

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΩΡΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΜΠΑΚΑΛΩΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΓΚΟΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου κ. Κούγκολο Αθανάσιο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ανάθεση αυτού του πολύ ενδιαφέροντος θέματος, την καθοδήγησή του και τις συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επιπροσθέτως, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Πρώϊα Γεώργιο, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και μέλος της Γραμματείας του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την βιβλιογραφική βοήθεια που μου παρείχε και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ήταν πάντα διαθέσιμος να ασχοληθεί με κάθε απορία μου, εντός των πλαισίων της παρούσας εργασίας, και είναι αυτός που μου δάνεισε το όργανο για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, χωρίς τα αποτελέσματα των οποίων θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, αισθάνομαι την ιδιαίτερη ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, υλικά, πνευματικά και ψυχικά και συνέβαλε τα μέγιστα για την ολοκλήρωση αυτών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους βασικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους που υποβαθμίζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας των μεγάλων αστικών κέντρων και προκαλούν προβλήματα τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στη πόλη του Βόλου, όπου εντοπίζεται αυξημένο το πρόβλημα τις ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω των μορφολογικών χαρακτηριστικών της πόλης και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η χωρική συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των δέκα μικρομέτρων (PM_{10}) ύστερα από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα σημεία της πόλης του Βόλου για το χρονικό διάστημα 2/12/2013-15/12/2013. Από τη βιβλιογραφική μελέτη και την ανάλυση των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων οφείλεται κυρίως σε ανθρωπογενείς πηγές όπως είναι τα οχήματα και η θέρμανση. Επίσης, από την επεξεργασία και ανάλυση των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι: α) οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) είναι υψηλότερες τις απογευματινές ώρες σε σχέση με τις πρωινές ώρες, β) οι τιμές των σωματιδίων είναι υψηλότερες στο κέντρο της πόλης και γ) κατά την επικράτηση βορειοδυτικών ανέμων ή άπνοιας παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις PM_{10} καθώς και δημιουργία αιθαλομίχλης. Είναι αναγκαίο λοιπόν να ληφθούν μέτρα για τη μείωση των συγκεντρώσεων PM_{10} στη πόλη του Βόλου διασφαλίζοντας την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

Λέξεις κλειδιά: ατμοσφαιρική ρύπανση, αιωρούμενα σωματίδια, PM_{10} , Βόλος, χωρική συμπεριφορά

ABSTRACT

Particulate matters are one of the main atmospheric pollutants that degrade the quality of atmosphere of big urban centers and cause problems to both environment and human health. This thesis focused on the statistical analysis of concentrations of particulate matters in the city of Volos, where the problem of air pollution is increased due to morphological characteristics of the city and anthropogenic activities. More specifically, examined the spatial behavior of particulate matters with aerodynamic diameter less than ten micrometers (PM_{10}) after measurements that were realised in various points of the city of Volos for the period 2/12/2013-15/12/2013. By the bibliographic study and the analysis of measurements it was realised that the presence of particulate matters is owed mainly in anthropogenic sources as are the vehicles and the heating. Also, by the treatment and analysis of measurements it was realised that: a) the concentrations of particulate matters (PM_{10}) are higher the afternoon hours concerning morning hours, b) the prices of particles are higher in the centre of city and c) at the predominance of north-western winds or breathlessness are observed increased concentrations of PM_{10} and creation of smog. Therefore it is necessary to be taken meters to reduce concentrations of PM_{10} in the city of Volos ensuring the protection of environment and human health.

Keywords: air pollution, particulate matter, PM_{10} , Volos, spatial behavior

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
Α' ΜΕΡΟΣ.....	10
1. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	11
2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	14
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	14
2.2 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	14
2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	15
2.4 ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	19
3. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	27
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	27
3.2.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	27
3.2.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ.....	28
3.2.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	30
3.2.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΤΟΥΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	31
3.2.5 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ	32
3.3 ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	33
3.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	34
3.5 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	38
3.5.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	38
3.5.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ.....	40
3.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	41
3.7 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	42

3.7.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	45
3.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	46
3.8.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	46
3.8.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	49
3.8.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ.....	50
3.8.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ	51
3.8.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	52
4. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	53
4.1 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ.....	53
4.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	56
4.3 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	59
4.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	60
Β' ΜΕΡΟΣ.....	63
5. Η ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ.....	64
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	64
5.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	64
5.3 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	66
6. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ.....	74
6.1 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	74
6.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΙΜΩΝ.....	80
6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
7. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ	94
8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.8.1: Ικανότητα διείσδυσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σε συνάρτηση με την αεροδυναμική τους διάμετρο (Πηγή: Ρεμουντάκη, 2012).....	47
Πίνακας 4.4.1: Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM ₁₀ (Οδηγία 2008/50/ΕΚ).....	61
Πίνακας 4.4.2: Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM _{2.5} (Οδηγία 2008/50/ΕΚ).....	61
Πίνακας Π.1: Η μέση (average) τιμή των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM ₁₀) σε μg/m ³ ανά θέση και ημέρα μέτρησης, τόσο τις πρωινές όσο και τις απογευματινές ώρες, την 1 ^η εβδομάδα μετρήσεων (2/12/2013-8/12/2013) στη πόλη του Βόλου.....	98
Πίνακας Π.2: Η μέση (average) τιμή των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM ₁₀) σε μg/m ³ ανά θέση και ημέρα μέτρησης, τόσο τις πρωινές όσο και τις απογευματινές ώρες, την 2 ^η εβδομάδα μετρήσεων (9/12/2013-15/12/2013) στη πόλη του Βόλου.....	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

- Γράφημα 6.1:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 1» στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....80
- Γράφημα 6.2:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 2» στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....81
- Γράφημα 6.3:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 3» στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....82
- Γράφημα 6.4:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 4» στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....83
- Γράφημα 6.5:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 5» στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....83
- Γράφημα 6.6:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 6» στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....84
- Γράφημα 6.7:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 7» στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....85
- Γράφημα 6.8:** Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου (m/sec) και της επικρατούσας διεύθυνσης, στο κέντρο της πόλης του Βόλου, στη διάρκεια της περιόδου 2-9/12/2013.....86
- Γράφημα 6.9:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 1» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....87
- Γράφημα 6.10:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 2» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....87
- Γράφημα 6.11:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 3» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....88
- Γράφημα 6.12:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 4» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....88

- Γράφημα 6.13:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 5» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....89
- Γράφημα 6.14:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 6» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....90
- Γράφημα 6.15:** Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 7» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).....90
- Γράφημα 6.16:** Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου (m/sec) και της επικρατούσας διεύθυνσης, στο κέντρο της πόλης του Βόλου, στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013.....91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.2.2: Κατανομή του όγκου των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθός τους και τον τρόπο σχηματισμού τους (Πηγή: US EPA, 2004, Παπαζάχου, 2012).....30

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.2.5: Διεσδυτικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό (Πηγή: Διαπούλη, 2008).....32

Εικόνα 6.1: Θέσεις μέτρησης συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου (Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία).....74

Εικόνα 6.2: DUST TRAK II AEROSOL MONITOR 8530 (Πηγή: <http://www.tsi.com/>).....75

Εικόνα 6.3: Θέσεις μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου και η διαδρομή που ακολουθήθηκε την 1^η εβδομάδα των μετρήσεων (Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία).....77

Εικόνα 6.4: Θέσεις μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου και η διαδρομή που ακολουθήθηκε την 2^η εβδομάδα των μετρήσεων (Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία).....79

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

ΑΡΗΕΑ: Air Pollution and Health: A European Approach

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΠΟ: Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων

ΚΤΕΛ: Κοινά Ταμεία Εισπράξεων Λεωφορείων

ΙUΑΡΡΑ: International Union of Air Pollution Prevention Associations

PM_{2.5}: Particulate Matter ₁₀, Τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm.

PM₁₀: Particulate Matter _{2.5}, Τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2.5μm.

US EPA: United States Environmental Protection Agency

WHO: World Health Organization

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ένα σύνθετο ρύπο της ατμόσφαιρας και συνιστούν κίνδυνο τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το περιβάλλον.

Σκοπός της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι η μελέτη των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στη πόλη του Βόλου, όπου παρατηρείται συνεχώς υπέρβαση του ορίου ποιότητας της ατμόσφαιρας λόγω των μεγάλων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η χωρική συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm (PM₁₀) μέσα από στατιστική επεξεργασία και μελέτη για το χρονικό διάστημα 2/12/2013 – 15/12/2013 κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μετρήσεις σε διάφορα σημεία της πόλης του Βόλου.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από δύο μέρη. Το Α' μέρος αποτελείται από το θεωρητικό υπόβαθρο περί ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αιωρούμενων σωματιδίων. Ειδικότερα:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια μικρή αναφορά στην ατμόσφαιρα της Γης, τη δομή της και τη σημασία της για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Αναλύονται οι διαστάσεις που μπορεί να έχει η ατμοσφαιρική ρύπανση και πραγματοποιείται και μια μικρή ιστορική ανασκόπηση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο.

Το τρίτο κεφάλαιο εξειδικεύεται στα αιωρούμενα σωματίδια, τις πηγές προέλευσής τους, τις μορφές των αερολυμάτων, τη χημική τους σύσταση, στους μηχανισμούς σχηματισμού και στους μηχανισμούς απομάκρυνσής τους από την ατμόσφαιρα. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Όσον αφορά το περιβάλλον, γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις στη βλάστηση, στην ορατότητα, στο κλίμα και στα υλικά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα αιωρούμενα σωματίδια. Παρουσιάζονται οι νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) για την προστασία του περιβάλλοντος και ειδικότερα για την ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς επίσης και τα

πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας για τα αιωρούμενα σωματίδια όπως αυτά έχουν θεσπιστεί από την Ε.Ε..

Το Β' μέρος της διπλωματικής εργασίας ασχολείται με τα αιωρούμενα σωματίδια στη πόλη του Βόλου. Ειδικότερα:

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία για τη πόλη του Βόλου που αφορούν τη μορφολογία και το κλίμα της περιοχής. Επίσης παρατίθενται κάποια στοιχεία για το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης, που οφείλεται κυρίως στη παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και άλλων ρύπων στην ατμόσφαιρα της πόλης, και τις κύριες πηγές ρύπανσης όπως προκύπτουν από προγενέστερες μελέτες.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}), μέσα από γραφήματα για το χρονικό διάστημα 2/12/2013-15/12/2013 κατά το οποίο έλαβαν χώρα οι μετρήσεις σε διάφορα σημεία της πόλης του Βόλου, και παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν.

Στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται κάποιες ενδεικτικές δράσεις για τον περιορισμό των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στη πόλη του Βόλου.

Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο παρατίθενται κάποιες γενικές διαπιστώσεις που προκύπτουν μετά τη μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναφορικά με την ρύπανση της ατμόσφαιρας του Βόλου λόγω της παρουσίας αιωρούμενων σωματιδίων.

Α' ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Ατμόσφαιρα θεωρείται το μίγμα των αερίων που περικλείουν τη Γη με τη μορφή λεπτού στρώματος. Η σύσταση και η πυκνότητα του μίγματος αυτού μεταβάλλεται με το ύψος. Το ίδιο συμβαίνει και με τη θερμοκρασία (Κούγκολος, 2007).

Η γήινη ατμόσφαιρα, όπως πιστεύεται μέχρι σήμερα, δημιουργήθηκε πριν από περίπου 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια με αρχική σύνθεση το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το άζωτο (N₂), τους υδρατμούς (H₂O) και το υδρογόνο (H₂). Ύστερα από μακροχρόνιες διεργασίες μεταξύ της ξηράς, των ωκεανών και των αερίων της ατμόσφαιρας, ή σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας σταθεροποιήθηκε όπως πιστεύεται, πριν από 400 εκατομμύρια χρόνια (Λαζαρίδης, 2005).

Η σημασία της ατμόσφαιρας της Γης έγκειται στο γεγονός ότι στην παρουσία της οφείλεται η ύπαρξη ζωής, εφόσον εξαιτίας της πραγματοποιείται η απορρόφηση μεγάλου τμήματος της υπεριώδους ακτινοβολίας και η μείωση της διαφοράς των ακραίων θερμοκρασιών, που θα υπήρχαν μεταξύ ημέρας και νύχτας χωρίς αυτή. Επίσης η διαστρωμάτωση που εμφανίζει καθώς και η χημική σύστασή της είναι βασικοί παράγοντες οι οποίοι συμβάλλουν στη διατήρηση της ζωής πάνω στη Γη, καθώς περιλαμβάνει το πολύτιμο για την αναπνοή μας οξυγόνο (Μασσάρα, 2011).

Η ατμόσφαιρα είναι αόρατη, άοσμη και αποτελείται από μείγμα πολλών αερίων, γνωστός και ως ατμοσφαιρικός αέρας, ενώ η σύσταση και η πυκνότητά της μεταβάλλονται με το ύψος από την επιφάνεια της Γης. Η σύσταση της ατμόσφαιρας μέχρι το ύψος των 100km από το έδαφος είναι σταθερή. Αυτό οφείλεται στις διεργασίες της τυρβώδους ανάμειξης των συστατικών. Το στρώμα αυτό της ατμόσφαιρας ονομάζεται ομοιόσφαιρα. Σε μεγαλύτερα ύψη από τα 100km κυριαρχεί η μοριακή διάχυση και η σύσταση της ατμόσφαιρας εμφανίζει μεγάλες διαφορές από μέρος σε μέρος. Για το λόγο αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας πάνω από τα 100km ονομάζεται και ετερόσφαιρα (Κούγκολος, 2007).

Με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος, η ατμόσφαιρα χωρίζεται στα εξής στρώματα (Κούγκολος, 2007):

- Τροπόσφαιρα: Είναι το στρώμα αέρα από την επιφάνεια της γης μέχρι το ύψος των $12 \pm 4\text{km}$ ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Χαρακτηρίζεται από τη βαθμιαία ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος.
- Στρατόσφαιρα: Αρχίζει από την τροπόπαυση και φθάνει στο ύψος των 45-55km. Στα πρώτα χιλιόμετρα πάνω από την τροπόπαυση η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και στη συνέχεια αυξάνει συνεχώς μέχρι την στρατόπαυση και φθάνει στους 0°C περίπου. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στο στρώμα του όζοντος που υπάρχει στο ύψος των 25-30km.
- Μεσόσφαιρα: Είναι το ατμοσφαιρικό στρώμα που ακολουθεί μετά την στρατόπαυση και εκτείνεται μέχρι το ύψος των 80-85km όπου βρίσκεται η μεσόπαυση, η οποία είναι και η πιο ψυχρή περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας. Κύριο χαρακτηριστικό της μεσόσφαιρας είναι η απότομη πτώση της θερμοκρασίας η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στην απουσία του όζοντος.
- Θερμόσφαιρα: Εκτείνεται πάνω από τη μεσόπαυση και συνεχίζει μέχρι τα 400Km. Η θερμοκρασία αρχίζει πάλι να αυξάνεται ανάλογα με το ύψος και να φθάνουν τους 1000°C . Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας οφείλεται α) στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μήκη κύματος κάτω των 200nm, β) στην ενέργεια που εκλύεται από διάφορες εξώθερμες αντιδράσεις και γ) στην έλλειψη διεργασιών υποστήριξης.
- Εξώσφαιρα: Είναι το στρώμα μετά την θερμόπαυση όπου η ατμόσφαιρα γίνεται ισόθερμη. Η βάση της εξώσφαιρας κυμαίνεται από 400-500km και αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλιακή δραστηριότητα.
- Ιονόσφαιρα: Είναι η περιοχή της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από τα 60km και όπου γίνεται μερικός ιονισμός των ατμοσφαιρικών συστατικών. Τα ανώτερα στρώματα της μεσόσφαιρας και τα κατώτερα της θερμόσφαιρας αποτελούν την ιονόσφαιρα.

Η τροπόσφαιρα, η στρατόσφαιρα και η μεσόσφαιρα αποτελούν την ομοιόσφαιρα, ενώ η θερμόσφαιρα και η εξώσφαιρα αποτελούν την ετερόσφαιρα (Λαζαρίδης, 2005).

Τα σημεία στα οποία τα στρώματα της ατμόσφαιρας μεταβαίνουν από το ένα στο άλλο δεν είναι απλά διαφορετικές επιφάνειες που διαχωρίζουν τα ατμοσφαιρικά στρώματα, αλλά στην πραγματικότητα είναι μεταβατικές ζώνες αρκετού πάχους που ονομάζονται παύσεις (τροπόπαυση, στρατόπαυση, μεσόπαυση, θερμόπαυση) (Λαζαρίδης, 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένας ευρύς όρος, ο οποίος χρησιμοποιείται για διάφορους παράγοντες οι οποίοι αλλοιώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας και έχουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Υπάρχουν πολυάριθμοι και ποικίλοι ορισμοί σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ένας από αυτούς είναι και ο ορισμός που δίνει ο Καραθανάσης (2006), ο οποίος ορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση ως την κατάσταση εκείνη κατά την οποία υπάρχουν στην ατμόσφαιρα ουσίες (ρύποι) σε αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις από τα φυσιολογικά επίπεδα του περιβάλλοντος, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν μετρήσιμα αποτελέσματα στον άνθρωπο, στα ζώα, στη βλάστηση και στα υλικά. Ο όρος ουσίες αφορά κάθε φυσική ή ανθρωπογενή χημική ένωση ή χημικό στοιχείο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε αέρια, υγρή ή στερεή μορφή.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι δηλαδή κατά μία έννοια η προσθήκη κάθε υλικού στην ατμόσφαιρα που μας περιβάλλει, η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα τη δηλητηρίαση της ζωής πάνω στον πλανήτη (Ζάνης, 2008).

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες (έδαφος, ηφαίστεια, πυρκαγιές κ.ά.) όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (θέρμανση, βιομηχανία, μέσα μεταφοράς κ.λπ.). Υπάρχουν όμως και έκτακτα φαινόμενα ρύπανσης της ατμόσφαιρας όπως οι καπνομίχλες (καπνομίχλη τύπου Λονδίνου), η φωτοχημική ρύπανση (φωτοχημική ομίχλη τύπου Λος Άντζελες), η όξινη βροχή και περιπτώσεις ρύπανσης της ατμόσφαιρας από ατυχήματα όπως για παράδειγμα η περίπτωση του Τσερνομπίλ (Κούγκολος, 2007).

2.2 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για τη μελέτη του προβλήματος της ρύπανσης, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν οι διαστάσεις που μπορούν να πάρουν οι διάφορες μορφές ρύπανσης. Όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση, οι διαστάσεις της μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής σε (Κούγκολος, 2007):

- Φαινόμενα με παγκόσμια διάσταση: Χαρακτηριστικά τέτοια φαινόμενα είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η αραίωση του στρώματος του όζοντος.
- Φαινόμενα με διεθνείς – διακρατικές διαστάσεις: Χαρακτηριστικό τέτοιο φαινόμενο είναι η όξινη βροχή.
- Φαινόμενα με τοπικές – περιφερειακές διαστάσεις: Χαρακτηριστικά τέτοια φαινόμενα είναι οι καπνομίχλες. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν διαχωριστούν σε φαινόμενα τοπικής κλίμακας όταν η ακτίνα επιρροής είναι ως 5km, σε φαινόμενα αστικής κλίμακας όταν η ακτίνα επιρροής είναι ως 50km και φαινόμενα περιφερειακής κλίμακας όταν η ακτίνα επιρροής είναι μεγαλύτερη από 50km.
- Ρύπανση εργασιακού χώρου (εσωτερικού συνήθως).
- Ρύπανση οικιακού χώρου.

Σύμφωνα με τον Γεντεκάκη (2010) το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ανάλογα την κλιμάκωση του μεγέθους των φαινομένων ρύπανσης, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί και ως εξής:

Μικροκλίμακα: πρόκειται για φαινόμενα που συμβαίνουν σε έκταση έως 100m.

Μεσοκλίμακα: αφορά φαινόμενα που εκτείνονται σε έκταση από δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιόμετρα.

Συνοπτική κλίμακα: φαινόμενα που καλύπτουν έκταση εκατοντάδων έως χιλιάδων χιλιομέτρων.

Παγκόσμια κλίμακα: περιλαμβάνει φαινόμενα που συμβαίνουν σε έκταση μεγαλύτερη των $5 \cdot 10^3$ km.

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ρύπανση του περιβάλλοντος δεν είναι ένα φαινόμενο μόνο της εποχής μας. Αντιθέτως, παρουσιάζει μια μακρά ιστορία. Ο άνθρωπος από τις πρώτες στιγμές της ύπαρξής του ρυπαίνει την ατμόσφαιρα. Ένας από τους λόγους που ανάγκασαν τους ανθρώπους να ζουν ως νομάδες, ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται από τη δυσσομία την οποία δημιουργούσαν τα απορρίμματα των ζώων και των ανθρώπων. Όταν οι άνθρωποι έμαθαν

τη φωτιά, τη χρησιμοποιούσαν για χιλιάδες χρόνια με λανθασμένο τρόπο, καταπνίγοντας τους χώρους διαβίωσής τους με παράγωγα ατελούς καύσης. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανακάλυψη της καμινάδας, η οποία βοήθησε στην απομάκρυνση των προϊόντων καύσης τουλάχιστον από τους χώρους διαβίωσης (Μελάς, 2007). Υπάρχουν αναφορές από πολύ παλιά που κάνουν λόγο για τις δυσάρεστες καταστάσεις εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Από τον 4^ο αιώνα π.Χ. ακόμα, ο Ιπποκράτης ήταν ο πρώτος που έγραψε για τα επιδημικά φαινόμενα και τις καιρικές συνθήκες και συσχέτισε την υγιεινή των πόλεων με τον προσανατολισμό τους και τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες. Ο Ρωμαίος φιλόσοφος Σενέκας περιγράφει την κατάσταση της ατμόσφαιρας της Ρώμης την οποία επιβάρυναν οι καπνοδόχοι το 61 μ.Χ. (Ζάνης, 2008).

Οι πρώτες βιομηχανίες που συνδέθηκαν με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους αιώνες που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, ήταν η μεταλλουργία, η κεραμοποιία και η συντήρηση διάφορων ζωικών προϊόντων. Ακόμα διεργασίες εξόρυξης πολύτιμων λίθων ή το ψήσιμο του πηλού για την παρασκευή οικιακών συσκευών και τούβλων, συμπεριλαμβάνονται στις βασικότερες ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων (Γεντεκάκης, 2010).

Κατά τη βιομηχανική επανάσταση (19^{ος} αιώνας), το βασικότερο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν ο καπνός και η στάχτη από την καύση κάρβουνου ή πετρελαίου, που άρχισαν να χρησιμοποιούνται εντατικά για την παραγωγή ενέργειας, σε καυστήρες, φούρνους, τρένα, πλοία και στις οικιακές εστίες θέρμανσης. Η Μεγάλη Βρετανία, έχοντας και το μεγαλύτερο πρόβλημα στο Λονδίνο, πήρε την πρωτοβουλία να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης επιβάλλοντας τρόπους ελέγχου της ρύπανσης όπως επιβεβαιώνεται από την πρώτη Δράση Δημόσιας Υγείας το 1848 και τις επόμενες δύο το 1866 και το 1875 όταν συνέβη το πρώτο σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης που είχε σαν αποτέλεσμα αρκετούς θανάτους ανθρώπων και ζώων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η μείωση του καπνού θεωρήθηκε εθνική ευθύνη. Οι πρώτοι εθνικοί νόμοι και κανόνες για τον περιορισμό της εκπομπής καπνού εμφανίζονται το 1880 και απευθύνονταν κυρίως στις βιομηχανικές και τις κινητές πηγές παρά στις οικιακές (Ζάνης, 2008).

Κατά την περίοδο 1900 – 1925 υπήρξαν μεγάλες αλλαγές στην τεχνολογία αλλά και στην παραγωγή ρύπων. Μια βασική εξέλιξη που επηρέασε άμεσα το ρυθμό και τον βαθμό ρύπανσης ήταν η αντικατάσταση της ατμομηχανής με τον ηλεκτρικό κινητήρα. Παράλληλα αναπτύχθηκαν διεργασίες ελέγχου των ρύπων αν και δεν είχαν ακόμα θεσπιστεί σοβαρά νομοθετικά μέτρα. Μια άλλη βασική εξέλιξη εκείνης της εποχής ήταν η αντικατάσταση του άνθρακα από πετρέλαιο σε πολλές εφαρμογές αλλά κυρίως η ξαφνική αύξηση των αυτοκινήτων που είχε ως συνέπεια την ραγδαία επιδείνωση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις (Ζάνης, 2008). Ωστόσο, κατά την περίοδο αυτή σημειώθηκαν σημαντικές τεχνολογικές αλλαγές στην ανάπτυξη της Μηχανικής με σκοπό τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως (Γεντεκάκης, 2010):

- Η βελτίωση συσκευών επεξεργασίας των καυσαερίων στην έξοδο των πηγών.
- Η ανακάλυψη του ηλεκτροστατικού φίλτρου (electrostatic precipitator, ESP) από τον F.G. Cottrell.
- Η ανάπτυξη της Χημικής Μηχανικής στον τομέα της ανάλυσης, του σχεδιασμού και ελέγχου των διεργασιών.

Κατά την περίοδο 1925 – 1950 προέκυψαν σοβαρά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά παράλληλα αναπτύχθηκαν και μέθοδοι αντιμετώπισής τους. Τα πιο σοβαρά επεισόδια αέριας ρύπανσης που έλαβαν χώρα εκείνη την περίοδο ήταν στο Meuse Valley του Βελγίου το 1930 όπου σημειώθηκαν 63 θάνατοι, στην Donora της Πενσυλβάνια το 1948 με 20 νεκρούς και στη Poza Rica του Μεξικού το 1950 με 22 νεκρούς. Το 1940 εμφανίζεται για πρώτη φορά στο Λος Άντζελες το φωτοχημικό νέφος το οποίο αργότερα παρατηρήθηκε σε αρκετές μεγαλουπόλεις του κόσμου. Ένα σοβαρό τεχνολογικό άλμα της περιόδου αυτής ήταν η εγκατάσταση αγωγών φυσικού αερίου που οδήγησε στην ραγδαία αντικατάσταση του κάρβουνου και του πετρελαίου που χρησιμοποιούνταν για την οικιακή θέρμανση με πολύ καλά αποτελέσματα στην ποιότητα του αέρα (Γεντεκάκης, 2010).

Κατά την περίοδο 1950 – 1980, το σοβαρότερο επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης έλαβε χώρα στο Λονδίνο το 1952 όπου σημειώθηκαν 4000 θάνατοι. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η Αγγλία να οδηγηθεί στην ψήφιση του νόμου Clean Air Act το 1956 προκειμένου να μειώσει τις εκπομπές ρύπων. Ωστόσο ακολούθησε ένα ακόμα πιο σοβαρό επεισόδιο καπνομίχλης στο Λονδίνο το 1962 με 7000 νεκρούς. Κατά την περίοδο αυτή οι

μεγαλουπόλεις όλων σχεδόν των Ευρωπαϊκών χωρών καθώς επίσης στην Ιαπωνία, στην Αυστραλία και στη Νέα Ζηλανδία αντιμετώπισαν σοβαρά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης με αποτέλεσμα να προβούν στη θέσπιση εθνικής νομοθεσία για τον έλεγχο της. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το πρόβλημα του φωτοχημικού νέφους στο Λος Άντζελες επιδεινώθηκε και εμφανίστηκε και σε άλλες μεγάλες πόλεις (Σικάγο, Λας Βέγκας). Για το λόγο αυτό, το 1955 θεσπίστηκε η πρώτη ομοσπονδιακή νομοθεσία για την ατμοσφαιρική ρύπανση παρέχοντας ομοσπονδιακή υποστήριξη, εκπαίδευση και τεχνική βοήθεια για έρευνα στο θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Ζάνης, 2008). Το 1964 ιδρύθηκε η διεθνής οργάνωση για την πρόσληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (IUAPPA: the International Union of Air Pollution Prevention Associations). Κατά τη διάρκεια των 30 αυτών χρόνων αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν μαθηματικά μοντέλα για την πρόβλεψη τη εξέλιξης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της επίδρασής της στα καιρικά φαινόμενα, με το τεχνολογικό ενδιαφέρον να επικεντρώνεται κυρίως (Γεντεκάκης, 2010):

- Στην ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τα αυτοκίνητα και τον έλεγχο της.
- Στον έλεγχο αερίων που εκλύονται από σταθερές πηγές.
- Στην αποθείωση των καυσίμων.
- Στον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου που παράγονται από διεργασίες καύσης.

Κατά το δεκαετία 1980 – 1990 γίνεται κατανοητό ότι το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν είναι τοπικό αλλά παγκόσμιο πρόβλημα. Άρχισε λοιπόν να αναπτύσσεται η οικολογική και περιβαλλοντική συνείδηση και έγιναν προσπάθειες ουσιαστικής προσέγγισης του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Από πλευράς διοργάνωσης, η προσέγγιση αυτή πήρε μορφή με την ανάπτυξη οργανισμών καθώς επίσης και μέσω της ίδρυσης υπουργείων για το περιβάλλον σε όλον τον κόσμο. Επίσης άρχισε να οργανώνεται και η περιβαλλοντική εκπαίδευση στα εκπαιδευτικά συστήματα πολλών κρατών, ενώ από τεχνολογική άποψη άρχισαν να αναπτύσσονται, να εξειδικεύονται και να εφαρμόζονται μονάδες και συσκευές ελέγχου της ρύπανσης κατευθείαν στις πηγές της. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής δόθηκε για πρώτη φορά ιδιαίτερη έμφαση στα προβλήματα του φαινομένου του θερμοκηπίου, της μείωσης του στρώματος του όζοντος της τροπόσφαιρα, της μεταφοράς της ρύπανσης με μεγάλες αποστάσεις και της όξινης βροχής. Σημαντικοί

σταθμοί στη περίοδο αυτή είναι η δημιουργία παγκόσμιας ένωσης για το περιβάλλον και την ανάπτυξη το 1983 από τα Ηνωμένα Έθνη και το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το 1987 όπου τα κράτη μέλη του ΟΗΕ κατέληξαν σε μια διεθνή συνθήκη για την αντιμετώπιση της καταστροφής του ατμοσφαιρικού όζοντος (Γεντεκάκης, 2010).

Από το 1990 μέχρι σήμερα η διεθνής κοινότητα δείχνει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τις κλιματικές αλλαγές ως συνέπεια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Άρχισαν να λειτουργούν σε όλο τον κόσμο συστήματα για την ποιότητα του αέρα με την υποστήριξη μεγάλης ποικιλίας οργάνων για την μέτρηση των ρύπων. Άρχισε επίσης στις αρχές της περιόδου αυτής και η προτροπή από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης να δοθούν λύσεις στα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα όπως το πρόβλημα των ανεξέλεγκτων παγκόσμιων κλιματολογικών αλλαγών και το πρόβλημα της καταστροφής του όζοντος. Με δεδομένο ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο φυσικό περιβάλλον, άρχισε να ενισχύεται περισσότερο η φιλοσοφία της πρόληψης της ρύπανσης, αντί της αποκατάστασής της μετά τη γένεσή της. Σημαντική ημερομηνία - σταθμός αυτής της περιόδου είναι το 1997 όπου υιοθετήθηκε το λεγόμενο Πρωτόκολλο του Κιότο (Ιαπωνία) για τις εκπομπές αερίων που ευθύνονται για την υπερθέρμανση του πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Άλλες σημαντικές ημερομηνίες είναι το 2000 όπου ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) συντάσσει οδηγίες για τους αέριους ρύπους, το 2002 όταν ξεκίνησε το πρόγραμμα Clear Air for Europe με στόχο τη διερεύνηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το 2008 όταν θεσπίστηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση τα όρια για τα αιωρούμενα σωματίδια (Μελάς, 2007, Γεντεκάκης, 2010).

2.4 ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, ως ρύπος ορίζεται οποιαδήποτε ουσία εμφανίζεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και ενδέχεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο περιβάλλον συνολικά (Υ.Α. Η.Π. 14122/549/Ε. 103/2011).

Αέριοι ρύποι είναι τα αέρια ή αιωρούμενα σωματίδια που περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα και είναι τοξικά όταν η συγκέντρωσή τους ξεπερνά ορισμένες τιμές (Κούγκολος, 2007).

Οι αέριοι ρύποι εκπέμπονται και παραμένουν στην ατμόσφαιρα σε διάφορες μορφές (ατμοί, σκόνη, καπνός κ.ά.). Χαρακτηριστικό κάθε αέριου ρύπου είναι ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα (residence time) ή ο χρόνος ημιζωής, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται ώστε να απομακρυνθεί η μισή ποσότητα του ρύπου (Κούγκολος, 2007).

Τα μέρη στα οποία εκπέμπονται ρύποι ονομάζονται πηγές. Οι πηγές μπορεί να είναι φυσικές (π.χ. τα ηφαίστεια) ή ανθρωπογενείς (π.χ. καμινάδα ενός εργοστασίου). Επίσης οι πηγές μπορεί να είναι σημειακές ή μη (Κούγκολος, 2007).

Σύμφωνα με τον Ζάνη (2008), οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

- Τα ηφαίστεια (που εκλύουν κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
- Οι δασικές πυρκαγιές (που εκλύουν κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
- Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (που εκλύουν κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
- Η βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (από την οποία εκλύονται κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
- Η αποσάθρωση του εδάφους (από την οποία εκλύονται κυρίως αιωρούμενα σωματίδια).
- Τα φυτά και τα δέντρα (που εκλύουν κυρίως υδρογονάνθρακες).

Όσον αφορά τις ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης, μπορούμε να θεωρήσουμε ως κύριες τις εξής (Ζάνης, 2008):

- Τα μέσα μεταφοράς.
- Τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης.
- Τη λειτουργία του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τις εκπομπές του τομέα βιομηχανικής παραγωγής.
- Τις ανεπιθύμητες καύσεις.

Οι αέριοι ρύποι ανάλογα με την πηγή προέλευσή τους χωρίζονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς. Αν εκπέμπονται ή όχι απευθείας από την πηγή, χωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους Ραγομανίκη και Καστρινάκη (2009), φυσικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι οι ρύποι που προέρχονται από φυσικά αίτια όπως:

- αιωρούμενη σκόνη στον αέρα που οφείλεται στη δράση του ανέμου,
- ηφαιστειογενής τέφρα,
- όζον το οποίο έχει σχηματιστεί εξαιτίας των αστραπών,
- καπνός, αέρια και ιπτάμενη τέφρα τα οποία προέρχονται από δασικές πυρκαγιές,
- γύρη και άλλα αλλεργιογόνα σωματίδια,
- αέρια και οσμές τα οποία προέρχονται από την αποσύνθεση φυσικών οργανισμών,
- φυσική ραδιενέργεια.

Αντιθέτως, οι ανθρωπογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι αποτέλεσμα της φυσικής δραστηριότητας και προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές καύσεις, μετακινήσεις, κατασκευαστικά έργα, διυλιστήρια, επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων, εξόρυξη μεταλλευμάτων κ.ά.

Σε παγκόσμια κλίμακα υπερτερούν οι εκπομπές από φυσικά αίτια, ενώ σε τοπική κλίμακα οι ανθρωπογενείς εκπομπές (Καζαντζή, 2011).

Πρωτογενείς ρύποι λέγονται οι ουσίες που εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή, όπως για παράδειγμα το CO, το NO, το SO₂ κ.ά., ενώ δευτερογενείς εκείνοι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους έπειτα από χημικές αντιδράσεις (Κούγκολος, 2007).

Επίσης, ανάλογα τη φυσική τους κατάσταση, οι αέριοι ρύποι χωρίζονται σε αέρια ή σωματίδια.

Τέλος, διακρίνονται σε συντηρητικούς και μη συντηρητικούς ρύπους ανάλογα με το ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσής τους. Συντηρητικοί λέγονται οι ρύποι που η συγκέντρωσή τους δεν αλλάζει γρήγορα με το χρόνο, γιατί είναι ενώσεις που δεν αντιδρούν και δεν διασπώνται εύκολα, όπως για παράδειγμα το χλωριούχο νάτριο (NaCl)

στο νερό και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Μη συντηρητικοί ρύποι είναι το όζον στην ατμόσφαιρα ή οι οργανικές ενώσεις (BOD₅) στο νερό (Κούγκολος, 2007).

Οι σημαντικότεροι πρωτογενείς αέριοι ρύποι που συντελούν στην όξυνση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής (Κούγκολος, 2007):

- Μονοξείδιο του αζώτου (NO)
- Οξείδια του θείου (SO_x)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Υδρογονάνθρακες (HC)
- Αιωρούμενα σωματίδια (PM).

Εκτός από αυτούς τους πρωτογενείς αέριους ρύπους, εξίσου σημαντικοί ρύποι που ευθύνονται για την ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το επιφανειακό όζον (O₃) και το βενζόλιο (C₆H₆).

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, εκτός από την κατηγορία των αιωρούμενων σωματιδίων (PM) για την οποία θα γίνει εκτεταμένη ανάλυση στο επόμενο κεφάλαιο. Γίνεται αναφορά στα κύρια φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους, στις πηγές προέλευσής τους και στις δυσμενείς επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και στην ισορροπία του περιβάλλοντος.

ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO_x)

Με τον όρο οξείδια του αζώτου ορίζονται γενικά οι ενώσεις αζώτου με οξυγόνο σε διάφορες αναλογίες. Είναι από τους κύριους συντελεστές στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους των πόλεων εξαιτίας φωτοχημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα στις οποίες συμμετέχει. Οι κυριότερες και συνηθέστερες ενώσεις είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) ενώ στην ατμόσφαιρα υπάρχουν και ενώσεις του αζώτου όπως είναι η αμμωνία (NH₃). Το NO προέρχεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων σε αυτοκίνητα, σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και κεντρικές

θερμάνσεις ενώ το NO₂ προέρχεται κυρίως από την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου (Ζάνης, 2008).

Το NO είναι αέριο, άχρωμο και άοσμο ενώ το NO₂ είναι ερυθροκαστανό αέριο με δριμεία οσμή. Τα οξείδια του αζώτου είναι τοξικές ενώσεις με δυσμενείς επιπτώσεις στους ανθρώπους, στα ζώα και στα φυτά. Το NO προκαλεί παράλυση και σπασμούς του νευρικού συστήματος. Το NO₂ είναι ερεθιστικό για τα μάτια και τους πνεύμονες ενώ σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 150ppm προκαλεί το θάνατο (Κούγκολος, 2007).

ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO_x)

Το θείο επιδρά σημαντικά στη χημεία της ατμόσφαιρας, στη χλωρίδα και την πανίδα, στους υδροβιότοπους, στα υλικά και στα μνημεία και πιθανόν στις κλιματικές αλλαγές. Η συγκέντρωση του θείου στην ατμόσφαιρα δεν ξεπερνά κατά μέσο όρο το 1ppm. Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι ο πλέον κυρίαρχος ατμοσφαιρικός ρύπος από τα οξείδια του θείου, ενώ άλλες σημαντικές μορφές του θείου στην ατμόσφαιρα είναι το θειικό οξύ (H₂SO₄) και το υδρόθειο (H₂S) (Γεντεκάκης, 2010).

Το SO₂ είναι αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε υψηλές συγκεντρώσεις. Οι κυριότερες φυσικές πηγές παραγωγής του και γενικά των θειούχων ενώσεων είναι τα ηφαίστεια, η διάχυση σταγονιδίων από τη θάλασσα και οι θερμές πηγές. Από ανθρωπογενείς πηγές, οι σημαντικότερες είναι οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί, οι κεντρικές θερμάνσεις και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα. Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο αναπνευστικά προβλήματα και καρδιοαγγειακές παθήσεις. Οι υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα προκαλούν αλλοιώσεις στη βλάστηση και αυξάνουν την οξύτητα των λιμνών και των ποταμών (Ζάνης, 2008).

Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007), η απομάκρυνση του διοξειδίου του θείου από την ατμόσφαιρα γίνεται με τους παρακάτω μηχανισμούς:

- Διάλυσής του στο νερό της βροχής.
- Φωτοοξείδωσής του.

- Απευθείας απόθεσής του στο έδαφος ή προσρόφηση από το έδαφος και τα φύλλα των φυτών ή απόθεσής του στο έδαφος προσροφημένο σε αιωρούμενα σωματίδια.

ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι αέριο άχρωμο, άγευστο και άοσμο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και ιδιαίτερα τοξικό. Εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από τα ηφαίστεια και τις πυρκαγιές των δασών ή σχηματίζεται από την οξείδωση των υδρογονανθράκων, κυρίως του μεθανίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό του, που εκλύεται στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς πηγές, προέρχεται από τα οχήματα. Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του, ενώ το άλλο 25% περίπου οφείλεται στην ατελή καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία (Ζάνης, 2008).

Η παρουσία του στον αέρα που εισπνέει ο ανθρώπινος οργανισμός περιορίζει την οξυγόνωση των κυττάρων. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ζαλάδες, πονοκεφάλους, κόπωση και είναι ένας βέβαιος συντελεστής καρδιακών προβλημάτων, ενώ σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 100ppm είναι θανατηφόρο. Το μονοξείδιο του άνθρακα περιέχεται και στον καπνό του τσιγάρου (Κούγκολος, 2007).

Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007), υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί οι οποίοι απομακρύνουν το μονοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα όπως:

- Οξείδωσή του σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) τόσο από τα άτομα του οξυγόνου, όσο και από το όζον και το διοξείδιο του αζώτου.
- Δέσμευσή του από μικροοργανισμούς του εδάφους.

ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (HC)

Με τον όρο υδρογονάνθρακες (HC) χαρακτηρίζονται χιλιάδες ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο στο μόριό τους. Σαν υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζονται οι κυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα τερπένια, οι αλδεΐδες, οι κετόνες και άλλες οργανικές ενώσεις στην ατμόσφαιρα. Προέρχονται από φυσικές πηγές σε ποσοστό 94% και από ανθρωπογενείς πηγές σε ποσοστό 6%. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι οι κύριες πηγές παραγωγής υδρογονανθράκων. Η πιο συνηθισμένη χρήση τους είναι ως καύσιμα για παραγωγή ενέργειας, για τη λειτουργία του βιομηχανικού τομέα, για τη

λειτουργία του τομέα κεντρικής θέρμανσης, για την κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι υδρογονάνθρακες που εκλύονται στα μεγάλα αστικά κέντρα (καυσαέρια αυτοκινήτων) γιατί συμμετέχουν στη δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης (Κούγκολος, 2007).

Οι υδρογονάνθρακες έχουν πολλές και ποικίλες αρνητικές επιδράσεις στους ζωντανούς οργανισμούς. Πολλοί από αυτούς, όπως είναι οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ), είναι καρκινογόνοι και πρέπει να αποφεύγεται η με οποιονδήποτε τρόπο λήψη τους, είτε μέσω της αναπνοής, είτε μέσω της τροφικής αλυσίδας (Καραθανάσης, 2006).

OZON (O_3)

Το επιφανειακό ή τροποσφαιρικό όζον (O_3) είναι ρύπος που δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα σχηματίζεται από τους φωτοχημικούς μετασχηματισμούς των πτητικών οργανικών χημικών ενώσεων (VOCs) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) παρουσία ηλιακού φωτός και σχετικά υψηλής θερμοκρασίας.

Το όζον είναι αέριο σχετικά άχρωμο στις συνηθισμένες τιμές των συγκεντρώσεών του, ενώ σε μεγαλύτερες έχει ένα γαλάζιο χρώμα. Έχει χαρακτηριστική οσμή, που γίνεται αντιληπτή σε συγκεντρώσεις πάνω από τα 20ppb. Θεωρείται σημαντικός και επικίνδυνος ρύπος, επειδή στις συγκεντρώσεις που εμφανίζεται σε ορισμένες ρυπασμένες περιοχές μπορεί να επηρεάσει και να βλάψει την υγεία των ανθρώπων, την ποιοτική κατάσταση φυτών και υλικών (π.χ. πρόωρη «γήρανση» των ελαστικών των τροχοφόρων), την ποσότητα παραγωγής καλλιεργημένων εκτάσεων καθώς και την υγεία ζώων. Αποτελεί πρόβλημα τόσο των αστικών περιοχών, όσο και των αγροτικών περιοχών που γειτνιάζουν με μεγάλες πόλεις. Χρησιμοποιείται ως δείκτης των συγκεντρώσεων όλων των φωτοχημικών ρύπων (Καραθανάσης, 2006).

BENZOLIO (C_6H_6)

Το βενζόλιο (C_6H_6) είναι ένας αρωματικός υδρογονάνθρακας που βρίσκεται στη βενζίνη. Σε μεγάλες πόλεις όπως η Αθήνα αποτελεί τον πιο χαρακτηριστικό ρύπο του νέφους. Τα επίπεδα βενζολίου αυξάνονται από την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τους κατεστραμμένους

καταλύτες και την κακή συντήρηση των μηχανών. Οι συγκεντρώσεις που θέτει η Ε.Ε. είναι $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η μέση όμως συγκέντρωση βενζολίου σε αστικές περιοχές κυμαίνεται μεταξύ $5\text{-}20\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ σε περιοχές μακριά από αστικά κέντρα η συγκέντρωση είναι κοντά στο $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Λαζαρίδης, 2005). Στην Αθήνα, μετά το έτος 2010, δεν σημειώθηκε υπέρβαση της μέσης ετήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσής του (ΥΠΕΚΑ, 2013).

Το βενζόλιο είναι άχρωμο υγρό με χαρακτηριστική οσμή βενζίνης, αδιάλυτο στο νερό, αλλά διαλυτό σε οργανικούς διαλύτες. Χρησιμοποιείται ως διαλύτης ή ως πρώτη ύλη για την παρασκευή αρωματικών ενώσεων που χρησιμοποιούνται στα χρώματα, στα φάρμακα, στα πλαστικά κ.λπ. Είναι μια ιδιαίτερα τοξική χημική ένωση, είναι καρκινογόνο για τον άνθρωπο και δεν προτείνεται όριο ασφαλούς έκθεσης ανθρώπου σε αυτό. Ανθρωπογενής έκθεση σε βενζόλιο γίνεται μέσω της αναπνοής. Σημαντική έκθεση προέρχεται από το κάπνισμα και μικρή χρόνου έκθεση κατά τη διάρκεια εξάτμισης σε πρατήρια καυσίμων. Οι πιο σημαντικές μη αντιστρεπτές επιπτώσεις από την παρατεταμένη έκθεση σε βενζόλιο είναι η αιμοτοξικότητα, η βλάβη στη λειτουργία του ήπατος και των νεφρών, οι ανωμαλίες στην αναπαραγωγή, οι προβληματικές γεννήσεις και τέλος η καρκινογένεση (Λαζαρίδης, 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αιωρούμενα σωματίδια (particulate matters, PM) καλούνται τα υγρά και στερεά σωματίδια που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Δεν είναι ένας ενιαίος ρύπος αλλά ένα μείγμα πολλών ρύπων. Έχουν χαρακτηριστεί ως ένας από τους σημαντικότερους ρύπους της ατμόσφαιρας λόγω των αρνητικών επιπτώσεων που έχουν στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μέγεθος το οποίο κυμαίνεται από λίγα νανόμετρα (nm) έως 10 μικρόμετρα (μm) σε διάμετρο. Το μέγεθός τους είναι αυτό που καθορίζει το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα όπως και τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Τα αιωρούμενα σωματίδια που συναντώνται στην ατμόσφαιρα προέρχονται τόσο από φυσικές πηγές όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Harrison, 2004).

3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η κατηγοριοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να γίνει αν λάβουμε υπόψη μας κάποια κριτήρια όπως η φυσική κατάσταση, το μέγεθος, η χωρική τους προέλευση και ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό.

3.2.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με τη φυσική τους κατάσταση εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα με τις παρακάτω μορφές (Harrison, 2004):

- Σκόνη (dust): Σχηματίζεται από διάβρωση ή κατακερματισμό στερεών υλικών και είναι στερεά σωματίδια μεγάλου σχετικά μεγέθους ($d > 1\mu\text{m}$).
- Ομίχλη (fog): Ορατά υδροσταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα συνήθως κοντά στο έδαφος.
- Κάπνα (fume): Σωματίδια που προκύπτουν από συμπύκνωση ατμών, κυρίως από πτητικές ουσίες, ή ως αποτέλεσμα οξειδωτικών αντιδράσεων ($d < 1\mu\text{m}$).
- Αχλύς (haze): Μικρά σωματίδια ($d < 1\mu\text{m}$), μείγμα υδροσταγονιδίων, ρύπων και σκόνης. Μειώνουν την ορατότητα.

- Νέφος (smog): Συνδυασμός ομίχλης και καπνού.
- Καπνός (smoke): Μικρά σωματίδια ($d > 0.01 \mu\text{m}$) που προέρχονται από ατελή καύση κυρίως άνθρακα και άλλων καυσίμων, σε ικανή συγκέντρωση ώστε να είναι ορατά.
- Αιθάλη (soot): Συσώρευση σωματιδίων άνθρακα που δημιουργούνται από την ατελή καύση ανθρακικών ενώσεων.
- Ιπτάμενη τέφρα (flying ash): Σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων.

3.2.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν τυπικά διάμετρο από 0.01 έως 10 μm . Έχουν διάφορα σχήματα και πολλές ιδιότητές τους εξαρτώνται από το μέγεθος τους. Στις κατανομές κατά μέγεθος, ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται η αεροδυναμική διάμετρος και όχι η γεωμετρική τους διάμετρος (Λαζαρίδης, 2005).

Αεροδυναμική διάμετρος ονομάζεται η διάμετρος σφαιρικού σώματος πυκνότητας 1gr/cm^3 που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα κατά την κίνησή του με το υπό εξέταση σωματίδιο (Λαζαρίδης, 2005).

Γενικά, η διάμετρος θεωρείται η πιο σημαντική από τις ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων για τις επιπτώσεις στην υγεία λόγω του μηχανισμού εναπόθεσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Επίσης, το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι αυτό που καθορίζει το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα (Κόλλια, 2012).

ΟΛΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (TSP)

Ο όρος ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Τα TSP ποικίλουν γενικά σε μέγεθος από 0.01 μm έως και μερικές εκατοντάδες μm . Διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων, στα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα, τα οποία με τη σειρά τους διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες (US EPA, 2004).

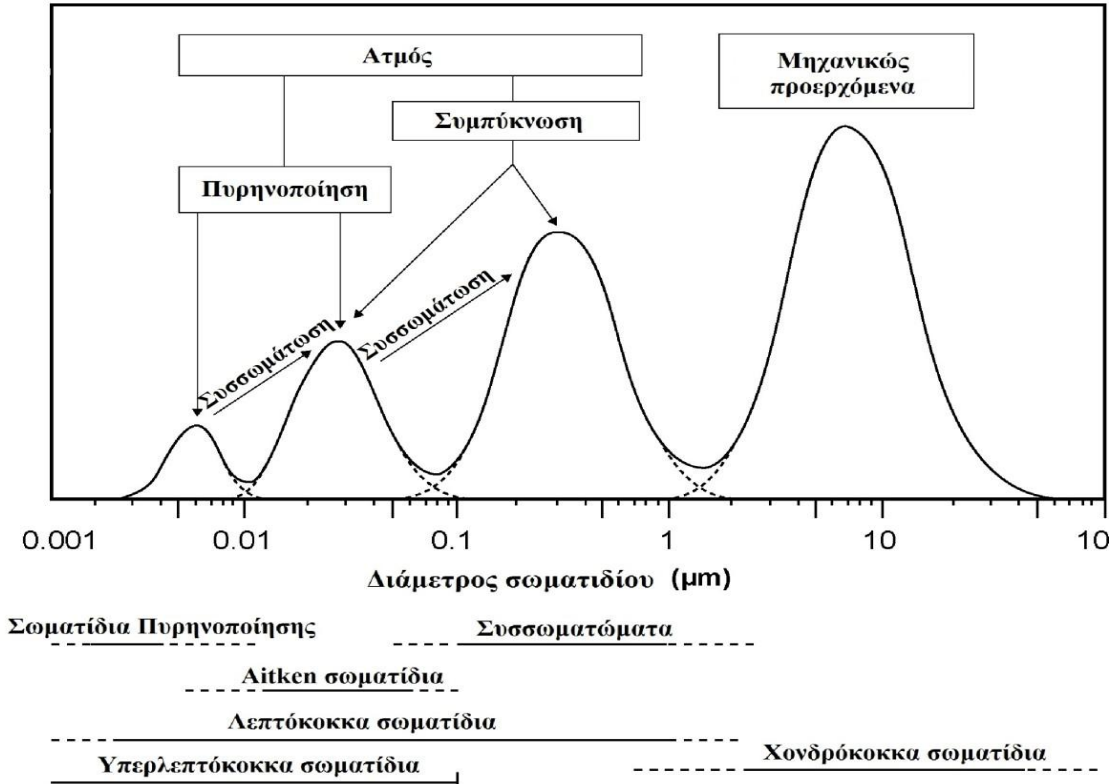
Λεπτόκοκκα (fine mode)

Λεπτόκοκκα καλούνται τα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 2.5μm (PM_{2.5}). Συνήθως τα σωματίδια αυτά παράγονται δευτερογενώς από αέριες ενώσεις. Χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο υποκατηγορίες (US EPA, 2004):

- Υποκατηγορία πυρήνα (nuclei mode): Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από 0.01 έως 0.05μm και προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης και παρουσιάζουν μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα. Η υποκατηγορία αυτή χωρίζεται σε δύο επιμέρους ομάδες: α) στα μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken Nuclei) και β) στα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra – fine Nuclei).
- Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range): Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από 0.05 έως 2.5μm και σχηματίζονται με βάση διαδικασίες συμπύκνωσης αλλά και μέσω διαδικασιών συσσωμάτωσης μικρότερων σωματιδίων. Τα σωματίδια συσσώρευσης ομαδοποιούνται σε σταγονίδια και σε συμπυκνώματα.

Χονδρόκοκκα (coarse mode)

Χονδρόκοκκα καλούνται τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερη των 2.5μm. Αποτελούνται κυρίως από τους σπόρους μυκήτων, τη γύρη και τα σωματίδια που παράγονται μέσω φυσικών διεργασιών όπως η διάβρωση από τον αέρα και η ηφαιστειακή δραστηριότητα (US EPA, 2004).



Σχήμα 3.2.2: Κατανομή του όγκου των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθός τους και τον τρόπο σχηματισμού τους (Πηγή: US EPA, 2004, Παπαζάχου, 2012).

3.2.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διαχωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια, είναι τα σωματίδια που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα τόσο από φυσικές, όσο και από ανθρωπογενείς πηγές, ενώ τα δευτερογενή δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα με διαδικασίες μετατροπής αερίων σε σωματίδια. Τα πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να έχουν διάφορα μεγέθη, δηλαδή μπορεί να είναι χονδρόκοκκα ή λεπτόκοκκα, ενώ τα δευτερογενή έχουν μέγεθος μικρότερο του 1μm, δηλαδή είναι μόνο λεπτόκοκκα (Καραθανάσης, 2006).

3.2.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΤΟΥΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

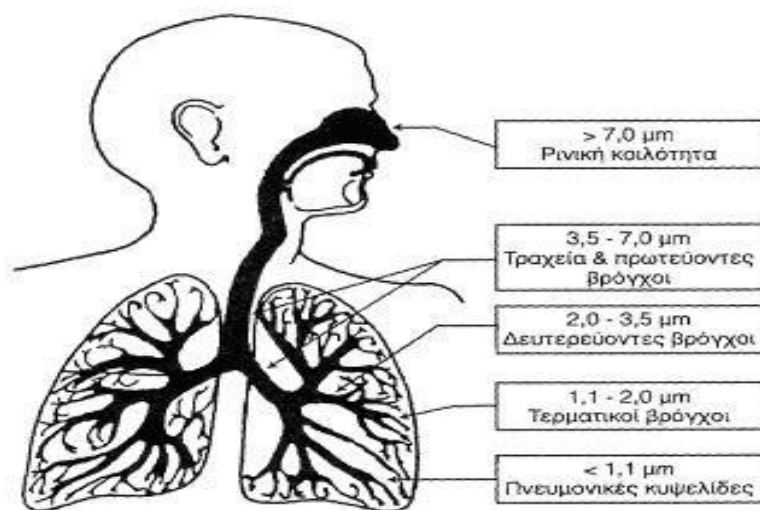
Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα τη χωρική τους προέλευση μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες (Seinfeld and Pandis, 1998):

- **Θαλάσσια:** Πρόκειται για τα σωματίδια πάνω από τους απομακρυσμένους ωκεανούς.
- **Πολικά:** Βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της Αρκτικής και της Ανταρκτικής και έχουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Περιέχουν ανθρακικά συστατικά προερχόμενα από μεσαία γεωγραφικά πλάτη, θαλάσσιο αλάτι από τους ωκεανούς που περιβάλλουν τους πόλους και εδαφικά υλικά που προέρχονται από περιοχές του ανάλογου ημισφαιρίου.
- **Ερημικά:** Πρόκειται για τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται πάνω από περιοχές ερήμων και συνήθως εκτείνονται και σε γειτονικές περιοχές όπως είναι οι ωκεανοί. Τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 10μm δεν απομακρύνονται από τις περιοχές των ερήμων ενώ τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10μm μεταφέρονται σε αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων.
- **Αγροτικά:** Πρόκειται για αιωρούμενα σωματίδια στις αγροτικές περιοχές που είναι κυρίως φυσικής προέλευσης αλλά με κάποιες επιρροές από ανθρωπογενείς πηγές.
- **Απομακρυσμένα ηπειρωτικά:** Πρωτογενή σωματίδια και δευτερογενή προϊόντα είναι τα κύρια συστατικά των απομακρυσμένων ηπειρωτικών αιωρούμενων σωματιδίων.
- **Αστικά:** Είναι μίγματα πρωτογενών εκπομπών σωματιδίων από τις βιομηχανίες, τις μεταφορές, την παραγωγή ενέργειας και φυσικές πηγές, καθώς και δευτερογενή υλικά που σχηματίζονται από μηχανισμούς μετατροπής από αέρια σε σωματιδιακή μορφή.

3.2.5 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO), τα αιωρούμενα σωματίδια αναλόγως του τρόπου εισαγωγής τους στον ανθρώπινο οργανισμό μπορούν διαχωριστούν ως εξής:

- Εισπνεύσιμα σωματίδια: Σωματίδια που εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό από το ανώτερο αναπνευστικό τμήμα (μύτη, στόμα) και έχουν διάμετρο μικρότερη από 10 μικρόμετρα.
- Θωρακικά σωματίδια: Σωματίδια που καταφέρνουν να περάσουν τον λάρυγγα και εισχωρούν στην θωρακική κοιλότητα και έχουν διάμετρο μικρότερη από 7 μικρόμετρα.
- Αναπνεύσιμα σωματίδια: Σωματίδια που καταφέρνουν να εισχωρήσουν στους πνεύμονες με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μικρομέτρων.



Εικόνα 3.2.5: Διεισδυτικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό (Πηγή: Διαπούλη, 2008).

3.3 ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Βάσει της κατηγοριοποίησης των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (Total Suspended Particulate, TSP) κατά μέγεθος (λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα), και με κριτήριο την διεισδυτικότητά τους στον ανθρώπινο οργανισμό (εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα), έχουν οριστεί δύο βασικές κατηγορίες μετρούμενων σωματιδιακών ρύπων, τα $PM_{2.5}$ και PM_{10} . Οι δύο αυτές κατηγορίες σωματιδίων θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ατμοσφαιρικούς ρύπους καθώς προκαλούν ποικίλα προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό με έμφαση τις ευαίσθητες ομάδες (ηλικιωμένοι, παιδιά) (US EPA, 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ρύποι αυτοί να συμπεριλαμβάνονται στους ρύπους - κριτήρια για την ποιότητα του αέρα, τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α., και έχουν οριστεί ανώτερα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα.

Γενικά, θεωρείται ότι τα PM_{10} ταυτίζονται με την κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων και έχουν διάμετρο έως 10 μm . Πιο αυστηρός είναι ο ορισμός που αναφέρεται στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου (Διαπούλη, 2008):

« PM_{10} νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10 μm »

Αντιστοίχως τα $PM_{2.5}$ έχουν ταυτιστεί με τα αναπνεύσιμα σωματίδια και έχουν διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm , ενώ ο σχετικός ορισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι:

« $PM_{2.5}$ νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2.5 μm »

Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια, έχει επικεντρωθεί στη μελέτη ενός άλλου μικρότερου σωματιδιακού ρύπου. Πρόκειται για τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια (ultrafine particles, UFPs), δηλαδή τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.1 μm τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των συνολικών σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Κύρια πηγή των σωματιδίων αυτών είναι η κυκλοφορία των αυτοκινήτων (Woo et al., 2001, Διαπούλη, 2008).

3.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό τους εξαιτίας της επίδρασης των ρυπαντών στην ανθρώπινη υγεία αναλογικά με τη χημική τους συμπεριφορά και τις ιδιότητές τους και εξαιτίας της αναγνώρισης της πηγής των αιωρούμενων σωματιδίων από τη χημική τους σύσταση (Μελάς, 2007). Η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελείται από τις παρακάτω κατηγορίες συστατικών (Harrison and Yin, 2000):

- θειικά,
- νιτρικά,
- αμμωνιακά,
- χλωριόντα
- οργανικό άνθρακα,
- στοιχειακό άνθρακα,
- γεωλογικά υλικά,
- βιολογικά υλικά,
- μέταλλα και μεταλλικά ιχνοστοιχεία,
- ισχυρά οξέα.

Το μέγεθος και η σύσταση των σωματιδίων στον αέρα μπορεί να μετατραπεί λόγω (Μελάς, 2007):

- συμπύκνωσης ατμών διαφόρων ουσιών,
- εξάτμισης ατμών,
- συσσωμάτωσης με άλλα σωματίδια,
- χημικών αντιδράσεων και
- δημιουργίας ομίχλης ή νεφοσταγονιδίων.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι χημικές ενώσεις και ομάδες που συνθέτουν τη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων.

ΘΕΙΚΑ

Τα θειικά προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα και συνήθως βρίσκονται υπό τη μορφή θειικού αμμωνίου. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα $PM_{2.5}$. Θειικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές, όπου το θειικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Παρόλο που ο γύψος και κάποια άλλα γεωλογικά υλικά περιέχουν θειικά, αυτά δεν διαλύονται εύκολα στο νερό ώστε να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκα σωματίδια έναντι των $PM_{2.5}$ και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά (Harrison and Yin, 2000).

ΝΙΤΡΙΚΑ

Τα νιτρικά σχηματίζονται κυρίως από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου. Το νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3) είναι το πιο συχνά απαντώμενο και βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τις πρόδρομες αέριες ουσίες του, την αμμωνία (NH_3) και τους ατμούς νιτρικού οξέος (HNO_3) (Seinfeld and Pandis, 2006). Σε ορισμένες περιπτώσεις το νιτρικό νάτριο ($NaNO_3$) κυριαρχεί. Λόγω της ταχύτερης οξείδωσης του NO_2 σε σχέση με το SO_2 , και της ευαισθησίας του NH_4NO_3 στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις της NH_3 , η χωρική κατανομή των νιτρικών είναι πολύ λιγότερο ομοιόμορφη από αυτή των θεικών (Harrison and Yin, 2000).

ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ

Κατά τον αρχικό σχηματισμό των θεικών και νιτρικών ιόντων στην ατμόσφαιρα, αυτά βρίσκονται υπό την μορφή των αντίστοιχων οξέων. Σταδιακά, τα οξέα αυτά εξουδετερώνονται από την ατμοσφαιρική αμμωνία, σχηματίζοντας αμμωνιακά άλατα (Harrison and Yin, 2000).

ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

Η κύρια πηγή των ιόντων χλωρίου είναι το υδρόλυμα θαλάσσης (sea spray), ακόμη και σε περιοχές που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα από την ακτή. Οι θαλάσσιες πηγές χλωριούχων σωματιδίων συνεισφέρουν κυρίως σε χλωριούχο νάτριο ($NaCl$). Κατά τους χειμερινούς μήνες, πηγή χλωριόντων αποτελεί επιπλέον και η ρίψη αλατιού στους

δρόμους για την αντιμετώπιση του πάγου. Τέλος, οι χλωριούχες ενώσεις εισέρχονται στην αέρια σωματιδιακή μάζα και με δευτερογενείς διαδικασίες, όπως και η εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από τους ατμούς υδροχλωρικού οξέος (HCl), το οποίο εκπέμπεται από πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας (Harrison and Jones, 1995).

ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο οργανικός άνθρακας είναι δυνατόν να εκπέμπεται από πρωτογενείς πηγές εκπομπής. Σημαντική όμως ποσότητα παράγεται δευτερογενώς, μέσω ατμοσφαιρικών φωτοχημικών διεργασιών μεταξύ πρωτογενών αέριων οργανικών χημικών ειδών, οι οποίες παράγουν χαμηλής πτητικότητας οργανικές ενώσεις (Kavouras et al., 1999).

Οι οργανικές ενώσεις που απαντώνται στα αιωρούμενα σωματίδια είναι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες, είτε αρωματικές ενώσεις, είτε οξυγονωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων. Εκτός από τους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες, στις οργανικές ενώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων περιέχονται και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAHs), οι οποίοι συγκεντρώνουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αποδεδειγμένης καρκινογόνου και μεταλλαξιογόνου δράσης τους. Κύρια διαδικασία σχηματισμού των PAHs είναι η πυρηνοποίηση (Kavouras et al., 1999).

ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Κατά τις διαδικασίες καύσης, και ιδίως εξαιτίας της κυκλοφορίας οχημάτων, εκπέμπονται σωματίδια αιθάλης, τα οποία περιέχουν άνθρακα υπό μορφή ενός πυρήνα από στερεό μαύρο στοιχειακό άνθρακα (είτε καθαρό γραφίτη ή υψηλού μοριακού βάρους μη πτητική ύλη, όπως πίσσα) (Harrison and Yin, 2000).

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Στην κατηγορία των γεωλογικών υλικών περιλαμβάνεται επιφανειακή σκόνη και αερομεταφερόμενα αποσαθρωμένα πετρογενή ορυκτά υλικά. Η σύστασή τους δεν είναι σταθερή, αλλά αντικατοπτρίζει τα εκάστοτε τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες

και τις διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην επαναιώρησή τους από το έδαφος (Harrison and Yin, 2000).

ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ορισμένες μελέτες έχουν διαχωρίσει την σωματιδιακή ύλη βιολογικής προέλευσης (Biological Aerosol Particles, BAP), η οποία είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια, αλλά και σπόρους και γύρη. Με εξαίρεση κάποιους ιούς, και άλλα σωματίδια που εκπέμπονται είτε από το ανθρώπινο σώμα ή από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες (πχ αποχετευτικό σύστημα), τα σωματίδια αυτά είναι στην πλειοψηφία τους χονδρόκοκκα (Harrison and Yin, 2000).

ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα μέταλλα που απαντώνται σε μεγάλη αναλογία στην μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο, υπό τη μορφή των ιόντων τους. Αυτά τα μέταλλα, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα ιοντικά είδη, εμφανίζονται κυρίως στο χονδρόκοκκο σωματιδιακό κλάσμα, γεγονός αναμενόμενο λόγω της προέλευσής τους από τα θαλάσσια αερολύματα και την επιφανειακή σκόνη (Harrison and Jones, 1995).

Σε αστικές περιοχές, θεωρείται ότι η έκθεση σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία μέσω της εισπνοής αιωρούμενων σωματιδίων είναι ανεπαρκής ώστε να έχει τοξική επίδραση στον άνθρωπο. Με εξαίρεση μέταλλα όπως ο μόλυβδος, του οποίου η κύρια πηγή ήταν η κυκλοφορία οχημάτων που χρησιμοποιούσαν σαν καύσιμο την μολυβδόχο βενζίνη, που οδηγούσε στην ευρεία διασπορά του σε ατμόσφαιρα αστικών περιοχών, τα άλλα μεταλλικά ιχνοστοιχεία προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές διαδικασίες, με συνέπεια η χωρική κατανομή τους να είναι ανομοιόμορφη (Harrison and Yin, 2000).

ΙΣΧΥΡΑ ΟΞΕΑ

Ο σχηματισμός θεικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα, μέσω της οξείδωσης του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του αζώτου, αρχικά γίνεται υπό την μορφή των ισχυρών τους οξέων δηλαδή του θεικού (H_2SO_4) και του νιτρικού (HNO_3) οξέος. Το νιτρικό οξύ, λόγω της μεγάλης του πτητικότητας, είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στα

αιωρούμενα σωματίδια μόνο μέσω απώλειας της οξύτητάς του (μέσω είτε αντίδρασης με υδροχλωρικό οξύ, ή εξουδετέρωσης από την αμμωνία). Αντιθέτως, το θεϊκό οξύ είναι μη πτητικό και μόλις σχηματιστεί ενσωματώνεται κατ' ευθείαν στα σωματίδια, όπου στη συνέχεια μπορεί να εξουδετερωθεί από την αμμωνία της ατμόσφαιρας (Harrison and Yin, 2000).

3.5 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αιωρούμενα σωματίδια με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού τους χωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Όσον αφορά τα πρωτογενή σωματίδια, αυτά είναι δυνατόν να προέλθουν από την κίνηση οχημάτων, τη λειτουργία μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις αστικές και βιομηχανικές καύσεις, τους εμπρησμούς δασών, τα θαλάσσια αερολύματα, την επαναιώρηση σκόνης από τον άνεμο και από την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Από την άλλη, τα δευτερογενή σωματίδια παράγονται κυρίως από την έντονη κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων και από βιομηχανικές διεργασίες.

Στις αστικές περιοχές, η κυρίαρχη πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι κινητήρες των οχημάτων καθώς και ο σχηματισμός σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με χημικές αντιδράσεις από τα αέρια οξειδία του αζώτου και του θείου. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες σε περιοχές με μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα και κοντά σε βιομηχανικές περιοχές (Διαπούλη, 2008).

3.5.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Οι φυσικές πηγές αφορούν διεργασίες που πραγματοποιούνται με φυσικό τρόπο στην ατμόσφαιρα και περιλαμβάνουν κυρίως:

- Την επιφάνεια των ωκεανών από την οποία μεταφέρονται σταγονίδια νερού με διάφορα άλατα υπό την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας (Καραθανάσης, 2006).
- Την επιφάνεια της Γης από την οποία μεταφέρεται η σκόνη του εδάφους υπό την επίδραση των ανέμων. Τα σωματίδια αυτά που παράγονται από φυσική ή χημική

αποσάθρωση των πετρωμάτων έχουν διάμετρο η οποία κυμαίνεται από 1μm έως 100μm περίπου. Οι άνεμοι όταν είναι πιο ισχυροί μετακινούν μεγάλες ποσότητες σωματιδιακής ύλης (Καραθανάσης, 2006).

- Τη μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις. Ο κύριος όγκος των σωματιδίων της περιοχής της Μεσογείου προέρχεται από την έρημο Σαχάρα γεγονός που οφείλεται στις συνηθισμένες κατά τη διάρκεια περιόδων ισχυρές ανεμοθύελλες. Τα σωματίδια που μεταφέρονται από την Σαχάρα είναι συνήθως χονδρόκοκκα (Διαπούλη, 2008, Prezerakos et al., 2010). Ανάλογα με την περιοχή προέλευσης η σκόνη μπορεί να είναι λευκού ή ερυθρού χρώματος. Στην πρώτη περίπτωση τα σωματίδια της σκόνης περιέχουν, σε μεγάλο ποσοστό, φώσφορο (P), κάλιο (K), μαγνήσιο (Mg) και ασβέστιο (Ca), στη δεύτερη περιέχουν πυρίτιο (Si), άργιλο (Al) και σίδηρο (Fe). Σε περίπτωση βροχόπτωσης τα σωματίδια της σκόνης διαλύονται στα υδροσταγονίδια της βροχής και έτσι εμφανίζονται λευκές ή ερυθρωπές λασποβροχές (Prezerakos et al., 2002, 2010).
- Τις ηφαιστειακές εκρήξεις που εκλύουν σωματίδια. Οι εκλύσεις σωματιδίων μιας έκρηξης μπορούν να είναι τέτοιου μεγέθους που να δημιουργήσουν διαταραχή στο περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή. Τα νέφη ηφαιστειακής σωματιδιακής ύλης παραμένουν στην ατμόσφαιρα πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα (Καραθανάσης, 2006).
- Τη χλωρίδα που αποτελεί πηγή εκπομπής βιογενούς ύλης καθώς αποτελείται από πρωτογενή σωματίδια όπως είναι η γύρη και δευτερογενή σωματίδια που προέρχονται κυρίως από τη συμπύκνωση οργανικών ενώσεων. Η χλωρίδα κατά την καύση της παράγει σωματίδια. Η τέλεια καύση της χλωρίδας έχει ως προϊόν την ιπτάμενη τέφρα. Οι δασικές πυρκαγιές παρόλο που μπορούν να πυροδοτηθούν από τον άνθρωπο, κατατάσσονται στις φυσικές πηγές διότι εκλύουν μεγάλες ποσότητες ρύπων με τη μορφή καπνού και ιπτάμενης τέφρας (Μασσάρα, 2011).

Οι φυσικές πηγές είναι υπεύθυνες για το 70%-90% του συνόλου των αιωρούμενων σωματιδίων (Μελάς, 2007).

3.5.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

Οι ανθρωπογενείς πηγές αναφέρονται σε διεργασίες που πραγματοποιούνται ηθελημένα με ανθρώπινη παρέμβαση με σκοπό την παραγωγή έργου. Οι ανθρωπογενείς πηγές μπορούν περαιτέρω να διακριθούν σε σταθερές και κινητές. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται καμινάδες οικιακής θέρμανσης ή βιομηχανίας, ανεξέλεγκτες χωματερές κ.ά., ενώ στη δεύτερη κατηγορία συγκαταλέγονται κατά κύριο λόγο οι εκπομπές από μεταφορικά μέσα (αυτοκίνητα, αεροπλάνα, τρένα, πλοία) (Καραθανάσης, 2006). Η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, οφείλεται κυρίως στις (Διαπούλη, 2008):

- Εκπομπές από τροχοφόρα: Οι κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων από τροχοφόρα είναι τα καυσαερίά τους. Οι εκπομπές σωματιδίων από τους κινητήρες ντίζελ είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των βενζινοκινητήρων. Ακόμη, η κίνηση των τροχοφόρων στους δρόμους προκαλεί την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου. Σωματίδια εκπέμπονται επίσης ως αποτέλεσμα της φθοράς των φρένων και των ελαστικών κατά τη χρήση τους.
- Βιομηχανικές εκπομπές: Οι βιομηχανικές εκπομπές συνεισφέρουν στην παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικές περιοχές ανάλογα με την απόσταση της βιομηχανίας από την αστική περιοχή και την τεχνολογία που εφαρμόζουν. Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από τις διαφορετικού τύπου βιομηχανίες παρουσιάζουν ποικίλα χαρακτηριστικά. Το μέγεθός του κυμαίνεται από 0.5 έως 100μm. Οι βιομηχανίες που εκλύουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων είναι οι μονάδες παραγωγής ενέργειας, οι χημικές βιομηχανίες, οι μονάδες επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων, οι βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων, οι μεταλλουργικές βιομηχανίες και τα διυλιστήρια πετρελαίου.
- Οικιακές εκπομπές: Η πλέον βασική πηγή οικιακής θέρμανσης είναι η καύση πετρελαίου η οποία αποτελεί σημαντική πηγή έκλυσης αιωρούμενων σωματιδίων και υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Σε μερικές περιοχές η καύση ξύλων χρησιμοποιείται για οικιακή θέρμανση η οποία με τη σειρά της αποτελεί μια επιπλέον πηγή έκλυσης σωματιδιακής ρύπανσης.

- Δασικές και γεωργικές πυρκαγιές: Σε περιοχές με μεγάλες δασικές και γεωργικές πυρκαγιές τόσο οι άμεσες εκπομπές όσο και η επαναιώρηση σωματιδίων από την καμένη περιοχή είναι δυνατόν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Το πυρογενές αυτό υλικό αποτελείται από οργανική ύλη, στοιχειακό άνθρακα και ανόργανα υλικά. Είναι σε μεγάλο ποσοστό μεγέθους κάτω από 10μm και για αυτό το μπορεί να επαναιωρηθεί εύκολα λόγω του πνέοντος ανέμου.

3.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Οι πιο χαρακτηριστικές διαδικασίες σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η πυρηνοποίηση (nucleation) από αέρια με χαμηλή τάση ατμών και η συμπύκνωση (condensation) αερίων με χαμηλή τάση ατμών στα ήδη υπάρχοντα σωματίδια. Επίσης, μπορεί να λάβει χώρα και η συσσώρευση μικρότερων σωματιδίων σε μεγαλύτερα και τελικά κατακρήμνιση των σωματιδίων λόγω βαρύτητας ή ενσωμάτωσής τους στις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι) (US EPA, 2004). Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά οι τρεις αυτοί μηχανισμοί σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων.

ΠΥΡΗΝΟΠΟΙΗΣΗ

Η πυρηνοποίηση είναι η διαδικασία μετάβασης από την αέρια στην υγρή μορφή. Η διαδικασία αυτή δε γίνεται άμεσα αλλά μέσω της δημιουργίας συσσωματώσεων μορίων σε μορφή πυρήνων. Η πυρηνοποίηση οδηγεί στο σχηματισμό αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη του 0.1μm. Διακρίνεται σε ομογενή, όταν γίνεται απουσία ξένων σωμάτων και σε ετερογενή όταν προϋπάρχουν σωματίδια. Επίσης, διακρίνεται σε ομομοριακή όταν στην πυρηνοποίηση παίρνει μέρος μόνο μια χημική ένωση και σε ετερομοριακή πυρηνοποίηση όταν συμμετέχουν περισσότερες από μία χημικές ενώσεις (Λαζαρίδης, 2005).

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Η συμπύκνωση όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μετάβαση από την αέρια στην υγρή φάση και στην περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων αφορά στη συμπύκνωση αερίων που γίνεται στην επιφάνεια προϋπαρχόντων αιωρούμενων σωματιδίων. Ο ρυθμός

αύξησης του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται από την υγρασία και το μέγεθός τους (Λαζαρίδης, 2005).

ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ

Είναι η διαδικασία κατά την οποία τα αιωρούμενα σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους λόγω της σχετικής κίνησης που έχουν το ένα ως προς το άλλο και σχηματίζουν μεγαλύτερα σωματίδια. Το αποτέλεσμα των συγκρούσεων αυτών είναι η μείωση του αριθμού των σωματιδίων και η αύξηση του μεγέθους τους. Όταν η σχετική κίνηση μεταξύ των σωματιδίων προέρχεται από την κίνηση Brown η διεργασία ονομάζεται θερμική συσσωμάτωση. Η σχετική κίνηση των σωματιδίων μπορεί να προέρχεται από εξωτερικές δυνάμεις όπως η βαρύτητα, τα αεροδυναμικά φαινόμενα ή οι ηλεκτρικές δυνάμεις. Στην περίπτωση αυτή η διεργασία ονομάζεται κινηματική συσσωμάτωση (Λαζαρίδης, 2005).

3.7 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Ως ατμοσφαιρική απόθεση ορίζεται η διαδικασία εκείνη μέσω της οποίας οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μεταφέρονται σε εδαφικές και υδάτινες επιφάνειες, στη βλάστηση καθώς επίσης και στις επιφάνειες των κτισμάτων και των μνημείων προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στα οικοσυστήματα και στον άνθρωπο (Raymond et al., 2004, Παπαζάχου, 2012).

Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα, ανεξαρτήτως της πηγής προέλευσής τους, είναι η υγρή και η ξηρή εναπόθεση. Η υγρή εναπόθεση πραγματοποιείται μέσω των σταγόνων της βροχής, των νιφάδων χιονιού και το χαλάζι. Η ξηρή εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η διαδικασία μεταφοράς τους από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης (έδαφος, υδάτινες επιφάνειες λιμνών ή θαλάσσιες, καθώς και περιοχές με βλάστηση) όπου και δεσμεύονται. Η ξηρή απόθεση αποτελεί τον κύριο μηχανισμό απομάκρυνσης των μεγάλων σωματιδίων ($d > 10 \mu\text{m}$) από τον αέρα (Καραθανάσης, 2007).

Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007), οι μέθοδοι καθαρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες:

1. Μέθοδοι βαρύτητας – θάλαμοι βαρύτητας ($d > 50 \mu\text{m}$).
2. Μέθοδοι φυγοκεντρικού διαχωρισμού – αεροκυκλώνες ($d > 1 \mu\text{m}$).
3. Μέθοδοι υγρής δέσμευσης ή έκπλυσης – πύργοι έκπλυσης ή ψεκασμού ($d > 0.05 \mu\text{m}$).
4. Μέθοδοι διήθησης (φιλτράρισμα) – σακκόφιλτρα ($d > 0.01 \mu\text{m}$).
5. Μέθοδοι ηλεκτροστατικής καθίζησης – ηλεκτροστατικά φίλτρα ($d > 0.005 \mu\text{m}$).

ΘΑΛΑΜΟΙ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Πρόκειται για ένα χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας θάλαμο όπου εισέρχονται τα αερολύματα. Στο εσωτερικό του η ταχύτητα των αερολυμάτων ελαττώνεται απότομα και έτσι τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των $50 \mu\text{m}$ κατακάθονται με την επίδραση της βαρύτητας (Κούγκολος, 2007).

ΑΕΡΟΚΥΚΛΩΝΕΣ

Η λειτουργία των αεροκυκλώνων στηρίζεται στην ανάπτυξη φυγόκεντρων δυνάμεων πάνω στα σωματίδια, οπότε αυτά αποχωρίζονται από τα αερολύματα. Αποτελούνται από ένα κύλινδρο στο επάνω μέρος και ένα κωνικό δοχείο στο κάτω μέρος. Τα αερολύματα εισέρχονται με πίεση στο επάνω μέρος της συσκευής και κατεβαίνουν δημιουργώντας ένα σπειροειδές ρεύμα. Στη συνέχεια, με την είσοδο του ρεύματος στο κωνικό μέρος αλλάζει η κατεύθυνση με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί δεύτερο σπειροειδές ρεύμα στο εσωτερικό του πρώτου, που ανεβαίνει και τελικά εξέρχεται από την συσκευή. Τότε τα σωματίδια αποκτούν φυγοκεντρικές δυνάμεις προς τα τοιχώματα της συσκευής, αποχωρίζονται από τα αέρια και τελικά συλλέγονται στο κάτω μέρος. Ένας κύριος παράγοντας επιλογής της κατάλληλης μεθόδου απομάκρυνσης των σωματιδίων είναι το μέγεθός τους χωρίς ωστόσο να είναι και ο μοναδικός. Επειδή η αρχή λειτουργίας των αεροκυκλώνων βασίζεται στην φυγόκεντρο δύναμη, η μάζα του σωματιδίου είναι εξίσου σημαντική (Κούγκολος, 2007).

ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΑ

Τα αερολύματα αναγκάζονται να περάσουν από ένα φίλτρο (ύφασμα ή συνθετικό υλικό) που συγκρατεί τη σκόνη, η οποία σχηματίζει στη συνέχεια ένα στρώμα που δρα και αυτό ως φίλτρο για παραπέρα συλλογή σωματιδίων μικρότερης διαμέτρου. Οι μηχανισμοί που συμμετέχουν στην αποκονίωση των αερολυμάτων στα σακκόφιλτρα είναι:

1. Κατακάθιση λόγω βαρύτητας.
2. Πρόσκρουση λόγω αδράνειας.
3. Ανάσχεση.
4. Ηλεκτροστατική καθίζηση
5. Διάχυση.
6. Κοσκίνιση.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις βιομηχανιών που χρησιμοποιούν τα σακκόφιλτρα είναι οι χαλυβουργίες, οι τσιμεντοβιομηχανίες, οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα κ.λπ. (Κούγκολος, 2007).

ΠΥΡΓΟΙ ΕΚΠΛΥΣΗΣ – ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Το σύστημα καθαρισμού αποτελείται από έναν πύργο άδειο ή γεμάτο με αδρανές υλικό. Από την κορυφή του πύργου ψεκάζεται το κατάλληλο υγρό και από το κάτω μέρος εισάγονται τα αερολύματα με την επαφή των δύο φάσεων τα σωματίδια μεταφέρονται από την αέρια στην υγρή φάση και έτσι τα αερολύματα βγαίνουν καθαρά στην ατμόσφαιρα, ενώ η υγρή φάση βγαίνει από το κάτω μέρος του πύργου. Στους πύργους ψεκασμού συμπαρασύρονται και σταγονίδια μαζί με τα αέρια στην έξοδο. Για να κατακρατηθούν αυτά τα σταγονίδια, χρησιμοποιούνται τεχνικές αποστεγανοποίησης όπως οι αεροκυκλώνες και τα πλέγματα (Κούγκολος, 2007).

ΗΛΕΚΤΡΟΦΙΛΤΡΑ

Τα ηλεκτρόφιλτρα αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, το αρνητικό που έχει τη μορφή σύρματος και ονομάζεται ηλεκτρόδιο εκκένωσης και το θετικό που έχει τη μορφή πλάκας ή κυλίνδρου για να έχει μεγάλη επιφάνεια και ονομάζεται ηλεκτρόδιο συλλογής. Μεταξύ τους αναπτύσσεται τάση 20000V-90000V. Στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο τα μόρια των

αερίων ιονίζονται αρνητικά και κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο συλλογής. Τα αιωρούμενα σωματίδια φορτίζονται αρνητικά από τα ιόντα που προσκολλούνται πάνω τους και κάτω από την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου οδηγούνται στο θετικό ηλεκτρόδιο συλλογής όπου και προσκολλούνται. Έτσι τα αερολύματα βγαίνουν από τα ηλεκτρόδια απαλλαγμένα από τα σωματίδια (Κούγκολος, 2007).

3.7.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πρέπει να γίνει η επιλογή της κατάλληλης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Για την σωστή επιλογή πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως είναι το περιβάλλον, η τεχνολογία και ο οικονομικός παράγοντας εκ των οποίων οι σημαντικότεροι είναι οι εξής (Ραψομανίκης και Καστρινάκη, 2009):

- Χαρακτηριστικά του ρύπου (φυσικές και χημικές ιδιότητες, συγκέντρωση, τοξικότητα κ. ά.).
- Κλιματικοί παράγοντες.
- Διαθέσιμος χώρος και διαθεσιμότητα παροχών (νερό, ηλεκτρικό ρεύμα).
- Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές εκπομπών.
- Επιβάρυνση του θορύβου λειτουργίας της μονάδας από τη λειτουργία της ατμοσφαιρικής αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.
- Αισθητική της κατασκευής.
- Χαρακτηριστικά σχεδιασμού και επίδοσης της κάθε αντιρρυπαντικής μονάδας.
- Ο βασικότερος οικονομικός παράγοντας για την επιλογή της ατμοσφαιρικής αντιρρυπαντικής διάταξης είναι το κόστος της (συσκευές, μηχανολογικές εγκαταστάσεις κ.λπ.).
- Κόστος λειτουργίας της διάταξης (ηλεκτρική κατανάλωση, συντήρηση).
- Αναμενόμενος χρόνος λειτουργίας και τιμής της διάταξης στο τέλος του χρόνου λειτουργίας.

3.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως έχει διαπιστωθεί από πολλές μελέτες, έχουν επιπτώσεις τόσο στην υγεία του ανθρώπου, όσο και στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις στην υγεία αφορούν κυρίως στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα των οργανισμών με αποτέλεσμα την αυξανόμενη νοσηρότητα του πληθυσμού και ενδεχόμενη θνησιμότητα. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, που οφείλονται στην παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτό, γίνονται αντιληπτές μέσω της διαμόρφωσης του κλίματος καθώς και από τις επιδράσεις τους στα διάφορα είδη οικοσυστήματα. Επιπρόσθετα, τα αιωρούμενα σωματίδια καθορίζουν τα επίπεδα της ορατότητας και επιδρούν αρνητικά στα υλικά και στην αισθητική των μνημείων.

3.8.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Σε περιοχές με έντονα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις που αφορούν την ανθρώπινη υγεία (Dockery and Pope, 1994). Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία αφορούν άμεσα κυρίως το αναπνευστικό σύστημα αλλά μακροχρόνια και το καρδιακό σύστημα. Η ικανότητα του αναπνευστικού συστήματος να προστατεύεται από τη σωματιδιακή ύλη καθορίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων. Τα μεγαλύτερα σωματίδια (>10μm) που εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα παγιδεύονται με τη βοήθεια των τριχών και του βλεννογόνου της μύτης και στη συνέχεια απομακρύνονται εύκολα μέσω του βήχα ή του φταρνίσματος. Τα σωματίδια τα οποία είναι μικρότερα από 2.5μm εισπνέονται και φθάνουν στους πνεύμονες και επομένως είναι αναμενόμενο να είναι πιο επικίνδυνα για την υγεία από τα μεγαλύτερα σωματίδια. Στην πορεία τους τα σωματίδια αυτά περνούν ολοένα και στενότερους βρόγχους, και είναι δυνατόν να φτάσουν έως και στις κυψελίδες των πνευμόνων, διαμέσου των οποίων εισέρχεται το οξυγόνο στο αίμα, επεμβαίνοντας με τον τρόπο αυτό στην οξείδωση του αίματος. Στον Πίνακα 4.8.1 παρουσιάζεται η ικανότητα διείσδυσης των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σε σχέση με το μέγεθός τους (Ρεμουντάκη, 2012).

Πίνακας 3.8.1: Ικανότητα διείσδυσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα σε συνάρτηση με την αεροδυναμική τους διάμετρο (Πηγή: Ρεμουντάκη, 2012).

Αεροδυναμική διάμετρος (μm)	Ικανότητα διείσδυσης στο αναπνευστικό σύστημα
>11	Δεν διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα
7 – 11	Εισχωρούν στη ρινική κοιλότητα
4.7 – 7	Εισχωρούν στο φάρυγγα
3.3 – 4.7	Εισχωρούν στην τραχεία και την αρχή των βρόγχων
2.1 – 3.3	Εισχωρούν στο μέσον των βρόγχων
1.1 – 2.1	Εισχωρούν στα τελευταία τμήματα των βρόγχων
0.65 – 1.1	Εισχωρούν στα βρογχόλια
0.43 – 0.65	Εισχωρούν στις κυψελίδες των πνευμόνων

Εκτός από το μέγεθός τους, άλλες ιδιότητες των αιωρούμενων που επιδρούν σημαντικά στην ανθρώπινη υγεία είναι (Harrison and Yin, 2000):

- η χημική τους σύσταση,
- η περιεχόμενη ποσότητα ιχνοστοιχείων,
- η περιεχόμενη ποσότητα όξινων συστατικών και
- η περιεχόμενη ποσότητα θεικών ενώσεων.

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων δεν περιορίζονται μόνο στο αναπνευστικό σύστημα, αλλά επιδρούν και στο καρδιαγγειακό σύστημα. Αυτές σχετίζονται κυρίως με μειωμένη ροή αίματος του μυοκαρδίου, ακολουθούμενη από ισχαιμία αλλαγές στην αγγειακή δραστηριότητα και μορφολογία και αυξημένο καρδιακό οξειδωτικό στρες. Οι ρύποι αυτοί περνάνε μέσα στο κυκλοφοριακό σύστημα και δημιουργούν στενώσεις αγγείων, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε έμφραγμα ακόμα και σε μικρότερες ηλικίες αλλά και σε μη καπνίζοντες (US EPA, 2008).

Στον πληθυσμό, υπάρχουν μερικές ομάδες ατόμων που παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι κυριότερες ομάδες υψηλού κινδύνου συμπεριλαμβάνουν άτομα με χρόνια αναπνευστικά προβλήματα, με καρδιαγγειακά

προβλήματα, άτομα με γρίπη, ηλικιωμένους και παιδιά (US EPA, 2008). Η αυξημένη ευαισθησία των παιδιών ως προς την ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται στο ότι το φυσιολογικό και ανοσοποιητικό τους σύστημα είναι ακόμη υπό ανάπτυξη (Farhat et al., 2005). Έχει υπολογιστεί ότι ο χρόνος ζωής μπορεί να ελαττωθεί από ένα έως δύο χρόνια, κατά μέσο όρο, σε άτομα υψηλού κινδύνου που διαμένουν σε περιοχές με έντονο το πρόβλημα της ρύπανσης (US EPA, 2008).

Το πολυκεντρικό ευρωπαϊκό πρόγραμμα APHEA (Air Pollution and Health: A European Approach) βασίστηκε σε υλικό από 30 ευρωπαϊκές πόλεις και διερεύνησε τις βραχυχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία (Atkinson and Anderson, 2001). Τα αποτελέσματα του APHEA έδειξαν ότι αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά 10μg/m³ σχετίζεται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό με αύξηση στην ημερήσια ολική θνησιμότητα κατά 0.6%, στην αναπνευστική κατά 1%, και στην καρδιαγγειακή κατά 0.8% (Katsouyianni et al., 1995, 1997, 2003). Για την ίδια αύξηση στα επίπεδα του ρύπου, οι εισαγωγές στα νοσοκομεία από νοσήματα του αναπνευστικού αυξάνονται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κατά 0.3% για τις ηλικίες 15-64 και κατά περίπου 1% για τις ηλικίες άνω των 65 χρόνων (Poloniesci et al., 1997). Οι εισαγωγές για χρόνια αναπνευστική πνευμονοπάθεια αυξάνονται κατά 0.4% σε όλες τις ηλικίες και κατά 1% για άτομα άνω των 65 ετών. Οι εισαγωγές από καρδιακά νοσήματα αυξάνονται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κατά 0.5% για όλες τις ηλικίες και κατά 0.8% για τους άνω των 65 ετών (Brook et al., 2004).

Γενικά η έκθεση των ανθρώπων στα αιωρούμενα σωματίδια, εκτός από προβλήματα στο αναπνευστικό και στο καρδιακό σύστημα, μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε θνησιμότητα τόσο βραχυχρόνια όσο και μακροχρόνια. Σύμφωνα με τη Ρεμουντάκη (2012), οι ενδεχόμενοι μηχανισμοί που συνδέουν τη σωματιδιακή ατμοσφαιρική ρύπανση με τη θνησιμότητα είναι οι εξής:

- Αύξηση ευαισθησίας σε λοιμώξεις λόγω εξασθενημένης άμυνας του οργανισμού.
- Φλεγμονές των αναπνευστικών οδών οι οποίες οδηγούν σε εξασθενημένη και δυσχερή ανταλλαγή αερίων και υποξαιμία.

- Πρόσκληση φλεγμονών στις κυψέλες των πνευμόνων από πολύ μικρά σωματίδια με απελευθέρωση ενδιάμεσων ουσιών που επιδεινώνουν υποβόσκουσες ασθένειες των πνευμόνων και αυξάνουν την πηκτικότητα του αίματος.
- Αυξημένη διαπερατότητα των πνευμόνων που οδηγεί σε πνευμονικό οίδημα.
- Επίσπευση συγκοπής καρδιάς σε ασθενείς με χρόνια καρδιακά νοσήματα λόγω οξείας βρογχίτιδας ή πνευμονίας που προκλήθηκε από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί την αιτία περίπου 3000000 θανάτων ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο αφού τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία ακόμη και σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια (WHO, 2000).

3.8.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η παρουσία στην ατμόσφαιρα αιωρούμενων σωματιδίων επηρεάζει είτε άμεσα είτε έμμεσα τη βλάστηση και τα οικοσυστήματα. Η άμεση επίδρασή τους στη βλάστηση αφορά κυρίως την εναπόθεσή τους στις επιφάνειες των φυτών, όπως για παράδειγμα στα φύλλα, που βρίσκονται πάνω από το έδαφος. Τα σωματίδια αυτά μπορούν να παραμείνουν στις επιφάνειες των φυτών για μεγάλες χρονικές περιόδους και να απορροφηθούν από την επιφάνεια ή να απομακρυνθούν από αυτά ξανά στην ατμόσφαιρα (επαναιώρηση) ή και να πέσουν στο έδαφος (Grantz et al., 2003). Η επίδρασή τους με έμμεσο τρόπο αφορά κυρίως την εναπόθεσή τους στο έδαφος, αλλάζοντας τις χημικές του ιδιότητες, καθώς επίσης και στην ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης δημιουργώντας προβλήματα στην παραγωγικότητα της βλάστησης και κυρίως στην αποδοτικότητα της φωτοσύνθεσης των φυτών. Πιο σημαντική είναι η όξινη εναπόθεση που αφορά κυρίως σωματίδια που περιέχουν νιτρικά και θειικά οξέα. Σημαντικές επιπτώσεις της όξινης εναπόθεσης είναι η μείωση της φωτοσύνθεσης, η πτώση των φύλλων και γενικά η μειωμένη ανάπτυξη των φυτών (US EPA, 2004).

Σε επίπεδο οικοσυστήματος, η εναπόθεση σωματιδίων για μεγάλο διάστημα σε φυσικά συστατικά των οικοσυστημάτων επιδρούν σημαντικά στην αλλαγή των κύκλων των θρεπτικών συστατικών και άλλων στοιχείων. Η μακροχρόνια έκθεση των φυτών στα σωματίδια αυτά έχει δείξει ότι αυτή η έκθεση ευνοεί την ανάπτυξη κάποιων φυτών και

εμποδίζει την ανάπτυξη άλλων. Τα χημικά συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων επηρεάζουν τα οικοσυστήματα αλλάζοντας τη χημική σύσταση του εδάφους και προκαλώντας αλλαγές τόσο στους πληθυσμούς των βακτηριδίων που συμμετέχουν στους κύκλους των θρεπτικών στοιχείων όσο και στους πληθυσμούς των μυκήτων που είναι χρήσιμοι για την πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά (US EPA, 2004).

3.8.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ

Η ορατότητα αναφέρεται στη μέγιστη απόσταση από την οποία ένα μαύρο αντικείμενο με κατάλληλες διαστάσεις το οποίο βρίσκεται κοντά στο έδαφος, μπορεί να παρατηρηθεί και να αναγνωριστεί κόντρα σε ένα σκεδαστικό φόντο όπως είναι ο ουρανός (WMO, 2008).

Η δυσλειτουργία της ορατότητας, που οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση, αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα και είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε πολλές μεγαλουπόλεις σε όλο τον κόσμο. Η μείωση της ορατότητας μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί από το ανθρώπινο μάτι και είναι η πιο απλή ένδειξη που υποδηλώνει την παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Kim et al., 2006).

Η ορατότητα δέχεται ένα μεγάλο εύρος τιμών το οποίο ξεκινά από λίγα μέτρα και φτάνει τα 260km (Baumer et al., 2008). Πολλοί είναι οι παράγοντες που καθορίζουν το πόσο μακριά μπορεί να δει κάποιος μέσα από την ατμόσφαιρα, συμπεριλαμβανομένου των οπτικών ιδιοτήτων της ατμόσφαιρας, της ποσότητας και της κατανομής του φωτός, των χαρακτηριστικών του παρατηρούμενου αντικειμένου και των ιδιοτήτων του ανθρώπινου ματιού. Η ικανότητα του ανθρώπινου ματιού να βλέπει μέσα από την ατμόσφαιρα εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και των αερίων, που έχουν την ικανότητα να ανακλούν και να απορροφούν το φως, προκαλώντας την εμφάνιση καταχνιάς, τη μείωση της αντίθεσης και την αλλαγή του χρώματος που το μάτι αντιλαμβάνεται για ένα αντικείμενο σε απόσταση (Seinfeld and Pandis, 1998).

Η ελάττωση της ορατότητας είναι άμεσο αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2.5μm και της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα PM_{2.5} δρουν ως ένα είδος φίλτρου ως προς την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα μόνο ένα ποσοστό από αυτή να καταφέρνει να τα διαπεράσει, ενώ η υπόλοιπη

διαχέεται, απορροφάται από τα σωματίδια ή ανακλάται. Η μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία οδηγεί σε ελαττωμένη ορατότητα.

Επιπροσθέτως, η ορατότητα εξαρτάται από την κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων καθώς και από το οπτικό βάθος. Η εξασθένηση της ορατότητας συνδέεται άμεσα και με τη χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων και την υγρασία (Baumer et al., 2008).

Γενικά η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων παράλληλα με τη μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας, εξασθενεί και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο προβλήματα και μεταβολές στο ισοζύγιο της ενέργειας και ταυτόχρονα στο κλίμα της Γης.

3.8.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ

Τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν στο κλίμα μιας περιοχής μέσω της άμεσης και έμμεσης επίδρασής τους στην ακτινοβολία. Η άμεση επίδραση των σωματιδίων στην ακτινοβολία γίνεται μέσω της σκέδασης και της απορρόφησης από αυτά της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ατμοσφαιρική σκέδαση είναι το φαινόμενο το οποίο οφείλεται στην αλληλεπίδραση των φωτονίων με τα μόρια του αέρα και τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Κατά τη διεργασία αυτή, οποιοδήποτε σωματίδιο παρεμβληθεί στην πορεία ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, αφαιρεί ενέργεια από αυτό την οποία επανεκπέμπει σε στερεά γωνία 4π με κέντρο το σωματίδιο. Υπάρχουν δύο βασικά είδη σκέδασης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, που συνδέονται με τις διαστάσεις των σωματιδίων σε σχέση με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Αφενός η σκέδαση Rayleigh, όπου τα σωματίδια που την προκαλούν έχουν διαστάσεις μικρότερες από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, αφετέρου η σκέδαση Mie, όπου τα σωματίδια που την προκαλούν έχουν διάμετρο μεταξύ 10^{-2} και 10^2 φορές το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Από την άλλη, απορρόφηση είναι η διεργασία κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα και αποτελεί τη βασική διεργασία που καθορίζει το κλίμα της Γης (Λαζαρίδης, 2005).

Όσον αφορά τις έμμεσες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο παγκόσμιο κλίμα, αυτές σχετίζονται με τον τρόπο που επιδρούν τα σωματίδια στις ιδιότητες των νεφών και κατ' επέκταση στις βροχοπτώσεις. Επίσης, παίζουν σημαντικό ρόλο στη χημεία της

ατμόσφαιρας, αλλάζοντας τις ιδιότητες κύριων συστατικών της όπως του όζοντος. Τα αιωρούμενα σωματίδια αναλόγως με τις ιδιότητές τους μπορούν να προκαλέσουν τόσο θέρμανση, όσο και ψύξη της γήινης ατμόσφαιρας (Kaufman et al., 2002).

3.8.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ

Οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στα υλικά σχετίζονται τόσο με τη φυσική φθορά, όσο και με αισθητικά κριτήρια. Η εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων σε συνδυασμό με τις καιρικές συνθήκες αυξάνουν και επιταχύνουν τη διάβρωση των υλικών. Η εναπόθεση σωματιδίων, όπως για παράδειγμα σκόνης, μπορεί να μειώσει την αισθητική αξία κτιρίων και σημαντικών πολιτιστικών μνημείων. Τα σωματίδια που αποτελούνται συνήθως από ανθρακογενή συστατικά μπορούν να εναποτεθούν σε αγάλματα και γενικά σε έργα τέχνης. Τα υλικά πάντως μπορούν να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση με καθάρισμα ή πλύσιμο ακόμα και με ξανά βάνιμο, στις περιπτώσεις κτιρίων (US EPA, 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Οι νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις στην Ελλάδα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και γενικά σε όλο τον πλανήτη σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος είναι πολυάριθμες και καλύπτουν όλους τους τομείς περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος όπως ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπανση υδάτινων συστημάτων, φυσικό περιβάλλον, προστασία χλωρίδας και πανίδας, φαινόμενο θερμοκηπίου, τοξικά απόβλητα, μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων κ.ά..

Όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση, λόγω της συνεχούς αύξησης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, η ΕΕ έπρεπε να διαμορφώσει και να θεσπίσει διεθνείς κανόνες, αποφάσεις και οδηγίες που αφορούν την μείωσή τους. Οι νόμοι και οι οδηγίες που έχει εκδώσει η ΕΕ, σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση, πέραν του προσδιορισμού των αιωρούμενων σωματιδίων κατά προέλευση σύσταση και συγκέντρωση περιλαμβάνει και τα όρια εκπομπών για τους διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και του περιβάλλοντος.

Η Ελλάδα έχει εναρμονίσει την εθνική της νομοθεσία με τις Οδηγίες της ΕΕ αλλά σε ορισμένες από αυτές δεν έχει εναρμονιστεί πλήρως. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι σημαντικότερες διεθνείς συμβάσεις και ορισμένες οδηγίες, αποφάσεις και νομοθετικές διατάξεις που αφορούν γενικά την προστασία του περιβάλλοντος και ειδικότερα την ατμοσφαιρική ρύπανση τόσο στην ΕΕ, όσο και στην Ελλάδα.

4.1 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ

Σε διεθνές επίπεδο έχουν υπογραφεί πολλές και σημαντικές συμβάσεις που έχουν ως σκοπό την αντιμετώπιση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παγκοσμίως. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι εξής:

ΣΥΝΘΗΚΗ ΤΗΣ ΓΕΝΕΥΗΣ

Η Συνθήκη αυτή υπεγράφη στη Γενεύη τον Νοέμβριο του 1979 και είχε ως στόχο τη διασυνοριακή συνεργασία για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος από την ατμοσφαιρική ρύπανση που πλήττει πολλές χώρες. Η εν λόγω συνεργασία

αφορούσε τη διαμόρφωση κατάλληλων πολιτικών σχετικά με την ανταλλαγή πληροφοριών, την οργάνωση ερευνητικών δραστηριοτήτων, την εφαρμογή και την ανάπτυξη ενός μηχανισμού επιτήρησης. Τα κράτη που είχαν επικυρώσει τη σύμβαση δεσμεύονταν να περιορίσουν και να μειώσουν σταδιακά τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων.

Στο πλαίσιο της Σύμβασης της Γενεύης του 1979 υπόκειται το «Πρωτόκολλο Σύμβασης Γενεύης» σχετικά με την καταπολέμηση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου ή των διασυννοριακών μεταφορών τους με τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων καταπολέμησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται. Το Πρωτόκολλο αυτό υπεγράφη τον Οκτώβριο του 1988 στη Σόφια της Βουλγαρίας (<http://europa.eu/>).

ΣΥΝΘΗΚΗ ΤΗΣ ΒΙΕΝΝΗΣ

Η Συνθήκη της Βιέννης, η οποία υπεγράφη το Μάρτιο του 1985, αποτέλεσε το αποτέλεσμα των επί τρία χρόνια εντατικών διαπραγματεύσεων που έγιναν λόγω της αναγκαιότητας που υπήρχε παγκοσμίως για προστασία του στρώματος του όζοντος. Σύμφωνα με τη συνθήκη αυτή τα Μέλη είναι υποχρεωμένα να προστατεύουν την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον από τις συνέπειες της ελάττωσης του όζοντος. Στη Βιέννη συμφωνήθηκε επίσης, να γίνουν εργασίες για την προετοιμασία συγκεκριμένων μέτρων με τη μορφή ενός Πρωτοκόλλου της Σύμβασης. Η χώρα μας κύρωσε τη Σύμβαση αυτή με τον Ν. 1818/1988 (ΦΕΚ 253/Α/15-11-1988) (<http://www.ekdd.gr/ekdda/index.php/gr>).

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΜΟΝΤΡΕΑΛ

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το 1987, καθόρισε τους ρύπους που καταστρέφουν την στιβάδα του όζοντος καθώς και μέτρα αντιμετώπισής τους. Το Πρωτόκολλο περιείχε ένα πλάνο για προγραμματισμό της παραγωγής και της κατανάλωσης, καθώς και μέτρα ελέγχου όσον αφορά την κατασκευή, την εισαγωγή και εξαγωγή, χημικών ενώσεων που καταστρέφουν το όζον. Το Πρωτόκολλο σχεδιάστηκε όταν ανακαλύφθηκε η «τρύπα» του όζοντος στην Ανταρκτική το 1985 και οι κυβερνήσεις αναγνώρισαν την ανάγκη λήψης κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπισή της. Ακολούθησαν και άλλες συναντήσεις των μελών του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ για τροποποιήσεις και ρυθμίσεις του

Πρωτοκόλλου που έγιναν στο Λονδίνο το 1990, στην Κοπεγχάγη το 1992, στη Βιέννη το 1995 και στο Πεκίνο το 1999. Μέχρι το Μάιο του 1999, το Πρωτόκολλο είχε επικυρωθεί από 168 χώρες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενσωμάτωσε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ στο ρυθμιστικό πλαίσιο με τους Κανονισμούς 541/91 και 3093/94 οι οποίοι προβλέπουν αυστηρότερα μέτρα από εκείνα του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ (<http://www.ekdd.gr/ekdda/index.php/gr>).

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ

Το Πρωτόκολλο του Κυότο (Ιαπωνία) υιοθετήθηκε το Δεκέμβριο του 1997 στην Τρίτη Σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών της σύμβασης – πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ήταν από τα σημαντικότερα θέματα που συζητήθηκαν. Στόχος του Πρωτοκόλλου ήταν η συνολική μείωση των εκπομπών τουλάχιστον κατά 5% την πενταετία 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998 μαζί με τα υπόλοιπα κράτη – μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Ελλάδα το κύρωσε το 2002 με τον Νόμο 3017/2002. Τα κυριότερα σημεία του Πρωτοκόλλου του Κυότο είναι τα εξής (Κούγκολος, 2007):

- Οι ανεπτυγμένες χώρες πρέπει να περιορίσουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων που ευθύνονται για την υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 5.2% μέχρι το 2012.
- Οι αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν καμιά υποχρέωση να μειώσουν τις εκπομπές, εκτός αν οι ίδιες το θελήσουν.
- Υιοθετείται η αρχή του “εμπορίου” των ρυπογόνων εκπομπών η οποία επιτρέπει σε χώρες που δεν καλύπτουν το πλαφόν τους να προβαίνουν σε πώληση των ποσοστών που τους απομένουν.
- Οι χώρες που έχουν εκτεταμένες περιοχές με δάση μπορούν να αυξήσουν το ποσοστό εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που δικαιούνται κατά τόσες ποσοστιαίες μονάδες, όσες εκτιμάται ότι απορροφούν τα δασικά συμπλέγματα που βρίσκονται στην επικράτειά τους.
- Δεν συγκροτήθηκε κανένας μηχανισμός κυρώσεων για τις χώρες που παραβιάζουν τη συμφωνία.

4.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Θεμέλιος λίθος της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι η Οδηγία-Πλαίσιο 96/62/EK σχετικά με την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος. Αυτή η Οδηγία προέβλεπε τον καθορισμό οριακών τιμών και των επιπέδων συγκέντρωσης των ρύπων, τα οποία καθορίζονται βάσει των οδηγιών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) για τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, με στόχο την αποτροπή, πρόληψη και μείωση των επιβλαβών αποτελεσμάτων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον γενικότερα. Τη συγκεκριμένη Οδηγία - Πλαίσιο ακολούθησε μια σειρά θυγατρικών Οδηγιών (Μασσάρα, 2011).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση και οι οποίες απευθύνονται σε όλα τα κράτη – μέλη τα οποία είναι υποχρεωμένα να λάβουν τα απαραίτητα νομοθετικά μέτρα ώστε να εφαρμοστούν οι επιβαλλόμενες Οδηγίες.

- Οδηγία 70/220/EK «Μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από καυσαέρια προερχόμενα από τα οχήματα».
- Οδηγία 72/306/EOK «Εκπομπές ρύπων από μηχανές ντίζελ».
- Οδηγία 75/716/EOK «Περιεκτικότητα θείου ορισμένων υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 80/372/EOK «Χλωροφθοράνθρακες στο περιβάλλον».
- Οδηγία 80/779/EOK «Καθορισμός οριακών και κατευθυντηρίων τιμών για το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα».
- Οδηγία 82/884/EOK «Καθορισμός της οριακής τιμής του μόλυβδου που περιέχεται στην ατμόσφαιρα» (εναρμόνιση : ΠΥΣ 98/10/28.7.1987).
- Οδηγία 84/360/EOK «Καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από βιομηχανικές εγκαταστάσεις» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με Κοινή Υπουργική Απόφαση, ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990 «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθορισμός περιεχομένου Ειδικών Περιβαλλοντικών Μελετών (ΕΠΜ) κ.λπ.»).
- Οδηγία 85/203/EOK «Προδιαγραφές ποιότητας αέρα για το διοξείδιο του αζώτου».

- Οδηγία 85/210/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών των σχετικών με την περιεκτικότητα της βενζίνης σε μόλυβδο» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 39254/1010/7.6.1988).
- Οδηγία 85/337/ΕΟΚ «Για την εκτίμηση των επιπτώσεων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990 και ΚΥΑ 75308/5512/2610/ 2.11.1990 συμμόρφωση με 84/360/ΕΟΚ και 85/337/ΕΟΚ).
- Απόφαση Συμβουλίου 86/277/ΕΟΚ «Για την μακροχρόνια χρηματοδότηση του συλλογικού προγράμματος μετρήσεων και αξιολόγησης της μεταφοράς αέριων ρύπων σε μεγάλη απόσταση στην Ευρώπη».
- Οδηγία 87/217/ΕΟΚ «Σχετικά με την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τον αμίαντο» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 8243/1113/26.2.1991).
- Οδηγία 88/77/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά των εκπομπών αερίων ρύπων από ντιζελοκινητήρες προοριζόμενους να τοποθετηθούν σε οχήματα» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 81160/861/3.7.1991 και ΚΥΑ 28432/2447/1992).
- Οδηγία 88/76/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά της ρυπάνσεως του αέρα από τα αέρια που προέρχονται από τους κινητήρες οχημάτων».
- Οδηγία 88/609/ΕΟΚ «Για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- Οδηγία 89/369/ΕΟΚ «Για την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από νέες εγκαταστάσεις καύσης αστικών απορριμμάτων».
- Οδηγία 89/429/ΕΟΚ «Για τη μείωση της ρύπανσης του αέρα από υφιστάμενες εγκαταστάσεις καύσης δημοτικών αποβλήτων».
- Οδηγία 91/441/ΕΟΚ τροποποίηση της 70/220/ΕΟΚ.
- Οδηγία 93/12/ΕΟΚ «Σχετικά με την περιεκτικότητα σε θείο ορισμένων υγρών καυσίμων».

- Οδηγία 93/76/ΕΟΚ «Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας».
- Απόφαση 93/389/ΕΟΚ «Δημιουργία μηχανισμού παρακολούθησης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου».
- Οδηγία 94/12/ΕΟΚ «Σχετικά με τα μέτρα κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από εκπομπές των οχημάτων» και τροποποίηση της 70/220/ΕΟΚ.
- Οδηγία 94/63/ΕΟΚ «Για τον έλεγχο των εκπομπών πτητικών οργανικών ουσιών (Volatile Organic Compounds, VOCs) που είναι αποτέλεσμα της αποθήκευσης πετρελαίου και της διανομής του από σταθμούς υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 1996/62/ΕΚ «Εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος».
- Οδηγία 1999/13/ΕΚ «Περιορισμός των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση διαλυτών σε ορισμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις».
- Οδηγία 1999/30/ΕΚ «Σχετικά με τις οριακές τιμές του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων αζώτου, σωματιδίων και μόλυβδου στον αέρα του περιβάλλοντος».
- Κανονισμός 2037/2000/ΕΚ «Για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος».
- Οδηγία 2000/69/ΕΚ «Για την αποτέφρωση των αποβλήτων».
- Οδηγία 2000/69/ΕΚ «Οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος».
- Οδηγία 2001/529/ΕΚ «Σχετικά με τα ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους».
- Οδηγία 2002/3/ΕΚ «Σχετικά με το όζον στην ατμόσφαιρα».
- Απόφαση 280/2004/ΕΕ «Μηχανισμός παρακολούθησης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου στην Κοινότητα και εφαρμογής του πρωτοκόλλου του Κυότο».
- Οδηγία 2008/1/ΕΚ «Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης».

- Οδηγία 2008/50/ΕΚ «σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερου αέρα για την Ευρώπη» (ορίζονται τα ανώτερα όρια ρύπων που πρέπει να ισχύουν στον ατμοσφαιρικό αέρα ζωνών ή οικισμών).
- Οδηγία 2010/75/ΕΚ «Σχετικά με τις βιομηχανικές εκπομπές (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης)».

4.3 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους ρύπους διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀), διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδος, αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρος και βενζοπυρένιο, σύμφωνα με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων (www.ypeka.gr). Τα σημαντικότερα νομοθετήματα της χώρας μας που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι τα εξής:

- Π.Δ. 1180/1981 «Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανικών, βιοτεχνικών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως του περιβάλλοντος εν γένει».
- Ν.1327/1983 «Για την αντιμετώπιση εκτάκτων επεισοδίων ρύπανσης του περιβάλλοντος και ρύθμιση συναφών θεμάτων».
- Ν. 1374/1983 «Κύρωση της σύμβασης της Γενεύης σχετικά με τη διασυνοριακή ρύπανση της ατμόσφαιρας σε μεγάλη απόσταση».
- Ν. 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος».
- Ν. 1818/1988 «Κύρωση της Συνθήκης της Βιέννης του 1985 για την προστασία της στοιβάδας του όζοντος και του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ του 1987 για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος».
- ΚΥΑ 58751/2370/1993 «Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- ΚΥΑ 3277/209/2000 «Καθορισμός γενικών αρχών και αρμόδιων υπηρεσιών, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος».

- Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κυότο στην Σύμβαση – πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος».
- ΚΥΑ 54409/2632/2004 «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ».
- ΚΥΑ 29459/1510/2005 «Καθορισμός εθνικών ανώτατων ορίων εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2001/81/ΕΚ».
- ΥΑ ΗΠΙ 33437/1904/Ε103/2008 «Έγκριση εθνικού προγράμματος μείωσης των εκπομπών ορισμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα, από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- ΥΑ ΗΠΙ 14122/549/Ε103/2011 «Μέτρα για την βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2008/50/ΕΚ».

4.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε μια γενική οδηγία το 1996 σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (1996/62/ΕΚ) και μία δεύτερη το 1999 (1999/30/ΕΚ) με την οποία θεσπίστηκαν οριακές τιμές για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και ανάμεσά τους και για τα PM_{10} . Όσον αφορά στα $PM_{2.5}$ αυτά άρχισαν να χρησιμοποιούνται από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (USEPA) ως μέτρο για την αξιολόγηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος μόλις το 2000, για τα οποία όμως τέθηκαν μόνο στόχοι και όχι όρια.

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας αναθεωρήθηκε το Μάιο του 2008 με την οδηγία 2008/50/ΕΚ, όπου για πρώτη φορά θεσμοθετήθηκαν όρια και για τα μικρά σωματίδια ($PM_{2.5}$). Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας για τα PM_{10} και $PM_{2.5}$ σύμφωνα με την οδηγία αυτή.

Πίνακας 4.4.1: Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM₁₀ (Οδηγία 2008/50/ΕΚ)

	Τιμή ορίου	Περιορισμοί	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία συμμόρφωσης
Ημερήσιο όριο (Περίοδος αναφοράς: 24 ώρες)				
Οριακή τιμή	50 µg/m ³	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος	50%	1 Ιανουαρίου 2005
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (35 µg/m ³)	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος		
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (25 µg/m ³)	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος		
Ετήσιο όριο (Περίοδος αναφοράς: 1 ημερολογιακό έτος)				
Οριακή τιμή	40 µg/m ³		20%	1 Ιανουαρίου 2005
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (28 µg/m ³)			
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (20 µg/m ³)			

Πίνακας 4.4.2: Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM_{2.5} (Οδηγία 2008/50/ΕΚ)

Ετήσιο όριο	Τιμή ορίου	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία συμμόρφωσης
1^ο Στάδιο			
Οριακή τιμή	25 µg/m ³	20% έως την 1/1/2009. Μετά ανά 12μηνο μείωση κατά ίσα ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% την 1/1/2015	1 Ιανουαρίου 2015
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% του ορίου (17 µg/m ³)		
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% του ορίου (12µg/m ³)		
2^ο Στάδιο			
Ημερολογιακό έτος	20 µg/m ³		1 Ιανουαρίου 2020

Ως ανώτερη επιτρεπόμενη 24ωρη τιμή για τα PM_{10} καθορίστηκαν τα $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, με δυνατότητα παραβίασης 35 ημέρες ετησίως, ενώ η ετήσια οριακή τιμή ορίστηκε στα $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η ετήσια οριακή τιμή για τα $PM_{2.5}$ ορίστηκε στα $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέχρι τις αρχές του 2015 (1^ο Στάδιο) και στα $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέχρι τις αρχές του 2020 (2^ο Στάδιο).

Β' ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Η ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η πόλη του Βόλου, πρωτεύουσα του Νομού Μαγνησίας, είναι μια παραλιακή πόλη που εκτείνεται σε όλο το βόρειο τμήμα του όρμου του Παγασητικού κόλπου, χτισμένη στους πρόποδες του Πηλίου (1550m υψόμετρο) και σε γεωγραφικό μήκος 22° 56' ανατολικά και σε γεωγραφικό πλάτος 39° 21' βόρεια. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, ο πληθυσμός του Δήμου του Βόλου ανέρχεται στους 144449 κατοίκους, ενώ η πόλη του Βόλου έχει πληθυσμό 86046 κατοίκους με τη μέση πυκνότητα να φτάνει στους 374.59κατοίκους/km² (<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>).

Το κλίμα του Βόλου είναι μεσογειακού τύπου, δηλαδή με υγρούς και ήπιους χειμώνες και ζεστά και ξηρά καλοκαίρια. Η μέση ετήσια θερμοκρασία για την κλιματική περίοδο 1956-1988 ήταν 17.1°C. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία ήταν 21°C και η μέση ελάχιστη 12.6°C (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1999). Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 420mm και εμφανίζεται κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες ενώ η μέση ημερήσια υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 58% και 74% (Proias et al., 2012). Τέλος, η μέση ταχύτητα ανέμου είναι χαμηλή (1.5m/s) και το ποσοστό καταστάσεων άπνοιας είναι 12.8% (Καλαμπόκας κ.ά., 2005).

5.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Ο Βόλος, όπως και όλες οι μεγάλες Ελληνικές πόλεις (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Λάρισα κ.λπ.), παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέονται με τις εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές (σταθερές και κινητές) και τη γενικότερη κλιματολογία και τοπογραφία της περιοχής μελέτης.

Η πόλη του Βόλου διαθέτει όλων των ειδών τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση και κατά συνέπεια συμβάλουν στην αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων. Δηλαδή, αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση τόσο τοπική όσο και διερχόμενη, βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες που είναι χωροθετημένες στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου, η εμπορική και τουριστική

δραστηριότητα που οφείλεται και στο λιμάνι της πόλης, η λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς και οι δραστηριότητες του τριτογενή τομέα (Σαμαρά κ.ά., 2008).

Σχετικά με τη βιομηχανία, στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου έχουν χωροθετηθεί δύο βιομηχανικές περιοχές, στις οποίες είναι εγκατεστημένες βιομηχανίες μετάλλου, παραγωγής τροφίμων και ποτών, παραγωγής τσιμέντου, χημικές, παραγωγής πλαστικών, κ. ά.. Η σημαντικότερη βιομηχανική πηγή είναι η βιομηχανία τσιμέντων ΑΓΕΤ Ηρακλής, η οποία βρίσκεται σε απόσταση 2km περίπου από τις περιοχές κατοικίας (Καλαμπόκας κ.ά., 2005).

Εκτός όμως από τις ανθρωπογενείς πηγές, η ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη του Βόλου οφείλεται και σε μερικές φυσικές πηγές όπως είναι η θαλάσσια αύρα, λόγω γειτνίασης της πόλης με τη θάλασσα, αλλά και η κατά καιρούς μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα. Η πιο σημαντική επιρροή της σκόνης από τη Σαχάρα είναι η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας της Μεσογείου, και κατ' επέκταση του Βόλου, σε τέτοιο βαθμό ώστε να ξεπερνούν τα όρια που έχουν τεθεί από την ΕΕ για συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Μάλιστα, για την Ελλάδα γενικότερα τα 2/3 των υπερβάσεων των ορίων αυτών οφείλονται στην «εισβολή» σκόνης από τη Σαχάρα (Χαριτάκης, 2008).

Σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση του Βόλου, διαδραματίζουν και οι μετεωρολογικές συνθήκες. Ο Βόλος παρουσιάζει ιδιαίτερα δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χρονικά εκτεταμένες καταστάσεις άπνοιας και χαμηλές θερμοκρασιακές αναστροφές λόγω του τοπογραφίας της περιοχής εξαιτίας της παρουσίας μεγάλων ορεινών όγκων σε επαφή με την πόλη και γειτνίαση με τη θάλασσα (Καλαμπόκας κ.ά., 2005). Κατά τους Σαμαρά κ.ά. (2008), τα 2/3 των ημερών του χρόνου επικρατεί άπνοια (ταχύτητα ανέμου μικρότερη από 0.5m/s) και χαμηλής ταχύτητας άνεμος (έως 3m/s), γεγονός που δεν συμβάλει σε μεγάλη διασπορά των ρύπων, διότι η δυνατότητα σημαντικής διασποράς των ρύπων από τον άνεμο αρχίζει από ταχύτητες της τάξης των 3m/s και πάνω, αλλά συντελεί στην ανάπτυξη επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

5.3 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται ο ρόλος των βασικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων, με ιδιαίτερη έμφαση στα αιωρούμενα σωματίδια, στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της πόλης του Βόλου σύμφωνα με προγενέστερες έρευνες που έχουν γίνει για την περιοχή μελέτης. Οι ρύποι αυτοί είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το όζον (O_3) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}).

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO_2)

Σύμφωνα με την έρευνα των Καλαμπόκα κ.ά. (2005) για τα έτη 2001 και 2002, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου ήταν κατά πολύ μικρότερες από τις οριακές τιμές ποιότητας ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, γεγονός που οφείλεται στις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν στη πόλη του Βόλου αλλά και στη παρουσία βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Οι τιμές της χειμερινής περιόδου ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες αυτών της θερινής περιόδου, γεγονός που αποδίδεται στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης και τις δυσμενέστερες συνθήκες διασποράς κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Οι συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια καταστάσεων άπνοιας την περίοδο του χειμώνα ήταν μεγάλες σε σχέση με αυτές των θερινών μηνών. Οι μέσες συγκεντρώσεις δεν διαφοροποιούνταν πολύ μεταξύ ΒΔ και ΝΑ διευθύνσεων, γεγονός που δείχνει ότι η κύρια πηγή ρύπανσης είναι οι λειτουργίες της πόλης.

Βάσει της έρευνας των Σαμαρά κ.ά. (2008) για το έτος 2006, το διοξείδιο του θείου, που προέρχεται κυρίως από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, τη θέρμανση και τη βιομηχανική δραστηριότητα, βρισκόταν σε επίπεδα κάτω από τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας. Σύμφωνα με τους ίδιους, αυτό οφείλεται κυρίως στη διαχρονική βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων, που χρησιμοποιούνται στα οχήματα, τη θέρμανση και τη βιομηχανία, καθώς μειώνεται διαχρονικά η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε θείο αλλά και στη σταδιακή διεύθυνση του φυσικού αερίου στη βιομηχανία και στη θέρμανση των κτιρίων.

Βάσει της έρευνας των Papaioannou et al. (2010) για την τετραετή χρονική περίοδο 2001-2004, το διοξείδιο του θείου στην πόλη του Βόλου, εμφάνισε μέση εποχική διακύμανση

που χαρακτηριζόταν από ελάχιστο στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους και μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής, σε συνδυασμό και με τις τοπικές πηγές που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της ενδοημερήσιας μεταβολής. Παρά το γεγονός ότι η τοπική γεωμορφολογία και η συνήθως επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες υποβοηθούν ιδιαίτερα στη συσσώρευση ατμοσφαιρικών ρύπων, η ανάλυση δείχνει ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου παραμένουν χαμηλότερα από τα αντίστοιχα όρια που έχουν τεθεί από την ΕΕ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Από την ίδια μελέτη προέκυψε η ενδοετήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων του ρύπου οφείλεται κυρίως στην ανθρωπογενή δραστηριότητα (λειτουργία συστημάτων κεντρικής θέρμανσης και βιομηχανίας) και δευτερευόντως στο μετεωρολογικό παράγοντα (ανάπτυξη θαλάσσιας αύρας και βορειοανατολική ροή ανέμου «μελτέμια»).

ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Σύμφωνα με τους Σαμαρά κ.ά. (2008) για το έτος 2006, οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στη πόλη του Βόλου που προέρχονταν κυρίως από τα παλαιάς τεχνολογίας βενζινοκίνητα οχήματα, βρίσκονταν σε επίπεδα κάτω από τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας και αυτό αποδίδεται κυρίως στην ανανέωση των παλαιών συμβατικών οχημάτων με καινούργια καταλυτικής τεχνολογίας.

Τα αποτελέσματα της έρευνας των Καλαμπόκα κ.ά. (2005) για τα έτη 2001 και 2002, έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ήταν μεγαλύτερες κατά τη χειμερινή περίοδο από ότι κατά τη θερινή περίοδο του έτους, γεγονός που οφειλόταν στις δυσμενέστερες συνθήκες ως προς τη διασπορά ρύπων κατά τους χειμερινούς μήνες όπως επίσης και στις χαμηλές επικρατούσες τιμές των ανέμων στο Βόλο. Επίσης, σύμφωνα με τους ίδιους, οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα δεν επηρέασαν την κατεύθυνση των ανέμων αφού δεν παρουσιάστηκαν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των ΒΔ και ΝΑ διευθύνσεων του ανέμου, γεγονός που υποδεικνύει ως βασική πηγή ρύπανσης το κέντρο της πόλης.

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO₂)

Τα αποτελέσματα της έρευνας των Σαμαρά κ.ά. (2008) για το 2006, έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα του Βόλου, που προέρχονταν κυρίως από την κυκλοφορία των οχημάτων, αλλά και από τη θέρμανση και τη βιομηχανική δραστηριότητα, βρίσκονταν μεν σε επίπεδα κάτω από τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας αλλά οι τιμές τους ήταν αρκετά υψηλές και κοντά στο να παρουσιάσουν υπέρβαση των ορίων στο μέλλον.

Στο συμπέρασμα αυτό είχε καταλήξει και η έρευνα των Καλαμπόκα κ.ά. (2005) για τα έτη 2001 και 2002, με τους ίδιους να προσθέτουν ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα να ήταν μεγαλύτερες κατά τους χειμερινούς μήνες λόγω των δυσμενών συνθηκών διασποράς κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επίσης, οι ίδιοι αναφέρουν ότι οι τιμές του διοξειδίου του αζώτου ήταν ελαφρά μεγαλύτερες για ΝΑ ανέμους από αυτές των ΒΔ ανέμων το οποίο αποδόθηκε στην επίδραση των δραστηριοτήτων του κέντρου και του λιμανιού, καθώς επίσης και στην πιθανή επαναπροώθηση ρύπων από τη θάλασσα λόγω της κυκλοφορίας θαλάσσιας αύρας. Τέλος η έρευνά τους κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι υψηλές τιμές των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου συνδέονταν με χαμηλές ταχύτητες των ανέμων καταστάσεις άπνοιας, γεγονός που δείχνει ότι οι πηγές δημιουργίας οξειδίων του αζώτου ήταν τοπικές, όπως αντίστοιχα παρατηρήθηκε με το διοξείδιο του θείου και το μονοξείδιο του άνθρακα.

Οι Riga-Karandinos and Saitanis (2005), στην έρευνά τους για την ποιότητα της ατμόσφαιρας της πόλης του Βόλου για τη χρονική περίοδο 1995-2003, παρατήρησαν ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου και γενικά των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης, μειώνονταν το Σαββατοκύριακο σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μέρες της εβδομάδας, γεγονός που το αποδίδουν στη μειωμένη κίνηση των οχημάτων τα Σαββατοκύριακα.

Τέλος, βάσει της έρευνας των Papaioannou et al. (2010) για την τετραετή χρονική περίοδο 2001-2004, το διοξείδιο του αζώτου στην πόλη του Βόλου, εμφάνισε μέση εποχική διακύμανση που χαρακτηριζόταν από ελάχιστο στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους και μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής, σε συνδυασμό και με τις τοπικές πηγές που

συμβάλλουν στη διαμόρφωση της ενδοημερήσιας μεταβολής. Και στην περίπτωση του συγκεκριμένου ρύπου, παρά το γεγονός ότι η τοπική γεωμορφολογία και η συνήθως επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες υποβοηθούν ιδιαίτερα στη συσσώρευση ατμοσφαιρικών ρύπων, η ανάλυση δείχνει ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου παραμένουν χαμηλότερα από τα αντίστοιχα όρια που έχουν τεθεί από την ΕΕ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Από την ίδια μελέτη διαπιστώθηκε ότι η ενδοετήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων του ρύπου οφείλεται σχεδόν κατά κύριο λόγο στην ανθρωπογενή δραστηριότητα, δηλαδή την μεγάλη κυκλοφορία των οχημάτων.

OZON (O₃)

Τόσο οι Καλαμπόκας κ.ά. (2005), όσο οι Σαμαρά κ.ά. (2008) διαπίστωσαν ότι οι συγκεντρώσεις του επιφανειακού όζοντος στην ατμόσφαιρα του Βόλου, οι οποίες δημιουργούνται με φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους, ήταν ιδιαίτερα υψηλές και ο αριθμός των υπερβάσεων της προτεινόμενης από την ΕΕ οριακής τιμής για την προστασία της ανθρώπινης υγείας (120μg/m³, ως μέση 8ωρη τιμή), ήταν οριακά κάτω από τον επιτρεπόμενο αριθμό και πολύ κοντά στο να ξεπεραστεί.

Πιο συγκεκριμένα, οι Σαμαρά κ.ά. (2008), αναφέρουν ότι το επιφανειακό όζον εξαιτίας της πολύπλοκης φυσικοχημικής του συμπεριφοράς, παρουσιάζει στην εκτός πολεοδομικού συγκροτήματος περιοχή υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με ένα πολεοδομικό συγκρότημα, γεγονός που μπορεί να συνδέεται με τα χαμηλότερα επίπεδα έκλυσης «καταστροφών» του όζοντος, δηλαδή οξειδίων του αζώτου.

Σύμφωνα δε με τους Καλαμπόκα κ.ά. (2005), οι συγκεντρώσεις του επιφανειακού όζοντος για τα έτη 2001 και 2002 κατά τη θερινή περίοδο του έτους ήταν περίπου διπλάσιες από αυτές της χειμερινής, ενώ οι τιμές συγκέντρωσης του κατά την επικράτηση ΝΑ ανέμων ήταν ελαφρά μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές της περιόδου των ΒΔ ανέμων, γεγονός που αποδίδεται στην αυξημένη φωτοχημική δραστηριότητα από τον συνδυασμό της θαλάσσιας αύρας και των εκπομπών από την παραλιακή ζώνη.

Σχετικά με την ημερήσια συγκέντρωση του επιφανειακού όζοντος στην ατμόσφαιρα της πόλης του Βόλου, οι Riga-Karandinos and Saitanis (2005) στην έρευνά τους για τη

χρονική περίοδο 1995-2003, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν τα Σαββατοκύριακα γεγονός που το αποδίδουν στη μειωμένη εκπομπή οξειδίων του αζώτου.

Τέλος, οι Papanastasiou and Melas (2009) στη μελέτη τους για τη χρονική περίοδο 2001-2003, από τη στατιστική ανάλυση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή του Βόλου, διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση του επιφανειακού όζοντος παρέμεινε σχετικά σε χαμηλότερα επίπεδα, χαμηλότερα από εκείνα που παρατηρούνται σε άλλες ελληνικές πόλεις, που πληρούν τις προϋποθέσεις των οριακών τιμών της ΕΕ. Από τη συγκεκριμένη μελέτη προέκυψε, όπως ήταν αναμενόμενο, η εποχική διακύμανση της συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος παρουσιάζει μέγιστο κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και ένα ελάχιστο κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, ενώ η μέση ημερήσια διακύμανση παρουσιάζει ένα μόνο μέγιστο. Οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του ρύπου που συνήθως παρατηρείται όταν ο άνεμος φυσάει από νότιες και νοτιοανατολικές κατευθύνσεις, δηλαδή σχετίζονται με τις συχνές επικρατήσεις συστημάτων θαλάσσιας αύρας που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους. Τέλος, από τη συγκεκριμένη μελέτη διαπιστώθηκε ότι η εβδομαδιαία διακύμανση των μέγιστων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος ήταν αμελητέα.

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM₁₀)

Η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της πόλης του Βόλου, το οποίο επαληθεύεται από τα ευρήματα πολλών μελετητών όπως για παράδειγμα από τους Καλαμπόκας κ.ά. (2005), Σαμαρά κ.ά. (2008), Papanastasiou and Melas (2009), Proias et al. (2009, 2012). Υπάρχουν επίσης και ορισμένες σημαντικές μελέτες και έρευνες όπως το «Επιχειρησιακό σχέδιο για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Βόλο» του ΥΠΕΚΑ, η «Απογραφή αερίων ρύπων, υγρών και στερεών αποβλήτων από τη βιομηχανία και εκπομπών από τη κεντρική θέρμανση» επίσης του ΥΠΕΚΑ, η «Μελέτη των συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων σωματιδιακών ρύπων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής του Βόλου γύρω από το εργοστάσιο Όλυμπος της ΑΓΕΤ Ηρακλής» του ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ και η «Γενική Κυκλοφοριακή Μελέτη του

Βόλου», που σχετίζονται τόσο με τα αιωρούμενα σωματίδια όσο και με την ατμοσφαιρική ρύπανση στο Βόλο γενικότερα (Σαμαρά κ.ά., 2008).

Τα αποτελέσματα της έρευνας των Καλαμπόκα κ.ά. για τα έτη 2001 και 2002 έδειξαν ότι οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν παραπλήσιες με αυτές των Αθηνών, γεγονός που αποδίδεται στις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες διασποράς και στη παρουσία βιομηχανικών και αστικών εκπομπών. Σύμφωνα με τους ίδιους, οι συγκεντρώσεις για ΝΑ κατευθύνσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από αυτές των ΒΔ κατευθύνσεων και αυτό αποδίδεται στις δραστηριότητες του νότιου τομέα της πόλης (παραλιακή ζώνη), στην ανάπτυξη θαλάσσιας αύρας, η οποία σε συνδυασμό με την αυξημένη υγρασία ευνοεί τον σχηματισμό σωματιδίων, καθώς και στην επίδραση από βιομηχανικές πηγές.

Οι Σαμαρά κ.ά. (2008) ασχολήθηκαν με τη χημική ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων στη πόλη του Βόλου για το έτος 2006. Εξέτασαν τη χημικό προφίλ των αιωρούμενων σωματιδίων σε τρεις θέσεις στη πόλη του Βόλου: στο Κέντρο (εμπορικό κέντρο) της πόλης, στη Ν. Ιωνία και στη Ν. Δημητριάδα. Στο συμπέρασμα που κατέληξαν ήταν ότι συνολικά η κυκλοφορία οχημάτων (κυρίως τα πετρελαιοκίνητα) είχαν το σημαντικότερο ποσοστό συμμετοχής στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των PM_{10} στο Βόλο και πιο συγκεκριμένα κατείχε το 57.7% στο Κέντρο, 49.4% στη Ν. Ιωνία και 39.5% στη Ν. Δημητριάδα. Εξίσου σημαντικές πηγές σύμφωνα με τους ίδιους είναι και η τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ κυρίως στη Ν. Δημητριάδα με 22.2%, καύση των απορριμμάτων στη Ν. Ιωνία με 17.1% και η καύση πετρελαίου (κυρίως για θέρμανση) με 16.4% στη Ν. Ιωνία. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το έτος 2006 καταγράφηκαν συνολικά 163 ημέρες με υπέρβαση του ορίου της ημερήσιας τιμής των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση της συγκεκριμένης οριακής τιμής για περισσότερες από 35 συνολικά ημέρες το χρόνο) από έναν η περισσότερους από τους τρεις αυτούς σταθμούς καταγραφής του ρύπου στην περιοχή.

Επίσης, οι Papanastasiou and Melas (2009) στη μελέτη τους για τη χρονική περίοδο 2001-2003, από τη στατιστική ανάλυση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή του Βόλου, διαπίστωσαν ότι η ρύπανση που προκαλείται από τα PM_{10} είναι σημαντική και μπορεί να συγκριθεί με τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM_{10} που καταγράφεται σε πολύ μεγαλύτερες αστικές περιοχές. Οι ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης

των PM10 υπερέβησαν την οριακή τιμή των 50μg/m³ κατά περίπου 38% των ημερών που μελετήθηκαν και μέση ετήσια τιμή τους ξεπέρασε την οριακή τιμή των 40μg/m³. Οι συγκεντρώσεις των PM10 παρουσίασαν εποχική διακύμανση με ελάχιστο κατά τη θερμή περίοδο και μέγιστο κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, ενώ η μέση ημερήσια διακύμανση εμφανίζει δύο μέγιστα. Το πρωινό που παρατηρείται 07:00-11:00 και το βραδινό που εμφανίζεται 19:00-24:00. Εποχικά, η ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων PM10 μπορεί να αποδοθεί στις κεντρικές δραστηριότητες της πόλης και στη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, αντιστοίχως. Οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης των PM10 συνήθως εμφανίζονταν όταν ο άνεμος φυσάει από βόρεια προς βορειοδυτικά, κατά μήκος της κατεύθυνσης του βιομηχανικού τομέα της ευρύτερης περιοχής του Βόλου. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM10 υπερέβαιναν, κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, την οριακή τιμή των 50μg/m³ από την Τρίτη έως και Σάββατο.

Στην εργασία των Proias et al. (2009) μελετήθηκαν οι σχέσεις μεταξύ των PM10 και μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2005-2007, στην πόλη του Βόλου. Από την ανάλυση αυτή προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα: (1) οι συγκεντρώσεις των PM10 παραμένουν πάνω από τις οριακές τιμές της ΕΕ για το σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου (2005-2007) και αυτό μπορεί να αποδοθεί σε ανθρωπογενείς (βιομηχανία και κυκλοφορία αυτοκινήτων) και σε φυσικές πηγές (επεισόδια μεταφοράς από τη Σαχάρα) του ρύπου, (2) το ποσοστό της διακύμανσης των συγκεντρώσεων των PM10 που αποδόθηκε στην επίδραση της ταχύτητας του ανέμου, στη θερμοκρασία του αέρα και στη σχετική υγρασία ήταν 17.7% (για την ψυχρή περίοδο), 13.3% (για το σύνολο της χρονικής περιόδου 2005-2007) και 4.9% (για τη θερμή περίοδο), (3) η ανάλυση των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM10 κατά τη διάρκεια των ημερών με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, έδειξε αύξηση από περίπου 2 - 4 φορές, σε σχέση με το μέσο όρο συγκέντρωσης των PM10 πέντε ημέρες πριν (ή μετά) την ημέρα του επεισοδίου.

Σύμφωνα πάλι με πρόσφατη μελέτη των Proias et al. (2012) για την ανάλυση των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο για τη χρονική περίοδο

2001-2007, διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους σε αντίθεση με τη θερμή, όπου παρουσιάστηκαν οι μικρότερες τιμές. Από τη μελέτη τα συμπεράσματα έδειξαν ότι η μέση ημερήσια διακύμανση του εξεταζόμενου αέριο ρύπου τόσο κατά τη ψυχρή, όσο και κατά τη θερμή περίοδο του έτους, εμφανίζουν διπλό μέγιστο, τις πρωινές και τις βραδινές ώρες. Επιπλέον, η ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM₁₀ εμφάνισε διπλό μέγιστο, όπου το πρωτεύον παρατηρήθηκε το Φεβρουάριο και το δευτερεύον το Μάιο και τον Ιούνιο. Επίσης, σύμφωνα με την ίδια μελέτη, παρατηρήθηκε ότι εκείνη την περίοδο τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM₁₀ στην πόλη παρέμειναν υψηλότερα από τα αντίστοιχα όρια για την προστασία της ανθρώπινης υγείας που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τέλος, σύμφωνα με τη διπλωματική μελέτη του Νάσιου (2011), η οποία αφορά στη διερεύνηση της χρονικής συμπεριφοράς, των μετεωρολογικών εξαρτήσεων και της προβλεψιμότητας των χρονοσειρών συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) στην αστική περιοχή του Βόλου για το χρονικό διάστημα 2007-2010, προέκυψε ότι η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση PM₁₀ ήταν πολύ υψηλή, της τάξης των 512 μg/m³. Σε επίπεδο ημερών προέκυψε ότι η μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση των PM₁₀ που καταγράφηκε για αυτό το χρονικό διάστημα χαρακτηρίστηκε επίσης πολύ υψηλή και ήταν της τάξης των 325 μg/m³, με τη Δευτέρα να είναι η πλέον λιγότερη επιβαρυσμένη ημέρα της εβδομάδας σε συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων λόγω της ανάπαυλας των δραστηριοτήτων κατά το Σαββατοκύριακο. Όσον αφορά την επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στις συγκεντρώσεις PM₁₀ στο Βόλο προέκυψε ότι η ημερήσια θερμοκρασία έχει σημαντική θετική σχέση με την ημερήσια συγκέντρωση PM₁₀ και μάλιστα η υψηλή θερμοκρασία μιας ημέρας συνοδεύεται και από υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων της επόμενης ημέρας, αλλά και το αντίστροφο, δηλαδή η υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων μιας ημέρας συνοδεύεται από υψηλή θερμοκρασία της επόμενης ημέρας. Επίσης η ημερήσια ταχύτητα του ανέμου τείνει να μειώνει την ημερήσια συγκέντρωση PM₁₀ στη πόλη του Βόλου ενώ η ημερήσια βροχόπτωση έχει αρνητική σχέση με την ημερήσια συγκέντρωση PM₁₀. Συμπερασματικά, προέκυψε ότι τη χρονική περίοδο 2007-2010 υπήρξε συνεχής παραβίαση των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

6.1 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΕΠΙΤΟΠΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Τα δεδομένα της ανάλυσης προέκυψαν μετά από επιτόπιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε 14 σημεία της πόλης του Βόλου κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2/12/2013 – 15/12/2013. Τα σημεία που επιλέχθηκαν με σκοπό την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής και έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (βλ. Εικόνα 6.1) και είναι τα εξής:

- | | |
|---|--|
| 1. Τ.Μ.Χ.Π.Π.Α (Σέκερη - Αλαμάνας) | 8. Παγασών – 2 ^{ας} Νοεμβρίου |
| 2. Κ.Τ.Ε.Λ. Ν. Μαγνησίας | 9. Αναλήψεως – Ιωλκού |
| 3. Γ. Λαμπράκη – Δημητριάδος | 10. Αναλήψεως – Κ. Καρτάλη |
| 4. Χώρος Στάθμευσης Οχημάτων
(PARKING) στη παραλία του Βόλου | 11. Ογλ – 28 ^{ης} Οκτωβρίου |
| 5. Φιλελλήνων – Δημητριάδος | 12. Δημητριάδος – Σπυρίδη |
| 6. Αγίου Νικολάου – Ερμού | 13. Κ. Καρτάλη – Ερμού |
| 7. Πλατεία Ελευθερίας | 14. Γαλλίας - Ροζού |



Εικόνα 6.1: Θέσεις μέτρησης συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου (Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία).

Πριν γίνει αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας, η οποία πραγματοποιήθηκε για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στη πόλη του Βόλου και την απόκτηση των δεδομένων, θα γίνει μια σύντομη περιγραφή του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία μέτρησης. Πρόκειται για τον αυτόματο μετρητή συνεχούς καταγραφής DUST TRAK II AEROSOL MONITOR 8530 (βλ. Εικόνα 6.2) της αμερικανικής εταιρείας TSI, το οποίο ανήκει στο T.M.X.Π.Π.Α. Είναι ένα υπερσύγχρονο φορητό όργανο με διαστάσεις 135x216x224mm, βάρος 2kg, μεγάλη οθόνη αφής και σύστημα on-line μέτρησης συγκέντρωσης ρύπων (σκόνη, καπνό, νέφος) τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Η συσκευή αυτή βασίζεται στην αρχή της φωτομετρίας (περίθλαση με ακτίνα laser) και διαθέτει ενσωματωμένα αντλία, εσωτερική μνήμη και data-logger για την αυτόματη αποθήκευση των μετρούμενων τιμών σε προγραμματιζόμενα χρονικά διαστήματα από τον χρήστη, καθώς και τη δυνατότητα μετάδοσης των μετρούμενων τιμών σε Η/Υ. Παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο τις μετρούμενες συγκεντρώσεις των σωματιδίων σε χιλιοστά του γραμμαρίου ανά κυβικό μέτρο αέρα (mg/m^3). Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα DUST TRAK 8530 είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να λαμβάνει και να αποθηκεύει μετρήσεις χωρίς να είναι αναγκαία η παρουσία του στον ελεγχόμενο χώρο. Ανάλογα με τον προσαρμοζόμενο προδιαχωριστή, μετρά τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο έως 10 ή 4 ή 2.5 ή 1 μm , δηλαδή τα κλάσματα PM_{10} , PM_4 , $\text{PM}_{2.5}$ και PM_1 (<http://www.enco.gr/>). Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν προδιαχωριστές 2.5 και 10 μm . Τέλος, επισημαίνεται ότι μετά τη συμπλήρωση της 1^{ης} εβδομάδας των μετρήσεων έγινε βαθμονόμηση (zero calibration) με το zero φίλτρο.



Εικόνα 6.2: DUST TRAK II AEROSOL MONITOR 8530 (Πηγή: <http://www.tsi.com/>)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η διαδικασία μέτρησης των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων για την απόκτηση των δεδομένων διήρκεσε 2 εβδομάδες. Την 1^η εβδομάδα (2/12/2013 - 8/12/2013) οι μετρήσεις έγιναν στα σημεία 1-7 και τη 2^η εβδομάδα (9/12/2013 - 15/12/2013) στα σημεία 8-14 όπως παρουσιάστηκαν πιο πάνω (βλ. Εικόνα 6.1). Η διαδικασία μέτρησης έγινε για όλες τις ημέρες πρωί και απόγευμα. Το πρωί στη διάρκεια του διαστήματος 10:30-14:00 και το απόγευμα στη διάρκεια του διαστήματος 18:00-21:30. Το όργανο μέτρησης σε όλα τα σημεία ήταν πάντα τοποθετημένο σε ύψος περίπου ένα μέτρο (1m) από το έδαφος. Οι μετρήσεις σε κάθε σημείο ήταν 20λεπτες. Τα πρώτα 10 λεπτά γινόταν η μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο έως 10 μ m (PM₁₀) και τα υπόλοιπα 10 λεπτά η μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο έως 2.5 μ m (PM_{2.5}) με τη χρήση του αντίστοιχου προδιαχωριστή. Είναι σημαντικό να αναφερθεί το γεγονός ότι σε κάθε σημείο και για όλες τις ημέρες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις το ίδιο χρονικό διάστημα. Η μετάβαση από το ένα σημείο στο άλλο γινόταν πάντα με τα πόδια ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και το όργανο μέτρησης ήταν τοποθετημένο σε σακίδιο χειρός κατά τη μετάβαση από το ένα σημείο στο άλλο.

Όσον αφορά την πρώτη εβδομάδα των μετρήσεων, η διαδικασία μέτρησης άρχιζε κάθε πρωί στις 10:30 και κάθε απόγευμα στις 18:00 με πρώτο σημείο να είναι η διασταύρωση των οδών Σέκερη και Αλαμάνας έξω από το κτίριο του Τ.Μ.Χ.Π.Π.Α.. Πρόκειται για μια περιοχή με αρκετή κίνηση καθώς η οδός Σέκερη αποτελεί είσοδο προς τη πόλη του Βόλου αλλά και στο Πεδίο του Άρεως όπου στεγάζονται οι Πολυτεχνικές Σχολές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Σε απόσταση μόλις 120m περίπου ήταν η δεύτερη θέση μέτρησης, στα Κ.Τ.Ε.Λ. του Ν. Μαγνησίας όπου η μέτρηση γινόταν στο χώρο αφήξεων και αναχωρήσεων των λεωφορείων. Σε απόσταση περίπου 840m βρισκόταν η τρίτη θέση μέτρησης, ειδικότερα στο σημείο όπου συναντώνται η λεωφόρος Γρ. Λαμπράκη με τη λεωφόρο Δημητριάδος, δηλαδή σε μια περιοχή με πολύ μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο διότι πραγματοποιείται τόσο είσοδος προς το κέντρο της πόλης όσο και έξοδος από αυτό. Στη συνέχεια, σε απόσταση 370m βρισκόταν η τέταρτη θέση μέτρησης, έξω από το χώρο στάθμευσης οχημάτων στην παραλία του Βόλου. Πρόκειται για μια περιοχή κοντά στο επιβατικό λιμάνι του Βόλου με αρκετή κίνηση τόσο προς το χώρο στάθμευσης όσο και προς το κέντρο της πόλης. Κατά μήκος της παραλίας και σε απόσταση 740m περίπου

βρισκόταν το πέμπτο σημείο μέτρησης, στη διασταύρωση των οδών Δημητριάδος και Φιλελλήνων. Το σημείο αυτό αποτελεί μια κεντρική περιοχή της πόλης, κοντά στο Πανεπιστήμιο, με πολλές πολυκατοικίες και εμπορικά καταστήματα και αρκετή κίνηση οχημάτων. Σε απόσταση 450m περίπου βρισκόταν η έκτη θέση μέτρησης που ήταν η διασταύρωση των πεζόδρομων Αγ. Νικολάου και Ερμού, έξω από την εκκλησία του Αγίου Νικολάου. Αποτελεί, αν όχι την κεντρικότερη περιοχή του Βόλου, μια από τις κεντρικότερες περιοχές. Είναι μια περιοχή με πολυκατοικίες, γραφεία και πολλά εμπορικά καταστήματα από την οποία περνούν καθημερινά πολλοί άνθρωποι, διότι ο πεζόδρομος της Ερμού αποτελεί το εμπορικό κέντρο της πόλης. Τέλος, σε απόσταση 500m περίπου βρίσκεται η πλατεία Ελευθερίας η οποία αποτελούσε και την τελευταία θέση μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων για την πρώτη εβδομάδα. Αποτελεί κεντρική περιοχή της πόλης με πολυκατοικίες, εμπορικά καταστήματα και γραφεία τριγύρω και με αρκετή κίνηση οχημάτων και λεωφορείων καθώς ο δρόμος της Ιωλκού αποτελεί κεντρική είσοδο στο κέντρο του Βόλου, σε σημείο κοντά στη στάση των ταξί και απέναντι ακριβώς από τα δικαστήρια.



Εικόνα 6.3: Θέσεις μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου και η διαδρομή που ακολουθήθηκε την 1^η εβδομάδα των μετρήσεων (Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία).

Η παραπάνω διαδικασία μετρήσεων πραγματοποιήθηκε για όλες τις ημέρες, πρωί και απόγευμα, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2/12/2013 - 8/12/2013. Στην Εικόνα 6.3 φαίνονται οι θέσεις μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς επίσης και η διαδρομή που ακολουθήθηκε τόσο το πρωί όσο και το απόγευμα καθ' όλη τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας.

Όπως την πρώτη εβδομάδα, έτσι και τη δεύτερη η διαδικασία μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων άρχιζε κάθε πρωί στις 10:30 και κάθε απόγευμα στις 18:00. Πρώτο σημείο μέτρησης της δεύτερης εβδομάδας ήταν η διασταύρωση των οδών Παγασών και 2ας Νοεμβρίου. Είναι μια περιοχή με πολλές πολυκατοικίες και εμπορικά καταστήματα καθώς επίσης και υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο διότι η οδός 2ας Νοεμβρίου ενώνει τη Ν. Ιωνία με το Βόλο. Σε απόσταση σχεδόν 1300m βρισκόταν η δεύτερη θέση μέτρησης που ήταν η διασταύρωση των οδών Αναλήψεως και Ιωλκού. Πρόκειται για δύο από τους κεντρικότερους δρόμους της πόλης, με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση και κατά μήκος των οποίων υπάρχουν πολλές πολυκατοικίες και εμπορικά καταστήματα. Το τρίτο σημείο μέτρησης ήταν η διασταύρωση των οδών Αναλήψεως και Κ. Καρτάλη το οποίο απέχει μόλις 120m από το προηγούμενο σημείο. Η οδός Κ. Καρτάλη αποτελεί επίσης κεντρικό δρόμο και αποτελεί έξοδο από την πόλη του Βόλου προς το Πήλιο. Στη συνέχεια, σε απόσταση περίπου 850m βρισκόταν το τέταρτο σημείο μέτρησης που ήταν η διασταύρωση των οδών Ογλ και 28^{ης} Οκτωβρίου. Στο σημείο αυτό η κίνηση ήταν αρκετά πιο περιορισμένη, σε σύγκριση με τα προηγούμενα σημεία μέτρησης, ενώ στη γύρω υπάρχουν και αρκετά εμπορικά καταστήματα. Σε απόσταση 400m περίπου βρίσκεται η διασταύρωση των οδών Δημητριάδος και Σπυρίδη η οποία αποτελούσε την πέμπτη θέση μέτρησης. Η περιοχή αυτή αποτελεί μια από τις κεντρικότερες περιοχές της πόλης με πολλά εμπορικά καταστήματα και υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Η επόμενη θέση μέτρησης ήταν η διασταύρωση των οδών Κ. Καρτάλη και Ερμού, μια περιοχή με πολλές πολυκατοικίες και εμπορικά καταστήματα. Αυτή η θέση μέτρησης βρισκόταν σε απόσταση 180m περίπου από την προηγούμενη. Τέλος, σε απόσταση 520m περίπου βρισκόταν η τελευταία θέση μέτρησης για τη δεύτερη εβδομάδα που ήταν η διασταύρωση των οδών Γαλλίας και Ροζού. Πρόκειται για μια περιοχή κοντά στο Οικονομικό Πανεπιστήμιο, με πολλές πολυκατοικίες και αρκετή κίνηση οχημάτων.

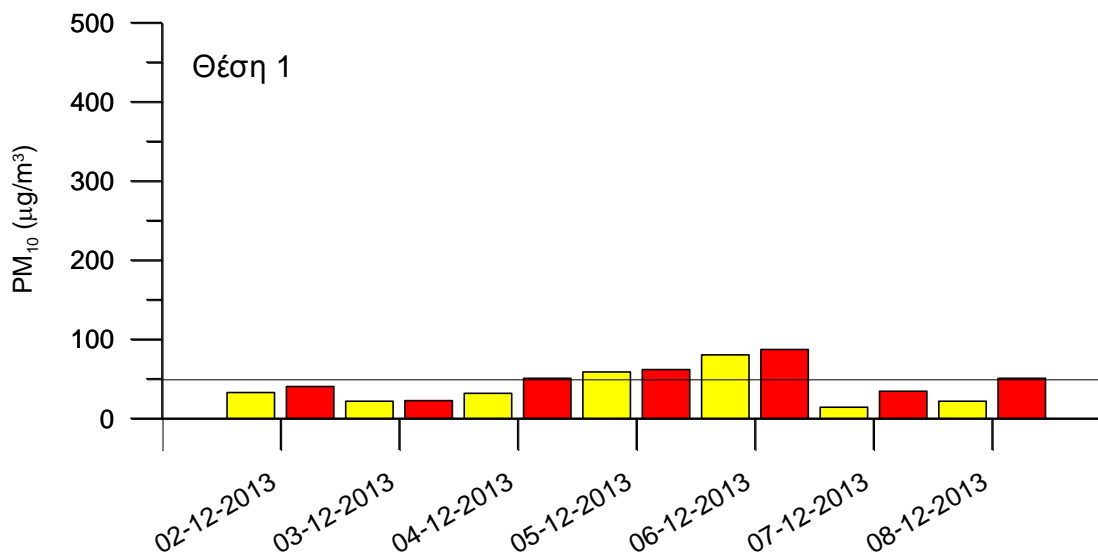


Εικόνα 6.4: Θέσεις μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου και η διαδρομή που ακολουθήθηκε την 2^η εβδομάδα των μετρήσεων (Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία).

Η συγκεκριμένη διαδικασία μετρήσεων πραγματοποιήθηκε για όλες τις ημέρες, πρωί και απόγευμα, στη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 9/12/2013 - 15/12/2013. Στην Εικόνα 6.4 φαίνονται οι θέσεις μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς επίσης και η διαδρομή που ακολουθήθηκε τόσο το πρωί όσο και το απόγευμα καθ' όλη τη διάρκεια της δεύτερης εβδομάδας.

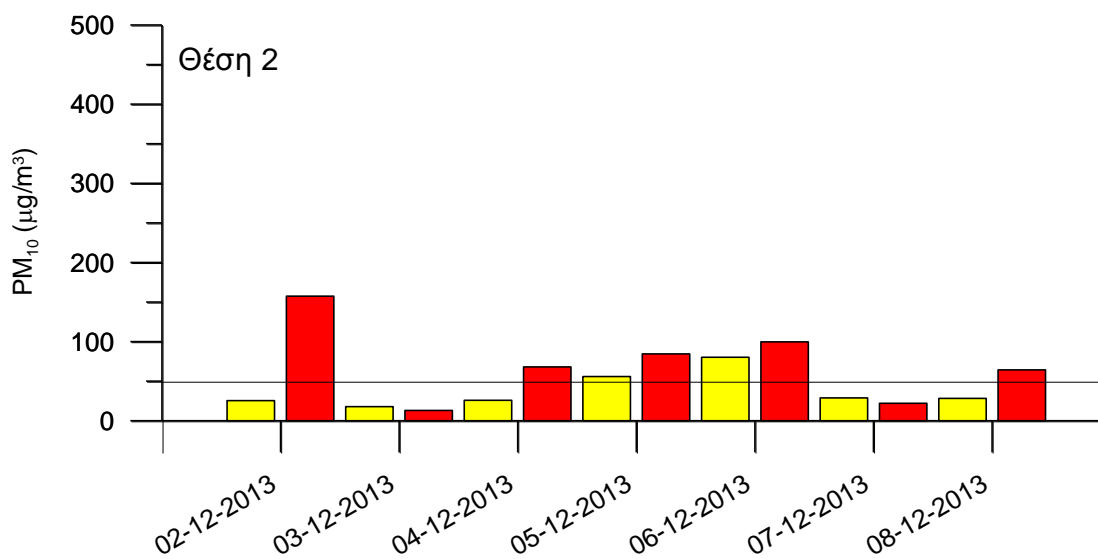
6.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΙΜΩΝ

Παρακάτω, με τη βοήθεια γραφημάτων, γίνεται η στατιστική επεξεργασία και απεικόνιση των μετρήσεων PM_{10} και για τις δυο εβδομάδες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η μέση τιμή των συγκεντρώσεων PM_{10} που καταγράφηκαν το δεκάλεπτο κατά το οποίο έγιναν οι μετρήσεις ανά θέση μέτρησης τόσο για τις πρωινές ώρες όσο και για τις απογευματινές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές που μετρήσαμε με το όργανο έχουν έναν συντελεστή διόρθωσης με τιμή 0.38 (βλ. Παράρτημα Α: Πίνακας Π.1, Πίνακας Π.2) που τον δίνει η ίδια τη εταιρία TSI (Wallace L. et al., 2011). Επίσης οι μέσες τιμές δεκαλέπτου των αιωρούμενων σωματιδίων θα μπορούσαν να συσχετιστούν με τη μορφή ποσοστού της μέσης ημερήσιας τιμής των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Με βάση τα παρακάτω γραφήματα θα μπορούσε να πει κανείς ότι τις απογευματινές ώρες υπάρχει υπέρβαση της μέσης ημερήσιας τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων κυρίως την Πέμπτη, την Παρασκευή και την Κυριακή. Την Πέμπτη και την Παρασκευή ο κόσμος κινείται στην αγορά της πόλης του Βόλου για αγορές ενώ την Κυριακή ο κόσμος μαζεύεται στο σπίτι και λειτουργούν οι κεντρικές θερμάνσεις και τα τζάκια. Αρχικά παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των PM_{10} της 1^{ης} εβδομάδας (2-8/12/2013) των μετρήσεων ανά θέση μέτρησης.



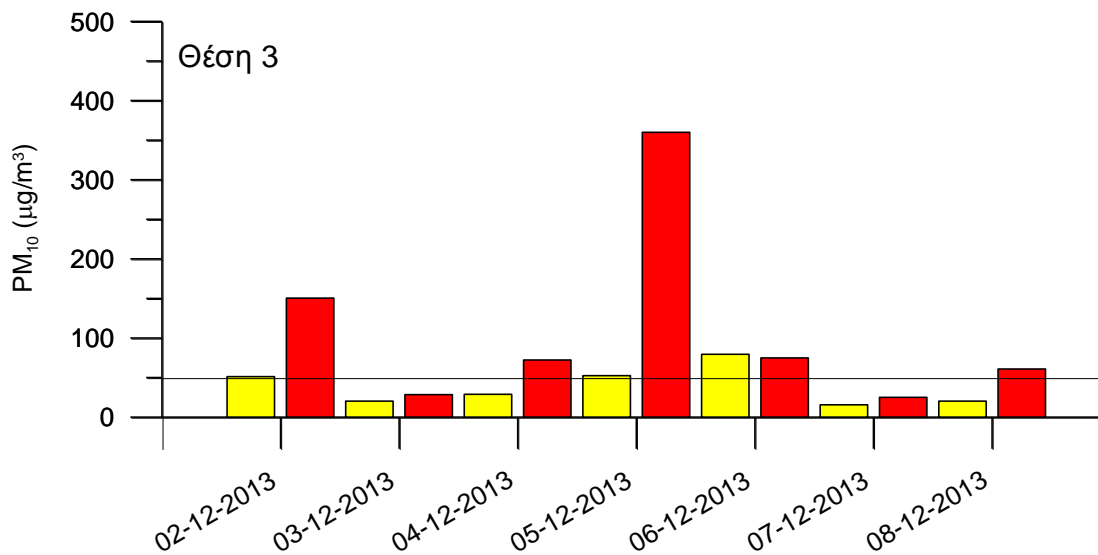
Γράφημα 6.1: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 1» στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Στη Θέση 1 δεν παρατηρείται ουσιαστική διαφοροποίηση στις τιμές των PM_{10} καθ' όλη τη διάρκεια της εβδομάδας. Σε αντίθεση με τις πρωινές μετρήσεις, οι απογευματινές είναι υψηλότερες γεγονός το οποίο ενδεχομένως να οφείλεται στην αυξημένη κυκλοφορία που παρατηρήθηκε εκείνη την ώρα.



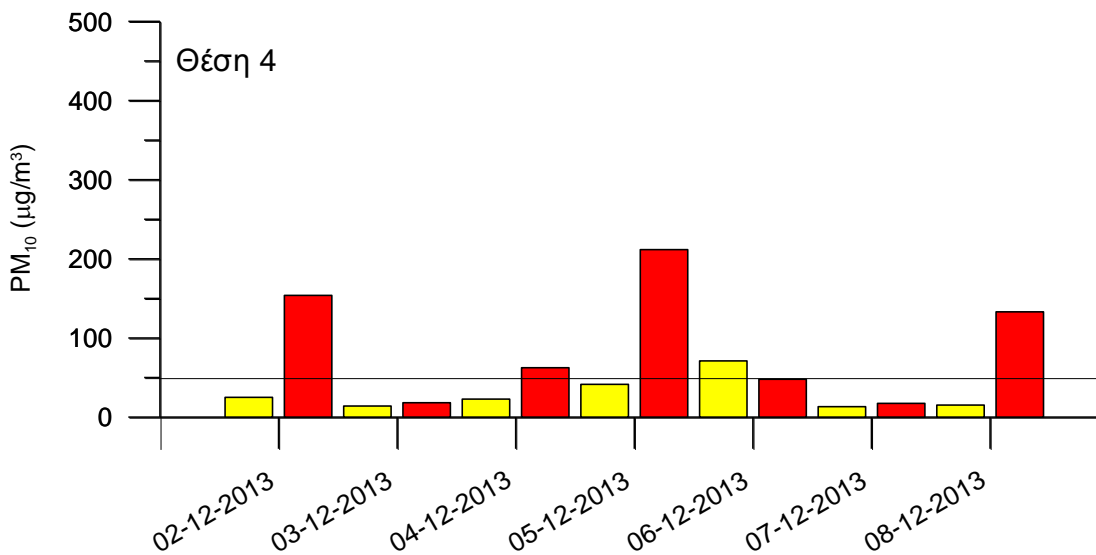
Γράφημα 6.2: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 2» στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Στη Θέση 2 παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση μεταξύ των πρωινών και απογευματινών τιμών συγκέντρωσης των σωματιδίων, με τις απογευματινές τιμές να είναι υψηλότερες από τις πρωινές. Αν και η απόσταση από τη Θέση 1 είναι μικρή, οι τιμές είναι πιο υψηλές και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις έγιναν στο χώρο αφίξεων και αναχωρήσεων των λεωφορείων, δηλαδή πιο υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος.



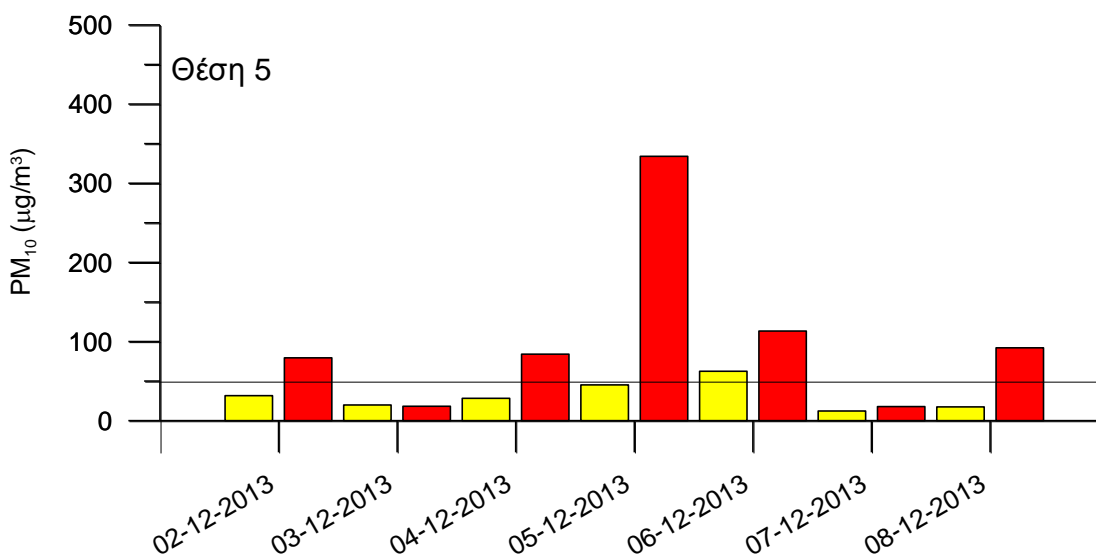
Γράφημα 6.3: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 3» στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu g/m^3$).

Παρατηρείται και στη Θέση 3 οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι πιο υψηλές τις απογευματινές ώρες, γεγονός το οποίο οφείλεται στον αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο. Αυτό επίσης δικαιολογείται και από το γεγονός ότι στην περιοχή αυτή διασταυρώνονται δύο κεντρικοί δρόμοι του Βόλου μέσω των οποίων πραγματοποιείται είσοδος στο κέντρο της πόλης και έξοδος από αυτό. Οι συγκεκριμένοι δρόμοι χαρακτηρίζονται από έντονο κυκλοφοριακό φόρτο μιας και από αυτούς περνούν καθημερινά πολυάριθμα οχήματα. Ακόμη στο Γράφημα 6.3 παρατηρούμε ότι το απόγευμα της 4^{ης} ημέρας των μετρήσεων, τόσο σε αυτή τη θέση μέτρησης όσο και στις υπόλοιπες, εμφανίζεται η υψηλότερη τιμή σε σχέση με τις άλλες ημέρες. Αυτό αιτιολογείται και από την αποπνικτική ατμόσφαιρα που δημιουργήθηκε, λόγω των ευνοϊκών μετεωρολογικών συνθηκών που επικράτησαν για τη δημιουργία του φαινομένου θερμοκρασιακής αναστροφής, που είχε σαν επακόλουθο τη δημιουργία αιθαλομίχλης. Αποτέλεσμα της δημιουργηθείσας θερμοκρασιακής αναστροφής ήταν η αδυναμία διάχυσης των αυξημένων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και επικράτηση της διάχυτης έντονης μυρωδιάς από καμένο ξύλο, κυρίως στο κέντρο της πόλης, εξαιτίας της λειτουργίας των τζακιών, αφού αυτός είναι ο οικονομικότερος τρόπος θέρμανσης.



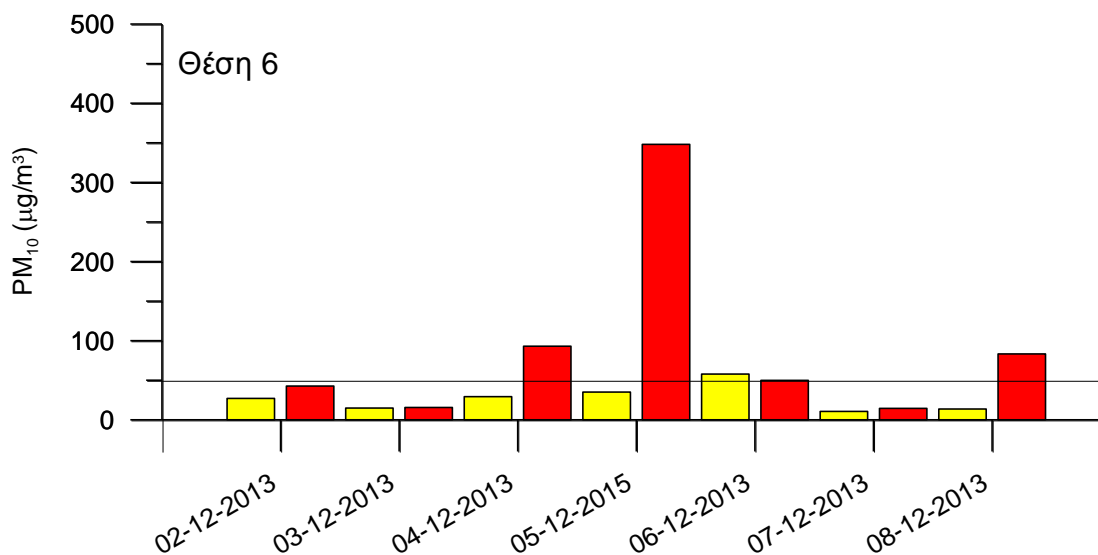
Γράφημα 6.4: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 4» στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Στη Θέση 4 παρατηρείται και πάλι ότι το απόγευμα οι τιμές συγκέντρωσης των PM_{10} είναι υψηλότερες από τις πρωινές. Εκτός από την 4^η ημέρα των μετρήσεων, εξαιτίας της δημιουργίας αιθαλομίχλης, παρατηρούμε ότι οι τιμές είναι επίσης υψηλές τόσο το απόγευμα της Δευτέρας όσο και το απόγευμα της Κυριακής. Αυτό οφείλεται και στην αυξημένη κίνηση που παρατηρήθηκε εκείνες της ημέρες προς το χώρο στάθμευσης.



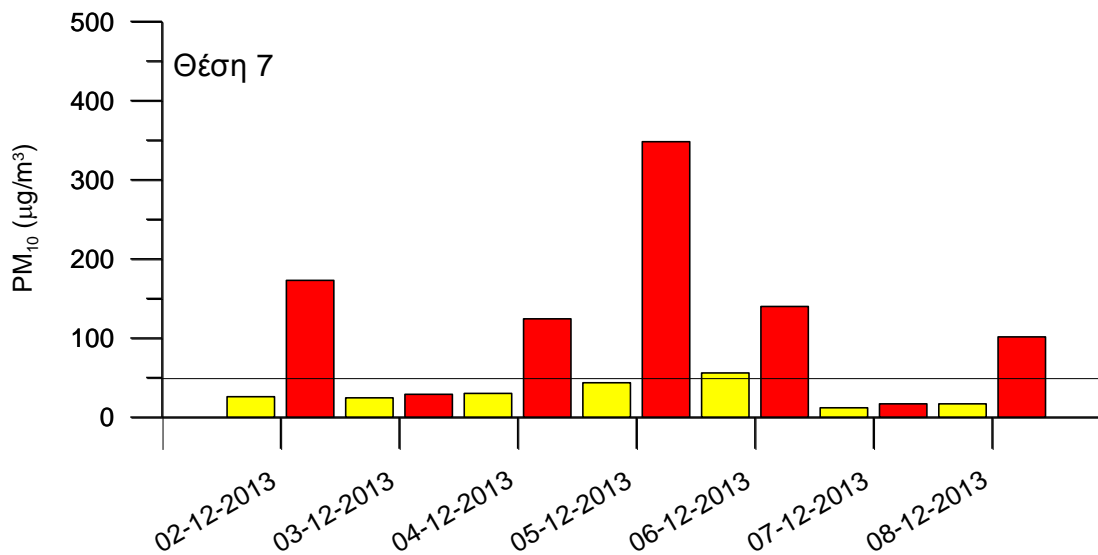
Γράφημα 6.5: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 5» στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Όπως και σε όλες τις θέσεις μέτρησης, έτσι και στη Θέση 5 παρατηρείται αύξηση των τιμών συγκέντρωσης των σωματιδίων κατά τις απογευματινές ώρες εξαιτίας του αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου και τη λειτουργία των συστημάτων οικιακής θέρμανσης (καυστήρες πετρελαίου και τζάκια), με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται ξανά το απόγευμα της 4^{ης} ημέρας λόγω της δημιουργίας αιθαλομίχλης.



Γράφημα 6.6: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 6» στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

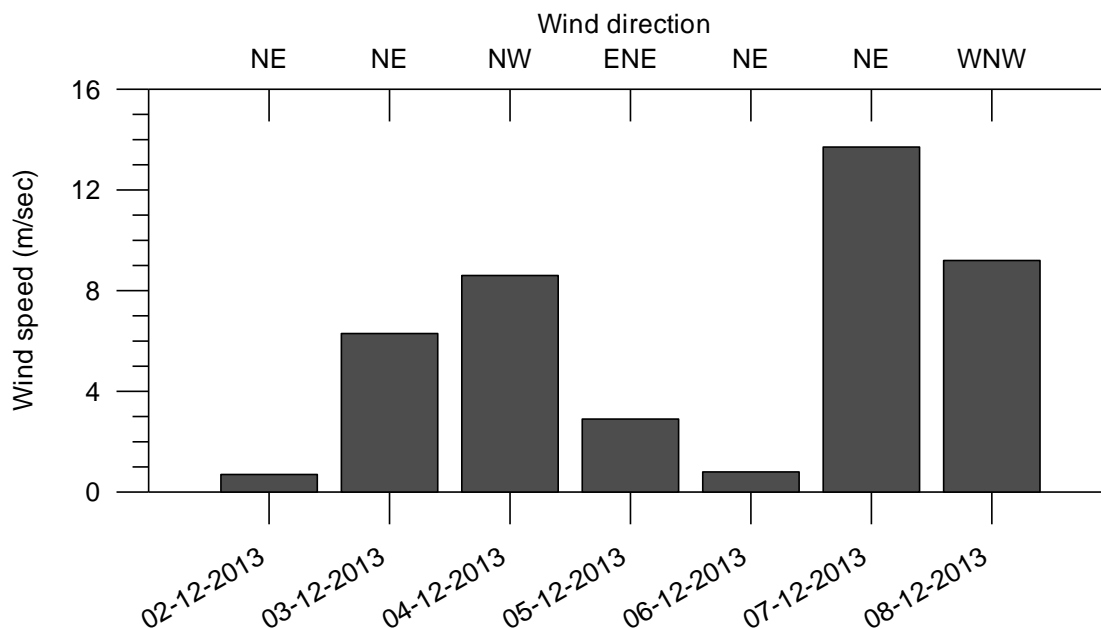
Αν εξαιρέσουμε το απόγευμα της 4^{ης} ημέρας των μετρήσεων, όπου παρατηρήθηκε το επεισόδιο της αιθαλομίχλης, όλες τις υπόλοιπες ημέρες παρατηρείται μη ουσιαστική διαφοροποίηση στις τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων τόσο τις πρωινές, όσο και τις απογευματινές ώρες. Αυτό ενδεχομένως μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι αυτή η θέση μέτρησης δεν χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία οχημάτων, με αποτέλεσμα η ποιότητα του αέρα σε αυτή τη περιοχή να είναι καλύτερη.



Γράφημα 6.7: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM₁₀ στη «Θέση 7» στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης (50µg/m³).

Όσον αφορά τη Θέση 7, για την πρώτη εβδομάδα μετρήσεων, παρατηρούμε ότι για όλες σχεδόν τις ημέρες, οι απογευματινές τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις πρωινές τιμές. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη θέση μέτρησης βρίσκεται σε μια από τις κεντρικότερες περιοχές του αστικού ιστού της πόλης του Βόλου, που χαρακτηρίζεται περιοχή κατοικίας και έχει έντονο κυκλοφοριακό φόρτο.

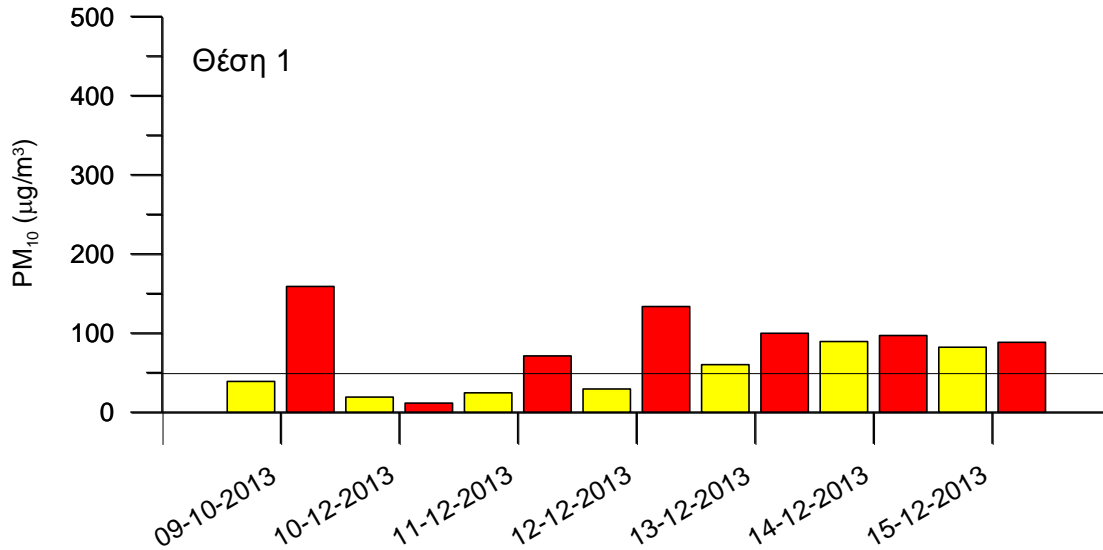
Από το Γράφημα 6.8 διαπιστώνεται ότι η ένταση και η διεύθυνση του ανέμου είναι από τους κυριότερους μετεωρολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση (Paliatsos and Amatidis, 1994). Η ένταση του ανέμου επηρεάζει καθοριστικά τον ρυθμό αραίωσης των ρύπων, με συνέπεια η άπνοια και οι άνεμοι χαμηλής έντασης να είναι μετεωρολογικές συνθήκες που δεν ευνοούν την διασπορά των ρύπων, οπότε και συντελούν στην αύξηση των επιπέδων ρύπανσης (Kassomenos et al., 1995). Από το Γράφημα 6.8 στο οποίο απεικονίζεται η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου για όλες τις ημέρες της πρώτης εβδομάδας των μετρήσεων, διαπιστώνεται ότι η επικρατούσα διεύθυνση που πνέοντος ανέμου ήταν κυρίως βορειοανατολικής κατεύθυνσης.



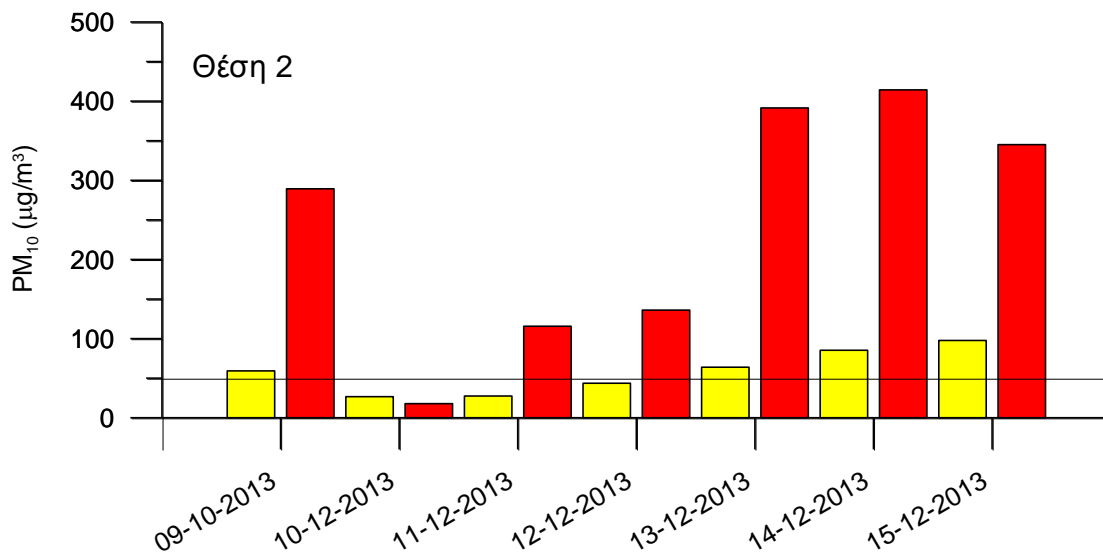
Γράφημα 6.8: Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου (m/sec) και της επικρατούσας διεύθυνσης, στο κέντρο της πόλης του Βόλου, στη διάρκεια της περιόδου 2-8/12/2013.

Στη συνέχεια, γίνεται η στατιστική επεξεργασία και απεικόνιση των τιμών PM_{10} , με τη για την 2^η εβδομάδα (9-15/12/2013) των μετρήσεων ανά θέση μέτρησης.

Στη Θέση 1 για την 2^η εβδομάδα των μετρήσεων, δεν παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση στις τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, τόσο το πρωί όσο και το απόγευμα, με τις απογευματινές τιμές να είναι λίγο πιο υψηλές. Η συγκεκριμένη εικόνα μπορεί, κατά κύριο λόγο, να αποδοθεί στο ρυθμό λειτουργίας των συστημάτων οικιακής θέρμανσης σε συνάρτηση με της εξωτερική θερμοκρασία, στη διάρκεια του υπό μελέτη 7-ημέρου (9-15/12/2013). Αξίζει να αναφερθεί ότι στη διάρκεια του 7-ημέρου μελέτης, η πιο «θερμή» ημέρα ήταν η Τρίτη (10/12/2013) με μέση θερμοκρασία αέρα 12°C, ενώ σε όλες τις άλλες μέρες του 7-ημέρου κυμάνθηκε μεταξύ 6.2°C και 8.2°C.



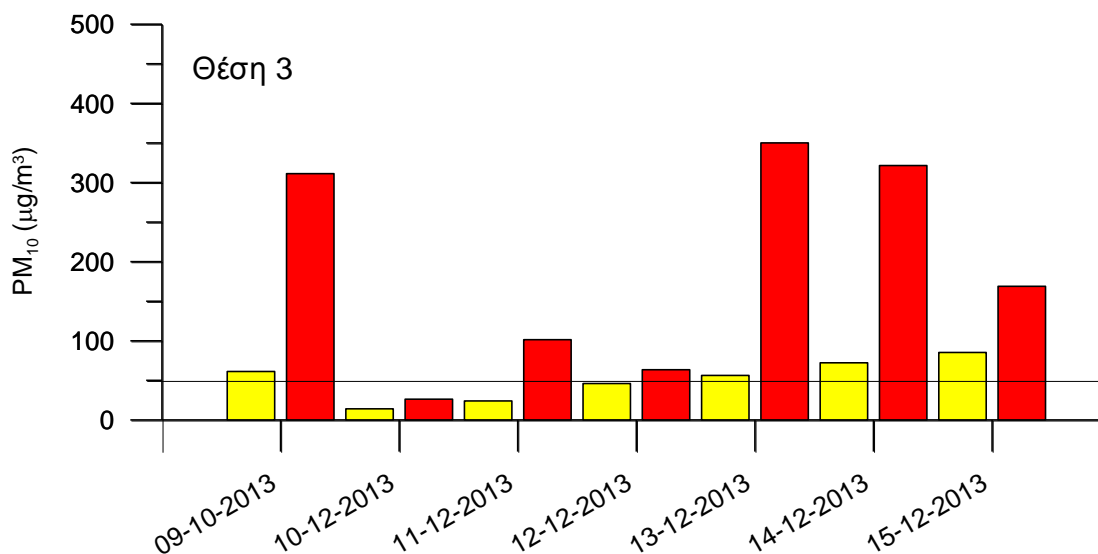
Γράφημα 6.9: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 1» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).



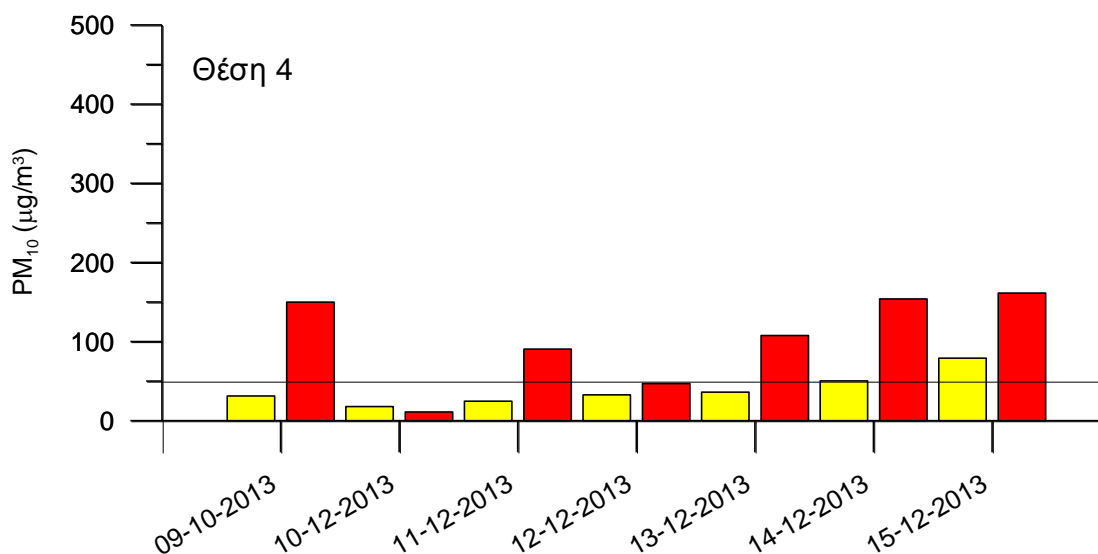
Γράφημα 6.10: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 2» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Η Θέση 2 βρίσκεται σε κεντρικό σημείο του Βόλου, από το οποίο διέρχονται καθημερινά πολυάριθμα οχήματα και λεωφορεία, καθώς αποτελεί είσοδο προς το κέντρο της πόλης, με πολλά εμπορικά καταστήματα και πολυκατοικίες τριγύρω. Οι αυξημένες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων τις απογευματινές ώρες μπορούν να

αποδοθούν τόσο στην κίνηση, όσο και στη λειτουργία της οικιακής θέρμανσης. Όπως προαναφέρθηκε και πιο πάνω, οι υψηλότερες απογευματινές τιμές συγκέντρωσης που παρατηρούνται, εκτός της δεύτερης ημέρας, αποδίδονται κυρίως στις επικρατούσες χαμηλές τιμές θερμοκρασίας αέρα που προκάλεσε αυξημένη λειτουργία των συστημάτων οικιακής θέρμανσης.

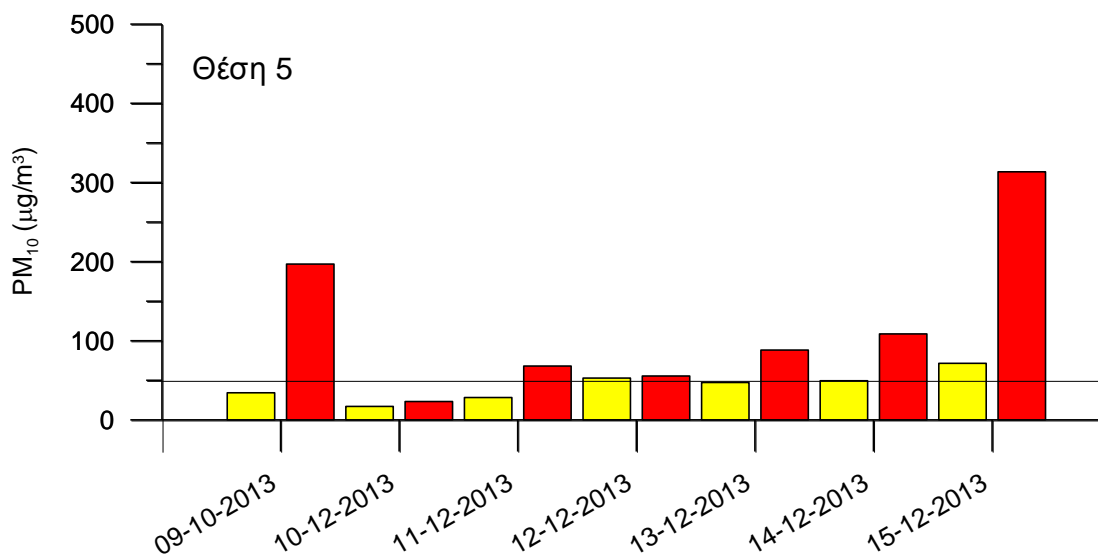


Γράφημα 6.11: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 3» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu g/m^3$).



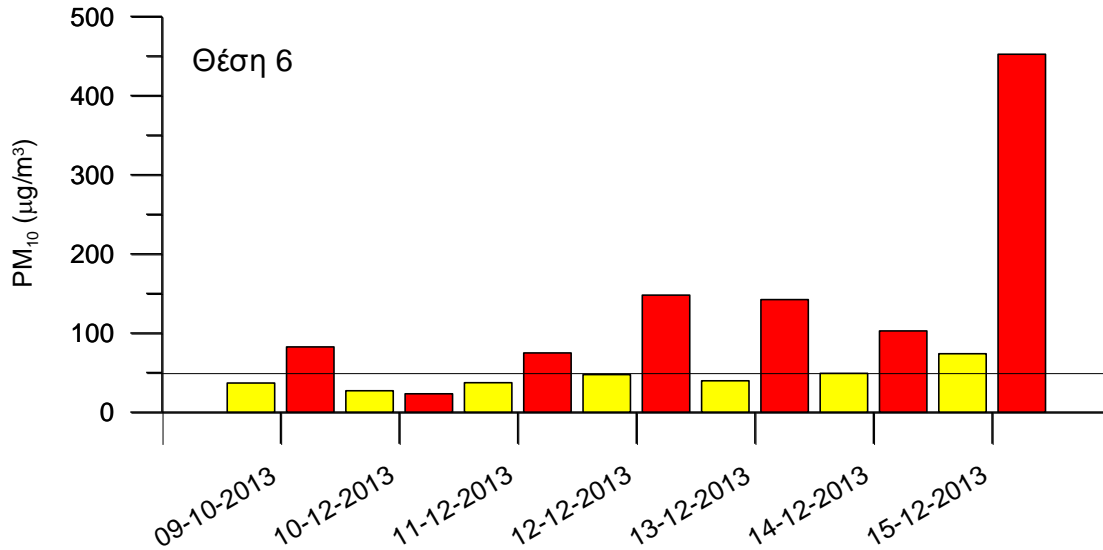
Γράφημα 6.12: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 4» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu g/m^3$).

Στη Θέση 4 δεν παρατηρούνται έντονες διαφοροποιήσεις πλην των αναμενόμενων απογευματινών μέγιστων που και στην περίπτωση αυτή αποδίδονται στις επικρατούσες συνθήκες θερμοκρασίας αέρα. Εκτός των άλλων, αξίζει να τονιστεί ότι η περιοχή δεν χαρακτηρίζεται σαν έντονα οικιστική, λόγος που αιτιολογεί τη σχετικά μικρή διαφοροποίηση των διακυμάνσεων μεταξύ των τιμών των πρωινών και απογευματινών παρατηρήσεων.

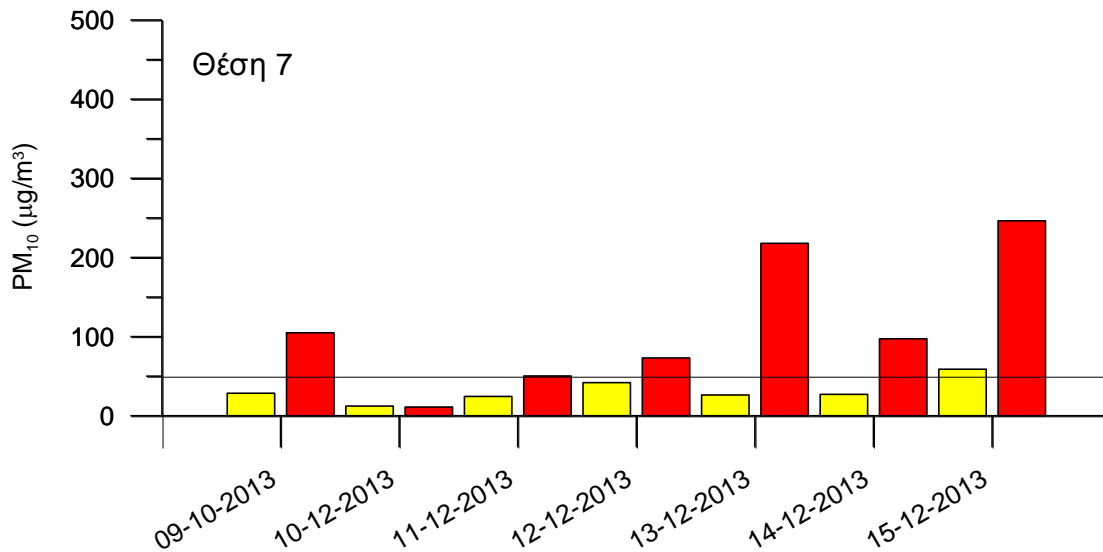


Γράφημα 6.13: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 5» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Όσον αφορά τη Θέση 5, διαπιστώνεται ότι δεν παρατηρούνται έντονες διαφοροποιήσεις εκτός αυτών της πρώτης και της τελευταίας ημέρας της σειράς, που παρατηρούνται μεταξύ των πρωινών και απογευματινών τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Η συγκεκριμένη διαφοροποίηση, ενδεχομένως να μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα απογεύματα της Δευτέρας (09-12-2013), που ήταν ημέρα γιορτής, καθώς και της Κυριακής (15-12-2013) να υπήρξε αυξημένη λειτουργία των συστημάτων οικιακής θέρμανσης λόγω παρατεταμένης παραμονής των κατοίκων στα σπίτια τους.



Γράφημα 6.14: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 6» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

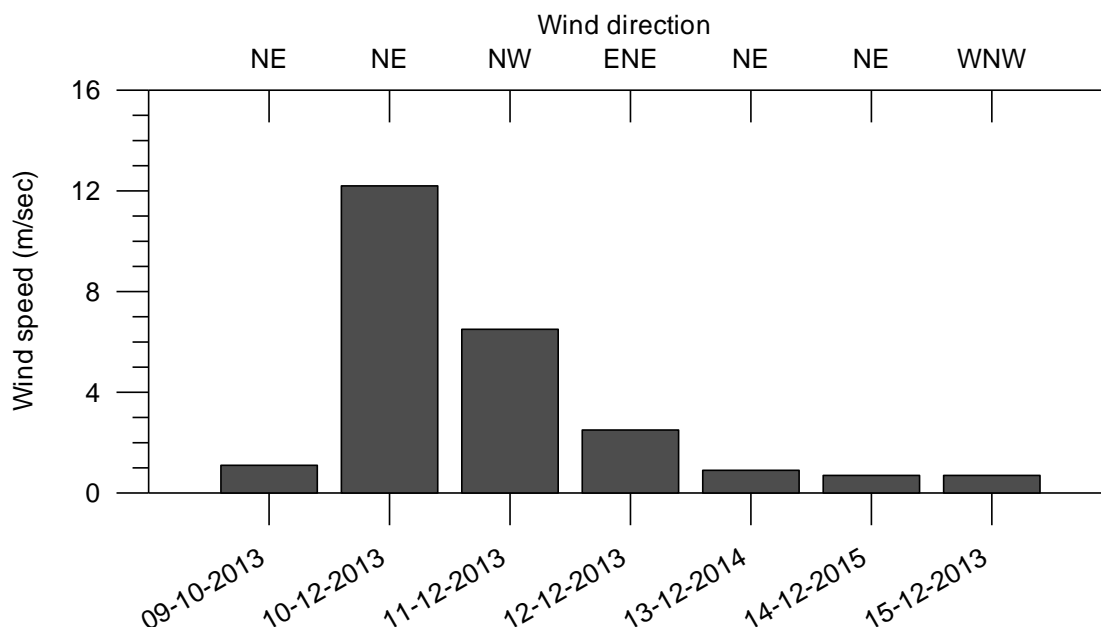


Γράφημα 6.15: Εξέλιξη των πρωινών (κίτρινο χρώμα) και των απογευματινών (κόκκινο χρώμα) μετρήσεων συγκέντρωσης των PM_{10} στη «Θέση 7» στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει την ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Στη Θέση 6, όπως διαπιστώνεται, οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των πρωινών και απογευματινών τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζονται έντονες από την 3^η ημέρα και μετά. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα συνδεδεμένο με τις

επικρατούσες χαμηλές τιμές θερμοκρασίας που προκάλεσαν εξαναγκασμένη επέκταση της λειτουργίας των συστημάτων οικιακής θέρμανσης.

Από το Γράφημα 6.15 διαπιστώνεται και στη Θέση 7, ακριβώς η ίδια, τόσο ενδοημερήσια, όσο και ενδοεβδομαδιαία μεταβολή των τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων που συνδέεται αφενός με τις επικρατούσες τιμές θερμοκρασίας αέρα.



Γράφημα 6.16: Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου (m/sec) και της επικρατούσας διεύθυνσης, στο κέντρο της πόλης του Βόλου, στη διάρκεια της περιόδου 9-15/12/2013.

Αφετέρου, από το Γράφημα 6.16, διαπιστώνεται ότι πολύ καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση της ενδοεβδομαδιαίας μεταβολής των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων είχαν τόσο η μέση ημερήσια τιμή της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου, όσο και η επικρατούσα ημερήσια διεύθυνση πνοής του ανέμου. Στη τελευταία θέση μέτρησης παρατηρείται ξανά μια αύξηση των τιμών των σωματιδίων κατά τις απογευματινές ώρες με την πέμπτη και τελευταία μέρα να παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Παρατηρώντας το Γράφημα 6.16, είναι πολύ εύκολο πλέον να αντιληφθεί κανείς ότι στα Γραφήματα 6.9-6.15 οι εμφανιζόμενες χαμηλές τιμές συγκέντρωσης (πρωινές και

απογευματινές) των αιωρούμενων σωματιδίων οφείλονται στον πνέοντα άνεμο. Πιο συγκεκριμένα, στο γεγονός ότι την δεύτερη ημέρα (10/12/2013) η μέση ταχύτητα του ήταν 11.9m/s και η επικρατούσα διεύθυνση βορειοανατολικού τομέα, άρα πλήρως ερμηνευμένη η εμφανιζόμενη καλή ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της πόλης, όσον αφορά τη σωματιδιακή ρύπανση, τη συγκεκριμένη ημέρα.

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά τη στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των τιμών συγκέντρωσης των PM_{10} για τις δύο εβδομάδες των μετρήσεων (2/12/2013-15/12/2013), τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

Τις απογευματινές ώρες, οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ήταν υψηλότερες από τις πρωινές, σε όλες τις θέσεις μέτρησης. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στη λειτουργία των συστημάτων οικιακής θέρμανσης και δευτερευόντως στην κυκλοφορία.

Τα Σαββατοκύριακα οι τιμές των μετρήσεων είναι υψηλότερες, κυρίως τις απογευματινές ώρες, σε σχέση με τις υπόλοιπες ημέρες της εβδομάδας. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται κυρίως στην οικιακή θέρμανση καθώς τα σαββατοκύριακα δεν υπάρχει εμπορική δραστηριότητα και η κυκλοφορία οχημάτων είναι μειωμένη.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε σημεία που βρίσκονται μέσα στο κέντρο της πόλης του Βόλου κατέγραψαν υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων, σε αντίθεση με τα σημεία που βρίσκονται περιφερειακά από αυτό.

Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι πολύ καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων έχει τόσο η τιμή της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου, όσο και η διεύθυνση πνοής του. Πιο συγκεκριμένα, την Τρίτη 10-12-2013 που η μέση ταχύτητα του ανέμου ήταν 11.9m/s και η επικρατούσα διεύθυνση βορειοανατολικό τομέα, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της πόλης του Βόλου, όσον αφορά τη σωματιδιακή ρύπανση, ήταν άριστη.

Τέλος, τις ημέρες που επικρατούσαν βορειοδυτικοί άνεμοι ή άπνοια, οι τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων ήταν υψηλότερες. Χαρακτηριστική περίπτωση ήταν το απόγευμα της τέταρτης ημέρας της πρώτης εβδομάδας μετρήσεων (5/12/2013) όπου εμφανίσθηκε το φαινόμενο της αιθαλομίχλης στην ατμόσφαιρα της πόλης, με αποτέλεσμα τον πλήρη υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της πόλης. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την άπνοια που επικρατούσε, σε συνδυασμό βέβαια με την ενδεχομένως αυξημένη λειτουργία της οικιακής θέρμανσης, μιας και η μέση θερμοκρασία της συγκεκριμένη ημέρας ήταν ίση με 6.6°C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια παράθεση ενδεικτικών δράσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος των αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο και στη γενικότερη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της πόλης.

Οι γεωγραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στη πόλη του Βόλου επιβαρύνουν το πρόβλημα της ρύπανσης από τα αιωρούμενα σωματίδια. Από τη στιγμή που δεν είναι δυνατόν να υπάρξει παρέμβαση σε αυτές τις μεταβλητές, η μόνη λύση είναι η κατά το δυνατό μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών.

Σύμφωνα με την έρευνα των Σαμαρά – Κωνσταντίνου κ.ά. (2008), το πρόβλημα των αιωρούμενων σωματιδίων οφείλεται κυρίως στην κυκλοφορία των οχημάτων, κυρίως των πετρελαιοκίνητων, καθώς επίσης και στην τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ, στη καύση απορριμμάτων και στη καύση πετρελαίου για κεντρική θέρμανση.

Η αυξημένη κίνηση των οχημάτων αποτελεί την κύρια και σημαντικότερη πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο και γενικότερα στα μεγάλα αστικά κέντρα. Πρώτο μέλημα επομένως των αρμοδίων πρέπει να είναι η μείωση των εκπομπών από τα οχήματα. Αυτό θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με μείωση της κυκλοφορίας, ιδιαίτερα στο κέντρο της πόλης και απαγόρευσης διέλευσης από αυτό φορτηγών. Πρέπει να γίνει προσπάθεια βελτίωσης των μέσων μαζικής μεταφοράς όπως για παράδειγμα με την κατασκευή λεωφορειολωρίδων και τη σωστή σχεδίαση των δρομολογίων του αστικού ΚΤΕΛ Βόλου για να υπάρχει ευρεία γεωγραφική κάλυψη. Ένας άλλος τρόπος μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων είναι η βελτίωση των καυσίμων και των συνθηκών καύσης στις μηχανές των οχημάτων. Αυτό αφορά κυρίως στα επαγγελματικά αυτοκίνητα, δηλαδή φορτηγά, ταξί, λεωφορεία τα οποία χρησιμοποιούν ντίζελ ως καύσιμο καθώς οι εκπομπές σωματιδίων από κινητήρες ντίζελ είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. Επίσης θα πρέπει να υπάρχει καλύτερη επιθεώρηση και έλεγχος των αυτοκινήτων καθώς σωματίδια εκπέμπονται ως αποτέλεσμα της φθοράς των ελαστικών και των φρένων.

Οι κακοτεχνίες και η κακή κατάσταση του οδικού δικτύου και κυρίως βασικών κεντρικών δρόμων, όπου καθημερινά διέρχονται πολυάριθμα οχήματα, δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα καθώς επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με σωματίδια που προέρχονται από επαναιώρηση στο έδαφος. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη βελτίωση των ασφαλτοστρώσεων των δρόμων και την όσο το δυνατόν καλύτερη συντήρηση τόσο αυτών όσο και των πεζοδρομίων που βρίσκονται εκατέρωθεν ώστε να απομακρύνεται η σκόνη και να μην τίθεται θέμα επαναιώρησής της από τα διερχόμενα οχήματα.

Όσον αφορά στην τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ, υιοθετούνται οι δράσεις που προτείνουν οι Σαμαράς – Κωνσταντίνου κ.ά. (2008) στο ερευνητικό τους έργο. Δηλαδή η βιομηχανία θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από το διαρκή έλεγχο της πολιτείας κυρίως μέσω των τήρησης των Περιβαλλοντικών Όρων. Η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) είναι υποχρέωση της πολιτείας και με βάση την κείμενη νομοθεσία κάθε φορά που λήγει η ΕΠΟ θα πρέπει να συντάσσεται νέα Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) η οποία θα ελέγχεται διεξοδικά από την πολιτεία έτσι ώστε να αποκαλύπτεται κατά πόσο αυτή βασίζεται σε ενέργειες και τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον.

Μια άλλη σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο είναι και η καύση πετρελαίου για κεντρική θέρμανση. Η λειτουργία των εγκαταστάσεων αυτών είναι συνήθως πολύ κακή καθώς λειτουργούν με χαμηλό βαθμό απόδοσης και παράγουν μεγάλες ποσότητες καπνού και αιωρούμενων σωματιδίων. Για αυτό το λόγο προτείνεται η συστηματική ρύθμιση και συντήρηση των καυστήρων κεντρικής θέρμανσης. Επίσης, λόγω της οικονομικής συγκυρίας που επικρατεί στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια και λόγω της υψηλής τιμής του πετρελαίου, έχει γίνει στροφή στα τζάκια και στις σόμπες με καυσόξυλα για οικονομικότερη θέρμανση. Η καύση όμως κακής ποιότητας καυσόξυλων, προϊόντων βιομάζας και διάφορων παλαιών ξύλινων ή πλαστικών υλικών, δημιουργεί προβλήματα ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια και άλλους ρύπους, με αρκετά επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Έτσι λοιπόν προτείνεται η χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση το οποίο είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον.

Τέλος, κάποιες άλλες συμπληρωματικές δράσεις για την μείωση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων είναι:

- Ενημέρωση των πολιτών για αποτροπή ανεξέλεγκτης καύσης απορριμμάτων και γενικότερα σε θέματα ρύπανσης.
- Παρότρυνση των πολιτών για τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς.
- Συστηματικός έλεγχος των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων και των ρύπων γενικότερα.
- Εκσυγχρονισμός των σταθμών παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Σχεδιασμός έκτακτων μέτρων για επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Κυρώσεις σε περιπτώσεις μη συμμόρφωσης με τους κανόνες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ

Τα συμπεράσματα στα οποία μπορεί να καταλήξει κάποιος μετά τη μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναφορικά με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στη πόλη του Βόλου, είναι τα εξής:

Ο Βόλος παρουσιάζει αυξημένο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφειλόμενο στα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης των PM₁₀.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη του Βόλου είναι: η τοπογραφία της περιοχής, η λειτουργία του τομέα της βιομηχανίας, η λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης και ο αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος.

Σε αντίθεση με τα όρια που έχει θέσει η Ε.Ε. για τα αιωρούμενα σωματίδια, παρουσιάζονται πολλές υπερβάσεις τόσο σε ημερήσια βάση, όσο και σε επίπεδα έτους.

Από τις μετεωρολογικές συνθήκες η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες επηρεασμού των επιπέδων συγκέντρωσης των σωματιδίων, και συγκεκριμένοι βόρειοι άνεμοι καθαρίζουν την ατμόσφαιρα, ενώ οι νότιοι και δυτικοί την επιβαρύνουν. Επιπλέον, η μείωση της ταχύτητας του ανέμου επιφέρει αύξηση των συγκεντρώσεων.

Τις απογευματινές ώρες οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων είναι υψηλότερες σε σχέση με τις πρωινές ώρες.

Σημαντικά υψηλότερα είναι τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων τα Σαββατοκύριακα από τα αντίστοιχα τις εργάσιμες ημέρες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακας Π.1: Η μέση (average) τιμή των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ανά θέση και ημέρα μέτρησης, τόσο τις πρωινές όσο και τις απογευματινές ώρες, την 1^η εβδομάδα μετρήσεων (2/12/2013-8/12/2013) στη πόλη του Βόλου.

	2/12/2013		3/12/2013		4/12/2013		5/12/2013		6/12/2013		7/12/2013		8/12/2013	
	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ
ΘΕΣΗ 1	32,68	40,28	21,66	22,42	31,54	50,54	58,52	61,56	80,18	87,02	14,06	34,2	21,66	50,54
ΘΕΣΗ 2	25,46	157,32	17,86	12,92	25,84	68,02	55,86	84,36	80,18	99,56	28,88	22,04	28,12	64,22
ΘΕΣΗ 3	51,3	150,48	20,14	28,5	28,88	72,2	52,44	359,86	79,42	74,86	15,58	25,08	20,14	60,8
ΘΕΣΗ 4	25,08	153,9	14,06	18,24	22,8	62,32	41,42	211,66	71,06	47,88	13,3	17,48	15,2	133
ΘΕΣΗ 5	31,54	79,42	19,76	18,24	28,12	83,98	45,22	332,88	62,32	113,24	12,16	17,86	17,48	91,96
ΘΕΣΗ 6	26,98	42,56	14,82	15,58	29,26	93,1	34,96	348,08	57,76	49,78	10,64	14,44	13,68	83,22
ΘΕΣΗ 7	25,84	172,9	24,32	28,88	30,02	124,26	43,32	348,08	55,86	139,84	11,78	20,9	16,72	101,46

Πίνακας Π.2: Η μέση (average) τιμή των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ανά θέση και ημέρα μέτρησης, τόσο τις πρωινές όσο και τις απογευματινές ώρες, την 2^η εβδομάδα μετρήσεων (9/12/2013-15/12/2013) στη πόλη του Βόλου.

	9/12/2013		10/12/2013		11/12/2013		12/12/2013		13/12/2013		14/12/2013		15/12/2013	
	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ	ΠΡΩΙ	ΑΠΟΓ

ΘΕΣΗ 1	38,76	158,84	19	11,4	24,32	71,06	29,26	133,38	60,04	99,56	89,3	96,9	82,08	88,16
ΘΕΣΗ 2	59,28	289,18	26,6	17,86	27,36	115,52	43,7	136,04	63,84	391,4	85,12	414,2	97,66	345,04
ΘΕΣΗ 3	61,18	311,22	14,06	26,22	23,94	101,46	45,98	63,46	56,24	349,98	72,2	321,48	85,12	168,72
ΘΕΣΗ 4	31,16	149,72	17,86	11,02	24,7	90,44	32,68	46,74	36,1	107,54	50,16	153,9	79,04	161,12
ΘΕΣΗ 5	34,2	196,84	17,1	23,18	28,12	68,02	52,82	55,48	47,12	88,16	49,4	108,68	71,44	313,5
ΘΕΣΗ 6	36,86	82,46	26,98	23,18	37,24	74,86	47,5	147,82	39,52	142,12	49,02	102,6	73,72	452,2
ΘΕΣΗ 7	28,5	104,88	12,16	11,02	24,32	50,16	41,8	72,96	26,22	217,74	26,98	97,28	58,9	246,24

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γεντεκάκης Ι. (2010). *‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες’*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Διαπούλη Ε. (2008). *‘Έκθεση Υποομάδων Πληθυσμού σε Αέρια Σωματιδιακή Ρύπανση’*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (1999). *Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ (περίοδος 1955-1997)*. Αθήνα

Ζάνης Π. (2008). *‘Σημειώσεις για την Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας’*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Καζαντζή Α. (2011). *‘Μελέτη και Ανάλυση Συσχετίσεων των Σωματιδίων PM_{10} με τα Σωματίδια $PM_{2.5}$ και τις Μετεωρολογικές Παραμέτρους για την Περιοχή της Θεσσαλονίκης’*. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Καλαμπόκας Π.Δ., Σιδέρης Γ., Χριστόλης Μ.Ν., Μαρκάτος Ν.Χ. (2005). *‘Ανάλυση μετρήσεων ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στο Βόλο’*. Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα

Καραθανάσης Σ. (2006). *‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές και Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία’*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Κούγκολος Α. (2007). *‘Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική’*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Κόλλια Π. (2012). *‘Μελέτη Σωματιδιακής Ρύπανσης στην Ευρύτερη Περιοχή της Θεσσαλονίκης’*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

- Λαζαρίδης Μ. (2005). *‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας’*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Μασσάρα Β. (2011). *‘Αιωρούμενα Σωματίδια στην Ατμόσφαιρα της Πάτρας’*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα
- Μελάς Δ. (2007). *‘Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος’*. Εργαστήριο Φυσικής Ατμόσφαιρας του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- Νάσιος Α. (2011). *‘Χρονοσειρές Συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων (ΑΣ10) στην Αστική Περιοχή του Βόλου: Διερεύνηση Χρονικής Συμπεριφοράς, Μετεωρολογικών Εξαρτήσεων και Προβλεψιμότητάς τους’*. Πτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος
- Παπαζάχου Ν. (2012). *‘Προσδιορισμός Οργανικών και Ανόργανων Ανιόντων στα Αιωρούμενα Σωματίδια της Ατμόσφαιρας και στην Αποτιθέμενη Σκόνη Μνημείων’*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- Ραψομανίκης, Σ.Χ. και Καστρινάκης, Ε.Γ. (2009). *‘Βασικές Αρχές Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας Ατμοσφαιρικών ρύπων’*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Ρεμουντάκη Ε. (2012). *‘Μηχανισμοί Κινητικότητας Ρύπων (Μετάλλων)’*. Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Προστασίας Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία και Τεχνολογία Υλικών του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα
- Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ., Κουϊμτζής Θ., Βουτσά Δ., Κούρας Α., Μανώλη Ε., Αργυρόπουλος Γ., Νικολάου Κ., Σταμπουντζής Ε., Κουμπαρέλος Γ. (2008). *‘Προσδιορισμός της Συμβολής Πηγών στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση του Βόλου και Σχεδιασμός Ιεραρχημένης Περιβαλλοντικής Πολιτικής για την Αναβάθμιση της Ποιότητας της Ατμόσφαιρας’*. Ερευνητικό Έργο, Φάση ΙΙ, Τελική Έκθεση, Εργαστήριο Ελέγχου

Ρύπανσης Περιβάλλοντος του Τμήματος Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Υ.Α. Η.Π. 14122/549/Ε. 103/2011 (ΦΕΚ 488/Β/30.3.2011). ‘Μέτρα για την βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ «Για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 21^{ης} Μαΐου 2008’.

ΥΠΕΚΑ (2013). Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2012. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας.

Χαριτάκης Β. (2008). ‘Μελέτη των Κατανομών του Μεγέθους των Αερολυμάτων που Μετρήθηκαν στο Σταθμό της Φινοκαλιάς Ηρακλείου Κρήτης’. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, Μυτιλήνη

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Atkinson, R.W., Anderson, H.R. (2001). “Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions - Results from the APHEA 2 project”. *Epidemiology*, 12(4), S54-S54.

Baumer, D., Vogel, B., Versick, R., Mohler, O., Schnaiter, M. (2008). ‘Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany’. *Atmospheric Environment*, 42, pp. 989-998

Brook, R.B., Franklin, B., Cascio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M., Luepker, R., Mittleman, M., Samet, J., Smith, S.C., Tager, I. (2004). ‘Air pollution and cardiovascular disease, a statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of A.H.A.’. *Circulation*, 109, 2655-2671.

Dockery, D. and Pope, C. (1994). ‘Acute respiratory effects of particulate air pollution’. *Annual revision of public health*, 15, pp. 107-132

Farhat, S. C. L., Paulo, R. L. P., Shimoda, T. M., Conceicao, G. M. S., Lin, C. A., Braga, A. L. F., Warth, M. P. N., Saldiva, P. H. N. (2005). 'Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions'. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, Vol. 38, 227-235

Grantz, D. A., Garner, J. H. B., Johnson, D. W. (2003). 'Ecological effects of particulate matter'. *Environment International*, 29, pp. 213-239

Harrison, R., and Jones, M. (1995). 'The chemical composition of airborne particles in the UK atmosphere'. *The Science of the Total Environment*, 168, pp.195-214

Harrison, R. and Yin, J. (2000). 'Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?'. *The science of the Total Environment*, 249, pp. 85-101

Harrison R. M. (2004). 'Key pollutant – airborne particles'. *Science of the Total Environment*, pp. 334-335

Kassomenos, P., Kotroni, V., Kallos, G., (1995). 'Analysis of climatological and air quality observations from greater Athens area'. *Atmospheric Environment*, 29, 3671-3688

Katsouyanni, K., Zmirou, D., Spix, C., Sunyer, J., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R., Lemoullec, Y., Wojtyniak, B., Vigotti, M.A., Bacharova, L. (1995). 'Short-Term Effects of Air-Pollution on Health - a European Approach Using Epidemiologic Time-Series Data - the Apeha Project - Background, Objectives, Design'. *European Respiratory Journal*, 8(6), 1030-1038

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R. (1997). 'Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. Air Pollution and Health: a European Approach'. *BMJ*, 7, 314(7095), 1658-1663

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Petasakis, Y., Analitis, A., Le Tertre, A., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H., Wojtyniak, B., Paldy,

A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C., Schwartz, J. (2003). ‘Sensitivity analysis of various models of short -term effects of ambient particles on total mortality in 29 cities in APHEA2’. In: *Health Effects Institute 2003. Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health. Special Report*. Health Effects Institute, Boston MA

Kaufman, Y., Tanre, D., Boucher, O. (2002). ‘A satellite view of aerosols in the climate system’. *Nature*, 419, pp. 215-223

Kavouras, I. G., Joy, L., Koutrakis, P., Stephanou, E. G., Oyola, P. (1999). ‘Measurement of particulate aliphatic and polynuclear aromatic hydrocarbons in Santiago de Chile: Source reconciliation and evaluation of sampling artifacts’. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 4977-4986

Kim, J. Y., Kim, W. K., Kim, D. S., Lee, K. B., Han, S. J. (2006). ‘Fine particulate matter characteristics and its impact on visibility impairment at two urban sites in Korea: Seoul and Incheon’. *Atmospheric Environment*, 40, pp. 593-605

Paliatsos, A.G. and Amanatidis, G.T. (1994). Smoke concentrations in Athens, Greece: trends and strong episodes. *The Science of the Total Environment*, 144, 137-144

Papaoiannou, A.B., Viras, L.G, Nastos, P.T. and Paliatsos, A.G. (2010). ‘An analysis of selected air pollutants in the city of Volos, Greece’. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161, 485-494

Papanastasiou, D. and Melas, D. (2009). Statistical characteristics of ozone and PM10 levels in a medium sized Mediterranean city. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1/2/3), 127-138

Poloniecki, J.D., Atkinson, R.W., de Leon, A.P., Anderson, H.R. (1997). ‘Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day’s air pollution in London U.K.’. *Occupational Environmental Medicine*, 54, 535-540

Prezerakos, N.G., Paliatsos, A.G., Anastasatos, D.G. and Sassalos, S.C. (2002). ‘Diagnosis of the relationship between dust storms over Sahara desert and dust deposit or coloured

rain in the south Balkans'. *Proceedings of the 6th Panhellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, 786-795.

Prezerakos, N.G., Paliatsos, A.G., Koukouletsos, K.V. (2010). "Diagnosis of the Relationship between Dust Storms over the Sahara Desert and Dust Deposit or Coloured Rain in the South Balkans". *Advances in Meteorology*, Volume 2010, Article ID 760546, 14 pages, (doi:10.1155/2010/760546).

Proias, G.T., Nastos, P.T., Larissi, I.K. and Paliatsos, A.G. (2009). 'PM₁₀ concentrations related to Meteorology in Volos, Greece'. AIP Conference Proceedings, vol. 1203, 7th *International Conference of the Balkan Physical Union*, edited by A. Angelopoulos and T. Fildis, American Institute of Physics (ISBN 978-0-7354-0740-4), 1091-1096 (doi:10.1063/1.3322316)

Proias, G. T., Moustiris, K. P., Larissi, I. K., Nastos, P. T., Paliatsos, A. G. (2012). 'Ambient PM₁₀ concentrations and the impact of wind at an urban site in central Greece'. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(7A), pp. 1935-1941

Raymond, H. A., Yi, S. M., Moumen, N., Han, Y., Holsen, T. M. (2004). 'Quantifying the dry deposition of reactive nitrogen and sulfur containing species in remote areas using a surrogate surface analysis approach'. *Atmospheric Environment*, 38, pp. 2687-2697

Riga – Karandinos, A. N. and Saitanis, C. (2005). 'Comparative assessment of ambient air quality in two typical Mediterranean coastal cities in Greece'. *Chemosphere*, 59, pp. 1125-1136

Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (1998). 'Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change'. J. Wiley, New York

U.S. EPA (2004). 'Air Quality Criteria for Particulate Matter, Volume I'. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

U.S. EPA (2008). 'Integrated Science Assessment for Particulate Matter (First External Review Draft)'. U. S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

Wallace L. et al. (2011), “Validation of Continuous Particle Monitors for Personal, Indoor and Outdoor Exposures. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 21, pp. 49–64

WHO (2000). ‘*Air Quality Guidelines for Europe*’. 2nd Edition, World Health Organization, Copenhagen

WMO (2008). ‘*Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*’. 7th Edition, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland

Woo K. S., Chen D. R., Pui D. Y. H., McMurry P. H. (2001). ‘Measurement of Atlanta Aerosol Size Distribution: Observations of Ultrafine Particle Events’. *Aerosol Science and Technology*, 34(1), pp. 75-87

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/PAGE-census2011> (τελευταία επίσκεψη 10/11/2013)

<http://meteomag.blogspot.gr/> (τελευταία επίσκεψη 10/11/2013)

<http://ypeka.gr/Default.aspx?tabid=493&language=el-GR> (τελευταία επίσκεψη 16/10/2013)

http://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esdd/12/2/341.pdf (τελευταία επίσκεψη 16/10/2013)

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/128162_el.htm (τελευταία επίσκεψη 16/10/2013)

<http://www.aviamet.gr/cms.jsp?moduleId=002&extLang=> (τελευταία επίσκεψη 30/11/2013)

http://www.enco.gr/files/DustTrakII_8530-8532.pdf (τελευταία επίσκεψη 30/12/2013)

<http://www.tsi.com/dusttrak-ii-aerosol-monitor-8530/> (τελευταία επίσκεψη 30/12/2013)