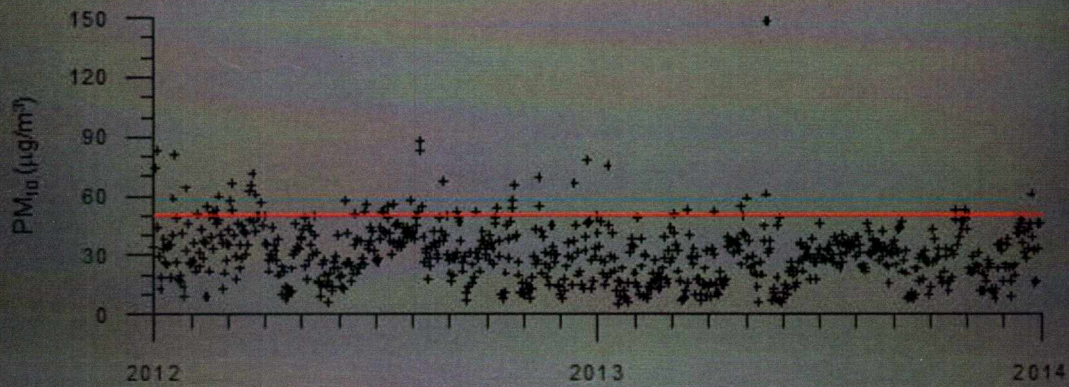


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ,
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 2012-2013»



Αδάμ Δημήτριος

Επιβλέπων καθηγητής: Κούγκολος Αθανάσιος

Βόλος, Οκτώβριος 2014

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 131671
Ημερ. Εισ.: 07-10-2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΧΠΠΑ
2014
ΑΔΑ

ΠΤ - ΜΧΠΠΑ
2014
ΑΔΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	10
1.1. Ορισμός	10
1.2. Ιστορική αναδρομή	10
2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	13
2.1. Ορισμός	13
2.2. Ιστορική αναδρομή	13
3. ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ	17
3.1. Οξείδια του αζώτου	17
3.1.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής	17
3.1.2. Επιπτώσεις στην υγεία	17
3.1.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον	18
3.1.4. Επιπτώσεις στα υλικά	18
3.2. Οξείδια του θείου	18
3.2.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής	18
3.2.2. Επιπτώσεις στην υγεία	19
3.2.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον	19
3.2.4. Επιπτώσεις στα υλικά	19
3.3. Μονοξείδιο του άνθρακα	20
3.3.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής	20
3.3.2. Επιπτώσεις στην υγεία	20
3.4. Όζον	21
3.4.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής	21
3.4.2. Επιπτώσεις στην υγεία	21
3.4.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον	22

3.4.4.	Επιπτώσεις στα υλικά.....	22
3.5.	Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις.....	23
3.5.1.	Περιγραφή – Πηγές εκπομπής.....	23
3.5.2.	Επιπτώσεις στην υγεία.....	24
3.5.3.	Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον	26
3.6.	Διοξείδιο του άνθρακα	26
3.6.1.	Περιγραφή – Πηγές εκπομπής.....	26
3.6.2.	Επιπτώσεις στην υγεία.....	27
3.6.3.	Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον	27
4.	ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	28
4.1.	Φωτοχημικό νέφος	28
4.1.1.	Ορισμός - Περιγραφή.....	28
4.1.2.	Επιπτώσεις στην υγεία, στο φυσικό περιβάλλον και στα υλικά.....	28
4.2.	Όξινη βροχή	29
4.2.1.	Ορισμός - Περιγραφή.....	29
4.2.2.	Επιπτώσεις στην υγεία, στο φυσικό περιβάλλον και στα υλικά.....	29
4.3.	Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	30
4.3.1.	Ορισμός - Περιγραφή.....	30
4.4.	Η τρύπα του όζοντος.....	31
5.	ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	32
5.1.	Ορισμός.....	32
5.2.	Κατηγοριοποίηση αιωρούμενων σωματιδίων	32
5.2.1.	Κατηγοριοποίηση με βάση χωρική προέλευση των αιωρούμενων σωματιδίων.....	32
5.2.2.	Κατηγοριοποίηση με βάση τον μηχανισμό σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων	33
5.2.3.	Κατηγοριοποίηση με βάση τη διάμετρο των αιωρούμενων σωματιδίων	33
5.2.4.	Κατηγοριοποίηση με βάση τη φυσική κατάσταση	35
5.2.5.	Κατηγοριοποίηση με βάση τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό	36
5.3.	Χημική σύσταση των σωματιδίων	37
5.4.	Πηγες Αιωρούμενων σωματιδίων	41
5.5.	Μηχανισμοί σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων	42
5.6.	Χρόνοι παραμονής στην ατμόσφαιρα, ταχύτητα πτώσης και μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων.....	43
5.6.1.	Ταχύτητα πτώσης	43

5.6.2. Μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων.....	44
5.7. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων.....	47
5.7.1. Επιπτώσεις στην υγεία.....	47
5.7.2. Επιπτώσεις στη βλάστηση	48
5.7.3. Επιπτώσεις στα υλικά.....	50
5.7.4. Επιπτώσεις στην ορατότητα	51
5.7.5. Επιπτώσεις στο κλίμα.....	52
6. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	55
6.1. Διεθνείς Συμβάσεις	55
6.2. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.....	57
6.3. Ελληνική Νομοθεσία.....	60
6.4. Πρότυπα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας για τα Αιωρούμενα Σωματίδια.....	61
7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ.....	64
7.1. Χωρική οργάνωση της περιοχής	64
7.1.1. Χωροταξική θεώρηση ευρύτερης περιοχής.....	64
7.1.2. Χωροταξική θεώρηση περιοχής μελέτης	66
7.2. Κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχής	68
7.3. Ατμοσφαιρική ρύπανση και κύριες πηγές ρύπανσης	68
7.4. Η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην πόλη της Κοζάνης.....	69
7.4.1. Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων	69
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.2: Σύσταση του ξηρού αέρα (Ζάνης, 2008).....	11
Πίνακας 2.2: Σοβαρά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης με σημαντικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία (Ζάνης, 2008).....	15
Πίνακας 3.5.1: Κατηγοριοποίηση υδρογονανθράκων (Γεντεκάκης, 2010).....	23
Πίνακας 3.5.2: Επιδράσεις της φορμαλδεΐδης στην υγεία του ανθρώπου (Καραθανάσης, 2006).....	25
Πίνακας 5.3.(1): Οργανικές ενώσεις στα ατμοσφαιρικά σωματίδια σε αστικές περιοχές (Καραθανάσης, 2006).....	37
Πίνακας 5.3.(2): Στοιχεία για λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα σωματίδια (Καραθανάσης, 2006).....	41
Πίνακας 5.4: Ανάλυση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων (Καραθανάσης, 2006).....	42
Πίνακας 5.7.1: Ικανότητα διείσδυσης αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα με βάση τη διάμετρό τους (Ρεμουντάκη, 2012).....	48
Πίνακας 6.4 (1): Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM ₁₀ (Οδηγία 2008/50/ΕΚ).....	62
Πίνακας 6.4 (2): Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM _{2.5} (Οδηγία 2008/50/ΕΚ).....	63
Πίνακας 7.1.1: Παραγωγική ικανότητα ΑΗΣ Δυτικής Μακεδονίας (http://www.dei.gr/Default.aspx?id=899&nt=18&lang=1).....	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 5.2.3:** Κατανομή του όγκου των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθός τους και τον τρόπο σχηματισμού τους (US EPA, 2004 και Παπαζάχου, 2012).....35
- Σχήμα 5.2.4:** Διεισδυτικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό (Διαπούλη, 2008).....36
- Σχήμα 5.6.1:** Ταχύτητα πτώσης αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τη διάμετρο τους (Αιωρούμενα σωματίδια σφαιρικά πυκνότητας 1g/cm. Ατμόσφαιρα ήρεμη, θερμοκρασία 0°C, πίεση 760 mmHg) (Χαμουλάκης 2012).....44
- Σχήμα 5.7.4:** Μείωση της ορατότητας εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων (Χαμουλάκης, 2012).....52
- Σχήμα 7.2:** Ροδογράμματα ανέμου στη διάρκεια της περιόδου 1990-1994 στο σταθμό του ΤΕΙ Κοζάνης για τις τέσσερις εποχές του έτους (Triantafyllou, 2001)..... 68

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 5.7.3:** Διάβρωση μεταλλικής επιφάνειας ψευδαργύρου σε 80% σχετική υγρασία (μήκος σημαδιού 25μm). Μη ρυπασμένη επιφάνεια (αριστερά), ρυπασμένη επιφάνεια από ιπτάμενη τέφρα (δεξιά) (Askey et al., 1993).....50
- Εικόνα 5.7.5:** Μέση αντανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας από τα νέφη της ατμόσφαιρας κατά την περίοδο Μαρτίου- Μαΐου 1997 (Kaufman et al., 2002).....53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

- Χάρτης 7.1.1:** Χωροταξική θεώρηση ευρύτερης περιοχής.....65
- Χάρτης 7.1.2:** Τοποθεσία σταθμού μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

- Γράφημα 7.4.1.** Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM_{10} στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013. Η οριζόντια γραμμή στη μέση ημερήσια οριακή τιμή ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).....69
- Γράφημα 7.4.2.** Ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.....70
- Γράφημα 7.4.3.** Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2012-2013. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).....71
- Γράφημα 7.4.4.** Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.....71
- Γράφημα 7.4.5.** Ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$ στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.....72
- Γράφημα 7.4.6.** Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013. Η οριζόντια γραμμή απεικονίζει την ετήσια τιμή στόχο ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).....72
- Γράφημα 7.4.7.** Διαχρονική εξέλιξη των ημερήσιων τιμών του λόγου $PM_{2.5}/PM_{10}$ στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.....73

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «Χρονοσειρές συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων για την αστική περιοχή της Κοζάνης για τα έτη 2012-2013» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της φοίτησής μου στο τμήμα Μηχανικών χωροταξίας πολεοδομίας και περιφερειακής ανάπτυξης κατά τα έτη 2008-2014.

Η ολοκλήρωση της θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη και βοήθεια των κ. Γεωργίου Πρώια και του καθηγητή μου κ. Αθανασίου Κούγκολου τους οποίους ευχαριστώ θερμά για το χρόνο και την προθυμία που μου προσέφεραν. Επίσης χρωστώ ένα μεγάλο ευχαριστώ στον διδάκτορα κ. Ευαγγελόπουλο Βασίλειο για το πολύτιμο υλικό και τα στοιχεία που μου παραχώρησε σχετικά με μετρήσεις που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση της Κοζάνης. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υλική και ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια και στους οποίους οφείλω όλη την διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί σύνθετο δυναμικό πρόβλημα, εξαρτώμενο από πολλές αλληλοσχετιζόμενες παραμέτρους. Η βιομηχανική ανάπτυξη, η εξέλιξη των πόλεων, η αύξηση του πληθυσμού με την συνεπαγόμενη αύξηση της αστικής δραστηριότητας, της κυκλοφορίας, κ.λπ., επιβάλλει την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, ακόμα και σε μικρότερες πόλεις.

Το πρόβλημα αυτό γίνεται πολύπλοκο όταν αφορά περιοχές όπου συνυπάρχουν αστική και βιομηχανική δραστηριότητα όπως η περιοχή του νομού Κοζάνης. Ο νομός Κοζάνης αποτελεί την ενεργειακή καρδιά της χώρας. Στην ευρύτερη περιοχή της περιφερειακής ενότητας λειτουργούν τρεις αμοιηλεκτρικοί σταθμοί παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν σαν καύσιμη ύλη τον λιγνίτη. Έκτος από αυτό, η λειτουργία της τηλεθέρμανσης, το οδικό δίκτυο στο εσωτερικό των πόλεων, η εξέλιξη του κυκλοφοριακού, καθώς και η ύπαρξη λιγνιτωρυχείων επιβάλλουν την αξιολόγηση και συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή. Στην παρούσα εργασία αναλύονται οι μετρήσεις των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP), των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM₁₀) και των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm (PM_{2,5}) κατά την διάρκεια των ετών 2012 και 2013 στην πόλη της Κοζάνης. Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ένα σύνθετο ρύπο της ατμόσφαιρας και συνιστούν κίνδυνο τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το περιβάλλον.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

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

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση και πραγματοποιείται και μια μικρή ιστορική ανασκόπηση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Αναλύονται οι διαστάσεις που μπορεί να έχει η ατμοσφαιρική ρύπανση, γίνεται περιγραφή

του κάθε ρύπου καθώς και ανάλυση των επιπτώσεων του στο περιβάλλον, στην υγεία των ανθρώπων και στα υλικά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα σημαντικά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Πραγματοποιείται η κατηγοριοποίησή τους, δίνεται ο ορισμός τους και οι συνέπειες στην υγεία, στο φυσικό περιβάλλον και στα υλικά.

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

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του νομοθετικού πλαισίου που αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα αιωρούμενα σωματίδια σε επίπεδο Ελλάδας και Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης παρουσιάζονται τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας για τα αιωρούμενα σωματίδια όπως αυτά έχουν θεσπιστεί από την Ε.Ε.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της περίπτωσης της πόλης της Κοζάνης. Περιγράφονται η χωροταξική θέση της πόλης, τα κλιματικά χαρακτηριστικά και οι πηγές ρύπανσης. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των μετρήσεων.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και η γενικότερη αποτίμηση της ρύπανσης στην πόλη της Κοζάνης.

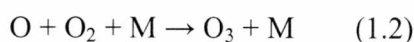
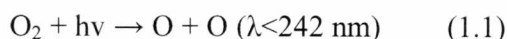
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

1.1. Ορισμός

Ατμόσφαιρα θεωρείται το μίγμα των αερίων που περικλείουν τη γη με τη μορφή λεπτού στρώματος. Η σύσταση και η πυκνότητα του μίγματος αυτού μεταβάλλεται με το ύψος. Το ίδιο συμβαίνει και με τη θερμοκρασία (Κούγκολος, 2007). Αν και εκτείνεται μέχρι αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα πάνω από τη γη, εντούτοις το 99% σχεδόν του ατμοσφαιρικού αέρα βρίσκεται στα πρώτα 40 Km.

1.2. Ιστορική αναδρομή

Η ατμόσφαιρα της Γης σχηματίστηκε πριν από 4 έως 6 δισεκατομμύρια χρόνια όταν ο πλανήτης ξεκίνησε να ψύχεται και να σχηματίζεται ο στερεός φλοιός του. Ωστόσο η σύσταση εκείνης της ατμόσφαιρας διέφερε κατά πολύ με την σημερινή καθώς αποτελούνται από υδρογόνο (H) και ήλιο (He). Με το πέρασμα του χρόνου και με την έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα παρήχθησαν νέα στοιχεία όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), άζωτο (N) και υδρατμοί (H₂O), όπου οι τελευταίοι με την βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας διαχωρίζονταν σε υδρογόνο και οξυγόνο. Η συγκέντρωση του οξυγόνου αυξάνονταν σταδιακά μέχρις ότου έφτασε στο σημείο, 2-3 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, να μπορεί να υποστηρίξει τους πρώτους φυτικούς οργανισμούς. Αυτοί με τη σειρά τους συνέχισαν να παράγουν οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ανώτερες φυτικές μορφές και η περιεκτικότητά της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο 1 δισεκατομμύριο χρόνια πριν να είναι η ίδια με τη σημερινή. Το όζον με τη σειρά του δημιουργήθηκε από την επίδραση της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στο οξυγόνο διαμέσου των αντιδράσεων:



Η ατμόσφαιρα απέκτησε την σημερινή της σύσταση 500 εκατομμύρια χρόνια πριν και από τότε έχει παρουσιάσει ασήμαντες μεταβολές (Ζάνης, 2008).

Στον Πίνακα 1.1 δίδεται η σύσταση του αέρα κάτω των 80km.

Πίνακας 1.2: Σύσταση του ξηρού αέρα (Ζάνης, 2008)

Αέριο	Σύμβολο	% κ.ο.	ppm
Άζωτο	N	78.09	
Οξυγόνο	O	20.94	
Αργό	Ar	0.93	
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	0.032	
Νέο	Ne		18
Ήλιο	He		5.2
Μεθάνιο	CH ₄		1.5
Κρυπτό	Kr		1
Υποξείδιο του αζώτου	N ₂ O		0.5
Υδρογόνο	H ₂		0.5
Ξένο	Xe		0.08
Όζον	O ₃		0.01-0.04

Κάθε αέριο που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, που δεν υπάρχει στον Πίνακα 1.1 ή που η περιεκτικότητά του είναι μεγαλύτερη από αυτή που εμφανίζεται στον Πίνακα 1.1, θεωρείται *ατμοσφαιρικός ρύπος*. Επίσης, ρύποι μπορεί να είναι στερεά ή υγρά (εκτός του καθαρού ύδατος) αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

Η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε στρώματα με βάση την αλλαγή της θερμοκρασίας. Τα στρώματα είναι κατά σειρά τροπόσφαιρα, στρατόσφαιρα, μεσόσφαιρα, θερμόσφαιρα, εξώσφαιρα, ωστόσο τα δυο πρώτα είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις δραστηριότητες των ανθρώπων.

Τροπόσφαιρα: Είναι το στρώμα αέρα από την επιφάνεια της γης μέχρι το ύψος των 12±4km (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου). Το ύψος της τροπόσφαιρας είναι μεγαλύτερο στο Ισημερινό και μικρότερο στους πόλους. Η τροπόσφαιρα χαρακτηρίζεται από την βαθμιαία ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος (Κούγκολος, 2007).

Στρατόσφαιρα: Αρχίζει από την τροπόπαυση και φθάνει στο ύψος των 45-55km. Στα πρώτα χιλιόμετρα πάνω από την τροπόπαυση η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Κατόπιν η θερμοκρασία αυξάνει συνεχώς μέχρι την στρατόπαυση και φθάνει στους 0°C περίπου. Η

Αδάμ Δημήτριος

αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στο στρώμα του όζοντος, το οποίο υπάρχει στο ύψος των 25-30km (Κούγκολος, 2007).

2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΉ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1. Ορισμός

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), ως ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα ουσιών (ρύπων) για αρκετό χρονικό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση, ώστε να είναι δυνατόν να είναι βλαβερές για τους ζωντανούς οργανισμούς (ανθρώπους, ζώα, φυτά), τις υλικές κατασκευές, ή ακόμα να επηρεάζουν δυσμενώς τις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπου. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε πέντε κατηγορίες:

- Φαινόμενα με παγκόσμια διάσταση π.χ., η τρύπα του όζοντος
- Φαινόμενα με διεθνείς-διακρατικές διαστάσεις π.χ. όξινη βροχή
- Φαινόμενα με τοπικές-περιφερειακές διαστάσεις π.χ. καπνομίχλη
- Ρύπανση εργασιακού χώρου
- Ρύπανση οικιακού χώρου (Κούγκολος, 2007).

Ωστόσο ο Γεντεκάκης (2010) προτείνει και μια εναλλακτική κλίμακα έκτασης επιρροής η οποία κατηγοριοποιείται ως εξής:

- Μικροκλίμακα (microscale): αφορά ρύπους των οποίων η έκταση επιρροής φτάνει από 0 έως 100m
- Μεσοκλίμακα (mesoscale): περιλαμβάνει φαινόμενα η έκταση των οποίων φτάνει από μερικές δεκάδες χιλιόμετρα σε μερικές εκατοντάδες
- Συνοπτική κλίμακα (synoptic scale): περιλαμβάνει φαινόμενα η έκταση των οποίων φτάνει από εκατοντάδες έως χιλιάδες χιλιόμετρα
- Παγκόσμια κλίμακα (global scale): περιλαμβάνει φαινόμενα που διαδραματίζονται σε ακτίνα που υπερβαίνει τα 5×10^3 km.

2.2. Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ξεκινάει πολλά χρόνια πίσω από τους πρωτόγονους ανθρώπους οι οποίοι αναγκάζονταν να μετακινηθούν λόγω της δυσσομίας και της ρύπανσης του περιβάλλοντα χώρου. Με την ανακάλυψη της φωτιάς το πρόβλημα οξύνθηκε αφού προϊόντα ατελούς καύσης δεν απομακρύνονταν από εσωτερικούς χώρους οδηγώντας έτσι στην εφεύρεση της καμινάδας. Ωστόσο σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπως αρχαίες πόλεις (Αρχαία Ελλάδα - Ρώμη) λόγω του μεγάλου αριθμού καμινάδων η

ατμόσφαιρα ήταν καπνώδης. Η κατάσταση παρέμενε σταθερή για πολλούς αιώνες χωρίς να υπάρξουν μέτρα μείωσης ή ελέγχου της ρύπανσης, με εξαίρεση το Λονδίνο το 1661 όπου λόγω της έντονης ρύπανσης εκδόθηκε οδηγία για την απαγόρευση της καύσης άνθρακα σε ασβεστοκάμινους. Κατά τον 19^ο αιώνα λόγω της βιομηχανικής επανάστασης το πρόβλημα άρχισε να παίρνει τρομακτικές διαστάσεις εξαιτίας της έντονη χρήσης κάρβουνου για την παραγωγή ενέργειας. Το βασικό πρόβλημα της αέριας ρύπανσης ήταν ο καπνός και η στάχτη από την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου. Στην Αγγλία όπου και το πρόβλημα ήταν σοβαρό υπήρξαν οδηγίες και μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης το 1848, 1866, 1875. Στις αρχές του 20^ο αιώνα το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνέχιζε να αυξάνεται. Σημαντική αλλαγή ωστόσο είναι η αντικατάσταση της ατμομηχανής με τον ηλεκτροκινητήρα απομακρύνοντας έτσι πηγές ρύπανσης από την πόλη στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης μια άλλη αλλαγή στην πρώτη περίοδο του 20^{ου} αιώνα ήταν η αντικατάσταση του λιγνίτη από το πετρέλαιο και η εμφάνιση των αυτοκινήτων. Κατά την περίοδο 1925-1950 εμφανίζονται σοβαρά περιστατικά ατμοσφαιρικής ρύπανσης και δίνουν το έναυσμα στην επιστημονική κοινότητα για την μελέτη του φαινομένου. Αυτή την περίοδο υπήρξαν περιστατικά στο Βέλγιο (Meuse Valley, 1930) με 63 νεκρούς, στις ΗΠΑ (Donora Pennsylvania, 1948) με 20 νεκρούς, στο Μεξικό (Poza Rica, 1950) όμως το πιο σοβαρό ήταν στις ΗΠΑ (Los Angeles) στη δεκαετία του 1940 όπου έχουμε εμφάνιση φωτοχημικού νέφους (Ζάνης, 2008).

Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007) η φωτοχημική ρύπανση χαρακτηρίζεται από δευτερογενής ρύπους. Οι ρύποι αυτοί είναι το επιφανειακό (τροποσφαιρικό) όζον, το PAN (νιτρικό υπεροξυακετύλιο), οι αλδεΐδες, το διοξείδιο του αζώτου κ.λπ. Οι συγκεκριμένοι ρύποι παράγονται ύστερα από φωτοχημικές διαδικασίες πάνω σε πρωτογενής ρύπους που εκπέμπονται κυρίως από την κυκλοφορία και τα εργοστάσια. Τέτοιοι ρύποι είναι το μονοξείδιο-διοξείδιο του αζώτου και μονοξείδιο του άνθρακα (Κούγκολος, 2007).

Την περίοδο 1950-1980 σημειώθηκε ένα σοβαρό περιστατικό καπνομίχλης στο Λονδίνο (1952) σκοτώνοντας 4000 άτομα. Αυτό προήρθε από υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου και καπνού. Μετά το 1980 παρατηρείται μια εκθετική αύξηση του ενδιαφέροντος της επιστημονικής κοινότητας για την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Σε αυτήν την περίοδο το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μελετήθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο διαχωρίζοντάς το σε τρεις κατηγορίες.

Αδάμ Δημήτριος

- το φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω CO₂ και άλλων αερίων με μεγάλο χρόνο ζωής
- την καταστροφή όζοντος στην στρατόσφαιρα λόγω αλογονούχων ενώσεων και
- την περιφερειακή, διακρατική και διηπειρωτική μεταφορά αέριων ρύπων (όξινη βροχή, αύξηση του υποβάθρου τροποσφαιρικού όζοντος σε ημισφαιρική κλίμακα)

Τέλος αυτήν την περίοδο είχαμε και τις πρώτες συμφωνίες κρατών όπως το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για την αντιμετώπιση της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος και το Πρωτόκολλο του Κιότο για την αντιμετώπιση της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (Ζάνης, 2008).

Πίνακας 2.2: Σοβαρά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης με σημαντικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία (Ζάνης, 2008).

Χρονολογία	Τοποθεσία	Προκαλούμενοι θάνατοι	Ασθενήσαντες
Δεκέμβρης 1930	Βέλγιο (Muese Valley)	63	6000
Οκτώβρης 1948	Donora, Pa	20	6000
26-30 Νοεμ. 1948	Λονδίνο	700-800	Δεν υπάρχουν στοιχεία
21 Νοεμ. 1950	Μέξικο (Poza Rica)	22	320
5-9 Δεκ. 1952	Λονδίνο	4000	Δεν υπάρχουν στοιχεία
Νοέμβρης 1953	Νέα Υόρκη, πολιτεία	Δεν υπάρχουν στοιχεία	Δεν υπάρχουν στοιχεία
3-6 Ιαν. 1956	Λονδίνο	1000	Δεν υπάρχουν στοιχεία
5-10 Δεκ. 1957	Λονδίνο	700-800	Δεν υπάρχουν στοιχεία
26-31 Ιαν. 1959	Λονδίνο	200-250	Δεν υπάρχουν στοιχεία
5-10 Δεκ 1962	Λονδίνο	700	Δεν υπάρχουν στοιχεία
7-22 Ιαν. 1963	Λονδίνο	700	Δεν υπάρχουν στοιχεία
9 Ιαν. - 12 Φεβ. 1963	Νέα Υόρκη, πολιτεία	200-400	Δεν υπάρχουν στοιχεία
23-25 Νοεμ. 1966	Νέα Υόρκη, πολιτεία	Δεν υπάρχουν στοιχεία	Δεν υπάρχουν στοιχεία
24-30 Νοεμ. 1966	Νέα Υόρκη, Πόλη	168	Δεν υπάρχουν στοιχεία

Πηγές ρύπανσης ονομάζονται τα μέρη στα οποία παράγονται ρύποι. Οι πηγές μπορεί να είναι φυσικές (π.χ. ηφαίστειο), ή ανθρωπογενείς (π.χ. η καμινάδα ενός εργοστασίου), σημειακές ή μη.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι από πλευράς τρόπου παράγωγης διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς ρύποι λέγονται οι ουσίες που εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα πρωτογενών ρύπων είναι το CO, το NO, το SO₂ κ.ά. (Κούγκολος, 2007).

Δευτερογενείς καλούνται οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς, με χημικές αντιδράσεις (Κούγκολος, 2007). Παράγονται από πολύπλοκες αντιδράσεις μεταξύ οξειδίων του αζώτου, οξυγόνου και υδρογονανθράκων με την επίδραση του ηλιακού φωτός και είναι το επιφανειακό όζον, τα οξείδια του αζώτου, οι διάφορες αλδεύδες και κετόνες, πολύπλοκα προϊόντα γνωστά ως PAN (νιτρικά υπεροξυακετύλια) πολλά από τα οποία είναι καρκινογόνα. Δευτερογενείς ρύποι θεωρούνται επίσης τα προϊόντα οξειδώσεως των πρωτογενών που περιέχουν θείο (τριοξείδιο του θείου, θειικό οξύ, θειικά άλατα).

Κάθε αέριος ρύπος χαρακτηρίζεται από το χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα ή την ημιπερίοδο ζωής η οποία εξαρτάται από το ρυθμό παραγωγής η καταστροφής του και από την συνολική του κατά μέσο όρο μάζα αυτού στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα μετράται σε mg/m^3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ppm (cm^3/m^3), %, v/v (Κούγκολος, 2007).

3. ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ

3.1. Οξειδία του αζώτου

3.1.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής

Ο όρος οξειδία του αζώτου περιλαμβάνει μια ποικιλία ενώσεων όπως το μονοξείδιο του αζωτούχο), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το διαζωτοξείδιο (N_2O) και άλλες ενώσεις του αζώτου όπως η αμμωνία (NH_3). Ωστόσο οι δυο πρώτες ενώσεις αποτελούν σημαντικούς ρύπους καθώς συμβάλουν στην δημιουργία φωτοχημικού νέφους. Το άζωτο όπως έχει αναφερθεί είναι το κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας με συγκέντρωση 78%. Οι πηγές εκπομπής των ρύπων αυτών είναι κυρίως οι μηχανές εσωτερικής καύσης (π.χ. αυτοκίνητα) και όλοι κλίβανοι στους οποίους καίγονται ορυκτά καύσιμα, το προϊόν της καύσης είναι το μονοξείδιο του αζώτου. Η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που παράγεται είναι ανάλογη με την θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η καύση. Όσο μεγαλύτερη θερμοκρασία τόσο μεγαλύτερη ποσότητα μονοξειδίου του αζώτου. Το διοξείδιο του αζώτου είναι κυρίως δευτερογενής ρύπος και παράγεται στην ατμόσφαιρα με την περαιτέρω οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου. (Καραθανάσης, 2006). Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά τους το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο, άχρωμο και άοσμο, ενώ το διοξείδιο του αζώτου είναι ερυθροκαστανό με δριμεία οσμή (Κούγκολος, 2007).

3.1.2. Επιπτώσεις στην υγεία

Η παρουσία των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα σχετίζεται με μεγάλο αριθμό αναπνευστικών ασθενειών. Το NO προκαλεί παράλυση και σπασμούς του νευρικού συστήματος ωστόσο δεν είναι τόσο επικίνδυνο όσο το διοξείδιο του αζώτου το οποίο σε έκθεση μικρής διάρκειας μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργίες της αναπνευστικής ανταπόκρισης και αύξηση των ποσοστών εμφάνισης αναπνευστικών νόσων, όπως το παιδικό άσθμα (5-12 ετών). Το διοξείδιο του αζώτου δρα στους πνεύμονες, αντιδρά με τους υδρατμούς των βρόγχων και των κυψελίδων ερεθίζοντας τους πνεύμονα, δυσχεραίνοντας την αναπνοή και προκαλεί πνευμονικό οίδημα. Από μελέτες φαίνεται ότι τα οξειδία του αζώτου ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την εμφάνιση οξείας βρογχίτιδας σε νήπια και παιδιά προσχολικής ηλικίας. Τέτοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί σε μεγάλης διάρκειας έκθεσης σε υψηλές τιμές συγκεντρώσεων. Παρατεταμένη έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις NO_2 μπορεί να οδηγήσει και στον θάνατο (Καραθανάσης, 2006).

3.1.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

Τα οξείδια του αζώτου προκαλούν μεγάλα προβλήματα στο περιβάλλον. Μια από τις επιδράσεις των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα έγκειται στην καταστροφή της οζονόσφαιρας. Το όζον προστατεύει τους ζώντες οργανισμούς από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. ωστόσο τα οξείδια του αζώτου συμμετέχουν στην διαδικασία λέπτυνσης του συγκεκριμένου στρώματος. Η λέπτυνση της οζονόσφαιρας επιτρέπει σε μεγαλύτερα ποσά υπεριώδους ακτινοβολία να φθάσει στην επιφάνεια της Γης, προκαλώντας ζημιές τόσο στα φυτά (ιδιαίτερα στα καλλιεργούμενα), τις υδρόβιες μορφές ζωής και τον άνθρωπο.

Επίσης τα NO_x εμποδίζουν την ανάπτυξη των φυτών. Εάν απορροφηθεί μεγάλη ποσότητα διοξειδίου του αζώτου σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, εμφανίζονται οξείες επιδράσεις όπως νέκρωση και βλάβη των βιολογικών μεμβρανών και των χλωροπλαστών. Γενικά οποιαδήποτε μεταβολή στην ποσότητα του αζώτου που εναποτίθεται στα οικοσυστήματα μπορεί να προκαλέσει αλλαγές. Μεγάλη ποσότητα αζώτου προκαλεί ευτροφισμό και ελάττωση του pH των υδάτων. Αν συνεχιστεί τότε υπάρχει πιθανότητα μόλυνσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων αφού το οικοσύστημα δεν θα μπορεί να αφομοιώσει όλη την ποσότητα του αζώτου. Τέλος τα NO_x είναι ένα από τα κύρια συστατικά για τη δημιουργία όξινης βροχής.

3.1.4. Επιπτώσεις στα υλικά

Η έκθεση υφασμάτων και υφαντικών υλών σε οξείδια του αζώτου φαίνεται ότι επηρεάζει την αντοχή των υφαντικών ινών και προκαλεί το κιτρίνισμά τους. Για το σκοπό αυτό η βιομηχανία υφαντικών υλών έχει καταβάλει προσπάθειες κατασκευής υφασμάτων πιο ανθεκτικών σε παρόμοιες εκθέσεις.

3.2. Οξείδια του θείου

3.2.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής

Οι ενώσεις του θείου αποτελούν το πιο σοβαρό πρόβλημα ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι κύριες ενώσεις του θείου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα είναι το διοξείδιο του θείου, τριοξείδιο του θείου, το θειικό οξύ και το υδρόθειο. Τα ¾ της ετήσιας εκπομπής θείου στην ατμόσφαιρα προέρχεται από φυσικές πηγές όπως είναι τα ηφαίστεια και μόνο το ¼ προέρχεται από ανθρωπινή δραστηριότητα. Το 90% των ανθρωπίνων εκπομπών θείου αφορά το διοξείδιο του θείου και προέρχεται κατά 60% από τις καύσεις κάρβουνου και 30% από

κάυσεις πετρελαίου και το υπόλοιπο 10% από άλλες διεργασίες. Το SO₂ είναι αέριο άχρωμο με δυσάρεστη και πνιγηρή οσμή και αποτελεί τον κύριο ρύπο των αστικών κέντρων. Το SO₂ μπορεί να οξειδωθεί περαιτέρω σε ξηρή ατμόσφαιρα σε τριοξείδιο του θείου (SO₃) και αυτό με τη σειρά του να μετατραπεί σε θειικό οξύ (H₂SO₄) το οποίο αποτελεί κύριο συστατικό της όξινης βροχής. Αντίθετα σε ατμοσφαιρικές συνθήκες υψηλής υγρασία παράγει θειώδες οξύ.

3.2.2. Επιπτώσεις στην υγεία

Οι κυριότερες επιπτώσεις του SO₂ στην υγεία προκαλούνται από υψηλές συγκεντρώσεις. Οι συνέπειες αυτές είναι ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, μείωση της άμυνας των πνευμόνων, και επιδείνωση υπαρχόντων καρδιαγγειακών ασθενειών. Το διοξείδιο του θείου σε συνδυασμό με τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλεί προβλήματα κυρίως στην βλεννογόνο των ματιών και στις ανώτερες αναπνευστικές οδούς. Δεν έχει μεγάλη διεισδυτικότητα στο αναπνευστικό σύστημα λόγω του ότι είναι υδατοδιαλυτό. Η διεισδυτικότητα του SO₂ είναι ανάλογη με την συγκέντρωση του και το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων.

3.2.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

Όσον αφορά τις επιπτώσεις του διοξειδίου θείου στο περιβάλλον είναι σοβαρές και επικίνδυνες. Όπως έχει αναφερθεί το θείο σχηματίζει θειικό οξύ στην ατμόσφαιρα το οποίο αποτελεί τον κύριο παράγοντα εμφάνισης όξινης βροχής. Το pH της βροχής είναι περίπου 5.6 ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις λόγω της ύπαρξης NO_x και SO_x πέφτει ακόμα και στο 4.0. Οι επιπτώσεις της όξινης βροχής εντοπίζονται τόσο στα χερσαία όσο και στα υδάτινα οικοσυστήματα καθώς και σε διάφορα υλικά. Επίσης το διοξείδιο του θείου σε υψηλές συγκεντρώσεις επιβραδύνει την φωτοσύνθεση των φυτών με συνέπεια το κιτρίνισμα ή την νέκρωση του φυτού. Σε υψηλές συγκεντρώσεις SO₂ τα φυτά χάνουν την δυνατότητα που έχουν να κλείνουν τα στόματα των φύλλων τους με αποτέλεσμα να εξατμίζεται πολύ γρήγορα το νερό που κατακρατούν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα φυτά να μην αντέχουν στην ξηρασία και στη συνέχεια εμφανίζεται η χλόρωση και η νέκρωση ορισμένων περιοχών στα φύλλα.

3.2.4. Επιπτώσεις στα υλικά

Οι επιπτώσεις των οξειδίων του θείου στα υλικά περιορίζονται κυρίως στις καταστροφές που προκαλεί η όξινη βροχή ή αλλιώς εναπόθεση. Τα θειικά ιόντα της όξινης

βροχής μετατρέπουν στον ασβεστόλιθο (CaCO_3) σε γύψο (CaSO_4) προκαλώντας έτσι μη αναστρέψιμες ζημιές σε αρχιτεκτονικά μνημεία.

3.3. Μονοξειδίο του άνθρακα

3.3.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής

Το μονοξειδίο του άνθρακα είναι αέριο άχρωμο, άγευστο και άοσμο. Παράγεται τόσο από ανθρωπογενής όσο και από φυσικές πηγές από την ατελή καύση του άνθρακα ή οργανικών ενώσεων. Οι φυσικές πηγές μπορεί να είναι ηφαίστεια, πυρκαγιές δασών και διάφορες βακτηρίασης δράσεις ενώ οι ανθρωπογενής πηγές είναι κυρίως τα οχήματα κατά 75% και η καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία κατά 25% (Ζάνης, 2008). Σε παγκόσμια κλίμακα οι εκπομπές του από φυσικές πηγές ξεπερνούν τις αντίστοιχες από τις ανθρωπογενείς. Οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα από ανθρωπογενείς πηγές υπερβαίνουν την συνολική μάζα όλων των άλλων ρύπων που εκπέμπονται από τις δραστηριότητες του ανθρώπου. Σύμφωνα με τον Jacobson οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην καθαρή ατμόσφαιρα κυμαίνεται από 40 μέχρι 200ppb ενώ σε ρυπασμένες έως 10 ppm. Σε πολλές περιπτώσεις όπως σήραγγες αυτοκινήτων, κλειστούς δρόμους η σε έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα μπορεί να φθάσει μέχρι τα 140ppm. Επίσης, το μονοξειδίο του άνθρακα είτε μεταφέρεται στην στρατόσφαιρα, είτε εναποτίθεται στη Γη μέσω της βροχής, είτε διαλύεται στο νερό των ωκεανών, είτε οξειδώνεται από το υδροξύλιο (OH) προς διοξείδιο του άνθρακα (Καραθανάσης, 2006). Τέλος, ο χρόνος παραμονής του στην τροπόσφαιρα κυμαίνεται από 30 έως 90 μέρες (Γεντεκάκης, 2010).

3.3.2. Επιπτώσεις στην υγεία

Το μονοξειδίο του άνθρακα έχει αποδεδειχθεί ότι προκαλεί καρδιακά προβλήματα. Σε παρατεταμένη έκθεση μικρών συγκεντρώσεων δημιουργεί λιπώδες στρώμα στα αιμοφόρα αγγεία (αθηρωματική πλάκα). Το CO σε συγκεντρώσεις πάνω από 100ppm μπορεί να είναι θανατηφόρο. Αυτό οφείλεται στη χημική του συγγένεια με την αιμοσφαιρίνη (Hb), την ουσία η οποία μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες στα κύτταρα και το διοξείδιο του άνθρακα από τα κατάρρα στους πνεύμονες. Ο δεσμός ανάμεσα στην αιμοσφαιρίνη και το μονοξειδίο του άνθρακα είναι 200-300 φορές ισχυρότερος από αυτό του οξυγόνου (Κούγκολος, 2007).

Η έκθεση του ανθρώπου ακόμα και σε συγκεντρώσεις των 10ppm μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο νευρικό. Αύξηση του CO του αίματος μπορεί να προκαλέσει

ζαλάδες και έλλειψη συγκέντρωσης αφού ο εγκέφαλος είναι από τα πρώτα όργανα που επηρεάζονται. Αν συνεχιστεί η έκθεση σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλεί ξαφνική απώλεια συνείδησης και τέλος το θάνατο. Να σημειωθεί ότι πολύ άνθρωποι στο παρελθόν έχουν πεθάνει λόγω του μονοξειδίου του άνθρακα που παράγονταν από μαγκάλια τα οποία χρησιμοποιούνταν για θέρμανση. Τέλος εργαστηριακά πειράματα σε ζώα τα οποία εκτίθονταν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υψηλά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα και έτρωγαν συνεχώς τροφές πλούσιες σε χοληστερόλη, εμφάνισαν 1.5 με 2 φορές περισσότερη χοληστερίνη σε σχέση με τα ζώα δεν εκτίθονταν σε υψηλά επίπεδα μονοξειδίου ή τρέφονταν υγιεινά.

3.4. Όζον

3.4.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής

Το όζον (O_3) παίζει σημαντικό ρόλο στην προστασία της ζωής αφού απορροφάει μεγάλο μέρος της υπεριώδους συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό είναι το στρατοσφαιρικό όζον το οποίο δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τους ζώντες οργανισμούς. Ωστόσο το επιφανειακό ή τροποσφαιρικό όζον παράγεται από πρωτογενείς ρύπους όπως τα οξειδία του αζώτου, οι υδρογονάνθρακες που εκλύονται από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων και τη λειτουργία της βιομηχανίας με τη συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας (Καραθανάσης, 2006).

Η έκθεση μείγματος αέρα που περιέχει υδρογονάνθρακες και οξειδία του αζώτου σε έντονη ηλιακή ακτινοβολία οδηγεί αρχικά στην οξείδωση των υδρογονανθράκων, στη συνέχεια στην οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου σε διοξείδιο και τελικά στο σχηματισμό του όζοντος. Πρόκειται για ένα ασταθές αέριο, πολύ οξειδωτικό και τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Το όζον βρίσκεται στην καθαρή τροπόσφαιρα σε συγκεντρώσεις από 20 έως 40ppb, ωστόσο σε ρυπασμένες περιοχές από 10 έως 350ppb. Τέλος, οι κύριες αιτίες καταστροφής του είναι η ξηρή ή υγρή εναπόθεσή του, η φωτόλυση και οι χημικές αντιδράσεις με άλλες ουσίες. Το όζον είναι επίσης ισχυρότατο οξειδωτικό μέσο π.χ. για το σχηματισμό της όξινης βροχής (οξειδώνει SO_2 προς H_2SO_4).

3.4.2. Επιπτώσεις στην υγεία

Το όζον προκαλεί μεγάλο αριθμό σοβαρών επιπτώσεων στην υγεία. Μπορεί να προκαλέσει πόνους στο στήθος, βήχα και επιδείνωση προϋπαρχόντων προβλημάτων όπως το άσθμα, αν η έκθεση είναι παρατεταμένης διάρκειας τότε μπορεί να δημιουργήσει μη

αναστρέψιμες βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα. Η οσμή του γίνεται αισθητή σε συγκεντρώσεις πάνω από 20ppb. Οι βιολογικές επιπτώσεις στην ανθρωπινή υγεία οφείλονται στην υψηλή δραστικότητα του. Το όζον σε αντίθεση με του υπόλοιπους ρύπους δρα αμέσως κατά τη διάρκεια της αναπνοής και σχεδόν αποκλειστικά στους ιστούς του αναπνευστικού συστήματος. Εξαιτίας της μικρής διαλυτότητας του δεν μπορεί να απορροφηθεί από τη βλέννα των πνευμόνων φθάνοντας σε μεγάλο βάθος όπου επιδρά με απροστάτευτους ιστούς. Έχει επιβεβαιωθεί ερευνητικά ότι παρατεταμένη έκθεση σε συγκεντρώσεις πάνω από 400μg/m³ οδηγεί σε μικρή αύξηση χρόνιων ασθενειών των πνευμόνων.

3.4.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

Το όζον έχει επιπτώσεις και στο περιβάλλον με την υποβάθμιση των αγροτικών εδαφών και την καταστροφή των φυλλωμάτων των φυτών. Το όζον μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στα φυτά είτε με βραχυχρόνια έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις, είτε με μακροπρόθεσμη έκθεση σε μικρές συγκεντρώσεις. Η δράση του περιορίζεται στα φύλλα του φυτού αφού εισέρχεται στους φυτικούς ιστούς από τα στόματα (τα σημεία ανταλλαγής αέριων των φυτών). Εν συνέχεια προκαλεί νέκρωση στα κύτταρα της γύρω περιοχής δημιουργώντας έτσι πρόβλημα στη φωτοσύνθεση του φυτού και κατ' επέκταση στην ομαλή ανάπτυξή του. Η νέκρωση γίνεται οπτικά αντιληπτή με την εμφάνιση κόκκινων η μαύρων περιοχών στο φύλλωμα των φυτών. Το όζον επηρεάζει τόσο της αγροτικές όσο και τις δασικές εκτάσεις. Στην κεντρική Ευρώπη όπου οι καλλιέργειες είναι κατά κύριο λόγο σιτηρά, σόγια, βαμβάκι, πατάτες, καπνά κ.ά. μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι λόγω της ύπαρξης υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος έχει παρατηρηθεί μείωση της παραγωγής. Η ρύπανση από το όζον προκαλεί καταστροφές στη σοδειά που αντιστοιχεί σε μείωση της αγροτικής παραγωγής πάνω από 0.5 δισεκατομμύριο δολάρια κάθε έτος σε πανεθνικό επίπεδο. Επίσης σε δασικές εκτάσεις μελέτες δείχνουν ότι η ύπαρξη όζοντος μπορεί να καθυστερήσει την ανάπτυξη των φυτών αφού εξασθενεί την άμυνά τους και είναι ευάλωτα σε αρρώστιες και παράσιτα. Τέλος, η αύξηση συγκέντρωσης του όζοντος επηρεάζει εκτός των φυτών και τα ζώα, καθώς σε μεγάλες ποσότητες προκαλεί ακόμα και δηλητηρίαση (Ζάνης, 2008 και Χρίστου, 2011)

3.4.4. Επιπτώσεις στα υλικά

Το επιφανειακό όζον σύμφωνα με τον Ζάνη (2008) προκαλεί προβλήματα κυρίως στη συντήρηση της πολιτισμικής κληρονομιάς. Το όζον ως έντονο οξειδωτικό μέσο αντιδρά με

οργανικά υλικά που υπάρχουν σε ζωγραφιές, στο φυσικό καουτσούκ, και σε εκθέματα των μουσείων φυσικής ιστορίας αλλοιώνοντας φτερά, δέρμα ζώων και πάπυρο.

3.5. Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις

3.5.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής

Με τον όρο υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζονται χιλιάδες ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο στο μόριο τους. Οι περισσότεροι υδρογονάνθρακες σε φυσιολογικές συνθήκες έχουν μικρές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα και μικρή τοξικότητα. Ωστόσο θεωρούνται σημαντικοί ρύποι διότι συμμετέχουν στη διαδικασία παράγωγης φωτοχημικών ρύπων. Προέρχονται από φυσικές πηγές σε ποσοστό 94% και από ανθρωπογενείς πηγές σε ποσοστό 6% (Κούγκολος, 2007).

Ο αριθμός των υδρογονανθράκων είναι πολύ μεγάλος π.χ. μόνο στις ΗΠΑ στην κατηγορία των πτητικών οργανικών ενώσεων έχουν κατηγοριοποιηθεί πάνω από 600 διαφορετικές ενώσεις που συναντώνται στην ατμόσφαιρα. Οι πιο απλοί υδρογονάνθρακες αποτελούνται από 1-4 άτομα άνθρακα και είναι κυρίως αέρια, 5-4 είναι κυρίως σε υγρή κατάσταση και από 7 και πάνω είναι στερεά. επίσης, οι υδρογονάνθρακες μπορούν να περιλαμβάνουν και άτομα οξυγόνου ή/και αζώτου. Για την κατάταξη των υδρογονανθράκων θα χρειαστούμε κάποιες γνώσεις Χημείας. Έτσι, διαχωρίζονται σε:

Πίνακας 3.5.1: Κατηγοριοποίηση υδρογονανθράκων (Γεντεκάκης, 2010).

Μη οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες	Οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες
Αλκάλια	Αλδεΐδες
Αλκαλικές ρίζες	Κετόνες
Αλκένια	Οξέα
Αλκαδιένια	Αλκοόλες
Αλκίνια	Αιθέρες
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	Εστέρες
	Αμίνες και νιτροζαμίνες

Από τους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες αυτοί που παρουσιάζουν έντονο ενδιαφέρον είναι οι αλδεΐδες και οι κετόνες. Ως πτητικές οργανικές ουσίες ή αλλιώς ως VOCs σύμφωνα με τον Οργανισμό Περιβαλλοντικής προστασίας της Αμερικής χαρακτηρίζεται «κάθε πτητική οργανική ένωση η οποία όταν εισέλθει στην ατμόσφαιρα μπορεί να παραμείνει σε αυτή τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για να πάρει μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις». (Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ)

Από το σύνολο των παραγόμενων υδρογονανθράκων το 85% είναι μεθάνιο και εκπέμπεται από βιολογικές δραστηριότητες και ένα 8% αφορά τερπένια τα οποία εκλύονται από φυτά κυρίως κωνοφόρα. Το μεθάνιο αν και αποτελεί υδρογονάνθρακα δεν συμπεριλαμβάνεται στην συγκεκριμένη κατηγορία καθώς δε συμμετέχει σε φωτοχημικές αντιδράσεις και θα αναλυθεί σε επόμενο υποκεφάλαιο. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις εντοπίζονται κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Κύριες πηγές εκπομπής των συγκεκριμένων ρύπων είναι τα αυτοκίνητα ως συνέπεια της ατελούς καύσης της βενζίνης και πετρελαίου, καύσεις διαφόρων καυσίμων (ξύλων στερεών αποβλήτων, άνθρακα) καθώς και βιομηχανίες άνθρακα, λιπασμάτων και τέλος πηγές ρυπάνσεις μπορούν να θεωρηθούν και οι διαδικασίες μεταφοράς αυτών των υλικών (Κουϊμτζής, 1997).

3.5.2. Επιπτώσεις στην υγεία

Οι υδρογονάνθρακες λόγω της μεγάλης ποικιλίας τους είναι δύσκολο να κατηγοριοποιηθούν με βάση τα προβλήματα που προκαλούν στην υγεία του ανθρώπου. Παρόλα αυτά είναι γνωστό ότι πολλοί από αυτούς είναι καρκινογόνοι και πρέπει να αποφεύγεται με οποιονδήποτε τρόπο η λήψη τους είτε μέσω της αναπνοής, είτε μέσω της τροφικής αλυσίδας. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναλυθούν το βενζόλιο, η φορμαλδεΰδη και οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες.

- *Φορμαλδεΰδη*

Η φορμαλδεΰδη εξαιτίας της μεγάλης διαλυτότητας της σε νερό όταν λαμβάνεται από την αναπνοή προσκολλάει στους βλεννογόνους της ανώτερης αναπνευστικής περιοχής όπου και οξειδώνεται και αποβάλλεται ως διοξείδιο του άνθρακα. Ένα μέρος μπορεί να φθάσει σε άλλα όργανα του σώματος όπως το συκώτι να οξειδωθεί σε μυρμηκικό οξύ και να αποβληθεί από τα νεφρά. Είναι ερεθιστική για τα ματιά και τις αναπνευστικές οδούς ενώ σε έκθεση μεγάλων συγκεντρώσεων προκαλεί προοδευτικά αναστρέψιμες βλάβες σε όργανα και σε έκθεση μεγάλης χρονικής διάρκειας μη αντιστρέψιμες. Η τοξικότητας οφείλεται στην αντίδραση της με τις αμινομάδες των πρωτεϊνών και το DNA. Ωστόσο δεν έχει αποδειχθεί μέχρι σήμερα ότι σχετίζεται άμεσα με μεταλλάξεις. Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε ποντίκια τα οποία εκτέθηκαν σε πάνω από 6ppm φορμαλδεΰδης εμφανίστηκαν αποδεδειγμένα καρκινογενείς επιδράσεις.

Πίνακας 3.5.2: Επιδράσεις της φορμαλδεΐδης στην υγεία του ανθρώπου (Καραθανάσης, 2006).

Επίδραση	Συγκέντρωση σε ppm
Καμία επίδραση	<0.05
Κατώφλι οσμής	0.05-1.0
Νευροφυσιολογικές επιπτώσεις	0.05-1.5
Ερεθισμός των ματιών	0.01-2.0
Ερεθισμός των ματιών και της μύτης	0.08-1.6
Ερεθισμός των ανωτέρων αναπνευστικών οδών	0.1-25
Κατώφλι ερεθισμού του λάρυγγα	0.5
Ερεθισμός των ανώτερων κατώτερων οδών και προβλήματα στους πνεύμονες	5-30
Ενοχλήσεις σαν τσιμπήματα στη μύτη, τα μάτια και τον φάρυγγα	2-3
Αυξανόμενη και αφόρητη δυσφορία και δάκρυα για έκθεση 30 min	4-5
Μετά λίγα λεπτά μεγάλη ροή δακρύων , μία ώρα μετά από την έκθεση δύσπνοια, βήχας κάψιμο στα μάτια και τον λάρυγγα	10-20
Πνευμονικό οίδημα , φλεγμονή και πνευμονία	50-100
Κώμα ή θάνατος	>100

- *Βενζόλιο (C₆H₆)*

Έκθεση του ανθρώπου σε βενζόλιο συγκεντρώσεις 65000mg/m³ από 5 έως 10 λεπτά μπορεί να προκαλέσει το θάνατο. Σε εισπνοή μεγάλης ποσότητας μπορεί να προκαλέσει απώλεια των αισθήσεων, παράλυση της αναπνοής καθώς και άλλα συμπτώματα. Σε μικρότερες ποσότητες προκαλεί αίσθημα ζάλης, πίεση στο κεφάλι, σύγχυση, αναούλα και απάθεια. Ωστόσο το βενζόλιο σε χρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει λευχαιμία. Αυτό οφείλεται στο ότι προκαλεί βλάβη στον μυελό των οστών. Τα πρώτα συμπτώματα είναι ζάλη, αδιαθεσία, πονοκέφαλος, αδυνάτισμα, ωχρότητα και καρδιοχτύπια σε έντονη προσπάθεια. Εν συνεχεία παρουσιάζονται μεταβολές στο ανοσοποιητικό σύστημα, αντιδράσεις αυτοϊασης και αυξημένη συχνότητα αλλεργιών (Καραθανάσης 2008).

- *Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες ΠΑΥ*

Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007) οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) χαρακτηρίζονται από μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες επιδράσεις. Αποτελούνται από συμπυκνωμένους αρωματικούς δακτυλίους και διακρίνονται σε ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους (2-3 αρωματικούς δακτυλίους) και σε υψηλού μοριακού βάρους (4-7 αρωματικούς δακτυλίους). Οι ΠΑΥ ξεραίνουν το δέρμα, προκαλούν βλάβες στον

κερατοειδή, στις αναπνευστικές οδούς, στο πεπτικό σύστημα και ερεθίζουν τα μάτια. Πολλοί από αυτούς έχουν καρκινογόνο δράση ενώ άλλοι ενισχύουν τη δράση άλλων καρκινογόνων ενώσεων (Καραθανάσης, 2006).

3.5.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

Οι υδρογονάνθρακες από τα καυσαέρια των οχημάτων έχουν εμπλακεί στις παρατηρούμενες επιδράσεις της βλάστησης που βρίσκεται δίπλα σε δρόμους. Υπάρχουν αποδείξεις ότι αρωματικοί υδρογονάνθρακες μπορούν να μεταβολίζονται σε φυτά. Οι κύριες μορφολογικές επιπτώσεις των υδρογονανθράκων στα φυτά είναι η επιναστία (που δημιουργείται επειδή τα κύτταρα της πάνω πλευράς του φύλλου αυξάνονται με ταχύτερους ρυθμούς συγκριτικά με τα κάτω), η οποία μπορεί να είναι αναστρέψιμη. Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες έχουν αναγνωριστεί ως δυνητικά επιβλαβείς για τη βλάστηση. Υπάρχουν λίγα στοιχεία από τις άμεσες επιπτώσεις των οξυγονωμένο υδρογονανθράκων στα φυτά. Η έλλειψη μακροπρόθεσμων μετρήσεων, σημαίνει ότι η πιθανότητα των ανεπιθύμητων ενεργειών των πτητικών οργανικών ενώσεων στη βλάστηση δεν μπορεί να απορριφθεί με ασφάλεια, ιδιαίτερα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές (Cape, 2003).

3.6. Διοξείδιο του άνθρακα

3.6.1. Περιγραφή – Πηγές εκπομπής

Αν και το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι άμεσα τοξικό αποτελεί μια ένωση που εκπέμπεται με ραγδαίους ρυθμούς στην ατμόσφαιρα. Πηγές του διοξειδίου άνθρακα είναι τόσο ανθρωπογενείς όσο και φυσικές. Υπολογίζεται ότι η μέση ετήσια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από βιολογικές διεργασίες ανέρχεται στους 100 τρισεκατομμύρια τόνους ωστόσο το περιβάλλον έχει τους μηχανισμούς αφομοίωσης του. Το πρόβλημα δημιουργήθηκε μετά την βιομηχανική επανάσταση και συνεχίζεται σήμερα με αυξανόμενους ρυθμούς. Υπολογίζεται ότι οι μέσες ετήσιες ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ ανέρχονται σε 100 δισεκατομμύρια τόνους. Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές είναι οι διεργασίες καύσης ορυκτών καυσίμων, άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου κ.ά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Υπολογίζεται ότι η συγκέντρωση του CO₂ είναι κατά 30% πιο υψηλή από την συγκέντρωση που υπήρχε πριν 200 χρόνια και υπολογιστικά μοντέλα προμηνύουν διπλασιασμό του στο άμεσο μέλλον. Το αποτέλεσμα ενός τέτοιου σεναρίου θα είναι η έντονη ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο θα αναλυθεί σε επόμενο υποκεφάλαιο.

3.6.2. Επιπτώσεις στην υγεία

Το CO₂ σε μέτριες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει οξέωση και να έχει αρνητικές συνέπειες στο μεταβολισμό του ασβεστίου και του φωσφόρου. Ανάλογα με την συγκέντρωση του CO₂ σε ένα χώρο παρατηρούνται και οι αντίστοιχες επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό:

- Σε περιεκτικότητα 1% v/v προκαλεί υπνηλία
- Σε περιεκτικότητα 2% v/v προκαλεί αυξημένη αρτηριακή πίεση, καρδιακό ρυθμό και μειώνει την ακοή
- Σε περιεκτικότητα 5% v/v προκαλεί προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα, ζάλη και σύγχυση
- Σε περιεκτικότητα 8% v/v προκαλεί κεφαλαλγία, εφίδρωση, παραισθήσεις, τρόμο και απώλεια συνείδησης μετά την έκθεση για πέντε έως δέκα λεπτά.

Πρόσφατες μελέτες έχουν συνδέσει την παρουσία CO₂ με διαταραχές του νευρικού συστήματος. Ήταν γνωστό ότι η παρουσία CO₂ προκαλεί άγχος, φόβο και κρίσεις πανικού ωστόσο μόλις το 2009 επιστήμονες από το πανεπιστήμιο της Αϊόβα στις ΗΠΑ σύνδεσαν την παρουσία CO₂ με την παράγωγή της πρωτεΐνης ASIC1a που υπάρχει στην αμυγδαλή του εγκεφάλου. Πειράματα σε ποντίκια έδειξαν ότι όταν το περιβάλλον του εγκεφάλου γίνεται όξινο αυξάνονταν η παραγωγή της συγκεκριμένης πρωτεΐνης προκαλώντας συμπεριφορές με τυπικά φοβικά χαρακτηριστικά. Αντίθετα, όταν εξουδετερωνόταν η δράση της συγκεκριμένης πρωτεΐνης, οι συμπεριφορές αυτές δεν εκδηλώνονταν (Πανεπιστήμιο της Αϊόβα, 2009). Τέλος, σύμφωνα με τον Γεντεκάκη (2010) το όριο ασφαλείας για την έκθεση του ανθρώπου σε διοξείδιο του άνθρακα είναι 15 φορές μεγαλύτερο από τη σημερινή συγκέντρωσή του.

3.6.3. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

Οι μέχρι σήμερα μελέτες αποδεικνύουν ότι η ύπαρξη μεγαλύτερης συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα δείχνει να ωφελεί το φυτικό βασίλειο αφού οι κύρια λειτουργία των φυτών, αυτής της αναπνοής στηρίζεται στο διοξείδιο του άνθρακα. Ωστόσο η αύξηση του CO₂ με βάση υπολογιστικά μοντέλα δείχνει να έχει έμμεσες συνέπειες στα φυτά και αυτές προέρχονται από την προκαλούμενη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

4. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα μελετηθούν προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που δημιουργούνται με τον συνδυασμό ατμοσφαιρικών ρύπων. Αυτά τα φαινόμενα είναι τα εξής:

- Φωτοχημικό νέφος
- Όξινη βροχή
- Φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Η τρύπα του όζοντος

4.1. Φωτοχημικό νέφος

4.1.1. Ορισμός - Περιγραφή

Το φωτοχημικό νέφος παράγεται όταν στην ατμόσφαιρα όταν υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων, VOCs, οξειδία του αζώτου και άπλετο ηλιακό φως. Επίσης σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007) θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη γεωμορφολογία, άπνοια και συγχρόνως θερμοκρασιακή αναστροφή. Το φωτοχημικό νέφος κατηγοριοποιείται στα φαινόμενα τοπικής περιφερειακής κλίμακας και λαμβάνει χώρα σε αστικές περιοχές λόγω της έντονης κυκλοφορίας. Οι παραγόμενοι πρωτογενείς ρύποι των αυτοκινήτων (υδρογονάνθρακες και οξειδία του αζώτου) σε έντονη ηλιακή ακτινοβολία οδηγεί αρχικά στην οξείδωση των υδρογονανθράκων στη συνέχεια στην οξείδωση του μονοξειδίου σε διοξείδιο του αζώτου και τελικά στο σχηματισμό του όζοντος και άλλων ενώσεων όπως το PAN (νιτρικό υπεροξυακετύλιο), οι αλδεΐδες, το διοξείδιο του αζώτου και το νιτρικό οξύ (HNO_3). Το νέφος έχει κίτρινη μέχρι καφέ απόχρωση και εμφανίστηκε πρώτη φορά στο Los Angeles στη δεκαετία του 1940.

4.1.2. Επιπτώσεις στην υγεία, στο φυσικό περιβάλλον και στα υλικά

Η φωτοχημική ομίχλη λόγω του ότι είναι πρόσφατο φαινόμενο δεν έχει ερευνηθεί πλήρως και δεν ξέρουμε ακριβώς τις διαστάσεις των επιπτώσεων που έχει για την ανθρώπινη υγεία. Σε μικρές συγκεντρώσεις παρατηρείται ερεθισμός των ματιών, του φάρυγγα μειώνει την απόδοση των πνευμόνων και προκαλεί προβλήματα σε ασθματικά άτομα. Σε μακροχρόνια έκθεση όπως συμβαίνει στα μεγάλα αστικά κέντρα μπορεί να επιφέρει ακόμα και τον θάνατο. Η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να επιφέρει έντονα αναπνευστικά προβλήματα όπως βρογχίτιδα, εμφύσημα και να καταστήσει των οργανισμό ευάλωτο σε διάφορες λοιμώξεις (Κούγκολος, 2007).

Το φωτοχημικό νέφος προκαλεί μεγάλες καταστροφές στην βλάστηση και την καλλιέργεια. Έχει αποδειχθεί σύμφωνα με τον Γεντεκάκη (2010) ότι συγκεντρώσεις $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ διάρκειας 4 ωρών είναι αρκετές για να επηρεαστούν τα φυτά. Τέλος, δεν έχει αποδειχθεί αν έχει επιπτώσεις στα υλικά ωστόσο η παρουσία όζοντος. Σίγουρα προκαλεί φθορές σε χρώματα των ινών των υφάνεμα αυτής της επίπτωσης είναι η πρόκληση της «γήρανσης» των ελαστικών των τροχοφόρων.

4.2. Όξινη βροχή

4.2.1. *Ορισμός - Περιγραφή*

Όξινη βροχή είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο ποσότητες κυρίως θειικού και νιτρικού οξέος φτάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή, μεταφερόμενες με τη βροχή, το χιόνι, την ομίχλη, το χαλάζι κ.λπ., με καταστρεπτικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και σε κτίρια και μνημεία (Ζάνης, 2008).

Το νερό της βροχής σε φυσιολογικές συνθήκες έχει pH από 6.5 έως 5.6 και χαρακτηρίζεται ελαφρώς όξινο λόγω της παρουσίας διοξειδίου του άνθρακα. Στη δημιουργία της όξινης βροχής συμβάλει κατά 60-65% το θειικό οξύ και κατά 30-35% το νιτρικό οξύ. Το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται μεταξύ 4.6 και 4, ενώ έχουν παρατηρηθεί και μικρότερες τιμές. Η όξινη βροχή είναι ένα φαινόμενο διεθνών-διακρατικών διαστάσεων αφού τα SO_2 και τα NO_x με την βοήθεια των ανέμων να μεταφερθούν χιλιόμετρα μακριά από την πηγή εκπομπής τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Νορβηγία όπου το 95% των ποσοτήτων θείου και αζώτου προέρχονται από την Γερμανία και την Αγγλία. Οι περιοχές οι οποίες πλήττονται περισσότερο από την όξινη βροχή είναι περιοχές της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης καθώς και περιοχές της βόρειας Αμερικής και του Καναδά.

4.2.2. *Επιπτώσεις στην υγεία, στο φυσικό περιβάλλον και στα υλικά*

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την όξινη βροχή δεν είναι άμεσες. Περπατώντας στη βροχή ή ακόμα και κολυμπώντας σε μια όξινη λίμνη δεν είναι πιο επικίνδυνο από το περπάτημα ή το κολύμπι σε καθαρό νερό.

Ωστόσο η όξινη βροχή προκαλεί μεγάλες καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον καθώς επηρεάζει τόσο το υδάτινο όσο και το χερσαίο περιβάλλον. Ιδιαίτερα καταστροφική μπορεί να θεωρηθεί η επίδραση της όξινης βροχής στα φυτά καθώς προκαλεί κιτρίνισμα των φύλλων και βλάβες στο ριζικό τους σύστημα με αποτέλεσμα να διαταράσσεται ο

μεταβολισμός τους. επίσης, με την όξινη βροχή υποβαθμίζεται το έδαφος αφού καταστρέφονται μικροοργανισμοί και διαλύονται θρεπτικά άλατα με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται τοξικά για τα φυτά βαρέα μέταλλα. Έρευνα της ευρωπαϊκής ένωσης που διεξήχθη το 1991 έδειξε ότι το 38% των ευρωπαϊκών δασών έχουν επηρεαστεί από την όξινη βροχή. Περνώντας στα υδάτινα οικοσυστήματα προβλήματα δημιουργούνται στις λίμνες και στα ποτάμια. Το ανεκτό όριο pH για την επιβίωση των περισσότερων ψαριών είναι η τιμή 5. Ωστόσο με την όξινη βροχή, μικρές λίμνες οι οποίες δεν έχουν την ικανότητα αυτορρύθμισης του pH τους γίνονται πολύ όξινες με αποτέλεσμα να υπάρχουν φαινόμενα μαζικών θανάτων ψαριών όπως συνέβη σε σκανδιναβικές λίμνες στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και σε μικρά ποτάμια της Γερμανίας στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι λίμνες οι οποίες βρίσκονται πάνω από ασβεστολιθικά εδάφη έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην όξινη βροχή λόγω του ότι τα ανθρακικά ιόντα παίζουν ρυθμιστικό ρόλο στο pH τους (Κούγκολος, 2007).

Τέλος, η όξινη βροχή έχει τρομερά καταστροφικές συνέπειες στα κτήρια στα μνημεία και αγάλματα. Τα θειικά ιόντα που υπάρχουν στην όξινη βροχή αντιδρούν με το CaCO_3 και το μετατρέπουν σε CaSO_4 .



Λόγω του ότι ο μοριακός όγκος του θειικού ασβεστίου είναι μεγαλύτερος από αυτόν του ανθρακικού ασβεστίου προκαλούνται διαβρώσεις και καταλήγουν στο κομμάτιασμα του ασβεστόλιθου. Το θειικό οξύ προκαλεί φθορές και στις εξωτερικές υαλογραφίες των κτηρίων με αποτέλεσμα να θαμπώνει το γυαλί. Τέλος επηρεάζει και πολλά μέταλλα όπως τον χάλυβα και το αλουμίνια και άλλα υλικά όπως το ξύλο το δέρμα και το χαρτί (Κούγκολος, 2007 και Ζάνης, 2008).

4.3. Φαινόμενο του θερμοκηπίου

4.3.1. Ορισμός - Περιγραφή

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν είναι δημιούργημα της ανθρώπινης παρέμβασης στο περιβάλλον, αντιθέτως υπάρχει δισεκατομμύρια χρόνια και εξασφαλίζει τη ζωή στο πλανήτη καθώς κρατάει σταθερή τη θερμοκρασία επιφάνειας-εδάφους στου 15°C . Χωρίς την παρουσία του φαινομένου του θερμοκηπίου στη Γη θα ήταν, αν όχι αδύνατη, πολύ δύσκολη η ανάπτυξη ζωής καθώς η μέση θερμοκρασία θα ήταν περίπου -20°C . Το πρόβλημα εντοπίζεται στη συνεχή αύξηση των αέριων του θερμοκηπίου που έχει σαν αποτέλεσμα την

σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, όζον, τριχλωροφθορομεθάνιο-11, τριχλωροφθορομεθάνιο-12, κ.ά. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας του ήλιου από τα τριατομικά αέρια κυρίως του διοξείδιο του άνθρακα, του μεθανίου και των υδρατμών με αποτέλεσμα να μη διαφεύγει η ακτινοβολία στο διάστημα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Έχει επιβεβαιωθεί με αναλύσεις από «καρότα» πάγου ότι η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα έχει αυξηθεί τα τελευταία 200 χρόνια από 280ppm σε 360ppm και αυτό είναι καθαρά από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Επίσης έρευνες δείχνουν ότι τα τελευταία 100 χρόνια η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει ανέβει κατά 0,5°C και υπολογιστικά μοντέλα δείχνουν ένα δυσοίωνα μέλλον αφού προβλέπουν αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης των 1,5-4,5°C. Τέλος, οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007), είναι οι εξής:

- Άνοδος της στάθμης των ωκεανών λόγω της τήξης των πάγων
- Αύξηση των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη
- Ξηρασία στα μέσα γεωγραφικά πλάτη ιδίως το καλοκαίρι
- Αύξηση των μουσώνων που πλήττουν τη ΝΑ Ασία
- Ακραίες καιρικές συνθήκες σε περισσότερα μέρη του πλανήτη

Τέλος η αύξηση του θερμοκηπίου θα έχει τρομακτικές κοινωνικοοικονομικές συνέπειες όπως π.χ. μεγάλος αριθμός κλιματικών προσφύγων (ήδη έχει καταγραφεί ο πρώτος στη Νέα Ζηλανδία).

4.4. Η τρύπα του όζοντος

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω το στρατοσφαιρικό όζον παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επιβίωση των οργανισμών στην στεριά αφού τους προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία. Μάλιστα πιστεύεται ότι η ζωή μεταφέρθηκε από τη θάλασσα στην στεριά αφού σχηματίστηκε το στρατοσφαιρικό όζον. Η συγκέντρωση του όζοντος φθονεί τα 10ppm. Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007) ιδιαίτερη σημασία έχει ο κίνδυνος για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος. Με τον όρο καταστροφή του όζοντος εννοούμε την αραίωση του στρώματος του όζοντος σε μεγάλες περιοχές με συνέπεια η υπεριώδης ακτινοβολία να φθάνει στην επιφάνεια της γης. Το όζον καταστρέφεται από τα μόρια του NO, του H₂O, τα άτομα των αλογόνων και του H, τα όποια δρουν ως καταλύτες. Προς το παρόν οι κυριότεροι κίνδυνοι προέρχονται από τη χρήση προωθητικών αεροζόλ.

5. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

5.1. Ορισμός

Με τον όρο αιωρούμενη σωματιδιακή υλη εννοούμε κάθε συστατικό, εκτός από το καθαρό νερό, που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ως υγρό ή στερεό, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες και έχει μέγεθος της τάξεως των μm ή και μικρότερο αλλά μεγαλύτερο από την μοριακή διάσταση. (περίπου 2\AA). Τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα διαφέρουν από τα αέρια σε δύο σημεία. Πρώτον ένα αέριο αποτελείται από ξεχωριστά άτομα ή μόρια τα οποία είναι διαχωρισμένα ενώ ένα σωματίδιο αποτελείται από μια συνάθροιση μορίων και ατόμων δεσμευμένα μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, τα σωματίδια έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από τα άτομα και τα μόρια των αερίων. Κατά δεύτερον, σε αντίθεση με τα αέρια τα σωματίδια βρίσκονται σε υγρή ή στερεή φάση. Οι όροι αιωρούμενα σωματίδια και αερολύματα χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις αδιάκριτα. Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από πολλούς και ποικίλους διαφορετικούς ρύπους και για το λόγο αυτό είναι δύσκολη η κατηγοριοποίηση του. επίσης, τα τελευταία χρόνια είναι πεδίο έντονης επιστημονικής έρευνας καθώς έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και του φυσικού περιβάλλοντος.

5.2. Κατηγοριοποίηση αιωρούμενων σωματιδίων

Συμφώνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας αιωρούμενων σωματιδίων υπάρχουν πέντε τρόποι κατηγοριοποίησης τους:

- Με βάση την πηγή προέλευσης των αιωρούμενων σωματιδίων
- Με βάση το μηχανισμό σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων
- Με βάση τη διάμετρο των αιωρούμενων σωματιδίων
- Με βάση τη φυσική τους κατάσταση
- Με βάση τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό

Αυτοί οι τρόποι κατηγοριοποίησης μπορούν να περιλάβαν όλους τους τύπους των αιωρούμενων σωματιδίων και θα αναλυθούν παρακάτω.

5.2.1. Κατηγοριοποίηση με βάση χωρική προέλευση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Τα αιωρούμενα σωματίδια με βάση την χωρική προέλευση τους χωρίζονται στις εξής κατηγορίες (Seinfeld and Pandis, 1998):

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

5.2.2. Κατηγοριοποίηση με βάση τον μηχανισμό σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων

Συμφώνα με τον Καραθανάση (2008) τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να χωριστούν σε πρωτογενή και δευτερογενή. Πρωτογενή ονομάζονται τα σωματίδια που προέρχονται κατευθείαν είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς πηγές και δεν έχουν ένα σταθερό μέγεθος. Δευτερογενή ονομάζονται τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία σχηματίζονται από την συμπύκνωση ή προσρόφηση σε άλλα σωματίδια ορισμένων αέριων και ατμών που είτε εκπέμπονται άμεσα στην ατμόσφαιρα είτε προκύπτουν από φωτοχημικούς δεσμούς. Αν και οι πρωτογενείς πηγές παράγουν σωματίδια όλων των μεγεθών, οι δευτερογενείς παράγουν σωματίδια με μέγεθος μικρότερου του 1μm.

5.2.3. Κατηγοριοποίηση με βάση τη διάμετρο των αιωρούμενων σωματιδίων

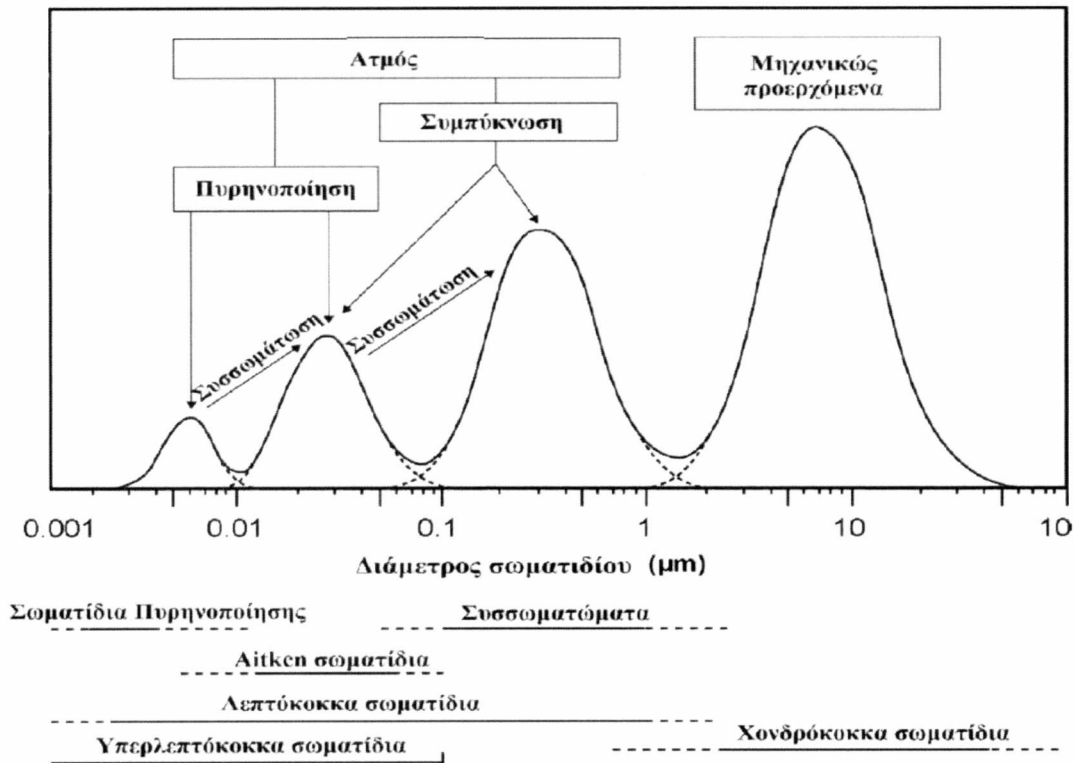
Αρχικά, οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων αναφερόταν στα *ολικά αιωρούμενα σωματίδια*, δίχως να γίνεται διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Η

προσέγγιση αυτή ωστόσο, εξελίχθηκε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την ανακάλυψη των διαφορετικών επιπτώσεων των σωματιδίων ανάλογα με τη διάμετρό τους. Επειδή το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων δεν είναι σταθερό και ίδιο άλλα υπάρχει μια ανομοιομορφία στα μεταξύ τους σχήματα είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του μεγέθους τους. Για το λόγο αυτό σύμφωνα με τον Λαζαρίδη (2005) ο προσδιορισμός του μεγέθους του θα πρέπει να γίνεται με βάσει την ισοδύναμη διάμετρο (Ευαγγελόπουλος, 2004 και Λαζαρίδης, 2005).

Ισοδύναμη διάμετρος είναι η διάμετρος που έχει ένα σφαιρικό σωματίδιο που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα κατά την κίνηση του με το προς εξέταση σωματίδιο (Λαζαρίδης, 2005).

Με βάση τα παραπάνω τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται σε δυο κατηγορίες (Σχήμα 5.2.3), αναλόγως την διάμετρό τους.

- Η πρώτη κατηγορία είναι αυτή των λεπτόκοκκων σωματιδίων των οποίων η ισοδύναμη διάμετρο είναι μικρότερη από $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$). Η διαδικασία του σχηματισμού τους χωρίζεται σε δυο στάδια. Το πρώτο στάδιο (πυρηνοποίηση) αφορά σωματίδια με διάμετρο $0.005\text{-}0.1\mu\text{m}$ και δημιουργούνται μέσω της συμπύκνωσης ατμών κατά τη διάρκεια καύσεων (Λαζαρίδης, 2005). Η υποκατηγορία αυτή χωρίζεται σε δύο επιμέρους ομάδες: α) στα μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (aitken nuclei) και β) στα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (ultra – fine nuclei). Τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να συσσωρεύονται περαιτέρω, σχηματίζοντας τα χαρακτηριζόμενα ως συσσωρευμένα σωματίδια (accumulation mode), διαμέτρου γύρω στα $0.5\mu\text{m}$ και τα οποία είναι σχετικά σταθερά στον αέρα.. Τα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια τα οποία συνενώνονται, υπό φυσιολογικές βεβαίως ατμοσφαιρικές συνθήκες, προς συσσωρευμένα, δεν μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος χονδρόκοκκων σωματιδίων.
- Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τα χονδρόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια (coarse mode) και περιλαμβάνει αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ $2.5\text{-}10\mu\text{m}$ (PM_{10}). Οι πηγές των χονδρόκοκκων σωματιδίων είναι η σκόνη μεταφερόμενη από τον άνεμο, από οχήματα τα οποία κινούνται σε άστρωτους δρόμους, από μηχανήματα βιομηχανιών συμπίεσεως, λιωσίματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, αλέσματος, κ.ά.



Σχήμα 5.2.3: Κατανομή του όγκου των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθός τους και τον τρόπο σχηματισμού τους (US EPA, 2004 και Παπαζάχου, 2012).

Ωστόσο, η EPA (Environmental Protection Agency) δίνει μία νέα διάσταση και επικεντρώνεται πλέον, σε ακόμη μικρότερα σωματίδια, τα οποία διεισδύουν βαθύτερα στους πνεύμονες και προκαλούν πλήθος συμπτωμάτων. Οι μέχρι τώρα έρευνες, δείχνουν ότι σωματίδια αυτής της τάξεως μεγέθους (<2.5μm) αποτελούνται από ποικίλες ποσότητες θειικών (SO_4^{2-}) και νιτρικών (NO_3^-) ιόντων, ιόντων αμμωνίου (NH_4^+), άνθρακα, οργανικών ενώσεων του άνθρακα, ύδατος, καθώς και μικρών ποσοτήτων χρώματος, σκόνης, ενώσεων του μολύβδου (Pb) και ίχνη άλλων. Το είδος, αυτού του μεγέθους των σωματιδίων, προέρχεται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

5.2.4. Κατηγοριοποίηση με βάση τη φυσική κατάσταση

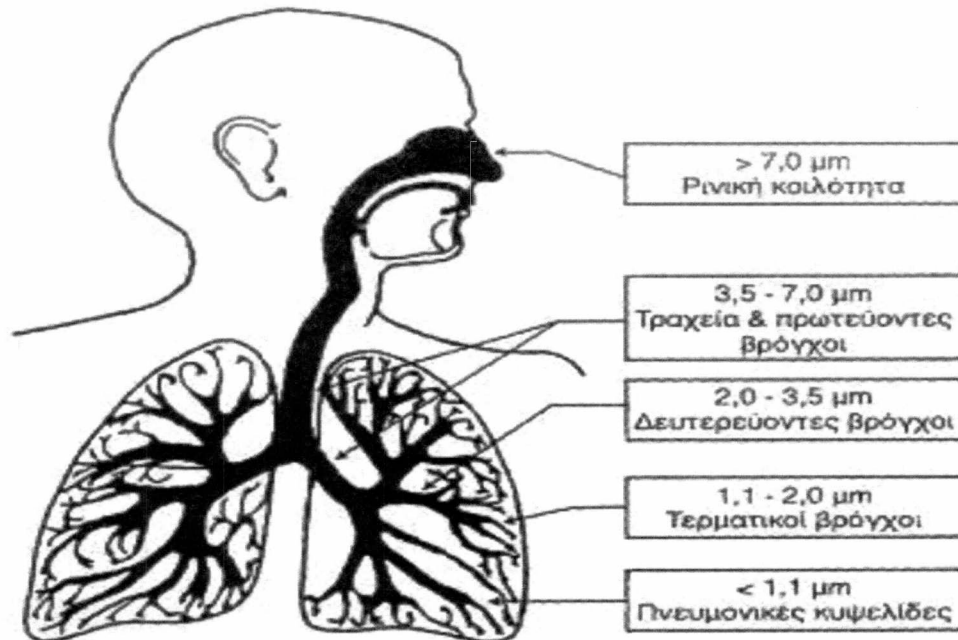
Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τα νέφη που σχηματίζουν (Καραθανάσης, 2008). Έτσι προκύπτουν οι εξής κατηγορίες:

- **Σκόνη (Dust):** αποτελείται από μεγάλα σε διάμετρο σωματίδια.

- **Καπνός (smoke):** αποτελείται από λεπτά σε διάμετρο σωματίδια που προέρχονται από ατελή καύση του άνθρακα.
- **Ομίχλη και αχλύδα (fog and mist):** περιλαμβάνει αιωρούμενα σταγονίδια τα οποία σχηματίζονται από τη συμπύκνωση των ατμών.
- **Καταχνιά ή ξηρή αχλύδα (haze):** αποτελείται από σκόνη, σωματίδια καπνού και φωτοχημικών ρύπων καθώς και σταγονίδια νερού.
- **Κάπνα (fume):** Αποτελείται από αιωρούμενα σωματίδια που προήρθαν από την συμπύκνωση ουσιών και βρέθηκαν σε αέρια φάση.
- **Καπνομίχλη (smog):** Συνδυασμός καπνού και ομίχλης.

5.2.5. Κατηγοριοποίηση με βάση τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό

Τέλος τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό (Σχήμα 5.2.4). Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθός τους επηρεάζουν διαφορετικές περιοχές του αναπνευστικού συστήματος. Με βάση αυτό μπορούν να χωριστούν σε:



Σχήμα 5.2.4: Διεισδυτικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό (Διαπούλη, 2008).

- **Εισπνεύσιμα σωματίδια.** Είναι τα σωματίδια που έχουν διάμετρο μικρότερη των 10 μm και εισέρχονται στο ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού. Τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα των 10 μm κατακρατούνται στη στοματική και ρινική κοιλότητα.
- **Θωρακικά σωματίδια.** Είναι ένα μέρος των PM₁₀ που καταφέρνουν να περάσουν την στοματική-ρινική κοιλότητα και έχουν μέγεθος περίπου 7μm.
- **Αναπνεύσιμα σωματίδια.** Με βάση την ιατρική αποτελούν τα πιο επικίνδυνα αιωρούμενα σωματίδια. Είναι μικρότερα των 2.5μm και διεισδύουν ως τα βάθη των πνευμόνων.

5.3. Χημική σύσταση των σωματιδίων

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων αντανακλά την πηγή από την οποία προέρχονται. Παρόλα αυτά χρειάζεται να σημειωθεί ότι όλα τα συστατικά που περιέχονται τυπικά στα ΑΣ είναι παρόντα τόσο στα μικρά όσο και στα μεγάλα σωματίδια. Αυτό που διαφέρει, όμως, είναι η συνεισφορά τους στη συνολική μάζα των σωματιδίων (Putaud et al., 2004).

Γενικά, τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από μία ανόργανη φάση (στερεό ανόργανο υλικό, υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα, στοιχειακός άνθρακας κ.ά.) και μία οργανική φάση (οργανικός άνθρακας). Σύμφωνα με τον Καραθανάση (2006) ο άνθρακας στα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να έχει δυο μορφές, γραφίτης ή στοιχειακός άνθρακας και οργανικές ενώσεις. Ο στοιχειακός άνθρακας παράγεται αποκλειστικά από διαδικασίες καύσεις όποτε θεωρείτε πρωτογενής ρύπος και ονομάζεται αιθάλη (Καραθανάσης, 2006).

Πίνακας 5.3.(1): Οργανικές ενώσεις στα ατμοσφαιρικά σωματίδια σε αστικές περιοχές (Καραθανάσης, 2006).

Αλκάνια μεγάλου μοριακού βάρους	Αλκένια μεγάλου μοριακού βάρους
Αλκυλοβενζόλια	Ναφθαλίνες
Πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
Οξέα	Κυκλικές κετόνες
Φαινόλες	Χλωροπαράγωγα του βενζολίου
Εστέρες	Αλδεύδες
Αλειφατικά καρβοξυλικά οξέα	Αλειφατικά δικαρβοξυλικά οξέα
Αζωταμίνες	Αζωτούχες οργανικές ενώσεις
Ετεροκυκλικές οργανικές ενώσεις που περιέχουν θείο και άζωτο	Οργανικές ενώσεις του διοξειδίου του θείου
Ακλυλοχλωρίδια	Χλωροφθοράνθρακες

Η αναλογία οργανικού – ανόργανου υλικού στα αιωρούμενα σωματίδια εξαρτάται από παράγοντες όπως οι πηγές προέλευσης το μέγεθος και οι επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Οι χημικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλουν ανάλογα με τη σύστασή τους, ενώ οι περισσότερες από τις φυσικές ιδιότητες (π.χ. όγκος, επιφάνεια, ταχύτητα πτώσης διάχυση Brown κ.ά.) αποτελούν συνάρτηση του μεγέθους τους (Κουϊμτζής κ. ά., 2004).

Επίσης, τα αιωρούμενα σωματίδια λόγω της πολύ μεγάλης ενεργού επιφάνειας ανά μονάδα μάζας και του μικρού μεγέθους τους μπορούν να θεωρηθούν ως μικρο-αντιδραστήρες, ως ένα μέσο δηλαδή όπου λαμβάνουν χώρα ετερογενείς χημικές αντιδράσεις. Ως συνέπεια αυτού ευνοείται η προσρόφιση ουσιών από την αέρια φάση πάνω στην επιφάνεια των σωματιδίων, ιδιαίτερα συστατικών με χαμηλή πτητικότητα. Έτσι, στα αιωρούμενα σωματίδια καταλήγουν διάφορα μέταλλα ή ημιπτητικές οργανικές ενώσεις αυξάνοντας, έτσι, και την τοξικότητά τους.

Τα κύρια χημικά συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι:

- **Θειικά:** Τα θειικά προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα και συνήθως βρίσκονται υπό τη μορφή θειικού αμμωνίου. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα $PM_{2.5}$. Θεικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές, όπου το θειικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Παρόλο που ο γύψος και κάποια άλλα γεωλογικά υλικά περιέχουν θειικά, αυτά δεν διαλύονται εύκολα στο νερό ώστε να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκα σωματίδια έναντι των $PM_{2.5}$ και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά (Harrison and Yin, 2000).
- **Νιτρικά:** Τα νιτρικά σχηματίζονται κυρίως από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου. Το νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3) είναι το πιο συχνά απαντώμενο και βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τις πρόδρομες αέριες ουσίες του, την αμμωνία (NH_3) και τους ατμούς νιτρικού οξέος (HNO_3) (Seinfeld and Pandis, 2006). Σε ορισμένες περιπτώσεις το νιτρικό νάτριο ($NaNO_3$) κυριαρχεί. Λόγω της ταχύτερης οξείδωσης του NO_2 σε σχέση με το SO_2 , και της ευαισθησίας του NH_4NO_3 στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις της NH_3 , η χωρική κατανομή των

νιτρικών είναι πολύ λιγότερο ομοιόμορφη από αυτή των θεικών (Harrison and Yin, 2000).

- **Αμμωνιακά:** Κατά τον αρχικό σχηματισμό των θεικών και νιτρικών ιόντων στην ατμόσφαιρα, αυτά βρίσκονται υπό την μορφή των αντίστοιχων οξέων. Σταδιακά, τα οξέα αυτά εξουδετερώνονται από την ατμοσφαιρική αμμωνία, σχηματίζοντας αμμωνιακά άλατα (Harrison and Yin, 2000).
- **Χλωρίοντα:** Η κύρια πηγή των ιόντων χλωρίου είναι το υδρόλυμα θαλάσσης (sea spray), ακόμη και σε περιοχές που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα από την ακτή. Οι θαλάσσιες πηγές χλωριούχων σωματιδίων συνεισφέρουν κυρίως σε χλωριούχο νάτριο (NaCl). Κατά τους χειμερινούς μήνες, πηγή χλωριόντων αποτελεί επιπλέον και η ρίψη αλατιού στους δρόμους για την αντιμετώπιση του πάγου. Τέλος, οι χλωριούχες ενώσεις εισέρχονται στην αέρια σωματιδιακή μάζα και με δευτερογενείς διαδικασίες, όπως και η εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από τους ατμούς υδροχλωρικού οξέος (HCl), το οποίο εκπέμπεται από πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας (Harrison and Jones, 1995).
- **Οργανικός Άνθρακας:** Ο οργανικός άνθρακας είναι δυνατόν να εκπέμπεται από πρωτογενείς πηγές εκπομπής. Σημαντική όμως ποσότητα παράγεται δευτερογενώς, μέσω ατμοσφαιρικών φωτοχημικών διεργασιών μεταξύ πρωτογενών αέριων οργανικών χημικών ειδών, οι οποίες παράγουν χαμηλής πτητικότητας οργανικές ενώσεις (Kavouras et al., 1999).

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

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

- **Γεωλογικά Υλικά:** Στην κατηγορία των γεωλογικών υλικών περιλαμβάνεται επιφανειακή σκόνη και αερομεταφερόμενα αποσπασμένα πετρογενή ορυκτά υλικά. Η σύστασή τους δεν είναι σταθερή, αλλά αντικατοπτρίζει τα εκάστοτε τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην επαναιώρησή τους από το έδαφος (Harrison and Yin, 2000).
- **Βιολογικά Υλικά:** Ορισμένες μελέτες έχουν διαχωρίσει την σωματιδιακή ύλη βιολογικής προέλευσης (Biological Aerosol Particles, BAP), η οποία είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια, αλλά και σπόρους και γύρη. Με εξαίρεση κάποιους ιούς, και άλλα σωματίδια που εκπέμπονται είτε από το ανθρώπινο σώμα ή από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες (πχ αποχετευτικό σύστημα), τα σωματίδια αυτά είναι στην πλειοψηφία τους χονδρόκοκκα (Harrison and Yin, 2000).
- **Μέταλλα και Μεταλλικά Ιχνοστοιχεία:** Τα μέταλλα που απαντώνται σε μεγάλη αναλογία στην μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο, υπό τη μορφή των ιόντων τους. Αυτά τα μέταλλα, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα ιοντικά είδη, εμφανίζονται κυρίως στο χονδρόκοκκο σωματιδιακό κλάσμα, γεγονός αναμενόμενο λόγω της προέλευσής τους από τα θαλάσσια αερολύματα και την επιφανειακή σκόνη (Harrison and Jones, 1995).

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

- **Ισχυρά Οξέα:** Ο σχηματισμός θεικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα, μέσω της οξείδωσης του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του αζώτου, αρχικά γίνεται υπό την μορφή των ισχυρών τους οξέων δηλαδή του θειικού (H_2SO_4) και του νιτρικού (HNO_3) οξέος. Το νιτρικό οξύ, λόγω της μεγάλης του πτητικότητας, είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια μόνο μέσω απώλειας της οξύτητάς του (μέσω είτε αντίδρασης με υδροχλωρικό οξύ, ή εξουδετέρωσης από την αμμωνία). Αντιθέτως, το θειικό οξύ είναι μη πτητικό και μόλις σχηματιστεί

ενσωματώνεται κατ' ευθείαν στα σωματίδια, όπου στη συνέχεια μπορεί να εξουδετερωθεί από την αμμωνία της ατμόσφαιρας (Harrison and Yin, 2000).

Πίνακας 5.3.(2): Στοιχεία για λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα σωματίδια (Καραθανάσης, 2006).

	Λεπτόκοκκα Σωματίδια	Χονδρόκοκκα Σωματίδια
Τρόποι δημιουργίας	Χημικές Αντιδράσεις, Πυρηνοποίηση, Συμπύκνωση, Συσσωμάτωση, Διαδικασίες νεφών/ομίχλης	Μηχανική διατάραξη, Αιώρηση σκόνης
Σύνθεση	Θειικά άλατα, Νιτρικά άλατα, Αμμωνιακά, Ιόντα υδρογόνου, Στοιχειακός άνθρακας, Οργανικά στοιχεία, Νερό, Μέταλλα	Σκόνη επαναιώρησης, Ιπτάμενη τέφρα από γαιάνθρακες και πετρέλαιο, Οξειδία από κρυσταλλικά στοιχεία, CaCO ₃ , NaCl, Γύρη, Σπόροι, Θραύσματα ελαστικών
Διαλυτότητα	Μεγάλη διαλυτότητα και υγροσκοπικά	Μεγάλη αδιαλυτότητα και μη υγροσκοπικά
Πηγές	Καύση (γαιάνθρακα, πετρελαίου, βενζίνης, diesel, ξύλου) Μετατροπή από αέρια σε σωματιδιακή φάση των οξειδίων του αζώτου, του τριοξειδίου του θείου και των οργανικών πτητικών ενώσεων Καμίνια, Μύλοι	Επαναιώρηση βιομηχανικής σκόνης και εδάφους, Αιώρηση εδάφους (καλλιέργεια, εξόρυξη, δρόμοι χωρίς επίστρωση), Βιολογικές πηγές, Κατασκευές/κατεδαφίσεις, θαλάσσιοι ψεκασμοί
Χρόνος Ζωής	Μέρες έως εβδομάδες	Λεπτά έως ημέρες
Απόσταση μετακίνησης	Εκατοντάδες έως και χιλιάδες χιλιόμετρα	<δεκάδες χιλιόμετρα

5.4. Πηγες Αιωρούμενων σωματιδίων

Σημαντικές φυσικές πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η διάβρωση του εδάφους και των βράχων (σκόνη), η εκρήξεις ηφαιστειών, οι πυρκαγιές δασικών εκτάσεων, και οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ φυσικά εκπεμπόμενων σωματιδίων (Καραθανάσης, 2006). Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι η καύση υγρών αλλά κυρίως στερεών καυσίμων, οι βιομηχανικές δραστηριότητες και οι μεταφορές. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι κατά τα φαινόμενα διαφυγής τα σωματίδια δεν εκπέμπονται από ένα ορισμένο σημείο, πχ καμινάδες, αλλά από μια μεγάλη περιοχή (πηγή επιφάνειας). Όσον αφορά τις βιομηχανικές δραστηριότητες ΑΣ εκπέμπονται κατά την κυκλοφορία σε μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους, με την επίδραση του ανέμου σε αποθηκευμένους σωρούς, και τα το φόρτωμα και κατά τη μεταφορά. Οι εκπομπές σωματιδίων από τις μεταφορές

προέρχονται είτε από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, είτε από τις φθορές των ελαστικών, του αμπραγιάζ και των φρένων.

Πίνακας 5.4: Ανάλυση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων (Καραθανάσης, 2006).

Φυσικές πηγές	Ανθρωπογενείς πηγές
Διάβρωση εδάφους και βράχων	Καύση καυσίμων και βιομηχανικές δραστηριότητες
Δασικές πυρκαγιές	Διαφεύγουσες εκπομπές από βιομηχανικές δραστηριότητες
Σταγονίδια από τη θάλασσα	Διαφεύγουσες εκπομπές από μη βιομηχανικές δραστηριότητες
Ηφαιστειακή δράση	Μεταφορές
Σωματίδια που σχηματίζονται από φυσικές εκπομπές αερίων όπως H_2S , NH_3 , NO_x και υδρογονανθράκων	

5.5. Μηχανισμοί σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων

Μια κοινή ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το έντονο φαινόμενο της ρόφησης που εμφανίζουν, λόγω της μεγάλης, ολικής τους επιφάνειας, η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του σωματιδίου. Η μεγάλη αυτή επιφάνεια των σωματιδίων οφείλεται σε μικροπόρους, που η πλειονότητά τους έχει ακτίνα μικρότερη από 10nm (Ευαγγελόπουλος, 2004). Ως αποτέλεσμα της ρόφησης είναι η προσκόλληση ανεξάρτητων μορίων στην επιφάνεια των σωματιδίων και γίνεται με τους εξής τρόπους:

- **Πυρηνοποίηση:** Αποτελεί τον σπανιότερο μηχανισμό σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς για να επιτευχθεί προϋποθέτει υψηλή πίεση. Είναι ένας από τους θεμελιώδεις μηχανισμούς και αποτελεί ουσιαστικά συμπύκνωση, δηλαδή μετάβαση από την αέρια σε υγρή φάση. Η φάση μετάβασης δεν γίνεται αμέσως αλλά μέσω του σχηματισμού συσσωρεύσεων μικρών μορίων σε μορφή συστάδων. Διακρίνεται σε ομομοριακή όταν παίρνει μέρος μια μόνο χημική ένωση και σε ετορομοριακή όταν συμμετέχουν περισσότερες από μια χημική ένωση. Το μέγεθος των ΑΣ που προκύπτει δεν ξεπερνά τα 0.1μm (Λαζαρίδης, 2005).
- **Συμπύκνωση:** Συμπύκνωση είναι η μετάβαση από την αέρια στην υγρή φάση και αφορά την συμπύκνωση αερίων στην επιφάνεια προϋπαρχόντων σωματιδίων. Επηρεάζεται από παράγοντες όπως η υγρασία και το μέγεθος των ΑΣ. Το μέγεθος των ΑΣ που προκύπτουν φθάνει το 1μm (Λαζαρίδης, 2005).

- **Συσσωμάτωση:** Συσσωμάτωση είναι η διαδικασία κατά την οποία αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας συγκρούονται μεταξύ τους δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερα σωματίδια. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η αύξηση του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων. Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων που προκύπτουν φθάνει το 1μm (Λαζαρίδης, 2005).

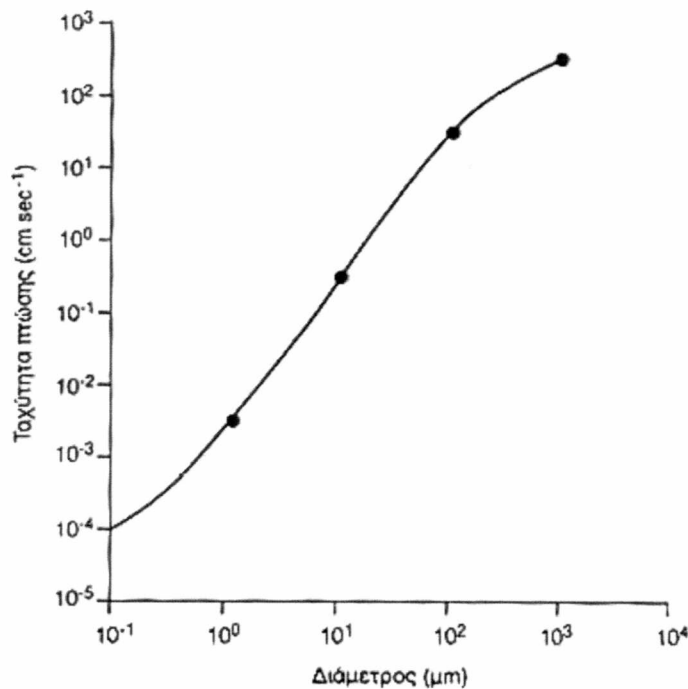
5.6. Χρόνοι παραμονής στην ατμόσφαιρα, ταχύτητα πτώσης και μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων

5.6.1. Ταχύτητα πτώσης

Μια από τις παραμέτρους που είναι σημαντική για την μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ο χρόνος παραμονής αυτών στην ατμόσφαιρα διότι αποτελεί κάλο δείκτη της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος και της υγείας των ανθρώπων. Βασικός παράγοντας που επηρεάζει τον χρόνο παραμονής είναι η ταχύτητα πτώσης. Η ταχύτητα πτώσης των αιωρούμενων σωματιδίων περιγράφεται από το νόμο του Stokes. Σύμφωνα με το νόμο του Stokes η ταχύτητα πτώσης είναι ανάλογη της διαμέτρου των αιωρούμενων σωματιδίων:

$$U_{sp} = \frac{2g}{9} - \frac{(d - d')r^2}{n} \quad (5.4)$$

όπου U_{sp} η οριακή ταχύτητα πτώσης των σωματιδίων, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, d η πυκνότητα του σωματιδίου, d' η πυκνότητα του μέσου πτώσης, n ο συντελεστής ιξώδους του μέσου πτώσης και r η ισοδύναμη αεροδυναμική ακτίνα του σωματιδίου.



Σχήμα 5.6.1: Ταχύτητα πτώσης αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τη διάμετρο τους (Αιωρούμενα σωματίδια σφαιρικά πυκνότητας 1g/cm. Ατμόσφαιρα ήρεμη, θερμοκρασία 0°C, πίεση 760 mmHg) (Χαμουλάκης 2012).

Βέβαια ο χρόνος παραμονής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα δεν επηρεάζεται μόνο από την ταχύτητα πτώσης αλλά και από τη συγκέντρωση των υδρατμών και άλλων συστατικών της ατμόσφαιρας τα οποία αντιδρούν με αυτά με αποτέλεσμα να αλλάζει η διάμετρος και η σύστασή τους.

5.6.2. Μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων

Φυσικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης

Επίσης ο χρόνος παραμονής των αιωρούμενων σωματιδίων επηρεάζεται και από τον τρόπο απομάκρυνσής τους από την ατμόσφαιρα που μπορεί να γίνει είτε μέσω ξηρής είτε μέσω υγρής εναπόθεσης.

- Ξηρή εναπόθεση νοείται η μεταφορά αέριων και σωματιδιακών στοιχείων από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να υπάρχει κατακρήμνιση. Αυτό το είδος της εναπόθεσης εξαρτάται από την τύρβη της ατμόσφαιρας και τις χημικές ιδιότητες των σωματιδίων που καθιζάνουν.

- Η υγρή απόθεση είναι η φυσική διαδικασία κατά την οποία ύλη αφαιρείται με τον υετό (βροχή, χιόνι, σταγόνες ομίχλης) από την ατμόσφαιρα και καθιζάνει στην επιφάνεια της γης. Για αυτή τη διαδικασία είναι απαραίτητα τρία βήματα. Πρώτα τα σωματίδια πρέπει να βρεθούν σε κατάσταση που να υπάρχει συμπυκνωμένο νερό, στην συνέχεια πρέπει να απομακρυνθούν με τον υετό και τέλος πρέπει να μεταφερθούν στο έδαφος. Τα σωματίδια μπορεί να υποστούν χημικές μετατροπές σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια.

Τεχνητοί μηχανισμοί απομάκρυνσης

Σύμφωνα με τον Κούγκολο (2007), ο καθαρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να γίνει και με ανθρώπινα μέσα. Αυτά χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες:

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

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

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

αεροκυκλώνων βασίζεται στην φυγόκεντρο δύναμη, η μάζα του σωματιδίου είναι εξίσου σημαντική (Κούγκολος, 2007).

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

- Κατακάθιση λόγω βαρύτητας.
- Πρόσκρουση λόγω αδράνειας.
- Ανάσχεση.
- Ηλεκτροστατική καθίζηση
- Διάχυση.
- Κοσκίνιση.

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

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

Ηλεκτρόφιλτρα: Τα ηλεκτρόφιλτρα αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, το αρνητικό που έχει τη μορφή σύρματος και ονομάζεται ηλεκτρόδιο εκκένωσης και το θετικό που έχει τη μορφή πλάκας ή κυλίνδρου για να έχει μεγάλη επιφάνεια και ονομάζεται ηλεκτρόδιο συλλογής. Μεταξύ τους αναπτύσσεται τάση 20000V-90000V. Στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο τα μόρια των αερίων ιονίζονται αρνητικά και κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο συλλογής. Τα αιωρούμενα σωματίδια φορτίζονται αρνητικά από τα ιόντα που προσκολλούνται πάνω τους και κάτω από την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου οδηγούνται στο θετικό ηλεκτρόδιο

συλλογής όπου και προσκολλούνται. Έτσι τα αερολύματα βγαίνουν από τα ηλεκτρόδια απαλλαγμένα από τα σωματίδια (Κούγκολος, 2007).

5.7. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων

Ένα από τα βασικότερα πεδία ερευνών των τελευταίων δεκαετιών με θέμα την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι οι επιπτώσεις των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία. Την τελευταία δεκαετία επιστημονικές μελέτες απέδειξαν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν επιπτώσεις τόσο στην υγεία των ανθρώπων όσο και συνολικά στο φυσικό περιβάλλον. Όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία ένας μεγάλος αριθμός μελετών δείχνει ότι προκαλεί κυρίως αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα. Στο περιβάλλον οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ποικίλες, για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρξει διαχωρισμός των επιπτώσεων στη βλάστηση, στα υλικά, στην ορατότητα και στο κλίμα.

5.7.1. Επιπτώσεις στην υγεία

Τα αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια, τόσο τα μικρού μεγέθους όσο και τα μεγαλύτερα, είναι βλαβερά για το οργανισμό του ανθρώπου, όπου συσσωρεύονται και συνδέονται με πολυάριθμες επιπτώσεις στην υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες με βάση το χρόνο έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού σε αυτές. Έτσι χωρίζονται σε επιπτώσεις βραχυχρόνιας έκθεσης και επιπτώσεις μακροχρόνιας έκθεσης.

Επιπτώσεις βραχυχρόνιας έκθεσης

Η βραχυχρόνια έκθεση σε μεγάλα σωματίδια (PM_{10}) ερεθίζει το αναπνευστικό σύστημα και παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα με του άσθματος. Όσον αφορά τις επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα, η βραχυχρόνια έκθεση έχει συνδεθεί κυρίως με καρδιακή ανεπάρκεια και ισχαιμία του μυοκαρδίου. Μελέτες έχουν δείξει ότι για κάθε αύξηση $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ της συγκέντρωσης των PM_{10} , ο κίνδυνος εισαγωγής στο νοσοκομείο λόγω ισχαιμίας του μυοκαρδίου αυξάνεται για τον γενικό πληθυσμό κατά 1.9% ενώ για τα ηλικιωμένα άτομα κατά 2.9%.

Βάσει κλινικών μελετών, η βραχυχρόνια έκθεση του οργανισμού σε $PM_{2.5}$ οδηγεί σε φλεγμονές, οξειδωτικές αντιδράσεις και αλλεργική ευαισθητοποίηση, καθώς και μειωμένη ροή αίματος του μυοκαρδίου, ακολουθούμενη από ισχαιμία, αλλαγές στην αγγειακή αντιδραστικότητα και μορφολογία και αυξημένο καρδιακό οξειδωτικό στρες.

Μελέτες δείχνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις PM₁₀ προκαλούν μείωση της πνευμονικής λειτουργίας ωστόσο τα αποτελέσματα των ερευνών δεν συγκλίνουν σε ένα τελικό συμπέρασμα όσον αφορά την επίπτωση αυτών στο καρδιαγγειακό σύστημα.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις της μακροχρόνιας έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού σε σωματίδια διαμέτρου 2.5μm, νέες μελέτες δείχνουν ότι είναι πολύ σοβαρές. Η τοξικότητα των PM_{2.5} είναι ανάλογη της πηγής προέλευσης και της χημικής του σύστασης. Η λήψη τοξικών ουσιών όπως οι ατμοί υδραργύρου ή ενώσεων υδραργύρου σε σωματιδιακή μορφή, μπορούν να προκαλέσουν απ' ευθείας βιοχημικές αντιδράσεις στον οργανισμό. Μελέτες δείχνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση σε PM_{2.5} έχει συνδεθεί με την παρουσία φλεγμονών, οξειδωτικών αντιδράσεων και καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος. Τέλος τα PM_{2.5} έχουν συνδεθεί και με την πρόκληση αθηροσκλήρωσης και διάφορα καρδιαγγειακά νοσήματα.

Πίνακας 5.7.1: Ικανότητα διείσδυσης αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα με βάση τη διάμετρό τους (Ρεμουντάκη, 2012).

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

5.7.2. Επιπτώσεις στη βλάστηση

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στη βλάστηση μπορούν να χωριστούν σε έμμεσες και άμεσες:

1. Όσον αφορά τις άμεσες συνέπειες, σύμφωνα με τους Hirano et al. (1995), η χημικώς αδρανής σκόνη που συσσωρεύεται στα φύλλα επηρεάζει μεταξύ άλλων τη θερμοκρασία των φύλλων και τη φωτοσυνθετική τους ικανότητα. Ειδικότερα οι ίδιοι ερευνητές καταλήγουν στα εξής συμπεράσματα γι' αυτές τις δυο παραμέτρους:

- Σχετικά με τη φωτοσυνθετική ικανότητα, ο ρυθμός φωτοσύνθεσης μειώνεται από την προσκόλληση όλο και περισσότερης σκόνης στα φύλλα.
- Η θερμοκρασία των φύλλων αυξάνεται και μάλιστα εξαρτάται από το χρώμα της σκόνης, αφού τα σκουρόχρωμα χρώματα απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.

Όσον αφορά τις συνέπειες από χημικώς επιβαρυνμένη σκόνη, επηρεάζει κυρίως την ανάπτυξη των φυτών αφού οδηγεί σε μείωση του ύψους, της φυτομάζας, της καθαρής παραγωγικότητας και του αριθμού των ανθέων (Prasad and Inamdar, 1990).

2. Οι έμμεσες συνέπειες έχουν να κάνουν με την αλλαγή της χημικής σύστασης του εδάφους και την αλλαγή της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης από τα αιωρούμενα σωματίδια.

Όσον αφορά την αλλαγή της χημικής σύστασης του εδάφους πιο σημαντικός παράγοντας είναι η όξινη εναπόθεση που αφορά κυρίως σωματίδια που περιέχουν νιτρικά και θειικά οξέα. Η όξινη εναπόθεση προκαλεί:

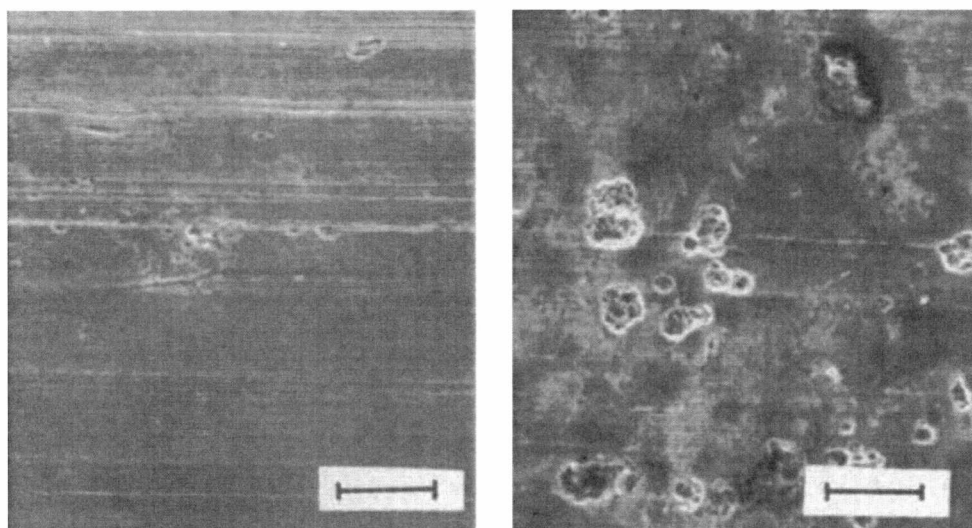
- Εξάντληση του ασβεστίου και άλλων συστατικών από τα εδάφη.
- Κινητοποίηση του ανόργανου αλουμινίου των εδαφών.
- Αύξηση της συσσώρευσης του αζώτου και του θείου στα εδάφη.

Σημαντικές επιπτώσεις της όξινης εναπόθεσης είναι η μείωση της φωτοσύνθεσης, η πτώση των φύλλων και γενικά η μειωμένη ανάπτυξη των φυτών (Driscoll et al., 2003).

Σχετικά με την αλλαγή της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης, τα αιωρούμενα σωματίδια και ειδικά η αιθάλη, ως προϊόν ατελούς καύσης, έχουν την ικανότητα να μειώνουν τη συνολική ποσότητα ακτινοβολίας που φθάνει στη Γη επηρεάζοντας έτσι την φωτοσυνθετική αποδοτικότητα των φυτών. Παράδειγμα είναι η περίπτωση της Κίνας όπου σε περιοχές με έντονη περιβαλλοντική ρύπανση η προσπίπτουσα ακτινοβολία έχει μειωθεί κατά 30% και που σαφώς συνοδεύεται από σημαντική μείωση της παραγωγής τροφίμων (Steffen et al., 2005).

5.7.3. Επιπτώσεις στα υλικά

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στα υλικά σχετίζονται τόσο με τη φυσική φθορά όσο και με την αισθητική αλλοίωση. Μελέτες δείχνουν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν βλάβες στα μέταλλα, στην πολιτιστική κληρονομία και διαφορές φθορές στην αισθητική όπως π.χ. αποχρωματισμούς.



Εικόνα 5.7.3: Διάβρωση μεταλλικής επιφάνειας ψευδαργύρου σε 80% σχετική υγρασία (μήκος σημαδιού 25μm). Μη ρυπασμένη επιφάνεια (αριστερά), ρυπασμένη επιφάνεια από ιπτάμενη τέφρα (δεξιά) (Askey et al., 1993).

Ο βαθμός διάβρωσης που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια στα μέταλλα εξαρτάται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η διάβρωση. Η διάβρωση μπορεί να προκληθεί είτε μέσω της δημιουργίας διαφοροποιημένων συνθηκών αερισμού, είτε αυξάνοντας την αγωγιμότητα της τοπικής υγρασίας στην επιφάνεια των μεταλλικών μερών, είτε προωθώντας την οξείδωση του διοξειδίου του θείου σε θειικό οξύ. Ο δεύτερος παράγοντας έχει να κάνει με τις αντοχές κάθε διαφορετικού τύπου μετάλλου στη διάβρωση (Askey et al., 1993).

Η εναπόθεση σωματιδίων μπορεί να μειώσει την αισθητική αξία κτιρίων και σημαντικών πολιτιστικών μνημείων με την εναπόθεση σκόνης στην επιφάνεια τους. Τα σωματίδια που αποτελούνται συνήθως από ανθρακογενή συστατικά μπορούν να εναποτεθούν σε αγάλματα και γενικά σε έργα τέχνης. Τα υλικά πάντως μπορούν να

επανεέλθουν στην αρχική τους κατάσταση με καθάρισμα ή πλύσιμο ακόμα και με ξανά βάνιμο, στις περιπτώσεις κτιρίων.

5.7.4. Επιπτώσεις στην ορατότητα

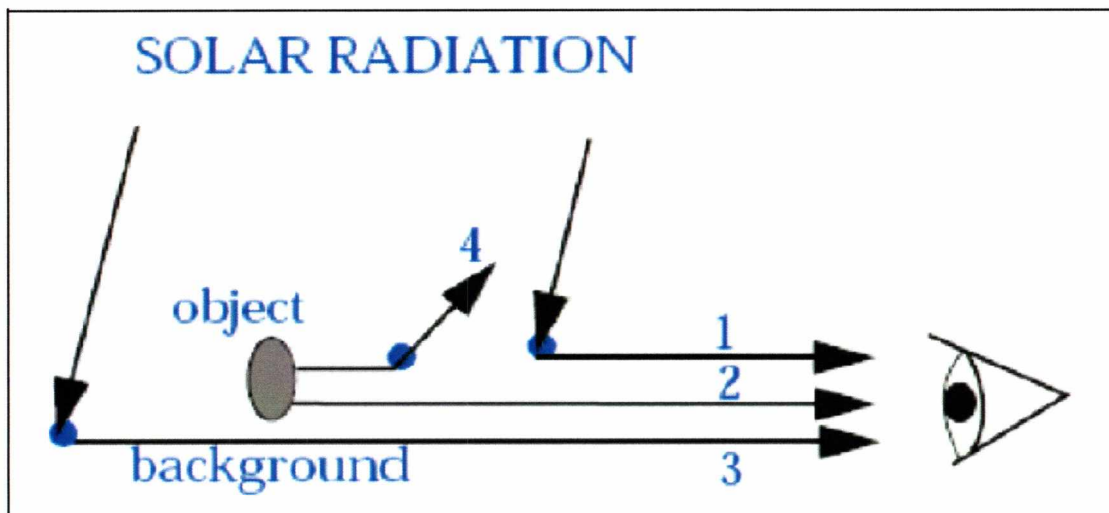
Ορατότητα είναι η μέγιστη απόσταση στην οποία μπορούν να αναγνωριστούν αντικείμενα με το φως της ημέρας, ή η μέγιστη απόσταση στην οποία, κατά τη νύχτα, είναι ορατό ένα φως. Η μείωση της ορατότητας μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή από τον άνθρωπο, είναι η πιο απλή ένδειξη που υποδηλώνει την παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων και οφείλεται στην απορρόφηση και την σκέδαση του φωτός από τα αέρια και τα σωματίδια.

Η ορατότητα ενός αντικειμένου, δυσχεραίνεται στην περίπτωση που η σκέδαση του φωτός από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι τόσο σημαντική και κυρίαρχη, που η ανάκλαση του φωτός από το αντικείμενο, καθίσταται ασήμαντη. Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων παίζουν σημαντικό ρόλο στο διασκορπισμό του φωτός. Τα πολύ μικρά σωματίδια και μόρια είναι αναποτελεσματικά στο να διασκορπίζουν το φως. Η αποδοτικότητα αυξάνεται καθώς αυξάνεται και το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων, μέχρι το σημείο όπου το μέγεθος τους είναι ίδιο με το μήκος κύματος του ορατού τμήματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Από το σημείο αυτό και πάνω δηλαδή στα χονδρόκοκκα σωματίδια η σχέση είναι αντιστρόφως ανάλογη. Για το λόγο αυτό τα λεπτόκοκκα σωματίδια είναι τα πλέον ενδιαφέροντα και υπεύθυνα για το πρόβλημα της ορατότητας (Malm, 1999).

Σημαντικό ρόλο στην μείωση της ορατότητας έχει και η υγρασία. Η ικανότητα των σωματιδίων της ατμόσφαιρας να προσροφούν νερό, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την συνολική μάζα του αερολύματος και την εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται άμεσα η ορατότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι για περιβάλλον με σχετική υγρασία 90% η ικανότητα σκέδασης της ηλιακής ακτινοβολίας του θεικού αμμωνίου αυξάνει κατά 5 φορές σε σχέση με την σκεδαστικότητα του ίδιου σε ξηρό περιβάλλον (Malm and Day, 2001).

Τέλος, η ορατότητα επηρεάζεται και από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα αιωρούμενα σωματίδια. Όταν το φως φθάνει σε ένα αντικείμενο μερικά από τα μήκη κύματος του σκεδάζονται και άλλα απορροφώνται αποτέλεσμα να έχουμε τον χρωματισμό των αντικειμένων. Έτσι, αν στην ατμόσφαιρα υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια τα οποία αποτελούνται από διάφορες χημικές ενώσεις, αυτά θα απορροφήσουν μεγάλο ποσοστό από το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας με συνέπεια την απώλεια φωτός (Σχήμα 5.7.4).

Αυτό γίνεται αντιληπτό στο ανθρώπινο μάτι σαν σκοτεινίασμα. Η φωτεινότητα που χάνεται μετατρέπεται σε θερμότητα και διαφεύγει προς το διάστημα (Hyslop, 2009).



Σχήμα 5.7.4: Μείωση της ορατότητας εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων (Χαμουλάκης, 2012).

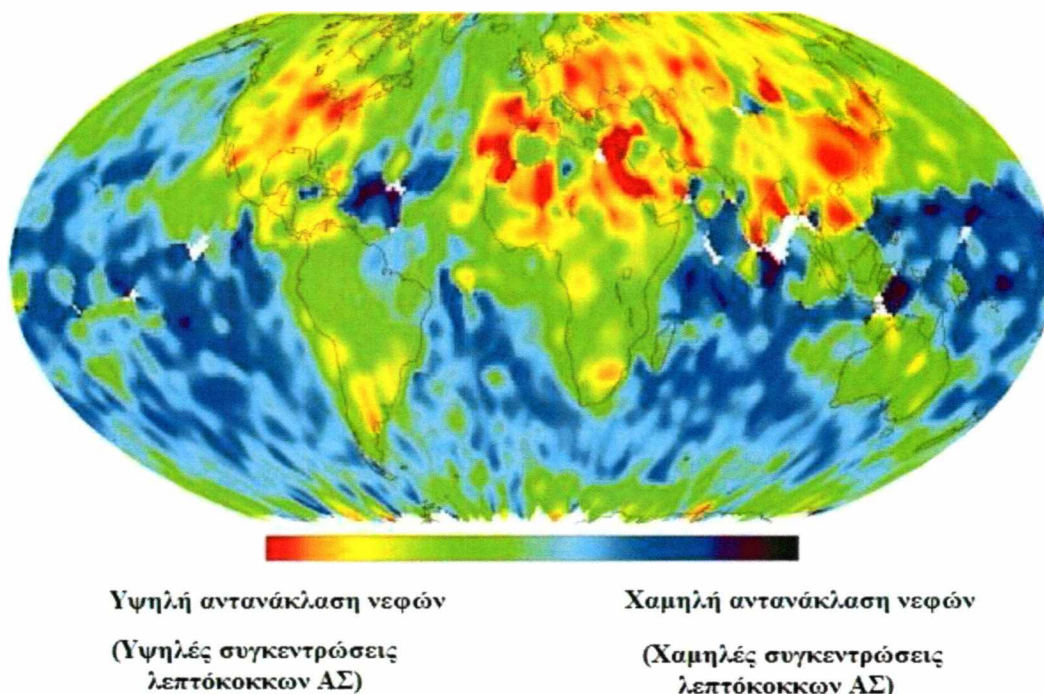
5.7.5. Επιπτώσεις στο κλίμα

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν τόσο το κλιματικό σύστημα όσο και το υδρολογικό. Κατά συνέπεια έχουν έμμεσες και άμεσες συνέπειες. Οι άμεσες συνέπειες προκαλούνται κυρίως από την ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα να απορροφούν και να αντανακλούν την ακτινοβολία. Όσον αφορά τον υδρολογικό κύκλο μέσω της συμμετοχής των αιωρούμενων σωματιδίων στις διαδικασίες πυρηνοποίησης και συμπύκνωσης προκαλούν αλλαγές στην κάλυψη των νεφών, στις ιδιότητες τους και στη βροχόπτωση όποτε κατ' επέκταση και στο κλιματικό σύστημα (Kaufman et al., 2002).

Τα αιωρούμενα σωματίδια αντισταθμίζουν τις ιδιότητες των αέριων του θερμοκηπίου αφού μέσω των ιδιοτήτων τους (αντανάκλαση και απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας) προκαλούν μείωση της θερμοκρασίας. Ωστόσο η ιδιότητα αυτή δεν είναι ικανή να αντιστρέψει όλη την υπάρχουσα κατάσταση (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Στην ουσία τα αιωρούμενα σωματίδια τον προηγούμενο αιώνα υπέκρυπταν κατά κάποιο τρόπο την πραγματική έκταση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Όμως τα επόμενα χρόνια θα αποκαλυφθεί η πλήρη έκταση του φαινομένου, λόγω των μέτρων που έχουν παρθεί για την αντιμετώπιση των αιωρούμενων σωματιδίων. Τα αιωρούμενα σωματίδια που φαίνεται να

ασκούν μεγάλη επιρροή στο κλιματικό σύστημα και που ψύχουν την επιφάνεια της Γης, είναι αυτά που περιέχουν θεικές ενώσεις ως αποτέλεσμα των εκπομπών διοξειδίου του θείου από την καύση ορυκτών καυσίμων και αυτά που περιέχουν οργανικό άνθρακα ως αποτέλεσμα της καύσης βιομάζας (Andreae, 2007).

Στον αντίποδα βρίσκεται η αιθάλη όπου μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο αυτό δεν αλλάζει τη γενικότερη ψυκτική ικανότητα των αιωρούμενων σωματιδίων.



Εικόνα 5.7.5: Μέση αντανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας από τα νέφη της ατμόσφαιρας κατά την περίοδο Μαρτίου- Μαΐου 1997 (Kaufman et al., 2002).

Ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η διαδικασία της συμπύκνωσης. Τα αιωρούμενα σωματίδια συναγωνίζονται μεταξύ τους για το ποιο θα προσλάβει τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας, συνθέτοντας έτσι σταγονίδια νεφών. Οπότε αν στην ατμόσφαιρα υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων τότε τα προκύπτοντα σταγονίδια των νεφών θα είναι και αυτά πολλά σε αριθμό αλλά μικρά σε μέγεθος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό νεφών μεγάλης έκτασης και συνέπεια αυτού του φαινομένου είναι η μεγαλύτερη αντανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα. Η δεύτερη συνέπεια είναι ότι λόγω του μικρού μεγέθους των σταγονιδίων μειώνεται και η

Αδάμ Δημήτριος

αποδοτικότητα βροχόπτωσης με συνέπεια την αύξηση του χρόνου παραμονής των νεφών στον ουρανό που οδηγεί και αυτό με την σειρά του σε μεγαλύτερη απώλεια ηλιακής ακτινοβολίας (Lohmann, 2006).

6. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

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

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

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

6.1. Διεθνείς Συμβάσεις

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

- **ΣΥΝΘΗΚΗ ΤΗΣ ΓΕΝΕΥΗΣ**

Η Συνθήκη αυτή υπεγράφη στη Γενεύη τον Νοέμβριο του 1979 και είχε ως στόχο τη διασυννοριακή συνεργασία για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος από την ατμοσφαιρική ρύπανση που πλήττει πολλές χώρες. Η εν λόγω συνεργασία αφορούσε τη διαμόρφωση κατάλληλων πολιτικών σχετικά με την ανταλλαγή πληροφοριών, την οργάνωση ερευνητικών δραστηριοτήτων, την εφαρμογή και την ανάπτυξη ενός μηχανισμού

επιτήρησης. Τα κράτη που είχαν επικυρώσει τη σύμβαση δεσμεύονταν να περιορίσουν και να μειώσουν σταδιακά τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων.

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

- ΣΥΝΘΗΚΗ ΤΗΣ ΒΙΕΝΝΗΣ

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

- ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΜΟΝΤΡΕΑΛ

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το 1987, καθόρισε τους ρύπους που καταστρέφουν την στιβάδα του όζοντος καθώς και μέτρα αντιμετώπισής τους. Το Πρωτόκολλο περιείχε ένα πλάνο για προγραμματισμό της παραγωγής και της κατανάλωσης, καθώς και μέτρα ελέγχου όσον αφορά την κατασκευή, την εισαγωγή και εξαγωγή, χημικών ενώσεων που καταστρέφουν το όζον. Το Πρωτόκολλο σχεδιάστηκε όταν ανακαλύφθηκε η «τρύπα» του όζοντος στην Ανταρκτική το 1985 και οι κυβερνήσεις αναγνώρισαν την ανάγκη λήψης κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπισή της. Ακολούθησαν και άλλες συναντήσεις των μελών του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ για τροποποιήσεις και ρυθμίσεις του Πρωτοκόλλου που έγιναν στο Λονδίνο το 1990, στην Κοπεγχάγη το 1992, στη Βιέννη το 1995 και στο Πεκίνο το 1999. Μέχρι το Μάιο του 1999, το Πρωτόκολλο είχε επικυρωθεί από 168 χώρες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενσωμάτωσε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ στο ρυθμιστικό πλαίσιο με τους Κανονισμούς 541/91 και 3093/94 οι οποίοι προβλέπουν αυστηρότερα μέτρα από εκείνα του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ (<http://www.ekdd.gr/ekdda/index.php/gr>).

- ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ

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

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

6.2. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Θεμέλιος λίθος της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι η Οδηγία-Πλαίσιο 96/62/ΕΚ σχετικά με την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος. Αυτή η Οδηγία προέβλεπε τον καθορισμό οριακών τιμών και των επιπέδων συγκέντρωσης των ρύπων, τα οποία καθορίζονται βάσει των οδηγιών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) για τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, με στόχο την αποτροπή, πρόληψη και μείωση των επιβλαβών αποτελεσμάτων στην

ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον γενικότερα. Τη συγκεκριμένη Οδηγία - Πλαίσιο ακολούθησε μια σειρά θυγατρικών Οδηγιών (Μασσάρα, 2011).

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

- Οδηγία 70/220/ΕΚ «Μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από καυσαέρια προερχόμενα από τα οχήματα».
- Οδηγία 72/306/ΕΟΚ «Εκπομπές ρύπων από μηχανές ντίζελ».
- Οδηγία 75/716/ΕΟΚ «Περιεκτικότητα θείου ορισμένων υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 80/372/ΕΟΚ «Χλωροφθοράνθρακες στο περιβάλλον».
- Οδηγία 80/779/ΕΟΚ «Καθορισμός οριακών και κατευθυντηρίων τιμών για το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα».
- Οδηγία 82/884/ΕΟΚ «Καθορισμός της οριακής τιμής του μόλυβδου που περιέχεται στην ατμόσφαιρα» (εναρμόνιση : ΠΥΣ 98/10/28.7.1987).
- Οδηγία 84/360/ΕΟΚ «Καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από βιομηχανικές εγκαταστάσεις» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με Κοινή Υπουργική Απόφαση, ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990 «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθορισμός περιεχομένου Ειδικών Περιβαλλοντικών Μελετών (ΕΠΜ) κ.λπ.»).
- Οδηγία 85/203/ΕΟΚ «Προδιαγραφές ποιότητας αέρα για το διοξείδιο του αζώτου».
- Οδηγία 85/210/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών των σχετικών με την περιεκτικότητα της βενζίνης σε μόλυβδο» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 39254/1010/7.6.1988).
- Οδηγία 85/337/ΕΟΚ «Για την εκτίμηση των επιπτώσεων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990 και ΚΥΑ 75308/5512/2610/ 2.11.1990 συμμόρφωση με 84/360/ΕΟΚ και 85/337/ΕΟΚ).
- Απόφαση Συμβουλίου 86/277/ΕΟΚ «Για την μακροχρόνια χρηματοδότηση του συλλογικού προγράμματος μετρήσεων και αξιολόγησης της μεταφοράς αέριων ρύπων σε μεγάλη απόσταση στην Ευρώπη».

- Οδηγία 87/217/ΕΟΚ «Σχετικά με την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τον αμίαντο» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 8243/1113/26.2.1991).
- Οδηγία 88/77/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά των εκπομπών αερίων ρύπων από ντιζελοκινητήρες προοριζόμενους να τοποθετηθούν σε οχήματα» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 81160/861/3.7.1991 και ΚΥΑ 28432/2447/1992).
- Οδηγία 88/76/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά της ρυπάνσεως του αέρα από τα αέρια που προέρχονται από τους κινητήρες οχημάτων».
- Οδηγία 88/609/ΕΟΚ «Για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- Οδηγία 89/369/ΕΟΚ «Για την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από νέες εγκαταστάσεις καύσης αστικών απορριμμάτων».
- Οδηγία 89/429/ΕΟΚ «Για τη μείωση της ρύπανσης του αέρα από υφιστάμενες εγκαταστάσεις καύσης δημοτικών αποβλήτων».
- Οδηγία 91/441/ΕΟΚ τροποποίηση της 70/220/ΕΟΚ.
- Οδηγία 93/12/ΕΟΚ «Σχετικά με την περιεκτικότητα σε θείο ορισμένων υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 93/76/ΕΟΚ «Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας».
- Απόφαση 93/389/ΕΟΚ «Δημιουργία μηχανισμού παρακολούθησης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου».
- Οδηγία 94/12/ΕΟΚ «Σχετικά με τα μέτρα κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από εκπομπές των οχημάτων» και τροποποίηση της 70/220/ΕΟΚ.
- Οδηγία 94/63/ΕΟΚ «Για τον έλεγχο των εκπομπών πτητικών οργανικών ουσιών (Volatile Organic Compounds, VOCs) που είναι αποτέλεσμα της αποθήκευσης πετρελαίου και της διανομής του από σταθμούς υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 1996/62/ΕΚ «Εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος».
- Οδηγία 1999/13/ΕΚ «Περιορισμός των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση διαλυτών σε ορισμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις».

- Οδηγία 1999/30/EK «Σχετικά με τις οριακές τιμές του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων αζώτου, σωματιδίων και μολυβδου στον αέρα του περιβάλλοντος».
- Κανονισμός 2037/2000/EK «Για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος».
- Οδηγία 2000/69/EK «Για την αποτέφρωση των αποβλήτων».
- Οδηγία 2000/69/EK «Οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος».
- Οδηγία 2001/529/EK «Σχετικά με τα ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους».
- Οδηγία 2002/3/EK «Σχετικά με το όζον στην ατμόσφαιρα».
- Απόφαση 280/2004/ΕΕ «Μηχανισμός παρακολούθησης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου στην Κοινότητα και εφαρμογής του πρωτοκόλλου του Κυότο».
- Οδηγία 2008/1/EK «Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης»
- Οδηγία 2008/50/EK «Σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερου αέρα για την Ευρώπη» (ορίζονται τα ανώτερα όρια ρύπων που πρέπει να ισχύουν στον ατμοσφαιρικό αέρα ζωνών ή οικισμών).
- Οδηγία 2010/75/EK «Σχετικά με τις βιομηχανικές εκπομπές (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης».

6.3. Ελληνική Νομοθεσία

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

- Π.Δ. 1180/1981 «Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανικών, βιοτεχνικών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως του περιβάλλοντος εν γένει».

- Ν.1327/1983 «Για την αντιμετώπιση εκτάκτων επεισοδίων ρύπανσης του περιβάλλοντος και ρύθμιση συναφών θεμάτων».
- Ν. 1374/1983 «Κύρωση της σύμβασης της Γενεύης σχετικά με τη διασυνοριακή ρύπανση της ατμόσφαιρας σε μεγάλη απόσταση».
- Ν. 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος».
- Ν. 1818/1988 «Κύρωση της Συνθήκης της Βιέννης του 1985 για την προστασία της στοιβάδας του όζοντος και του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ του 1987 για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος».
- ΚΥΑ 58751/2370/1993 «Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- ΚΥΑ 3277/209/2000 «Καθορισμός γενικών αρχών και αρμόδιων υπηρεσιών, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος».
- Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κυότο στην Σύμβαση – πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος».
- ΚΥΑ 54409/2632/2004 «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ».
- ΚΥΑ 29459/1510/2005 «Καθορισμός εθνικών ανώτατων ορίων εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2001/81/ΕΚ».
- ΥΑ ΗΠ 33437/1904/Ε103/2008 «Έγκριση εθνικού προγράμματος μείωσης των εκπομπών ορισμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα, από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- ΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103/2011 «Μέτρα για την βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2008/50/ΕΚ».

6.4. Πρότυπα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας για τα Αιωρούμενα Σωματίδια

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

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας αναθεωρήθηκε το Μάιο του 2008 με την οδηγία 2008/50/EK, όπου για πρώτη φορά θεσμοθετήθηκαν όρια και για τα μικρά σωματίδια (PM_{2.5}). Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας για τα PM₁₀ και PM_{2.5} σύμφωνα με την οδηγία αυτή.

Πίνακας 6.4 (1): Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM₁₀ (Οδηγία 2008/50/EK).

	Τιμή ορίου	Περιορισμοί	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία συμμόρφωσης
	Ημερήσιο όριο (Περίοδος αναφοράς: 24 ώρες)			
Οριακή τιμή	50μg/m ³	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος	50%	1-Ιαν-05
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (35μg/m ³)	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος		
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (25μg/m ³)	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος		
	Ετήσιο όριο (περίοδος αναφοράς: 1 ημερολογιακό έτος)			
Οριακή τιμή	40μg/m ³		20%	1-Ιαν-05
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (28μg/m ³)			
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (20μg/m ³)			

Πίνακας 6.4 (2): Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα PM_{2.5} (Οδηγία 2008/50/ΕΚ).

Ετήσιο όριο	Τιμή ορίου	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία συμμόρφωσης
	1 ^ο Στάδιο		
Οριακή τιμή	25μg/m ³	20% έως την 1/1/2009. Μετά ανά 12μηνο μείωση κατά ίσα ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% την 1/1/2015	1-Ιαν-05
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% του ορίου (17μg/m ³)		
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% του ορίου (12μg/m ³)		
	2 ^ο Στάδιο		
Ημερολογιακό έτος	20μg/m ³		1-Ιαν-20

Ως ανώτερη επιτρεπόμενη 24ωρη τιμή για τα PM₁₀ καθορίστηκαν τα 50μg/m³, με δυνατότητα παραβίασης 35 ημέρες ετησίως, ενώ η ετήσια οριακή τιμή ορίστηκε στα 40μg/m³. Η ετήσια οριακή τιμή για τα PM_{2.5} ορίστηκε στα 25μg/m³ μέχρι τις αρχές του 2015 (1ο Στάδιο) και στα 20μg/m³ μέχρι τις αρχές του 2020 (2ο Στάδιο).

7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

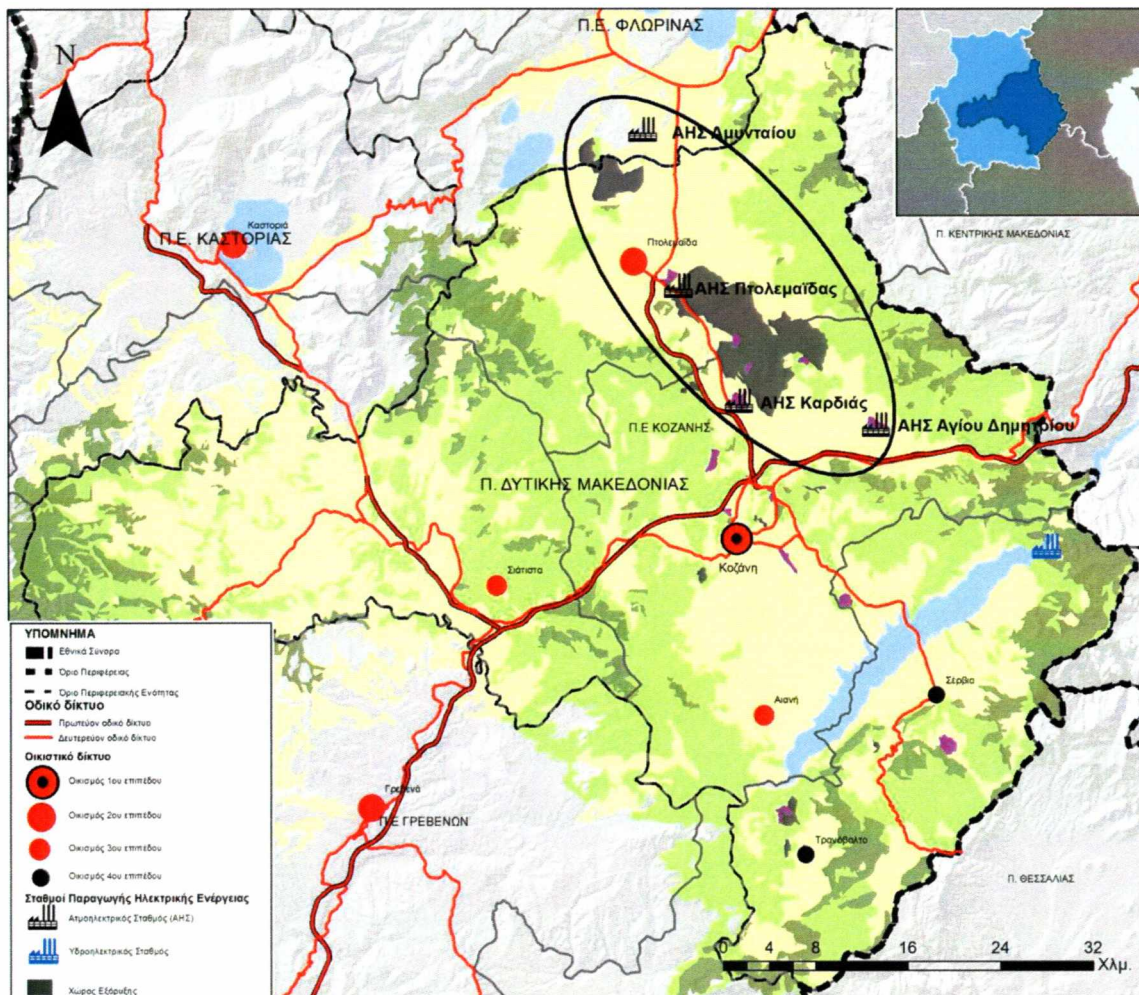
7.1. Χωρική οργάνωση της περιοχής

Ο δήμος Κοζάνης είναι ο πιο βασικός δήμος της περιφερειακής ενότητας της Κοζάνης. Η πόλη αποτελεί κέντρο πρώτου επιπέδου και το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι αποτελεί έδρα της περιφερειακής διοίκησης και της τοπικής αυτοδιοίκησης.

7.1.1. Χωροταξική θεώρηση ευρύτερης περιοχής

Αναφορικά με χωροταξική θεώρηση στις περιοχές μελέτης η περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας αποτελεί την κυριότερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται το 75% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας, εκ της οποίας το 50% στο νομό Κοζάνης. Με το νέο ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό της Μελίτης του νομού Φλώρινης, η Δ. Μακεδονία καλύπτει το 80% των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας. Η παραγωγή αυτή τροφοδοτείται από την εξόρυξη λιγνίτη στα ορυχεία της περιοχής και πραγματοποιείται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) που λειτουργούν στην περιοχή. Ειδικότερα, στην περιοχή σημείο αναφοράς αποτελούν οι περιοχές - λεκάνες κατά μήκος του άξονα Φλώρινα - Αμυνταίο - Πτολεμαΐδα - Κοζάνη - Σέρβια στις οποίες συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας. Σταδιακά στην περιοχή Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου δημιουργήθηκε ένα από τα μεγαλύτερα Λιγνιτικά Κέντρα στον κόσμο. Στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου λειτουργούν σήμερα τέσσερα λιγνιτωρυχεία: Το ορυχείο Νοτίου Πεδίου, το ορυχείο Καρδιάς, το ορυχείο Κυρίου Πεδίου και το ορυχείο Αμυνταίου (συμπεριλαμβανομένου και του ορυχείου στη Φλώρινα). Επίσης στο Λιγνιτικό Κέντρο ανήκουν το εργοστάσιο λιγνιτοπλίνθων και ο ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ. Ακόμη λειτουργούν οι ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, ΑΗΣ Καρδιάς, ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, ΑΗΣ Αμυνταίου και ΑΗΣ Μελίτης. Η συνολική παραγωγή όλων αυτών των σταθμών υπολογίζεται περίπου στα 4400 MW. Κάθε σταθμός παραγωγής αποτελείται από επιμέρους μονάδες η παραγωγική ικανότητα των οποίων φαίνεται και στον Πίνακα 7.2.1.

Χάρτης 7.1.1: Χωροταξική θεώρηση ευρύτερης περιοχής



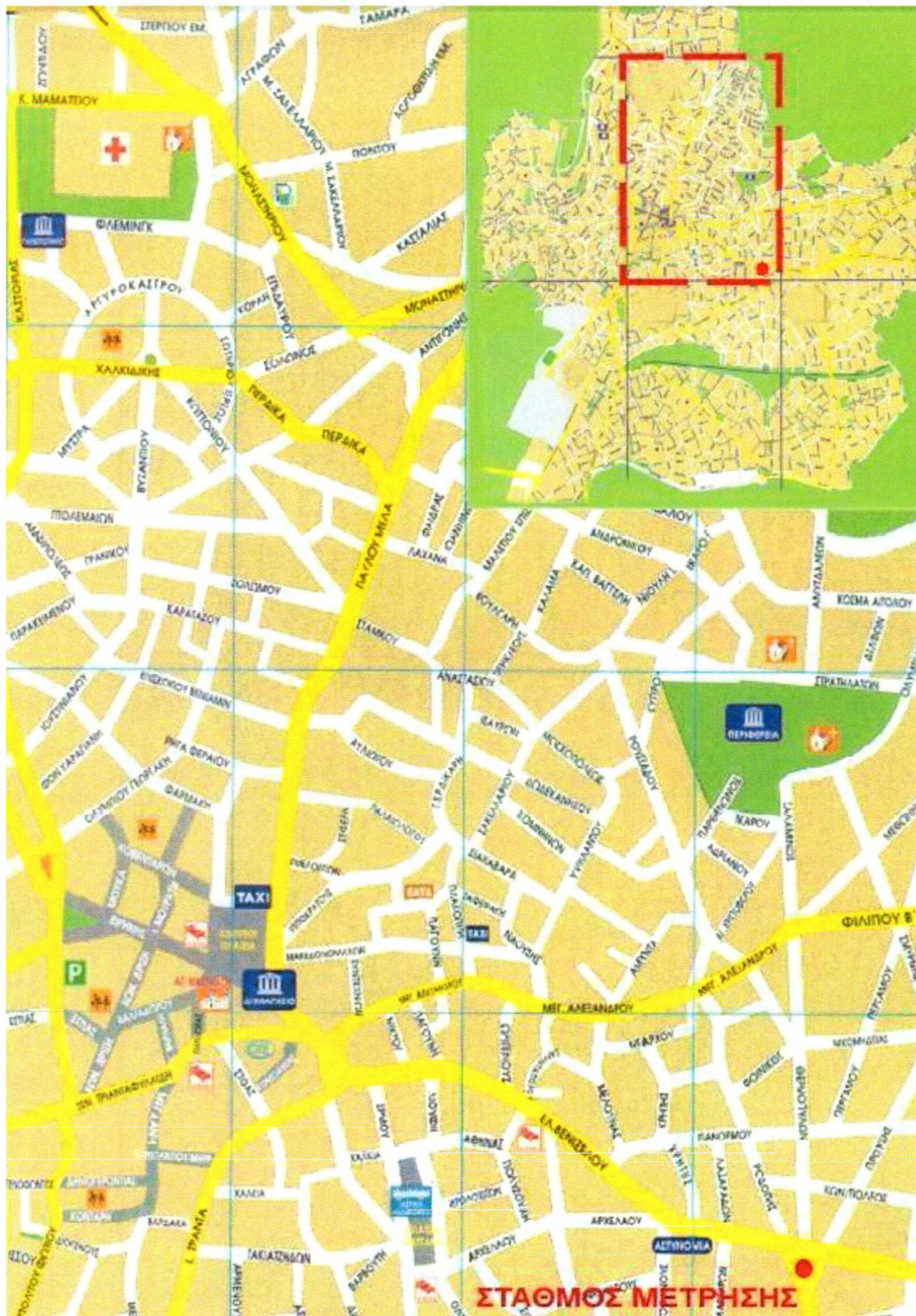
Πίνακας 7.1.1: Παραγωγική ικανότητα ΑΗΣ Δυτικής Μακεδονίας (<http://www.dei.gr/Default.aspx?id=899&nt=18&lang=1>).

ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΑΗΣ)	ΙΣΧΥΣ (MW)
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	$70 + 2 \times 125 + 300 = 620$
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	$2 \times 300 + 2 \times 310 + 375 = 1595$
ΛΙΠΤΟΛ	$10 + 33 = 43$
ΚΑΡΔΙΑΣ	$2 \times 300 + 2 \times 325 = 1250$
ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	$2 \times 300 = 600$
ΜΕΛΙΤΗΣ	$1 \times 330 = 330$
ΣΥΝΟΛΟ	4438

7.1.2. Χωροταξική θεώρηση περιοχής μελέτης

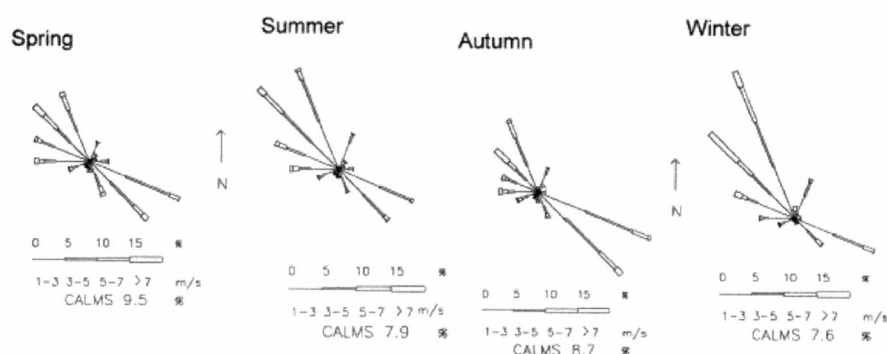
Η περιοχή μελέτης εστιάζει στον αστικό ιστό της πόλης της Κοζάνης. Η Κοζάνη είναι η πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη της περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας, καθώς και της ομώνυμης περιφερειακής ενότητας. Είναι χτισμένη ανάμεσα στις οροσειρές του Βερμίου, του Μπούρινου και των Πιερίων, 15 χλμ βορειοδυτικά της λίμνης του Πολυφύτου, σε υψόμετρο 720 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Απέχει 120 χλμ από τη Θεσσαλονίκη και 470 χλμ από την Αθήνα. Έχει 41.066 κατοίκους, ενώ ο Καλλικρατικός Δήμος έχει 71.388 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Ο λόγος για τον οποίο οριστική η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης είναι το γεγονός πως δίπλα από την Κοζάνη που αποτελεί το μεγαλύτερο αστικό κέντρο της ευρύτερης περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας και σε απόσταση 11 και 15,5 χιλιομέτρων υπάρχουν αντίστοιχα οι δύο από τους τρεις ΑΗΣ του νομού Κοζάνης, ο ΑΗΣ Καρδιάς και ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Τα δεδομένα τα οποία έχουμε στην διάθεση μας συλλέγονται από τον κινητό σταθμό μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του εργαστηρίου ο οποίος είναι μόνιμα τοποθετημένος στην Πλατεία Αριστοτέλους από το 1996 μέχρι σήμερα. Οι συντεταγμένες του σταθμού είναι 40,30477 γεωγραφικό πλάτος, 21,78414 γεωγραφικό μήκος. Στην πλατεία πραγματοποιείται κάθε Σάββατο υπαίθρια λαϊκής αγοράς που συνεπάγεται αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση. Η περιοχή της λαϊκής η οποία εξετάζεται είναι περιοχή η οποία παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αστικοποίησης με πλήθος δραστηριοτήτων όπως κυκλοφορική κίνηση, ανέγερση οικοδομών που ευνοούν την δημιουργία και επαναιώρηση αιωρουμένων σωματιδίων.

Χάρτης 7.1.2: Τοποθεσία σταθμού μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.



7.2. Κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχής

Το κλίμα της περιοχής είναι ένα τυπικό Μεσογειακό κλίμα με χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα και υψηλές κατά το καλοκαίρι. Από τις μετρήσεις θερμοκρασιών που πραγματοποιήθηκαν από το Ιανουάριο του 1983 μέχρι το Δεκέμβριο του 1994 η μέση ημερήσια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα ήταν 2.5°C με μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία 6.3°C και μέση ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ήταν -1.3°C . Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι τιμές των θερμοκρασιών αντίστοιχα ήταν μέση ημερήσια 20.1°C , μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία 28.5°C και μέση ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία 13.5°C . Για την ίδια περίοδο οι ημέρες βροχής κατά μέσο όρο σε ένα έτος ήταν 80 μέρες με ύψος βροχής 425mm. Ο άνεμος στο κέντρο της ευρύτερης περιοχής Κοζάνης-Πτολεμαΐδας, για κάθε εποχή του έτους, έχει διεύθυνση κατά μήκος του άξονα βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά (Σχήμα 7.3) που μπορεί να αποδοθεί στην τοπογραφία της περιοχής.



Σχήμα 7.2: Ροδογράμματα ανέμου στη διάρκεια της περιόδου 1990-1994 στο σταθμό του TEI Κοζάνης για τις τέσσερις εποχές του έτους (Triantafyllou, 2001)

7.3. Ατμοσφαιρική ρύπανση και κύριες πηγές ρύπανσης

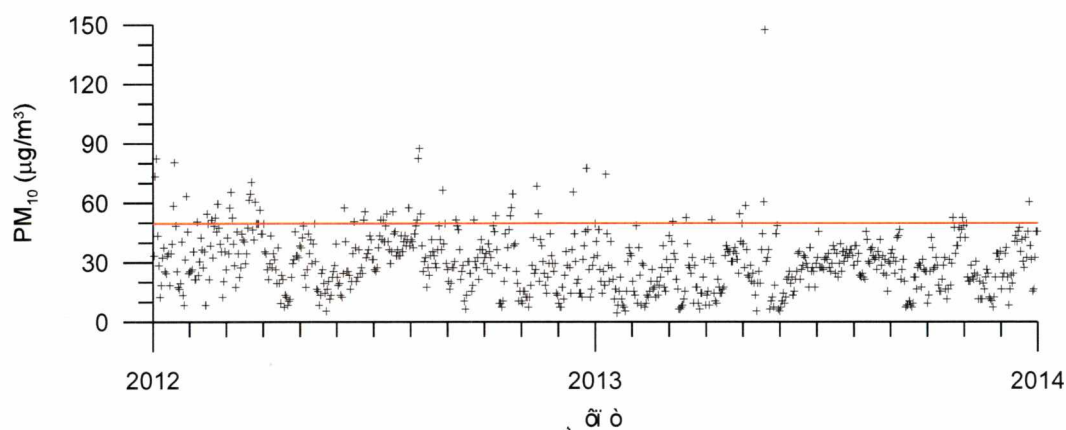
Η Κοζάνη παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέονται με τις εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές (σταθερές και κινητές) ωστόσο αποτελεί εξαίρεση από τις υπόλοιπες Ελληνικές πόλεις λόγω της γειτνιάσής της με 2 σταθμούς παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κύριες αιτίες οι οποίες επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στην πόλη της Κοζάνης είναι η καύση του άνθρακα στις μονάδες παραγωγής ενέργειας σε συνδυασμό με την μεγάλη κλίμακα εξόρυξης του στα υπαίθρια ορυχεία, αλλά και το μεγάλο σύστημα μεταφοράς και διάθεσης του στους διάφορους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η λειτουργία αρκετών λατομείων αδρανών στην περιφέρεια, η έντονη κυκλοφοριακή κίνηση, με το μεγαλύτερο μέρος της να διέρχεται από το

κέντρο της πόλης, λόγω έλλειψης περιφερειακού δρόμου και κακής ρυμοτομίας της και τέλος η ύπαρξη μεγάλων ακάλυπτων εκτάσεων.

7.4. Η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην πόλη της Κοζάνης

7.4.1. Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων

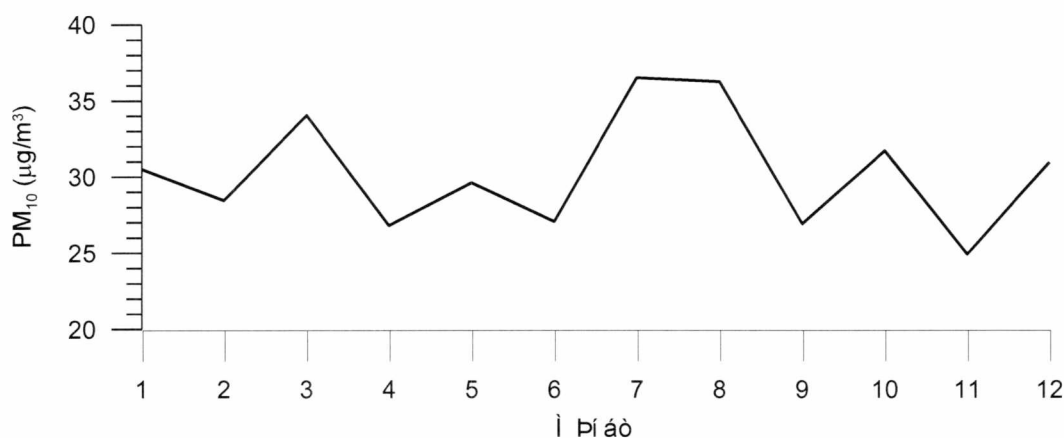
Στην διπλωματική αυτή εργασία μελετώνται τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm (PM₁₀) και από 2.5 μm (PM_{2.5}) στο κέντρο της πόλης της Κοζάνης. Στη θέση αυτή καταγράφηκαν οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM_{2.5} και PM₁₀ για περίοδο μελέτης που αναφέρεται στην 2-ετία 2012-2013.



Γράφημα 7.4.1. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM₁₀ στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013. Η οριζόντια γραμμή στη μέση ημερήσια οριακή τιμή (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

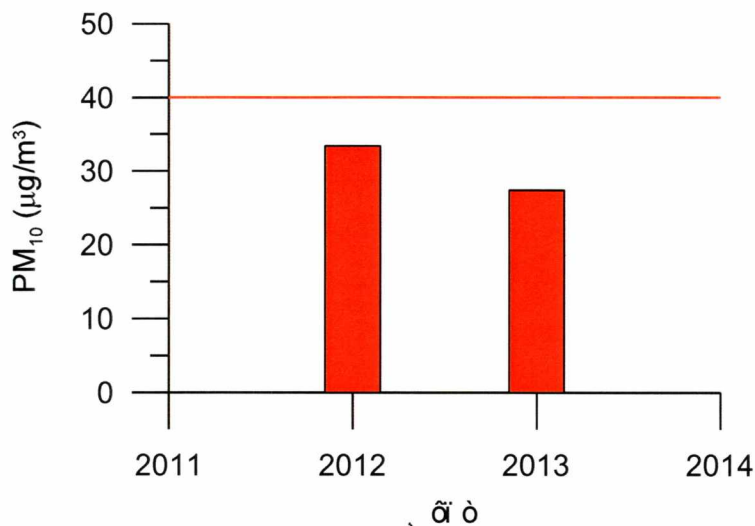
Από το Σχήμα 7.4.1 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) που έχει τεθεί σύμφωνα με την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (Council Directive 99/30/EC). Υπέρβαση της τιμής αυτής δεν πρέπει να σημειώνεται περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο. Από το σχήμα και τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων διαπιστώνεται ότι οι υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής ήταν 43 και 11, για τα έτη 2012 και 2013, αντίστοιχα. Άρα, μόνο στη διάρκεια του έτους 2012 παρατηρήθηκαν υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής, πέρα από το επιτρεπτό όριο (όχι περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο), στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής.

Από το Σχήμα 7.4.2 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της 2-ετούς χρονικής περιόδου, 2012-2013, η ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM₁₀ στο σταθμό της Κοζάνης δεν δίνει μία σαφή εικόνα μεταβολής η οποία να αιτιολογείται είτε από τη δραστηριότητα των πηγών της ευρύτερης περιοχής, όπως είναι η λειτουργία των λιγνιτορυχείων και των ατμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεχομένως, αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μικρή χρονική περίοδο μελέτης των συγκεντρώσεων των PM₁₀, οπότε δεν είναι δυνατή η ασφαλής συμπερασματολογία όσον αφορά την ενδοετήσια μεταβολή του συγκεκριμένου ρύπου.



Γράφημα 7.4.2. Ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM₁₀ στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.

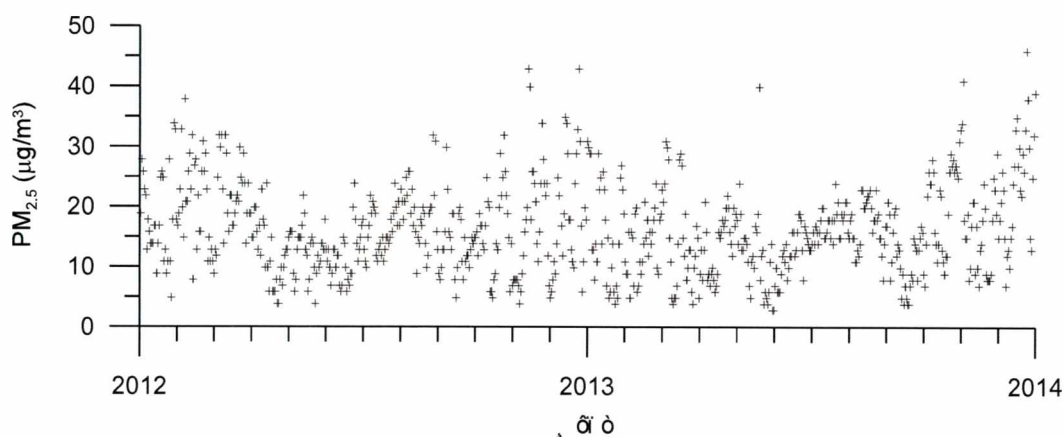
Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM₁₀, προσδιορίστηκαν οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις. Από το Σχήμα 7.4.3 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της 2-ετίας 2012-2013, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής (40 µg/m³) που έχει τεθεί από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (Council Directive 99/30/EC).



Γράφημα 7.4.3. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των PM₁₀ στο σταθμό, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2012-2013. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40 µg/m³).

Όπως διαπιστώνεται και από το Σχήμα 7.4.3, αξίζει να αναφερθεί ότι η μέση ετήσια συγκέντρωση του έτους 2013, είναι μειωμένη κατά 18% σε σχέση με αυτή του έτους 2012.

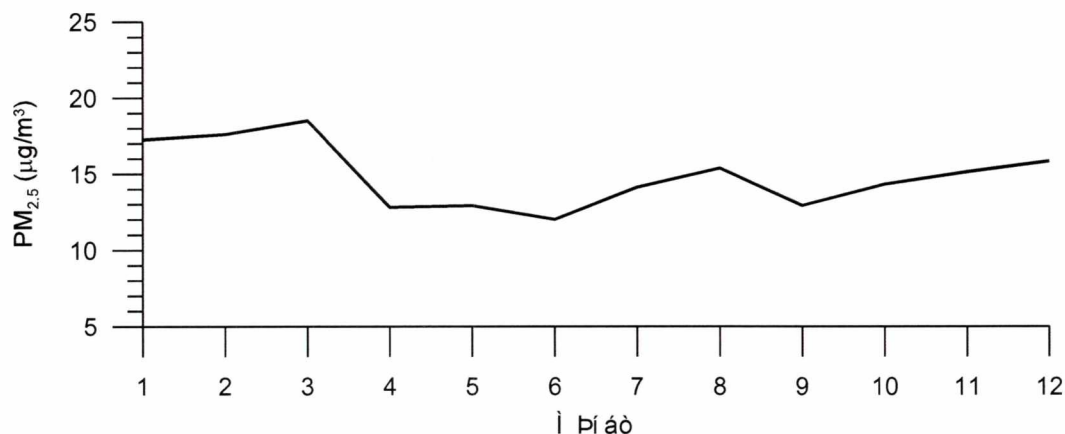
Από το Σχήμα 7.4.4 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της 2-ετούς χρονικής περιόδου, 2012-2013, η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM_{2.5} στο σταθμό της Κοζάνης εμφανίζει εξάρσεις στη διάρκεια των μεταβατικών εποχών του έτους (φθινόπωρο και άνοιξη), καθώς και στη διάρκεια του χειμώνα.



Γράφημα 7.4.4. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM_{2.5} στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.

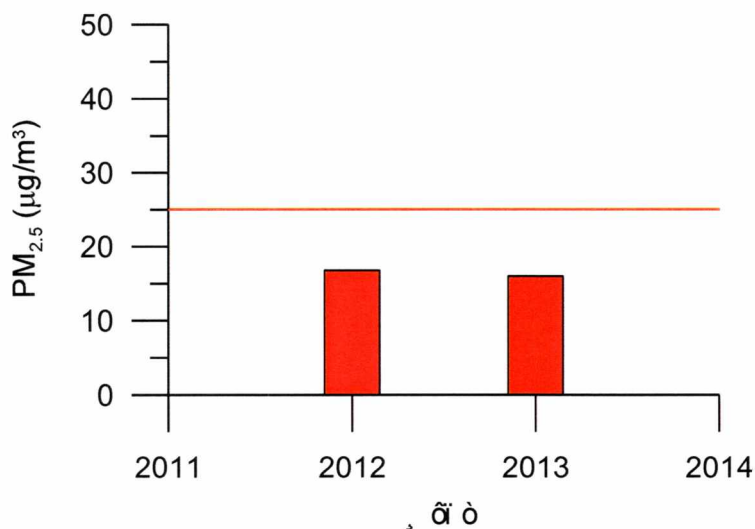
Από το Σχήμα 7.4.5 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της περιόδου μελέτης, η ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM_{2.5}, όπως ακριβώς και των PM₁₀, δεν

δίνει μία σαφή εικόνα μεταβολής η οποία να αιτιολογείται είτε από τη δραστηριότητα των πηγών της ευρύτερης περιοχής. Συνεπώς και στην περίπτωση του συγκεκριμένου ρύπου, δεν είναι δυνατή η ασφαλής συμπερασματολογία όσον αφορά την ενδοετήσια μεταβολή.

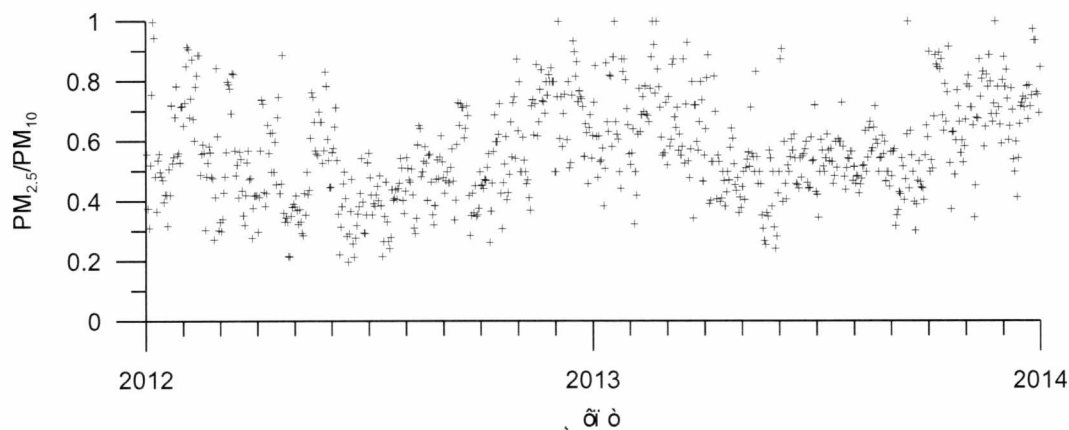


Γράφημα 7.4.5. Ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM_{2.5} στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{2.5}, προσδιορίστηκαν οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις. Από το Σχήμα 7.4.6 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της 2-ετίας 2012-2013, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ετήσιας τιμής στόχου (25 µg/m³) που έχει τεθεί από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (2008/50/EK).



Γράφημα 7.4.6. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM_{2.5} στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013. Η οριζόντια γραμμή απεικονίζει την ετήσια τιμή στόχο (25µg/m³).



Γράφημα 7.4.7. Διαχρονική εξέλιξη των ημερήσιων τιμών του λόγου $PM_{2.5}/PM_{10}$ στο σταθμό της Κοζάνης, κατά την περίοδο 2012-2013.

Η διαχρονική εξέλιξη των ημερήσιων τιμών του λόγου $PM_{2.5}/PM_{10}$ έχουν απεικονιστεί στο Σχήμα 7.4.7. Η μέση τιμή του λόγου $PM_{2.5}/PM_{10}$ στη διάρκεια της υπό μελέτη 2-ετίας είναι 0.57 ± 0.17 . Αυτό δείχνει ότι τα χονδροειδή σωματίδια που έχουν συμμετάσχει με ένα μεγαλύτερο μέρος στο περιεχόμενο σωματιδίων. Από το Σχήμα 7.4.7 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της 2-ετούς χρονικής περιόδου, 2012-2013, η διαχρονική εξέλιξη των ημερήσιων τιμών του λόγου $PM_{2.5}/PM_{10}$ στο σταθμό της Κοζάνης εμφανίζει εξάρσεις στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Παρόμοιοι λόγοι, 0.42 και 0.44, βρέθηκαν σε δύο μελέτες περιπτώσεων στην πόλη του Μεξικού (Vega et al., 2002). Επίσης, ο μέσος ετήσιος όρος του λόγου $PM_{2.5}/PM_{10}$ που έχουν μετρηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό αστικών και ημι-αγροτικών περιοχών των ΗΠΑ (EPA, 2001) έχουν τιμές που κυμάνθηκαν μεταξύ 0.39 και 0.69. Οι Evangelopoulos et al. (2006) μελετώντας μεταξύ άλλων το λόγο $PM_{2.5}/PM_{10}$ στο εμπορικό κέντρο της πόλης της Κοζάνης στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 4-14/2002 διαπίστωσαν ότι οι μέγιστες τιμές του λόγου παρατηρήθηκαν κατά το Δεκέμβριο 2002. Τέλος, οι τιμές του λόγου κυμάνθηκαν στην περιοχή τιμών μεταξύ 0.35 και 0.54 γεγονός που οφείλεται στον αυξημένο ρυθμό καθίζησης των PM_{10} (Querol et al., 2001).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που έχει τεθεί σύμφωνα με την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (Council Directive 99/30/EC). Από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων διαπιστώνεται ότι οι υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής ήταν 43 και 11, για τα έτη 2012 και 2013, αντίστοιχα. Άρα, μόνο στη διάρκεια του έτους 2012 παρατηρήθηκαν υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής, πέρα από το επιτρεπτό όριο (όχι περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο), στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής.

Επίσης, στη διάρκεια της 2-ετούς χρονικής περιόδου, 2012-2013, η ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό της Κοζάνης δεν δίνει μία σαφή εικόνα μεταβολής η οποία να αιτιολογείται είτε από τη δραστηριότητα των πηγών της ευρύτερης περιοχής, όπως είναι η λειτουργία των λιγνιτορυχείων και των ατμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεχομένως, αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μικρή χρονική περίοδο μελέτης των συγκεντρώσεων των PM_{10} , οπότε δεν είναι δυνατή η ασφαλής συμπερασματολογία όσον αφορά την ενδοετήσια μεταβολή του συγκεκριμένου ρύπου.

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} , διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της 2-ετίας 2012-2013, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που έχει τεθεί από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (Council Directive 99/30/EC). Η μέση ετήσια συγκέντρωση του έτους 2013, είναι μειωμένη κατά 18% σε σχέση με αυτή του έτους 2012. Οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των $\text{PM}_{2.5}$ στο σταθμό της Κοζάνης εμφανίζει εξάρσεις στη διάρκεια των μεταβατικών εποχών του έτους (φθινόπωρο και άνοιξη), καθώς και στη διάρκεια του χειμώνα. Επιπλέον, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ετήσιας τιμής στόχου ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που έχει τεθεί από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (2008/50/EK).

Η μέση τιμή του λόγου $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ στη διάρκεια της υπό μελέτη 2-ετίας είναι 0.57 ± 0.17 . Αυτό δείχνει ότι τα χονδροειδή σωματίδια που έχουν συμμετάσχει με ένα μεγαλύτερο μέρος στο περιεχόμενο σωματιδίων. Διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της 2-ετούς χρονικής περιόδου, 2012-2013, η διαχρονική εξέλιξη των ημερήσιων τιμών του λόγου $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ στο σταθμό της Κοζάνης εμφανίζει εξάρσεις στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Παρόμοιοι λόγοι, 0.42 και 0.44, βρέθηκαν σε δύο μελέτες περιπτώσεων στην πόλη του

Μεξικού (Vega et al., 2002). Επίσης, ο μέσος ετήσιος όρος του λόγου $PM_{2.5}/PM_{10}$ που έχουν μετρηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό αστικών και ημι-αγροτικών περιοχών των ΗΠΑ (EPA, 2001) έχουν τιμές που κυμάνθηκαν μεταξύ 0.39 και 0.69. Οι Evangelopoulos et al. (2006) μελετώντας μεταξύ άλλων το λόγο $PM_{2.5}/PM_{10}$ στο εμπορικό κέντρο της πόλης της Κοζάνης στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 4-14/2002 διαπίστωσαν ότι οι μέγιστες τιμές του λόγου παρατηρήθηκαν κατά το Δεκέμβριο 2002. Τέλος, οι τιμές του λόγου κυμάνθηκαν στην περιοχή τιμών μεταξύ 0.35 και 0.54 γεγονός που οφείλεται στον αυξημένο ρυθμό καθίζησης των PM_{10} (Querol et al., 2001).

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε με την ολοκλήρωση την συγκεκριμένης μελέτης, αναφορικά με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της ύπαρξης αυξημένων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη της Κοζάνης είναι τα εξής:

Η Κοζάνη παρουσιάζει αυξημένο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφειλόμενο ως ένα σημείο στα αιωρούμενα σωματίδια και κυρίως στις υψηλές συγκεντρώσεις των PM_{10} .

Σε μια προσπάθεια διερεύνησης των πηγών που συνεισφέρουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση της πόλης της Κοζάνης εξήχθησαν δυο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας συσχετίστηκε με τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από τα ορυχεία, την επαναιώρηση, την μεταφορά και την καύση του λιγνίτη. Ο δεύτερος παράγοντας αποδόθηκε στις εκπομπές των αυτοκινήτων.

Από τις μετεωρολογικές συνθήκες η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου όσο και η θερμοκρασία αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες επηρεασμού των επίπεδων συγκέντρωσης των σωματιδίων, και συγκεκριμένα σε μικρές ταχύτητες ανέμου και υψηλές θερμοκρασίες είχαμε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

Επίσης το μεγαλύτερο ποσοστό στα PM_{10} δείχνει συμβολή σε μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{10} - PM_{2.5}$) λόγω επαναιώρησης της σκόνης που επικάθεται στους δρόμους. Η σκόνη αυτή οφείλεται στα ανοιχτά ορυχεία της περιοχής, στις εκπομπές τέφρας από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στα έργα οδοποιίας και τις οικοδομικές εργασίες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π1: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου-Μάρτιου 2012.

Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5
	ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3
01/01/12	34	19	01/02/12	26	19	01/03/12	27	9
02/01/12	74	28	02/02/12	27	23	02/03/12	43	13
03/01/12	83	26	03/02/12	36	33	03/03/12	35	12
04/01/12	44	23	04/02/12	22	20	04/03/12	58	25
05/01/12	29	22	05/02/12	22	15	05/03/12	66	32
06/01/12	13	13	06/02/12	51	38	06/03/12	53	30
07/01/12	18	19	07/02/12	24	21	07/03/12	40	32
08/01/12	33	16	08/02/12	31	21	08/03/12	29	23
09/01/12	38	14	09/02/12	43	26	09/03/12	18	14
10/01/12	26	14	10/02/12	37	29	10/03/12	46	32
11/01/12	25	14	11/02/12	28	23	11/03/12	35	29
12/01/12	34	17	12/02/12	36	32	12/03/12	23	19
13/01/12	35	17	13/02/12	9	8	13/03/12	28	16
14/01/12	19	9	14/02/12	55	27	14/03/12	45	22
15/01/12	35	14	15/02/12	50	28	15/03/12	42	22
16/01/12	40	17	16/02/12	22	13	16/03/12	41	17
17/01/12	59	25	17/02/12	39	22	17/03/12	30	17
18/01/12	81	26	18/02/12	52	16	18/03/12	35	19
19/01/12	49	25	19/02/12	33	16	19/03/12	48	21
20/01/12	26	11	20/02/12	49	26	20/03/12	62	22
21/01/12	18	13	21/02/12	53	31	21/03/12	65	21
22/01/12	17	9	22/02/12	46	26	22/03/12	71	30
23/01/12	20	11	23/02/12	60	29	23/03/12	47	25
24/01/12	41	28	24/02/12	48	23	24/03/12	42	24
25/01/12	14	11	25/02/12	40	11	25/03/12	61	29
26/01/12	9	5	26/02/12	36	15	26/03/12	50	24
27/01/12	32	18	27/02/12	13	11	27/03/12	50	14
28/01/12	64	34	28/02/12	21	13	28/03/12	50	19
29/01/12	46	33	29/02/12	36	11	29/03/12	57	24
30/01/12	25	18				30/03/12	45	19
31/01/12	26	17				31/03/12	45	19

Πίνακας Π2: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Απριλίου-Μαΐου-Ιουνίου 2012.

Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5
	ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3
01/04/12	50	15	01/05/12	39	15	01/06/12	23	13
02/04/12	36	15	02/05/12	38	16	02/06/12	19	11
03/04/12	35	20	03/05/12	43	16	03/06/12	20	13
04/04/12	27	20	04/05/12	49	16	04/06/12	14	10
05/04/12	22	16	05/05/12	24	9	05/06/12	13	7
06/04/12	30	13	06/05/12	18	6	06/06/12	25	9
07/04/12	44	17	07/05/12	27	8	07/06/12	58	13
08/04/12	28	12	08/05/12	45	13	08/06/12	41	13
09/04/12	35	23	09/05/12	35	15	09/06/12	26	10
10/04/12	32	18	10/05/12	42	15	10/06/12	26	12
11/04/12	27	17	11/05/12	30	15	11/06/12	24	12
12/04/12	20	10	12/05/12	40	17	12/06/12	17	7
13/04/12	38	24	13/05/12	50	22	13/06/12	21	6
14/04/12	20	10	14/05/12	31	19	14/06/12	35	7
15/04/12	10	6	15/05/12	17	13	15/06/12	51	15
16/04/12	24	11	16/05/12	16	12	16/06/12	38	14
17/04/12	22	15	17/05/12	9	6	17/06/12	21	10
18/04/12	8	6	18/05/12	14	8	18/06/12	23	6
19/04/12	14	6	19/05/12	25	14	19/06/12	37	8
20/04/12	13	6	20/05/12	27	15	20/06/12	25	7
21/04/12	9	8	21/05/12	20	14	21/06/12	28	9
22/04/12	11	4	22/05/12	15	10	22/06/12	25	9
23/04/12	12	4	23/05/12	6	4	23/06/12	52	20
24/04/12	23	8	24/05/12	17	9	24/06/12	56	24
25/04/12	30	10	25/05/12	21	12	25/06/12	33	18
26/04/12	32	7	26/05/12	12	10	26/06/12	35	14
27/04/12	46	10	27/05/12	14	11	27/06/12	37	11
28/04/12	34	12	28/05/12	23	14	28/06/12	44	13
29/04/12	34	13	29/05/12	26	14	29/06/12	42	15
30/04/12	33	13	30/05/12	29	13	30/06/12	32	17
			31/05/12	40	18			

Πίνακας Π3: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2012.

Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5
	ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3
01/07/12	32	18	01/08/12	42	23	01/09/12	21	9
02/07/12	27	13	02/08/12	41	21	02/09/12	17	8
03/07/12	26	11	03/08/12	38	18	03/09/12	20	10
04/07/12	28	10	04/08/12	45	21	04/09/12	28	13
05/07/12	38	15	05/08/12	49	25	05/09/12	28	13
06/07/12	44	17	06/08/12	52	22	06/09/12	31	16
07/07/12	52	22	07/08/12	83	26	07/09/12	52	30
08/07/12	42	19	08/08/12	88	26	08/09/12	49	23
09/07/12	52	21	09/08/12	55	19	09/09/12	47	16
10/07/12	41	20	10/08/12	39	23	10/09/12	37	15
11/07/12	49	19	11/08/12	26	17	11/09/12	22	13
12/07/12	55	12	12/08/12	31	20	12/09/12	26	19
13/07/12	41	11	13/08/12	33	16	13/09/12	29	19
14/07/12	37	13	14/08/12	18	9	14/09/12	11	8
15/07/12	30	14	15/08/12	28	15	15/09/12	7	5
16/07/12	36	12	16/08/12	24	14	16/09/12	14	10
17/07/12	56	15	17/08/12	34	18	17/09/12	31	19
18/07/12	45	11	18/08/12	42	17	18/09/12	31	20
19/07/12	46	13	19/08/12	36	20	19/09/12	25	18
20/07/12	34	15	20/08/12	34	19	20/09/12	16	11
21/07/12	37	15	21/08/12	30	14	21/09/12	19	8
22/07/12	34	14	22/08/12	28	10	22/09/12	52	15
23/07/12	34	15	23/08/12	37	12	23/09/12	31	11
24/07/12	44	18	24/08/12	49	19	24/09/12	28	12
25/07/12	36	16	25/08/12	42	20	25/09/12	33	12
26/07/12	41	19	26/08/12	37	20	26/09/12	22	10
27/07/12	44	24	27/08/12	67	32	27/09/12	37	13
28/07/12	39	20	28/08/12	40	22	28/09/12	42	15
29/07/12	42	17	29/08/12	50	31	29/09/12	37	14
30/07/12	58	21	30/08/12	30	16	30/09/12	30	15
31/07/12	39	17	31/08/12	27	13			

Πίνακας Π4: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Οκτωβρίου-Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2012.

Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5
	ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3
01/10/12	33	15	01/11/12	10	8	01/12/12	10	5
02/10/12	35	16	02/11/12	16	8	02/12/12	8	6
03/10/12	27	12	03/11/12	16	8	03/12/12	8	8
04/10/12	40	19	04/11/12	13	8	04/12/12	18	11
05/10/12	36	17	05/11/12	13	7	05/12/12	12	9
06/10/12	33	17	06/11/12	8	4	06/12/12	24	14
07/10/12	25	14	07/11/12	13	6	07/12/12	36	25
08/10/12	49	13	08/11/12	19	9	08/12/12	29	22
09/10/12	46	17	09/11/12	29	12	09/12/12	Samp<	Samp<
10/10/12	54	25	10/11/12	43	16	10/12/12	28	17
11/10/12	37	21	11/11/12	25	18	11/12/12	15	12
12/10/12	29	20	12/11/12	27	20	12/12/12	37	19
13/10/12	10	6	13/11/12	69	43	13/12/12	66	35
14/10/12	10	6	14/11/12	55	40	14/12/12	45	34
15/10/12	8	5	15/11/12	21	18	15/12/12	31	29
16/10/12	11	8	16/11/12	42	26	16/12/12	20	18
17/10/12	21	9	17/11/12	39	26	17/12/12	22	18
18/10/12	45	14	18/11/12	31	24	18/12/12	15	13
19/10/12	28	13	19/11/12	25	21	19/12/12	15	11
20/10/12	38	20	20/11/12	19	14	20/12/12	13	10
21/10/12	47	29	21/11/12	15	11	21/12/12	32	24
22/10/12	54	22	22/11/12	23	16	22/12/12	39	29
23/10/12	58	25	23/11/12	30	24	23/12/12	46	33
24/10/12	65	32	24/11/12	45	34	24/12/12	78	43
25/10/12	39	26	25/11/12	34	28	25/12/12	47	31
26/10/12	40	22	26/11/12	30	24	26/12/12	27	17
27/10/12	26	19	27/11/12	26	22	27/12/12	13	6
28/10/12	20	15	28/11/12	30	24	28/12/12	17	11
29/10/12	11	6	29/11/12	15	12	29/12/12	29	20
30/10/12	14	16	30/11/12	14	7	30/12/12	33	18
31/10/12	11	7				31/12/12	50	31

Πίνακας Π5: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου-Μάρτιου 2013.

Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5
	ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3
01/01/13	41	30	01/02/13	16	9	01/03/13	26	19
02/01/13	34	29	02/02/13	14	9	02/03/13	44	23
03/01/13	47	29	03/02/13	49	16	03/03/13	28	21
04/01/13	27	13	04/02/13	10	5	04/03/13	41	24
05/01/13	21	13	05/02/13	38	16	05/03/13	51	31
06/01/13	15	8	06/02/13	24	15	06/03/13	35	30
07/01/13	26	14	07/02/13	9	7	07/03/13	32	28
08/01/13	19	11	08/02/13	30	19	08/03/13	22	15
09/01/13	75	29	09/02/13	29	20	09/03/13	17	11
10/01/13	45	23	10/02/13	8	6	10/03/13	7	5
11/01/13	29	25	11/02/13	10	7	11/03/13	7	4
12/01/13	21	14	12/02/13	14	11	12/03/13	8	5
13/01/13	41	26	13/02/13	13	9	13/03/13	9	5
14/01/13	28	23	14/02/13	16	11	14/03/13	12	7
15/01/13	22	18	15/02/13	21	14	15/03/13	16	14
16/01/13	12	7	16/02/13	27	21	16/03/13	53	28
17/01/13	17	15	17/02/13	17	15	17/03/13	40	29
18/01/13	5	5	18/02/13	18	18	18/03/13	29	27
19/01/13	9	6	19/02/13	13	12	19/03/13	28	15
20/01/13	16	10	20/02/13	21	16	20/03/13	25	12
21/01/13	23	14	21/02/13	14	14	21/03/13	33	19
22/01/13	12	6	22/02/13	19	16	22/03/13	10	8
23/01/13	9	4	23/02/13	23	18	23/03/13	29	10
24/01/13	8	7	24/02/13	28	20	24/03/13	18	13
25/01/13	6	5	25/02/13	39	24	25/03/13	18	13
26/01/13	16	14	26/02/13	18	10	26/03/13	10	6
27/01/13	31	25	27/02/13	16	9	27/03/13	7	4
28/01/13	38	27	28/02/13	32	18	28/03/13	15	10
29/01/13	35	23				29/03/13	15	12
30/01/13	34	19				30/03/13	23	17
31/01/13	21	11				31/03/13	32	15

Πίνακας Π6: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Απριλίου-Μαΐου-Ιουνίου 2013.

Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5
	ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3
01/04/13	9	5	01/05/13	50	19	01/06/13	6	3
02/04/13	14	9	02/05/13	40	18	02/06/13	7	8
03/04/13	16	13	03/05/13	28	14	03/06/13	11	10
04/04/13	9	8	04/05/13	59	24	04/06/13	15	6
05/04/13	33	13	05/05/13	37	19	05/06/13	10	6
06/04/13	52	21	06/05/13	24	13	06/06/13	13	6
07/04/13	30	16	07/05/13	23	13	07/06/13	22	9
08/04/13	15	8	08/05/13	29	15	08/06/13	23	12
09/04/13	11	9	09/05/13	21	15	09/06/13	26	13
10/04/13	10	7	10/05/13	25	14	10/06/13	20	11
11/04/13	22	9	11/05/13	20	11	11/06/13	23	14
12/04/13	18	10	12/05/13	14	7	12/06/13	14	8
13/04/13	15	8	13/05/13	6	5	13/06/13	16	10
14/04/13	15	6	14/05/13	20	11	14/06/13	22	12
15/04/13	17	7	15/05/13	26	12	15/06/13	26	12
16/04/13	18	9	16/05/13	20	10	16/06/13	35	16
17/04/13	34	16	17/05/13	37	17	17/06/13	36	16
18/04/13	39	15	18/05/13	45	16	18/06/13	22	12
19/04/13	37	16	19/05/13	61	19	19/06/13	27	13
20/04/13	36	18	20/05/13	148	40	20/06/13	29	16
21/04/13	36	17	21/05/13	31	8	21/06/13	34	19
22/04/13	31	18	22/05/13	33	12	22/06/13	33	19
23/04/13	31	20	23/05/13	37	13	23/06/13	30	18
24/04/13	36	22	24/05/13	7	4	24/06/13	28	13
25/04/13	38	20	25/05/13	11	6	25/06/13	18	8
26/04/13	35	16	26/05/13	13	5	26/06/13	38	17
27/04/13	32	14	27/05/13	8	4	27/06/13	26	16
28/04/13	25	12	28/05/13	19	6	28/06/13	28	15
29/04/13	55	20	29/05/13	45	11	29/06/13	26	14
30/04/13	41	17	30/05/13	49	14	30/06/13	18	13
			31/05/13	7	3			

Πίνακας Π7: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2013.

Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5	Date	PM10	PM2.5
	ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3		ug/m3	ug/m3
01/07/13	30	13	01/08/13	29	15	01/09/13	35	17
02/07/13	33	14	02/08/13	39	18	02/09/13	37	21
03/07/13	46	16	03/08/13	39	19	03/09/13	33	19
04/07/13	28	14	04/08/13	31	15	04/09/13	25	8
05/07/13	28	17	05/08/13	35	15	05/09/13	31	11
06/07/13	28	16	06/08/13	24	11	06/09/13	43	16
07/07/13	27	14	07/08/13	23	11	07/09/13	44	19
08/07/13	32	16	08/08/13	25	13	08/09/13	47	20
09/07/13	33	18	09/08/13	23	12	09/09/13	22	12
10/07/13	32	20	10/08/13	22	14	10/09/13	27	14
11/07/13	35	20	11/08/13	46	23	11/09/13	32	13
12/07/13	28	15	12/08/13	42	23	12/09/13	21	10
13/07/13	26	15	13/08/13	31	20	13/09/13	8	5
14/07/13	30	16	14/08/13	30	20	14/09/13	9	9
15/07/13	39	18	15/08/13	37	21	15/09/13	9	4
16/07/13	37	18	16/08/13	38	22	16/09/13	11	7
17/07/13	25	15	17/08/13	34	22	17/09/13	9	5
18/07/13	35	18	18/08/13	32	23	18/09/13	8	4
19/07/13	23	14	19/08/13	33	20	19/09/13	10	4
20/07/13	30	18	20/08/13	27	16	20/09/13	23	7
21/07/13	40	24	21/08/13	36	18	21/09/13	23	9
22/07/13	26	19	22/08/13	33	18	22/09/13	17	8
23/07/13	36	21	23/08/13	42	23	23/09/13	28	15
24/07/13	31	15	24/08/13	29	18	24/09/13	30	14
25/07/13	34	15	25/08/13	34	19	25/09/13	29	13
26/07/13	37	19	26/08/13	25	15	26/09/13	18	8
27/07/13	33	18	27/08/13	32	15	27/09/13	32	13
28/07/13	35	19	28/08/13	24	12	28/09/13	27	15
29/07/13	37	21	29/08/13	16	8	29/09/13	26	17
30/07/13	37	21	30/08/13	31	14	30/09/13	26	16
31/07/13	34	16	31/08/13	30	17			

Πίνακας Π8: Μέσες ημερήσιες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τους μήνες Οκτωβρίου-Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2013.

Date	PM10 ug/m3	PM2.5 ug/m3	Date	PM10 ug/m3	PM2.5 ug/m3	Date	PM10 ug/m3	PM2.5 ug/m3
01/10/13	10	9	01/11/13	43	34	01/12/13	17	15
02/10/13	14	7	02/11/13	50	41	02/12/13	23	18
03/10/13	26	14	03/11/13	23	18	03/12/13	25	21
04/10/13	43	22	04/11/13	21	15	04/12/13	35	26
05/10/13	38	26	05/11/13	21	15	05/12/13	38	23
06/10/13	27	24	06/11/13	29	19	06/12/13	23	15
07/10/13	28	24	07/11/13	23	8	07/12/13	9	7
08/10/13	33	28	08/11/13	22	10	08/12/13	17	12
09/10/13	29	26	09/11/13	25	17	09/12/13	24	13
10/10/13	19	16	10/11/13	31	21	10/12/13	20	10
11/10/13	16	14	11/11/13	24	21	11/12/13	25	15
12/10/13	16	11	12/11/13	12	9	12/12/13	41	17
13/10/13	22	14	13/11/13	21	17	13/12/13	44	24
14/10/13	29	23	14/11/13	12	10	14/12/13	41	27
15/10/13	33	22	15/11/13	12	7	15/12/13	46	33
16/10/13	17	13	16/11/13	20	13	16/12/13	48	35
17/10/13	12	11	17/11/13	17	14	17/12/13	36	27
18/10/13	17	9	18/11/13	23	18	18/12/13	42	30
19/10/13	32	12	19/11/13	27	24	19/12/13	31	23
20/10/13	19	12	20/11/13	25	20	20/12/13	28	22
21/10/13	30	19	21/11/13	13	9	21/12/13	43	29
22/10/13	53	26	22/11/13	12	8	22/12/13	33	26
23/10/13	48	29	23/11/13	11	8	23/12/13	46	33
24/10/13	35	27	24/11/13	8	8	24/12/13	61	46
25/10/13	39	28	25/11/13	13	9	25/12/13	39	38
26/10/13	39	26	26/11/13	23	18	26/12/13	32	30
27/10/13	48	27	27/11/13	35	25	27/12/13	16	15
28/10/13	43	26	28/11/13	35	23	28/12/13	17	13
29/10/13	47	25	29/11/13	32	19	29/12/13	33	25
30/10/13	53	31	30/11/13	36	29	30/12/13	46	32
31/10/13	49	33				31/12/13	46	39

Πίνακας Π9: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των PM₁₀ για τους μήνες Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου-Μάρτιου-Απριλίου-Μαΐου-Ιουνίου 2012.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ		ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	
Number of values	31,0	Number of values	29,0
Minimum (μg/m ³)	9,0	Minimum (μg/m ³)	9,0
Maximum (μg/m ³)	83,0	Maximum (μg/m ³)	60,0
Mean (μg/m ³)	35,7	Mean (μg/m ³)	36,0
Median (μg/m ³)	33,0	Median (μg/m ³)	36,0
Standard deviation (μg/m ³)	19,1	Standard deviation (μg/m ³)	13,0
[PM ₁₀]>50μg/m ³	5,0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	5,0
ΜΑΡΤΙΟΣ		ΑΠΡΙΛΙΟΣ	
Number of values	30,0	Number of values	30,0
Minimum (μg/m ³)	18,0	Minimum (μg/m ³)	8,0
Maximum (μg/m ³)	71,0	Maximum (μg/m ³)	50,0
Mean (μg/m ³)	44,2	Mean (μg/m ³)	26,6
Median (μg/m ³)	45,0	Median (μg/m ³)	27,5
Standard deviation (μg/m ³)	12,8	Standard deviation (μg/m ³)	11,1
[PM ₁₀]>50μg/m ³	8,0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0
ΜΑΙΟΣ		ΙΟΥΝΙΟΣ	
Number of values	31,0	Number of values	30,0
Minimum (μg/m ³)	6,0	Minimum (μg/m ³)	13,0
Maximum (μg/m ³)	50,0	Maximum (μg/m ³)	58,0
Mean (μg/m ³)	27,2	Mean (μg/m ³)	31,4
Median (μg/m ³)	26,0	Median (μg/m ³)	27,0
Standard deviation (μg/m ³)	12,1	Standard deviation (μg/m ³)	12,1
[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	4,0

Πίνακας Π10: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των PM₁₀ για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2012.

ΙΟΥΛΙΟΣ		ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	
Number of values	31,0	Number of values	31,0
Minimum (µg/m ³)	26,0	Minimum (µg/m ³)	18,0
Maximum (µg/m ³)	58,0	Maximum (µg/m ³)	88,0
Mean (µg/m ³)	40,6	Mean (µg/m ³)	41,1
Median (µg/m ³)	41,0	Median (µg/m ³)	38,0
Standard deviation (µg/m ³)	8,3	Standard deviation (µg/m ³)	15,4
[PM ₁₀]>50µg/m ³	5,0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	5,0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ		ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	
Number of values	30,0	Number of values	31,0
Minimum (µg/m ³)	7,0	Minimum (µg/m ³)	8,0
Maximum (µg/m ³)	52,0	Maximum (µg/m ³)	65,0
Mean (µg/m ³)	29,1	Mean (µg/m ³)	32,3
Median (µg/m ³)	28,5	Median (µg/m ³)	33,0
Standard deviation (µg/m ³)	11,4	Standard deviation (µg/m ³)	15,5
[PM ₁₀]>50µg/m ³	2,0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	4,0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ		ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	
Number of values	30,0	Number of values	30,0
Minimum (µg/m ³)	8,0	Minimum (µg/m ³)	8,0
Maximum (µg/m ³)	69,0	Maximum (µg/m ³)	78,0
Mean (µg/m ³)	26,5	Mean (µg/m ³)	28,8
Median (µg/m ³)	25,0	Median (µg/m ³)	27,5
Standard deviation (µg/m ³)	13,8	Standard deviation (µg/m ³)	16,7
[PM ₁₀]>50µg/m ³	2,0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	2,0

Πίνακας Π11: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των PM₁₀ για τους μήνες Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου-Μάρτιου-Απριλίου-Μαΐου-Ιουνίου 2013.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ		ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	
Number of values	31	Number of values	28
Minimum (μg/m ³)	5	Minimum (μg/m ³)	8
Maximum (μg/m ³)	75	Maximum (μg/m ³)	49
Mean (μg/m ³)	25,3	Mean (μg/m ³)	20,9
Median (μg/m ³)	22	Median (μg/m ³)	18
Standard deviation (μg/m ³)	14,72	Standard deviation (μg/m ³)	9,83
[PM ₁₀]>50μg/m ³	1	[PM ₁₀]>50μg/m ³	0
ΜΑΡΤΙΟΣ		ΑΠΡΙΛΙΟΣ	
Number of values	31	Number of values	30
Minimum (μg/m ³)	7	Minimum (μg/m ³)	9
Maximum (μg/m ³)	53	Maximum (μg/m ³)	55
Mean (μg/m ³)	23,9	Mean (μg/m ³)	27,0
Median (μg/m ³)	23	Median (μg/m ³)	30,5
Standard deviation (μg/m ³)	12,91	Standard deviation (μg/m ³)	12,43
[PM ₁₀]>50μg/m ³	2	[PM ₁₀]>50μg/m ³	2
ΜΑΙΟΣ		ΙΟΥΝΙΟΣ	
Number of values	31	Number of values	30
Minimum (μg/m ³)	6	Minimum (μg/m ³)	6
Maximum (μg/m ³)	148	Maximum (μg/m ³)	38
Mean (μg/m ³)	32,0	Mean (μg/m ³)	22,7
Median (μg/m ³)	26	Median (μg/m ³)	23
Standard deviation (μg/m ³)	25,86	Standard deviation (μg/m ³)	8,48
[PM ₁₀]>50μg/m ³	3	[PM ₁₀]>50μg/m ³	0

Πίνακας Π12: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των PM₁₀ για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2013.

ΙΟΥΛΙΟΣ		ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	
Number of values	31	Number of values	31
Minimum (μg/m ³)	23	Minimum (μg/m ³)	16
Maximum (μg/m ³)	46	Maximum (μg/m ³)	46
Mean (μg/m ³)	32,4	Mean (μg/m ³)	31,4
Median (μg/m ³)	33	Median (μg/m ³)	31
Standard deviation (μg/m ³)	4,96	Standard deviation (μg/m ³)	6,66
[PM ₁₀]>50μg/m ³	0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ		ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	
Number of values	30	Number of values	31
Minimum (μg/m ³)	8	Minimum (μg/m ³)	10
Maximum (μg/m ³)	47	Maximum (μg/m ³)	53
Mean (μg/m ³)	24,7	Mean (μg/m ³)	31,1
Median (μg/m ³)	26	Median (μg/m ³)	30
Standard deviation (μg/m ³)	10,92	Standard deviation (μg/m ³)	12,67
[PM ₁₀]>50μg/m ³	0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	2
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ		ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	
Number of values	30	Number of values	31
Minimum (μg/m ³)	8	Minimum (μg/m ³)	9
Maximum (μg/m ³)	50	Maximum (μg/m ³)	61
Mean (μg/m ³)	23,3	Mean (μg/m ³)	33,1
Median (μg/m ³)	23	Median (μg/m ³)	33
Standard deviation (μg/m ³)	9,83	Standard deviation (μg/m ³)	11,95
[PM ₁₀]>50μg/m ³	0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	1

Πίνακας Π13: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των PM_{2.5} για τους μήνες Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου-Μάρτιου-Απριλίου-Μαΐου-Ιουνίου 2012.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ		ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	
Number of values		Number of values	29,0
Minimum (µg/m ³)		Minimum (µg/m ³)	8,0
Maximum (µg/m ³)	31,0	Maximum (µg/m ³)	38,0
Mean (µg/m ³)	5,0	Mean (µg/m ³)	21,5
Median (µg/m ³)	34,0	Median (µg/m ³)	22,0
Standard deviation (µg/m ³)	18,3	Standard deviation (µg/m ³)	7,6
[PM ₁₀]>50µg/m ³	17,0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	0,0
ΜΑΡΤΙΟΣ		ΑΠΡΙΛΙΟΣ	
Number of values	30,0	Number of values	30,0
Minimum (µg/m ³)	9,3	Minimum (µg/m ³)	4,0
Maximum (µg/m ³)	32,2	Maximum (µg/m ³)	24,5
Mean (µg/m ³)	21,5	Mean (µg/m ³)	12,4
Median (µg/m ³)	21,2	Median (µg/m ³)	12,2
Standard deviation (µg/m ³)	5,9	Standard deviation (µg/m ³)	5,4
[PM ₁₀]>50µg/m ³	0,0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	0,0
ΜΑΙΟΣ		ΙΟΥΝΙΟΣ	
Number of values	31,0	Number of values	30,0
Minimum (µg/m ³)	3,5	Minimum (µg/m ³)	6,4
Maximum (µg/m ³)	21,9	Maximum (µg/m ³)	24,1
Mean (µg/m ³)	12,9	Mean (µg/m ³)	11,9
Median (µg/m ³)	13,5	Median (µg/m ³)	11,5
Standard deviation (µg/m ³)	4,1	Standard deviation (µg/m ³)	4,2
[PM ₁₀]>50µg/m ³	0,0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	0,0

Πίνακας Π14: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των PM_{2.5} για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2012.

ΙΟΥΛΙΟΣ		ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	
Number of values	31,0	Number of values	31,0
Minimum (μg/m ³)	9,7	Minimum (μg/m ³)	9,4
Maximum (μg/m ³)	24,3	Maximum (μg/m ³)	32,2
Mean (μg/m ³)	16,0	Mean (μg/m ³)	19,3
Median (μg/m ³)	15,0	Median (μg/m ³)	19,5
Standard deviation (μg/m ³)	3,7	Standard deviation (μg/m ³)	5,3
[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ		ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	
Number of values	30,0	Number of values	31,0
Minimum (μg/m ³)	5,0	Minimum (μg/m ³)	5,4
Maximum (μg/m ³)	30,2	Maximum (μg/m ³)	32,2
Mean (μg/m ³)	13,9	Mean (μg/m ³)	16,4
Median (μg/m ³)	13,3	Median (μg/m ³)	16,3
Standard deviation (μg/m ³)	5,1	Standard deviation (μg/m ³)	6,9
[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ		ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	
Number of values	30,0	Number of values	30,0
Minimum (μg/m ³)	4,0	Minimum (μg/m ³)	5,1
Maximum (μg/m ³)	42,5	Maximum (μg/m ³)	42,7
Mean (μg/m ³)	17,9	Mean (μg/m ³)	19,3
Median (μg/m ³)	16,8	Median (μg/m ³)	17,6
Standard deviation (μg/m ³)	9,9	Standard deviation (μg/m ³)	9,8
[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0	[PM ₁₀]>50μg/m ³	0,0

Πίνακας Π15: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των $PM_{2.5}$ για τους μήνες Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου-Μάρτιου-Απριλίου-Μαΐου-Ιουνίου 2013.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	Column1	Column2	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	Column3
Number of values	31,0		Number of values	28,0
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,1		Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,7
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30,5		Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23,6
Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16,2		Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13,7
Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,1		Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,6
Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,4		Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,0
[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0		[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0
ΜΑΡΤΙΟΣ				
Number of values	31,0		Number of values	30,0
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,8		Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,7
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30,8		Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	21,9
Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,5		Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13,2
Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,2		Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13,4
Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,4		Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,1
[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0		[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ				
Number of values	31,0		Number of values	30,0
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,2		Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,0
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40,4		Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,0
Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,9		Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,1
Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,8		Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,5
Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,2		Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,1
[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0		[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0
ΜΑΙΟΣ				
Number of values	31,0		Number of values	30,0
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,2		Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,0
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40,4		Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,0
Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,9		Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,1
Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,8		Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,5
Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,2		Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,1
[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0		[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0
ΙΟΥΝΙΟΣ				
Number of values	31,0		Number of values	30,0
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,2		Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,0
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40,4		Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,0
Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,9		Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,1
Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,8		Median ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,5
Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,2		Standard deviation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,1
[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0		[PM_{10}]$>50\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0

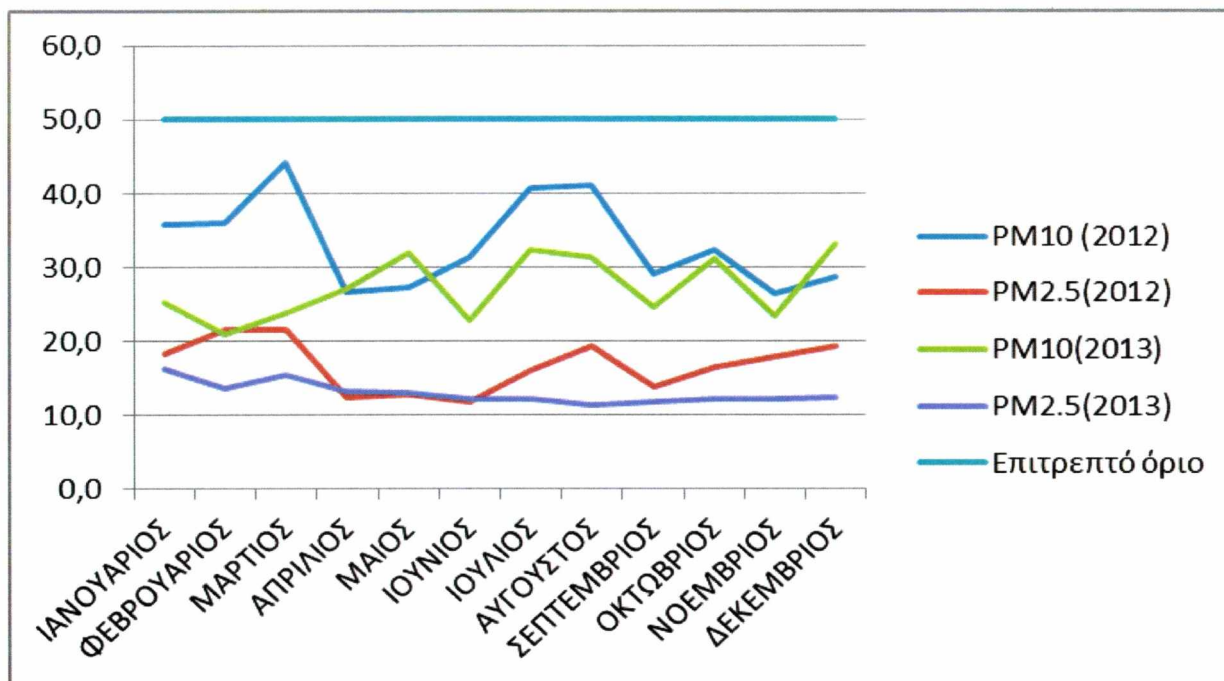
Πίνακας Π16: Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων τιμών των PM_{2.5} για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2013.

ΙΟΥΛΙΟΣ		ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	
Number of values	31	Number of values	31
Minimum (µg/m ³)	13	Minimum (µg/m ³)	8
Maximum (µg/m ³)	24	Maximum (µg/m ³)	23
Mean (µg/m ³)	17,2	Mean (µg/m ³)	17,1
Median (µg/m ³)	17	Median (µg/m ³)	18
Standard deviation (µg/m ³)	2,60	Standard deviation (µg/m ³)	4,04
[PM ₁₀]>50µg/m ³	0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ		ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	
Number of values	30	Number of values	31
Minimum (µg/m ³)	4	Minimum (µg/m ³)	7
Maximum (µg/m ³)	21	Maximum (µg/m ³)	33
Mean (µg/m ³)	11,8	Mean (µg/m ³)	20,5
Median (µg/m ³)	12,5	Median (µg/m ³)	23
Standard deviation (µg/m ³)	5,04	Standard deviation (µg/m ³)	7,45
[PM ₁₀]>50µg/m ³	0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ		ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	
Number of values	30	Number of values	31
Minimum (µg/m ³)	7	Minimum (µg/m ³)	7
Maximum (µg/m ³)	41	Maximum (µg/m ³)	46
Mean (µg/m ³)	16,9	Mean (µg/m ³)	23,8
Median (µg/m ³)	17	Median (µg/m ³)	24
Standard deviation (µg/m ³)	8,08	Standard deviation (µg/m ³)	9,28
[PM ₁₀]>50µg/m ³	0	[PM ₁₀]>50µg/m ³	0

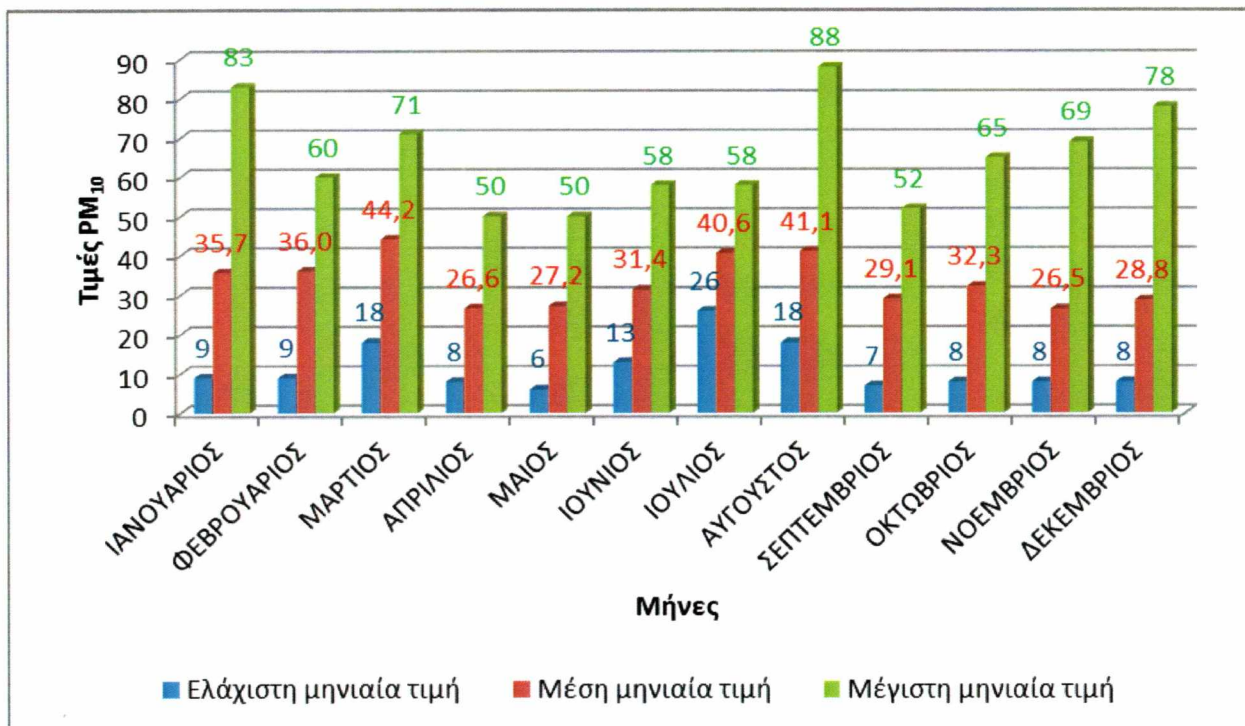
Πίνακας Π17: Μέσες μηνιαίες τιμές PM₁₀/PM_{2.5} για τα έτη 2012-2013.

Μήνες	2012		2013	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	35,7	18,3	25,3	16,2
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	36,0	21,5	20,9	13,7
ΜΑΡΤΙΟΣ	44,2	21,5	23,9	15,5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	26,6	12,4	27,0	13,2
ΜΑΙΟΣ	27,2	12,9	32,0	12,9
ΙΟΥΝΙΟΣ	31,4	11,9	22,7	12,1
ΙΟΥΛΙΟΣ	40,6	16,0	32,4	12,2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	41,1	19,3	31,4	11,4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	29,1	13,9	24,7	11,9
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	32,3	16,4	31,1	12,2
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	26,5	17,9	23,3	12,3
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	28,8	19,3	33,1	12,3

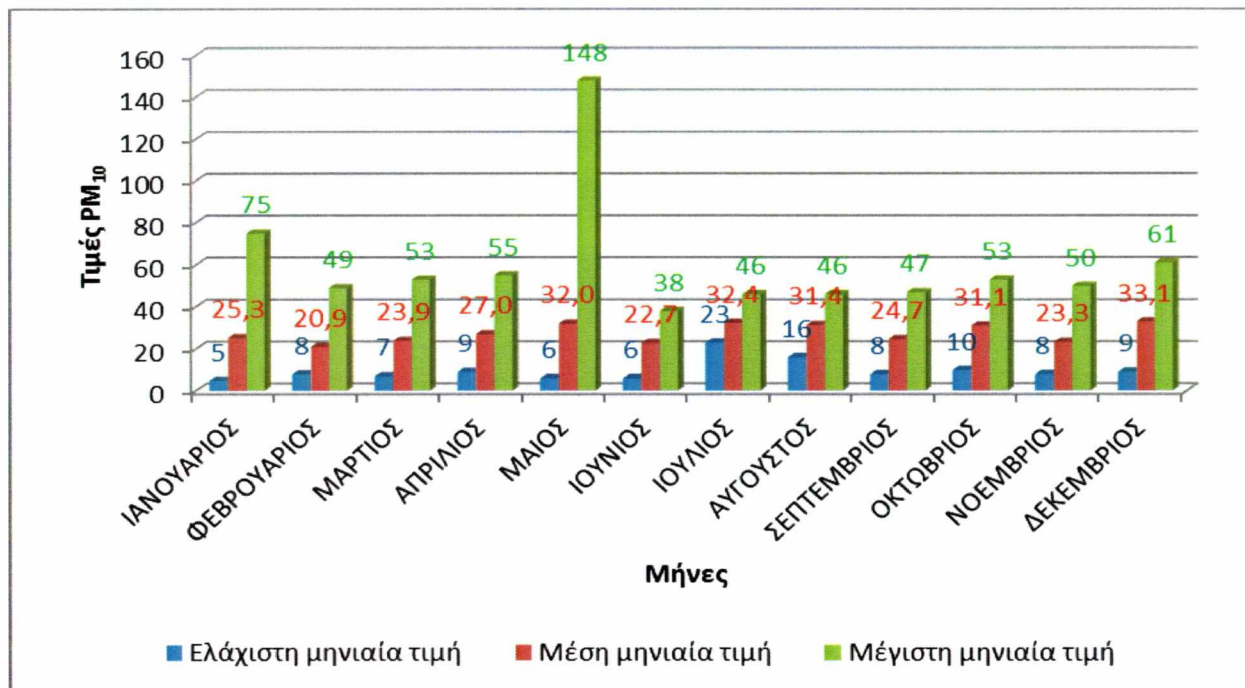
Γράφημα Π1: Διάγραμμα μηνιαίων μέσων τιμών PM₁₀/PM_{2.5} για τα έτη 2012-2013.



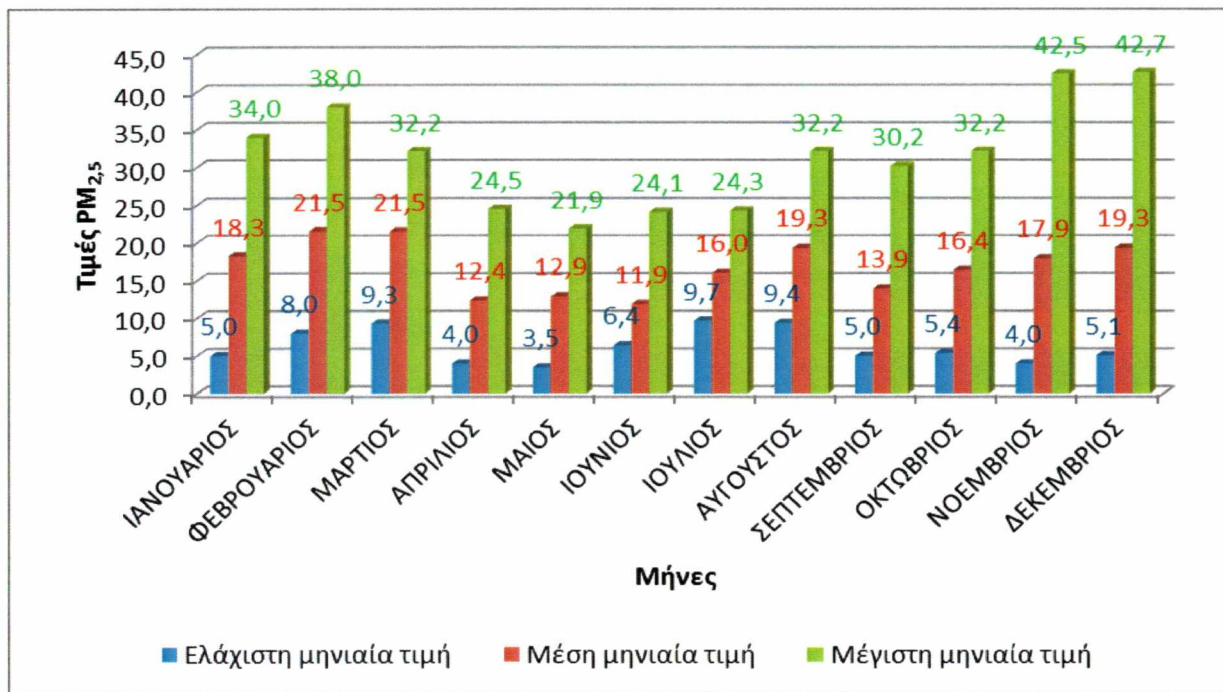
Γράφημα Π2: Διάγραμμα μέσων/ελάχιστων/μέγιστων μηνιαίων τιμών PM₁₀ για το έτος 2012.



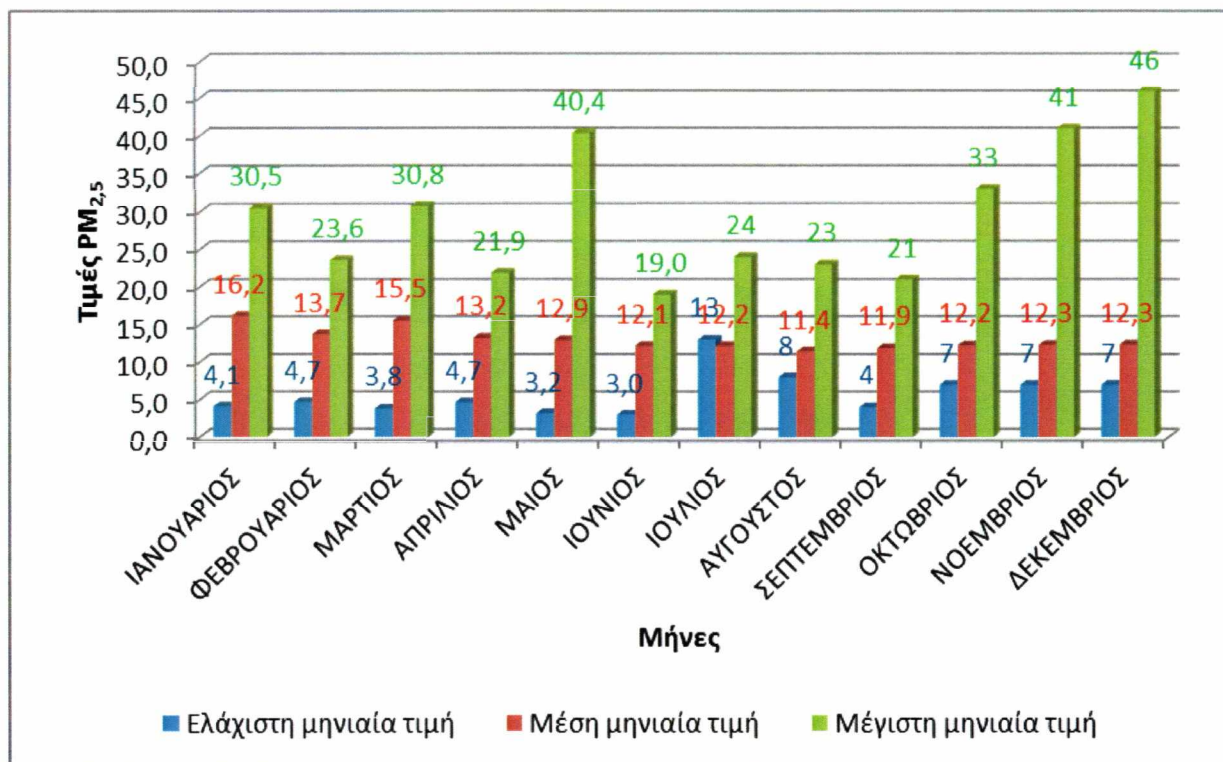
Γράφημα Π3: Διάγραμμα μέσων/ελάχιστων/μέγιστων μηνιαίων τιμών PM₁₀ για το έτος 2013.



Γράφημα Π4: Διάγραμμα μέσων/ελάχιστων/μέγιστων μηνιαίων τιμών PM_{2.5} για το έτος 2012.



Γράφημα Π5: Διάγραμμα μέσων/ελάχιστων/μέγιστων μηνιαίων τιμών PM_{2.5} για το έτος 2013.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

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

Ευαγγελόπουλος Β. (2004). *‘Ατμοσφαιρική ρύπανση σε αστική και βιομηχανική περιοχή. Η περίπτωση της Κοζάνης’*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Ιωάννινα.

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

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

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

Κουϊμτζής Θ. (1997). *‘Χημεία περιβάλλοντος’*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Λαζαρίδης Μ. (2005). *‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας’*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Μασσάρα Β. (2011). *‘Αιωρούμενα Σωματίδια στην Ατμόσφαιρα της Πάτρας’*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.

Μελάς Δ. (2007). *‘Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος’*. Εργαστήριο Φυσικής Ατμόσφαιρας του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Νάσιος Α. (2011). *‘Χρονοσειρές Συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων (ΑΣ10) στην Αστική Περιοχή του Βόλου: Διερεύνηση Χρονικής Συμπεριφοράς, Μετεωρολογικών Εξαρτήσεων και Προβλεψιμότητάς τους’*. Πτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος.

Παπαζάχου Ν. (2012). *‘Προσδιορισμός Οργανικών και Ανόργανων Ανιόντων στα Αιωρούμενα Σωματίδια της Ατμόσφαιρας και στην Αποτιθέμενη Σκόνη Μνημείων’*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ρεμουντάκη Ε. (2012). *‘Μηχανισμοί Κινητικότητας Ρύπων (Μετάλλων)’*. Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Προστασίας Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία και Τεχνολογία Υλικών του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.

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

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

Χαμουλάκης Α. (2012). *‘Ευφυής ανάλυση δεδομένων για τη χωρική διακύμανση των οπτικών ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων’*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andreae M. (2007). *‘Atmospheric aerosols versus greenhouse gases in the twentyfirst century’*. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365: 1915-1923.

Askey A., Lyon S.B., Thompson G.E., Johnson J.B., Wood G.C., Sage P.W., Cooke M.J. (1993). *‘The effect of fly-ash particulates on the atmospheric corrosion of zinc and mild steel’*. Corrosion Science, 34: 1055-1081.

Cape JN (2003). *‘[Effects of airborne volatile organic compounds on plants](#)’*. Elsevier.

Driscoll C., Driscoll K., Mitchell M., Raynal D. (2003). *‘Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State’*. Environmental Pollution, 123: 327-336.

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

- Harrison, R. and Yin, J. (2000). *'Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?'*. The science of the Total Environment, 249, pp. 85-101.
- Harrison R. M. (2004). *'Key pollutant – airborne particles'*. Science of the Total Environment, pp. 334-335.
- Hirano T., Kiyota M., Aiga I. (1995). *'Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants'*, Environmental Pollution, 89: 255-261.
- Hyslop NP. (2009). *'Impaired visibility: the air pollution people see'*, Atmospheric Environment, 43: 182-195.
- Kaufman, Y., Tanre, D., Boucher, O. (2002). *'A satellite view of aerosols in the climate system'*. Nature, 419, pp. 215-223.
- Kavouras, I. G., Joy, L., Koutrakis, P., Stephanou, E. G., Oyola, P. (1999). *'Measurement of particulate aliphatic and polynuclear aromatic hydrocarbons in Santiago de Chile: Source reconciliation and evaluation of sampling artifacts'*. Atmospheric Environment, 33, pp. 4977-4986.
- Kouimtzis, Th. , Voutsas, D., Terzi, E., Muller, L., Samara, C. (2004). *'Profile analysis of organic micropollutants in the environment of a coal burning area, NW Greece'*. Chemosphere, 55, 595-604.
- Lohmann U. (2006). *'Aerosol effects on clouds and climate'*, Space Science Reviews, 125: 129-137.
- W. C. Malm, D. E. Day, (2001). *'Estimates of aerosol species scattering characteristics as a function of relative humidity'*. Elsevier.
- Malm W.C. (1999). *'Introduction to Visibility'*. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Fort Collins, CO.
- Prasad M.S.V., Inamdar J.A. (1990). *'Effect of cement kiln dust pollution on black gram (Vigna mungo (L.) Hepper)'*. Proceedings: Plant sciences, 100: 435-443.
- Putaud J.P., Van Dingenen R., Raes F. (2004). *'A European aerosol phenomenology-1: physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe'*. Atmospheric Environment.
- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (1998). *'Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change'*. J. Wiley, New York.

Αδάμ Δημήτριος

Steffen W., Sanderson A., Tyson P., Jager J., Matson P., Moore B., Oldfield F., Richardson K., Schellnhuber J., Turner B.L., Wasson R. (2005). *'Global Change and the Earth System'*. Springer Berlin Heidelberg.

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

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

<http://www.dei.gr/Default.aspx?id=899&nt=18&lang=1> (Τελευταία επίσκεψη 10/8/2014)

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=493&language=el-GR> (Τελευταία επίσκεψη 1/8/2014)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000123929

