



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ: ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ**

ΡΑΥΤΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΜΑΡΙΑΝΘΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΓΚΟΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η στατιστική ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης της αέριας ρύπανσης στην αστική περιοχή του Βόλου καθώς και η χημική ανάλυση των πηγών. Η εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη των PM_{10} για το χρονικό διάστημα 2007-2012. Η περίπτωση του Βόλου είναι ένα ενδιαφέρον παράδειγμα, καθώς τις τελευταίες δεκαετίες η αστικοποίηση και η αυξημένη εκβιομηχάνιση έχουν οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα στην περιοχή. Στην πόλη του Βόλου εντοπίζεται αυξημένο πρόβλημα της αέριας ρύπανσης λόγω των ιδιαίτερων μορφολογικών χαρακτηριστικών της καθώς και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (θέρμανση, αυτοκίνητα και βιομηχανία). Οι μέσες συγκεντρώσεις και οι στατιστικοί δείκτες υπολογίστηκαν σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση και τα αποτελέσματα δείχνουν πως το πρόβλημα είναι οξύ και είναι αναγκαίο να ληφθούν μέτρα αντιμετώπισης καθώς τα αρνητικά αποτελέσματα επηρεάζουν τόσο το ανθρωπογενές όσο και φυσικό περιβάλλον καθώς πραγματοποιούνται πολλές υπερβάσεις των νομοθετημένων ορίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Λέξεις κλειδιά: Αέρια Ρύπανση, PM_{10} , Αιωρούμενα Σωματίδια, Βόλος, Ελλάδα

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the statistical analyses of the air pollution evolution in the urban area of Volos and the chemical analysis of sources. The work focuses on the study of PM_{10} during the period 2007-2012. The case of Volos is an interesting example, as in recent decades urbanization and increased industrialization have led to a deterioration of air quality in the region. In the city of Volos detected is an increased problem of air pollution due to the particular morphological characteristics and anthropogenic activities (heating, cars and industry). The average concentrations and statistical indicators calculated on a daily, monthly and annual basis and the results show that the problem is acute and it is necessary to take preventive action as negative affect both anthropogenic and natural environment as several breaches of statutory limits of the European Union take place.

Key words: Air Pollution, PM_{10} , Particulate Matter, Volos, Greece

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ	8
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	9
Εισαγωγή.....	10
1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	13
1.1 Γενικά Στοιχεία – Ορισμός	13
1.2 Διαστάσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	13
1.3 Ιστορική Αναδρομή στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	14
1.4 Κυριότεροι Αέριοι Ρύποι – Πηγές Προέλευσης.....	19
2 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	24
2.1 Ορισμός, Γενικά Στοιχεία και Τυπική Σύσταση	24
2.2 Μέγεθος Αιωρούμενων Σωματιδίων	28
2.3 Πηγές Αιωρούμενων Σωματιδίων	30
2.4 Σχηματισμός Αιωρούμενων Σωματιδίων	31
2.5 Κατηγοριοποίηση Αιωρούμενων Σωματιδίων	33
2.5.1 Διαχωρισμός με βάση την πηγή προέλευσης	33
2.5.2 Διαχωρισμός με βάση τον τρόπο σχηματισμού	33
2.5.3 Διαχωρισμός με βάση το σημείο εκπομπής	33
2.5.4 Διαχωρισμός με βάση τον τρόπο εισαγωγής στον ανθρώπινο οργανισμό (Cambra-Lopez et al., 2010, WHO, 2000)	34
2.6 Επιδράσεις στο Ανθρωπογενές και Φυσικό Περιβάλλον	35
2.6.1 Επιδράσεις στην υγεία.....	35
2.6.2 Επιδράσεις στο οικοσύστημα και την βλάστηση	36
2.6.3 Επιδράσεις στην ορατότητα.....	36
2.7 Σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων	37
2.8 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων	39
2.8.1 Σημαντικοί παράμετροι για την επιλογή της κατάλληλης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.....	41

3	Νομοθετικό Πλαίσιο για την Αέρια Ρύπανση	44
3.1	Νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	44
3.2	Ελληνική νομοθεσία	47
3.3	Πρότυπα Ποιότητας Αέρα για τα Αιωρούμενα Σωματίδια	48
4	Η ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ	55
4.1	Βόλος: Ιδιαίτερα Μορφολογικά Χαρακτηριστικά και Κύριες Πηγές Ρύπανσης.....	55
4.2	Η Ποιότητα του Αέρα στην Πόλη του Βόλου σύμφωνα με Προηγούμενες Μελέτες.	56
5	ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ.....	61
5.1	Στατιστική Ανάλυση Μετρήσεων.....	62
5.1.1	Ανάλυση μεγίστων, ελαχίστων και μέσων τιμών	62
5.2	Μετεωρολογικά στοιχεία που ευνοούν την αέρια ρύπανση.....	76
5.3	Μετεωρολογικά στοιχεία της πόλης του Βόλου κατά τα έτη 2007-2011	78
5.4	Συμπεράσματα που προκύπτουν από την συσχέτιση των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων με τα μετεωρολογικά δεδομένα	81
5.5	Στοιχειακός και Οργανικός άνθρακας στα Αιωρούμενα Σωματίδια	81
5.5.1	Στοιχειακός άνθρακας.....	82
5.5.2	Οργανικός άνθρακας.....	83
5.5.3	Σχέση στοιχειακού και οργανικού άνθρακα.....	83
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	87
6.1	Συμπεράσματα	87
6.2	Ενδεικτικές Δράσεις για τον Περιορισμό της Αέριας Ρύπανσης στην Πόλη του Βόλου	88
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Ονομασία κλάσματος και διάμετρος.....	29
Πίνακας 2-2: Εύρος διαμέτρων για τα σωματίδια που συναντάμε στους εσωτερικούς χώρους (Spengler et al., 2000)	29
Πίνακας 3-1: Στάδιο 1 ^ο της οδηγίας 1999/30/EC.....	50
Πίνακας 3-2: Στάδιο 2 ^ο της οδηγίας 1999/30/EC.....	51
Πίνακας 3-3: Θέσπιση μέσης ετήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης των ΠΜ2.5 της Ε.Ε.....	52
Πίνακας 3-4: Θυγατρική οδηγία της Ε. Ε. για τα PM10 (2008).	52
Πίνακας 3-5: Θυγατρική οδηγία της Ε. Ε. για τα PM2.5 (2008).	53
Πίνακας 5-1: Ημέρες υπέρβασης ορίων από το 2007-2012.....	62
Πίνακας 5-2: Μέση τιμή αιωρούμενων σωματιδίων από το 2007-2012.....	63
Πίνακας 5-3: Μέγιστη τιμή αιωρούμενων σωματιδίων από το 2007-2012	63
Πίνακας 5-4: Ελάχιστες τιμές που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012	65
Πίνακας 5-5: Μέσες μηνιαίες τιμές για την περίοδο 2007-2012	67
Πίνακας 5-6: Συνοπτικός πίνακας μέσων τιμών για την ψυχρή και θερμή περίοδο κάθε έτους	74
Πίνακας 5-7: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2007	78
Πίνακας 5-8: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2008	79
Πίνακας 5-9: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2009	79
Πίνακας 5-10: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2010	80
Πίνακας 5-11: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2011	80

Πίνακας 5-12: Μέσες τιμές συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), με τη μορφή μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση, οργανικού άνθρακα (OC), στοιχειακού άνθρακα (EC) και των λόγων τους σε PM_{2.5} και PM₁₀ στο Βόλο 85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 5-1: Απεικόνιση μεγίστων τιμών που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012.....	64
Γράφημα 5-2: Απεικόνιση ελαχίστων τιμών που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012.....	66
Γράφημα 5-3: Απεικόνιση μέσων μηνιαίων τιμών που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012..	68
Γράφημα 5-4: Σχηματική απεικόνιση εύρους τιμών για την περίοδο 2007-2012	68
Γράφημα 5-5: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2007	69
Γράφημα 5-6: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2008	70
Γράφημα 5-7: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2009	71
Γράφημα 5-8: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2010	72
Γράφημα 5-9: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2011.....	73
Γράφημα 5-10: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2012	74

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 5-1: Μέση ενδοημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των PM10 κατά τη χειμερινή περίοδο (συνεχής γραμμή) και τη θερμή περίοδο (διακεκομμένη γραμμή) του έτους, από 2007 ως 2012	75
--	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1: : Ο ατμοσφαιρικός κύκλος των αιωρούμενων σωματιδίων (Poschl, 2005)	25
Εικόνα 2-2: Μέγεθος των PM2.5 και PM10 σε σύγκριση με ανθρώπινη τρίχα (πηγή: http://www.epa.gov/pm/basic.html)	30
Εικόνα 2-3: Ιδανικές κατηγορίες των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθός τους και τον τρόπο τον οποίο έχουν σχηματιστεί (U.S. EPA, 2004).....	32

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

IUAPPA	International Union of Air Pollution Prevention Associations
E.E.	Ευρωπαϊκή Ένωση
Π.Ο.Υ.	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
PM	Particulate Matter
WHO	World Health Organisation
EEA	European Environment Agency
C.A.F.E	Clean Air For Europe
ΔΕΥΑΜΒ	Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Μείζονος Βόλου
ΕΠΟ	Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Κούγκολου Αθανάσιου, καθηγητή μου στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών προς τον οποίο εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες για την προτροπή του να ασχοληθώ με το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Πρώια Γεώργιο, ηλεκτρολόγο μηχανικό, για την βοήθεια, την παροχή συμβουλών και την καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Καταρτζή Στέφανο για τις ωριαίες τιμές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 από το σταθμό μέτρησης της ΔΕΥΑΜΒ καθώς επίσης και τον Σπηλιωτόπουλο Μάριο για την ευγενική παραχώρηση μετεωρολογικών δεδομένων για την περιοχή του Βόλου

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που μου προσέφερε την δυνατότητα και την στήριξη ώστε να ασχοληθώ με τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών <<Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος>>. Το θέμα που πραγματεύεται είναι η αέρια ρύπανση στην πόλη του Βόλου. Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 10μm (PM₁₀) και η ανάλυση των πηγών τους, μέσα από στατιστική επεξεργασία και μελέτη την περίοδο από 01/01/2007 έως 31/12/2012.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την αέρια ρύπανση στην γενική της μορφή. Αναλύονται οι διαστάσεις που μπορεί να έχει η αέρια ρύπανση και γίνεται μια ιστορική αναδρομή στα μεγαλύτερα και κυριότερα επεισόδια σε παγκόσμιο επίπεδο. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου, ακολουθεί εκτεταμένη αναφορά στους κυριότερους αέριους ρύπους καθώς και τις πηγές από τις οποίες προέρχονται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται βασικές έννοιες για τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως το μέγεθος, οι πηγές προέλευσης, ο τρόπος σχηματισμού, διάφορους τρόπους κατηγοριοποίησης, οι επιδράσεις που έχουν στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον καθώς και οι μηχανισμοί απομάκρυνσής τους. Τέλος, ακολουθούν οι τρόποι ώστε να περιοριστεί η ρύπανση από τα αιωρούμενα σωματίδια, καθώς και κάποιοι σημαντικοί παράγοντες για τον επιλογή της κατάλληλης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.

Το τρίτο κεφάλαιο περιέχει την νομοθεσία που αφορά την αέρια ρύπανση καθώς και την νομοθεσία για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Στοιχεία για την πόλη του Βόλου, καθώς και για την ατμοσφαιρική ρύπανση στον Βόλο υπάρχουν στο τέταρτο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα αναλύονται οι παράγοντες που ευνοούν τα φαινόμενα αέριας ρύπανσης στην περιοχή και αποτελέσματα από προηγούμενες μελέτες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται η ανάλυση των δεδομένων μέσα από πίνακες και σχήματα για την εξαετία που μελετήθηκε. Γίνεται σύγκριση των μεγίστων, ελαχίστων και μέσων τιμών των PM₁₀ και συσχετίσή τους με τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιόδου που μελετήθηκε. Στην συνέχεια ακολουθεί χημική ανάλυση των πηγών των

αιωρούμενων σωματιδίων μέσα από την μελέτη του οργανικού προς τον στοιχειακό άνθρακα.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας βρίσκονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα, ενδεικτικές δράσεις για την μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΟΡΙΣΜΟΣ

Ως ατμοσφαιρικός ρύπος, μπορεί να χαρακτηριστεί οποιαδήποτε ουσία, είτε σε στερεά μορφή (μικρά αιωρούμενα σωματίδια), είτε σε υγρή (αιωρούμενα σταγονίδια), είτε σε μορφή αερίου, η οποία συναντάται στην ατμόσφαιρα και η οποία έχει βλαπτική επίδραση (άμεσα ή έμμεσα) στην ανθρώπινη υγεία, την χλωρίδα, την πανίδα και γενικότερα το περιβάλλον (Ραψομανίκης και Καστρινάκης, 2009). Κατά μια έννοια είναι η προσθήκη κάθε υλικού (μοριακής ή σωματιδιακής φύσης) στην ατμόσφαιρα που μας περιβάλλει, η οποία θα έχει σαν αποτέλεσμα την δηλητηρίαση της ζωής πάνω στον πλανήτη (Ζάνης, 2008). Ο ορισμός που δίνει η Ελληνική νομοθεσία είναι ο εξής: «Ρύπος»: οποιαδήποτε ουσία εμφανίζεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και ενδέχεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και/ή στο περιβάλλον στο σύνολό του (Η.Π. 14122/549/Ε.103/2011).

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας οφείλεται σε φυσικές διεργασίες (έδαφος, ηφαίστεια, πυρκαγιές, ωκεανοί κ.α.) και σε ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανία, θέρμανση, παραγωγή ενέργειας, αυτοκίνητα κ.ά.). Υπάρχουν επίσης έκτακτα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως οι καπνομίχλες, τα φωτοχημικά νέφη, η όξινη βροχή και περιπτώσεις ρύπανσης από ατυχήματα όπως Τσέρνομπιλ, Σεβέζο, Μποάλ κ. ά. (Κούγκολος, 2005, Jacobson, 2002).

1.2 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για την μελέτη των διαφόρων μορφών ρύπανσης, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν οι διαστάσεις που μπορούν να πάρουν οι διάφορες μορφές ρύπανσης. Οι διαστάσεις της αέριας ρύπανσης στον χώρο μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες (Κούγκολος, 2005):

- Φαινόμενα με παγκόσμια διάσταση: τέτοια φαινόμενα είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η τρύπα 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. Αυτή η κατηγορία μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω υποκατηγορίες: φαινόμενα τοπικής κλίμακας, όταν η ακτίνα επιρροής είναι έως 5km, φαινόμενα αστικής κλίμακας όταν η ακτίνα επιρροής είναι έως 50km και φαινόμενα περιφερειακής κλίμακας όταν η ακτίνα επιρροής είναι μεγαλύτερη.
- Ρύπανση εργασιακού χώρου (εσωτερικού)
- Ρύπανση οικιακού χώρου

Μία εξίσου σημαντική κατηγοριοποίηση η οποία συναντάται σε αναφορές στο πρόβλημα αυτό της αέριας ρύπανσης, όσον αφορά την κλιμάκωση μεγέθους των φαινομένων ρύπανσης έχει, σύμφωνα με τον Γεντεκάκη (1999, 2003) ως εξής:

- Μικροκλίμακα: φαινόμενα που συμβαίνουν σε έκταση της τάξης των 0-100m, όπως για παράδειγμα διασπορά των ρύπων του κλιβάνου θέρμανσης ενός σπιτιού.
- Μεσοκλίμακα: φαινόμενα που εντείνονται σε μια έκταση της τάξης των δεκάδων έως εκατοντάδων χιλιομέτρων.
- Συνοπτική κλίμακα: φαινόμενα που καταλαμβάνουν εκτάσεις της τάξης των εκατοντάδων έως χιλιάδων χιλιομέτρων.
- Παγκόσμια κλίμακα: περιλαμβάνει φαινόμενα που διαδραματίζονται σε εκτάσεις που υπερβαίνουν τα 5×10^3 km.

Οι μονάδες έκφρασης της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι τα $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή mg/m^3 , καθώς και τα ppm (μέρη ανά εκατομμύριο όγκου).

1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Σύμφωνα με τους Γεντεκάκη (1999, 2003) και Ζάνη (2008), η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζει μια μακρά ιστορία. Ένας κύριος λόγος που οι φυλές στις απαρχές της ιστορίας ακολουθούσαν τον νομαδικό τρόπο ζωής ήταν το γεγονός ότι κινούνταν

μακριά από την δυσάρεστη οσμή που παρήγαγαν τα απορρίμματά τους, τα φυτά και τα ζώα. Με την ανακάλυψη και χρήση της φωτιάς άρχισε η ρύπανση των εσωτερικών χώρων εγκατάστασης με τα προϊόντα της ατελούς καύσης. Η ιδέα της καμινάδας, βοήθησε στην απομάκρυνση των προϊόντων καύσης και των οσμών, τουλάχιστον από τους χώρους διαβίωσης. Αναφορά για κατάσταση αέριας ρύπανσης συναντάται από πολύ παλιά:

- Ο πατέρας της Ιατρικής ο Ιπποκράτης ήταν ο πρώτος που έγραψε για την συσχέτιση ανάμεσα σε επιδημικά φαινόμενα και τις καιρικές συνθήκες τον 4^ο αιώνα π.Χ. και ήταν ο πρώτος που χαρακτήρισε την υγιεινή των πόλεων ανάλογα με τον προσανατολισμό τους και τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες.
- Ο Ρωμαίος φιλόσοφος Σενέκας κάνει για πρώτη φορά αναφορά σχετικά με την βρωμιά από τις καπνισμένες καπνοδόχους στη Ρώμη το 61 μ.Χ..

Οι πρώτες βιομηχανίες που συνδέθηκαν με την αέρια ρύπανση, πριν την βιομηχανική επανάσταση, ήταν η μεταλλουργία, η κεραμοποιία και η συντήρηση ζωικών προϊόντων.

Κατά την βιομηχανική επανάσταση τον 18^ο αιώνα, εδραιώθηκε η εντατική χρήση του κάρβουνου κυρίως και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη. Στην διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, το σοβαρότερο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν ο καπνός και η ιπτάμενη τέφρα από την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου στους καυστήρες των μονάδων παραγωγής ενέργειας, στα πλοία και στα τζάκια των σπιτιών. Στην Αγγλία ήταν τόσο σημαντικό το πρόβλημα ώστε ακολουθήθηκαν στρατηγικές ελέγχου της ρύπανσης όπως επιβεβαιώνεται από την πρώτη Δράση Δημόσιας Υγείας το 1848 και τις επόμενες το 1866 και 1875.

Κατά την περίοδο 1900-1925 αναφέρονται μεγάλες αλλαγές στην τεχνολογία με φυσικό επακόλουθο την παραγωγή ρύπων. Μια από τις βασικές τεχνολογικές αλλαγές που επηρέασαν τον ρυθμό και τον βαθμό ρύπανσης είναι η αντικατάσταση της μηχανής από τον ηλεκτρικό κινητήρα. Η αντικατάσταση, σε πολλές συσκευές και διεργασίες, του κάρβουνου από το πετρέλαιο, μείωσε τις εκπομπές της ιπτάμενης τέφρας. Η πιο σημαντική αλλαγή ήταν η ραγδαία αύξηση στην χρήση του αυτοκινήτου. Οι βασικές τεχνολογικές αλλαγές για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν οι εξής: (i) η βελτιστοποίηση συσκευών επεξεργασίας καυσαερίων (ii) η ανακάλυψη από τον F. G.

Gottrell του ηλεκτροστατικού φίλτρου (ESP) και (iii) η ανάπτυξη του κλάδου της Χημικής Μηχανικής στον τομέα της ανάλυσης, του σχεδιασμού και του ελέγχου των διεργασιών.

Κατά την περίοδο 1925-1950 εμφανίζονται σημαντικά επεισόδια αέριας ρύπανσης όπως στο Meuse Valley (Βέλγιο) το 1930 με 63 νεκρούς, Donora Pennsylvania (ΗΠΑ) το 1948 με 20 νεκρούς και Poza Rica (Μεξικό) το 1950 καθώς επίσης έχουμε και την εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους στο Los Angeles της Καλιφόρνιας στη δεκαετία το 1940 όποτε και αρχίζει να εντατικοποιείται η επιστημονική έρευνα σε θέματα αέριας ρύπανσης. Την ίδια περίοδο όμως, υπάρχει βασική ανάπτυξη τα μηχανικής για τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης, η οποία περιελάμβανε ελεγχόμενο κλίβανο ανάφλεξης κάρβουνου, συσκευή απομάκρυνσης οξέων από τα αέρια των βιομηχανικών εκπομπών, κυκλώνες και φίλτρα για την συλλογή της σωματιδιακής ύλης καθώς και χρήση διαφόρων φυσικοχημικών μεθόδων στον σχεδιασμό των μονάδων ελέγχου (για παράδειγμα απορρόφηση, προσρόφηση κ.λπ.).

Ένα σημαντικό τεχνολογικό άλμα της περιόδου αυτής ήταν η μεταφορά του φυσικού αερίου με αγωγούς, όπου και οδήγησε στην ραγδαία αντικατάσταση του κάρβουνου και του πετρελαίου, με αποτέλεσμα την δραματική βελτίωση στην ποιότητα του αέρα.

Ειδικά στο τελευταίο μισό του εικοστού αιώνα, λόγω της ευρείας δημοσιότητας των θανατηφόρων επεισοδίων καπνομίχλης, δόθηκε ώθηση για τη δημόσια κατανόηση των κινδύνων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Bell and Davis, 2001)

Κατά την περίοδο 1950-1980, ένα σημαντικό επεισόδιο αέριας ρύπανσης (καπνομίχλης) χτυπά το Λονδίνο (1952) με καταστροφικές συνέπειες (4000 νεκροί). Το επεισόδιο ρύπανσης χαρακτηρίζονταν από υψηλά επίπεδα SO₂ και σωματιδίων υπό την παρουσία πυκνής χαμηλής ομίχλης με χαμηλή και ισχυρή θερμοκρασιακή αναστροφή. Σαν αποτέλεσμα η Αγγλία ακολούθησε τη δράση “Clean Air Act” για να μειώσει τις εκπομπές ρύπων αλλά ένα ακόμη σοβαρό επεισόδιο καπνομίχλης συνέβη το 1962 στο Λονδίνο με 700 νεκρούς.

Στην διάρκεια αυτών των δεκαετιών σχεδόν όλες οι ευρωπαϊκές χώρες, καθώς επίσης και η Ιαπωνία, η Αυστραλία και η Νέα Ζηλανδία γνώρισαν σοβαρή ρύπανση στις μεγαλουπόλεις τους. Το 1955 θεσπίστηκε η πρώτη ομοσπονδιακή νομοθεσία για την ατμοσφαιρική ρύπανση προσφέροντας υποστήριξη, εκπαίδευση και τεχνική βοήθεια για

έρευνα στο θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το 1964, ιδρύθηκε η διεθνής οργάνωση για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (IUAPPA: the International Union of Air Pollution Prevention Associations). Το τεχνολογικό ενδιαφέρον κατά την περίοδο αυτή επικεντρώθηκε στην ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τα αυτοκίνητα και τον έλεγχο της, στην ρύπανση από τα οξείδια του θείου και την απομάκρυνσή τους, στον έλεγχο αερίων που εκλύονται από σταθερές πηγές, καθώς επίσης και στον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου που παράγονται από διεργασίες καύσης.

Το αξιοσημείωτο των δεκαετιών που ακολούθησαν (1970-1980) ήταν η ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης και ουσιαστικής προσέγγισης του προβλήματος. Άρχισαν να αναπτύσσονται μονάδες και συσκευές ελέγχου της ρύπανσης κατ' ευθείαν στις πηγές απ' όπου παράγεται, όπως στις μονάδες και στα αυτοκίνητα. Δόθηκε για πρώτη φορά ιδιαίτερη έμφαση (i) στο πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου (ii) στο πρόβλημα της μείωσης του όζοντος στην ατμόσφαιρα (iii) στην μεταφορά ρύπανσης σε μεγάλες αποστάσεις και τέλος (iv) στην όξινη βροχή.

Αυτή την περίοδο έχουμε την εμφάνιση της οικολογικής και περιβαλλοντικής προσέγγισης από Οργανισμούς και Κυβερνήσεις κρατών ενώ για πρώτη φορά υπογράφονται παγκόσμιες συμφωνίες κρατών όπως το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987), για την αντιμετώπιση της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος και το Πρωτόκολλο του Κιότο (1997) για την αντιμετώπιση της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το 1990 τονίστηκε από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης η ανάγκη για επίλυση (i) του προβλήματος των ανεξέλεγκτων σε παγκόσμια κλίμακα κλιματολογικών αλλαγών και (ii) το πρόβλημα της καταστροφής του όζοντος στην ατμόσφαιρα.

Δεδομένου ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, είναι επιτακτική η ανάγκη για αξιόπιστα εργαλεία ώστε να γίνει σωστή πρόβλεψη των συγκεντρώσεων των αερίων ρύπων (Sapkota et al., 2005).

Συνοπτικά, οι κυριότερες ημερομηνίες σταθμοί για την αέρια ρύπανση είναι οι εξής:

1948: Ντονόρα - Πενσυλβάνια: επεισόδιο θερμοκρασιακής αναστροφής, προκαλούνται 20 θάνατοι ενώ οι ασθενήσαντες φτάνουν τους 6000.

1952: Λονδίνο: 4000 θάνατοι

1956: Λονδίνο: 1000 θάνατοι

1957: Λονδίνο: 700 - 800 θάνατοι

1959: Λονδίνο: 200 - 250 θάνατοι

1962: Λονδίνο: 700 θάνατοι

1963: Λονδίνο: 700 θάνατοι

1963: Νέα Υόρκη: θερμοκρασιακή αναστροφή προκαλεί επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης με αποτέλεσμα τον θάνατο περίπου 300 ατόμων.

1966: Νέα Υόρκη: νέο επεισόδιο θερμοκρασιακής αναστροφής προκαλεί τον θάνατο 168 ατόμων.

1970: Η.Π.Α. καθορίζονται όρια για την ποιότητα του αέρα.

1972: Συντάσσεται η διακήρυξη της Στοκχόλμης για το περιβάλλον .

1973: Νομοθεσία στην Ευρωπαϊκή κοινότητα για τον περιβάλλον.

1983: Δημιουργείται από τα Ηνωμένα Έθνη παγκόσμια ένωση για το περιβάλλον και την ανάπτυξη.

1989: Πρώτη συνδιάσκεψη 29 ευρωπαϊκών κρατών για την Υγεία και το Περιβάλλον

1990: Επαναπροσδιορισμός των ορίων για την ποιότητα του αέρα στις Η.Π.Α.

1996: Τροποποίηση της ισχύουσας νομοθεσίας στην Ε.Ε. σχετικά με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, καθορισμός μακροπρόθεσμων στόχων για την ποιότητα του αέρα και θέσπιση νέων ορίων για τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

1999: Καθορισμός στην Ε.Ε. οριακών τιμών για το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια καθώς και για την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από την βιομηχανία.

2000: Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) συντάσσει οδηγίες για τους αέριους ρύπους.

2002: Ξεκινά το πρόγραμμα Clean Air for Europe, με στόχο την διερεύνηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία.

2005: Επαναπροσδιορισμός από τον ΠΟΥ των οδηγιών για το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου, το όζον και αιωρούμενα σωματίδια.

2008: Επανακαθορισμός στην Ε.Ε. οριακών τιμών για τους αέριους ρύπους και θέσπιση ορίων για τα αιωρούμενα σωματίδια.

1.4 ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Αέριοι ρύποι καλούνται τα αέρια ή αιωρούμενα σωματίδια που είναι τοξικά, όταν η συγκέντρωσή τους ξεπερνά ορισμένες τιμές (Κούγκολος, 2005).

Χαρακτηριστικό κάθε αέριου ρύπου είναι ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα (residence time) ή ο χρόνος ημιζωής, ο χρόνος δηλαδή που χρειάζεται ώστε να απομακρυνθεί από την ατμόσφαιρα το μισό της ποσότητας του ρύπου (Κούγκολος, 2005).

Η ταξινόμηση των αέριων ρύπων μπορεί να γίνει ανάλογα με την προέλευσή τους, την φυσική τους κατάσταση και την αναλογία με την οποία αλλάζει η συγκέντρωσή τους. Σύμφωνα με την πηγή προέλευσής τους, χωρίζονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς, καθώς και πρωτογενείς και δευτερογενείς με κριτήριο αν παράγονται απ' ευθείας από την πηγή.

Οι φυσικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι οι ρύποι που προέρχονται από φυσικά αίτια όπως:

- Αιωρούμενη σκόνη στον αέρα η οποία οφείλεται στην δράση του ανέμου
- Ηφαιστιογενής τέφρα και αέρια
- Όζον το οποίο έχει σχηματιστεί εξαιτίας των αστραπών
- Εστέρες και τερπενοειδή τα οποία προέρχονται από την αποσύνθεση της πανίδας
- 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 προϊόντων και οργανισμών
- Φυσική ραδιενέργεια

Οι ανθρωπογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι αποτέλεσμα της φυσικής δραστηριότητας (Ραυτομανίκης και Καστρινάκης, 2009).

Πρωτογενείς ρύποι λέγονται οι ουσίες που εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή όπως για παράδειγμα CO, NO, SO₂. Δευτερογενείς ρύποι ονομάζονται οι ρύποι οι οποίοι προέρχονται από τις αντιδράσεις των πρωτογενών, για παράδειγμα O₃. (Κούγκολος, 2005).

Ανάλογα με την φυσική τους κατάσταση, διακρίνονται σε αέρια ή σωματίδια.

Τέλος, με βάση την αναλογία με την οποία αλλάζει η συγκέντρωσή τους, διακρίνονται σε συντηρητικούς και μη συντηρητικούς. Συντηρητικοί ρύποι λέγονται οι ρύποι που η συγκέντρωσή τους δεν αλλάζει γρήγορα με τον χρόνο γιατί οι ενώσεις τους δεν διασπώνται και δεν αντιδρούν εύκολα, όπως για παράδειγμα το χλωριούχο νάτριο ή το CO₂. Μη συντηρητικοί ρύποι είναι το όζον στην ατμόσφαιρα ή οι οργανικές ενώσεις BOD₅ (Κούγκολος, 2005).

Οι κυριότεροι παράμετροι που καθορίζουν την έκταση της καθημερινής ρύπανσης είναι οι εξής (Κούγκολος, 2005):

- Οξείδια του αζώτου (NO_x)
- Οξείδια του θείου (SO_x)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Υδρογονάνθρακες (HC)
- Αιωρούμενα σωματίδια (TSP)

ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO_x)

Σχηματίζονται από την αντίδραση του αζώτου με το οξυγόνο, η οποία γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα οξείδια του αζώτου είναι τα εξής: μονοξείδιο (NO), διοξείδιο του αζώτου (NO₂), διαζωτοξείδιο (N₂O), καθώς και η αμμωνία (NH₃). Τα οξείδια του αζώτου είναι τοξικές ενώσεις με δυσμενείς επιπτώσεις στα ζώα τους ανθρώπους και τα φυτά. Ο χρόνος παραμονής των NO_x στην ατμόσφαιρα, ανέρχεται σε μερικές μέρες (Κούγκολος, 2005). Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά. Στους ασθματικούς προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή (Ζάνης, 2008).

ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO_x)

Οι κυριότερες μορφές του θείου στην ατμόσφαιρα είναι το διοξείδιο του θείου, το τριοξείδιο του θείου, το θειικό οξύ και το υδρόθειο. Τα οξείδια αυτά, σχηματίζονται κατά κύριο λόγο κατά την καύση στερεών ή υγρών καυσίμων που περιέχουν θείο (Ραυτομανίκης και Καστρινάκης, 2009). Οι κυριότερες φυσικές πηγές παραγωγής θειούχων ενώσεων είναι τα ηφαίστεια, οι ωκεανοί και οργανικές ενώσεις σε αποσύνθεση (Κούγκολος, 2005). Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιαγγειακές, χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις καθώς και μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας, στην αύξηση της οξύτητας των λιμνών και των ποταμών και προκαλούν αλλοιώσεις στη βλάστηση και στα μέταλλα (Ζάνης, 2008).

ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από την καύση του άνθρακα ή οργανικών ενώσεων. Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία συνεισφέρει άλλα περίπου 25%. Η σημαντικότερη φυσική πηγή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου. Το μονοξείδιο του άνθρακα μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα. Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ζαλάδες, πονοκεφάλους και κόπωση (Ζάνης, 2008). Είναι από τα πιο επικίνδυνα τοξικά αέρια γιατί δεν γίνεται εύκολα αντιληπτό και σε μεγάλες συγκεντρώσεις > 100 ppm είναι θανατηφόρο (Κούγκολος, 2005).

ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (HC)

Συναντώνται στην ατμόσφαιρα των κατοικημένων περιοχών. Ολικοί (TOC) ή απλώς υδρογονάνθρακες (HC) χαρακτηρίζονται οι κυκλικοί, αρωματικοί, τερπένια, αλδεΐδες, κετόνες και άλλες οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Προέρχονται από φυσικές πηγές σε μεγάλο ποσοστό 94% και από ανθρωπογενείς σε ποσοστό 6%. Οι ανθρωπογενείς πηγές είναι οι καύσεις, οι εξατμίσεις πετρελαιοειδών και οργανικών διαλυτών, τα αερολύματα πετροχημικών βιομηχανιών κ.α. ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκαλούν οι υδρογονάνθρακες που εκλύονται στα μεγάλα αστικά κέντρα γιατί συμμετέχουν στην δημιουργία φωτοχημικής ομίχλης (Κούγκολος, 2005). Η πιο επικίνδυνη τοξική πτητική οργανική ένωση στην ατμόσφαιρα είναι το βενζόλιο η οποία αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης. Πηγές βενζολίου είναι τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα διανομής της, καθώς επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο. Το βενζόλιο σαν αυτούσια ένωση μπορεί να προκαλέσει χρόνιες παθήσεις όπως καρκίνο, αταξία στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ζημιές στη λειτουργία του ήπατος και των νεφρών, ανωμαλίες στην αναπαραγωγή και προβληματικές γεννήσεις (Ζάνης, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

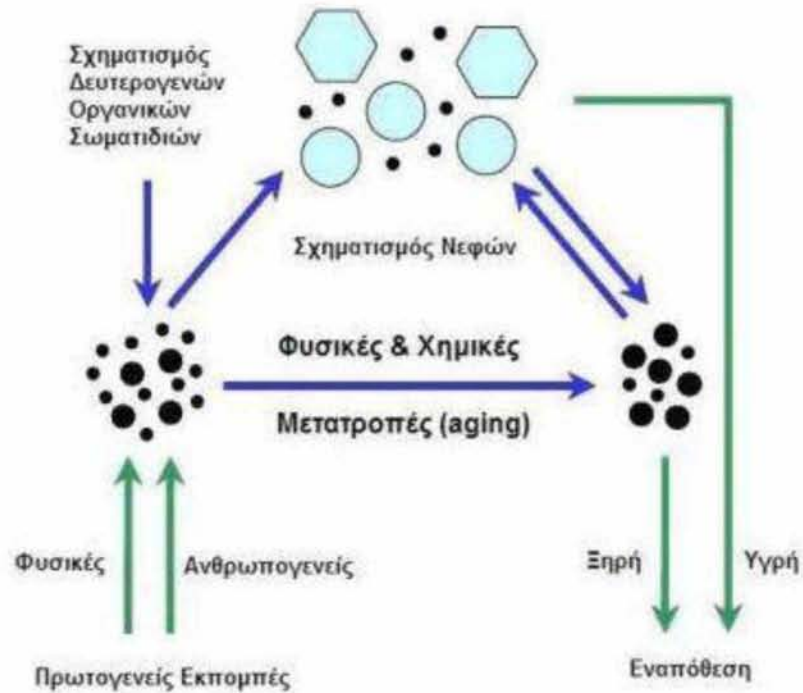
2 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ, ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter, PM) καλούνται τα μικρά σωματίδια ύλης, υγρής ή στερεής μορφής που βρίσκεται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα σε ποικίλα μεγέθη που μπορεί να είναι από λίγα νανόμετρα (nm) έως μερικές δεκάδες μικρόμετρα (μm) και με διαφορετική σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν χαρακτηριστεί ως ένας από τους βασικότερους ρύπους της ατμόσφαιρας εξαιτίας των επιπτώσεων τους στην υγεία και το κλίμα (Harrison, 2004). Προέρχονται από διάφορες πηγές και σχηματίζονται μηχανικά (πρωτογενή αερολύματα) με διεργασίες όπως η διάβρωση του εδάφους, ο κυματισμός της θάλασσας (sea salt aerosols), η γύρη των φυτών, η ηφαιστειακή δραστηριότητα καθώς και διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου. Τα δευτερογενή αερολύματα δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα από την διαδικασία μετατροπής αερίων σε σωματίδια. Οι εκπομπές αερολυμάτων έχουν αυξηθεί κατά τον τελευταίο αιώνα και έχουν συνδεθεί με προβλήματα υγείας (Dockery et al., 1993). Τα αιωρούμενα σωματίδια συναντώνται στην ατμόσφαιρα, υπό μορφή νεφών, όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Seinfeld and Pandis, 2006):

1. Σκόνη (dust): στερεά σωματίδια μεγάλου μεγέθους, ($d > 1 \mu\text{m}$) που σχηματίζονται ως αποτέλεσμα διάβρωσης ή κατακερματισμού στερεών υλικών.
2. Καπνός (smoke): πολύ λεπτά σωματίδια ($d > 0.01 \mu\text{m}$) που σχηματίζονται από την ατελή καύση ουσιών που περιέχουν άνθρακα.
3. Ιπτάμενη τέφρα (flying ash): λεπτόκοκκα σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων που παρασύρονται με τα καυσαέρια.
4. Κάπνα (fume): στερεά σωματίδια, ($d > 1 \mu\text{m}$), που σχηματίζονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα από συμπύκνωση ουσιών που βρέθηκαν λόγω ειδικών συνθηκών στην αέρια φάση.
5. Ομίχλη (fog): ορατά σταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα κατά κύριο λόγο κοντά στο έδαφος.
6. Αχλύς (mist): Σταγονίδια ($d > 1 \mu\text{m}$) αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα που σχηματίζονται από μηχανικές δράσεις ή από συμπύκνωση αερίων.
7. Καπνομίχλη (smog): συνδυασμός ομίχλης και καπνού.

8. Αιθάλη (soot): συσσώρευση σωματιδίων άνθρακα που δημιουργούνται από την καύση ανθρακικών ενώσεων.



Εικόνα 2-1: : Ο ατμοσφαιρικός κύκλος των αιωρούμενων σωματιδίων (Poschl, 2005)

Η μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελείται από τα εξής συστατικά (Seinfeld and Pandis, 2006):

- Θειικά
- Νιτρικά
- Αμμωνιακά
- Γεωλογικά υλικά
- Βιολογικά υλικά
- Μέταλλα
- Στοιχειακός άνθρακας
- Οργανικός άνθρακας
- Νερό

ΘΕΙΙΚΑ (Sulphates): Τα θειικά, τα οποία προέρχονται κατά κύριο λόγο από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου, βρίσκονται στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή θειικού αμμωνίου. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και απαντώνται στα $PM_{2.5}$. Το

διοξειδίο του θείου οξειδώνεται με πολύ αργούς ρυθμούς, κάτι που σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις των θεικών σε απόσταση δεκάδων χιλιομέτρων μπορεί να είναι πολύ μικρές, ενώ σε απόσταση εκατοντάδων ή και παραπάνω, χιλιομέτρων, μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Θεικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές, όπου το θειικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλασσινού αλατιού (Harrison and Yin, 2000).

ΝΙΤΡΙΚΑ (Nitrates): Τα νιτρικά σχηματίζονται κυρίως από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου. Μια από τις πιο σημαντικές μορφές του είναι το νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3) το οποίο βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τις πρόδρομες αέριες ουσίες, την αμμωνία (NH_3) και τους ατμούς νιτρικού οξέος (HNO_3) (Seinfeld and Pandis, 2006). Επειδή το διοξειδίο του αζώτου οξειδώνεται αισθητά πιο γρήγορα από το διοξειδίο του θείου, και λόγω της ευαισθησίας του NH_4NO_3 στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις της αμμωνίας, η χωρική κατανομή των νιτρικών, είναι πολύ πιο ανομοιομορφη από αυτή των θεικών (Harrison and Yin, 2000).

ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ (Ammoniums): Στον αρχικό σχηματισμό των θεικών και νιτρικών ιόντων στην ατμόσφαιρα, συναντώνται υπό την μορφή των θεικών και νιτρικών οξέων αντίστοιχα. Τα οξέα αυτά εξουδετερώνονται από την αμμωνία που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, σχηματίζοντας αμμωνιακά άλατα (Harrison and Yin, 2000).

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ (Geological materials): Στα γεωλογικά υλικά συγκαταλέγονται η επιφανειακή σκόνη και τα αερομεταφερόμενα αποσαθρωμένα πετρογενή ορυκτά υλικά. Δεν έχουν σταθερή σύσταση, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τις τοπικές γεωλογικές και επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες που μπορούν να οδηγήσουν την επαναιώρησή τους από το έδαφος (Harrison and Yin, 2000).

ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ (Biological materials): Η σωματιδιακή ύλη βιολογικής προέλευσης περιλαμβάνει μικροοργανισμούς (βακτήρια), σπόρια, γύρη και τεμαχίδια κυτταρινούχου φυτικού υλικού. Με εξαίρεση κάποιους ιούς και σωματίδια που εκπέμπονται από το ανθρώπινο σώμα, τα σωματίδια αυτά είναι στην πλειοψηφία τους χονδρόκοκκα (Harrison and Yin, 2000).

ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ: Τα μέταλλα που συναντώνται κατά κύριο λόγο στην μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων υπό την μορφή ιόντων τους, είναι τα εξής:

- Νάτριο
- Ασβέστιο
- Μαγνήσιο
- Κάλιο

Τα παραπάνω μέταλλα εμφανίζονται στα χονδρόκοκκα κλάσματα, λόγω της προέλευσής τους από τα θαλάσσια αερολύματα και την επιφανειακή σκόνη (Harrison and Yin, 2000, Harrison and Jones, 1995).

Η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες των μεταλλικών ιχνοστοιχείων, μέσω της αναπνευστικής οδού, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, αφού είναι πολύ τοξικά (Harrison and Yin, 2000).

ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (elemental carbon): Ο στοιχειακός άνθρακας εκπέμπεται κατά κύριο λόγο από τις διαδικασίες καύσης και ιδίως από την κυκλοφορία των οχημάτων. Έτσι εκπέμπονται σωματίδια αιθάλης, τα οποία περιέχουν άνθρακα υπό μορφή ενός πυρήνα από μαύρο στοιχειακό άνθρακα (Harrison and Yin, 2000). Η περίοδος όπου απαντώνται περισσότερα σωματίδια στοιχειακού και οργανικού άνθρακα, είναι την περίοδο του χειμώνα (Πρώιας κ. ά., 2012).

ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (organic carbon): Στον οργανικό εμπεριέχονται ένα μεγάλο ποσό οργανικών ουσιών, κατά κύριο λόγο παραγόμενα από την διαδικασία της καύσης. Αυτές οι ενώσεις είναι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες, αρωματικές ενώσεις και παράγωγα των υδρογονανθράκων (Harrison and Yin, 2000).

2.2 ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η ατμόσφαιρα μπορεί να περιέχει ένα αρκετά μεγάλο αριθμό σωματιδίων που μπορεί να φτάσουν σε 10^7 με 10^8 σωματίδια ανά cm^3 , με την διάμετρο αυτών να ποικίλει από μερικά nm έως περίπου $100\mu\text{m}$ (Seinfeld and Pandis, 2006).

Η βασικότερη διάκριση των αιωρούμενων σωματιδίων, η οποία φανερώνει και τον τρόπο παραγωγής τους είναι σύμφωνα με το μέγεθος τους, σε λεπτά σωματίδια ($d < 2\mu\text{m}$) και αδρά σωματίδια ($d > 2\mu\text{m}$) (Whitby, 1978).

Ο προσδιορισμός του μεγέθους γίνεται με την ισοδύναμη διάμετρο. Ισοδύναμη διάμετρος καλείται η διάμετρος που έχει ένα σφαιρικό σωματίδιο που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα κατά την κίνησή του με το προς εξέταση σωματίδιο (Λαζαρίδης, 2005).

Γενικά, χρησιμοποιούνται οι έννοιες PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ και PM_{10} . Είναι έννοιες που περιγράφουν την συγκέντρωση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων. Η λογική είναι η ακόλουθη: PM_x (Particulate Matter) αναφέρεται σε σωματίδια που έχουν διάμετρο έως και $x \mu\text{m}$. Το μεγαλύτερο σωματίδιο, γνωστό ως PM_{10} , αντιπροσωπεύει τα σωματίδια, τα οποία η διάμετρος τους είναι μικρότερη ή ίση με $10\mu\text{m}$. Το μικρότερο αναπνεύσιμο κλάσμα σωματιδίων ($\text{PM}_{2.5}$) αντιπροσωπεύει μικρά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από $2.5\mu\text{m}$. Τα μικρότερα σωματίδια, των οποίων η διάμετρος είναι μικρότερη από $0.1\mu\text{m}$, είναι τα $\text{PM}_{0.1}$, γνωστά επίσης ως «υπέρμικρα» (ultrafine particles). Στο εύρος αυτό βρίσκονται τα ιόντα και οι πυρήνες Aitken. Όσο μικρότερο είναι ένα σωματίδιο, τόσο πιο εύκολα μπορεί να εισπνευστεί (Heyder, 2004).

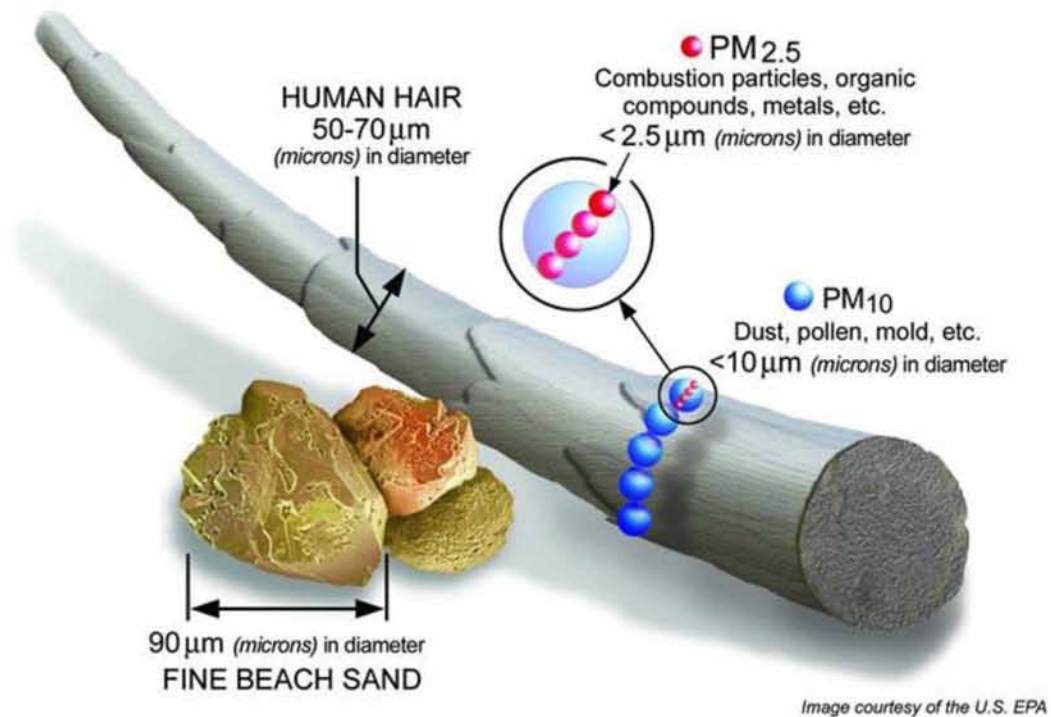
Το κριτήριο με το οποίο τα σωματίδια κατατάσσονται ως περισσότερο ή λιγότερο επικίνδυνα είναι η διάμετρος τους. Σημαντικό είναι πως η τοξικότητα των σωματιδίων αυξάνει όσο πιο μικρή είναι η διάμετρος τους, συνήθως λόγω της ικανότητας να διεισδύουν στους ιστούς (Schwartz et al., 1996).

Πίνακας 2-1: Ονομασία κλάσματος και διάμετρος

Ονομασία κλάσματος	Διάμετρος (μm)
PM ₁₀	Έως 10
PM _{2,5}	Έως 2.5
Ultra fine particles, Aitken nuclei	Έως 1
PM ₁₀ -PM _{2,5}	2.5 - 10

Πίνακας 2-2: Εύρος διαμέτρων για τα σωματίδια που συναντάμε στους εσωτερικούς χώρους (Spengler et al., 2000)

Σωματίδιο	Διάμετρος σε μm
Νιφάδες του δέρματος	1-40
Ορατή σκόνη	>25
Αλλεργιογόνοι μικροοργανισμοί	5-10
Μούχλα και κόκκοι γύρης	2-200
Βακτήρια	0.05-0.7
Ιοί	0.01-0.05
Ορυκτές ίνες	3-10
Αιωρούμενη σκόνη	2.5-25
Καπνός τσιγάρου	0.1-0.8
Αιθάλη από ντίζελ	0.01-1
Πρωτογενής σωματίδια καύσης	<0.1



Εικόνα 2-2: Μέγεθος των PM_{2.5} και PM₁₀ σε σύγκριση με ανθρώπινη τρίχα (πηγή: <http://www.epa.gov/pm/basic.html>)

2.3 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η κύρια διαφοροποίηση στις πηγές προέλευσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι αν προέρχονται από ανθρωπογενείς ή φυσικές πηγές. Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι εξής:

1. Εκπομπές από οχήματα όπως καυσαέρια και φθορά χρήσης ελαστικών και φρένων (Gertler, 2000).
2. Βιομηχανία
3. Οικιακές εκπομπές
4. Πυρκαγιές (δασικές και γεωργικές)

Οι φυσικές πηγές από τις οποίες προέρχονται τα σωματίδια είναι οι εξής:

1. Ηφαιστειακή δραστηριότητα και εκρήξεις
2. Θαλάσσια αερολύματα
3. Σκόνη από το έδαφος
4. Μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις

Στις περιοχές που χαρακτηρίζονται αστικές, τα αιωρούμενα σωματίδια παράγονται κατά κύριο λόγο από τους κινητήρες των οχημάτων. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων τείνουν να εμφανίζουν αύξηση στις περιοχές με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα, κοντινές βιομηχανικές μονάδες ή γεωργικές εκτάσεις ή όπου η τοπογραφία, οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι ιδιαιτερότητες της περιοχής συμβάλουν σε αναστροφές του στρώματος αέρα (WHO, 2005).

2.4 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Οι χαρακτηριστικές διαδικασίες σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι ακόλουθες τρείς:

1. Πυρηνοποίηση (nucleation)

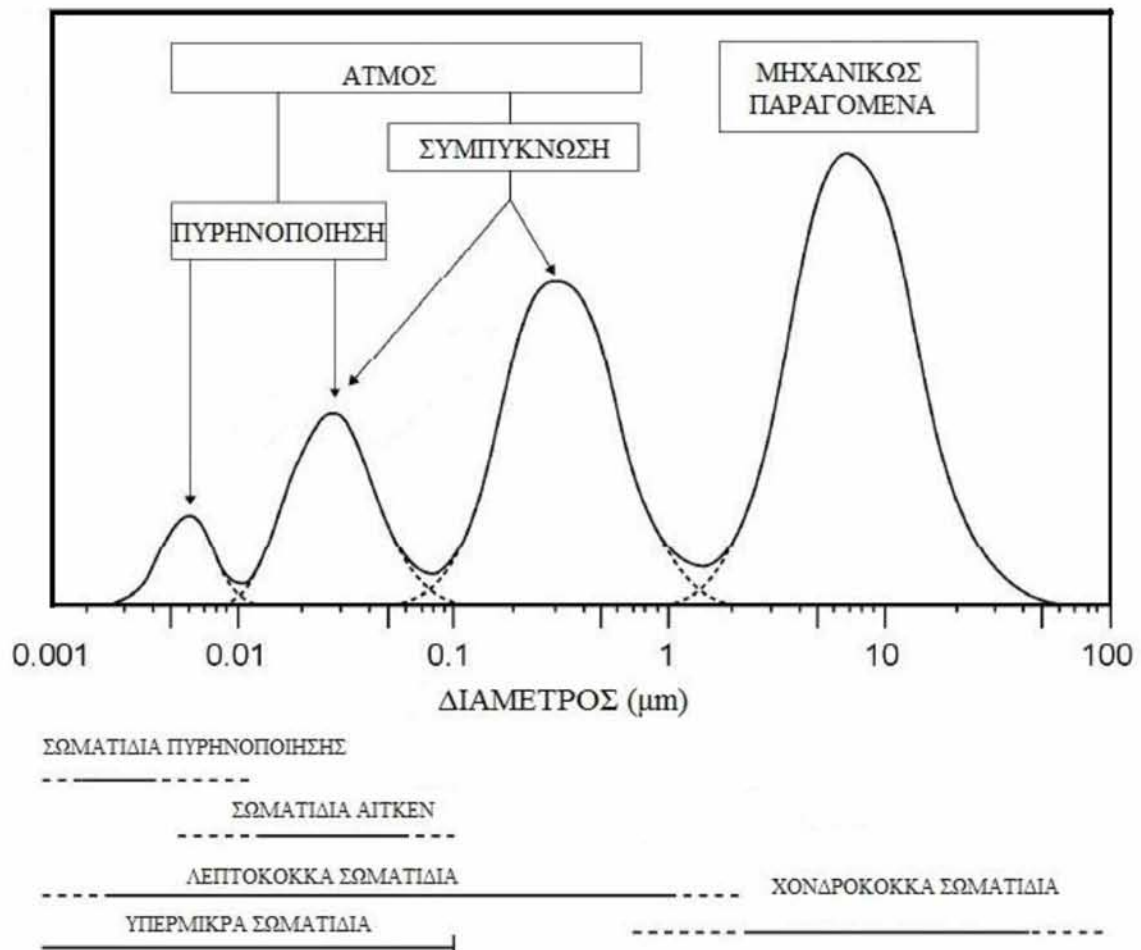
Η πυρηνοποίηση είναι η διαδικασία όπου από την αέρια κατάσταση θα σχηματιστούν πυρήνες και με την σειρά τους αυτοί θα εξελιχθούν σε σωματίδια (Seinfeld and Pandis, 2006). Ορίζεται ως η μεταβολή φάσεως από την αέρια στην υγρή ή στερεή κατάσταση. Η πυρηνοποίηση διακρίνεται σε ομογενή, όταν γίνεται απουσία ξένων σωμάτων, ενώ ετερογενής ονομάζεται η πυρηνοποίηση που γίνεται πάνω στην επιφάνεια ξένου σώματος. Επίσης, ομομοριακή πυρηνοποίηση είναι αυτή που περιλαμβάνει μόνο ένα είδος, ενώ η ετερομοριακή περιλαμβάνει δύο ή περισσότερα (Seinfeld and Pandis, 2006).

2. Συμπύκνωση – Εξάτμιση (condensation – evaporation)

Όσο έχουμε αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων, η συμπύκνωση γίνεται η κυρίαρχη διαδικασία σχηματισμού σωματιδίων από την αέρια φάση (Seinfeld and Pandis, 2006).

3. Συσσωμάτωση (coagulation)

Η συσσωμάτωση προϋποθέτει την ύπαρξη σωματιδίων. Αυτά λόγω της κίνησής τους θα συγκρουστούν το ένα με το άλλο και θα παραμείνουν ενωμένα σχηματίζοντας ένα νέο μεγαλύτερο αιωρούμενο σωματίδιο. Η κίνηση των σωματιδίων μπορεί να οφείλεται σε κίνηση Brown (για σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1 μm), λόγω τυρβώδους ροής (σωματίδια με διάμετρο μεταξύ 1 και 10 μm) και λόγω της κατακρήμνισης (σωματίδια μεγαλύτερα των 10 μm). Ο ρυθμός της συσσωμάτωσης εξαρτάται από τις δυνάμεις που καθορίζουν τις σχετικές κινήσεις των σωματιδίων, όσο και από την υδροδυναμική, τις δυνάμεις Van der Waals και τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων (Σωτηροπούλου, 2005). Με την συσσωμάτωση ο αριθμός των σωματιδίων μειώνεται ενώ αυξάνεται το μέγεθός τους.



Εικόνα 2-3: Ιδανικές κατηγορίες των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθός τους και τον τρόπο τον οποίο έχουν σχηματιστεί (U.S. EPA, 2004)

2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Ο διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων, εκτός από το μέγεθους τους, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη κάποια βασικά κριτήρια όπως τον τρόπο σχηματισμού, την πηγή προέλευσης, το σημείο απ' όπου εκπέμπονται και τέλος την χημική τους σύσταση.

2.5.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται, όπως και οι υπόλοιποι αέριοι ρύποι, τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές (Λαζαρίδης, 2005) :

Φυσικές πηγές: διάβρωση του εδάφους και των βράχων, εκλύσεις ηφαιστειών, σταγονίδια από την θάλασσα, πυρκαγιές των δασών.

Ανθρωπογενείς πηγές: Τα ανθρωπογενή αερολύματα προέρχονται αποκλειστικά από ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτές μπορεί να είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία, οι καύσεις και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες.

2.5.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ένας άλλος σημαντικός διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων σύμφωνα με τον τρόπο σχηματισμού τους είναι σε πρωτογενή και δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια. Τα πρωτογενή εκπέμπονται άμεσα στην ατμόσφαιρα από τις πηγές τους (φυσικές και ανθρωπογενείς). Τα δευτερογενή, είναι αυτά τα οποία δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα από την μετατροπή αερίων σε σωματίδια μέσω χημικών διεργασιών (πυρηνιοποίηση) ή μέσω της διάλυσης αερίων στη μάζα σωματιδίων που προϋπάρχουν (dilution) (Seinfeld and Pandis, 2006). Τα πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να έχουν διάφορα μεγέθη, δηλαδή και λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα, τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια έχουν μέγεθος μικρότερο του 1μm (Καραθανάσης, 2006).

2.5.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Ανάλογα το σημείο εκπομπής τους, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες (Seinfeld and Pandis, 2006):

- Τα θαλάσσια αερολύματα (sea salt aerosols) που παράγονται από μηχανισμούς που έχουν να κάνουν με την κίνηση του ανέμου και τη δημιουργία κυματισμού.

- Τα αερολύματα αγροτικών περιοχών (rural aerosols) που προέρχονται από δραστηριότητες που έχουν να κάνουν κυρίως με την γεωργία.
- Αερολύματα απομακρυσμένων περιοχών (remote areas aerosols) που είναι είτε βιογενούς προέλευσης, είτε μηχανικής.
- Αστικών περιοχών (urban aerosols) που δημιουργούνται κυρίως από δραστηριότητες του ανθρώπου και προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις καύσεις.
- Πολικά αερολύματα (polar aerosols) που έχουν κυρίως στη μάζα τους θειικά άλατα, θαλάσσια άλατα καθώς και σωματίδια που παράγονται σε μικρότερα γεωγραφικά ύψη και μεταφέρονται στους πόλους.
- Ηφαιστειογενή αερολύματα που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα κατά την ηφαιστειακή δραστηριότητα.
- Σωματίδια που εκπέμπονται από ερήμους (desert aerosols). Αυτά είναι κυρίως μεγάλου μεγέθους σωματίδια και δημιουργούνται από την κίνηση του ανέμου και τον παρασυρμό από την επιφάνεια. Από τα σωματίδια που εκπέμπονται από τις ερήμους, μόνο όσα είναι μικρότερα από 10 μ m έχουν την δυνατότητα να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις.

2.5.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ (CAMBRA-LOPEZ ET AL., 2010, WHO, 2000)

- Εσπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα σωματίδια που εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό από το ανώτερο αναπνευστικό τμήμα (μύτη, στόμα). ($d < 10\mu$ m).
- Θωρακικά σωματίδια (thoracic particles): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα σωματίδια που καταφέρνουν να περάσουν τον λάρυγγα και εισχωρούν στην θωρακική κοιλότητα. ($d < 7\mu$ m).
- Αναπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles): Αναπνεύσιμα σωματίδια καλούνται τα σωματίδια που καταφέρνουν να εισχωρήσουν στους πνεύμονες. ($d < 2.5\mu$ m).

2.6 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.6.1 *ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς και οι συνέπειες της, έχουν μια μακρά ιστορία. Έχει διαπιστωθεί πως σε περιοχές με μεγάλη σωματιδιακή ρύπανση, υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία (Pearce and Crowards, 1996, Dockery and Pope, 1994). Οι κυριότερες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου έχουν να κάνουν με το αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό σύστημα, όπου μπορούν να επιφέρουν ακόμα και τον θάνατο (Hoffmann, 2000, Pearce and Crowards, 1996, Mather et al., 2003, WHO, 2006). Κατά την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environment Agency) το μέγεθος των σωματιδίων παίζει σημαντικό ρόλο κατά διείσδυσή τους στους πνεύμονες με τα πιο λεπτόκοκκα να έχουν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα στο πνευμονικό σύστημα (EEA, 2007). Τα λεπτόκοκκα σωματίδια εμφανίζουν το φαινόμενο της προσρόφησης, που έχει ως αποτέλεσμα την ρόφηση των τοξικών συστατικών, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για την υγεία (Karros et al, 2004). Στην Ευρώπη, σύμφωνα με τον ΠΟΥ, η έκθεση στα σωματίδια προκαλεί περίπου 100.000 θανάτους ετησίως. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Utah (Pope, 1995) όπου τα επίπεδα των σωματιδίων είναι σχετικά υψηλά με περιόδους ατμοσφαιρικών επεισοδίων παρατηρήθηκαν τα παρακάτω τα οποία σχετίζονται με τις υψηλές συγκεντρώσεις των σωματιδίων:

1. Εξασθένιση των πνευμονικών λειτουργιών
2. Αυξημένος ρυθμός αναπνευστικών προβλημάτων
3. Σημαντικός ποσοστό απουσιών των παιδιών από τα σχολεία
4. Σημαντική αύξηση των εισαγωγών στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών και καρδιακών προβλημάτων
5. Αύξηση στον αριθμό των θανάτων λόγω αναπνευστικών και καρδιακών προβλημάτων

Τα πρώτα συμπτώματα των επιπτώσεων των σωματιδίων είναι οι ενοχλήσεις στο αναπνευστικό και στα μάτια (Passali et al., 1999). Εκτός των εμφανών ενοχλήσεων των σωματιδίων, μελέτες έδειξαν πως υπάρχει συσχέτιση και με την μεταλλακτική ικανότητα των κυττάρων. Όσο μικρότερο ήταν το σωματίδιο, τόσο μεγάλωνε η μεταλλακτική ικανότητα των κυττάρων (Spurny, 1998).

2.6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Τα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα και κατά συνέπεια ολόκληρο το οικοσύστημα. Αποτελούν πυρήνες σχηματισμού σταγόνων βροχής με αποτέλεσμα αύξηση των σύννεφων και βροχόπτωση, για παράδειγμα, μία μικρή μεταβολή στην συγκέντρωσή τους έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάζει τις φυσικές και ανακλαστικές ιδιότητες των νεφών (Αναγνωστόπουλος, 1989, Albrecht, 1989). Μία ακόμα παράμετρος των επιδράσεων στο κλίμα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ότι τα σωματίδια της τάξεως των 0.1-1μm προκαλούν φαινόμενα ανακλάσεως ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης μειώνουν σοβαρά την ορατότητα και την ηλιακή ακτινοβολία μέχρι να φτάσει στην γη. Αν αυξηθεί η θολερότητα, αναμένεται πτώση της θερμοκρασίας. Σχετικά με την βλάστηση, τα σωματίδια όταν επικάθονται πάνω στα φύλλα των φυτών, εμποδίζουν την κυκλοφορία των O₂ και CO₂ που μετέχουν στην φωτοσύνθεση, εμποδίζοντάς την (Αναγνωστόπουλος, 1989). Τα σωματίδια επιδρούν αρνητικά στα φυτά όταν (α) παραμείνουν στη επιφάνεια του για μεγάλο διάστημα, (β) απορροφηθούν από την επιφάνεια του (γ) μεταφερθούν στο έδαφος με αποτέλεσμα να προκληθούν φαινόμενα αύξησης της οξύτητας ή της αλκαλικούς του εδάφους των φυτών (Σωτηροπούλου, 2005).

2.6.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ

Η πιο εύκολη παρατήρηση της αέριας ρύπανσης για την οποία ευθύνονται τα σωματίδια είναι η μείωση της ορατότητας (Jinhuan and Liqian, 2000). Η ικανότητα του ανθρώπινου ματιού να βλέπει εξαρτάται από την συγκέντρωση των σωματιδίων και των αερίων που προκαλούν την εμφάνιση της καταχνιάς, την μείωση της αντίθεσης και την αλλαγή του χρώματος (Seinfeld, 1986). Η εξασθένιση της ορατότητας έχει άμεση σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων, την χημική τους σύνθεση και την σχετική υγρασία. Οι συντελεστές ανάκλασης και απορρόφησης αυξάνουν όσο αυξάνει η διάμετρος των σωματιδίων (Molnar and Meszaros, 2001).

2.7 ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Είναι απαραίτητο να γίνει μία ανάλυση ως προς την σύσταση των σωματιδίων, ώστε να δειχθεί η σημασία τους για την ανθρώπινη υγεία. Γενικά, τα σωματίδια αποτελούνται από μία ανόργανη φάση όπως στερεό ανόργανο υλικό, υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα και από μία οργανική φάση. Η σχετική συνεισφορά οργανικού και ανόργανου υλικού στη συνολική μάζα των σωματιδίων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως την προέλευσή τους, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και το μέγεθός τους. Γενικότερα τα PM είναι ένα περίπλοκο μίγμα από στοιχειώδη και οργανικό άνθρακα (C), αμμωνία, νιτρικές ενώσεις, θεικές ενώσεις, σκόνη μεταλλευμάτων και νερό, ενώσεις του μολύβδου, οξειδία του αργίλου, πυρίτιο και άλλα μέταλλα για παράδειγμα σίδηρος (Fe), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), μαγγάνιο (Mn), κάλιο (K), ψευδάργυρο (Zn) και χρώμιο (Cr). Σαφώς οι ποσότητες για τις οποίες γίνεται λόγος είναι της τάξεως του 1 ng/m^3 αλλά και μικρότερες (Φυτιανός κ. ά., 2009).

Επιπρόσθετα, έχουν εντοπιστεί σωματίδια που αποτελούνται από στοιχεία κρυσταλλικής δομής όπως το Al_2O_3 (οξείδιο του αργιλίου) και το SiO_2 (οξείδιο του πυριτίου), καρβίδια και δευτερογενή ανόργανα αερολύματα όπως το αμμώνιο (NH_4^+), θεικό ιόν (SO_4^{2-}), νιτρικό ιόν (NO_3^-). Τα τελευταία είναι κυρίως σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2,5 μm και παράγονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Φυτιανός κ. ά., 2009). Συγχρόνως, υπάρχουν στα σωματίδια και πιο σύνθετες ενώσεις όπως η νιτρική αμμωνία (NH_4NO_3) και το θεικό αμμώνιο ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) (Querol et al., 2008).

Σε πολλές περιπτώσεις σωματιδίων μετρήθηκε μεγάλο ποσοστό νερού απορροφημένο σε ουσίες όπως τα Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , αλλά και ουσίες επικίνδυνες για τον ανθρώπινο οργανισμό όπως τα ρουβίδιο (Rb), ύτριο (Y), τιτάνιο (Ti), μολυβδαίνιο (Mo) και σελήνιο (Se). Κάποια στοιχεία που αποτελούν σωματίδια και αιωρούνται στην ατμόσφαιρα δημιουργούνται κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως τα αρσενικό (As), κάδμιο (Cd), θάλλιο (Tl), και μόλυβδος (Pb) και «δημιουργούν» κυρίως σωματίδια $\text{PM}_{2.5}$. Κάποια άλλα στοιχεία έχουν προσδιοριστεί στη σύσταση και των PM_{10} και των $\text{PM}_{2.5}$ όπως τα χαλκός (Cu), μαγνήσιο (Mg), μολυβδαίνιο (Mo) και αντιμόνιο (Sb). Επιπρόσθετα υπάρχουν στα σωματίδια και οι ουσίες όπως οι αργίλιο (Al) και το βανάδιο (V).

Στοιχεία όπως το βάριο (Ba), το δημήτριο (Ce), ο χαλκός (Cu), το λανθάνιο (La), το μολυβδαίνιο (Mo), το μαγγάνιο (Mn), το νεοδύμιο (Nd), το αντιμόνιο (Sb), αλλά και το

ασβέστιο (Ca), ο σίδηρος (Fe), ο μόλυβδος (Pb) και το βάριο (Ba) έχει αναλυθεί ότι προέρχονται κυρίως από τις οδικές μετακινήσεις (Hueglin et al., 2004). Παράλληλα και τα στοιχεία όπως ψευδάργυρος (Zn), αργίλιο (Al), χρώμιο (Cr), υδράργυρος (Hg), λανθάνιο (La), μαγνήσιο (Mg), βανάδιο (V), κασσίτερος (Sn), κοβάλτιο (Co) και χημικές ενώσεις όπως οι BaCu και PbZn σχετίζονται με την οδική κυκλοφορία (Querol et al., 2001, Laschober et al., 2004, Chellam et al., 2005, Yli-Tuomi et al., 2005, Viana et al., 2007, Xia et al., 2011).

Τα στοιχεία κάδμιο (Cd) και θάλλιο (Tl) εκπέμπονται κυρίως από σταθερές πηγές (Buwal, 1995). Επιπρόσθετα, το κάλιο (K) εκπέμπεται κυρίως από την βιομάζα και τα στοιχεία σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), χρώμιο (Cr), ασβέστιο (Ca), νικέλιο (Ni), ψευδάργυρος (Zn), σελήνιο (Se), μολυβδαίνιο (Mo), κάδμιο (Cd), κασσίτερος (Sn), μόλυβδος (Pb) από την βιομηχανία χάλυβα (Huang et al., 1994, Ojanen et al., 1998, Querol et al., 2004, Viana et al., 2006). Τα στοιχεία ψευδάργυρος (Zn), αρσενικό (As), σελήνιο (Se), ζirkόνιο (Zr), καίσιο (Cs), θάλλιο (Tl), μόλυβδος (Pb) και βισμούθιο (Bi) έχουν βρεθεί σε σωματίδια που εκπέμφθηκαν από βιομηχανίες γυαλιού και κεραμικών (Querol et al., 2004). Στη σκόνη από συστήματα πέδησης έχουν βρεθεί σωματίδια με τις ουσίες SiO₂, Fe₂O₃, Mg και Ba (Hildemann et al., 1991).

Ψευδάργυρος (Zn) ανιχνεύτηκε στα σωματίδια που δημιουργούνται από την φθορά των ελαστικών (Harrison et al., 1996, Schauer et al., 2006). Από τις εξατμίσεις diesel οχημάτων εξέρχονται τα στοιχεία βανάδιο (V) και κάδμιο (Cd) και σε μικρότερες ποσότητες το χρώμιο (Cr), ο ψευδάργυρος (Zn), το στρόντιο (Sr) και ο μόλυβδος (Pb). Από τα βενζινοκίνητα οχήματα έχουν ανιχνευτεί σωματίδια με περιεκτικότητα σε βανάδιο (V), χρώμιο (Cr), ψευδάργυρο (Zn), στρόντιο (Sr), μόλυβδο (Pb), μολυβδαίνιο (Mo) και άργυρο (Ag). Συγχρόνως, σωματίδια από την σκόνη του δρόμου μπορεί να περιέχουν θείο (S), μαγγάνιο (Mn), αργίλιο (Al), κάλιο (K), ασβέστιο (Ca), σίδηρο (Fe), τιτάνιο (Ti), στρόντιο (Sr) και κάδμιο (Cd). Τέλος, στην σκόνη φρεναρίσματος συναντώνται τα σίδηρος (Fe), χρώμιο (Cr), μαγγάνιο (Mn), χαλκός (Cu), ψευδάργυρος (Zn), μόλυβδος (Pb) και βάριο (Ba) (Schauer et al., 2006). Τα σωματίδια των τελευταίων κατηγοριών είναι τις περισσότερες φορές μικρότερα των 2.5μm.

2.8 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα αιωρούμενα σωματίδια, ανεξαρτήτως πηγής προέλευσης, απομακρύνονται από την πηγή τους με τους εξής τρόπους (Μελάς, 2003):

- Οριζόντια μεταφορά: τα αιωρούμενα σωματίδια μεταφέρονται και απομακρύνονται από την πηγή προέλευσης με την βοήθεια του επιφανειακού ανέμου. Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου παίζουν καθοριστικό ρόλο στον βαθμό αραίωσης και την περιοχή στην οποία θα κατευθυνθούν οι ρύποι.
- Κατακόρυφη μεταφορά: από την στιγμή που τα αιωρούμενα σωματίδια εκπέμπονται από την πηγή προέλευσης, παραμένουν για κάποιο ορισμένο χρόνο στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα όπου κυριαρχούν οι τυρβώδεις κινήσεις οι οποίες συμβάλλουν στην αραίωση των σωματιδίων. Ανάλογα με το ύψος του οριακού στρώματος οι κινήσεις είναι έντονες ή ασθενείς.
- Ξηρή εναπόθεση: Η ξηρή εναπόθεση είναι η μεταφορά των σωματιδίων στο έδαφος χωρίς να υπάρχει κατακρήμνιση. Εξαρτάται από την τυρβώδη ροή της ατμόσφαιρας, τις χημικές ιδιότητες των σωματιδίων καθώς και το είδος της επιφάνειας όπου αυτά θα εναποτεθούν (Seinfeld and Pandis, 2006). Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τον δείκτη της εναπόθεσης είναι το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων, η πυκνότητά τους, το μέγεθός τους και η υγροσκοπικότητά τους. Ρόλο επίσης παίζουν η σχετική υγρασία και η επιφάνεια στην οποία θα εναποτεθούν τα σωματίδια.
- Υγρή εναπόθεση: τα ατμοσφαιρικά σωματίδια τυγχάνει να προσληφθούν από τα υδροσταγονίδια των νεφών, της βροχής ή του χιονιού και να καταλήξουν στο έδαφος.

Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2005), οι κυριότεροι μέθοδοι καθαρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Μέθοδοι βαρύτητας- θάλαμοι βαρύτητας
2. Μέθοδοι φυγόκεντρου διαχωρισμού – αεροκυκλώνες
3. Μέθοδοι υγρής δέσμευσης ή έκπλυσης – πύργοι έκπλυσης ή ψεκασμού
4. Μέθοδοι διήθησης – σακκόφιλτρα

5. Μέθοδοι ηλεκτροστατικής καθίζησης – ηλεκτροστατικά φίλτρα

ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ: Πρόκειται για μια κατασκευή χαμηλού κόστους και λειτουργίας θαλάμου στον οποίο εισέρχονται τα αερολύματα. Στο εσωτερικό του θαλάμου η ταχύτητα η ταχύτητα των αερολυμάτων ελαττώνεται απότομα με αποτέλεσμα τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 50μm να κατακάθονται λόγω της βαρύτητας.

ΑΕΡΟΚΥΚΛΩΝΕΣ: Η βάση της λειτουργίας των αεροκυκλώνων στηρίζεται στην ανάπτυξη φυγόκεντρων δυνάμεων στα σωματίδια, με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται από τα αερολύματα. Η συσκευή αποτελείται από έναν κύλινδρο στο επάνω μέρος και ένα κωνικό δοχείο στο κάτω μέρος. Τα αερολύματα εισέρχονται με πίεση στο πάνω μέρος της συσκευής και κατεβαίνουν ακολουθώντας ένα σπειροειδές ρεύμα που έχει δημιουργηθεί. Στην 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 φυγόκεντρες 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. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η αρχή της λειτουργίας των αεροκυκλώνων είναι η φυγόκεντρος δύναμη, η μάζα του σωματιδίου είναι εξίσου σημαντική.

ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΑ: Τα αερολύματα περνάν από ένα φίλτρο (ύφασμα ή συνθετικό υλικό) το οποίο συγκρατεί την σκόνη. Η σκόνη στην συνέχεια σχηματίζει ένα στρώμα που δρα και αυτό ως φίλτρο για συλλογή σωματιδίων μικρότερης διαμέτρου. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις βιομηχανιών που χρησιμοποιούνται τα σακκόφιλτρα είναι οι χαλυβουργίες, οι τσιμεντοβιομηχανίες, οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής άνθρακα κ. ά.

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.

ΗΛΕΚΤΡΟΦΙΛΤΡΑ: Τα ηλεκτρόφιльтра αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, το αρνητικό που ονομάζεται ηλεκτρόδιο εκκένωσης και έχει την μορφή σύρματος και το θετικό που έχει την μορφή πλάκας και ονομάζεται ηλεκτρόδιο συλλογής. Μεταξύ τους αναπτύσσεται τάση 20.000-90.000V. Στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο τα μόρια των αερίων ιονίζονται αρνητικά και κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο συλλογής. Τα αιωρούμενα σωματίδια φορτίζονται αρνητικά και 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.

2.8.1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Για την επιλογή της κατάλληλης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας προκειμένου να αντιμετωπιστεί ένα πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι περιβαλλοντικοί, τεχνολογικοί και οικονομικοί παράμετροι, οι πιο σημαντικοί εκ των οποίων είναι οι εξής (Ραψομανίκης και Καστρινάκης, 2009):

- Χαρακτηριστικά του ρύπου (φυσικές και χημικές ιδιότητες, συγκέντρωση, κατανομή μεγέθους σωματιδίων, τοξικότητα, κ. ά.)
- Διαθέσιμος χώρος και χωροθέτηση των συσκευών
- Κλιματικοί παράγοντες
- Διαθεσιμότητα παροχών (για παράδειγμα νερό και ηλεκτρισμός)
- Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές εκπομπών
- Αισθητική της κατασκευής
- Επιβάρυνση του θορύβου της μονάδας από την ατμοσφαιρική αντιρρυπαντική τεχνολογία
- Χαρακτηριστικά σχεδιασμού και επίδοσης της κάθε αντιρρυπαντικής μονάδας (μέγεθος, βάρος, καμπύλες απόδοσης, μεταφορά μάζας και καταστροφή ή απομάκρυνση ρύπων, αξιοπιστία, ευχρηστία, χρόνος επισκευής, ενεργειακές απαιτήσεις κ. ά.)

- Ο βασικότερος οικονομικός παράγοντας για την επιλογή της ατμοσφαιρικής αντιρρυπαντικής διάταξης είναι το κόστος της (συσκευές, τοποθέτηση, μηχανολογικές εγκαταστάσεις κ. ά.)
- Κόστος λειτουργίας της διάταξης (ηλεκτρική κατανάλωση, συντήρηση)
- Αναμενόμενος χρόνος λειτουργίας και τιμή της διάταξης στο τέλος του χρόνου λειτουργίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

Τόσο στην Ελλάδα, όσο και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι νομοθετικές οι νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις για την προστασία του περιβάλλοντος είναι πολυάριθμες και καλύπτουν τομείς όπως: ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπανση υδάτων, φυσικό περιβάλλον, πανίδα και χλωρίδα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κ. ά.

3.1 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΈΝΩΣΗΣ

Οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης απευθύνονται στα κράτη – μέλη και αυτά είναι υποχρεωμένα να λάβουν τα απαραίτητα νομοθετικά μέτρα ώστε να εφαρμόσουν τις επιβαλλόμενες οδηγίες (Μιχαλοπούλου, 2004).

- Οδηγία – Πλαίσιο 96/62/ΕΚ για την παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και οι θυγατρικές της: Βασικός στόχος της οδηγίας 96/62/ΕΚ είναι η θέσπιση αρχών κοινής στρατηγικής, με σκοπό τον καθορισμό των καθορισμό των στόχων για την ποιότητα του αέρα του περιβάλλοντος στην Κοινότητα, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος, την βάσει κοινών μεθόδων και κριτηρίων, εκτίμηση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος στα κράτη μέλη ,τη συγκέντρωση κατάλληλων πληροφοριών για την ποιότητα του αέρα του περιβάλλοντος και την ενημέρωση του κοινού μεταξύ άλλων, μέσω ορίων συναγερμού, τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος όταν είναι καλή και τη βελτίωσή της στις άλλες περιπτώσεις. Στην συνέχεια ακολούθησαν άλλες τρεις <<θυγατρικές>> οδηγίες ώστε να καθοριστούν οι τιμές των ρύπων. Οι οδηγίες είναι οι εξής:
- Οδηγία 99/30ΕΚ, σχετικά με τις οριακές τιμές του διοξειδίου του θείου, του διοξειδίου και των οξειδίων του αζώτου, των σωματιδίων και του μολύβδου του ατμοσφαιρικού αέρα.
- Οδηγία 2000/69/ΕΚ, σχετικά με τις οριακές τιμές του βενζολίου και του μονοξειδίου του άνθρακα του ατμοσφαιρικού αέρα.
- Οδηγία 2001/03/ΕΚ, σχετικά με το όζον του ατμοσφαιρικού αέρα.

- Οδηγία 80/779/ΕΟΚ, σχετικά με τις οριακές και ενδεικτικές τιμές της ποιότητας της ατμόσφαιρας για τα αιωρούμενα σωματίδια και το διοξείδιο του θείου. Ενσωματώθηκε στην Ελληνικά Νομοθεσία με την ΠΥΣ 99/87 (ΦΕΚ 135 Α/28-07-1987) << Οριακές τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια>>.
- Οδηγία 84/360/ΕΟΚ <<Πρόληψη ατμοσφαιρικής ρύπανσης από βιομηχανικές εγκαταστάσεις>> η οποία ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με τις ακόλουθες υπουργικές αποφάσεις:
- Υπουργική Απόφαση 75308/5512/1990 (ΦΕΚ 691Β/1990) <<Καθορισμός τρόπου ενημέρωσης των πολιτών και φορέων για το περιεχόμενο της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων>>
- Υπουργική Απόφαση 69269/5387/1990 (ΦΕΚ 678Β/1990) <<Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων>>.
- Οδηγία 85/203/ΕΟΚ: σχετικά με τις προδιαγραφές ποιότητας αέρα για το διοξείδιο του αζώτου.
- Οδηγία 96/61/ΕΚ, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.
- Οδηγία 96/61/ΕΚ, σχετικά με την διαχείριση και εκτίμηση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος.
- Απόφαση 93/389/ΕΟΚ, σχετικά με δημιουργία μηχανισμού παρακολούθησης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Οδηγία 1999/30/ΕΚ, σχετικά με τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος.
- Οδηγία 2003/87/ΕΚ, σχετικά με την θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61 του συμβουλίου.
- Απόφαση 280/2004/ΕΚ, σχετικά με τον μηχανισμό παρακολούθησης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου στη Κοινότητα και εφαρμογής του πρωτοκόλλου του Κιότο.

- Οδηγία του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου 2007, σχετικά με τις οριακές τιμές εκπομπών για το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, της σκόνης και άλλων ουσιών. Είναι η πιο ολοκληρωμένη έκθεση για την ρύπανση από βιομηχανικές εγκαταστάσεις.
- Οδηγία 2008/1/EK, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης. Στην οδηγία αυτή ορίζονται οι κατηγορίες βιομηχανικών δραστηριοτήτων στις οποίες αποσκοπεύει πρόληψη και έλεγχος της αέριας ρύπανσης. Ακόμα, στην οδηγία αυτή, ορίζονται οι ρύποι που συμβάλλουν στην αέρια ρύπανση.
- Οδηγία 2008/50/EK, σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερου αέρα για την Ευρώπη. Στην οδηγία αυτή ορίζονται τα ανώτερα όρια ρύπων που πρέπει να ισχύουν στον ατμοσφαιρικό αέρα ζωνών ή οικισμών.
- Οδηγία 2010/75/EK, σχετικά με τις βιομηχανικές εκπομπές.
- Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, 1987: Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ ορίζει τους ρύπους που καταστρέφουν την στιβάδα του όζοντος καθώς και μέτρα αντιμετώπισης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενσωμάτωσε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ στο ρυθμιστικό της πλαίσιο με τους Κανονισμούς 541/91 και 3093/94 οι οποίοι προβλέπουν αυστηρότερα μέτρα από εκείνα του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ.
- Πρωτόκολλο του Κιότο, 1999: τα κύρια σημεία του πρωτοκόλλου του Κιότο είναι τα εξής (Κούγκολος, 2005):
 1. 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% έως το 2012.
 2. Οι αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν καμία υποχρέωση να μειώσουν τις εκπομπές εκτός αν το θέλουν οι ίδιες.
 3. Υιοθετείται η αρχή εμπορίου των ρύπων.
 4. Οι χώρες που έχουν εκτεταμένες περιοχές με δάση μπορούν να αυξήσουν το ποσοστό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που δικαιούνται κατά τόσες ποσοστιαίες μονάδες όσες εκτιμάται ότι απορροφούν τα δασικά συμπλέγματα που βρίσκονται στην επικράτεια τους.

5. Δεν συγκροτήθηκε κανένας μηχανισμός κυρώσεων για τις χώρες που παραβιάζουν την συμφωνία.

3.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους ρύπους διοξειδίου του θείου, αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10), διοξειδίου του αζώτου, όζον, μονοξειδίου του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδο, αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρο και βενζο(α)πυρένιο, 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 (πηγή: <http://www.ypeka.gr>).

- Π.Δ. 1180/81: περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τας της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως περιβάλλοντος εν γένει.
- Ν. 1650/1986: περί της προστασίας του περιβάλλοντος
- ΚΥΑ 58751/2370/1993: καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης.
- ΠΥΣ 11/1997: μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από το όζον όπου ορίζονται τα όρια συγκέντρωσης του όζοντος στον αέρα.
- Ν. 3017/2002: Κύρωση του πρωτοκόλλου του Κυότο στην σύμβαση – πλαίσιο των ηνωμένων εθνών για την αλλαγή του κλίματος. Αυτός είναι ο Ελληνικός νόμος που επικυρώνει το πρωτόκολλο του Κιότο και ορίζει τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου:
 1. Διοξείδιο του άνθρακα
 2. Μεθάνιο
 3. Υποξείδιο του αζώτου
 4. Υδροφθοράνθρακες
 5. Υπερφθοράνθρακες
 6. Εξαφθοριούχο θείο

- Υ. Α. Α.Η.Π. 9238/2004: οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε βενζόλιο και μονοξειδίο του άνθρακα. Στην απόφαση αυτή ορίζονται οι οριακές τιμές για το βενζόλιο και το μονοξειδίο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα καθώς και η ημερομηνία μέχρι την οποία θα έπρεπε να έχει επιτευχθεί ο στόχος αυτός, η οποία ήταν η 1^η Ιανουαρίου 2010.
- Υ.Α. Η.Π. 54409/2632/2004: Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/EK σχετικά με την θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61/EK του συμβουλίου.
- Υ.Α. Η.Π. 29459/1510/2005: καθορισμός εθνικών ανώτατων ορίων εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/81/EK.
- Υ.Α. Η.Π. 33437/1904/E103/2008: έγκριση εθνικού προγράμματος μείωσης των εκπομπών ορισμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα, από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης.
- Υ.Α. Η.Π. 14122/549/E: μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2008/50/EK της ευρωπαϊκής ένωσης, για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα για την Ευρώπη. Σε αυτήν την απόφαση ορίζονται τα ανώτερα και κατώτερα όρια συγκέντρωσης ορισμένων ρύπων τα οποία πρέπει να τηρούνται σε ζώνες και οικισμούς.

3.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Κάθε διοίκηση, με σκοπό να ελέγξει τις πηγές και τα τρέχοντα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ακολουθεί οδηγίες οι οποίες υπαγορεύονται από διεθνείς και εθνικές πολιτικές και νόμους. Κατά κύριο λόγο, η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει οδηγίες, με σκοπό τα κράτη μέλη να ακολουθούν και να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία.

- Η πιο παλιά οδηγία της Ε.Ε. για τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) έχει εκδοθεί το 1983 και οι τιμές που πρότεινε ήταν οι εξής:

Ετήσια τιμή (μέσος όρος 24-ωρών μετρήσεων) : $80\mu\text{g}/\text{m}^3$

Τιμή χειμερινής περιόδου (μέσος όρος 24-ωρών μετρήσεων): $130\mu\text{g}/\text{m}^3$

98 εκατοστημόριο των 24-ωρων μετρήσεων του έτους: $250\mu\text{g}/\text{m}^3$

- Τον Μάρτιο του 1999, η Ε. Ε. εξέδωσε οδηγία που αναφερόταν στα PM_{10} . Η οδηγία αυτή αναφέρει πως τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα, ώστε οι συγκεντρώσεις των PM_{10} να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές που ορίζει η οδηγία. Επίσης, σύμφωνα με την οδηγία, τα κράτη, πρέπει να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για την συλλογή των στοιχείων συγκεντρώσεων των $\text{PM}_{2.5}$. Στόχος της καταγραφής των επιπέδων συγκεντρώσεων των $\text{PM}_{2.5}$, ήταν η συλλογή στοιχείων για την θέσπιση οριακών τιμών γι' αυτό το κλάσμα. (Οδηγία 1999/30/EC).

Τον Δεκέμβριο του έτους 2004, εκδόθηκε η τελική έκθεση της ομάδας εργασίας C.A.F.E. (Clean Air For Europe), με αντικείμενο την σωματιδιακή ρύπανση, που συστάθηκε από την Ε.Ε. και είχε ως στόχο να:

- Θέσει τις προτεραιότητες για τον μελλοντικό σχεδιασμό της πολιτικής ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Αναθεωρήσει τα ισχύοντα πρότυπα αέρα
- Αναπτύξει καλύτερα συστήματα συλλογής δεδομένων και πρόβλεψης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Πίνακας 3-1: Στάδιο 1^ο της οδηγίας 1999/30/EC

	Περίοδος αναφοράς για υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης ως προς την οριακή τιμή
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης Υγείας	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{A}\Sigma_{10}$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50 % κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, μειωμένο από την 1 Ιανουαρίου 2001, και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσιο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φθάσει το 0 % την 1η Ιανουαρίου 2005	1η Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης Υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{A}\Sigma_{10}$	20 % κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, μειωμένο από την 1 Ιανουαρίου 2001, και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσιο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φθάσει το 0 % την 1η Ιανουαρίου 2005	1η Ιανουαρίου 2005

Πίνακας 3-2: Στάδιο 2^ο της οδηγίας 1999/30/EC

	Περίοδος αναφοράς για υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης ως προς την οριακή τιμή
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης Υγείας	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ΑΣ ₁₀ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή του σταδίου 1	1η Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης Υγείας	Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ΑΣ ₁₀	50 % την 1 Ιανουαρίου 2005, και μειούμενο κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσιο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φθάσει το 0 % την 1η Ιανουαρίου 2005	1η Ιανουαρίου 2010

Σύμφωνα με τις γενικές διαπιστώσεις και τις προτάσεις που περιέχονται στην έκθεση της ομάδας C.A.F.E., η Ε.Ε. προχώρησε στην θέσπιση ετήσιας οριακής τιμής για τα σωματίδια PM_{2,5}:

Πίνακας 3-3: Θέσπιση μέσης ετήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ της Ε.Ε.

Περίοδος αναφοράς	Ημερολογιακό έτος
Ανώτατο όριο συγκέντρωσης	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Περιθώριο ανοχής	20% κατά τη θέση ισχύος της οδηγίας, μειούμενο έως την 1 ^η του επόμενου Ιανουαρίου, και εν συνεχεία ανά 12-μηνιο, κατά ίσα ετήσια ποσοστά, ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2010
Τελική ημερομηνία για επίτευξη της οριακής συγκέντρωσης	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Την 21^η Μαΐου 2008, εκδόθηκε η πιο πρόσφατη οδηγία (2008/50/ΕΚ) του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα για την Ευρώπη.

Πίνακας 3-4: Θυγατρική οδηγία της Ε. Ε. για τα PM_{10} (2008).

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
1 ημέρα	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50%	Ισχύει ήδη από 1 ^η Ιανουαρίου 2005
Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20%	Ισχύει ήδη από 1 ^η Ιανουαρίου 2005

Πίνακας 3-5: Θυγατρική οδηγία της Ε. Ε. για τα PM_{2.5} (2008).

Περίοδος αναφοράς για υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης ως προς την οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογικό έτος	20 µg/m ³	20 % την 11 Ιουνίου 2008, μειωμένο από την 1 ^η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% έως την 1 ^η Ιανουαρίου 2015	1η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 (*)			
Ημερολογιακό έτος	18 µg/m ³		1η Ιανουαρίου 2020

(*): Στάδιο 2- ενδεικτική οριακή τιμή που θα επανεξεταστεί από την επιτροπή το 2013 υπό το φώς περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον, του τεχνικώς εφικτού και της εμπειρίας από την τιμή στόχο στα κράτη μέλη.

- Σύμφωνα με την νέα οδηγία, το κάθε κράτος μέλος, μπορεί να ζητήσει παράταση έως και 3 χρόνια από την ημερομηνία που μπαίνει σε ισχύ η νέα οδηγία για μια συγκεκριμένη ζώνη.
- Σύμφωνα με τη νομοθεσία που διέπει την Ευρωπαϊκή Ένωση, η οριακή τιμή είναι δεσμευτική από την ημερομηνία που τίθεται σε ισχύ και μπορεί να παραβιαστεί μόνο σε περιπτώσεις που επιτρέπει η νομοθεσία.
- Η νέα οδηγία εισάγει νέους στόχους ως προς την έκθεση του πληθυσμού στα PM_{2.5} οι οποίοι τίθενται σε εθνικό επίπεδο.
- Ο μέσος δείκτης έκθεσης ορίζεται ως η μέση ετήσια συγκέντρωση PM_{2.5} από επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης σε αστικές περιοχές ώστε να εκτιμάται καλύτερα η έκθεση του πληθυσμού στα σωματίδια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 Η ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

4.1 ΒΟΛΟΣ: ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΥΡΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η πόλη του Βόλου είναι παραλιακή πόλη της Θεσσαλίας, χτισμένη στους πρόποδες του Πηλίου. Είναι μία από τις πιο μεγάλες πόλεις και ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια της Ελλάδας. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ο διευρυμένος Δήμος Βόλου ανέρχεται σε 144.449 κατοίκους, του πολεοδομικού συγκροτήματος Βόλου σε 125.248, ενώ η πόλη του Βόλου έχει πληθυσμό 86.046 μόνιμους κατοίκους. Η πυκνότητα του πληθυσμού ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο είναι 374,59 κάτοικοι/m² (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, απογραφή 2011). Ο διευρυμένος Δήμος Βόλου αποτελείται από τον αρχικό δήμο Βόλου με την συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Ιωλκού, Νέας Αγχιάλου, Αγριάς, Πορταριάς, Νέας Ιωνίας, Αρτέμιδας και Αισωνίας και της Κοινότητας Μακρινίτσας.

Στην ευρύτερη περιοχή της πόλης του Βόλου, απαντώνται δύο μεγάλα βιομηχανικά κέντρα με δραστηριότητες όπως βιομηχανίες μετάλλου, τροφίμων – ποτών, παραγωγής τσιμέντου, χημικές, πλαστικών κ.α., η σημαντικότερη εκ των οποίων είναι η βιομηχανία τσιμέντων ΑΓΕΤ Ηρακλής, η οποία βρίσκεται σε απόσταση 2 km από την κατοικημένη περιοχή. Ο Βόλος παρουσιάζει ιδιαίτερα δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλες καταστάσεις άπνοιας και χαμηλές θερμοκρασιακές αναστροφές λόγω της παρουσίας μεγάλων ορεινών όγκων σε επαφή με την πόλη και της γειτονίας με θάλασσα. (Καλαμπόκας et al., 2005). Σημαντικό επίσης είναι πως τις ώρες αιχμής στην πόλη του Βόλου παρουσιάζεται κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω του μεγάλου αριθμού των οχημάτων με αποτέλεσμα τοπικές μικρές κυκλοφοριακές συμφορήσεις.

Το κλίμα στην περιοχή της πόλης του Βόλου έχει τα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος των παραθαλασσίων περιοχών της Θεσσαλίας δηλαδή θερμά και ξηρά καλοκαίρια με υγρούς και ψυχρούς χειμώνες, με ετήσιες διαφορές μεταξύ μέγιστης και ελαχίστης θερμοκρασίας άνω των 20⁰C. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 16.4⁰C. Ο μέσος όρος υψηλής θερμοκρασίας ετησίως είναι 21.2⁰C, ενώ ο μέσος όρος χαμηλής θερμοκρασίας ετησίως είναι 11.9⁰C (Πρώιας κ. ά., 2012).

Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλή (1.5m/s) που έχει ως αποτέλεσμα να μην συντελεί ουσιαστικά στην απομάκρυνση των ρύπων, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών συσσώρευσης ρύπων πάνω από την πόλη του Βόλου. Το ποσοστό των καταστάσεων άπνοιας είναι 12.8%, κάτι που σημαίνει ότι για ένα ιδιαίτερα σημαντικό μέρος του χρόνου οι μετεωρολογικές συνθήκες ευνοούν τη συσσώρευση των ρύπων. Στην περιοχή, λόγω της γειτνίασης με τη θάλασσα, αναπτύσσεται θαλάσσια αύρα, η οποία επηρεάζει την πόλη. Όλες αυτές οι ιδιαίτερες μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή χαρακτηρίζονται ως δυσμενείς για τη διασπορά των ρύπων και ευνοϊκές για τη δημιουργία καταστάσεων επεισοδίων ρύπανσης (Καλαμπόκας κ.α., 2005). Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή μελέτης σχετίζεται με την τοπογραφία και το σχέδιο πόλης του Βόλου, καθώς και με τη ρύπανση που προκαλείται από σταθερές (βιομηχανία και κεντρική θέρμανση) και κινητές πηγές (Proias et al., 2012).

Συνοπτικά, οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη του Βόλου και κατά την συνέπεια συμβάλλουν στην αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι ακόλουθοι:

- Τοπογραφία της περιοχής (λιμάνι στην δυτική πλευρά της πόλης και ορεινός όγκος στην ανατολική πλευρά)
- Βιομηχανία (βιομηχανική περιοχή στα βορειοδυτικά και εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου στην νότια πλευρά)
- Κεντρική θέρμανση – καύσεις υλικών (απορριμμάτων, βιομάζας)
- Αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση

4.2 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Διοξείδιο του θείου

Αν και οι συγκεντρώσεις του SO₂ είναι μικρότερες από τις οριακές τιμές, είναι παρόμοιες με των Αθηνών, κάτι για το οποίο ευθύνονται τόσο στις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην πόλη του Βόλου, όσο και στην παρουσία της βιομηχανίας στην περιοχή. Κατά την χειμερινή περίοδο, οι τιμές του SO₂ είναι

αυξημένη σε σχέση με την θερινή και η αιτία αυτή αποδίδεται στην λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης και στις μη ευνοϊκές συνθήκες διασποράς που επικρατούν κατά τον χειμώνα. Στις περιόδους άπνοιας στην περίοδο του χειμώνα, οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες σε σχέση με την περίοδο του καλοκαιριού (Καλαμπόκας κ.ά., 2005). Σύμφωνα με μελέτη των Σαμαρά κ. ά. (2008), οι τιμές του διοξειδίου του θείου βρίσκονται σε επίπεδα κάτω από τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας κάτι που αποδίδεται κυρίως στη διαχρονική βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων, που χρησιμοποιούνται στα οχήματα, τη θέρμανση και τη βιομηχανία με έμφαση στη διαχρονική μείωση της περιεκτικότητας του πετρελαίου σε θείο και στη σταδιακή διεύθυνση του φυσικού αερίου στη βιομηχανία και στη θέρμανση των κτιρίων.

Μονοξειδίο του άνθρακα

Οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, παρουσιάζουν τα τυπικά χαρακτηριστικά των αστικών περιοχών όπου η κύρια πηγή ρύπανσης είναι η κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Κατά την ψυχρή περίοδο παρουσιάζεται μια αύξηση στο μέγεθος των συγκεντρώσεων σε σχέση με την θερμή περίοδο. Κατά τις περιόδους άπνοιας του χειμώνα παρουσιάζεται αύξηση στις τιμές του μονοξειδίου του άνθρακα, κάτι που οφείλεται στις δυσμενέστερες συνθήκες για την διασπορά των ρύπων (Καλαμπόκας κ. ά., 2005).

Διοξειδίο του αζώτου

Παρόλο που οι τιμές του διοξειδίου του αζώτου είναι υψηλές δεν παρατηρούνται υπερβάσεις στα όρια. Οι συγκεντρώσεις τους θερινούς μήνες είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες κατά την χειμωνιάτικη περίοδο λόγω των δυσμενών συνθηκών διασποράς κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Οι υψηλές τιμές συνδέονται με χαμηλές ταχύτητες ανέμου και καταστάσεις άπνοιας, κάτι που σημαίνει ότι οι πηγές δημιουργίας του αζώτου είναι τοπικές, όπως για το SO₂ και το CO (Καλαμπόκας κ.ά., 2005). Σύμφωνα με τους Σαμαρά κ. ά. (2008), οι τιμές βρίσκονται μεν σε επίπεδα κάτω από τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας αλλά είναι σχετικά υψηλές και κοντά στο να παρουσιάσουν μελλοντικά υπερβάσεις των νέων ορίων.

Επιφανειακό Όζον

Οι τιμές του επιφανειακού όζοντος στην πόλη του Βόλου είναι ιδιαίτερα υψηλές. Οι συγκεντρώσεις κατά την περίοδο του καλοκαιριού είναι ιδιαίτερα διπλάσιες από την

χειμερινή περίοδο, κάτι που συνεπάγεται από την αυξημένη φωτοχημική δραστηριότητα του συνδυασμού της θαλάσσιας αύρας και των εκπομπών από την παραλιακή ζώνη. Στην διάρκεια των περιόδων άπνοιας και το βράδυ, οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλές λόγω της καταστροφής του όζοντος από το μονοξείδιο του αζώτου και από την ξηρά εναπόθεση στο έδαφος (Καλαμπόκας κ.ά., 2005).

Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα της πόλης του Βόλου. Οι τιμές είναι σχεδόν όμοιες με αυτές των Αθηνών, κάτι που αποδίδεται στις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες διασποράς και στην παρουσία βιομηχανικών εκπομπών καθώς και των αστικών εκπομπών. Οι τιμές των συγκεντρώσεων στις ΝΑ κατευθύνσεις είναι μεγαλύτερες από αυτές των ΒΔ κατευθύνσεων, κάτι το οποίο συμβαίνει λόγω των δραστηριοτήτων του νότιου τομέα της πόλης (παραλιακή ζώνη), στην ανάπτυξη θαλάσσιας αύρας και τις βιομηχανικές πηγές (Καλαμπόκας κ.α., 2005). Σύμφωνα με μελέτη των Proias et al. (2012), από την ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου, διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση των ρύπων παρουσιάζει μικρότερες τιμές κατά την θερινή περίοδο ενώ ανώτερες κατά την χειμερινή περίοδο. Η συγκέντρωση των PM10 παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα από τα αντίστοιχα όρια της ευρωπαϊκής ένωσης κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι άρρητα συνδεδεμένη με τις κατευθύνσεις του ανέμου, (ΒΔ κατά την κρύα περίοδο και νότια κατεύθυνση κατά την θερμή περίοδο του έτους (Proias et al., 2012). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το έτος 2006, καταγράφηκαν συνολικά 163 ημέρες με υπέρβαση του ορίου της μέσης ημερήσιας τιμής των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά έτος) (Σαμαρά κ. ά., 2008).

Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε πως η πόλη του Βόλου διαθέτει όλων των ειδών τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση μιας πόλης: κυκλοφορία οχημάτων τόσο τοπική όσο και διερχόμενη (με βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα), βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες (με χωροθετημένες βιομηχανικές περιοχές στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου), εμπορική και τουριστική δραστηριότητα (ιδίως η διερχόμενη από το κέντρο του Βόλου με κατεύθυνση το Πήλιο), λιμάνι, καθώς και δραστηριότητες του τριτογενή τομέα (παροχή υπηρεσιών) (Σαμαρά κ. ά., 2008). Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα

περιβαλλοντικά προβλήματα του Βόλου, και τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν το μεγαλύτερο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η τοπική μορφολογία και μετεωρολογία ευνοούν ιδιαίτερα την συσσώρευση ρύπων και τη δημιουργία επεισοδίων ρύπανσης.

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ιδιαίτερα υψηλές και πάνω από τα νομοθετημένα όρια. Ο λόγος της παρουσίας τους είναι οι βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες της περιοχής αλλά και η διάχυτη περιφερειακή ρύπανση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην εργασία αυτή μελετώνται οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 μm (PM_{10}) του σταθμού μέτρησης της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης - Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου (ΔΕΥΑΜΒ) που είναι εγκατεστημένος στο κέντρο του αστικού ιστού της πόλης. Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται καλύπτουν την 5-ετή χρονική περίοδο 2007-2012.

Ο σταθμός μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Μείζονος Βόλου (ΔΕΥΑΜΒ) χωροθετείται στη συνοικία των Παλαιών και μάλιστα σε κεντρικό σημείο επί της Λεωφόρου Λαμπράκη, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί πως είναι αντιπροσωπευτικό της κατάστασης που επικρατεί και στους άλλους κεντρικούς δρόμους της πόλης σε σχέση με την κίνηση των αυτοκινήτων. Ο συγκεκριμένος σταθμός περιλαμβάνει το μοντέλο MP101M, που συμφωνεί με τον τρόπο μέτρησης της συγκέντρωσης των PM_{10} όπως έχει οριστεί από την US EPA που χρησιμοποιεί και η Ελλάδα. Συγκεκριμένα, η μέτρηση της συγκέντρωσης των PM_{10} από το μηχάνημα γίνεται μέσω της μέτρησης της ποσότητας ακτινοβολίας βήτα, η οποία απορροφάται από τα συγκρατούμενα αιωρούμενα σωματίδια. Εκτός των ωριαίων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για την συγκεκριμένη περίοδο, χρησιμοποιούνται και οι ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα της βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, και ταχύτητας ανέμου από τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού που διατηρεί στο κέντρο της πόλης του Βόλου το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://penteli.meteo.gr/stations/volos/>. Η χρησιμοποίηση των μετεωρολογικών δεδομένων γίνεται λόγω της επίδρασης που έχουν με τα αιωρούμενα σωματίδια και γίνεται ανάλυση στο παρόν κεφάλαιο.

5.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ, ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) της πόλης του Βόλου για την περίοδο 2007 έως 2012 παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά σε μηνιαία βάση:

- Μέση τιμή μηνιαίων συγκεντρώσεων PM₁₀: 39.39 μg/m³
- Μέγιστη τιμή μηνιαίων συγκεντρώσεων PM₁₀: 325 μg/m³
- Ελάχιστη τιμή μηνιαίων συγκεντρώσεων PM₁₀: 0.1 μg/m³
- Τυπική απόκλιση μηνιαίων συγκεντρώσεων PM₁₀: 11.75 μg/m³

Στο εξεταζόμενο διάστημα λήφθηκαν 2139 μετρήσεις. Στο παραπάνω συνοπτικό στατιστικό προφίλ των μέσων διακυμάνσεων των τιμών για την εξαετία 2007-2012, η κεντρική τάση των τιμών προκύπτει 39.39μg/m³, οριακά λιγότερο της τιμής για τα αιωρούμενα σωματίδια. Σημαντική είναι η τιμή 235μg/m³ που παρατηρήθηκε στο εξεταζόμενο διάστημα. Αξιοσημείωτο είναι το πλήθος των ημερών που ξεπεράστηκαν τα όρια των 50μg/m³. Σύμφωνα με την οδηγία 2008/50/EK, για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η μέση ετήσια τιμή των PM₁₀ δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 40μg/m³ περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος. Από τα στοιχεία προκύπτει το εξής:

Πίνακας 5-1: *Ημέρες υπέρβασης ορίων από το 2007-2012*

ΕΤΟΣ	ΗΜΕΡΕΣ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΤΩΝ 40μg/m ³
2007	128
2008	117
2009	49
2010	68
2011	66
2012	41

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα οι μέρες κατά τις οποίες ξεπεράστηκαν τα όρια είναι πολύ περισσότερες σε αντίθεση με την νομοθεσία. Επίσης, από την συγκεκριμένη

νομοθεσία προκύπτει ότι τα PM_{10} δεν πρέπει να ξεπερνούν την τιμή των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το ημερολογιακό έτος. Από τα στοιχεία που εξετάστηκαν προκύπτει ότι:

Πίνακας 5-2: Μέση τιμή αιωρούμενων σωματιδίων από το 2007-2012

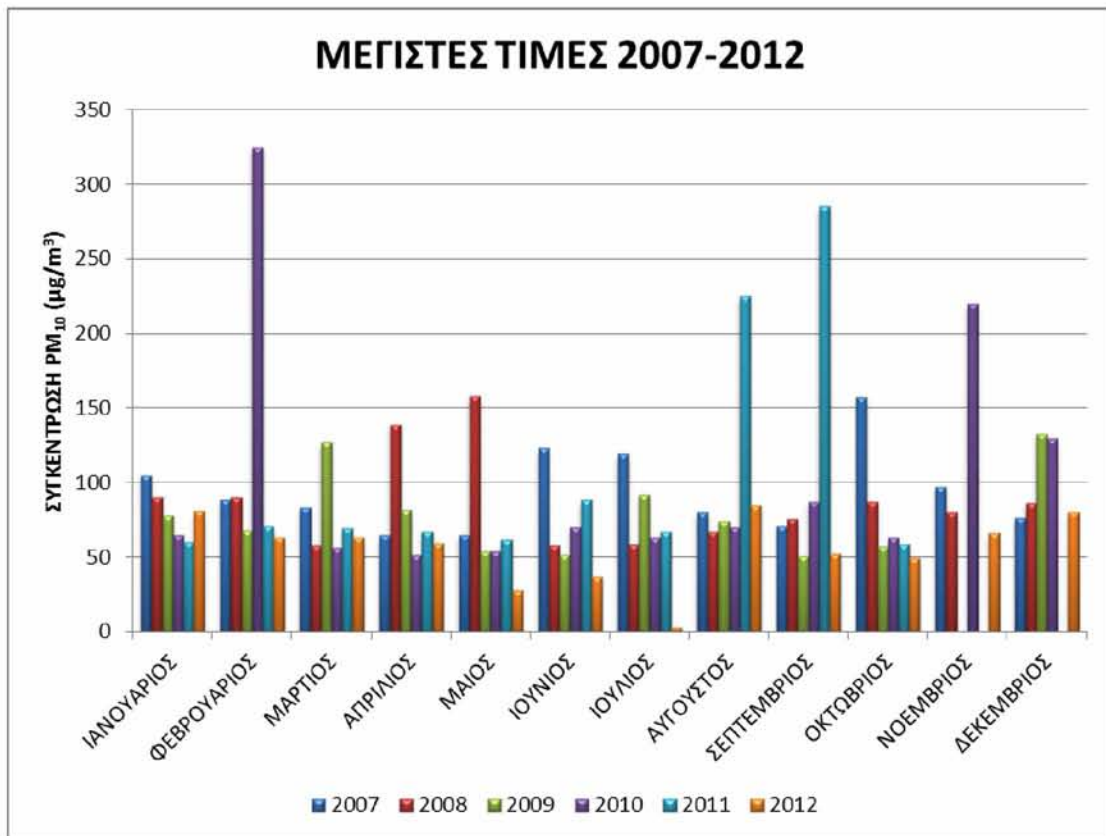
ΕΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΕΤΟΥΣ ΕΤΟΣ
2007	45.32
2008	43.51
2009	36.51
2010	38.52
2011	44.29
2012	28.75

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, είναι φανερό πως τα έτη 2007, 2008, 2011 οι τιμές είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

Στους πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται συνοπτικά οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες και τιμές για την εξαιτία που μελετήθηκε.

Πίνακας 5-3: Μέγιστη τιμή αιωρούμενων σωματιδίων από το 2007-2012

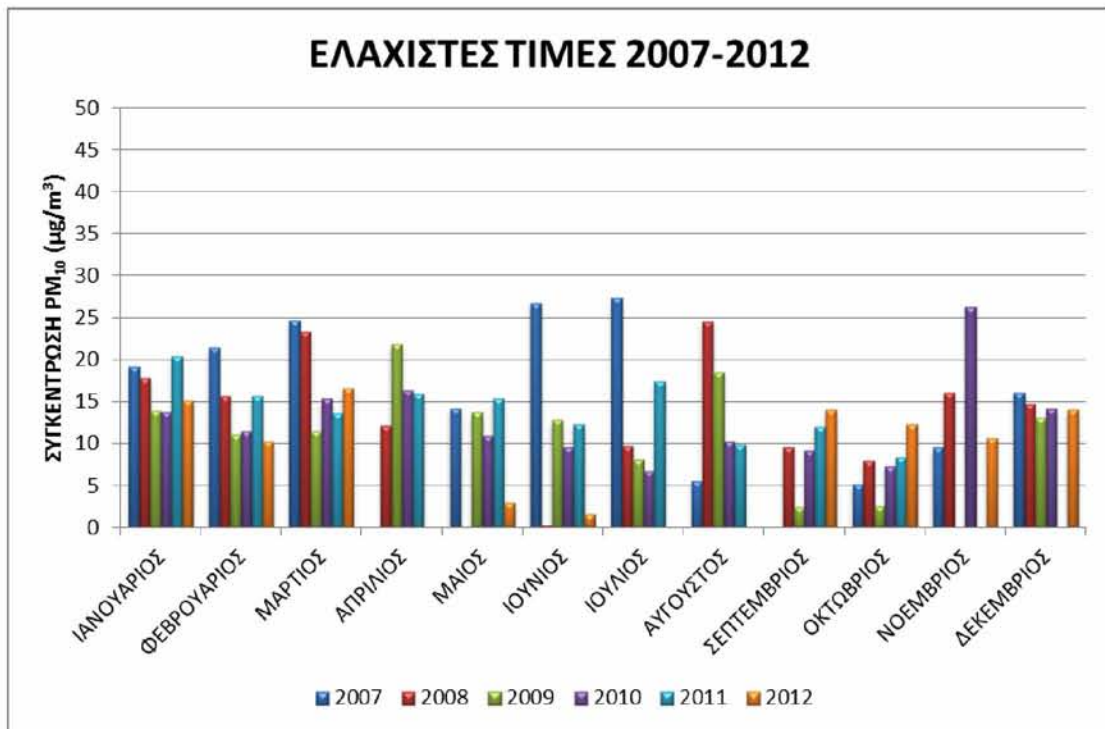
ΜΗΝΑΣ	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	104,6	89,9	77,8	64,6	59,7	80,6
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	88,8	89,9	67,7	325	71,1	63,4
ΜΑΡΤΙΟΣ	82,9	58	127	56,5	69,1	63,4
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	64,3	138,7	81,4	51,4	67,1	59,4
ΜΑΙΟΣ	64,8	158	53,8	53,5	61,6	27,4
ΙΟΥΝΙΟΣ	122,9	57,9	51,4	70,1	88,2	36,8
ΙΟΥΛΙΟΣ	119,3	58,3	91,4	62,7	67,2	3,1
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	80	67	74	70,3	224,8	84,7
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	70,5	75,4	51,1	87,1	285	52,5
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	157,5	87,1	56,8	62,7	58,8	49,5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	96,8	79,7	-	219,5	-	65,8
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	76,1	86,6	132,2	129,7	-	80,4



Γράφημα 5-1: Απεικόνιση μεγίστων τιμών που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012

Πίνακας 5-4: Ελάχιστες τιμές που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012

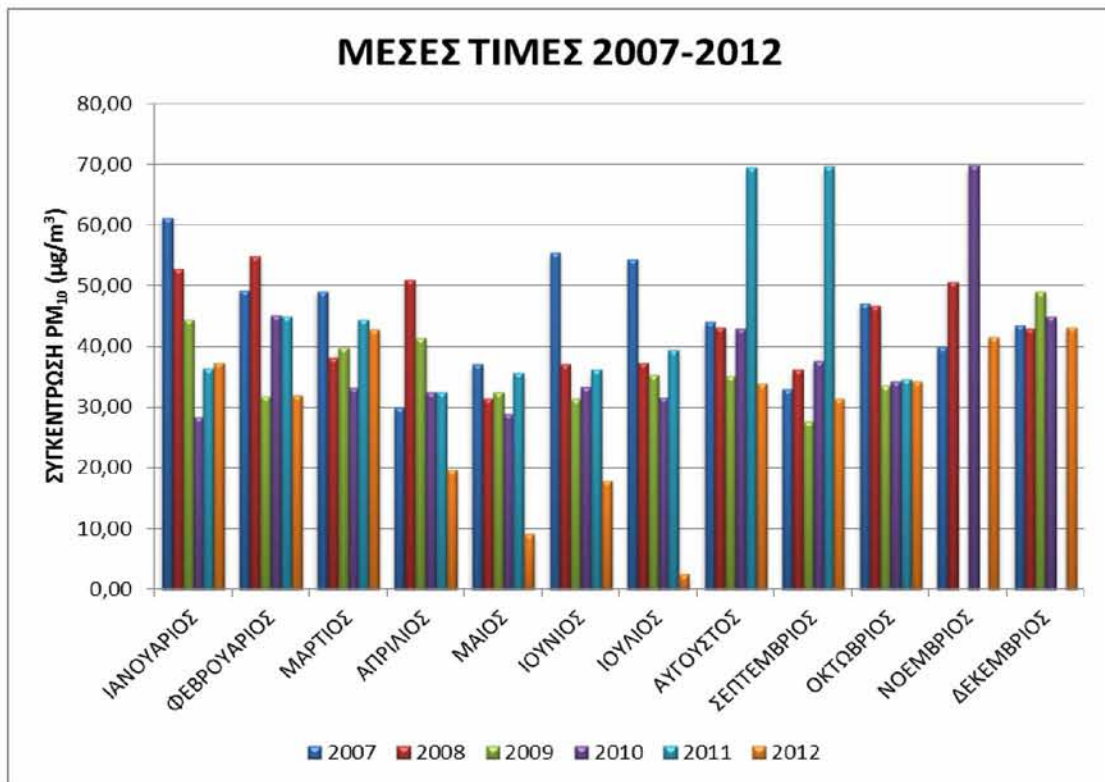
ΜΗΝΑΣ	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	19.2	17.8	13.9	138	20.4	15.1
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	21.4	15.7	11.1	11.5	15.6	10.3
ΜΑΡΤΙΟΣ	24.7	23.3	11.4	153	13.6	16.6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0	12.1	21.9	16,3	15.9	0
ΜΑΙΟΣ	14.2	0.1	13.7	10,9	15.3	2.9
ΙΟΥΝΙΟΣ	26.7	0.2	12.8	9.6	12.3	1.6
ΙΟΥΛΙΟΣ	27.3	9,7	8.1	6.7	17.4	0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5.5	24.6	18.4	10.2	9.8	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	9.6	2.4	9.2	12	14
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	5.1	79	2.5	7.3	8.4	12.3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	9.5	16	-	26.3	-	10.7
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	16.1	14.7	13.1	14.1	-	14



Γράφημα 5-2: Απεικόνιση ελαχίστων τιμών που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012

Πίνακας 5-5: Μέσες μηνιαίες τιμές για την περίοδο 2007-2012

ΜΗΝΑΣ	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	61.17	52.84	44.34	28.27	36.39	37.31
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	49.25	54.91	31.8	45.18	44.86	31.93
ΜΑΡΤΙΟΣ	49.11	38.15	39.82	33.16	44.35	42.85
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	29.92	50.99	41.42	32.5	32.36	19.58
ΜΑΙΟΣ	37.04	31.38	32.39	28.83	35.64	9.1
ΙΟΥΝΙΟΣ	55.45	37.02	31.36	33.28	36.17	17.75
ΙΟΥΛΙΟΣ	54.40	37.32	35.21	31.53	39.43	2.5
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	44.02	43.06	35.1	43.02	69.6	33.8
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	33.05	36.27	27.64	37.53	69.63	31.32
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	47.14	46.65	33.56	34.3	34.5	34.3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	39.88	50.55	-	69.85	-	41.47
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	43.43	43.03	48.96	44.86	-	43.2



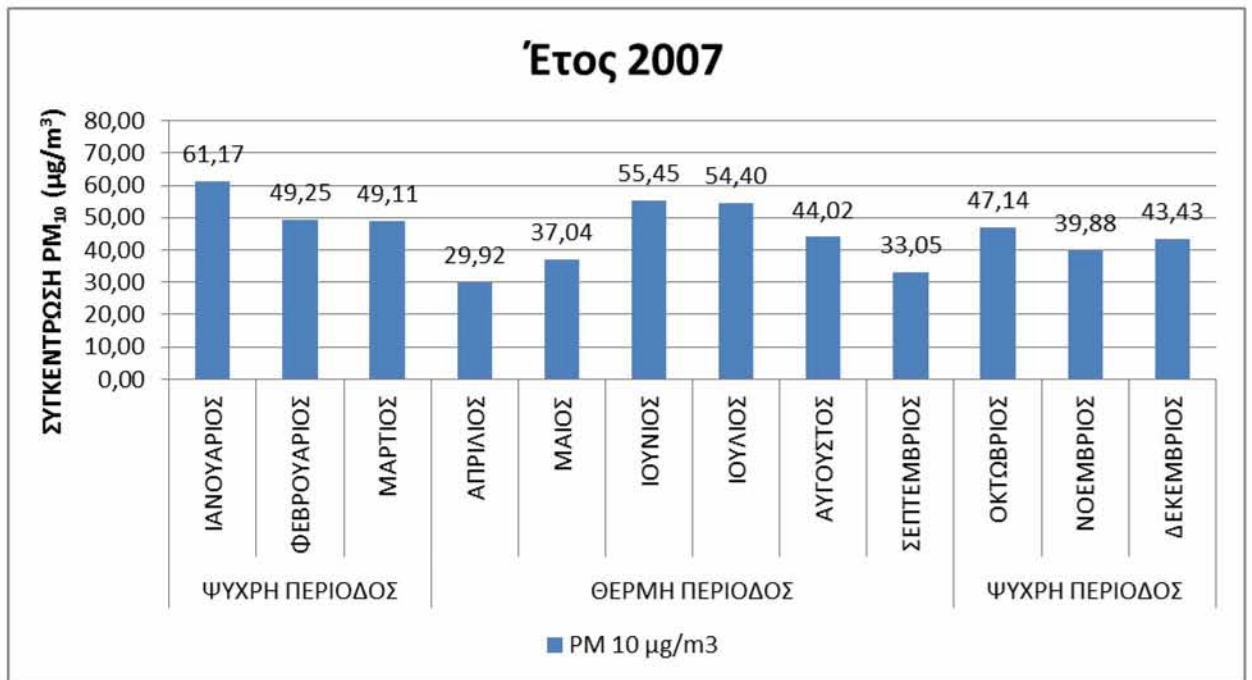
Γράφημα 5-3: Απεικόνιση μέσων μηνιαίων τιμών που σημειώθηκαν την περίοδο 2007-2012



Γράφημα 5-4: Σχηματική απεικόνιση εύρους τιμών για την περίοδο 2007-2012

Σύμφωνα με το διάγραμμα των μέσων τιμών, είναι φανερό πως υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις διακυμάνσεις από μήνα σε μήνα και από έτος σε έτος. Για τον λόγο αυτό είναι σκόπιμο να χωριστεί το κάθε έτος σε ψυχρή και θερμή περίοδο. Ως θερμή περίοδος θεωρήθηκαν οι μήνες Απρίλιος – Μάιος – Ιούνιος - Ιούλιος – Αύγουστος -

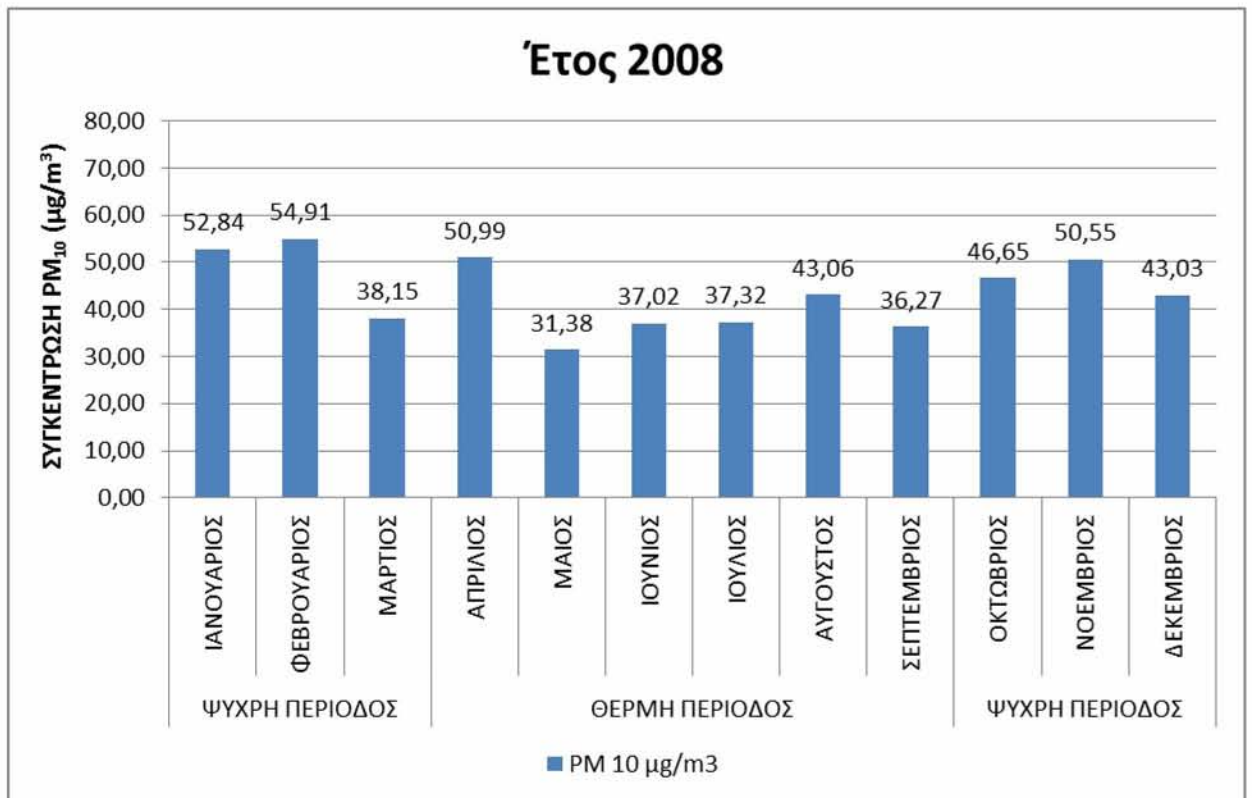
Σεπτέμβριος και ως ψυχρή περίοδος οι μήνες Οκτώβριος – Νοέμβριος – Δεκέμβριος- Ιανουάριος – Φεβρουάριος. Ο διαχωρισμός των περιόδων σε θερμή και ψυχρή έγινε μετά από εξέταση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών. Τα αποτελέσματα της μελέτης έχουν φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Γράφημα 5-5: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2007

Μέση τιμή ψυχρής περιόδου: 48,33 µg/m³

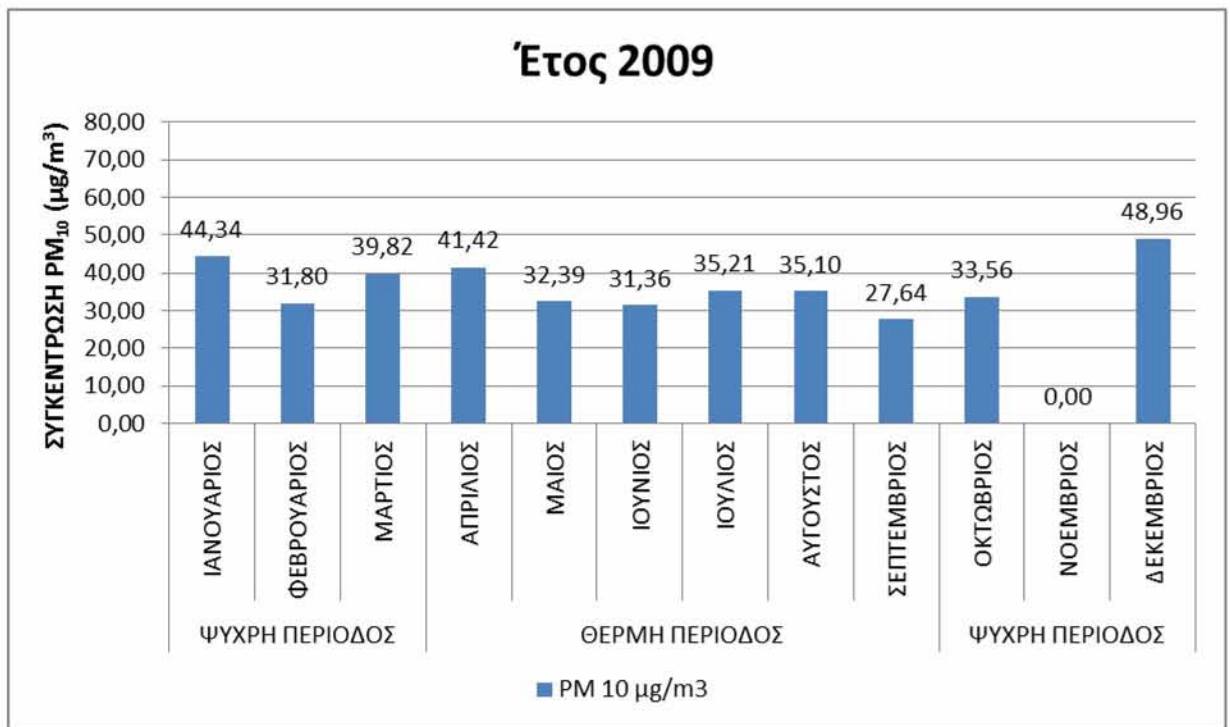
Μέση τιμή θερμής περιόδου: 42,31 µg/m³



Γράφημα 5-6: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2008

Μέση τιμή ψυχρής περιόδου: 46,06 µg/m³

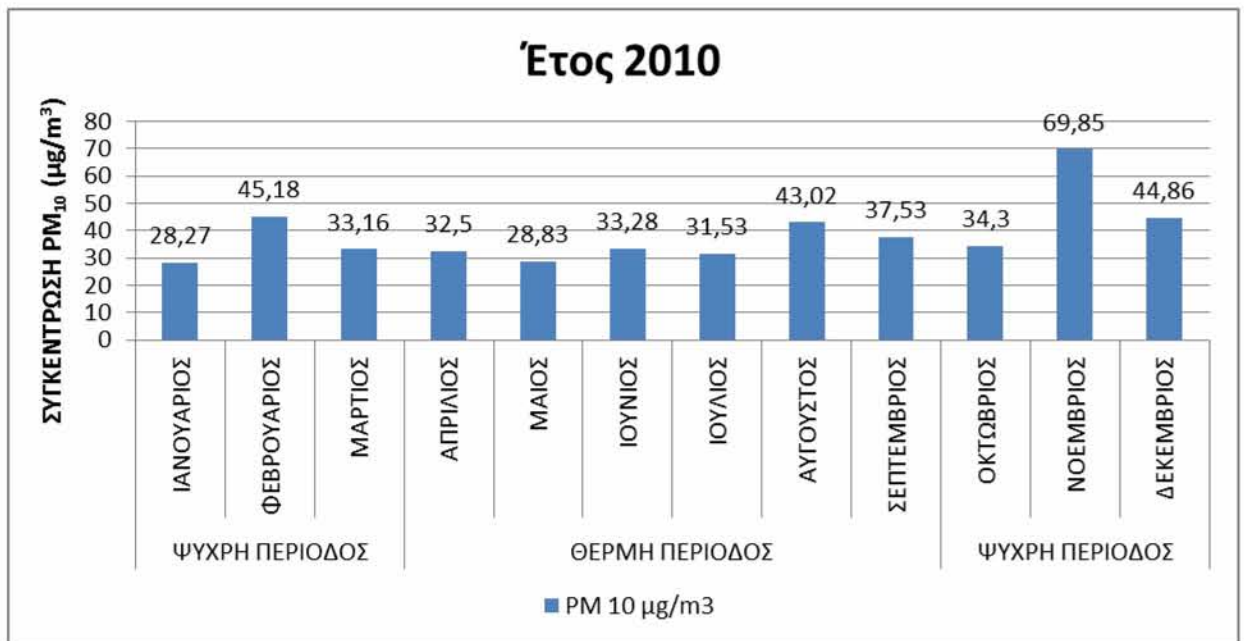
Μέση τιμή θερμής περιόδου: 39,34 µg/m³



Γράφημα 5-7: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2009

Μέση τιμή ψυχρής περιόδου: 39,70 µg/m³

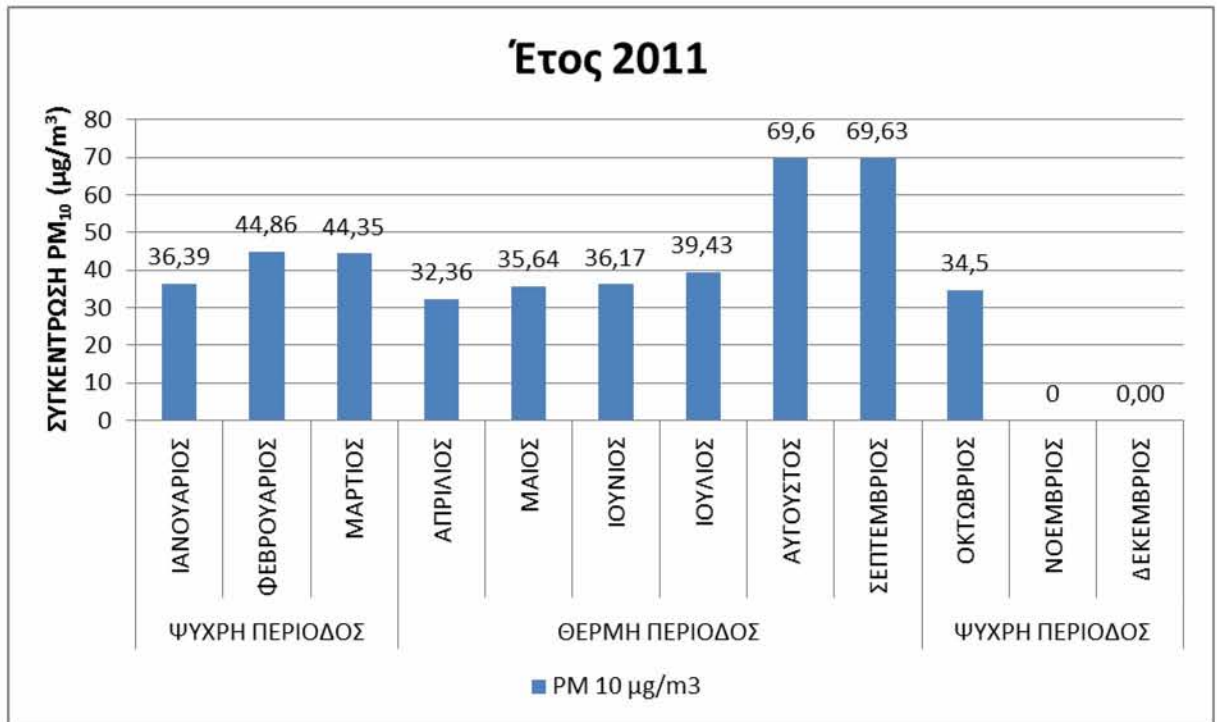
Μέση τιμή θερμής περιόδου: 33,85 µg/m³



Γράφημα 5-8: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2010

Μέση τιμή ψυχρής περιόδου: 42,60 µg/m³

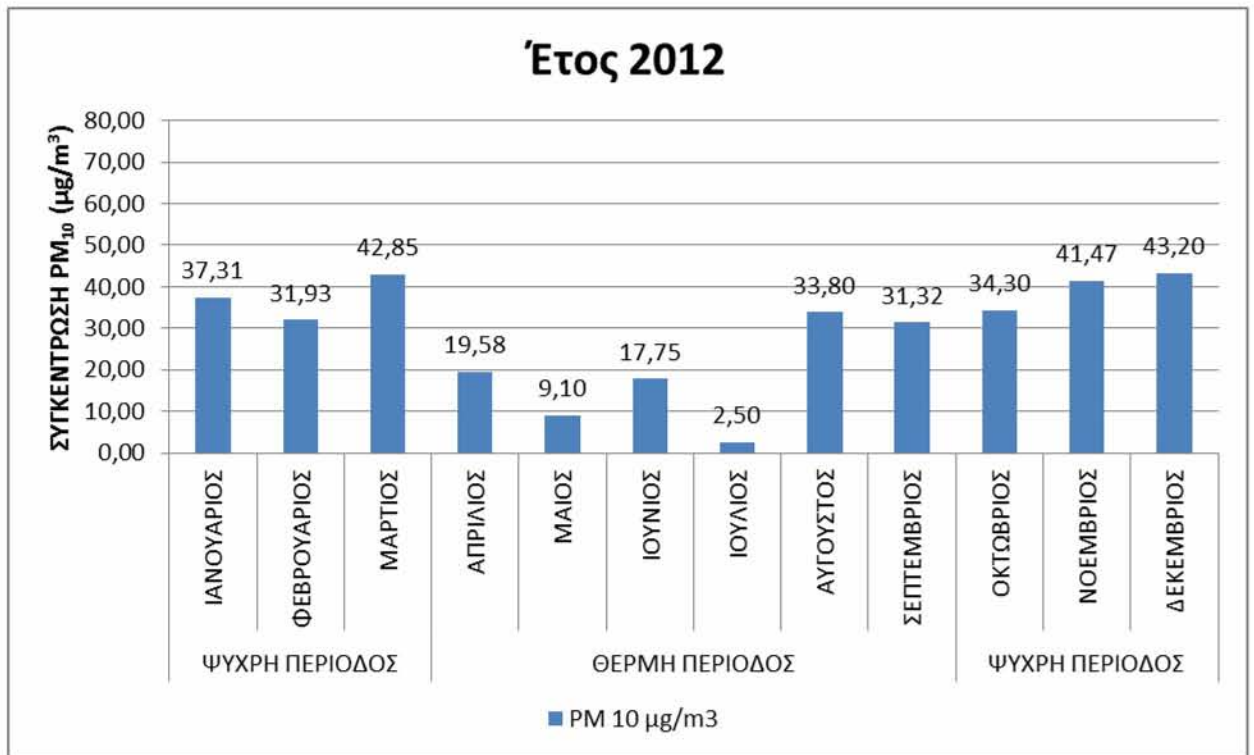
Μέση τιμή θερμής περιόδου: 34,45 µg/m³



Γράφημα 5-9: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2011

Μέση τιμή ψυχρής περιόδου: 41,87 µg/m³

Μέση τιμή θερμής περιόδου: 47,14 µg/m³



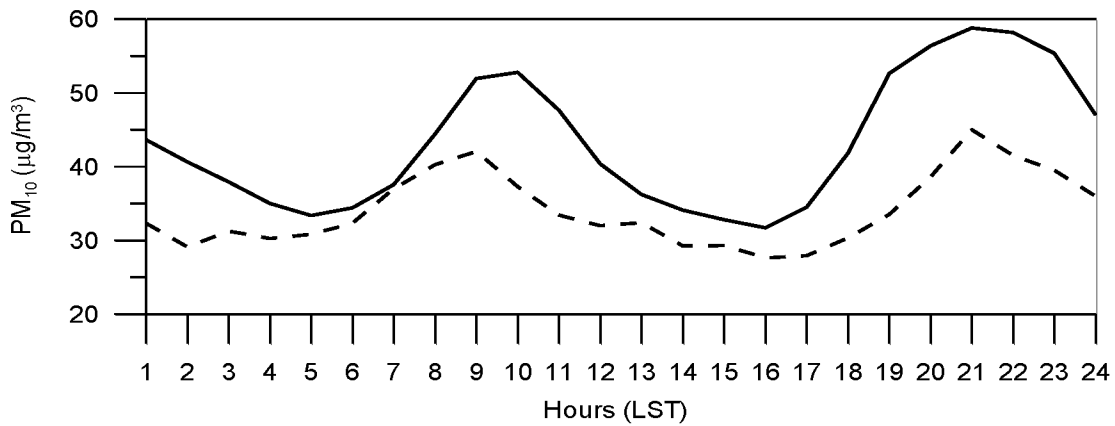
Γράφημα 5-10: Διαχωρισμός περιόδων σε ψυχρή και θερμή περίοδο για το έτος 2012

Μέση τιμή θερμής περιόδου: 19,01 µg/m³

Συνοπτικά, ο διαχωρισμός σε ψυχρή και θερμή περίοδο έχει τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 5-6: Συνοπτικός πίνακας μέσων τιμών για την ψυχρή και θερμή περίοδο κάθε έτους

<u>ΕΤΟΣ</u>	<u>ΨΥΧΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ</u>	<u>ΘΕΡΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ</u>
2007	48.33	42.31
2008	46.06	39.34
2009	39.70	33.85
2010	42.60	34.45
2011	41.87	47.14
2012	38.51	19.01



Σχήμα 5-1: Μέση ενδοημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των PM_{10} κατά τη χειμερινή περίοδο (συνεχής γραμμή) και τη θερμή περίοδο (διακεκομμένη γραμμή) του έτους, από 2007 ως 2012

Από την ίδια εργασία και το Σχήμα 1 όπου παρουσιάζεται η μέση ενδοημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων PM_{10} κατά τη χειμερινή περίοδο (συνεχής γραμμή) και τη θερμή περίοδο (διακεκομμένη γραμμή) του έτους, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2007-2012 (Πρώιας κ.α., 2012).

Κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι το έτος 2011 οι μετρήσεις παρέχουν πληροφορίες μέχρι και το τέλος του μήνα Οκτωβρίου που επηρεάζει το αποτέλεσμα της ψυχρής περιόδου 2011 και δεν βοηθάει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για το έτος. Αντίστοιχα για το έτος 2009, δεν υπάρχουν αποτελέσματα για τον μήνα Νοέμβριο.

Με βάση τα αποτελέσματα προκύπτει ότι την ψυχρή περίοδο τα επίπεδα συγκέντρωσης είναι κάπως αυξημένα σε σχέση με την θερμή περίοδο. Κάτι τέτοιο μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός της ύπαρξης πρόσθετων πηγών όπως για παράδειγμα οικιακή θέρμανση, και στο γεγονός ότι οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες είναι λιγότερο ευνοϊκές για την διασπορά των ρύπων (Grivas et al., 2004).

Κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι το έτος 2011 οι μετρήσεις παρέχουν πληροφορίες μέχρι και το τέλος του μήνα Οκτωβρίου που επηρεάζει το αποτέλεσμα της ψυχρής περιόδου 2011 και δεν βοηθάει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για το έτος. Αντίστοιχα για το έτος 2009, δεν υπάρχουν αποτελέσματα για τον μήνα Νοέμβριο.

Με βάση τα αποτελέσματα προκύπτει ότι την ψυχρή περίοδο τα επίπεδα συγκέντρωσης είναι κάπως αυξημένα σε σχέση με την θερμή περίοδο. Κάτι τέτοιο μπορεί να αποδοθεί

στο γεγονός της ύπαρξης πρόσθετων πηγών όπως για παράδειγμα οικιακή θέρμανση, και στο γεγονός ότι οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες είναι λιγότερο ευνοϊκές για την διασπορά των ρύπων (Grivas et al., 2004).

5.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΕΥΝΟΟΥΝ ΤΗΝ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

Οι κυριότεροι μετεωρολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι εξής (Kassomenos et al., 1998) :

- Θερμοκρασία
- Διεύθυνση και ένταση του ανέμου
- Σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
- Διάρκεια ηλιοφάνειας – νέφωση
- Βροχόπτωση

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: Οι υψηλές θερμοκρασίες του αέρα σχετίζονται με τα βραδέως κινούμενα συστήματα πίεσης, τους ανέφελους ουρανούς, την αδρανή κυκλοφορία και την καταβύθιση του ανώτερου αέρα. Αυτά τα φαινόμενα συμβάλουν κατά κύριο λόγο στην παραγωγή ρύπων με φωτοχημικές διεργασίες, αλλά και στην συσσώρευση ρύπων σε μια περιοχή (Παπαναστασίου, 2007). Συμπερασματικά, η θερμοκρασία είναι ένας κύριος παράγοντας που επιδρά στα επίπεδα ρύπανσης μιας περιοχής.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ: Η ένταση του ανέμου επηρεάζει καθοριστικά των 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 (Hubbard and Cobourn, 1998, Chaloulakou et al., 2003, Kassomenos et al., 1995).

ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ: Η σχετική υγρασία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την θερμοκρασία. Αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως συνεπάγεται μείωση της υγρασίας. Η υγρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει την ελάχιστη θερμοκρασία μέσω δυο μηχανισμών: α) μέσω της απορρόφησης της υπέρυθρης

ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την Γη και β) μέσω της εκπομπής της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης, όταν η θερμοκρασία πέφτει σε θερμοκρασία δρόσου (Παπαναστασίου, 2007).

ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ: Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει την συγκέντρωση των ρύπων: παίζει πρωταρχικό ρόλο στις φωτοχημικές αντιδράσεις της ατμόσφαιρας και έτσι επηρεάζει τους ρύπους που παράγονται από αυτές (Boy and Kulmala, 2002).

ΝΕΦΩΣΗ: Η νέφωση που επικρατεί σε μια περιοχή, είναι σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Υψηλό ποσοστό νέφωσης έχει αποτέλεσμα την ανάκλαση και απορρόφηση ενός σημαντικά μεγάλου μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας, άρα η ένταση της ακτινοβολίας ελαττώνεται (Seinfeld and Pandis, 2006).

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ: Η βροχή οδηγεί στην υγρή απόθεση των ρύπων και είναι προφανές ότι συμβάλλει στην απομάκρυνση τους από την ατμόσφαιρα, τόσο κατά των σχηματισμό τους όσο και κατά την πτώση τους. Ποσοστό 70% - 80% των ρύπων αποτίθεται εξαιτίας μιας δυνατής και μεγάλης βροχής (Παπαναστασίου, 2007).

Η πιο σωστή και προφανής επιλογή θα ήταν να χρησιμοποιηθεί η θερμοκρασία σαν την πιο σημαντική παράμετρο, αλλά η θερμοκρασία παρουσιάζει έντονες χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις κάτι που οδηγεί σε μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων άρα δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αντιπροσωπευτικός δείκτης για όλη την προς μελέτη επιφάνεια (Manrakis et al., 2004). Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν όταν γίνεται μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ότι οι τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν πρέπει να είναι άρρηκτα συνδεδεμένα όχι μόνο με τις πηγές ρύπανσης αλλά και με τους μετεωρολογικούς παράγοντες που επικρατούν στην περιοχή την συγκεκριμένη εποχή μελέτης (Gomiscek et al., 2004). Σύμφωνα με τους Hooyberghs et al. (2005), η μεταβολή στην συγκέντρωση των PM_{10} σε καθημερινή βάση είναι πιο πολύ μετεωρολογικός παράγων παρά αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας. Επίσης, οι Pryor and Barthelmie (1996), δίνουν έμφαση ότι για την σωστή εξαγωγή αποτελεσμάτων για τις πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων πρέπει πρώτα να απομονωθεί ο παράγοντας καιρός. Οι μετεωρολογικές συνθήκες έχουν ισχυρό απόηχο στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ειδικά κατά τους χειμερινούς μήνες (Barnpadimos et al., 2011).

5.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΚΑΤΑ ΤΑ ΕΤΗ 2007-2011

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά στοιχεία, θερμοκρασία (°C), υγρασία (g/m³) και ένταση ανέμου (m/s) για τα έτη 2007-2012.

Πίνακας 5-7: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2007

2007			
	Θερμοκρασία	Υγρασία	Ένταση Ανέμου
Ιανουάριος	11.10	57.55	4.30
Φεβρουάριος	10.30	66.93	4.80
Μάρτιος	12.60	61.42	4.20
Απρίλιος	15.60	59.66	3.80
Μάιος	21.30	59.63	4.20
Ιούνιος	26.90	52.26	4.10
Ιούλιος	29.30	42.09	5.30
Αύγουστος	28.30	50.53	4.50
Σεπτέμβριος	22.80	55.13	4.50
Οκτώβριος	18.10	69.45	2.90
Νοέμβριος	12.70	73.81	3.40
Δεκέμβριος	8.00	76.91	3.80

Πίνακας 5-8: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2008

2008			
	Θερμοκρασία	Υγρασία	Ένταση Ανέμου
Ιανουάριος	7.80	76.46	3.10
Φεβρουάριος	9.10	70.01	4.10
Μάρτιος	14.70	62.12	4.00
Απρίλιος	16.70	66.40	3.70
Μάιος	20.90	59.34	4.40
Ιούνιος	26.10	56.89	4.00
Ιούλιος	28.00	52.10	5.50
Αύγουστος	28.10	54.33	3.30
Σεπτέμβριος	21.80	70.55	3.20
Οκτώβριος	17.90	74.43	1.90
Νοέμβριος	13.90	79.82	2.30
Δεκέμβριος	13.90	79.82	2.30

Πίνακας 5-9: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2009

2009			
	Θερμοκρασία	Υγρασία	Ένταση Ανέμου
Ιανουάριος	9.00	81.50	2.30
Φεβρουάριος	8.80	69.61	4.90
Μάρτιος	11.80	66.99	4.00
Απρίλιος	14.90	72.61	2.50
Μάιος	21.30	65.82	3.50
Ιούνιος	25.30	59.40	3.80
Ιούλιος	28.10	57.88	4.30
Αύγουστος	26.90	60.32	3.30
Σεπτέμβριος	22.00	68.43	3.20
Οκτώβριος	19.10	70.68	3.10
Νοέμβριος	14.40	74.53	2.50
Δεκέμβριος	12.30	80.54	2.80

Πίνακας 5-10: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2010

2010			
	Θερμοκρασία	Υγρασία	Ένταση Ανέμου
Ιανουάριος	9.40	73.76	3.20
Φεβρουάριος	11.20	69.42	4.30
Μάρτιος	12.40	68.56	3.40
Απρίλιος	16.50	66.87	3.30
Μάιος	21.50	62.90	3.50
Ιούνιος	25.40	62.74	3.80
Ιούλιος	28.40	59.14	4.50
Αύγουστος	29.90	58.21	3.30
Σεπτέμβριος	23.60	65.36	3.10
Οκτώβριος	16.90	79.05	2.90
Νοέμβριος	16.40	76.02	2.20
Δεκέμβριος	10.70	74.82	3.30

Πίνακας 5-11: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης του ανέμου για το έτος 2011

2011			
	Θερμοκρασία	Υγρασία	Ένταση Ανέμου
Ιανουάριος	8.70	81.08	2.30
Φεβρουάριος	9.60	77.02	3.40
Μάρτιος	11.10	73.65	3.00
Απρίλιος	14.20	71.43	4.00
Μάιος	19.50	69.04	3.50
Ιούνιος	24.90	62.71	5.10
Ιούλιος	28.70	55.25	3.90
Αύγουστος	27.00	61.79	3.80
Σεπτέμβριος	24.90	62.17	3.20
Οκτώβριος	16.20	69.93	4.00
Νοέμβριος	10.50	77.15	2.10
Δεκέμβριος	9.90	75.77	3.10

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΤΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την συσχέτιση των αιωρούμενων σωματιδίων με τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι τα εξής:

- Τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζεται αυξημένη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων κάτι που μπορεί να οφείλεται στα θαλάσσια αερολύματα. Την χειμερινή περίοδο η αυξημένη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι πιθανό να οφείλεται στην χρήση καυστήρων θέρμανσης.
- Παρόλο που η θερμοκρασία προκαλεί αύξηση στα αιωρούμενα σωματίδια ενώ η ταχύτητα του ανέμου τείνει να μειώνει την συγκέντρωση, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσής τους κατά τους θερινούς μήνες με υψηλή θερμοκρασία και δυνατούς ανέμους.
- Άπνοια και υψηλή θερμοκρασία συμβάλουν κατά κύριο λόγο στην συσσώρευση ρύπων σε μια περιοχή.
- Αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως συνεπάγεται μείωση της υγρασίας άρα και αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων.

5.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ ΣΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Ένα μεγάλο ποσοστό των PM_{10} και $PM_{2.5}$, 10-43% και 21-78% αντίστοιχα, περιέχει οργανικό υλικό (Na et al., 2004, Putuad et al., 2004, Yu et al., 2004). Το ανθρακούχο κλάσμα των σωματιδίων του περιβάλλοντος αποτελείται από στοιχειακό άνθρακα (EC) καθώς και οργανικές ενώσεις – οργανικός άνθρακας (OC).

Ο οργανικός και ο στοιχειακός άνθρακας είναι ουσιώδους σημασίας εξαιτίας των επιπτώσεων τους στο κλίμα και την υγεία, ως αποτέλεσμα των φυσικών και χημικών τους χαρακτηριστικών (Chuang et al., 2005, Li et al., 2005).

Συνοπτικά, οι πιο σημαντικές επιπτώσεις των οργανικών αερολυμάτων είναι οι εξής:

- Μείωση της ορατότητας
- Συνεισφορά στην δημιουργία πυρήνων συμπύκνωσης νεφών (Turpin et al., 2000)
- Μεταλλαξιγόνο δράση
- Μεγάλη τοξικότητα (Lioy et al., 1983)

Ο οργανικός άνθρακας είναι δυνατόν να εκπέμπεται απευθείας από τις πηγές (πρωτογενής OC) ή επί τόπου μέσω συμπύκνωσης προϊόντων με χαμηλή πτητικότητα (δευτερογενής OC). Ο στοιχειακός άνθρακας (EC), ο οποίος καλείται και μαύρος άνθρακας ή γραφιτικός άνθρακας, εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα κατά κύριο λόγο κατά την διαδικασία της καύσης (Seinfeld and Pandis, 2006).

5.5.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Τα ανθρακούχα σωματίδια είναι παράγωγα της καύσης υγρών ή αερίων καυσίμων. Τα σωματίδια τα οποία είναι σχηματισμένα με αυτόν τον τρόπο αποτελούνται από οργανικό και στοιχειακό άνθρακα και είναι γνωστά ως αιθάλη (soot). Τα σωματίδια της αιθάλης αποτελούνται από την συσσωμάτωση μικρών σφαιρικών στοιχειακών ανθρακούχων σωματιδίων. Τα μικρά αυτά σωματίδια στοιχειακού άνθρακα είναι ιδιαίτερα ομογενή. Το μέγεθος των σωματιδίων αυτών ποικίλει από 20 έως 30 nm σχηματίζοντας ευθείες ή διακλαδισμένες αλυσίδες. Αυτές οι αλυσίδες στην συνέχεια συσσωματώνονται και σχηματίζουν ορατά σωματίδια αιθάλης των οποίων το μέγεθος φτάνει μέχρι μερικά μικρόμετρα. Τα σωματίδια της αιθάλης που σχηματίζονται στην διαδικασία της καύσης, δεν αποτελούνται από ένα μόνο υλικό, αλλά κυρίως από άτομα άνθρακα, υδρογόνο καθώς και άλλα στοιχεία (Seinfeld and Pandis, 2006). Κατά συνέπεια, η αιθάλη μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μείγμα στοιχειακού και οργανικού άνθρακα με μικρές ποσότητες άλλων στοιχείων όπως για παράδειγμα οξυγόνο, άζωτο και υδρογόνο (Chang et al. 1982).

Ο στοιχειακός άνθρακας έχει χρόνο παραμονής έως 6 ημέρες και μπορεί να μεταφερθεί εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα από την περιοχή της πηγής του (Husain et al., 2007).

Ουσιώδους σημασίας είναι το γεγονός ότι ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται καλός δείκτης της ανθρωπογενούς αέριας ρύπανσης καθώς οι χημικές μεταβολές του (χημικές αντιδράσεις) είναι σε γενικές γραμμές περιορισμένες (Kim et al., 2000).

5.5.2 ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο οργανικός άνθρακας εκπέμπεται από πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές εκπομπής. Το οργανικό μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων, ανεξάρτητα αν η περιοχή είναι ρυπασμένη ή απομακρυσμένη, είναι ένα περίπλοκο μίγμα εκατοντάδων οργανικών ενώσεων (Hanh 1980). Οι ενώσεις που προσδιορίζονται στα ατμοσφαιρικά αεροζόλ περιλαμβάνουν αλκάνια, αλκανικά οξέα, αλειφατικά δικαρβοξυλικά οξέα, αρωματικά πολυκαρβοξυλικά οξέα, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, πολυκλικές αρωματικές κετόνες, στεροεοδή, τερπενοειδή κ.ά. Καθώς οι περισσότεροι ερευνητές αναφέρουν την συγκέντρωση OC, χωρίς να συμπεριλαμβάνουν την συνεισφορά των άλλων στοιχείων όπως το οξυγόνο, άζωτο, υδρογόνο κ. ά, οι Wolf et al., (1991) πρότειναν οι μετρούμενες τιμές του οργανικού άνθρακα θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με έναν συντελεστή 1.5 για τον ορθότερο υπολογισμό της συνολικής οργανικής μάζας που σχετίζεται με τον οργανικό άνθρακα. Οι συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα δίνονται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα είναι γύρω στα $3.5\text{m}\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε αγροτικές περιοχές και από 5 έως $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ρυπασμένες περιοχές (Seinfeld and Pandis, 2006).

5.5.3 ΣΧΕΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΥ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο στοιχειακός άνθρακας είναι πρωτογενής (παράγεται από την καύση ανθρακούχου ύλης ενώ ο οργανικός άνθρακας μπορεί να εκπέμπεται απευθείας από την σωματιδιακή φάση, όπου αναφερόμαστε σε OCprim ή σχηματίζεται

από αέριο-προς-σωματίδιο διαδικασίες μετατροπής στην ατμόσφαιρα –OCsec (Jones and Harisson, 2005, Saylor et al., 2006).

Η σχέση ανάμεσα στον στοιχειακό και στον οργανικό άνθρακα είναι πολύ διαδεδομένος τρόπος προσέγγισης του ερωτήματος αν τα σωματίδια είναι πρωτογενή ή δευτερογενή. Αφού ο στοιχειακός και ο πρωτογενής OC έχουν κοινές πηγές, θα υπάρχει μια αντιπροσωπευτική αναλογία OC/EC για τα πρωτογενή αερολύματα. Αν η μέτρηση υπερβεί την αναμενόμενη τιμή τότε ο επιπλέον οργανικός άνθρακας μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι δευτερογενούς προέλευσης (Seinfeld and Pandis, 2006). Χαμηλές τιμές του λόγου OC/EC (1-2.4) φανερώνουν την υπέρσχυση των πρωτογενών πηγών (Turpin and Huntzicker, 1991). Σε απομακρυσμένες περιοχές η τιμή αυτή αυξάνεται κατά πολύ (Yu et al., 2004).

Στην εργασία αυτή γίνεται μία πρώτη παρουσίαση των αποτελεσμάτων που αφορούν τη χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου. Τα αποτελέσματα αυτά (Πίνακας 5.11) αφορούν τη χημική ανάλυση του κλάσματος των εισπνεύσιμων (PM_{10}) και των αναπνεύσιμων ($PM_{2.5}$) αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο, σε δύο χρονικές περιόδους που καλύπτουν τη θερμή περίοδο (Αύγουστος 2011) και την ψυχρή περίοδο (Φεβρουάριος 2012) του έτους.

Οι μέσες εποχικές τιμές και το αντίστοιχο εύρος τόσο του οργανικού όσο και του στοιχειακού άνθρακα (Πίνακας 1) συγκρίνονται με τα επίπεδα τιμών που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Ruellan and Cachier 2001, Salma *et al.* 2004, Hueglin *et al.* 2005, Viana *et al.* 2006) από μετρήσεις σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις.

Οι εποχικές τιμές του λόγου OC/EC για τα PM_{10} κυμάνθηκαν μεταξύ 6.70 και 22.07 (Πίνακας 1) δείχνουν μια σαφή υπεροχή του οργανικού έναντι του στοιχειακού άνθρακα, γεγονός που αναδεικνύει πιθανό δευτερογενή σχηματισμό οργανικών αερολυμάτων. Από τη διεθνή βιβλιογραφία, για αστικές περιοχές έχουν καταγραφεί τυπικές τιμές του λόγου OC/EC να κυμαίνονται μεταξύ 1 και 4 (μεταξύ άλλων Wang *et al.* 2005). Η διακύμανση των τιμών του λόγου OC/EC μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης των αλλαγών στις πηγές εκπομπών ή των διαδικασιών, δεδομένου ότι πηγή της E.E. θεωρείται σαν ενδεικτικό ίχνος για πρωτογενείς εκπομπές (ατελείς καύσεις). Σε μελέτη για τη πόλη της Θεσσαλονίκης (Terzi *et al.* 2010) οι τιμές του λόγου OC/EC ήταν υψηλότερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ωστόσο, το γεγονός ότι η υψηλή τιμή

του λόγου αποδίδεται στη μείωση της τιμής του στοιχειακού άνθρακα παρά στην αύξηση του οργανικού άνθρακα. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη πιθανών αλλαγών σε πηγές εκπομπών και απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

Πίνακας 5-12: Μέσες τιμές συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), με τη μορφή μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση, οργανικού άνθρακα (OC), στοιχειακού άνθρακα (EC) και των λόγων τους σε $\text{PM}_{2.5}$ και PM_{10} στο Βόλο

	PM_{2.5}		PM₁₀	
	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Χειμώνας	Καλοκαίρι
OC	30.70 \pm 1.73	16.80 \pm 1.04	33.10 \pm 1.85	20.10 \pm 1.21
EC	3.37 \pm 0.37	2.36 \pm 0.32	1.50 \pm 0.41	3.00 \pm 0.35
OC/EC	9.11	7.12	22.07	6.70

Όσον αφορά τις εποχικές τιμές του λόγου OC/EC για τα $\text{PM}_{2.5}$ κυμάνθηκαν μεταξύ 7.12 και 9.11 (Πίνακας 5.11) δείχνουν και στην περίπτωση αυτή μια σαφή υπεροχή του οργανικού έναντι του στοιχειακού άνθρακα. Από τη διεθνή βιβλιογραφία, για αστικές περιοχές υποβάθρου έχουν καταγραφεί υψηλές τιμές του λόγου OC/EC που κυμαίνονταν μεταξύ 8.8 για το χειμώνα (Lonati *et al.* 2005) και 12 για την άνοιξη (Salma *et al.* 2004). Επίσης, σε αγροτικές περιοχές έχουν καταγραφεί υψηλές τιμές του λόγου OC/EC που κυμαίνονταν μεταξύ 8 και 12, για το χειμώνα και την άνοιξη, αντίστοιχα (Decesari *et al.* 2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην αρχή της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση για την ατμοσφαιρική ρύπανση γενικά και πιο ειδικά για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀. Στην συνέχεια ακολουθεί στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή της πόλης του Βόλου. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την βιβλιογραφική μελέτη και την στατιστική ανάλυση είναι τα εξής:

- Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη του Βόλου είναι: τοπογραφία της περιοχής, βιομηχανία, κεντρική θέρμανση και αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση.
- Ο Βόλος παρουσιάζει αυξημένο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφειλόμενο στην παρουσία των PM₁₀.
- Σε αντίθεση με τα όρια που έχει θέσει η Ε.Ε. περί αιωρούμενων σωματιδίων, παρουσιάζονται πολλές υπερβάσεις, είτε σε ημερήσια είτε σε μηνιαία βάση καθώς και σε επίπεδα έτους.
- Τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM₁₀ είναι αυξημένα την χειμερινή περίοδο σε σχέση με την θερινή.
- Τα αυξημένα επίπεδα την χειμερινή περίοδο οφείλονται στην κεντρική θέρμανση ενώ τους θερινούς μήνες στην αύξηση της θερμοκρασίας.
- Από την επεξεργασία διαπιστώθηκε ότι οι μέσες εποχικές τιμές και το αντίστοιχο εύρος τόσο του οργανικού όσο και του στοιχειακού άνθρακα είναι συγκρίσιμα με τα επίπεδα τιμών που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία από μετρήσεις σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις.
- Οι εποχικές τιμές του λόγου OC/EC τόσο για τα PM₁₀, όσο και τα PM_{2.5} δείχνουν μια σαφή υπεροχή του οργανικού έναντι του στοιχειακού άνθρακα,

γεγονός που αναδεικνύει πιθανό δευτερογενή σχηματισμό οργανικών αερολυμάτων. Ειδικότερα, οι τιμές του λόγου OC/EC για τα PM₁₀ κυμάνθηκαν μεταξύ 6.70 και 22.07, ενώ οι αντίστοιχες για τα PM_{2.5} κυμάνθηκαν μεταξύ 7.12 και 9.11.

- Τέλος, οι τιμές του λόγου ήταν υψηλότερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, και στις δύο περιπτώσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι η υψηλή τιμή του λόγου αποδίδεται περισσότερο στη μείωση της τιμής του στοιχειακού άνθρακα παρά στην αύξηση του οργανικού άνθρακα. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη πιθανών αλλαγών σε πηγές εκπομπών και απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

6.2 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Όπως έχει ήδη διαπιστωθεί, στην πόλη του Βόλου εντοπίζεται σοβαρότατο πρόβλημα υπέρβασης των νομοθετημένων ορίων που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση περί αιωρούμενων σωματιδίων. Η διασφάλιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα αποτελεί βασική συνιστώσα της προσπάθειας για καθαρότερο περιβάλλον. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αιωρούμενα σωματίδια, ειδικά σε υψηλές συγκεντρώσεις, προκαλούν σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου, άρα η ανάγκη λήψης ουσιαστικών μέτρων αντιμετώπισης είναι επιτακτική.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια μετριασμού και εν τέλει αντιμετώπισης του προβλήματος των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου. Η αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτεί ολοκληρωμένη μελέτη και παρέμβαση ώστε να καταστεί αποτελεσματική όχι μόνο στο κοντινό μέλλον, αλλά να έχει απώτερο σκοπό ένα καθαρότερο περιβάλλον.

Σύμφωνα με την μελέτη των Σαμαρά – Κωνσταντίνου et al., 2008, οι άξονες προτεραιότητας του σχεδιασμού μιας ιεραρχημένης περιβαλλοντικής πολιτικής για την αναβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας του Βόλου χωρίζονται σε πέντε στάδια:

- Στάδιο 1: Κυκλοφορία οχημάτων
- Στάδιο 2: Τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ
- Στάδιο 3: Καύση σκουπιδιών
- Στάδιο 4: Κεντρική θέρμανση

- Στάδιο 5: Παράλληλες συμπληρωματικές δράσεις

Το στάδιο 1 σχετικά με την κυκλοφορία των οχημάτων περιλαμβάνει τις εξής δράσεις:

- Καθιέρωση συνεχούς και κλιμακωτού ωραρίου
- Απομάκρυνση σκόνης από τους δρόμους της πόλης
- Έλεγχος καυσαερίων οχημάτων στο δρόμο και τηλεμέτρηση των εκπομπών οχημάτων
- Ωράριο φορτοεκφορτώσεων εκτός ωρών κυκλοφοριακής αιχμής
- Προτεραιότητα ΜΜΜ: Λεωφορειολωρίδες - Προτεραιότητα στις διασταυρώσεις - Τηλεματική - Τραμ – Σιδηροδρομικές συνδέσεις
- Κατασκευή υπόγειων χώρων στάθμευσης – Συστηματική αστυνόμευση παράνομης στάθμευσης
- Λεωφορεία με φυσικό αέριο
- Υβριδικά δημόσια οχήματα και Ταξί
- Ολοκλήρωση περιφερειακής οδού και απαγόρευση διέλευσης φορτηγών από το κέντρο
- Αναβάθμιση και αύξηση του αστικού πράσινου και των ανοικτών χώρων
- Κατασκευή δικτύου ποδηλατοδρόμων και πεζοδρόμων
- Προώθηση πράσινης οδήγησης

Το στάδιο 2 σχετικά με την Τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ περιλαμβάνει τις εξής δράσεις

- Έλεγχος τήρησης διαδικασίας Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)
- Απαγόρευση ανοικτής υπαίθριας αποθήκευσης υλικών - Έλεγχος φορτοεκφορτώσεων – Καθαρισμός σκόνης περιβάλλοντα χώρου
- Χρήση της Βέλτιστης Διαθέσιμης Τεχνολογίας στην παραγωγική διαδικασία και χρήση καυσίμων με χαμηλές εκπομπές

Στο στάδιο 3 που αφορά την καύση σκουπιδιών οι δράσεις είναι οι εξής:

- Έκδοση ρητής απαγόρευσης της ανοικτής καύσης απορριμμάτων
- Πλήρης ενημέρωση κοινού για την απαγόρευση ανοικτής καύσης απορριμμάτων

- Πρόγραμμα συστηματικής αστυνόμευσης της απαγόρευσης ανοικτής καύσης απορριμμάτων

Στο στάδιο 4 που αφορά την κεντρική θέρμανση οι δράσεις είναι οι εξής:

- Έλεγχος ρύθμισης – συντήρησης καυστήρων κεντρικής θέρμανσης
- Προώθηση της χρήσης φυσικού αερίου για θέρμανση

Κάποιες παράλληλες συμπληρωματικές δράσεις, περιλαμβάνονται στο στάδιο 5 και είναι οι παρακάτω:

- Καθιέρωση ορίων επιφυλακής και συναγερμού, καθώς και σχεδιασμός εκτάκτων μέτρων για επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Εκσυγχρονισμός δικτύου σταθμών παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης: Ενιαίο δίκτυο - Προσθήκη αναλυτών νέων ρύπων και μετεωρολογικών παραμέτρων - Χωροθέτηση σταθμών
- Έγκαιρη πληροφόρηση των πολιτών για την ποιότητα αέρα διαμέσου κινητής τηλεφωνίας και διαδικτύου
- Καταγραφή των εκπομπών όλων των πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης - Εφαρμογή μοντέλου διασποράς αδρανών και φωτοχημικών ρύπων
- Απαγόρευση ανοικτής υπαίθριας αποθήκευσης υλικών και τήρηση όρων φορτοεκφορτώσεων στο λιμάνι

Συνοπτικά, μια ολοκληρωμένη σειρά μέτρων θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα εξής:

- Έλεγχος ποιότητας καυσίμων
- Χρήση φυσικού αερίου στην βιομηχανία και την κατοικία
- Χρήση και λειτουργία βελτιωμένων φίλτρων στις βιομηχανίες
- Βελτίωση τεχνολογίας οχημάτων
- Αξιόπιστος έλεγχος των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων και των ρύπων γενικά
- Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών σε θέματα ρύπανσης

- Ενημέρωση και παρότρυνση των πολιτών για την χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς
- Κυρώσεις σε περίπτωση μη συμμορφώσεως στους κανόνες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναγνωστόπουλος Α., (1989), Η ρύπανση του περιβάλλοντος, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη
- Γεντεκάκης, Ι., (1999/2003), Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές τεχνολογίες, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Ζάνης Π., (2008), Σημειώσεις για την Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας, σημειώσεις για το μάθημα Ρύπανση της Ατμόσφαιρας, Α.Π.Θ.
- Καλαμπόκας Π., Σιδερής Γ., Χριστόλης Μ., Μαρκάτος Ν., (2005), Ανάλυση μέτρησης ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στον Βόλο, Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα
- Καραθανάσης Σ., (2007), Ατμοσφαιρική ρύπανση: Φωτοχημικά Μοντέλα ποιότητας του αέρα, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Κούγκολος Α., (2005), Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Λαζαρίδης Μ., (2005), Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Μελάς Δ., (2003), Ατμοσφαιρική διάχυση και διασπορά. Τμήμα Εκδόσεων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Μιχαλοπούλου Χ., (2004), Νομοθεσία για το περιβάλλον, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Παπαναστασίου Δ., (2007), Ατμοσφαιρική Ρύπανση – Μετεωρολογία σε Αστικό Περιβάλλον Υπό Συνθήκες Υψηλού Υποβάθρου, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Πρώιας Γ., Ελευθεριάδης Κ., Διαπούλη Λ., Βράτολης Σ., Βασιλάτου Β., Κούγκολος Α., Κηπουρός Σ. και Παλιατσός Α.Γ., (2012), Ανάλυση συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} στην περιοχή του Βόλου κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο 2011-2012 στο πλαίσιο του προγράμματος LIFE + ACEPT-AIR. *Πρακτικά από το 1^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας*, Σεπτέμβριος 8-10, 2012, Σκιάθος, Ελλάδα, Τόμος Περιλήψεων, 4 (Α. Κούγκολος, Ο. Χριστοπούλου, Χ. Λασπίδου, ISBN 978-960-6865-49-7).

- Ραψομανίκης, Σ., Καστρινάκης Ε., (2009), Βασικές Αρχές Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας Ατμοσφαιρικών Ρύπων, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Κουϊμτζής Θ., Βουτσά Δ., Κούρας Α., Μανώλη Ε., Αργυρόπουλος Γ., Νικολάου Κ., Σταμουντζής 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, Θεσσαλονίκη
- Σωτηροπούλου Ρ -Ε, (2005), Προσομοίωση φυσικοχημικών διεργασιών βιογενών αεροζόλ: Η επίδρασή τους στην ποιότητα αέρα και στην κλιματική αλλαγή στην περιοχή της μεσογείου, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
- Φυτιανός Κ., Σαμαρά Κωνσταντίνου Κ. (2009) Χημεία περιβάλλοντος, University studio Press , Θεσσαλονίκη, 47145
- Υ.Α. Η.Π. 14122/549/Ε. 103/2011 - Μέτρα για τη 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 21ης Μαΐου 2008»

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Albrecht B., (1989), Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness, *Science*, 245, 1227-1230
- Barnpadimos I., Hueglin C., Keller J., Henne S., Prevot A. S. H., (2011), Influence of meteorology on PM₁₀ trends and variability in Switzerland from 1991 to 2008, *Atmospheric chemistry and physics*, 11, 1813–1835
- Bell M. and Davis D-L., (2001), *Environmental Health Perspectives* vol 109, 389-394
- Boy M., Kumlala M., (2002), Influence of spectral solar irradiance on the formation of new particles in the continental boundary layer, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 2, 1317-1350
- Buwal (1995) Natumahe Gestaltung im Siedlungsraum, Leitfaden Umwelt Nr.5.

- Cambra-Lopez M., Aarnink A., Zhao Y., Calvet S., Torres A., (2010), Airborne particulate matter from livestock production systems: A review of an air pollution problem, *Environmental Pollution* 158, 1–17
- Chaloulakou A., Kassomenos P., Spyrellis N., Demokritou P., Koutrakis P., (2003), Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment* 37, p. 649-660
- Chang, S. G., Brodzinsky, R., Gundel, L. A., and Novakov, T. (1982) Chemical and catalytic properties of elemental carbon, in Particulate Carbon, *Atmospheric Life Cycle*, G. T. Wolff and R. L. Klimsch, eds., Plenum, New York, pp. 158-181.
- Chellam Shankararaman, Kulkarni Pranav and Fraser Matthew P. (2005) Lanthanum and lanthanides in atmospheric fine particles and their apportionment to refinery and petrochemical operations in Houston
- Chuang, P.Y., Duvall, R.M., Bae, M.S., Jefferson, A., Schauer, J.J., Yang, H., Yu, J.Z., Kim, J., (2003), Observations of elemental carbon and absorption during ACE-Asia and implications for aerosol radiative properties and climate forcing. *Journal of Geophysical Research* 108 (D23), 8634.
- Decesari S., Facchini M. C., Matta E., Lettini F., Mircea M., Fuzzi S., Tagliavini E., Putaud J.-P., (2001), Chemical features and seasonal variation of fine aerosol water-soluble organic compounds in the Po Valley, Italy. *Atmospheric Environment*, 35, 3691-3699.
- Dockery D., and Pope C., (1994), Acute respiratory effects of particulate air pollution, *Annual revision of public health*, 15, 107-132
- Dockery D.W., Pope C.A. III, Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. Jr., Speizer F.E., An association between air pollution and mortality in six U.S. cities, *The New England Journal Medicine*. 329, 1753-1759, 1993.
- Dockery D. W., Pope C. A. (critical review), (2006) *J. Air Waste Management Association*. 56, 709
- Dockery D. W., and Pope C.A. (2006) Health effects of fine particulate air pollution, *Air Waste Manage Association*, 56, 709
- EEA 2007, Air pollution in Europe 1990-2004, No 2, Copenhagen
- Gertler A., Gillies J., Pierson W., (2000), An assessment of the mobile source contribution to PM₁₀ and PM_{2.5} in the united states, *Water, Air and Soil Pollution*, 123, 203-214

- Gomiscek, B., Frank, A., Puxbaum, H., Stopper, S., Preining O., and Hauck H., (2004), Case study analysis of PM burden at an urban and a rural site during the AUPHEP project. *Atmospheric Environment*, 24, 3935–3948
- Grivas G., Chaloulakou A., Samara C., Spyrellis N., (2004), Spatial and temporal variation of PM₁₀ mass concentrations within the greater area of Athens, Greece, *Water, Air, and Soil Pollution* 158, 357-371
- Hahn, J. (1980). Organic constituents of natural aerosols. *Annals of NY Academy Science*. 338, 359-376.
- Harrison R., Jones M., (1995), The chemical composition of airborne particles in the UK atmosphere, *The Science of the Total Environment* 168, 195-214
- Harrison R., 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, 85-101
- Harrison R. M., (2004), Key pollutant-airborne particles. *Science of the total Environment*, 334-335
- Heyder, J., (2004). "Deposition of Inhaled Particles in the Human Respiratory Drug Delivery." *Proceedings of the American Thoracic Society* vol.1: 315-320.
- Hildemann Lynn M., Gregorry R., Jones Michael C. and Glen R., (1991) micrometer Aerosol Mass Distributions of Emissions from Boilers, Fireplaces, Automobiles, Diesel Trucks, and MeatCooking Operations, *Aerosol Science and Technology*, Volume 14
- Hoffmann T., (2000), Environmental implications of acoustic aerosols agglomeration, *Ultrasonics*, 38, 353-357,
- Hooyberghs, J., Mensink, C., Dumont, G., Fierens, F., and Brasseur O., (2005), A neural network forecast for daily average PM₁₀ concentrations in Belgium, *Atmospheric Environment* 39, 3279-3289
- Huang X., Olmez I., Aras N.K., Gordon G.E. (1994) Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile, *Atmospheric Environment* 28, 1385 - 1391
- Hubbard M.C., Cobourn W.G. (1998), Development of a regression model to forecast ground-level ozone concentration in Louisville, KY, *Atmospheric Environment* 32, 2637-2647

- Hueglin, C., Gehrig R., Baltensperger U., Gysel M., Monn C. and Vonmont H., (2004), Chemical characterisation of PM_{2.5} 10 and coarse particles at urban nearcity and rural sites in Switzerland, *Atmospheric Environment* 39, 637–651
- Husain, L., Dutkiewicz, V.A., Khan, A.J., Ghauri, B.M., (2007), Characterization of carbonaceous aerosols in urban air. *Atmospheric Environment* 41, 6872–6883.
- Jacobson M, (2002), Atmospheric pollution: history, science and regulation, Cambridge University Press
- Jinhuan Q., and Liqun Y., (2000), Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depth and visibility in north China during 1983-1994, *Atmospheric Environment*, 34, 603-609
- Jones A. M., Harrison R. M., (2005), Interpretation of particulate elemental and organic carbon concentrations at rural, urban and kerbside sites, *Atmospheric Environment*, 39, 7114–7126
- Kappos A., Bruckmann P., Eikmann T., Englert N., Heinrich U., Hoppe P., Koch E., Krause G., Kreyling W., Rauchfuss K., Rombout P., Schulz-Klemp V., Thiel W., Wichmann H., (2004), Health effects of particles in ambient air, *International journal of Hygiene and environmental health* 207, 399-407
- Kassimenos P., Kotroni V., Kallos G., (1995), Analysis of climatological and air quality observations from greater Athens area, *Atmospheric Environment* 29, 3671-3688
- Kassomenos P.A., Flocas H.A., Lykoudis S., Skouloudis A., (1998), Spatial and temporal characteristics of the relationship between air quality status and mesoscale circulation over an urban Mediterranean basin, *Science of the total environment*, 217, 37-57
- Kim Y. P., K.-C. Moon, J. H. Lee, (2000), Organic and elemental carbon in fine particles at Kosan, Korea, *Atmospheric Environment* 34, 3309-3317
- Kwangsam Na, Aniket A. Sawant, Chen Song, David R. Cocker, (2004), Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of Western Riverside County, California. *Atmospheric Environment* 38, 1345-1355
- Laschober C., Limbeck A., Rendl J. and Puxbaum H., (2004), Particulate emissions from onroad vehicles in Kaisermuhlentunnel (Vienna, Austria) *Atmospheric environment* p 2187-2195
- Li G., Zhang R., Fan J., Tie X., (2005). Impacts of black carbon aerosol on photolysis and ozone. *Journal of Geophysical Research* 110, 1029-1035

- Lioy P.J., Daisey J., (1986), Airborne toxic elements and organic substances. *Environmental Science and Technology* 20, 8-14.
- Lonati G., Giugliano M., Butelli P., Romele L., Tardivo R., (2005). Major chemical components of PM_{2.5} in Milan (Italy). *Atmospheric Environment.*, 39, 1925-1934.
- Mather T., Pyle D., (2003), Oppenheimer C. Tropospheric Volcanic Aerosol, Volcanism and the Earth's atmosphere, *Geophysical Monograph* 139
- Mavrakis A., Lykoydis S., Theoharatos G., (2004), Delimitation of the warm and cold period of the year based on the variation of the Aegean sea surface temperature, *Mediterranean Marine Science*, Vol 5/1, 159-164
- Mc Donald B and Ouyang M.(2000), Air Cleaning – Particles. Chapter 9 IN: Indoor Air Quality Handbook. Eds: Spengler JD; Samet JM and McCarthyJF. McGraw Hill. New York.
- Molnar A., Meszaros E., (2001), on the relation between the size and chemical composition of aerosol particles and their optical properties. *Atmospheric environment* 35, 5053-5058
- Passali D., Lauriello M., Mezzedimi C., Bellussi L., (1999), Nasal allergy and atmospheric pollution. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 49, 257-260
- Pearce D., Crowards T., (1996), Particulate matter and human health in the United Kingdom, *Energy Policy*, 24, 609-619
- Poschl U. (2005), Atmospheric aerosols: Composition, Transformation, Climate and health Effects, *Angewandte Chemie* 44, 7520-7540
- Proias G., Moustiris K., Larissi I., Nastos P., and Paliatsos A., (2012), Ambient PM₁₀ concentrations and the impact of wind at an urban site in central Greece, *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume 21 – No 7a., p. 1935-1941
- Pryor S. C. and Barthelmie R. J., (1996), PM₁₀ in Canada, *Science and Total Environment*, 177, 57–71
- Putaud J.-P., Raes, F., Van Dingenen, R., Brüggemann, E., Facchini, M.-C., Decesari S., Fuzzi S., Gehrig R., Hüglin C., Laj P., Lorbeer G., Maenhaut W., Mihalopoulos N., Müller K., Querol X., Rodriguez S., Schneider J., Spindler G., Ten Brink H., Tørseth K., Wiedensohler A., (2004), A European aerosol phenomenology e 2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment* 38, 2579-2595.

- Querol X., Umana J. C., Ayora C., Alastuey A., Plana F. and LopezSoler A., (2001), Extraction of major soluble impurities from fly ash on open and closed leaching systems, *Fuel*, 80(6)
- Querol X., Alastuey A, Ruiz C.R., Artiñano B., Hansson H.C., Harrison R.M, Buringh E., ten Brink H.M., Lutz M., Bruckmann P., Straehl P. and Schneider J. (2004), Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities, *Instituto do Ciencias de la Tierra del CSIC*, Barcelona, Spain
- Querol X., Viana M.M., Alastuey A., Moreno T. (2008), *Institute of Earth Sciences 'Jaume Almera' CSIC*, Barcelona, Spain
- Salma I., Chi X., Maenhaut W., (2004). Elemental and organic carbon in urban canyon and background environments in Budapest, Hungary. *Atmospheric Environment*, 38: 27-36.
- Sapkota,A., Symons, J.M., Kleissl,J., Wang,L., Parlange, M.B.,Ondov,J.,Breysse, P.N.,Diette,G.B.,Eggleston , P.A.,Buckley,T.J., (2005), Impact of the 2002 Canadian forest fires on particulate matter air quality in Baltimore City. *Environmental Science and Technology* vol.39 (1),24–32.
- Saylor R. D., Edgerton E. S., Hartsell B. E., (2006), Linear regression techniques for use in the EC tracer method of secondary organic aerosol estimation, *Atmospheric Environment*, 40, 7546–7556
- Schauer James J., Bae MinSuk, R. (2006), Estimation of the Monthly Average Ratios of Organic Mass to Organic Carbon for Fine Particulate Matter at an Urban Site, *Aerosol Science and Technology*, Volume 40, Issue 12
- Schwartz J., Dockery D., Neas L., (1996), Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles?, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46, 927-939
- Seinfeld J., (1986) Atmospheric chemistry and physics of air pollution. A wiley interscience publication, New York
- Seinfeld H. J, Pandis N. S., (2006), Atmospheric chemistry and physics, From air pollution to climate change, John Wiley & Sons, INC
- Spurny S., (1998), On the physics, chemistry and toxicology of ultrafine anthropogenic, atmospheric aerosols (UAAA): new advances. *Toxicology Letters*, 97-98, 253-261
- Tuomi T., Aarnio P., Pirjola L., Makela T., Hillamo R., Jantunen M. (2005), Emissions of fine particles, NOx, and CO from onroad vehicles in Finland, *Atmospheric Environment* 39, 6696-6706.

- Turpin B. J., Huntzicker J. J., (1991), Secondary formation of organic aerosol in the Los Angeles basin: A descriptive analysis of organic and elemental carbon concentrations, *Atmospheric Environment* Vol. 25A, No. 2, pp. 207-215
- Turpin B., Saxena P., Andrews E., Measuring and simulating particulate organics in the atmosphere: problems and prospects, (2000), *Atmospheric Environment* 34 , 2983-3013
- U.S. EPA (2004), Air Quality Criteria for Particulate Matter, Vol. 1, U.S. environmental protection agency, Washington D.C.
- ViM., W., ten Brink H.M., X., Weijers E., Querol X., A., P. and Večeřa Z., (2007), Comparative analysis of organic and elemental carbon concentrations in carbonaceous aerosols in three European cities, *Atmospheric Environment*, 41, Pages 5972–5983
- Whitby K. T., (1978), The physical characteristics of sulfur aerosols, *Atmospheric Environment* 12, 135-159
- Wolff G. T., Ruthkosky M. S., Stroup D. P., and Korsog P. E., (1991), A characterization of the principal PM-10 species in Claremont (summer) and Long Beach (fall) during SCAQS, *Atmospheric Environment*. 25A, 2173-2186.
- WHO Regional Office for Europe, (2000), Air Quality Guidelines - Second Edition, Chapter 7.3 Particulate matter, Copenhagen, Denmark
- WHO (2003), World Health Organisation, report: Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, Bonn, Germany
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf
- World Health Organization – Europe (WHO), 2005, Air Quality Guidelines, Global Update 2005, Copenhagen , Denmark, p. 26-29
- World Health Organization, (2006), Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution, Denmark, p. 11-16
- Xia Lili and Gao Yuan (2011), Characterization of trace elements in PM_{2.5} aerosols in the vicinity of highways in northeast New Jersey in the U.S. east coast, Department of Earth and Environmental Sciences, Rutgers University, Newark, NJ 07102 US
- Yu J.Z., Tung J.W.T., Wu A.W.M., Lau A.K.H., Louie P.K.K., Fung J.C.H., (2004), Abundance and seasonal characteristics of elemental and organic carbon in Hong Kong PM₁₀. *Atmospheric Environment* 38, 1511-1521.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://www.epa.gov/pm/basic.html>

<http://www.ypeka.gr>

<http://penteli.meteo.gr/stations/volos/>.