για την προστασία του περιβάλλοντος και απορρέοντα από αυτούς νομοθετήματα, καθώς και νομοθετήματα που ενσωματώνουν στο Ελληνικό Δίκαιο Κοινοτικές Οδηγίες για την θέσπιση ορίων της ποιότητας της ατμόσφαιρας για διάφορους ρύπους και οριακών τιμών εκπομπής των καυσαερίων αυτοκινήτων αποτελούν το κύριο νομοθετικό πλαίσιο γενικότερου χαρακτήρα που αξιοποιείται με στόχο τον περιορισμό της ατμόσφαιρας ρύπανσης της Αθήνας.
- Ο νόμος 1515/86 (ΦΕΚ 18Α ) για το Ρυθμιστικό Σχέδιο της Αθήνας και το ΠΔ 84/84 (ΦΕΚ 33Α) που κατά αρχήν απαγορεύει την εγκατάσταση στην Αττική νέων βιομηχανικών

δραστηριοτήτων, ενώ θέτει περιορισμούς στην επέκταση/εκσυγχρονισμό των υφισταμένων, αποτελούν το κύριο, εξειδικευμένο για την Αθήνα, νομοθετικό πλαίσιο.

- Στελεχώθηκαν οι Υπηρεσίες περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ και δημιουργήθηκε ο Οργανισμός Αθήνας και Γραφεία Περιβάλλοντος στα διαμερίσματα της Νομαρχίας Αθήνας και Γραφεία Περιβάλλοντος στα διαμερίσματα της Νομαρχίας Αττικής με αρμοδιότητες και επί θεμάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Δημιουργήθηκε δίκτυο μέτρησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, που από το 1974 αυξανόμενο και εκσυγχρονιζόμενο σήμερα διαθέτει 11 σταθμούς και έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των επιπέδων 5 ρύπων. Οι μετρήσεις μπορούν να τηλεμεταδίδονται από τους σταθμούς στην αρμόδια Υπηρεσία του ΥΠΕΧΩΔΕ και επεξεργασμένα αποτελέσματα τους ανακοινώνονται σε καθημερινή βάση.
- Εκπονήθηκε πλήθος ειδικών τεχνικοοικονομικών μελετών, που κάλυψαν όλες τις ρυπογόνες δραστηριότητες της Αθήνας και αποτέλεσαν οδηγό για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων μέτρων κατά της ατμόσφαιρας ρύπανσης.
- Τον Ιούνιο του 1994, το ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία και με άλλα Συναρμόδια Υπουργεία καταθέσανε ολοκληρωμένο Σχέδιο δράσης. Αυτό το Σχέδιο Δράσης ΑΤΤΙΚΗ SOS περιλαμβάνει Παρεμβάσεις και Έργα που είχαν τους εξής σκοπούς:
  - Στη ριζική και αποτελεσματική καταπολέμηση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης
  - Στην ουσιαστική αναβάθμιση της ποιότητας της ζωής των κατοίκων της πόλης
  - Στη δημιουργία μιας βιώσιμης και Ανθρώπινης πόλης

- Στην κατοχύρωση της παραγωγικής και της κοινωνικής συνοχής της Αττικής, όπως και στην κατοχύρωση της Περιβαλλοντικής και Πολιτισμικής Αττικής.

Το σχέδιο αυτό περιλαμβάνει εννέα θεματικές ενότητες.

- Χωροταξικός και Πολεοδομικός Σχεδιασμός για μια βιώσιμη Πόλη
- Βελτίωση καυσίμων
- Φυσικό αέριο
- Έλεγχος πηγών (κινητών-σταθερών) ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Πόλη λειτουργία-Ρυθμός-Κίνηση
- Περιοριστικά μέτρα –Μέτρα αποθάρρυνσης της χρήσης ΙΧ
- Βελτίωση και ενίσχυση των μέσων μαζικής μεταφοράς
- Παρεμβάσεις-Οδικά έργα στην Αττική για τη βελτίωση της Κυκλοφορίας
- Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις-Χώροι στάθμευσης-Σηματοδότηση

#### **4.3.1 Χωροταξικός και Πολεοδομικός σχεδιασμός για μια βιώσιμη πόλη**

Στην ενότητα αυτή αναφέρεται:

- Ενοποίηση Αρχαιολογικών χώρων στο κέντρο της Αθήνας
- Ανάπλαση Ελαιώνα

Ανάπλαση της περιοχής του Ελαιώνα, την ανάδειξη του άξονα της Ιεράς Οδού και των κατά μήκος αυτής σημαντικών ιστορικών μνημείων, τοπίων αρχαιολογικών και ελεύθερων χώρων μέχρι την Ελευσίνα.

- Οργάνωση Βιομηχανικών-Βιοτεχνικών Ζωνών
- Αναδάσωση Ορεινών Όγκων

Οι ορεινοί όγκοι που περιβάλλουν το Λεκανοπέδιο εφ' ενός διοχετεύουν μάζες καθαρού αέρα στην Αθήνα, αφ' ετέρου λειτουργούν σαν χώροι πρασίνου και αναψυχής. Η προστασία τους αποτελεί επιτακτική ανάγκη λόγω της αυξημένης οικιστικής επέκτασης, της καταπάτησης και της κατάτμησης. Γι' αυτό το λόγο διαμορφώθηκαν χώροι αναψυχής στους περιαστικούς ορεινούς όγκους (Πάρνηθα, Πεντέλη, Υμηττός), ενώ ο μεσοπρόθεσμος στόχος παραμένει η δημιουργία μεγάλων εκτάσεων πρασίνου σε αυτούς.

- Ανάπλαση-Ανάδειξη ρεμάτων
- Η δημιουργία περιφερειακών οργανωμένων κέντρων εγκατεστημένων στα υφιστάμενα κέντρα μεγάλων Δήμων σε συνδυασμό με τις στάσεις του ΜΕΤΡΟ, τους κυκλοφοριακούς δακτυλίους, τους λεωφορειοδρόμους και τις γραμμές κορμού των λεωφορείων. Με αυτά τα μέτρα και τα έργα, επιτυγχάνεται η εσωτερική αποκέντρωση των κεντρικών λειτουργιών στο Λεκανοπέδιο. Ενισχύεται η πολυλειτουργικότητα των περιφερειακών ζωνών της πόλης, οργανώνεται ορθολογικά το σύστημα μετακινήσεων και υποστηρίζεται η κοινωνική συνοχή της πόλης.

#### **4.3.2 Καύσιμα**

Η ενότητα αυτή αναφέρεται :

- Στην ποιότητα των καυσίμων

- Η σταδιακή βελτίωση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών των καυσίμων (μείωση των περιεκτικότητων της βενζίνης σε Pb, του μαζούτ και του ντήζελ σε S και μείωση του τελικού σημείου



απόσταξης του ντίζελ) έχει άμεση επίδραση στις μετρούμενες τιμές ορισμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα (Pb, SO<sub>2</sub>, καπνός).

- Στη βιομηχανία του λεκανοπεδίου της Αθήνας και της υπόλοιπης Αττικής καταναλώνεται μαζούτ με 0.7% και 3.2% περιεκτικότητα σε S αντίστοιχα, αντί με 3.5% πριν από το 1981.

- Στη θέρμανση επιτρέπεται η κατανάλωση ντίζελ με 0.2% περιεκτικότητα σε S, αντί μαζούτ με 3.5% έως τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1970.

- Στα αρτοποιεία αντικαταστάθηκε το μαζούτ από ντίζελ.

- Στα πετρελαιοκίνητα οχήματα το καταλισκόμενο ντίζελ βελτιωμένης ποιότητας σε σχέση με το θέρμανσης έχει 0.05%S, αντί 1% πριν το 1982, ενώ τα βενζινοκίνητα οχήματα καταναλώνουν βενζίνη με μειωμένη περιεκτικότητα σε βενζόλιο και κατά περίπτωση, αμόλυβδη ή με 0.15 g Pb ανά λίτρο αντί με 0.84 g ανά λίτρο πριν από το 1979.

- Στη νοθεία των καυσίμων και στους ελέγχους

Εντατικοποίηση των ελέγχων υγρών καυσίμων σε πρατήρια – βιομηχανίες – πετρελαιοκίνητα οχήματα.

- Σε συγκριτικούς πίνακες για τους ελέγχους, τις παρεκκλίσεις και τα πρόστημα
- Στα εξειδικευμένα Εργαστήρια για τις αναλύσεις των καυσίμων

### **4.3.3 Φυσικό αέριο**

Η ενότητα αυτή αναφέρεται στην πορεία και την εξέλιξη των έργων του Φυσικού αερίου στην Αττική όπως και στο χρονοδιάγραμμα τροφοδοσίας ορισμένων κρίσιμων βιομηχανικών περιοχών της Αττικής με φυσικό αέριο.

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στην Ελλάδα αποφασίστηκε στα πλαίσια της προσπάθειας εκσυγχρονισμού και βελτίωσης του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας και αναμένεται να επιδράσει ευεργετικά στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

### **4.3.4 Έλεγχος πηγών (κινητών-σταθερών) ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

Στην ενότητα αυτή αναφέρεται:

- Στην Κάρτα Ελέγχου Καυσαερίων (ΚΕΚ)
- Στις ειδικές ομάδες ελέγχων
- Στον έλεγχο πεδίου κινητών πηγών ρύπανσης
- Στην επιβολή κυρώσεων και στην είσπραξη των προστίμων
- Στην ευαισθητοποίηση και τη συμμετοχή των πολιτών (με παρεμβάσεις, υποδείξεις και καταγγελίες για τον εντοπισμό πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης)

#### **4.3.4.1 Κινητές πηγές ρύπανσης**

Μέτρα που έχουν ληφθεί για τις κινητές πηγές ρύπανσης είναι:

- Από το 1983 εφαρμόζεται ο θεσμός των Κέντρων Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων (ΚΤΕΟ) μεταξύ των άλλων και για τον περιοδικό τεχνικό έλεγχο και τον έλεγχο των εκπομπών καυσαερίων των οδικών οχημάτων. Δεδομένου ότι στην Αττική

λειτουργούν 4 ΚΤΕΟ αντί 10 αρχικά προβλεφθέντων, εκτιμάται ότι ο θεσμός θα μπορούσε να τύχει καλύτερης αξιοποίησης.

- Πραγματοποιήθηκε το 1984 και το 1988 ενημερωτική εκστρατεία για τα οφέλη της ρύθμισης και συντήρησης των ΙΧ επιβατηγών αυτοκινήτων.
- Αποθαρρύνεται η εισαγωγή μεταχειρισμένων αυτοκινήτων.
- Με την παροχή οικονομικών κινήτρων κατά την περίοδο 1990-93 ενισχύθηκε η αγορά επιβατηγών αυτοκινήτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας με παράλληλη απόσυρση αυτοκινήτων συμβατικής τεχνολογίας, και από το 1990 ενισχύεται η αντικατάσταση των πετρελαιοκινήτων ταξί με νέας τεχνολογίας αυτοκίνητα.

Οι ρυθμίσεις σχετικά με τα καθαρά αυτοκίνητα που ίσχυσαν για την περίοδο 1990-93 προέβλεπαν:

- μείωση των συντελεστών φορολογίας του ειδικού φόρου κατανάλωσης για τα καθαρά αυτοκίνητα
  - Καθιέρωση κινήτρων για την απόσυρση των παλαιών αυτοκινήτων. Σε περίπτωση απόσυρσης, του παλαιού αυτοκινήτου και αγοράς καθαρού, ο αγοραστής απαλλάσσεται από το πρόσθετο ειδικό τέλος (πινακίδες) και τα τέλη κυκλοφορίας για 5 χρόνια)
- Επιτρέπεται η υγραεριοκίνηση των ταξί.
  - Από το 1994 είναι υποχρεωτικός ο εφοδιασμός των αυτοκινήτων με Κάρτα Ελέγχου Καυσαερίων (ΚΕΚ) και η ανανέωσή της, κατά περίπτωση μία ή δύο φορές ετησίως, μπορεί να πραγματοποιείται είτε σε ΚΤΕΟ, είτε σε εξουσιοδοτημένα ιδιωτικά συνεργεία κατάλληλα εξοπλισμένα. Η μη ύπαρξη ισχύουσας ΚΕΚ που να πιστοποιεί ότι οι

εκπομπές καυσαερίων τηρούν τις θεσμοθετημένες οριακές τιμές επισύρει διοικητικές και χρηματικές κυρώσεις στον ιδιοκτήτη του αυτοκινήτου.

- Από το 1988 μεικτά συνεργεία της Τροχαίας και του ΥΠΕΧΩΔΕ ελέγχουν τις εκπομπές καυσαερίων αυτοκινήτων στο δρόμο (έλεγχοι πεδίου). Ασκείται κριτική για το περιορισμένο πλήθος ελέγχων που πραγματοποιούνται, τουλάχιστον συγκριτικά με τους αρχικούς στόχους.

#### 4.3.4.2 Σταθερές πηγές ρύπανσης

Σημαντικές προσπάθειες έχουν παρατηρηθεί από τις Υπηρεσίες Περιβάλλοντος για την επιβολή κατασταλτικών μέτρων, που αφορούν την βιομηχανία, ώστε να ελαττωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση.

- Στα γενικότερα πλαίσια εφαρμογής της νομοθεσίας προβλέπεται οριακές τιμές εκπομπής ρύπων και άλλων παραμέτρων και διαδικασίες ελέγχου ορισμένων βιομηχανικών δραστηριοτήτων (πχ παραγωγή θειικού οξέος, τσιμέντου) και των βιομηχανικών λεβήτων.
- Σε εξειδικευμένα για την Αττική νομοθετήματα προβλέπονται οριακές τιμές εκπομπής και διαδικασίες ελέγχου των μη βιομηχανικών εστιών καύσης (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αρτοποιεία, εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης κτιρίων) της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, ενώ γενικά έχουν τεθεί περιορισμοί στην εγκατάσταση νέων και στον εκσυγχρονισμό/επέκταση των υφισταμένων βιομηχανιών της Αττικής.
- Το 1981 διεκόπη η λειτουργία (με κατανάλωση μαζούτ) του ΑΗΣ της ΔΕΗ στο Κερατσίνι.
- Ελέγχεται συστηματικά η σωστή καύση στα μεγάλα κτίρια, ιδίως στο κέντρο της Αθήνας, στα νοσοκομεία, στα ξενοδοχεία,

στα αρτοποιεία και στις βιομηχανίες της ευρύτερης περιοχής της πόλης.

- Σε συνέχεια ειδικών κλαδικών μελετών, την περίοδο 1987-90 τροποποιήθηκε η άδεια λειτουργίας 120 ρυπαινοσών βιομηχανιών με την επιδοτούμενη επιβολή μέτρων αντιρρύπανσης.
- Δίδονται κίνητρα για την υποκατάσταση του μαζούτ από ντίζελ ή φυσικό αέριο στη βιομηχανία
- Πραγματοποιήθηκε το 1984 και το 1988 ενημερωτική εκστρατεία για τα οφέλη της ρύθμισης και συντήρησης των εγκαταστάσεων κεντρικής θέρμανσης.
- Από το 1990 εφαρμόζεται και στην Αττική η νομοθεσία που προβλέπει την υποχρέωση κάθε βιομηχανικής δραστηριότητας να υποβάλλει Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με τελικό στόχο την επιβολή συγκεκριμένων περιβαλλοντικών όρων και για τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Η σχετική διοικητική πράξη εκδίδεται είτε από τα Υπουργεία ΠΕΧΩΔΕ και Ανάπτυξης, είτε από την αρμόδια Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, ανάλογα αν πρόκειται για δραστηριότητα υψηλής, μεσαίας ή χαμηλής όχλησης.

#### **4.3.5 Πόλη-Λειτουργία-Ρυθμός-Κίνηση**

Η ενότητα αυτή αναφέρεται στο κλιμακωτό ωράριο των υπηρεσιών, στο εναλλακτικό ωράριο τροφοδοσίας των καταστημάτων και αποκομιδής των απορριμάτων.

- Εφαρμόζεται το ελαστικό ωράριο σε Υπηρεσίες και από το 1988 το συνεχές (όχι πλήρη βάση) των καταστημάτων, που σε συνδυασμό με μικρές χρονικές διαφοροποιήσεις στην ώρα προσέλευσης των υπαλλήλων στις Υπηρεσίες και στην ώρα του ανοίγματος των καταστημάτων διαφόρων κλάδων (κλιμακωτό

ωράριο, από το 1994) στοχεύουν στον περιορισμό των αιχμών του κυκλοφοριακού.

- Συντάξεις αποστέλλονται ταχυδρομικώς και απλοποιούνται διαδικασίες γραφειοκρατικού χαρακτήρα (πχ έκδοση πιστοποιητικών).
- Για την αποσυμφόρηση του κέντρου της πόλης κατά επανάληψη τέθηκε το θέμα της μεταφοράς εκτός κέντρου Υπηρεσιών και Οργανισμών, που η παρουσία τους όχι μόνο σ'αυτό, αλλά και στην Αθήνα ακόμη, δεν τεκμηριώνεται (ενδεικτικά, Υπ.Γεωργίας, Οργανισμός Βάμβακος και Καπνού). Έως σήμερα τα αποτελέσματα κρίνονται περιορισμένα (μόνο ο ΟΤΕ και τα Υπουργεία Δικαιοσύνης και Δημόσιας Τάξης έχουν απομακρυνθεί).
- Η συλλογή των απορριμάτων στα όρια του εσωτερικού δακτυλίου γίνεται μετά τις 21:00.

#### **4.3.6 Περιοριστικά μέτρα-Μέτρα αποθάρρυνσης της χρήσης ΙΧ**

Αναφέρεται στο πιλοτικό πρόγραμμα του Εμπορικού τριγώνου όπως και στις δυνατότητες και προοπτικές εφαρμογής του μέτρου αυτού και σε άλλες περιοχές της Αθήνας.

- Απαγόρευση της κυκλοφορίας ΙΧ στον εσωτερικό δακτύλιο, τις ώρες της αιχμής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (7:00-10:00) με παράλληλη πύκνωση της κυκλοφορίας Mini Bus και νέων λεωφορείων.
- Εφαρμογή του Περιοριστικού Δακτυλίου, με την εκ περιτροπής κυκλοφορία των οχημάτων με μονό ή ζυγό καταληκτικό αριθμό, είχε κάποια θετική αντίδραση και αποτέλεσμα ως προς το νέφος. Δεν άλλαξε όμως η σχέση του ΙΧ ανά μεταφερόμενο πολίτη.

- Απαγόρευση της κυκλοφορίας στο εμπορικό τρίγωνο του ιστορικού κέντρου. Συγκεκριμένα στον πυρήνα του δακτυλίου που περικλείεται μεταξύ των οδών Σταδίου-Φιλελλήνων-Αμαλίας-Διον.Αρειοπαγείτου-Απ.Παύλου-Ερμού-Πειραιώς

#### **4.3.7 Βελτίωση και ενίσχυση των μέσων μαζικής μεταφοράς**

Στην ενότητα αυτή αναφέρεται:

- Στην αναδιάρθρωση του συστήματος των αστικών συγκοινωνιών με αιχμή τα λεωφορεία και τα τρόλεϊ

Έγινε αντικατάσταση στην κυκλοφορία λεωφορείων του ΟΑΣΑ με αντιρρυπαντικής τεχνολογίας οχήματα.

Έγινε αναδιάρθρωση των λεωφορειακών γραμμών. Προχώρησε στην ίδρυση γραμμών κορμών και αντιστοίχων τοπικών.

Μειώθηκε ο αριθμός αφετηριών στο κέντρο της Αθήνας και Πειραιά.

- Στους λεωφορειόδρομους και στα μέτρα προτεραιότητας για τα μέσα μαζικής μεταφοράς
- Στο σχεδιασμό του ΗΛΠΑΠ
- Στην αναβάθμιση των γραμμών και την ανανέωση του εξοπλισμού του ΗΣΑΠ

Η αύξηση της μεταφορικής της ικανότητας. Η βελτίωση των λειτουργικών και τεχνικών της χαρακτηριστικών ώστε να καταστεί απολύτως συμβατή με το νέο ΜΕΤΡΟ.

- Στον προαστιακό σιδηρόδρομο και τα προγράμματα βελτίωσης και πύκνωσης των δρομολογίων του
- Στην πορεία και την εξέλιξη των έργων στο ΜΕΤΡΟ
- Στο σχεδιασμό για το ΤΡΑΜ στο κέντρο της Αθήνας

#### **4.3.8 Παρεμβάσεις- Οδικά έργα στην Αττική για τη βελτίωση της κυκλοφορίας**

Στην ενότητα αυτή αναφέρεται:

- Στην πορεία και την εξέλιξη των οδικών έργων στα όρια του Εσωτερικού δακτυλίου.
- Στην πορεία και την εξέλιξη των οδικών έργων στην Αττική
- Στις ακτινικές συνδέσεις των οδικών δακτυλίων
- Στον εκσυγχρονισμό της φωτεινής σηματοδότησης

#### **4.3.9 Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις – Χώροι στάθμευσης - Σηματοδότηση**

- Στη σηματοδότηση
- Στον έλεγχο της παράνομης στάθμευσης
- Στην κατασκευή σταθμών αυτοκινήτων –Γκαράζ
- Στην οργάνωση της διαχείρισης της στάθμευσης παρά το κράσπεδο
- Στη στάθμευση μετεπιβίβασης (Park and Ride)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Ο προσδιορισμός των οριακών τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων προκύπτει από την μελέτη της συσχέτισης του ποσοστού μεταβολής των επιπτώσεων με τη συγκέντρωση του ρύπου στην ατμόσφαιρα (risk-concentration relationships) ή από τον υπολογιζόμενο κίνδυνο για κάθε άτομο (unit risks).

#### 5.1 Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, [www.who.org](http://www.who.org)) , λαμβάνει υπόψη του μόνο την επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με τις επιδημιολογικές μελέτες του οργανισμού, υπάρχει γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στην έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια και στις επιπτώσεις τους. Δηλαδή, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των σωματιδίων, τόσο εντονότερες είναι οι επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού. Οι επιστήμονες του οργανισμού δεν πρότειναν κάποια συγκεκριμένη τιμή συγκέντρωσης για τα αιωρούμενα σωματίδια, αλλά παραθέτουν τρία διαγράμματα από τα οποία μπορεί κανείς να ορίσει την επικινδυνότητα συναρτήσει της συγκέντρωσης.

#### 5.2 Πρότυπα ποιότητας US-EPA

Τα όρια του αμερικανικού οργανισμού προστασίας του περιβάλλοντος (US-EPA, [www.epa.gov](http://www.epa.gov)) είναι αρκετά αυστηρά ώστε να προστατεύεται η υγεία ακόμα και τον πιο ευαίσθητων ομάδων του πληθυσμού. Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ένα από τα εθνικά πρότυπα των ΗΠΑ που επανεξετάζονται κάθε πέντε χρόνια. Η US-EPA χρηματοδοτεί προγράμματα για την θέσπιση και τον

έλεγχο των νέων προτύπων ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια. Σύμφωνα με τα πρότυπα που έθεσαν το 1997:

Κλάσμα αιωρ. σωματιδίων	Οριακή τιμή	
Αιωρούμενα σωματίδια $PM_{10}$	Ετήσια $50\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων για 3-συνεχόμενα έτη, δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ πάνω από μια φορά.
	24-ωρη $150\mu\text{g}/\text{m}^3$	Το 99 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο του συνόλου των 24-ωρων 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 $PM_{2.5}$	Ετήσια $15\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24 ωρων μετρήσεων από μία ή περισσότερους σταθμούς σε οικιστικές περιοχές, δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
	24-ωρη $65\mu\text{g}/\text{m}^3$	Το 98 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο από το σύνολο των 24 ωρων συγκεντρώσεων ενός έτους, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε μέσο όρο για τρία συνεχόμενα έτη και για κάθε δειγματολήπτη μέσα σε συγκεκριμένη περιοχή.

### 5.3 Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία-πλαίσιο

Μετά το 1999, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδόσει μια σειρά νέων οδηγιών, που θεσπίζουν νέα όρια για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα όρια αυτά, δεν είναι δεσμευτικά στην παρούσα φάση για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά πρέπει να παρακολουθείται η πορεία εξέλιξης των τιμών ρύπανσης, ώστε να καταστεί δυνατή, κατά την ημερομηνία έναρξης ισχύος τους, η τήρηση των νέων οριακών τιμών. Επιπρόσθετα, τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, πρέπει να εκπονούν και να υλοποιούν σχέδια δράσης για την προετοιμασία τους, όσον αφορά στην τήρηση των νέων ορίων.

Σύμφωνα με την νέα οδηγία τα Αιωρούμενα Σωματίδια θα ελέγχονται με άμεση μέτρηση της μάζας των σωματιδίων αυτών με διάμετρο κάτω των 10 $\mu\text{m}$ .

Στην παρούσα φάση, από την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν εκδοθεί οι εξής οδηγίες που αφορούν τα αιωρούμενα σωματίδια:

- Η οδηγία-πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση (οδηγία 1996/62/ΕΚ) για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.
- Η πρώτη "θυγατρική" οδηγία (οδηγία 1999/30/ΕΚ) για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, αιωρούμενων σωματιδίων και μολύβδου στον αέρα του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με την οδηγία 1999/30/ΕΚ, οι οριακές τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  είναι:

### Στάδιο 1

Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	2002	2003	2004	2005
Αιωρούμενα σωματίδια $\text{PM}_{10}$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση ημερήσια τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές το έτος	1/1/2005	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , μέση ετήσια τιμή	1/1/2005	44.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	43.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	41.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Τα όρια αυτά (Ιανουάριος 2005), έχουν αρχίσει να είναι δεσμευτικά για τα κράτη-μέλη, και πρέπει να παρακολουθείται η πορεία εξέλιξης των τιμών ρύπανσης, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή, κατά την δεύτερη ημερομηνία έναρξης ισχύος τους (2010), η τήρηση των νέων οριακών τιμών.

*Στάδιο 2*

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Περιθώριο ανοχής
Αιωρούμενα σωματίδια PM <sub>10</sub>	50μg/m <sup>3</sup> μέση ημερήσια τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές το έτος	1/1/2010	Θα υπολογιστεί βάση δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή του σταδίου 1
	20μg/m <sup>3</sup> , μέση ετήσια τιμή	1/1/2010	50% την 1/1/2005 μειούμενο κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φθάσει το 0% την 1/1/2010

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### 6.1 Τοποθεσία δειγματοληψίας

##### 6.1.1 Περιγραφή του χώρου δειγματοληψίας

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στον σταθμό μέτρησης αέριας ρύπανσης του τμήματος Ποιότητας Ατμόσφαιρας, της διεύθυνσης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, που βρίσκεται στην οδό Αριστοτέλους 17, στο μπαλκόνι του πρώτου ορόφου του υπουργείου Υγείας Πρόνοιας & Κοινωνικών Ασφαλίσεων.



Τα στόμια των δύο δειγματοληπτών απείχαν από το επίπεδο του εδάφους 6.7 μέτρα (ύψος μπαλκονιού και ύψος κεφαλής δειγματοληψίας). Στο μπαλκόνι από όπου έγιναν οι δειγματοληψίες, υπήρχαν και άλλες συσκευές. Η μόνη συσκευή που θα μπορούσε να δημιουργήσει παρεμβολές στις μετρήσεις μας, είναι ο δειγματολήπτης high-volume που χρησιμοποιεί το ΥΠΕΧΩΔΕ για την μέτρηση των TSP.

Η απόσταση τους από τον πλησιέστερο low-volume δειγματολήπτη μας ήταν 2 μέτρα. Η απόσταση μεταξύ των δύο δειγματοληπτών ήταν 1.3 μέτρα. Η απόσταση αυτή ήταν μεγαλύτερη από ένα μέτρο ώστε να μην υπάρχει αλληλεπίδραση στον αέρα δειγματοληψίας και μικρότερη από δύο μέτρα ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι η δειγματοληψία γίνεται από το ίδιο ρεύμα αέρα.

### **6.1.2 Επιλογή του χώρου δειγματοληψίας**

Οι μετρήσεις καλύπτουν αστική περιοχή έκτασης 0.1 με 0.5km<sup>2</sup> και εξαρτάται έντονα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της θέσης. (θέσεις σε κτίρια/κατασκευές θέσεις μικρής χωρικής κλίμακας - Building or structure mounted sites ή Microscale siting)

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή του συγκεκριμένου χώρου είναι:

- Το σημείο δειγματοληψίας θα έπρεπε να βρίσκεται πάνω σε κάποιο κτίριο για αποφυγή βανδαλισμών. Ο σωλήνας δειγματοληψίας δεν πρέπει να γειτνιάζει άμεσα με πηγές εκπομπών, ώστε να αποφεύγεται η απευθείας πρόσληψη εκπομπών που δεν έχουν αναμειχθεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα.
- Το κτίριο θα έπρεπε να είναι δημόσιο και με εικοσιτετράωρη επιτήρηση. Με αυτό το τρόπο εξασφαλίστηκε η καλή επικοινωνία και συνεργασία με τον φορέα που θα παρήχε την πρόσβαση στο κτίριο.
- Η υποδομή θα έπρεπε να είναι επαρκής. Κατανάλωση ρεύματος, δυνατότητα καλής στήριξης για τους δειγματολήπτες, η ύπαρξη σωστής απόστασης μεταξύ των δειγματοληπτών, ύπαρξη κλιματιζόμενου χώρου αποθήκευσης αναλώσιμων κλπ.

- Να είναι δυνατή η άμεση σύγκριση τιμών με τις τιμές που μετρά το ΥΠΕΧΩΔΕ. Συγκριτική αξιολόγηση των δύο διαφορετικών συστημάτων (high volume-low volume)
- Διεξαγωγή μετρήσεων σε περιοχή με χαρακτηριστικά υψηλές τιμές. Τουλάχιστον τέσσερις οδικές αρτηρίες βρίσκονται κοντά στο σημείο διεγματοληψίας εκ των οποίων οι δύο (Αριστοτέλους και Μάρνης) διασταυρώνονται σε απόσταση μερικών μέτρων από τους δειγματολήπτες.

## 6.2 Όργανα (Apparatus)

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Δύο δίδυμες συσκευές του μοντέλου Partisol Model 2000 Air Sampler της αμερικάνικης εταιρείας Rupprecht & Patashnick (R & P), ως δειγματολήπτες



- Ζυγός AT201 Analytical Balance της εταιρείας Mettler Toledo.

### 6.2.1 Partisol Model 2000 Air Sampler

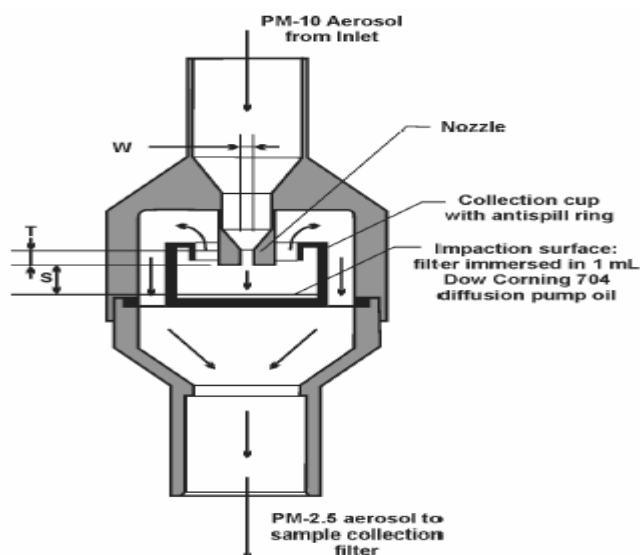
Η ογκομετρική παροχή που χρησιμοποιήθηκε ήταν  $1\text{m}^3/\text{h}$  (16.7 l/min). Στις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το στόμιο των  $\text{PM}_{10}$  για τις μετρήσεις των  $\text{PM}_{10}$ , ενώ για τις μετρήσεις των  $\text{PM}_{2.5}$  χρησιμοποιήθηκε το ίδιο στόμιο, αλλά με προσθήκη ενός ακόμη τμήματος (impactor).

#### A. Στόμιο των $\text{PM}_{10}$

Καθώς ο αέρας περνά μέσα από το στόμιο, γίνεται διαχωρισμός των σωματιδίων κατά μέγεθος, έτσι ώστε στο τελευταίο τμήμα του στομίου να αιωρούνται μόνο τα  $\text{PM}_{10}$ . Το ρεύμα αέρα, περνά στη συνέχεια μέσα από το φίλτρο δειγματοληψίας, όπου γίνεται η κατακράτηση των σωματιδίων αυτών.

#### B. Στόμιο των $\text{PM}_{2.5}$

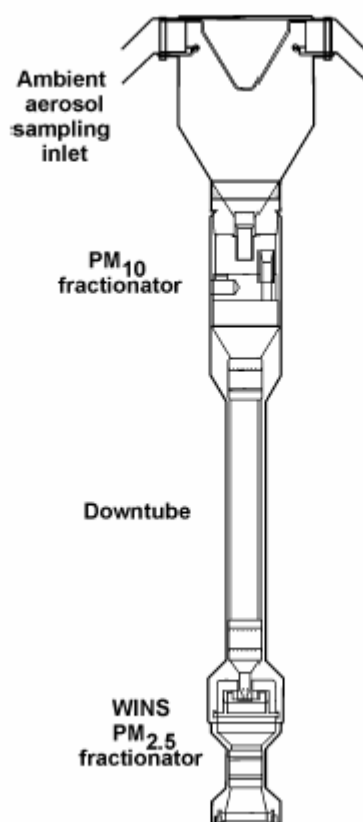
Για την δειγματοληψία των  $\text{PM}_{2.5}$  χρησιμοποιήθηκε το στόμιο των  $\text{PM}_{10}$ , με την προσθήκη ενός ακόμη εξαρτήματος, του κρουστικού διαχωριστή (impactor). Το εξάρτημα αυτό προσαρμόστηκε στην διαδρομή του αέρα δειγματοληψίας μετά το στόμιο και πριν το φίλτρο και ο ρόλος του είναι η κατακράτηση των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο  $2.5\mu\text{m}$  και άνω.





Και στα δύο είδη δειγματοληψιών ( $PM_{10}$  &  $PM_{2.5}$ ), το εισερχόμενο ρεύμα δειγματοληψίας καταλήγει στον υποδοχέα (Filter holder) της κασετίνας του φίλτρου δειγματοληψίας.

Το βεβαρημένο με σωματίδια ρεύμα αέρα περνά διαμέσου ενός περατού υφάσματος και η ελικοειδής διαδρομή των σωματιδίων μέσα από τις ίνες του υφάσματος προκαλεί την κατακράτησή τους. Ο σχηματισμός ενός στρώματος σωματιδίων λειτουργεί σαν επιφάνεια απόθεσης νέων σωματιδίων. Το στρώμα που συσσωρεύεται αυξάνει την απαιτούμενη πίεση που πρέπει να ασκηθεί στο ρεύμα του αερίου.



## Γ. Φίλτρα

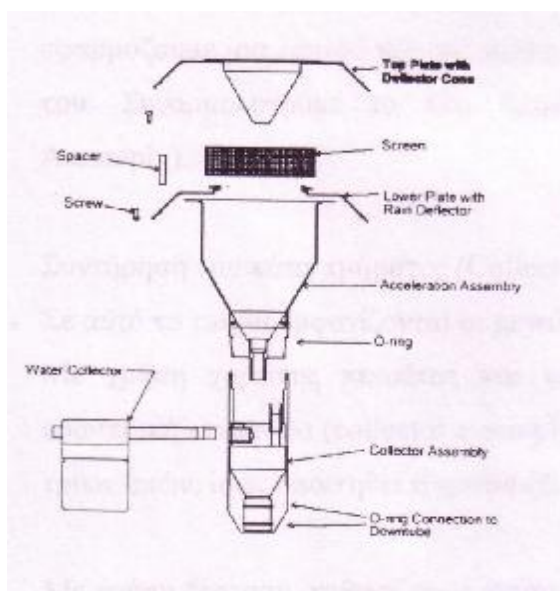
Χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα από ίνες υάλου με επικάλυψη από Teflon κατασκευής Pallflex (Teflon coated glass fiber by Pallflex) TX40H120WW.

Το φίλτρο αυτό έχει ως προδιαγραφή από τον κατασκευαστή 99% ποσοστό συγκράτισης σωματιδίων  $PM_{2.5}$ . Η επιλογή αυτού του φίλτρου έγινε γιατί ήταν πιο εύκολο στον χειρισμό του φίλτρου (δεν θραύονται κατά την μεταφορά τους προς και από τον δειγματολήπτη), μικρό ποσοστό απόρριψης φίλτρου (<5%) λόγω οπών στην επιφάνεια ή ανομοιογένεια υλικού.

Τα υαλοφίλτρα (glass fiber filter) έχουν βασικό pH. Εξαιτίας της αλκαλικότητας αυτής, η προσρόφηση στο γυαλί  $SO_2$  και  $NO_x$  οδηγεί στην μετατροπή τους σε σωματίδια επάνω στο φίλτρο. Το συγκεκριμένο φίλτρο παρουσίασε ένα από τα μικρότερα ποσοστά προσρόφησης  $SO_2$  από το περιβάλλον.

## Δ. Διαδικασία συντήρησης

Η κεφαλή δειγματοληψίας αφαιρείται εύκολα με κίνηση προς τα πάνω, από τον σωλήνα από αλουμίνιο όπου είναι προσαρμοσμένο. Αποσυναρμολογούμε το άνω από το κάτω τμήμα του στομίου ξεβιδώνοντας τα δύο του τμήματα.



Τμήματα του στομίου δειγματοληψίας  $PM_{10}$

### *Συντήρηση του άνω τμήματος (Acceleration assembly maintenance)*

Αποσυναρμολογούμε το άνω τμήμα του στομίου ξεβιδώνοντας τις βίδες στην κορυφή του στομίου.

Ελέγχουμε το μεταλλικό δίκτυ (screen) του στομίου και το καθαρίζουμε με την βούρτσα και οινόπνευμα. Το δίκτυο πρέπει να στεγνώσει πριν συναρμολογηθεί στο στόμιο.

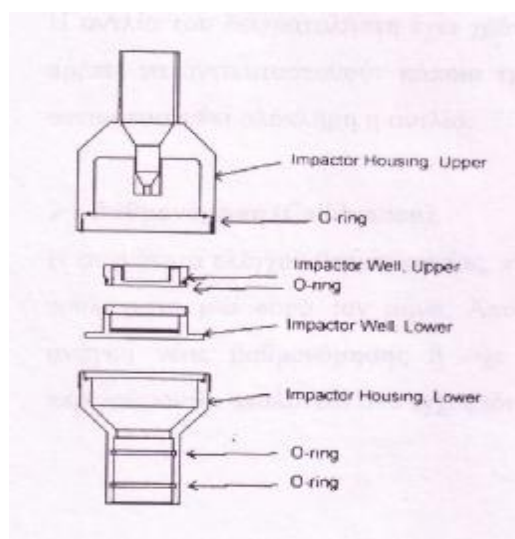
Με το οινόπνευμα και χαρτί καθαρίζουμε τον μεταλλικό κώνο του στομίου και το εσωτερικό τοίχωμα του στομίου.

### *Συντήρηση του κάτω τμήματος (Collector assembly maintenance)*

Με τη χρήση χαρτιού και οινόπνευματος καθαρίζουμε την εσωτερική επιφάνεια (collector assembly walls). Για τον καθαρισμό των οπών απαιτείτε η χρήση ξέστρου.

Βιδώνουμε τα δύο τμήματα του στομίου μεταξύ τους και τοποθετούμε την κεφαλή στον δειγματολήπτη.

### *Καθαρισμός του impactor*



*Τμήματα του κρουστικού διαχωριστή (impactor)*

Ο impactor αποσυναρμολογείται και τα τμήματά του (εκτός από τον impactor well) καθαρίζονται με χαρτί και οινόπνευμα. Το φίλτρο (borosilicate glass filter) που τοποθετείται στον impactor well αλλάζει κάθε 5<sup>η</sup> μέτρηση. Σε κάθε αλλαγή σκουπίζεται με χαρτί. Στη

συνέχεια τοποθετείται νέο φίλτρο και προστίθονται 20 σταγόνες από το ειδικό λάδι που προμήθευσε η κατασκευάστρια εταιρεία (R & P) με την αγορά του δειγματολήπτη. Προσοχή πρέπει να δοθεί να μην υπάρξουν φυσαλίδες αέρα κάτω από το φίλτρο, μετά την προσθήκη του λαδιού. Στη συνέχεια συναρμολογείται ο impactor και τοποθετείται στην κεφαλή δειγματοληψίας.

### **6.2.2 Ζυγός (the balance)**

Ο ζυγός AT201 Analytical Balance της εταιρείας Mettler Toledo, χρησιμοποιήθηκε μετά από άδεια του τμήματος Ποιότητας Ατμόσφαιρας, της Διεύθυνσης ελέγχου Ατμοσφαιρικής ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ στο Χημείο της στην οδό Πατησίων αριθμό 147.

Πρόκειται για ηλεκτρικό ζυγό με επιλέξιμη ακρίβεια 0.1 ή 0.01mg και μέγιστο βάρος ζύγισης 205gr. Ο χειρισμός γίνεται εξ ολοκλήρου μέσω της ηλεκτρονικής του οθόνης (LED).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### 7.1 Υπολογισμός της ημερήσιας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων

Από τις ζυγίσεις των φίλτρων πριν και μετά την δειγματοληψία, και από το μηχάνημα δειγματοληψίας έχουν δοθεί τιμές στα μεγέθη:

$W_i$  (g): Βάρος φίλτρου πριν την δειγματοληψία

$W_f$  (g): Βάρος φίλτρου μετά την δειγματοληψία

$V_{STD}$  (std m<sup>3</sup>): Πρότυπος όγκος αέρα που πέρασε από το φίλτρο κατά την δειγματοληψία.

Υπολογίζουμε την μέση 24ωρη συγκέντρωση (MC) σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  από τον τύπο:

$$MC = \frac{W_f - W_i}{V_{STD}} \cdot 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Σύμφωνα με την US-EPA, κριτήριο για την εγκυρότητα του ανωτέρου υπολογισμού (για μέσες 24ωρες συγκεντρώσεις PM<sub>10</sub>), είναι ο χρόνος έγκυρης δειγματοληψίας (valid time) να είναι κατά ελάχιστο 23 ώρες (μέγιστο 25 ώρες). Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται και καταγράφεται αυτόματα από τον δειγματολήπτη. Στην οθόνη του δειγματολήπτη Partisol 2000, που χρησιμοποιήθηκε, η ένδειξη total time δείχνει το συνολικό χρόνο κατά τον οποίο περνά αέρας από το φίλτρο δειγματοληψίας. Η ένδειξη valid time δείχνει το χρόνο κατά τον οποίο η ένδειξη status είναι OK. Δηλαδή τον χρόνο για τον οποίο το μηχάνημα λειτούργησε χωρίς δυσλειτουργίες (πχ στους αισθητήρες θερμοκρασίας πίεσης κλπ) και με την προγραμματισμένη ροή αέρα.

## 7.2 Υπολογισμός σφαλμάτων

Για τον προσδιορισμό των σφαλμάτων χρησιμοποιήθηκε η κατανομή t. Η κατανομή της δειγματικής μέσης τιμής δεν είναι εντελώς κανονική. Αντί της τυπικής απόκλισης του πληθυσμού χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση του δείγματος, η τυποποιημένη μεταβλητή  $t = (X-\mu) / (s \cdot \sqrt{n})$  ακολουθεί την κατανομή t με n-1 βαθμούς ελευθερίας.

Το διάστημα εμπιστοσύνης για την μέση τιμή είναι ίσο με:

$$[ X - t_a \cdot s/\sqrt{n}, X + t_a \cdot s/\sqrt{n}]$$

Η κρίσιμη τιμή  $t_a$  είναι η τιμή της κατανομής για την οποία η πιθανότητα στα δεξιά της  $t_a$  είναι ίση με  $a/2$  και στα αριστερά της  $-t_a$  είναι ίση με  $a/2$ .

Στατιστικά μεγέθη	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	T	RH	WS	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>
Μέγεθος δείγματος	95	239	243	243	243	243	243	243	243
Μέση τιμή	63	31	22,5	59	2,8	3,0	7	62,0	67,7
Τυπικό σφάλμα	1,926	0,979	0,496	1,091	0,076	0,093	0,375	4,480	0,862
<b>Διαστήματα εμπιστοσύνης για την μέση τιμή</b>									
Συντ.Εμπιστοσύνης	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Κρίσιμη τιμή	1,986	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970
	3,824	1,929	0,977	2,150	0,150	0,184	0,738	8,825	1,698
Κάτω όριο	59	29	21,5	57	2,7	2,8	7	53,2	66,0
Άνω όριο	66	33	23,5	61	3,0	3,2	8	70,9	69,4

Τα σφάλματα που υπολογίστηκαν με την παραπάνω μέθοδο ήταν τα εξής:

PM <sub>10</sub> :	63 ± 3.8	μg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2.5</sub> :	31 ± 1.9	μg/m <sup>3</sup>
T:	22.5 ± 0.98	°C
RH:	59 ± 2.1	%
WS:	2.8 ± 0.15	m/sec
CO:	3.0 ± 0.18	μg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> :	7 ± 0.74	μg/m <sup>3</sup>
NO:	62.0 ± 8.82	μg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub> :	67.7 ± 1.70	μg/m <sup>3</sup>

### 7.3 Γενικά στατιστικά στοιχεία για τις χρονοσειρές των $PM_{10}$ , $PM_{10-2.5}$ & $PM_{2.5}$

Στη συνέχεια, παρατίθεται μια σύντομη επεξήγηση στατικών μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση των χρονοσειρών.

#### Μέτρα κεντρικής θέσεως

- Μέση τιμή του δείγματος υπολογίζεται από την σχέση:

$$\bar{X} = 1/n \sum X_i$$

- Διάμεσος είναι η κεντρική παρατήρηση, όταν οι παρατηρήσεις ταξινομηθούν από τη μικρότερη προς τη μεγαλύτερη.
- Κορυφή είναι η τιμή με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης. Το μέγεθος αυτό έχει πρακτική σημασία μόνο όταν αναφέρεται σε ποιοτικές ή διακριτές ποσοτικές μεταβλητές.

#### Μέτρα μεταβλητότητας

- Η σημασία μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής είναι προφανής. Η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής αποτελεί ένα μέτρο μεταβλητότητας που ονομάζεται διακύμανση
- Η διασπορά του δείγματος είναι μέτρο της μέσης τετραγωνικής απόστασης των παρατηρήσεων από τη μέση τιμή του δείγματος και ορίζεται ως:

$$S^2 = 1/(n-1) \sum (X_i - \bar{X})^2$$

- Η τυπική απόκλιση ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της διασποράς και έχει τις ίδιες μονάδες με αυτές των αντίστοιχων μεταβλητών.

#### Μέτρα μορφής

- Η ασυμμετρία, όπως δηλώνει και το όνομά της, είναι μέτρο της ασυμμετρίας που παρουσιάζει η κατανομή. Μια πλήρως συμμετρική κατανομή έχει ασυμμετρία ίση με μηδέν. Θετικές τιμές δηλώνουν ότι η κατανομή εμφανίζει ουρά προς τα δεξιά

ενώ αρνητικές τιμές δηλώνουν την παρουσία ουράς προς τα αριστερά.

- Η κύρτωση είναι μέτρο της βαρύτητας των απομακρυσμένων από τη μέση τιμή τιμών. Μεγάλες τιμές δηλώνουν ότι η κατανομή εμφανίζει πολλές παρατηρήσεις στα άκρα της.

### **Είδη κατανομών**

- *Συμμετρικές κατανομές*  
Η μέση τιμή και η διάμεσος έχουν παραπλήσιες τιμές.
- *Θετικά ασύμμετρες κατανομές*  
Η μέση τιμή είναι μεγαλύτερη της διαμέσου
- *Αρνητικά ασύμμετρες κατανομές*  
Η μέση τιμή είναι μικρότερη της διαμέσου

### **Ιστόγραμμα και πίνακες κατανομής**

Οι πίνακες κατανομής συχνοτήτων και τα ιστογράμματα είναι δύο από τα σημαντικότερα στατιστικά εργαλεία, τα οποία επιτρέπουν τη μελέτη της κατανομής μιας μεταβλητής. Στην περίπτωση ποσοτικών μεταβλητών, οι τιμές που μπορεί να λάβει η μεταβλητή διαιρούνται σε κατάλληλα διαστήματα. Για κάθε τέτοιο διάστημα υπολογίζεται ο αριθμός των παρατηρήσεων με τιμές στο διάστημα αυτό. Στον πίνακα κατανομής συχνοτήτων παρουσιάζονται τα διαστήματα αυτά και οι αντίστοιχες συχνότητές τους. Το ιστόγραμμα είναι το ραβδόγραμμα των συχνοτήτων αυτών.

Στον πίνακα κατανομής παρουσιάζονται το σύνολο των ακραίων τιμών (τα οποία ονομάζονται Bin) μεταξύ ελάχιστης και της μέγιστης τιμής της μεταβλητής που εξετάζεται. Η συχνότητα (Frequency) που αντιστοιχεί σε κάθε ακραία τιμή αντιπροσωπεύει τον αριθμό των παρατηρήσεων με τιμές μικρότερες ή ίσες της αντίστοιχης ακραίας τιμής και μεγαλύτερες της προηγούμενης ακραίας τιμής. Η πρώτη συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό των παρατηρήσεων με τιμές μικρότερες ή ίσες της πρώτης ακραίας

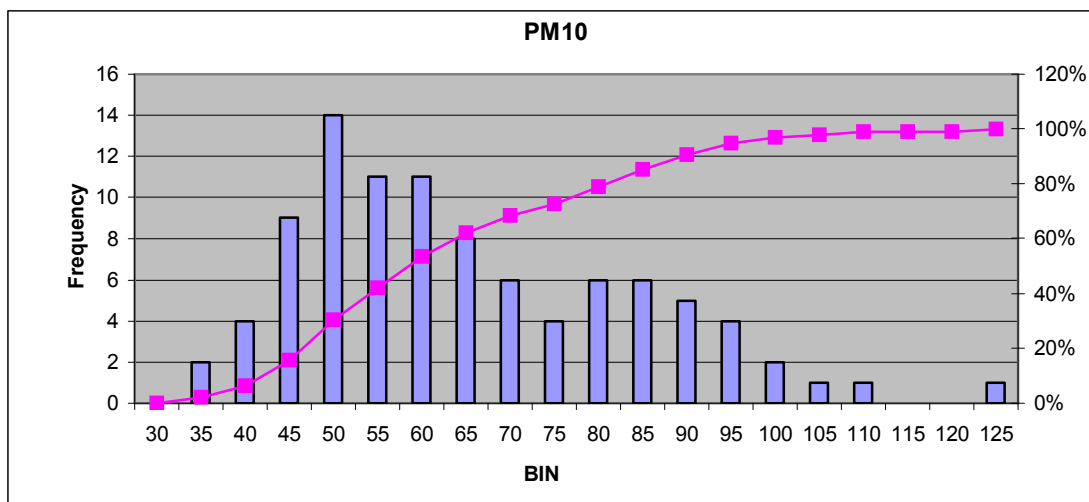
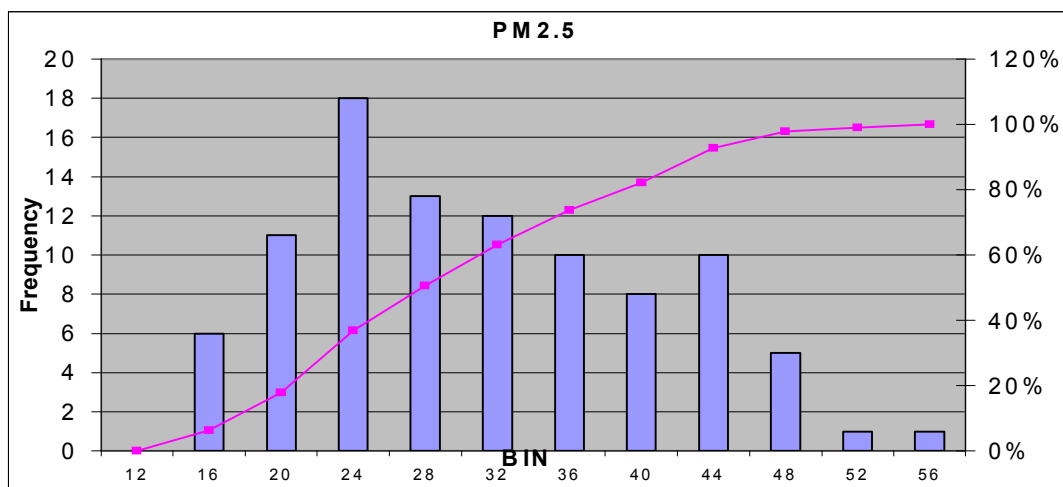
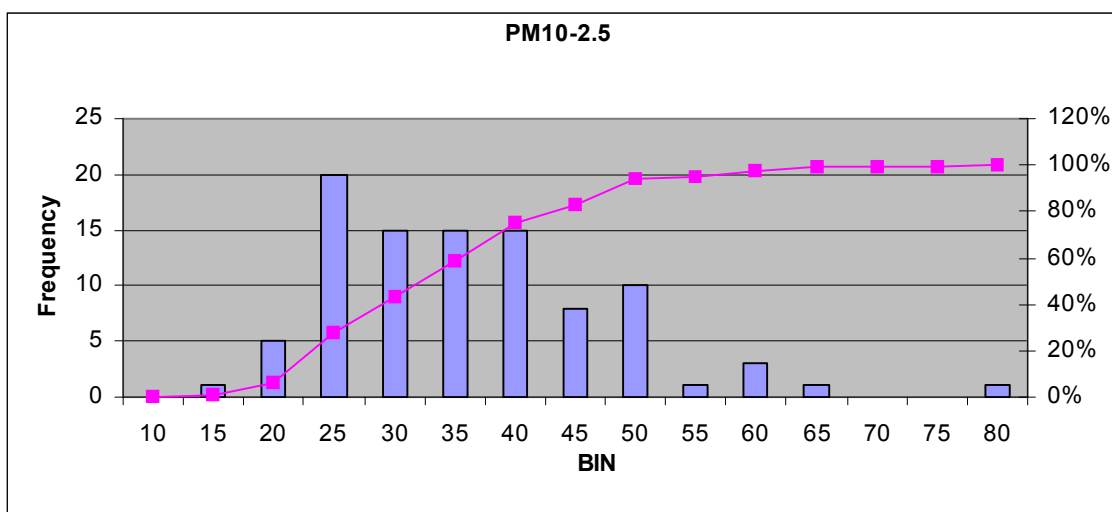


τιμής, ενώ η τελευταία τον αριθμό των παρατηρήσεων με τιμές μεγαλύτερες της τελευταίας ακραίας τιμής. Αντίστοιχα, η αθροιστική συχνότητα (Cumulative %) αντιπροσωπεύει το ποσοστό των παρατηρήσεων με τιμές μικρότερες ή ίσες της αντίστοιχης τιμής.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις των  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  και  $PM_{10-2.5}$  μαζί με τις τυπικές αποκλίσεις. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι  $PM_{10-2.5}$  δεν μετρήθηκαν άμεσα από τους δειγματολήπτες. Υπολογίστηκαν από την διαφορά της συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  από την συγκέντρωση των  $PM_{2.5}$ . Στον πίνακα που ακολουθεί, εμφανίζεται για το κάθε κλάσμα των σωματιδίων η μέση συγκέντρωση, η μέγιστη 24ωρη τιμή, η ελάχιστη 24ωρη τιμή, ο συντελεστής απόκλισης, ο στατιστικός δείκτης μεταβλητότητας CV (Coefficient of variability). Το CV, υπολογίζεται από την διαίρεση της τυπικής απόκλισης με την μέση τιμή της χρονοσειράς.

#### **A. Καλοκαιρινή περίοδο (28 Μαΐου-4 Σεπτεμβρίου)**

Μέτρα κεντρικής θέσης		PM10	PM2.5	PM10-2.5
Μέση τιμή	Mean	63	29	33
Διάμεσος	Median	58	28	32
Μέτρα μεταβλητότητας				
Ελάχιστη τιμή	Minimum	32	13	14
Μέγιστη τιμή	Maximum	122	52	75
Διακύμανση	Range	90	39	61
Διασπορά	Variance	352	89	125
Τυπική απόκλιση	Standard Deviation	18,8	9,4	11,2
cv		0,300	0,323	0,334
Μέτρα μορφής				
Ασυμμετρία	Skewness	0,685	0,38	0,8665
Κύρτωση	Kurtosis	-0,104	-0,781	0,960

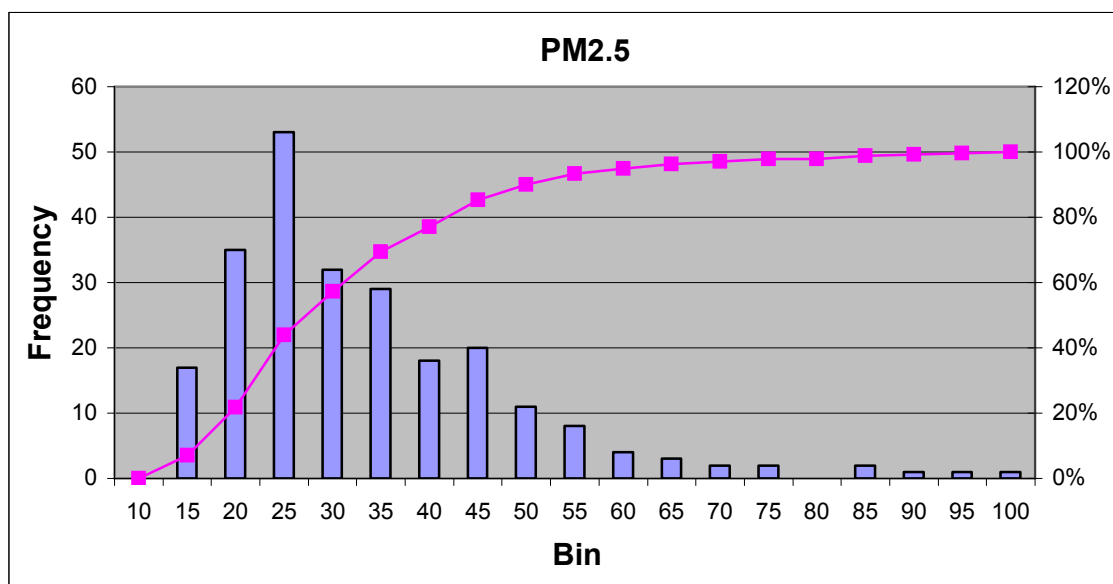
*Ιστόγραμμα  $PM_{10}$* *Ιστόγραμμα  $PM_{2.5}$* *Ιστόγραμμα  $PM_{10-2.5}$* 

Συμπεράσματα:

- Η χρονοσειρά των  $PM_{10}$  είναι θετικά ασύμμετρη κατανομή αφού η μέση τιμή είναι μεγαλύτερη από την διάμεσο. Παρουσιάζει ουρά προς τα δεξιά αφού η ασυμμετρία είναι θετική. Δεν παρουσιάζει πολλές παρατηρήσεις στα άκρα της αφού η τιμή της κύρτωσης είναι μικρή.
- Η χρονοσειρά των  $PM_{2.5}$  είναι συμμετρική κατανομή αφού η διάμεσος είναι παραπλήσια της μέσης τιμής. Παρουσιάζει πολλές παρατηρήσεις στα άκρα της αφού η κύρτωση είναι μεγάλη.
- Η χρονοσειρά των  $PM_{10-2.5}$  είναι συμμετρική κατανομή αφού η διάμεσος είναι παραπλήσια της μέσης τιμής. Παρουσιάζει πολλές παρατηρήσεις στα άκρα της αφού η κύρτωση είναι μεγάλη. Παρουσιάζει ουρά προς τα δεξιά αφού είναι θετική τιμή η ασυμμετρία.

**B.  $PM_{2.5}$  ( 28 Μαΐου 2003-25 Ιανουαρίου 2004)**

Μέτρα κεντρικής θέσης		PM2.5
Μέση τιμή	Mean	31
Διάμεσος	Median	28
<b>Μέτρα μεταβλητότητας</b>		
Ελάχιστη τιμή	Minimum	10
Μέγιστη τιμή	Maximum	98
Διακύμανση	Range	88
Διασπορά	Variance	229
Τυπική απόκλιση	Standard Deviation	15,1
cv		0,486
<b>Μέτρα μορφής</b>		
Ασυμμετρία	Skewness	1,559
Κύρτωση	Kurtosis	3,191



### Συμπέρασμα

Παρατηρήθηκαν τα ίδια χαρακτηριστικά της  $PM_{2.5}$  όπως και στην περίπτωση της καλοκαιρινής περιόδου

### **7.4 Σύγκριση των μέσων 24ωρων μετρήσεων με τα πρότυπα ποιότητας**

#### **7.4.1 Σύγκριση των μέσων 24ωρων μετρήσεων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ με τα πρότυπα ποιότητας US-EPA**

Λόγω του μικρού διαστήματος δειγματοληψίας δεν μπορούμε να βγάλουμε σαφή συμπεράσματα αν ξεπέρασαν τα όρια που έθεσε η US-EPA.

#### **A. $PM_{10}$ (28 Μαΐου-4 Σεπτεμβρίου 2003)**

##### *Ετήσια οριακή τιμή*

Σύμφωνα με την οδηγία US-EPA, ο αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων για 3 συνεχόμενα έτη, δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  πάνω από μια φορά. Ο αριθμητικός μέσος για το παραπάνω διάστημα ήταν  $58\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Δεν μπορούμε όμως να πούμε με σαφήνεια αν ξεπερνά το παραπάνω όριο αφού το διάστημα της δειγματοληψίας ήταν μικρό.

### *24ωρη οριακή τιμή*

Σύμφωνα με την οδηγία US-EPA, το 99<sup>ο</sup> εκατοστημόριο του συνόλου των 24ωρων συγκεντρώσεων δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή των 150μg/m<sup>3</sup>. Για το παραπάνω διάστημα η 24ωρη συγκέντρωση στο 99<sup>ο</sup> εκατοστημόριο ήταν 110μg/m<sup>3</sup>. Επομένως ισχύει το παραπάνω όριο.

Επομένως για την εαρινή περίοδο, οι συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> δεν ξεπέρασαν την 24ωρη οριακή τιμή, ενώ ξεπέρασε την ετήσια οριακή τιμή.

### **B. PM<sub>2.5</sub> ( 28 Μαΐου 2003-25 Ιανουαρίου 2004)**

#### *Ετήσια οριακή τιμή*

Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή 15μg/m<sup>3</sup>. Ο αριθμητικός μέσος για το παραπάνω διάστημα ήταν 28μg/m<sup>3</sup>. Δεν μπορούμε όμως να πούμε με σαφήνεια αν ξεπερνά το παραπάνω όριο αφού το διάστημα της δειγματοληψίας ήταν μικρό.

#### *24ωρη οριακή τιμή*

Σύμφωνα με την οδηγία US-EPA, το 98<sup>ο</sup> εκατοστημόριο από το σύνολο των 24ωρων συγκεντρώσεων ενός έτους, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 65μg/m<sup>3</sup>. Για το παραπάνω διάστημα το 98<sup>ο</sup> εκατοστημόριο των 24ωρων συγκεντρώσεων ήταν 75μg/m<sup>3</sup>.

Για το παραπάνω χρονικό διάστημα, οι συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub> ξεπέρασαν την ετήσια οριακή τιμή και την 24ωρη οριακή τιμή της οδηγίας US-EPA.

#### 7.4.2 Σύγκριση των μέσων 24ωρων μετρήσεων PM<sub>10</sub> με τα πρότυπα ποιότητας της Ευρωπαϊκής θυγατρικής οδηγίας-πλαisiού

##### PM<sub>10</sub> (28 Μαΐου-4 Σεπτεμβρίου 2003)

##### *Μέση ημερήσια τιμή*

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις υπερβάσεις των ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM<sub>10</sub>

PM <sub>10</sub>	65	60	55	50
Αριθμός μετρήσεων	36	44	55	66

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Θυγατρική οδηγία-πλαίσιο, οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> δεν πρέπει να υπερβαίνουν περισσότερες από 35 φορές το έτος:

Έτος	2002	2003	2004	2005
Μέση ημερήσια τιμή	65	60	55	50

Οι μέσες συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> για το παραπάνω χρονικό διάστημα βρέθηκαν να υπερβαίνουν τα όρια για χρονικό διάστημα πολύ μικρότερο του έτους που έθεσε η Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία.

##### *Μέση ετήσια τιμή*

Το χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας είναι μικρό για να συμπεράνουμε αν έχει ξεπεραστεί η οριακή τιμή που προτείνει η Ευρωπαϊκή Θυγατρική οδηγία. Η μέση τιμή για αυτό το διάστημα ήταν 63 μg/m<sup>3</sup>.

## 7.5 Ανάλυση χρονοσειρών

### 7.5.1 Ορισμοί

Χρονοσειρά είναι μία αλληλουχία ποσοτικών παρατηρήσεων μιας μεταβλητής, οι οποίες λαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα (μέρα, εβδομάδα, μήνας, έτος).

Μιά χρονοσειρά ακολουθεί το τυχαίο μοντέλο όταν οι παρατηρήσεις μεταβάλλονται γύρω από μια σταθερή μέση τιμή, παρουσιάζουν σταθερή διαπορά και είναι πιθανολογικά ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Μιά χρονοσειρά που ακολουθεί το τυχαίο μοντέλο μπορεί να γραφεί υπό τη μορφή:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t$$

όπου  $\mu$  είναι η σταθερή μέση τιμή, γύρω από την οποία κυμαίνονται οι τιμές, και  $\varepsilon_t$  είναι οι διαφορές των παρατηρήσεων από τη μέση τιμή. Οι διαφορές αυτές (θόρυβος) έχουν μέση τιμή 0 και σταθερή τυπική απόκλιση ίση με  $\sigma$ . Σύμφωνα με το τυχαίο μοντέλο, η προβλεπόμενη τιμή της μεταβλητής σε κάθε παρατήρηση είναι ίση με τη μέση τιμής της:

$$F_t = \mu$$

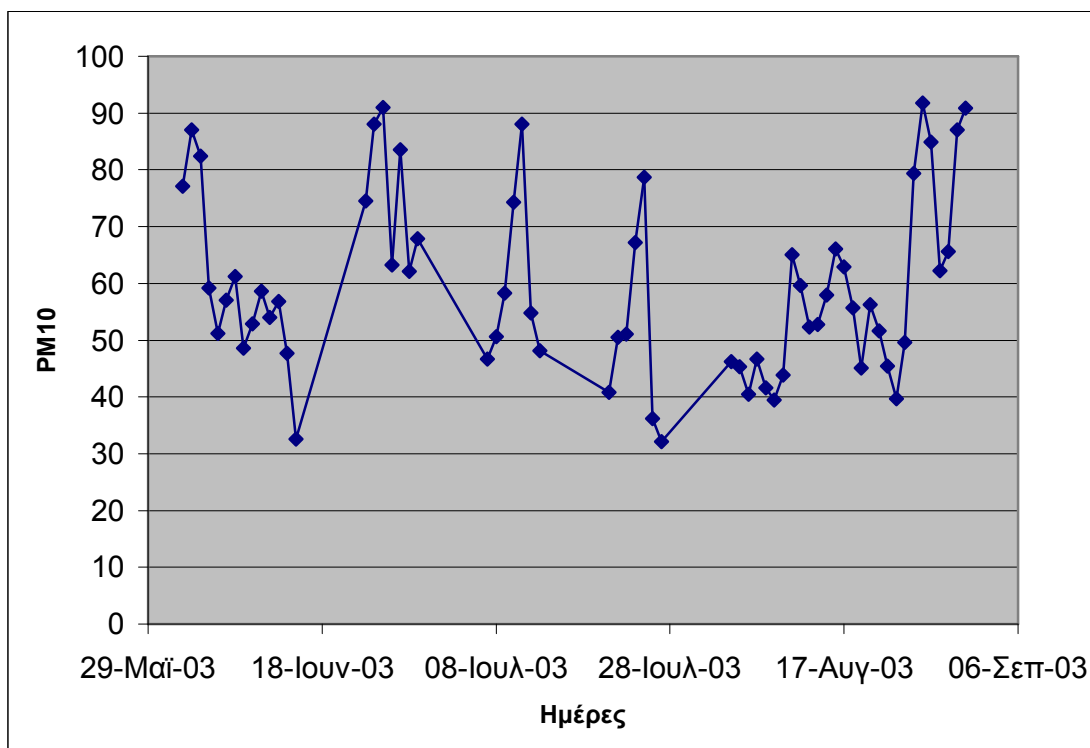
και η ποσότητα  $\varepsilon_t$  αντιστοιχεί στο σφάλμα της πρόβλεψης. Η μέση τιμή  $\mu$ , συνήθως προσεγγίζεται από τη μέση τιμή των ιστορικών παρατηρήσεων  $Y$ .

Η μέθοδος του κινητού μέσου όρου (moving average) εφαρμόζεται ως μέθοδος εξομάλυνσης των τυχαίων διακυμάνσεων.

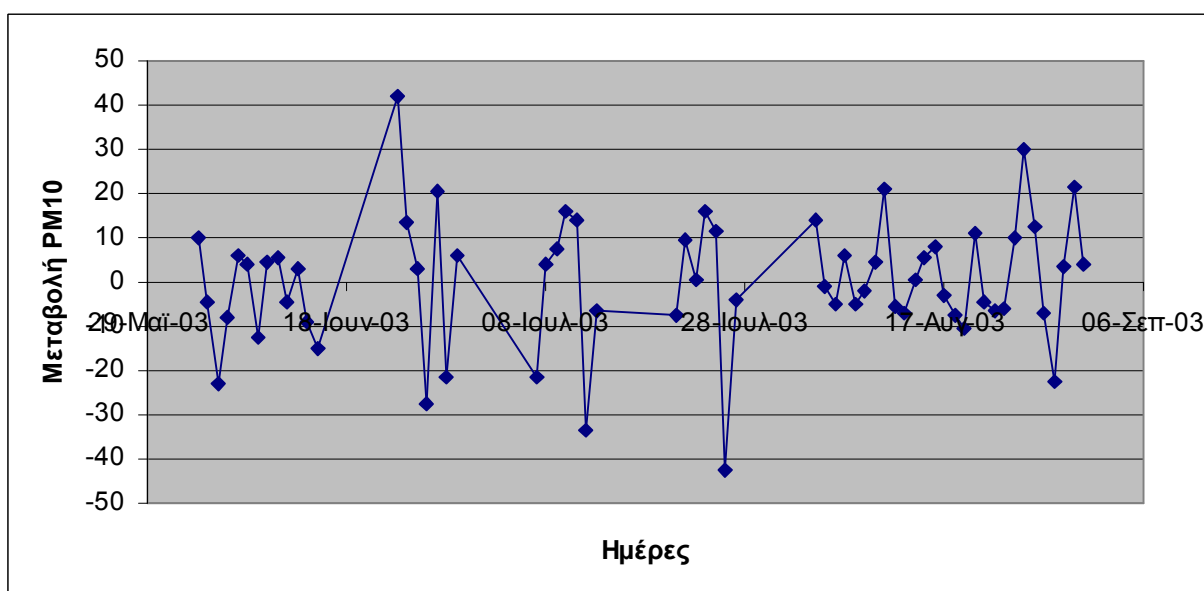
### 7.5.2 Εξομάλυνση χρονοσειράς

#### A. $PM_{10}$ (28 Μαΐου-4 Σεπτεμβρίου 2003)

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η χρονοσειρά της μέσης ημερήσιας τιμής των σωματιδίων  $PM_{10}$  για το διάστημα μεταξύ 28 Μαΐου 2003-4 Σεπτεμβρίου 2003.

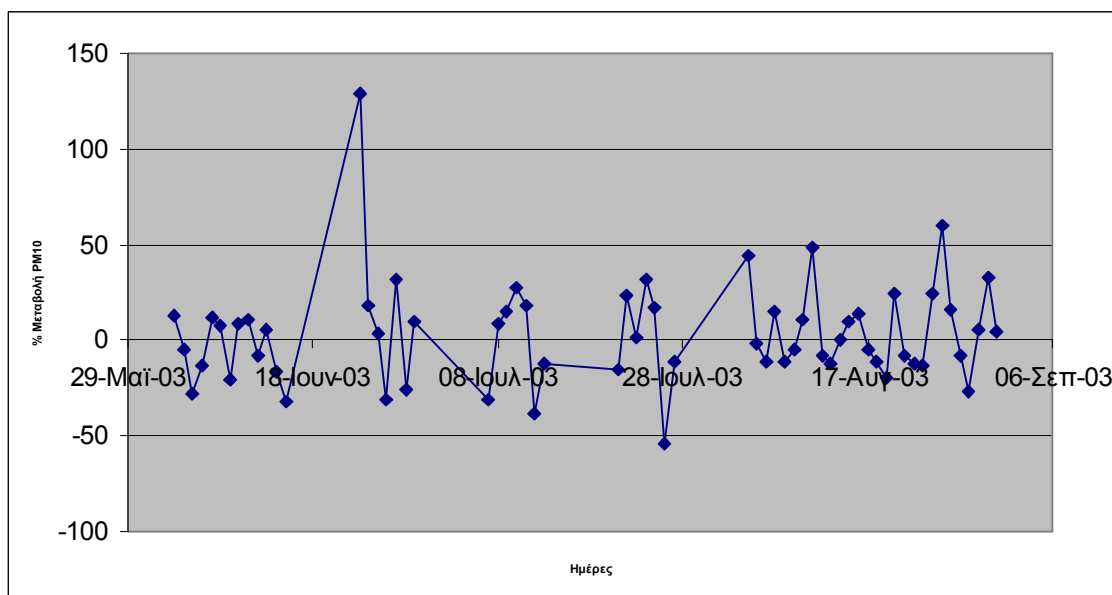


Το παρακάτω διάγραμμα σχηματίστηκε από διαφορές μεταξύ διαδοχικών τιμών. Η νέα μεταβλητή αντιπροσωπεύει τη ημερήσια μεταβολή των  $PM_{10}$ . Οι μεταβολές κυμαίνονται γύρω από μια σταθερή μέση τιμή.

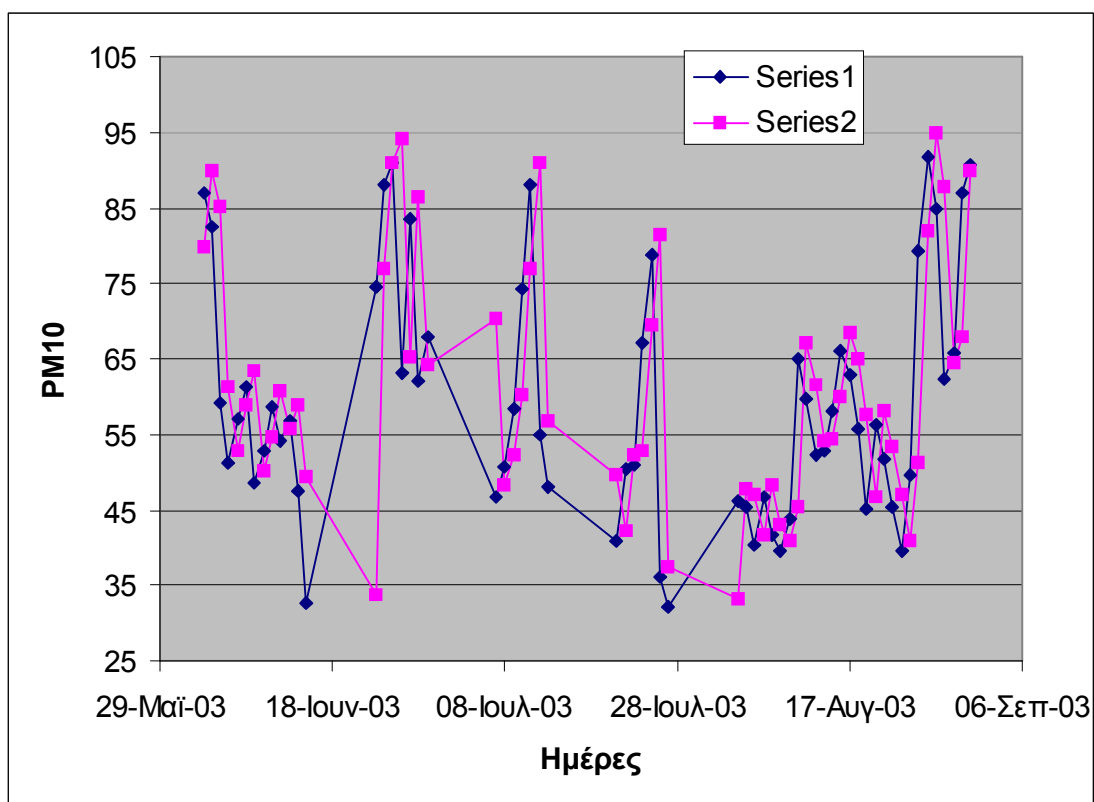


Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της ημερήσιας μέσης τιμής των  $PM_{10}$ .

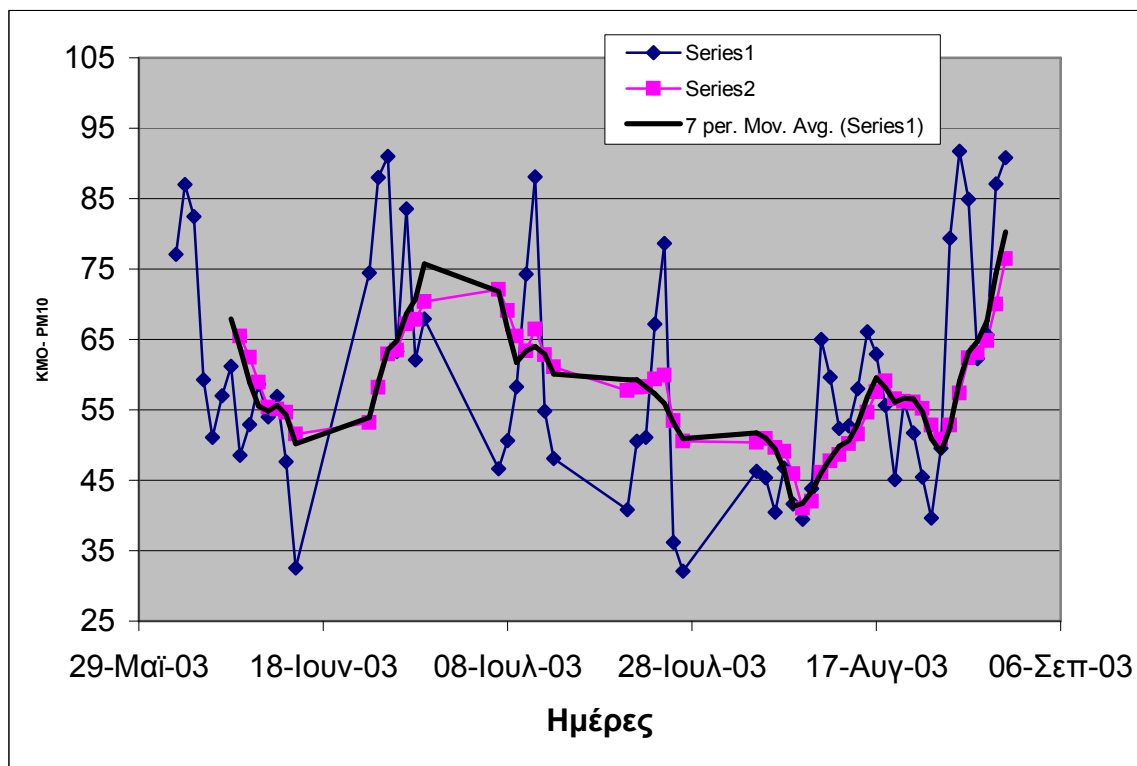




Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται συγκριτικά ο χρονοσειρές των ημερήσιων μέσων τιμών του  $PM_{10}$  και των αντίστοιχων προβλέψεων.

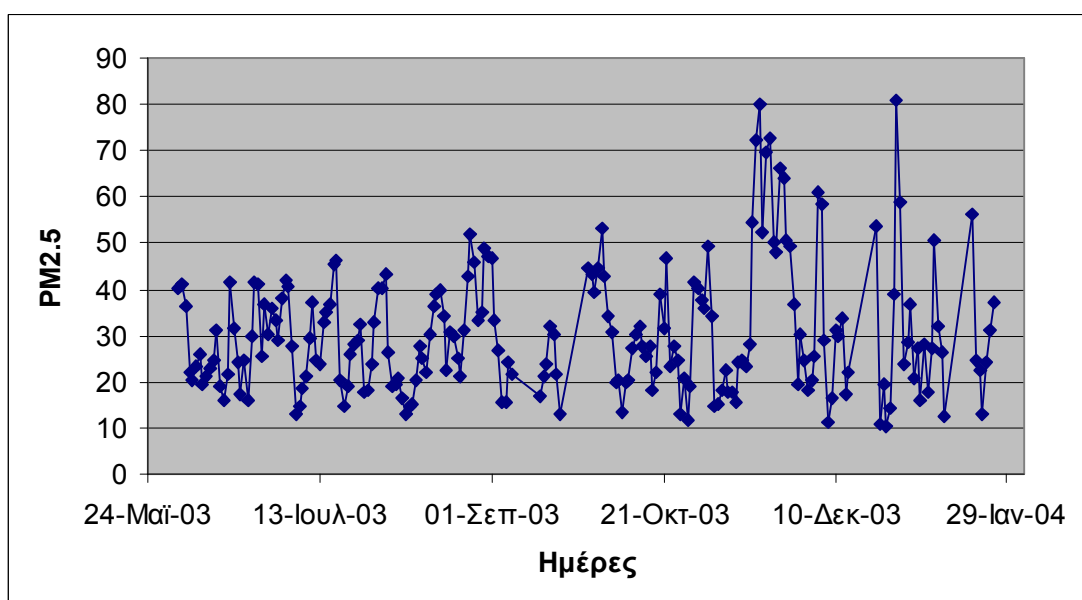


Με την μέθοδο του κινητού μέσου πετυχαίνεται η εξομάλυνση των τυχαίων διακυμάνσεων της χρονοσειράς

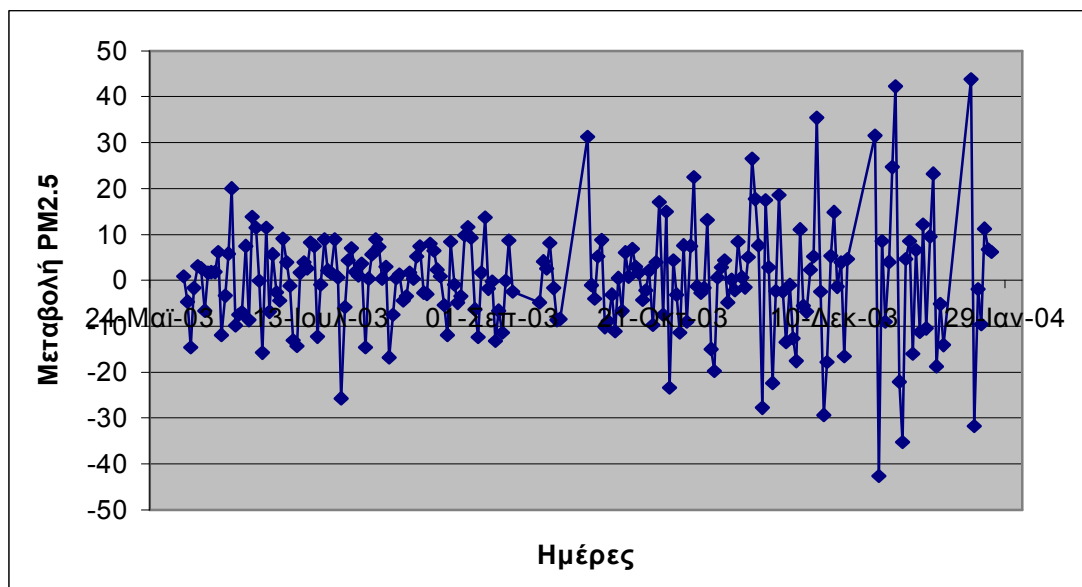


### **B. $PM_{2.5}$ ( 28 Μαΐου2003-25 Ιανουαρίου 2004)**

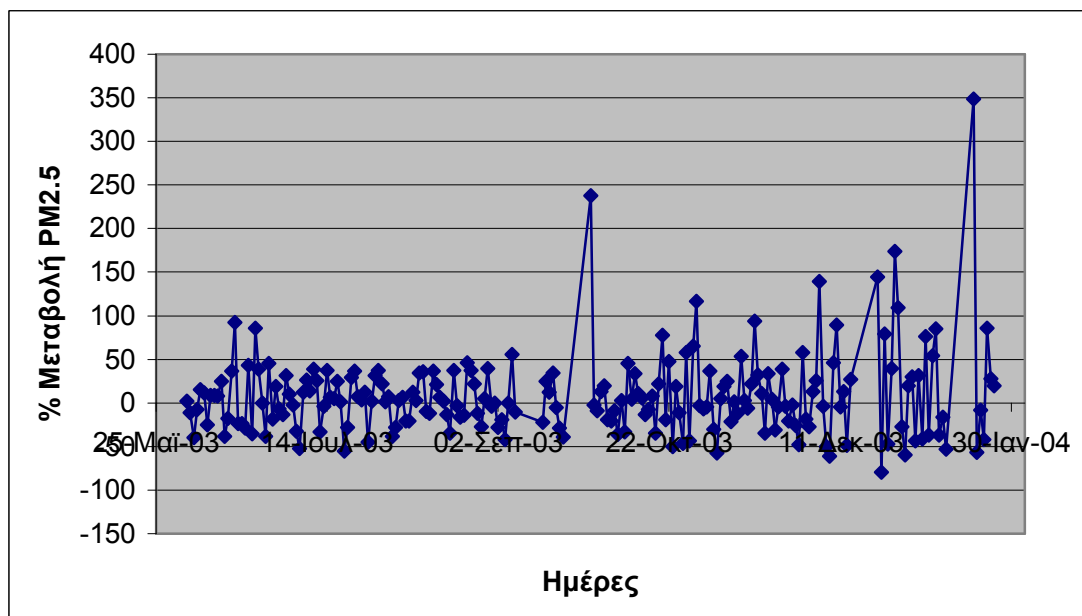
Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η χρονοσειρά της μέσης ημερήσιας τιμής των σωματιδίων  $PM_{2.5}$  για το διάστημα μεταξύ 28 Μαΐου2003-25 Ιανουαρίου 2004.



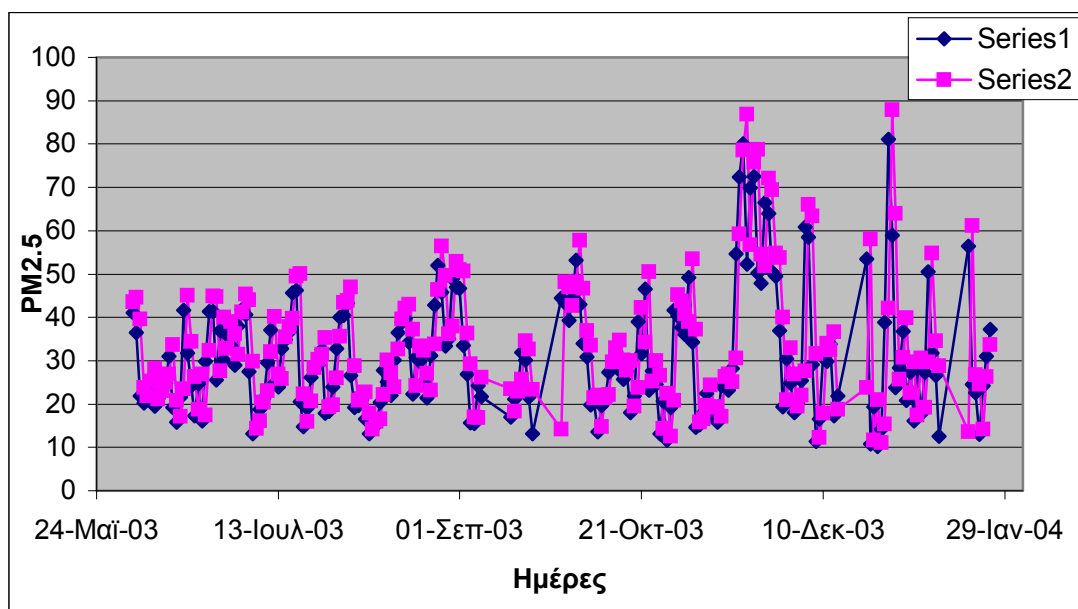
Στο παρακάτω διάγραμμα σχηματίστηκε από διαφορές μεταξύ διαδοχικών τιμών. Η νέα μεταβλητή αντιπροσωπεύει τη ημερήσια μεταβολή των  $PM_{2.5}$ . Οι μεταβολές κυμαίνονται γύρω από μια σταθερή μέση τιμή. Η διασπορά γύρω από τη μέση τιμή συνεχώς αυξάνεται.



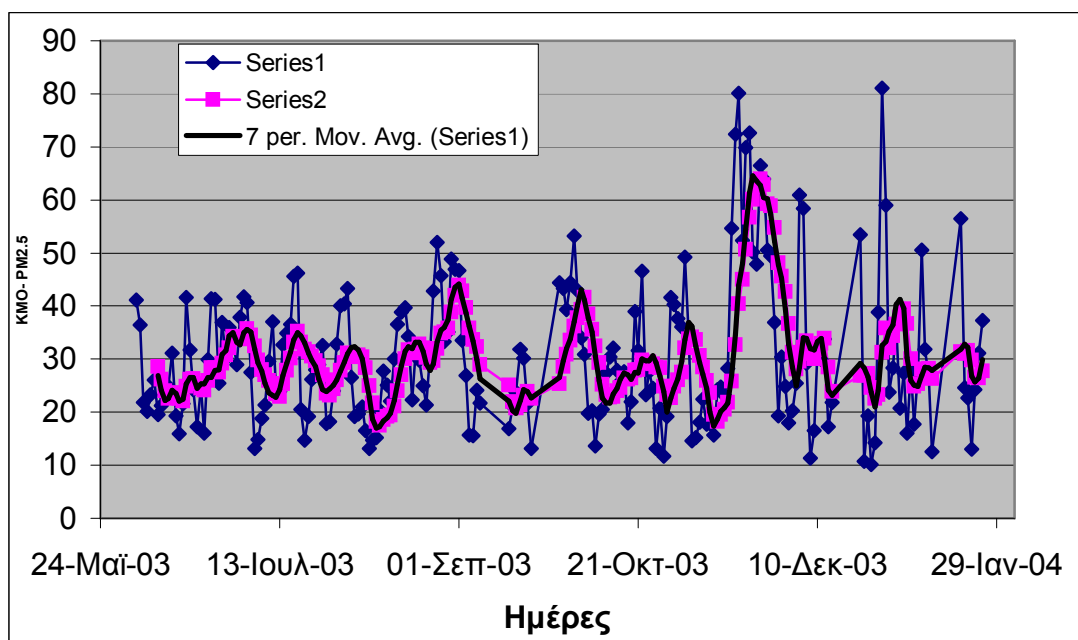
Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της ημερήσιας μέσης τιμής των  $PM_{2.5}$ .



Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται συγκριτικά ο χρονοσειρές των ημερήσιων μέσων τιμών του  $PM_{2.5}$  και των αντίστοιχων προβλέψεων.

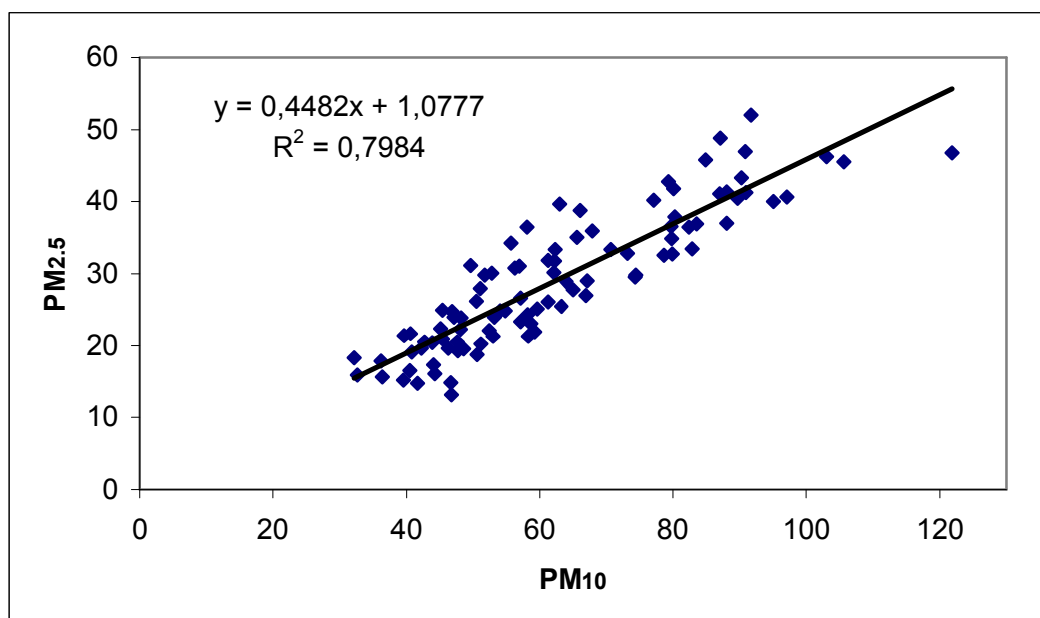


Με την μέθοδο του κινητού μέσου πετυχαίνεται η εξομάλυνση των τυχαίων διακυμάνσεων της χρονοσειράς

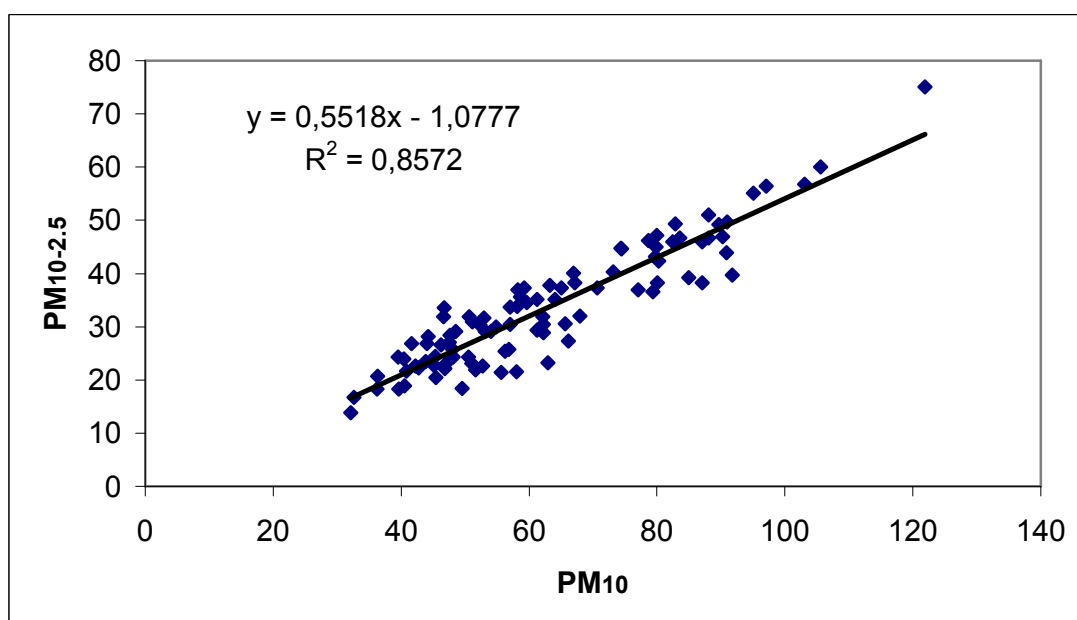


## 7.6 Ανάλυση συσχέτισης των σωματιδιακών κλασμάτων

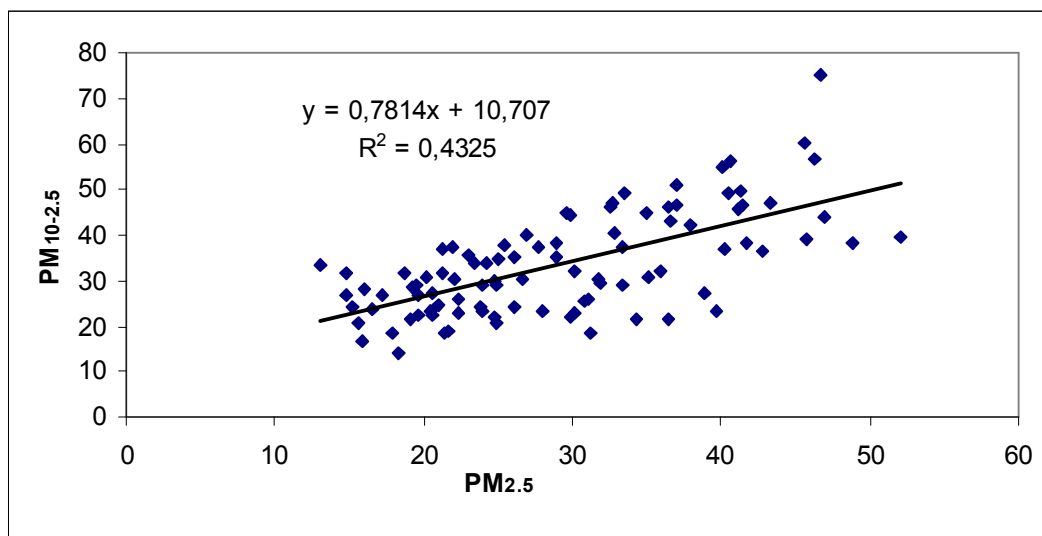
Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά ο βαθμός συσχέτισης των τριων χρονοσειρών συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  και  $PM_{10-2.5}$ ) για την καλοκαιρινή περίοδο.



*Γραμμική συσχέτιση των χρονοσειρών  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$*



*Γραμμική συσχέτιση των χρονοσειρών  $PM_{10}$  και  $PM_{10-2.5}$*



### Γραμμική συσχέτιση των χρονοσειρών $PM_{2.5}$ και $PM_{10-2.5}$

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η χρονοσειρά των  $PM_{10}$ , λόγω καλής συσχέτισης με τις άλλες δύο χρονοσειρές, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης στατιστικής συμπεριφοράς και τριών χρονοσειρών. Τα αιωρούμενα σωματίδια απαρτίζονται κατά 53.4% από τα  $PM_{10-2.5}$  και 46.6% από τα  $PM_{2.5}$ .

## 7.7 Συσχέτιση της μέσης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων με τις ημέρες και τις εβδομάδες.

### 7.7.1 Μοντέλο ανάλυσης διακύμανσης (Ανοva Two)

Συνιστώσα της παραλλακτικότητας	Παραλλακτικότητα: άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Διακύμανση	Πηλίκον F
Διαφορά μεταξύ γραμμών. Εξηγείται από διαφορές κατά τον παράγοντα Α, δηλαδή διαφορές στα $x_i$ .	$SS_r = c \sum_{i=1}^r (x_i - \bar{x})^2$	$r-1$	$MSS_r = \frac{SS_r}{r-1}$	$F = \frac{MSS_r}{MSS_w}$
Διαφορά μεταξύ στηλών. Εξηγείται από διαφορές κατά τον παράγοντα Β, δηλαδή διαφορές στα $x_j$ .	$SS_c = r \sum_{j=1}^c (x_j - \bar{x})^2$	$c-1$	$MSS_c = \frac{SS_c}{c-1}$	$F = \frac{MSS_c}{MSS_w}$
Ανεξήγητη διαφορά που αποδίδεται σε τυχαίες αυξομειώσεις (σφάλμα).	$SS_w = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (x_{ij} - x_i - x_j + \bar{x})^2$	$(r-1)(c-1)$	$MSS_w = \frac{SS_w}{(r-1)(c-1)}$	
Σύνολο	$SS_t = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (x_{ij} - \bar{x})^2$	$rc-1$		

Το άθροισμα των τετραγώνων μεταξύ γραμμών ( $r$ ), το άθροισμα των τετραγώνων μεταξύ στηλών ( $c$ ) και το άθροισμα των τετραγώνων μέσα σε γραμμές και στήλες ισούται με το συνολικό άθροισμα τετραγώνων. Δηλαδή:  $SS_t = SS_r + SS_c + SS_w$

### 7.7.2 Εφαρμογή του πίνακα ανάλυσης διακύμανσης για σύγκριση των εβδομάδων και ημερών εβδομάδων.

- Επιλογή στάθμη σημαντικότητας:  $\sigma = 0.05$
- Μηδενική υπόθεση:
  - $H_0^I$ : Οι αριθμητικοί μέσοι των πληθυσμών των γραμμών είναι ίσοι
  - $H_0^{II}$ : Οι αριθμητικοί μέσοι των πληθυσμών των στηλών είναι ίσοι.
- Εναλλακτική υπόθεση:
  - $H_1^I$ : Οι αριθμητικοί μέσοι των πληθυσμών των γραμμών δεν είναι όλοι ίσοι.
  - $H_1^{II}$ : Οι αριθμητικοί μέσοι των πληθυσμών των στηλών δεν είναι όλοι ίσοι.
- Στατιστικό έλεγχο: Τα αποτελέσματα των επί μέρους σταδίων υπολογισμού της τιμής του στατιστικού ελέγχου  $F$  εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες της ανάλυσης διακύμανσης.

#### **A. $PM_{10}$ (28 Μαΐου-4 Σεπτεμβρίου 2003)**

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Διακύμανση	$F$	$F_{crit}$
Εβδομάδες	9010	8	1126	8,96	2,14
Ημέρες	905	6	151	1,20	2,29
Σφάλμα	6036	48	126		
Σύνολο	15951	62			

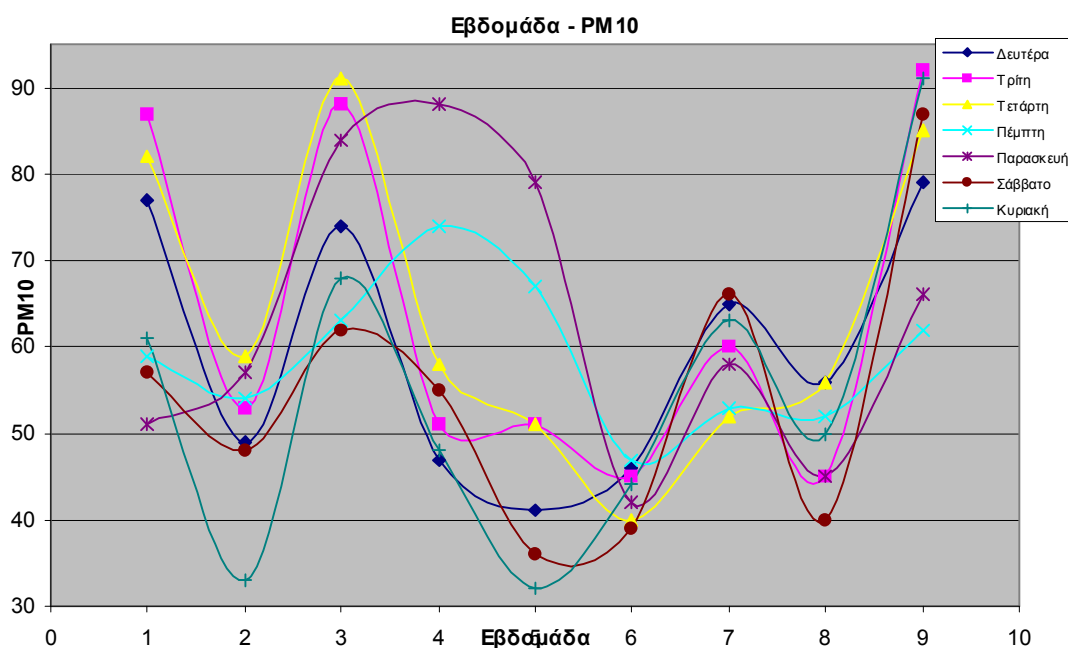
Από πίνακα κρίσιμων τιμών  $F$ -ελέγχου για μονόπλευρο έλεγχο, σε στάθμη σημαντικότητας 5%:

$$F_{0.05}(8,48) = 2.14 \text{ και } F_{0.05}(6,48) = 2.29.$$

- Απόφαση:
  - Αφού  $F > F_{0.05}$  απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση.
  - Αφού  $F < F_{0.05}$  δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση.

- Συμπέρασμα:

Επομένως υπάρχει διαφορά στις τιμές των  $PM_{10}$  μεταξύ των εβδομάδων αλλά δεν υπάρχει ένδειξη για διαφορά στις τιμές των  $PM_{10}$  μεταξύ των ημερών της εβδομάδας.



**B.  $PM_{2.5}$  ( 28 Μαΐου 2003-25 Ιανουαρίου 2004)**

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Διακύμανση	$F$	$F_{crit}$
Εβδομάδες	16203	29	559	4,49	1.53
Ημέρες	877	6	146	1,17	2.15
Σφάλμα	21635	174	124		
<b>Σύνολο</b>	<b>38716</b>	<b>209</b>			

Από πίνακα κρίσιμων τιμών F-ελεγχου για μονόπλευρο έλεγχο, σε στάθμη σημαντικότητας 5%:

$$F_{0.05} (29,174) = 1.53 \text{ και } F_{0.05} (6,174) = 2.15.$$

- Απόφαση:

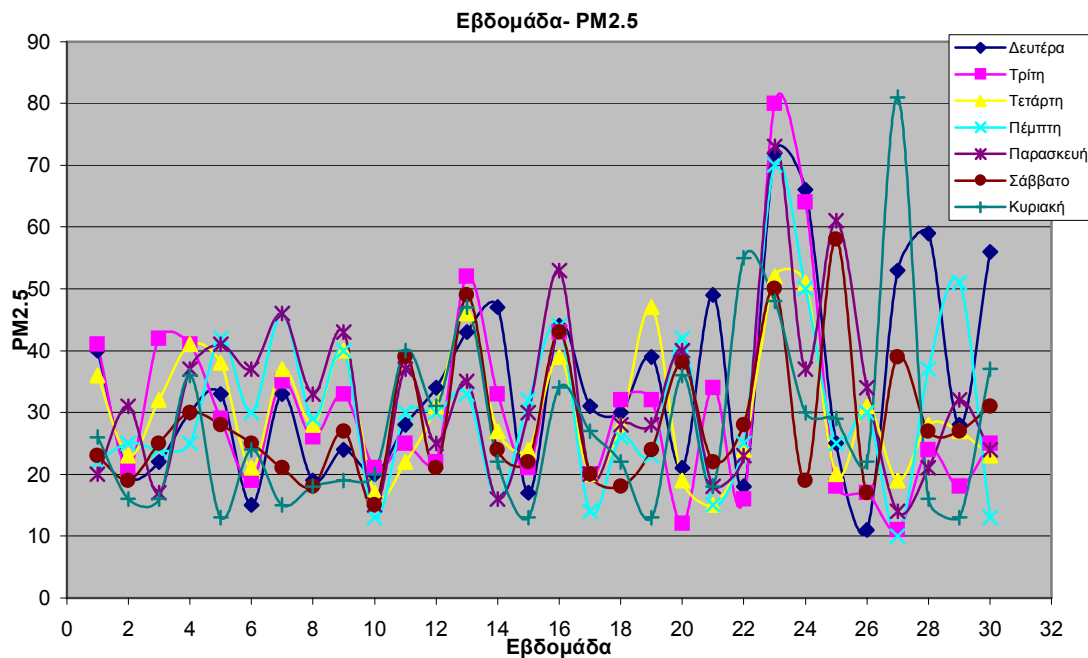
α) Αφού  $F > F_{0.05}$  απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση.

β) Αφού  $F < F_{0.05}$  δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση.

- Συμπέρασμα:

Επομένως υπάρχει διαφορά στις τιμές των  $PM_{2.5}$  μεταξύ των εβδομάδων αλλά δεν υπάρχει ένδειξη για διαφορά στις τιμές των  $PM_{2.5}$  μεταξύ των ημερών της εβδομάδας.



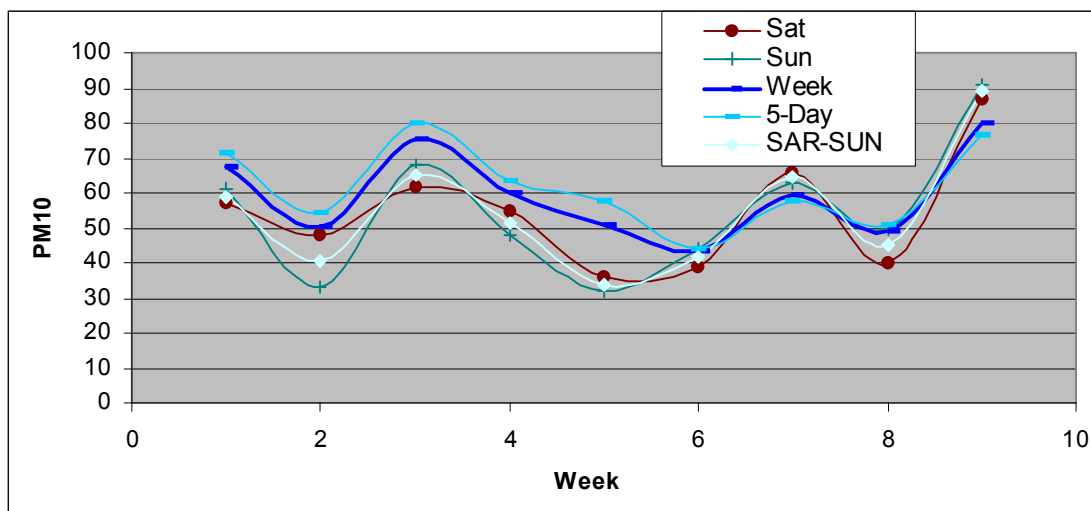


### 7.8 Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ της μέσης τιμής εβδομάδας, μέση τιμή πενθημέρου, μέση τιμή Σαββατοκύριακων.

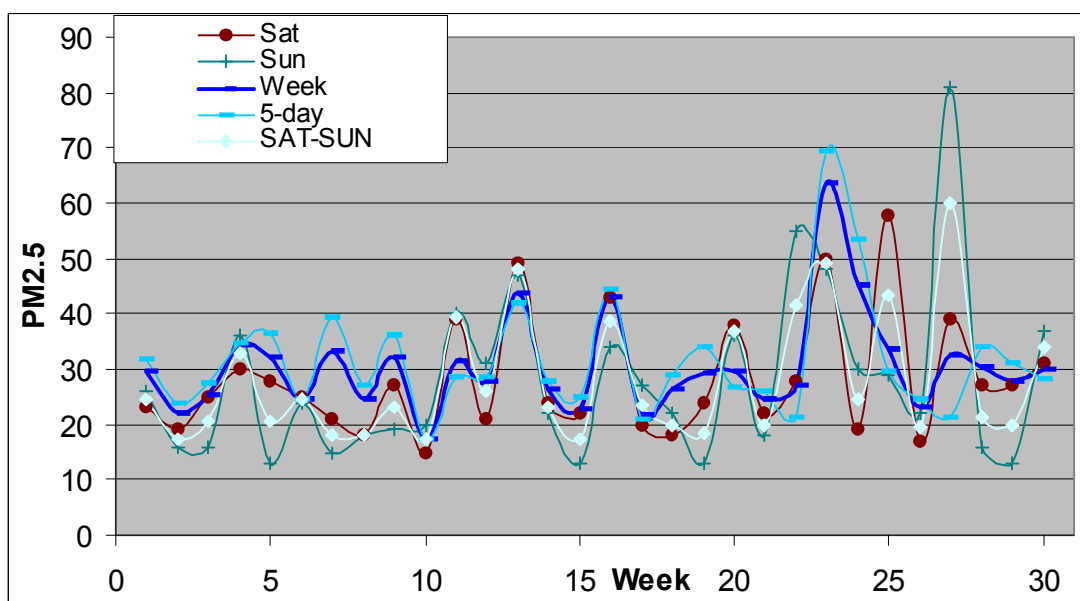
Για τον έλεγχο της συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson. Ο συντελεστής αυτός λαμβάνει οποιαδήποτε τιμή από  $-1$  έως  $1$ . Η τιμή  $1$  σημαίνει ιδανική, θετική συσχέτιση, η τιμή  $-1$  σημαίνει ιδανική, αρνητική συσχέτιση και η μηδενική τιμή σημαίνει ουδεμία συσχέτιση.

$$R = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μέση τιμή εβδομάδας, μέση τιμή πενθημέρου, μέση τιμή σαββατοκύριακου, Σάββατο και Κυριακή για τα αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{10}$



Παρακάτω παρουσιάζεται το ίδιο διάγραμμα για τα  $PM_{2.5}$



Χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Pearson για εύρεση καλύτερης συσχέτισης και βρέθηκε ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ της μέσης τιμής εβδομάδας και πενθημέρου καθώς και μέση τιμής σαββατοκύριακου με την Κυριακή. Οι συντελεστές για το  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  δίνονται παρακάτω.

	$PM_{10}$	$PM_{2.5}$
<i>5day-Week</i>	<i>0.9669</i>	<i>0.9351</i>
<i>SatSun-Sun</i>	<i>0.9799</i>	<i>0.9204</i>

### 7.9 Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ , $PM_{10-2.5}$ και των μετεωρολογικών δεδομένων

Για τον έλεγχο της συσχέτισης μεταξύ της χρονοσειράς των  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10-2.5}$  και των μετεωρολογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson.

Με εφαρμογή του συντελεστή συσχέτισης για την περίοδο 28 Μαΐου-4 Σεπτεμβρίου 2003 βρέθηκαν οι παρακάτω τιμές.

$PM_{10}$	T	RH	WS
63	0,3146	0,1337	-0,7236
$PM_{2.5}$			
29	0,3878	0,1143	-0,7468
$PM_{10-2.5}$			
33	0,2015	0,1281	-0,5856

#### Συμπεράσματα:

Οι μέσες ημερήσιες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με την ταχύτητα του αέρα. Επομένως όταν υπάρχει άπνοια, τότε η καθίζηση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγάλη.

### 7.10 Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ , $PM_{10-2.5}$ και των μετρήσεων άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων

Με εφαρμογή του συντελεστή συσχέτισης βγαίνουν τα παρακάτω συμπεράσματα.

PM10	CO	SO2	NO	NOx
63	0,8881	0,3780	0,8138	0,8609
PM2.5				
29	0,7455	0,5062	0,7487	0,7789
PM10-2.5				
33	0,8628	0,2082	0,7354	0,7889

#### Συμπεράσματα

##### A. CO

Παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση των ρύπων CO με τα αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{10}$ ,  $PM_{10-2.5}$ ,  $PM_{2.5}$ . Το CO είναι πρωτογενής ρύπος και παράγεται σχεδόν αποκλειστικά από εκπομπές οχημάτων. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO έχει σαν συνέπεια την αύξηση της τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων.

##### Γ. SO<sub>2</sub>

Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{2.5}$  και του  $SO_2$  ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριος-Δεκέμβριος-Ιανουάριος) όπου υπάρχει η λειτουργία των καυστήρων της κεντρικής θέρμανσης. Οι τιμές συσχέτισης για τους αντίστοιχους μήνες του χειμώνα είναι 0.83-0.77-0.73. Το  $SO_2$  είναι πρωτογενής ρύπος και σχεδόν το σύνολο προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων.

#### 4. Οξείδια του αζώτου (NO, NO<sub>x</sub>)

Υπάρχει θετική συσχέτιση των ρύπων NO και NO<sub>x</sub> με τα PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>. Όταν αυξάνονται οι ρύποι αυτοί, αυξάνονται και τα αιωρούμενα σωματίδια.

Παρά τις διαφορετικές χημικές δράσεις και περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι ρύποι NO και NO<sub>2</sub>, μελετώνται μαζί. Το NO είναι πρωτογενής ρύπος και σχηματίζεται από το άζωτο που περιέχεται στα καύσιμα. Το NO<sub>2</sub> είναι δευτερογενής ρύπος και δημιουργείται από την απορρόφηση κυανής και υπεριώδης ακτινοβολίας <420nm και απασυντίθεται σε NO και O<sub>3</sub>. Το NO<sub>x</sub> θεωρείται δείκτης εκπομπής (αυτοκίνητα, κεντρική θέρμανση)

### **7.11 Παραδείγματα αύξησης της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων**

#### **7.11.1 Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων**

Στο παρακάτω παράδειγμα φαίνεται ότι 16-27 Νοεμβρίου 2003, η ταχύτητα του αέρα ήταν μεταξύ 1.1-1.5 m/sec. Σε αυτό το διάστημα οι συγκεντρώσεις των PM<sub>2.5</sub> ήταν υψηλές. Εκείνες τις ημέρες εμφάνισε αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης των PM<sub>2.5</sub> την Κυριακή. Η αύξηση αυτή των τιμών οφείλεται στην άπνοια εκείνων των ημερών

Day	Date	PM <sub>2.5</sub>	T	RH	WS	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>
Σάββατο	15/11/2003	28	15,1	72	3,4		2,2	8	44
Κυριακή	16/11/2003	55	16,1	71	1,4		4,0	13	103
Δευτέρα	17/11/2003	72	17,5	80	1,3		4,8	13	213
Τρίτη	18/11/2003	80	19,2	82	1,2		7,1	15	316
Τετάρτη	19/11/2003	52	18,9	69	1,4		6,2	15	206
Πέμπτη	20/11/2003	70	18,5	82	1,2		6,8	12	227
Παρασκευή	21/11/2003	73	18,3	85	1,1		7,2	12	243
Σάββατο	22/11/2003	50	18,7	86	1,3		4,9	9	134
Κυριακή	23/11/2003	48	18,6	87	1,2		4,5	8	89
Δευτέρα	24/11/2003	66	18,0	81	1,5		4,7	9	126
Τρίτη	25/11/2003	64	18,1	82	1,4		4,6	8	99
Τετάρτη	26/11/2003	51	18,2	83	1,4		3,8	8	62
Πέμπτη	27/11/2003	50	18,1	87	1,3		4,1	8	91
Παρασκευή	28/11/2003	37	19,2	86	2,2		3,8	9	141
Σάββατο	29/11/2003	19	19,9	85	3,4		2,9	6	30

Χαμηλότερες τιμές στην ταχύτητα παρουσίασε και 13-14 Ιανουαρίου 2004. Παρατηρείται ότι οι τιμές των  $PM_{2.5}$  αυξήθηκαν. Και σε αυτή την περίπτωση η αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης οφείλεται στην άπνοια των ημερών.

Day	Date	$PM_{2.5}$	T	RH	WS	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	
Δευτέρα	12/1/2004	49	10,5	63	2,1		4,7	16	155	224
Τρίτη	13/1/2004	98	11,9	85	1,0		7,4	27	412	494
Τετάρτη	14/1/2004	92	15,5	85	1,4		7,9	28	423	503
Πέμπτη	15/1/2004	59	15,9	83	2,1		6,5	21	222	286

Στις 23 Δεκεμβρίου 2003, η ταχύτητα του αέρα ήταν 7.4m/sec. Εκείνη την ημέρα παρουσίασε χαμηλή 24ωρη συγκέντρωση των  $PM_{2.5}$ (11 $\mu$ g/m<sup>3</sup>).

Day	Date	$PM_{2.5}$	T	RH	WS	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	
Δευτέρα	22/12/2003	53	15,0	78	2,9		5,5	19	256	330
Τρίτη	23/12/2003	11	15,2	91	7,4		1,3	8	13	68
Τετάρτη	24/12/2003	19	12,7	93	3,4		2,5	10	83	136

### 7.11.2 Επίδραση ρύπων

Ημερομηνίες που παρουσίασαν υψηλές μέση 24ωρες μετρήσεις των  $PM_{2.5}$ , εξαιτίας της αύξησης των NO<sub>x</sub> ήταν 16-19 Ιουνίου 2003. Παρόλο που η ταχύτητα του αέρα δεν είναι χαμηλή παρουσιάζει αύξηση στις μέσες 24ωρες μετρήσεις των  $PM_{2.5}$ .

Day	Date	$PM_{2.5}$	T	RH	WS	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	
Δευτέρα	16/6/2003	22	31,9	35	4,1		1,1	3	12	72
Τρίτη	17/6/2003	42	29,9	51	2,2		2,7	3	27	108
Τετάρτη	18/6/2003	32	29,2	46	3,1		1,8	4	23	106
Πέμπτη	19/6/2003	24	27,0	41	3,0		2,8	6	16	97

Το ίδιο συμβαίνει και στις 9-13 Δεκεμβρίου 2003

Day	Date	$PM_{2.5}$	T	RH	WS	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	
Τρίτη	9/12/2003	17	10,6	74	4,5		1,5	5	29	82
Τετάρτη	10/12/2003	31	11,3	82	3,2		2,6	8	66	118
Πέμπτη	11/12/2003	30	12,7	86	2,8		3,0	10	82	135
Παρασκευή	12/12/2003	34	13,7	90	2,6		2,9	11	83	136
Σάββατο	13/12/2003	17	15,1	88	5,5		1,3	8	12	59

23-31 Ιανουαρίου 2004, η συγκέντρωση των SO<sub>2</sub> ήταν υψηλή λόγω της παγωνιάς των προηγούμενων ημερών. Η συγκέντρωση των μέσων 24 ωρων μετρήσεων των PM<sub>2.5</sub> ήταν επίσης υψηλές λόγω της λειτουργίας των καυστήρων.

Day	Date	PM <sub>2.5</sub>	T	RH	WS	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	
Παρασκευή	23/1/2004	24	1,4	60	4,2		2,4	5	35	97
Σάββατο	24/1/2004	31	2,0	51	2,4		2,8	15	40	111
Κυριακή	25/1/2004	37	3,9	62	2,6		2,9	10	48	112
Δευτέρα	26/1/2004	54	6,9	66	2,0		3,6	17	133	210
Τρίτη	27/1/2004	59	10,8	78	2,4		4,6	21	167	242
Τετάρτη	28/1/2004	15	16,7	78	7,7		2,0	13	11	69
Πέμπτη	29/1/2001	19	14,6	78	5,8		2,8	11	29	88
Παρασκευή	30/1/2004	25	11,4	73	2,8		3,6	12	84	155
Σάββατο	31/1/2004	20	8,7	70	4,6		2,3	8	23	84

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 8.1 Σχολιασμός χρονοσειρών $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ & $PM_{10-2.5}$

- Στο Κεφάλαιο 7.2 βρέθηκε ότι η μέση τιμή 24ωρων συγκεντρώσεων των  $PM_{10}$  ήταν  $63\mu\text{g}/\text{m}^3$  με σφάλμα 3.8 και για τα  $PM_{2.5}$  ήταν 31 με σφάλμα 1.9 για το διάστημα που εξετάστηκε.
- Λόγω του μικρού διαστήματος δειγματοληψίας δεν μπορούμε να βγάλουμε σαφή συμπεράσματα αν ξεπέρασαν τα όρια που έθεσε η US-EPA. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  υπερβαίνουν τα όρια που τίθενται στα πρότυπα ποιότητας US-EPA και η Ευρωπαϊκή θυγατρική οδηγία-πλαίσιο για το χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας.
- Τα αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{10}$  απαρτίζονται κατά 53.4% από τα  $PM_{10-2.5}$  και 46.6% από τα  $PM_{2.5}$ .
- Έγινε εξομάλυνση των χρονοσειρών με εφαρμογή του τυχαίου μοντέλου.
- Η χρονοσειρά  $PM_{10}$  παρουσιάζει καλή συσχέτιση με τις άλλες δύο χρονοσειρές.
- Με εφαρμογή του μοντέλου Anova Two βρέθηκε καλή συσχέτιση μεταξύ των ημερών της εβδομάδας, όχι όμως μεταξύ των εβδομάδων



- Με εφαρμογή του συντελεστή Pearson βρέθηκε καλή συσχέτιση μεταξύ της μέσης τιμής εβδομάδας και πενθημέρου καθώς και μέση τιμής σαββατοκύριακου με την Κυριακή.
- Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Τις ημέρες όπου έχει άπνοια οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγάλη.
- Στους χειμερινούς μήνες υπάρχει αύξηση της συσχέτισης των λεπτόκκοκων αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{2.5}$  με τις συγκεντρώσεις των  $SO_2$  λόγω της λειτουργίας των καυστήρων της κεντρικής θέρμανσης.
- Με αύξηση των ρύπων  $NO, NO_x$ , υπάρχει αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

## **8.2 Εφαρμογή πολιτικών αντιμετώπισης των ρύπων.**

Για τα ελληνικά δεδομένα δεν είναι δυνατό να τεθούν πολιτικές αντιμετώπισης για τον έλεγχο στο σημείο παραγωγής των αυτοκινήτων αφού η Ελλάδα δεν έχει αυτοκινητοβιομηχανία. Όμως στο παρελθόν, εφάρμοσε πρόγραμμα ανανέωσης του στόλου των οχημάτων της με οχήματα πιο αυστηρών προδιαγραφών στις εκπομπές (καταλυτικά). Αυτό το πέτυχε με την ενθάρυνση των καταναλωτών για αγορά νέων καινούργιων καταλυτικών οχημάτων και την απόσυρση οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας.

Έγινε εφαρμογή προγράμματος για εφοδιασμό στην αγορά με αμόλυβδη βενζίνη για να προστατέψει τους καταλυτικούς μετατροπείς των οχημάτων.

Εφαρμόστηκε και το μέτρο της ελεγχόμενης στάθμευσης. Με αυτό το τρόπο απενθάρρυναν τους κατοίκους να μετακινούνται με τα οχήματά τους και να χρησιμοποιούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς.

Επίσης εφαρμόζεται πρόγραμμα για ενθάρυνση συντήρησης αυτοκινήτων με εφαρμογή της κάρτας καυσίμων και εφαρμογή προστίμων στην μη συντήρηση των αυτοκινήτων.

Αντιμετώπιση του κυκλοφοριακού προβλήματος δεν νοείται χωρίς την προσφορά στο κοινό αξιόπιστων, άνετων, ουσιαστικά αναβαθμισμένων και συνδυαζόμενων μεταξύ τους Μέσων Μαζικών Μεταφορών, οδικών και σταθερής τροχιάς. Σταθμοί μετεπιβίβασης και χώροι στάθμευσης σε σημεία ανταπόκρισης οδικών και σταθερής τροχιάς Μέσων Μαζικών Μεταφοράς ενθαρρύνουν τη χρήση τους. Τα ταξί πρέπει να αποκτήσουν το ρόλο τους ως συμπληρωματικού μέσου μεταφοράς και όχι ως ανταγωνιστικού μέσου μεταφοράς. Αυτό πετυχαίνεται με αύξηση κομίστρου.

Η ολοκλήρωση των κυκλοφοριακών/οδικών έργων συμβάλουν στη γεωγραφική διασπορά του κυκλοφοριακού φόρτου.

Η απομάκρυνση Δημόσιων Υπηρεσιών από το κέντρο της πόλης και η μετεγκατάσταση βιομηχανικών/βιοτεχνικών κλάδων σε οργανωμένους χώρους μπορούν να συμβάλουν στην ανακούφιση του κέντρου της πόλης.

Η αναμόρφωση του Ελαιώνα, η ολοκλήρωση της ενοποίησης των αρχαιολογικών χώρων, η αξιοποίηση στρατοπέδων για τη δημιουργία χώρων πρασίνου και η ολοκλήρωση της δημιουργίας περιαστικού πρασίνου και της προστασίας των ορεινών όγκων της περιοχής μπορούν να συμβάλουν και στη διαμόρφωση ευνοϊκότερων συνθηκών διασποράς των ρύπων (συμβολή στην εμφάνιση λιγότερο έντονων θερμοκρασιακών αναστροφών).