

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη
διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού
περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής**

Σταύρος Ε. Εφιετζής (Α.Μ. 35877)

Εισηγητής: Αθανάσιος Γ. Παλιατσός, Καθηγητής

**ΑΘΗΝΑ
Φεβρουάριος, 2016**

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής

Σταύρος Ε. Εφιεντζής

A.M. 35877

Εισηγητής:

Αθανάσιος Γ. Παλιατσός, Καθηγητής

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο που αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση από την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε ο επιβλέπων καθηγητής της παρούσας πτυχιακής εργασίας ο κ. Παλιατσός Αθανάσιος, που θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την καθοδήγησή του και για την υποστήριξη του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που στήριξε κάθε μου προσπάθεια και με βοήθησε τόσο ψυχολογικά όσο και οικονομικά στο να ολοκληρώσω τις σπουδές μου παρά τις δυσκολίες που προέκυψαν.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζεται η επίδραση της ρύπανσης που οφείλεται στην ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμοσφαιρική σύσταση της τρίτης μεγαλύτερης ελληνικής πόλης, την Πάτρα. Η αναπνοή αποτελεί τον βασικό τρόπο έκθεσης της υγείας του ανθρωπίνου οργανισμού σε επικίνδυνες ουσίες και προκύπτουν, είτε φυσικά, είτε από την ανθρωπογενή δραστηριότητα. Οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία σχετίζονται κυρίως με τις ευπαθείς ομάδες, ενώ οι μακροπρόθεσμες περιλαμβάνουν καρδιοαναπνευστικά προβλήματα, μείωση του προσδόκιμου ζωής, αλλοιώσεις του DNA μπορεί να οδηγήσουν στην εμφάνιση καρκινικού όγκου. Μια βασική κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων αποτελούν τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), που βάση των αεροδυναμικών τους ιδιοτήτων διακρίνονται στα PM₁₀ και PM_{2.5}. Έτσι όσο μικρότερη είναι η αεροδυναμική διάμετρος των PM τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα τους να διεισδύσουν στο κατώτατο αναπνευστικό σύστημα και να εναποτίθενται στις ευαίσθητες κυψελιδικές περιοχές των πνευμόνων. Επιπλέον παρουσιάζονται τεχνικές αντιμετώπισης τους, καθώς και τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στον ατμοσφαιρικό αέρα, έτσι όπως έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Επίσης, εξετάζονται οι πιθανές πηγές ρύπανσης στον υπό εξέταση χώρο, στις οποίες περιλαμβάνονται εκτός από τις εκπομπές των οχημάτων και οι εκπομπές των πλοίων, καθώς το λιμάνι της Πάτρας αποτελεί κύριο συγκοινωνιακό κόμβο για τις θαλάσσιες μεταφορές προς την Ιταλία και το Ιόνιο πέλαγος. Τέλος, καταγράφονται οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των PM₁₀ στο χρονικό εύρος 2001-2013, όπου μελετούνται και συγκρίνονται με αντίστοιχες ερευνητικές μελέτες.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Μόλυνση και τεχνολογία περιβάλλοντος.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Οικοσύστημα, ατμοσφαιρική ρύπανση, αιωρούμενα σωματίδια, τεχνικές αντιμετώπισης σωματιδιακής ρύπανσης.

ABSTRACT

In the present thesis is investigated the impact of pollution caused by the presence of aerosols in the atmospheric composition of the third largest Greek city of Patras. Breathing is the main route of exposure of the health of the human body in dangerous substances and arises either natural or from human activity. The short-term impacts of particulates matters on health are associated, especial with vulnerable groups, while long-term include cardiovascular problems, reduce life expectancy, and DNA alterations that may to the appearance of tumor. A main category of air pollutants are particulate matters (PM), and they are distinguished in PM₁₀ and PM_{2.5} based on their aerodynamic properties. Thus, the lower the aerodynamic diameter of PM, the greater the ability to penetrate into the lower respiratory tract and can be deposited in the sensitive alveolar regions of the lungs. Additionally, are presented, the reaction techniques and the highest particulate concentration limits in ambient air as adopted by the European Union. Furthermore, examines potential sources of pollution in the area concerned, including apart from the vehicles emissions and emissions from ships, as the port of Patras is a major transport hub for sea transport to Italy and to the Ionian Sea. Finally, variations in the concentration of the PM are recorded in a time range from 2001 to 2013, where are studied and compared with similar research studies.

SCIENTIFIC SECTION: Pollution and environment technologies.

KEY WORDS: atmospheric pollution, aerosols, particulates matters, reaction techniques.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| Κατάλογος σχημάτων..... | 11 |
| Κατάλογος πινάκων..... | 13 |
| Συντομογραφίες..... | 14 |
| | |
| 1. Κεφάλαιο 1ο | |
| 1.1 Το φυσικό περιβάλλον..... | 15 |
| 1.2 Η ατμόσφαιρα..... | 16 |
| 1.2.1 Η συμβολή της ατμόσφαιρας στη Γη..... | 17 |
| 1.3 Η διαστρωμάτωση της γήινης ατμόσφαιρας..... | 19 |
| 1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση..... | 22 |
| 1.5. Κύριες πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης..... | 22 |
| 1.5.1. Φυσικές πηγές ρύπανσης..... | 23 |
| 1.5.2. Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης..... | 24 |
| 1.6. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι..... | 25 |
| 1.6.1. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)..... | 25 |
| 1.6.2. Το διοξείδιο του θείου (SO ₂)..... | 25 |
| 1.6.3. Τα οξείδια του αζώτου (NO _x)..... | 26 |
| 1.6.4. Το επιφανειακό όζον (O ₃)..... | 27 |
| 1.6.5. Ο μόλυβδος (Pb)..... | 27 |
| 1.6.6. Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)..... | 28 |
| 1.6.7. Τα αιωρούμενα σωματίδια (SPM)..... | 28 |
| | |
| 2. Κεφάλαιο 2ο | |
| 2.1 Τα αιωρούμενα σωματίδια και οι πηγές προέλευσης..... | 35 |
| 2.1.1 Φυσικές πηγές..... | 36 |
| 2.1.2. Ανθρωπογενείς πηγές..... | 38 |
| 2.2 Τρόποι σχηματισμού..... | 40 |
| 2.3 Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων..... | 41 |
| 2.4 Φυσικά χαρακτηριστικά αιωρούμενων σωματιδίων..... | 42 |
| 2.5 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό..... | 45 |
| 2.6 Επιπτώσεις στο περιβάλλον..... | 49 |
| 2.7 Μηχανισμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων..... | 52 |
| 2.8 Σύγκριση συσκευών συλλογής αιωρούμενων σωματιδίων..... | 57 |

3. Κεφάλαιο 3ο

| | |
|--|----|
| 3.1 Περιβαλλοντικά όρια για τον περιορισμό της ρύπανσης των αιωρούμενων σωματιδίων..... | 59 |
| 3.2 Η ευρύτερη περιοχή της Πάτρας..... | 61 |
| 3.3 Οι σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στην Πάτρα..... | 64 |
| 3.4 Μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ στην πόλη της Πάτρας..... | 66 |
| 3.4.1 Διαχρονική εξέλιξη των μέσων μηνιαίων τιμών..... | 66 |
| 3.4.2 Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών..... | 68 |
| 3.4.3 Διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού υπερβάσεων της οριακής τιμής..... | 70 |
| 3.5 Συμπεράσματα για τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ στην πόλη της Πάτρας..... | 71 |

Βιβλιογραφία

| | |
|-------------------------|----|
| Ελληνική..... | 79 |
| Διεθνής..... | 81 |
| Σελίδες διαδικτύου..... | 84 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1.1: Η αρμονική συνύπαρξη του ανθρώπου με το περιβάλλον είναι αναγκαία σε παγκόσμιο επίπεδο..... | 16 |
| Σχήμα 1.2: Ο υδρολογικός κύκλος του νερού..... | 18 |
| Σχήμα 1.3: Η κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας και η θερμοκρασία της σε συνάρτηση με το ύψος..... | 20 |
| Σχήμα 2.1: Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο τον Αύγουστο του 2007..... | 37 |
| Σχήμα 2.2: Προσομοίωση της κίνησης των αιωρούμενων σωματιδίων σε παγκόσμιο επίπεδο. (Με κόκκινο χρώμα αναπαρίσταται η επαναιώρηση σκόνης από την επιφάνεια της Γης, με πράσινο χρώμα ο καπνός από τις πυρκαγιές, με μπλε χρώμα τα σταγονίδια άλατος από τους ωκεανούς και με λευκό τα σωματίδια θεικών ενώσεων από ηφαίστεια και εκπομπές ορυκτών καυσίμων.....) | 38 |
| Σχήμα 2.3: Κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα ανάλογα με το μέγεθός τους..... | 47 |
| Σχήμα 2.4: Συστήματα αποκονίωσης αεροφίλτρων..... | 57 |
| Σχήμα 3.1: Εδώ παρατηρούμε την ευρύτερη περιοχή της Πάτρας, του Πατραϊκού Κόλπου και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους όπως αυτά προκύπτουν από τον δορυφόρο. Ακόμα παρατηρούμε, την κοντινή απόσταση της ΒΙ.ΠΕ Πατρών σε ακτίνα μόλις 15km από το λιμάνι της πόλης..... | 63 |
| Σχήμα 3.2: Στο σχήμα απεικονίζονται στον χάρτη οι δύο σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, που βρίσκονται στην περιοχή της Πάτρας. | |

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Με το άσπρο στίγμα απεικονίζεται ο σταθμός Πάτρα I, ενώ με το κόκκινο στίγμα ο σταθμός Πάτρα II.....65

Σχήμα 3.3: Μέση ετήσια πορεία των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα I» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013.....67

Σχήμα 3.4: Μέση ετήσια πορεία των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα II» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013.....67

Σχήμα 3.5: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα I» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$).....69

Σχήμα 3.6: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα II» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$).....69

Σχήμα 3.7: Διαχρονική εξέλιξη, για την περίοδο 2001-2013, του ποσοστού των υπερβάσεων της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή), των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα I». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στο ετήσιο μέγιστο επιτρεπτό αριθμό ημερών με υπέρβαση, δηλαδή έως 35 ημέρες.....70

Σχήμα 3.8: Διαχρονική εξέλιξη, για την περίοδο 2001-2013, του ποσοστού των υπερβάσεων της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24-ωρη τιμή), των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα II». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στο ετήσιο μέγιστο επιτρεπτό αριθμό ημερών με υπέρβαση, δηλαδή έως 35 ημέρες.....71

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1. Χημική σύσταση του καθαρού ξηρού αέρα σε ύψος έως 20km (Κούγκολος 2007)..... | 17 |
| Πίνακας 2. Χρόνος που απαιτείται για την κάθοδο ενός σωματιδίου λόγω βαρυτικής καθίζησης κατά 1km στην ατμόσφαιρα . (Μελάς κ. ά. 2000)..... | 30 |
| Πίνακας 3. Συστήματα αποκονίωσης αερολυμάτων (Κουϊμτζής κ. ά. 1998)..... | 54 |
| Πίνακας 4. Τα όρια που έχει θέσει η ΕΕ για τα αιωρούμενα σωματίδια PM ₁₀ και βρίσκονται σε ισχύει από 1 Ιανουαρίου του 2005 (p27)..... | 60 |
| Πίνακας 5. Τρόποι δράσης και αντιμετώπισης κατά την υπέρβαση του ορίου των PM ₁₀ , σύμφωνα με την ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272Β/23-12-2013) (ΥΠΕΚΑ 2013)..... | 61 |

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

PM Particulate Matter

PM₍₁₀₎ Particulate Matter (10µm)

PM_(2.5) Particulate Matter (2.5µm)

TSP Total Suspended Particles

WHO World Health Organization

ΠΟΥ Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

Ε.Ε. Ευρωπαϊκή Ένωση

ΥΠΕΚΑ Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής

ΚΥΑ Κοινή Υπουργική Απόφαση

ΒΙ.ΠΕ Βιομηχανική Περιοχή

ΕΑΡΘ Διεύθυνση του Τμήματος Ποιότητας Ατμόσφαιρας (Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου)

ΕΔΠΑΡ Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Το φυσικό περιβάλλον

Ετυμολογικά η λέξη περιβάλλον είναι οτιδήποτε περιβάλλει ένα αντικείμενο έμβιο ή άβιο ([p1](#)). Η έννοια όμως περιβάλλον είναι εξαιρετικά πλούσια, πολυδιάστατη και πολυσύνθετη, φορτισμένη με επιστημονικές θεωρήσεις αλλά και κοινωνικούς προβληματισμούς, αξιολογικές κρίσεις και ιδεολογίες, γι' αυτό και είναι δύσκολο να ορισθεί πλήρως (Φλογαΐτη 1998).

Οι ειδικοί θέλοντας να περιγράψουν τι είναι περιβάλλον καταλήγουν τις περισσότερες φορές σε διαφορετικούς ορισμούς. Για παράδειγμα μερικές περιβαλλοντικές εκτιμήσεις ακολουθούν το βιοφυσικό μοντέλο, ενώ άλλες προσεγγίσεις συμπεριλαμβάνουν και τις ανθρώπινες επιδράσεις μέσα στους ορισμούς τους (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005).

Ο δεσμός μεταξύ του ανθρώπινου είδους και του περιβάλλοντός του, είναι αλληλένδετος, γι' αυτό τον λόγο είναι αδύνατον να διαχωριστούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι πλέον κοινός αποδεκτό ότι το περιβάλλον αποτελείται από τους ανθρώπινους θεσμούς και δραστηριότητες, σε αλληλεπίδραση με τις βιοφυσικές διεργασίες (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005).

Ο άνθρωπος κατέχει μια ιδιαίτερη θέση στο περιβάλλον, καθώς οι ενέργειες του είναι ένας από τους βασικούς λόγους για το πως έχει διαμορφωθεί αυτό ως σήμερα. Κάποιες ανθρωπογενείς μεταβολές είναι ωφέλιμες, ενώ οι περισσότερες θα χαρακτηριζόντουσαν επιβλαβείς. Από τότε που ο άνθρωπος των σπηλαίων ανακάλυψε την χρήση της φωτιάς ξεκίνησε η ρύπανση του περιβάλλοντος (Κούγκολος 2007).

Οι επεμβάσεις του ανθρώπου στο περιβάλλον μέχρι και πριν την Βιομηχανική Επανάσταση ήταν αντιστρέψιμες, παρά την λανθασμένη χρήση της φωτιάς και την κακή διαχείριση των ζωικών και ανθρώπινων απορριμμάτων. Η εφεύρεση των ατμομηχανών στις αρχές του 18^{ου} αιώνα σήμανε την Βιομηχανική Επανάσταση και την άμεση εξάρτηση του ανθρώπου

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

από την παραγωγή ενέργειας μεγαλύτερης ισχύος (Γεντεκάκης 2003). Οι διαρκώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπου, από τότε ως και σήμερα, καθώς και η μη συνετή συμπεριφορά του απέναντι στο περιβάλλον, έχουν οδηγήσει στην ανεπανόρθωτη ρύπανσή του.

Έτσι λοιπόν κρίνεται αναγκαία η «απεξάρτηση» του ανθρώπου από τα επιβλαβή ορυκτά καύσιμα (ξυλεία, άνθρακας, πετρέλαιο, κ. ά.) και η στροφή του προς εναλλακτικές μορφές ενέργειας (όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροδυναμική, κ. ά.) για την επίτευξη της αρμονικής συνύπαρξής του με το περιβάλλον (Σχήμα 1.1.).



Σχήμα 1.1 Η αρμονική συνύπαρξη του ανθρώπου με το περιβάλλον είναι αναγκαία σε παγκόσμιο επίπεδο [\(p2\)](#).

1.2 Η ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα της Γης, οι υδάτινες μάζες και ο επιφανειακός στερεός φλοιός αποτελούν το χώρο όπου έχει δημιουργηθεί η ζωή πάνω στον πλανήτη Γη. Ο προστατευτικός αέριος μανδύας που περιβάλλει τον πλανήτη μας και συγκρατείται από την ελκτική δύναμη της Γης, λέγεται ατμόσφαιρα. Είναι ένα άορατο και άοσμο δυναμικό σύστημα αερίων που συνεχώς μεταβάλλεται από φυσικούς και χημικούς μετασχηματισμούς. Το ύψος όπου εκτείνεται η ατμόσφαιρα δεν είναι γνωστό αλλά και ούτε εύκολο να

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

υπολογιστεί, καθώς στα ανώτερα στρώματά της η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι εξαιρετικά αραιή (Λαζαρίδης 2010).

Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα αποτελείται από μια σειρά μόνιμων, μεταβλητών αερίων και στερεών ή υγρών σωματιδίων. Μεταβλητά αέρια ονομάζονται εκείνα όπου η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα αυξομειώνεται, ενώ σταθερά είναι αυτά όπου η συγκέντρωση παραμένει σχεδόν σταθερή (p3).

Πίνακας 1. Χημική σύσταση του καθαρού ξηρού αέρα σε ύψος έως 20km (Κούγκολος 2007).

| Βασικά αέρια της ατμόσφαιρας | Συγκέντρωση αερίων στην ατμόσφαιρα κατά όγκο (%) |
|--|---|
| Άζωτο (N ₂) | 78.08 |
| Οξυγόνο (O ₂) | 20.95 |
| Αργό (Ar) | 0.93 |
| Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂) | 0.03 |
| Νέον | 0.0018 |
| Ήλιον | 0.0005 |
| Μεθάνιο | 0.0001- 0.00015 |
| Κρύπτον | 0.00011 |
| Μονοξείδιο του άνθρακα | 0.00001 |

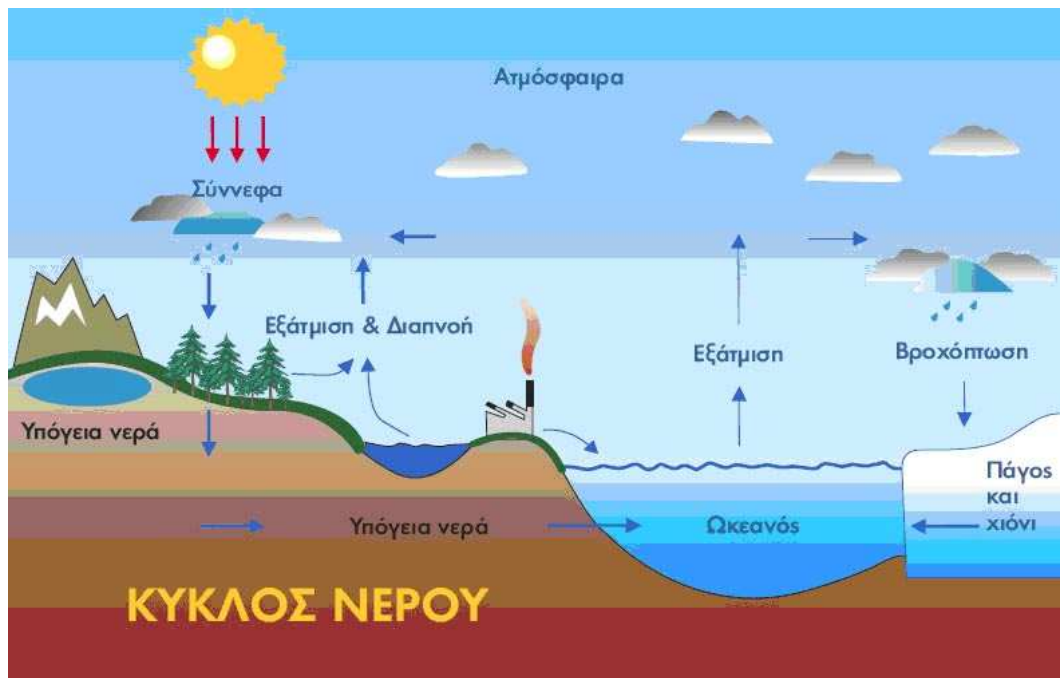
Τα βασικότερα αέρια της ατμόσφαιρας είναι το άζωτο, το οξυγόνο, το αργό και το διοξείδιο του άνθρακα. Κάθε ένα από αυτά τα αέρια επιτελεί σημαντικό σκοπό στην ανάπτυξη, τη διατήρηση αλλά και την εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη μας (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005). Το οξυγόνο μαζί με το άζωτο αποτελούν το 99% του ατμοσφαιρικού αέρα και παραμένουν σε αδρανή κατάσταση στις περισσότερες μετεωρολογικές διαδικασίες. Άλλα αέρια είναι το ήλιον, το νέον, το μεθάνιο, το κρυπτόν, το υδρογόνο, το ξένον, το όζον, κ.ά., που παρά τις μικρές και μεταβλητές ποσότητές τους, προκαλούν σημαντικές ατμοσφαιρικές επιδράσεις (p4).

1.2.1 Η συμβολή της ατμόσφαιρας στη Γη

Η ατμόσφαιρα είναι ο προστατευτικός μανδύας της Γης. Χωρίς εκείνη η Γη θα ήταν ένας ψυχρός πλανήτης εκτεθειμένος στις αφιλόξενες συνθήκες του

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

σύμπαντος (Κούγκολος 2007). Η ατμόσφαιρα έχει τη δυνατότητα να προστατεύει τους οργανισμούς στην επιφάνεια της Γης από μια ποικιλία βλαβερών σωματιδίων και ακτινοβολιών, που φθάνουν στον πλανήτη από τον ήλιο και το διάστημα. Παράλληλα όμως επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια του πλανήτη, γεγονός απαραίτητο για τη διαβίωση των έμβιων οργανισμών (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005).



Σχήμα 1.2 Ο υδρολογικός κύκλος του νερού (p6).

Η ατμόσφαιρα συγχρόνως λειτουργεί ως ρυθμιστής της θερμοκρασίας και είναι η κυριότερη αιτία δημιουργίας του κλίματος. Αυτό συμβαίνει διότι κάποια από τα αέρια της ατμόσφαιρας έχουν θερμοσυλλεκτικές ιδιότητες και ενεργούν σαν θερμικός μονωτής της γήινης επιφάνειας, κρατώντας την σημαντικά θερμότερη απ’ ότι θα ήταν εάν δεν υπήρχε η περιβάλλουσα ατμόσφαιρα (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005). Συγκεκριμένα η Γη, αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα, θα επανέκπεμπε την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα. Τότε η Γη θα είχε θερμοκρασία ίση με την ενεργό θερμοκρασία, δηλαδή -18°C . Λόγω της ύπαρξης της ατμόσφαιρας και συγκεκριμένα των αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, τροποσφαιρικό όζον, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και χλωροφθοράνθρακες) η θερμοκρασία της Γης ανεβαίνει κατά 33°C και διαμορφώνεται στην πρόσφορη θερμοκρασία των 15°C (Λαζαρίδης 2010). Έτσι λοιπόν η μεταφορά ενέργειας και υγρασίας από

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

το ένα μέρος στο άλλο, είναι η αιτία που δημιουργείται το κλίμα και είναι καθοριστικό για την κατανομή της ζωής στις διαφορές περιοχές του πλανήτη (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005).

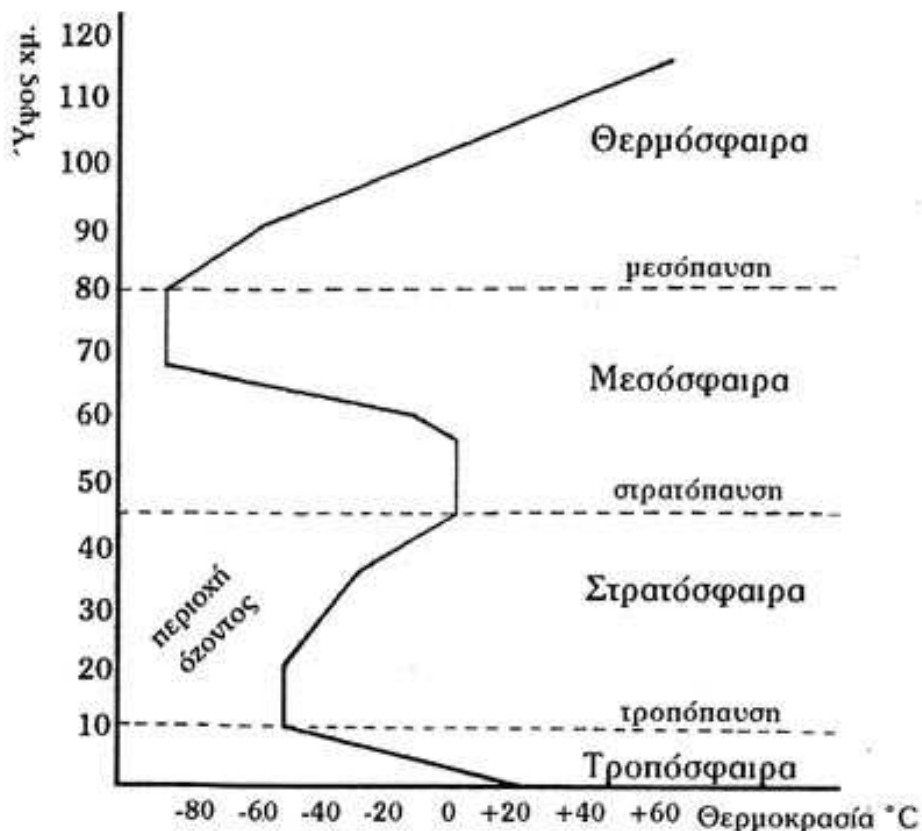
Το νερό είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία πάνω στην Γη και καλύπτει περίπου το 71% της επιφάνειάς της. Όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται κυρίως από νερό, για παράδειγμα μέχρι και το 70% του βάρους ενός ανθρώπου είναι νερό (p5). Χάρη στην ύπαρξη της ατμόσφαιρας το νερό όχι μόνο συνεχίζει να υπάρχει, αλλά παραμένει και καθαρό. Μέσω μιας πολύπλοκης διαδικασίας που ονομάζεται υδρολογικός κύκλος το νερό καταφέρνει και αναπαράγεται. Αρχικά μέρος του νερού που καλύπτει την επιφάνεια της Γης εξατμίζεται. Με τη μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα αρχίζει η διαδικασία της συμπύκνωσης και της δημιουργίας των νεφών. Τα εκτεταμένα νεφικά στρώματα μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες νερού, που υπό κατάλληλες συνθήκες προκαλούν φαινόμενα υετού, όπως βροχή, χιόνι, χαλάζι. Έτσι το νερό επιστρέφει και πάλι στη Γη (Λαζαρίδης 2010).

1.3 Η διαστρωμάτωση της γήινης ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα διαχωρίζεται σε δύο μεγάλες περιοχές, ανάλογα με τις μεταβολές ή όχι της σύνθεσης του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα σε σχέση με το ύψος. Στην ομοιόσφαιρα, όπου εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης μέχρι τα 85km, διατηρείται σταθερή η αναλογία των συστατικών του ξηρού αέρα και στην ετερόσφαιρα που εκτείνεται άνω των 85km, η σύσταση του ξηρού αέρα δεν είναι σταθερή.

Με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος, η ομοιόσφαιρα χωρίζεται σε τρεις βασικές περιοχές. Την τροπόσφαιρα, τη στρατόσφαιρα και τη μεσόσφαιρα. Με τη σειρά της η ετερόσφαιρα χωρίζεται στη θερμόσφαιρα και την εξώσφαιρα. Στο Σχήμα 1.3. απεικονίζονται τα ατμοσφαιρικά στρώματα και η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, μέχρι το ύψος των 120km (Λαζαρίδης 2010).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”



Σχήμα 1.3 Η κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας και η θερμοκρασία της σε συνάρτηση με το ύψος (p7).

- **Τροπόσφαιρα:** Είναι το στρώμα αέρα από την επιφάνεια της μέχρι το ύψος των $12\pm 4\text{km}$ (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους). Το ύψος της τροπόσφαιρας είναι μεγαλύτερο στον Ισημερινό και μικρότερο στους πόλους. Χαρακτηριστικό της είναι η συνεχής και ομοιόμορφη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος. Όσο το ύψος αυξάνεται, τόσο η θερμοκρασία μειώνεται, συγκεκριμένα κατά $6.5^\circ\text{C}/\text{km}$. Το 80% της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας και σχεδόν ολόκληρη η ποσότητα των υδρατμών, περιέχονται στην τροπόσφαιρα. Έτσι το σύνολο των μετεωρολογικών φαινομένων που παρατηρούνται, εκδηλώνονται σ' αυτό το ατμοσφαιρικό στρώμα. Η ανώτερη περιοχή της ονομάζεται τροπόπαυση και αποτελεί μία διαχωριστική ζώνη μεταξύ της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

- **Στρατόσφαιρα:** Το ατμοσφαιρικό στρώμα που βρίσκεται πάνω από την τροπόσφαιρα και διαχωρίζεται από αυτήν με την τροπόπαυση, ονομάζεται στρατόσφαιρα. Εκτείνεται περίπου μέχρι το ύψος των 45-55km. Στα πρώτα χιλιόμετρα πάνω από την τροπόπαυση η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Κατόπιν αυξάνεται συνεχώς μέχρι την στρατόπαυση όπου φθάνει τους 0°C περίπου. Η αύξηση της θερμοκρασίας στη στρατόσφαιρα οφείλεται στην απορρόφηση μεγάλους μέρους της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το όζον, η συγκέντρωση του οποίου εκτείνεται στο ύψος των 15-40km.
- **Μεσόσφαιρα:** Ονομάζεται το ατμοσφαιρικό στρώμα που ακολουθεί μετά τη στρατόσφαιρα και εκτείνεται μέχρι το ύψος των 80-85km περίπου. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η απότομη μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος, που φθάνει στην τιμή των -90°C. Η μεσόπαυση αποτελεί το ανώτερο όριο της μεσόσφαιρας, αλλά και της ομοιόσφαιρας. Είναι η πιο ψυχρή περιοχή της ατμόσφαιρας με τη θερμοκρασία να φθάνει ακόμα και τους -100°C.
- **Θερμόσφαιρα:** Είναι το ατμοσφαιρικό στρώμα που ακολουθεί αμέσως μετά την μεσόπαυση και εκτείνεται μέχρι το ύψος των 400km περίπου. Εξαιτίας της ηλιακής δραστηριότητας η θερμοκρασία εκεί, αυξάνεται κατά αναλογία του ύψους, φτάνοντας περίπου τους 700°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας στο στρώμα αυτό οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία, στον αραιό αέρα, στις διάφορες εξωθερμικές χημικές αντιδράσεις και στην έλλειψη διεργασιών ψύξης. Το όριο στο οποίο παύει η αύξηση της θερμοκρασίας της θερμόσφαιρας, ονομάζεται θερμόπαυση.
- **Εξώσφαιρα:** Ονομάζεται το ανώτερο στρώμα μετά τη θερμόπαυση. Η ατμόσφαιρα εκεί γίνεται πλέον ισόθερμη. Η βάση της εξώσφαιρας είναι στα 400 με 500km και εξαρτάται από την ηλιακή δραστηριότητα. Στην εξώσφαιρα, λόγω της αραιής ύπαρξης μορίων του αέρα, τα ουδέτερα άτομα αερίων μπορούν να διαφύγουν την έλξη του πεδίου βαρύτητας της Γης.
- **Ιονόσφαιρα:** Είναι η περιοχή της ατμόσφαιρας που γίνεται μερικός ιονισμός των ατμοσφαιρικών συστατικών. Αυτό συμβαίνει από τις διάφορες ακτινοβολίες του ήλιου ή και από σωματιδιακή ακτινοβολία. Εκτείνεται περίπου από τα 60km έως τα 300km, δηλαδή μεταξύ του ανώτερου

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

στρώματος της μεσόσφαιρας και του κατώτερου της θερμόσφαιρας (Κούγκολος 2007, Λαζαρίδης 2010).

1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η οποιαδήποτε μεταβολή της αναλογίας των συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα που μπορεί να δημιουργήσει επιβλαβείς συνέπειες στον άνθρωπο και στο περιβάλλον, καθώς και η παρουσία ξένων ουσιών στην ατμόσφαιρα, ονομάζεται ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζεται σε τρεις φυσικές καταστάσεις, στερεά, υγρή και αέρια (Παλιατσός 2009). Ρύποι θεωρούνται οποιαδήποτε υλικά είναι δυνατόν να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα είτε εσκεμμένα είτε διαμέσου κάποιας φυσικής διαδικασίας. Οι επιδράσεις μπορούν να είναι άμεσες, όπως στην περίπτωση της έκθεσης οργανισμών σε εξαιρετικά τοξικά και ραδιενεργά υλικά. Αλλά και έμμεσες όπως είναι η περίπτωση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Γεντεκάκης 2003).

Η συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα, κυρίως στις μεγάλες πόλεις, αποτελεί σοβαρό πρόβλημα καθώς ένα μεγάλο ποσοστό πληθυσμού εκτίθεται σε υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων. Συχνά τα επίπεδα των ρύπων αυτών, υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια ασφαλείας και αυξάνουν τον κίνδυνο εμφάνισης προβλημάτων υγείας. Μερικά προβλήματα υγείας, που έχει διαπιστωθεί πως προκαλούνται στον άνθρωπο από την υπερέκθεσή του στην ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι αναπνευστικά, καρδιακά, κυκλοφορικά, κ.ά. (Γεντεκάκης 2007).

1.5 Κύριες πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας είναι τόσες πολλές όσοι και οι άνθρωποι που ζουν πάνω στη Γη. Οι ειδικοί θέλοντας να τις διαχωρίσουν τις έχουν ταξινομήσει σε δύο κατηγορίες, τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς (Γεντεκάκης 2003).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων οφείλεται στις φυσικές πηγές ρύπανσης. Οι ρύποι των φυσικών πηγών όμως δεν αποτελούν πρόβλημα, καθώς έχουν τη δυνατότητα να διαχέονται πάνω στον πλανήτη, με τη βοήθεια του πνέοντος ανέμου. Αντιθέτως, οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανση είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης σήμερα. Κάθε άνθρωπος αποτελεί μια πηγή ρύπανσης εξαιτίας των καθημερινών του δραστηριοτήτων. Η διατάραξη της φυσικής ισορροπίας του ατμοσφαιρικού αέρα και του οικοσυστήματος, οφείλεται στην έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων σε οποιαδήποτε μορφή (στερεή, υγρή και αέρια) από αστικά κέντρα και βιομηχανικές ζώνες (Μελάς κ. ά. 2000).

1.5.1 Φυσικές πηγές ρύπανσης

Φυσικές πηγές ρύπανσης αποτελούν:

- Οι εκρήξεις ηφαιστειών που απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες σωματιδίων και αέριων ρύπων δημιουργώντας νέφη ηφαιστειακής ύλης.
- Οι δασικές πυρκαγιές που ξεσπούν με φυσικό τρόπο και παράγουν σημαντικές ποσότητες ρυπαντών και ιπτάμενης τέφρας.
- Τα δέντρα και τα φυτά που παρά τη συμβολή τους στην μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης, αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής υδρογονανθράκων.
- Η δράση των βενθικών και φυτοπλαγκτονικών οργανισμών της θάλασσας, οδηγεί στην παραγωγή θειούχων ενώσεων.
- Η αιώρηση και μεταφορά διαφόρων σωματιδίων από την επιφάνεια του εδάφους. Ειδικά στην Ελλάδα οι άνεμοι με την επωνυμία Λίβας και Σορόκος, προερχόμενοι αντιστοίχως από τη Λιβύη και τη Σαχάρα, προκαλούν συχνά μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων σκόνης από τις

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

προαναφερθείσες περιοχές, με αποτέλεσμα τη μείωση της ορατότητας και την πρόκληση δυσφορίας στον πληθυσμό μεγάλων αστικών περιοχών.

- Ο άνεμος που παρασύρει σταγονίδια με άλας από θάλασσες, αποτελεί και εκείνος μια πηγή ατμοσφαιρικών αιωρημάτων, γνωστά ως «αεροζόλ» (Μελάς κ.ά. 2000, Γεντεκάκης 2003, Prezerakos et al. 2010).

1.5.2 Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης

Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης αποτελούν:

- Η βιομηχανική δραστηριότητα και ο τομέας παραγωγής ενέργειας, αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή αέριων ρύπων. Κατά βάση η μεγαλύτερη έκλυση ποσότητας ρύπων προέρχεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Μερικοί από τους εκλυόμενους ρύπους είναι το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και τα σωματίδια
- Ο τομέας των μεταφορών (χερσαίες, θαλάσσιες και αέριες) αποτελεί έναν από τους σημαντικούς παράγοντες ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Το κάθε μεταφορικό μέσο, ως μονάδα δεν αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης. Αλλά στις πυκνοκατοικημένες περιοχές και στα μεγάλα αστικά κέντρα, ο μεγάλος αριθμός μεταφορικών μέσων αποτελεί μεγάλη απειλή για την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Μερικοί από τους εκπεμπόμενους ρύπους είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου, τα οξείδια αζώτου και τα σωματίδια.
- Η λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα ρύπανσης σε μεγάλα αστικά κέντρα, κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Τα τελευταία χρόνια, λόγω οικονομικής κρίσης, εξαιτίας της χρήσης χαμηλού κόστους καυσίμων εκλύονται κυρίως καπνός και αιωρούμενα σωματίδια (Μελάς κ. ά. 2000, Saffari et al. 2013).

1.6 Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι

Οι ρύποι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο παράγωγής τους. Οι πρωτογενείς ρύποι είναι εκείνοι όπου εκπέμπονται απ' ευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα. Ενώ δευτερογενείς ρύποι είναι εκείνοι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς, είτε με χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, είτε με την επίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία (Παλιατσός 2009). Μερικοί από τους βασικούς ρυπαντές της ατμόσφαιρας αποτελούν το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, το επιφανειακό ή τροποσφαιρικό όζον, ο μόλυβδος, οι πτητικές οργανικές ενώσεις και τα αιωρούμενα σωματίδια.

1.6.1 Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα αποτελεί προϊόν ατελούς χημικής αντίδρασης, σε μηχανές εσωτερικής καύσης αλλά και σε άλλες πηγές (όπως την κεντρική θέρμανση και τη βιομηχανία). Πρόκειται για ένα αέριο άοσμο, άχρωμο και συγχρόνως τοξικό και ασφυξιογόνο. Εισέρχεται από τους πνεύμονες διαμέσου της αναπνοής και εν συνεχεία καταλήγει στην κυκλοφορία του αίματος. Εκεί δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη των αιμοπεταλίων και παρεμποδίζει τη μεταφορά του οξυγόνου προς τους ιστούς. Όταν ξεπεραστούν τα μέγιστα επιτρεπτά όρια του ρύπου, επιδρά στον ανθρώπινο οργανισμό, δημιουργώντας ζαλάδες, ναυτίες, πονοκεφάλους ενώ σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια αισθήσεων ακόμη και στον θάνατο (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005, Παλιατσός 2009).

1.6.2 Το διοξείδιο του θείου (SO₂)

Τα οξείδια του θείου προέρχονται από την καύση στερεών και υγρών καυσίμων, οπότε εκλύεται το περιεχόμενα σε αυτά θείο. Πρόκειται για αέριο άχρωμο, τοξικό και με χαρακτηριστική έντονη οσμή. Το διοξείδιο του θείου δεν συμμετέχει στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, ενώ αποτελεί κύριο συστατικό σχηματισμού του νέφους της αιθαλομίχλης. Η ομίχλη σε

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

συνδυασμό με την κάπνα, όπου κύριο συστατικό της είναι το διοξείδιο του θείου, έχει δημιουργήσει τα μεγαλύτερα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης γνωστά ως αιθαλομίχλη. Η όξινη βροχή είναι επίσης ένα φαινόμενο που σχετίζεται με το διοξείδιο του θείου. Ο συνδυασμός αυτού, με το νιτρικό οξύ και άλλα οργανικά ή ανόργανα οξέα δημιουργούν την όξινη βροχή, που έχει βλαβερές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον, στο χειρσαίο οικοσύστημα και σε διάφορα υλικά (Κούγκολος 2007). Έχει διαπιστωθεί πως οι επιπτώσεις του διοξειδίου του θείου στην ανθρωπινή υγεία σχετίζονται κυρίως με αναπνευστικά προβλήματα, όπως το πνευμονικό οίδημα επίσης, φαίνεται να διαβρώνει τους αναπνευστικούς βρόγχους και να επιφέρει σοβαρούς ερεθισμούς στην καρδιά (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005, Παλιατσός 2009).

1.6.3 Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)

Οξείδια αζώτου είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), που αλληλοσχηματίζονται στην ατμόσφαιρα (Παλιατσός 2009). Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο, ενώ το διοξείδιο ερυθροκάστανο αέριο με δριμεία οσμή. Είναι και τα δύο εξαιρετικά τοξικά, το διοξείδιο του αζώτου όμως περισσότερο από το μονοξείδιο. Ανάλογα τον χρόνο έκθεσης του ανθρώπου σ' αυτά και τα επίπεδα της συγκέντρωσής του στα οποία θα εκτεθεί ένας έμβιος οργανισμός, μπορεί να προκληθεί ερεθισμός στα μάτια και στο αναπνευστικό σύστημα, σπασμοί και παράλυση του νευρικού συστήματος, πνευμονικό οίδημα ακόμα και θάνατος. Στο οικοσύστημα επιδρούν μειώνοντας την πρόοδο ανάπτυξης των φυτών και προκαλώντας νέκρωση των φυλλωμάτων τους. Επίσης τα οξείδια του αζώτου με την παρουσία ηλιοφάνειας και υψηλής θερμοκρασίας αέρα, προκαλούν έναν κύκλο φωτοχημικών αντιδράσεων, οπότε δημιουργείται το επιφανειακό όζον με τελικό αποτέλεσμα τη δημιουργία του φαινομένου της φωτοχημικής καπνομίχλης (Παλιατσός 2009).

1.6.4 Το επιφανειακό όζον (O₃)

Το επιφανειακό ή τροποσφαιρικό όζον παράγεται μέσω μιας σύνθετης σειράς αντιδράσεων με την παρουσία έντονης ηλιοφάνειας, αυξημένης θερμοκρασίας αέρα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων. Είναι αέριο άχρωμο με έντονη οσμή και αποτελεί ρύπο δευτερογενούς προέλευσης. Οι διαδικασίες δημιουργίας του όζοντος έχουν σαν αποτέλεσμα την φωτοχημική ρύπανση. Τους μήνες της θερμής περιόδου του έτους (Απρίλιο-Σεπτέμβριο) και πιο συγκεκριμένα τις μεσημβρινές ώρες το όζον εμφανίζει τις μέγιστές του τιμές. Έτσι γίνεται αντιληπτό πως η παραγωγή του είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση του ήλιου. Στην ανθρώπινη υγεία προκαλεί ερεθισμούς και προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα όπως έντονο βήχα, φλεγμονές και τσούξιμο ματιών. Επιφέρει επίσης αλλοιώσεις σε φυτά και δέντρα που οδηγούν ακόμη και στη νέκρωσή τους (Μελάς κ.ά. 2000, Paliatsos et al. 2006, Παλιατσός 2009).

1.6.5 Ο μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος, που αιωρείται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή λεπτότατων σωματιδίων, προέρχεται κυρίως από την καύση βενζίνης στους κινητήρες αυτοκινήτων αλλά και από τη βιομηχανία. Εισέρχεται στον οργανισμό όχι μόνο από την αναπνευστική οδό αλλά και μέσω της τροφικής αλυσίδας. Είναι τοξική ουσία που συσσωρεύεται στον ανθρώπινο οργανισμό και κυρίως στα κόκκαλα. Ο μόλυβδος σε χαμηλές συγκεντρώσεις δεν δημιουργεί άμεσα κλινικά συμπτώματα. Από χρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις όμως, δημιουργείται συσσώρευση αλλοιώσεων και όταν φανούν τα πρώτα συμπτώματα τότε η δράση του έχει προχωρήσει σε σοβαρό βαθμό (Κούγκολος 2007). Μπορεί να επηρεάσει το αιμοποιητικό, το καρδιοαγγειακό, το αναπαραγωγικό, το ουροποιητικό, το γαστρεντερικό καθώς το κεντρικό νευρικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού (p8). Με την εκσυγχρόνιση των αυτοκινήτων και την χρήση της αμόλυβδης βενζίνης, έχει ελαχιστοποιηθεί αρκετά η ύπαρξη αυτού του ρύπου στην ατμόσφαιρα (Μελάς κ.ά. 2000).

1.6.6 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)

Οι ενώσεις του άνθρακα και του υδρογόνου ονομάζονται υδρογονάνθρακες . Οι υδρογονάνθρακες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις πτητικές οργανικές ενώσεις που συμμετέχουν στις φωτοχημικές διεργασίες και στο μεθάνιο που δε συμμετέχει (Καλδέλλης και Χαλβατζής 2005). Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds – VOCs) ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις που το αρχικό σημείο βρασμού είναι μικρότερο ή ίσο των 250°C υπό σταθερή πίεση (1atm) (p9). Η παραγωγή των οργανικών ενώσεων είναι αποτέλεσμα ρύπων που πηγάζουν από την καύση βενζίνης (ή την εξάτμισή της κατά τη μεταφορά και τη διάθεσή της), πετρελαίου, ξυλάνθρακα και φυσικού αερίου επίσης, τα χρώματα, τα βερνίκια, οι βαφές αυτοκινήτων, τα αστάρια, κ.ά., εκλύουν στην ατμόσφαιρα ποσότητα οργανικών ενώσεων (p10). Στον ανθρώπινο οργανισμό οι επιδράσεις των VOC's εξαρτώνται από τη συγκέντρωσή τους, τον χρόνο έκθεσης και την υγεία του ατόμου. Τα συμπτώματα ποικίλουν όπως ερεθισμός στα μάτια, τη μύτη, το λαιμό, πονοκεφάλους, ναυτία, δύσπνοια, κόπωση, έλλειψη συγκέντρωσης και μνήμης. Έρευνες και μελέτες έχουν δείξει ότι δύναται να προσβάλει όργανα ζωτικής σημασίας όπως το συκώτι και τα νεφρά, να δημιουργήσει διαταραχή του κεντρικού νευρικού συστήματος και να προκαλέσει νεοπλασίες (p11). Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι σημαντικές, με καταλυτικό ρόλο στο σχηματισμό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

1.6.7 Τα αιωρούμενα σωματίδια (SPM)

Ως αιωρούμενα σωματίδια (Suspended Particulate Matters - SPM) θεωρούνται όλα τα σώματα στερεά και υγρά, εκτός του νερού, που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα και έχουν αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 0.0002μm και μικρότερη από 500μm περίπου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων είναι η σκόνη, η ιπτάμενη τέφρα και ο καπνός. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα και ορατά με σκούρο χρώμα και γίνονται αντιληπτά ως καπνός. Άλλα είναι τόσο μικρά που δεν είναι ορατά

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

παρά μόνο από ειδικά ηλεκτρονικά μικροσκόπια. Πολλά σωματίδια φεύγουν προς τον αέρα απευθείας από τις πηγές τους, όπως οι καπνοδόχοι και οι εξατμίσεις των οχημάτων. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου αέρια όπως CO, SO₂, NO_x και VOCs, αντιδρούν με διάφορες άλλες ενώσεις του ατμοσφαιρικού αέρα και παράγουν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Γενικά η φύση και η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλει και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή του χρόνου και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Δεν αποτελούν έναν ενιαίο ρύπο, αλλά μάλλον πρόκειται για ένα μίγμα πολλών ρύπων.

Αρχικά, οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων αναφέρονταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particulate - TSP), χωρίς να γίνεται καμία διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Το αρχικό μέτρο TSP, με την εξέλιξη της τεχνολογίας αντικαταστάθηκε με το PM₁₀, το οποίο αφορά μόνο αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης ή ίσης των 10μm. Στην συνέχεια προτάθηκε ένας επιπλέον διαχωρισμός στα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μεταξύ των 2.5μm και 10μm (χονδρόκοκκα σωματίδια) και στα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 2.5μm, τα PM_{2.5} ή λεπτόκοκκα σωματίδια. Τι είναι όμως η αεροδυναμική διάμετρος;

Τα αιωρούμενα σωματίδια περιλαμβάνουν σωματίδια με διαφορετική το καθένα μορφή και σχήμα. Έτσι, η γεωμετρική τους διάμετρος δεν μπορεί να περιγράψει τις διαστάσεις τους και δεν επιτρέπει τη μελέτη των ιδιοτήτων των σωματιδίων. Με τον όρο «αεροδυναμική διάμετρος» ορίζεται η διάμετρος που πρέπει να έχει ένα σφαιρικό σώμα πυκνότητας 1g/cm³, ώστε κάτω από τις ίδιες συνθήκες να έχει την ίδια ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο (Samet and Krewski 2007, Dockery et al. 1993).

Η αεροδυναμική διάμετρος, άρα το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι αυτό που καθορίζει το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα όπως και τις φυσικές και χημικές ιδιότητές τους. Έτσι, ο μέσος χρόνος ζωής τους στην κατώτερη τροπόσφαιρα είναι πέντε ημέρες, ενώ στην ανώτερη τροπόσφαιρα φθάνει τον ένα μήνα. Όταν τα σωματίδια βρεθούν στη

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

στρατόσφαιρα π.χ. λόγω έκρηξης ηφαιστείου, ο χρόνος παραμονής τους φθάνει τα 2-3 χρόνια. Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των αερολυμάτων βρίσκεται στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σημαντικές εκπομπές βρίσκονται κοντά στο έδαφος, οπότε οι μικροί σχετικά χρόνοι παραμονής των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα δεν αφήνουν μεγάλα χρονικά περιθώρια για τη μεταφορά τους σε μεγαλύτερα ύψη. Στον Πίνακα 2 απεικονίζεται η εξάρτηση της διαμέτρου σωματιδίου με τον χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα μέχρι και την καθίζησή του στο έδαφος.

Πίνακας 2. Χρόνος που απαιτείται για την κάθοδο ενός σωματιδίου λόγω βαρυτικής καθίζησης κατά 1km στην ατμόσφαιρα (Μελ άς κ. ά. 2000).

| Αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου (μm) | Χρόνος καθόδου 1km |
|---|---------------------------|
| 0.02 | 228 χρόνια |
| 0.1 | 36 χρόνια |
| 1 | 328 ημέρες |
| 10 | 3.6 ημέρες |
| 100 | 1.1 ώρες |
| 1000 | 4 λεπτά |

Τα χονδρόκοκκα σωματίδια (coarse particles) έχουν πολλές και διαφορετικές πηγές προέλευσης, όπως η μεταφερόμενη από τον άνεμο σκόνη, η κίνηση οχημάτων σε δρόμους χωρίς ασφαλτόστρωση, τα μηχανήματα βιομηχανιών συμπύεσης, τα μηχανήματα λιωσίματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, τα μηχανήματα αλέσματος κ.λπ. Ο σχηματισμός τους οφείλεται στην δράση κυρίως μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη.

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια (fine particles), αποδίδονται στα σχηματιζόμενα από την αέρια φάση σωματίδια, με διαδοχικές συσσωρεύσεις, συμπύκνωση, μεταφορά ή καύση. Ως μέτρο σύγκρισης του μεγέθους τους μπορεί να αναφερθεί ότι μια ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο της τάξης των 70 μm . Οι κυριότερες πηγές εκπομπής τους είναι τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, οι διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα τζάκια, οι φούρνοι κ.λπ. Δημιουργούνται επίσης από αέρια

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

πυρανάφλεξης, τα οποία με τη σειρά τους μετατρέπονται στην ατμόσφαιρα, μετά από σειρά χημικών αντιδράσεων, σε αιωρούμενα σωματίδια.

Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency - EPA) δίνει τελευταία μια νέα διάσταση στα αιωρούμενα σωματίδια, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον σε ακόμη μικρότερα σωματίδια, τα οποία λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους μπορούν να εισχωρούν πιο εύκολα και βαθύτερα στους πνεύμονες. Οι μέχρι τώρα έρευνες δείχνουν ότι τα λεπτόκοκκα σωματίδια, αποτελούνται από ποσότητες θειικών ιόντων (SO_4^{-2}) και νιτρικών ιόντων (NO_3^-), ιόντων αμμωνίου (NH_4^+), άνθρακα, οργανικών ενώσεων του άνθρακα, νερού, καθώς επίσης και μικρότερων ποσοτήτων χρώματος, σκόνης και ενώσεων του μολύβδου (Pb).

Μια άλλη σπουδαία ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η οπτική τους συμπεριφορά. Με το όρο οπτική συμπεριφορά εννοείται η ελάττωση της ορατότητας καθώς και η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη εξαιτίας της παρουσίας των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθός τους και τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα, διαθλούν, διαχέουν ή ακόμα και αποκόπτουν το φως.

Γενικά οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι πολύ σημαντικές σε όλους τους τομείς του περιβάλλοντος και ειδικότερα στην υγεία των ανθρώπων. Καθοριστικοί παράγοντες για τις επιπτώσεις τους αυτές είναι το μέγεθός τους, η χημική τους σύσταση και η συνύπαρξή τους με άλλους ρύπους με τους οποίους μπορούν να δρουν συνεργιστικά. Τα μικροσκοπικά αυτά σωματίδια επηρεάζουν κυρίως την αναπνοή, προκαλώντας ασθένειες στο αναπνευστικό και στους πνεύμονες προκαλώντας ακόμη και το θάνατο. Ομάδα υψηλού κινδύνου αποτελούν οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά και γενικότερα τα άτομα που πάσχουν από άσθμα. Προκαλούν επίσης φθορές στις βαφές, τα εδάφη, τα υφάσματα και μειώνουν την ορατότητα.

Η χημική σύσταση των αερολυμάτων αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό τους εξαιτίας των ενδεχόμενων επιδράσεών τους στην ανθρώπινη υγεία αναλογικά με την πηγή προέλευσής τους, τη χημική τους σύσταση και τις ιδιότητές τους.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Τα κυριότερα συστατικά των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων είναι:

- ορυκτογενή μέταλλα από επαναιώρηση σκόνης,
- καθαρός άνθρακας από διαδικασίες καύσης,
- οργανικές ενώσεις από προϊόντα ημιτελών καύσεων,
- άλατα του αμμωνίου, προϊόντα εξουδετέρωσης όξινων ουσιών στην ατμόσφαιρα από την αμμωνία,
- άλατα από θαλασσινό νερό,
- άλατα του ασβεστίου από οικοδομικά υλικά και σκόνη,
- θειικά άλατα, προϊόντα αντιδράσεων του διοξειδίου του θείου,
- νιτρικά άλατα, προϊόντα αντιδράσεων των οξειδίων του αζώτου.

Το μέγεθος και η σύσταση των σωματιδίων στον αέρα μπορεί να μετατραπεί λόγω: συμπύκνωσης ατμών διαφόρων ουσιών, εξάτμισης ατμών, συσσωμάτωσης με άλλα σωματίδια, χημικών αντιδράσεων και δημιουργίας ομίχλης ή νεφροσταγονιδίων.

Οι κυριότερες μορφές ατμοσφαιρικών αερολυμάτων είναι:

- σκόνη (dust): σχηματίζεται από διάβρωση ή κατακερματισμό στερεών υλικών, και είναι στερεά σωματίδια μεγάλου σχετικά μεγέθους,
- ομίχλη (fog): ορατά υδροσταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα, συνήθως κοντά στο έδαφος,
- κάπνα (fume): σωματίδια που προκύπτουν από συμπύκνωση ατμών, κυρίως από πτητικές ουσίες, ή ως αποτέλεσμα οξειδωτικών αντιδράσεων,
- αχλίδα (haze): μικρά σωματίδια, μείγμα υδροσταγονιδίων, ρύπων και σκόνης. Που προκαλούν μείωση της ορατότητας,
- νέφος (smog): στοιχεία του νέφους καπνομίχλης (συνδυασμού ομίχλης και καπνού),
- καπνός (smoke): μικρά σωματίδια που προέρχονται από ατελή καύση κυρίως άνθρακα ή άλλων καυσίμων, σε ικανή συγκέντρωση ώστε να είναι ορατά,
- αιθάλη (soot): συσώρευση σωματιδίων άνθρακα που δημιουργούνται από την ατελή καύση ανθρακικών ενώσεων.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό παρατηρούνται κυρίως στις ομάδες υψηλού κινδύνου, χωρίς όμως να αποκλείονται και οι άλλες (p12). Τα εξαιρετικά μικρής διαμέτρου σωματίδια, εισέρχονται στον οργανισμό χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα απομάκρυνσής τους. Επιφέρουν ερεθισμό, δάκρυα, δυσκολία στην αναπνοή και βήχα. Προκαλούνται ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος οδηγώντας ακόμη και στο θάνατο. Τα αιωρούμενα σωματίδια στο περιβάλλον εμποδίζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα τη διατάραξη του κλίματος αλλά και του ενεργειακού ισοζυγίου της Γης (Παλιατσός 2009).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Τα αιωρούμενα σωματίδια και οι πηγές προέλευσης

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν με αναλυτικά στοιχεία τα αιρούμενα σωματίδια, οι πηγές προέλευσής τους, ο μηχανισμός σχηματισμού και η αεροδυναμική τους διάμετρος. Επίσης, θα εξεταστούν οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στον άνθρωπο και στο περιβάλλον καθώς και οι μηχανισμοί απομάκρυνσής τους.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας τα κατατάσσει στην κορυφή της λίστας με τους πιο επικίνδυνους ρύπους σε αστικές περιοχές. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει για την ατμοσφαιρική ρύπανση, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ένας ευρύς όρος που καλύπτει όλες τις ουσίες στην ατμόσφαιρα σε στερεή και υγρή μορφή.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατόν να γίνουν το μέσο μεταφοράς διαφόρων χημικών στοιχείων και ενώσεων καθώς και βιολογικών ρυπαντών, οι οποίοι απορροφώνται ή προσκολλούνται πάνω στα σωματίδια. Βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μέγεθος, η χημική τους σύσταση και η κατάσταση στην οποία βρίσκονται, υγρή ή στερεή (Λαζαρίδης 2010).

Υπάρχει ποικιλία τόσο στη συγκέντρωσή τους, όσο και στα μορφολογικά, στα χημικά και τα φυσικά τους χαρακτηριστικά. Δύο είναι οι μηχανισμοί εισαγωγής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, είτε εκπέμπονται και αιωρούνται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα ή παράγονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα μέσω της πυρηνοποίησης (Λαζαρίδης 2010).

Προκειμένου να μελετηθούν οι βλάβες που προκαλούν στον άνθρωπο και στο περιβάλλον κατηγοριοποιούνται και διαχωρίζονται με χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος, ο τρόπος σχηματισμού, οι ιδιότητες κατακάθισης, οι οπτικές ιδιότητες, η χημική σύνθεση κ.ά. Επίσης, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ως προς την πηγή προέλευσής τους, στις φυσικές και στις ανθρωπογενείς.

2.1.1 Φυσικές πηγές

Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν τα σωματίδια ύλης που σχηματίζονται από τη συμπύκνωση των ατμών του νερού ή των υδρογονανθράκων, τα σωματίδια άλατος που προέρχονται από τις θάλασσες, τη μεταφερόμενη σκόνη από το έδαφος και τα πετρώματα, τις ηφαιστειακές εκρήξεις, τη γύρη, τους κεραυνούς, τις φωτιές και τα βακτήρια από την αποσύνθεση φυτικών οργανισμών (Γεντεκάκης 2003). Οι επιστήμονες υπολογίζουν ότι περίπου το 90% της μάζας των αερολυμάτων έχουν φυσική προέλευση, σε παγκόσμια κλίμακα (p13), όμως στις αστικές περιοχές υπερτερούν οι ανθρωπογενείς πηγές.

Οι εκπομπές σωματιδίων από τη θάλασσα και τους ωκεανούς αποτελούν μια διαρκή πηγή σωματιδίων άλατος (NaCl) για την ατμόσφαιρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια άλατος ποικίλουν στο μέγεθος και στο χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και έχουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία των αερίων. Ειδικότερα, στις παράκτιες περιοχές η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζεται είτε άμεσα, από τη σκέδαση του φωτός στα σωματίδια θαλάσσιου άλατος, είτε έμμεσα από τη δημιουργία νεφών από τη συμπύκνωσή τους (Λαζαρίδης 2010).

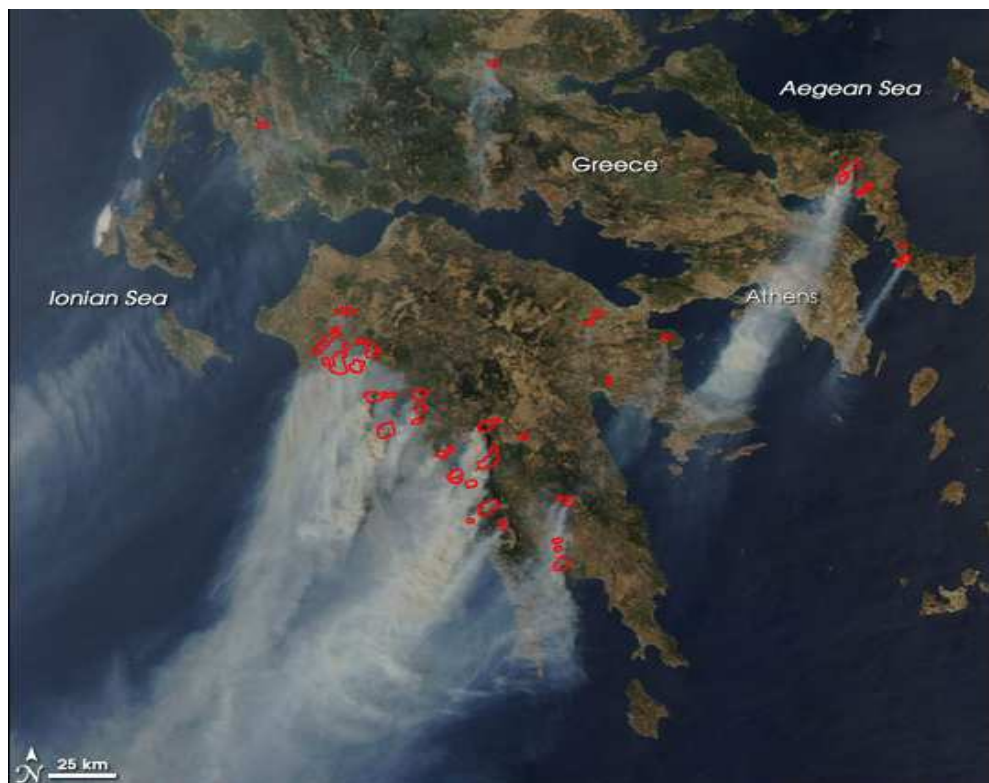
Μια ακόμα συνηθισμένη φυσική πηγή ρύπανσης είναι όταν δυνατοί άνεμοι, που παρατηρούνται συχνά σε διάφορα σημεία του πλανήτη, μετακινούν μεγάλες ποσότητες σωματιδιακής ύλης εδαφικής προέλευσης. Η επαναιώρηση και η μεταφορά σκόνης παρατηρείται σε ακάλυπτες περιοχές από βλάστηση, όπως για παράδειγμα οι έρημοι. Στον Ελλαδικό χώρο η μεταφορά σκόνης, από περιοχές της Αφρικής, είναι συχνό φαινόμενο που προκαλεί σοβαρά προβλήματα στους ανθρώπους και το περιβάλλον (Γεντεκάκης 2003, Κουγκόλος 2007, Λαζαρίδης 2010).

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις εκλύουν τεράστιες ποσότητες σωματιδιακής ύλης και μολυσματικών αερίων στην ατμόσφαιρα. Οι εκλύσεις μιας τέτοιας έκρηξης μπορούν να είναι τέτοιου μεγέθους ώστε να βλάψουν το περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή. Νέφη ηφαιστειακής σωματιδιακής ύλης και αερίων μεταφέρονται μέσω αέρα για πολύ μεγάλα

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

χρονικά διαστήματα αποτελώντας πηγή διασυνοριακής ρύπανσης (Γεντεκάκης 2003). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ηφαιστειακή έκρηξη στο όρος Pinatubo στις Φιλιππίνες τον Ιούνιο του 1991. Εκτιμάται ότι τότε 20 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του θείου και σωματιδιακής ύλης εκτινάχθηκαν στην ατμόσφαιρα φτάνοντας το ύψος των 20km (p14).

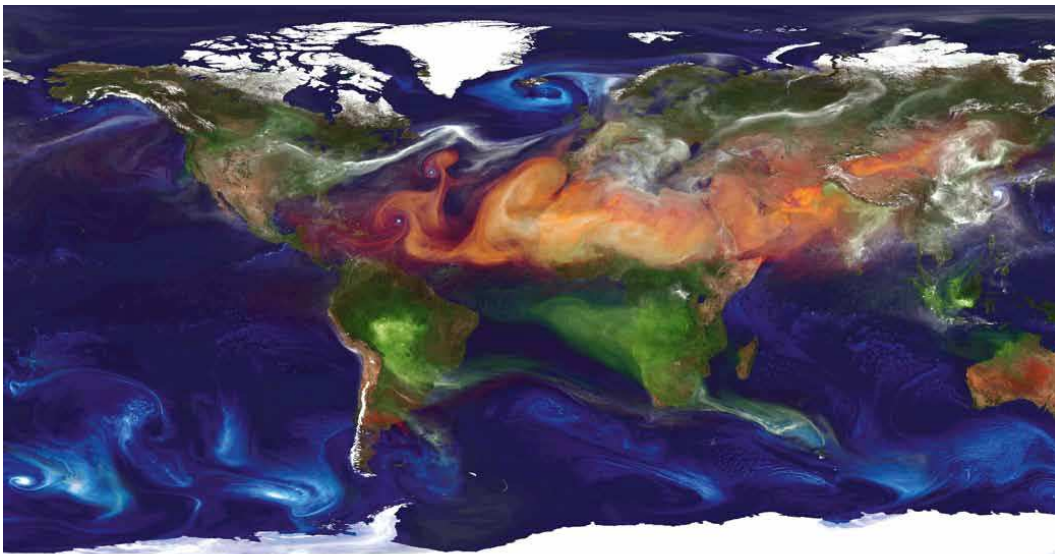
Οι πυρκαγιές επίσης κατατάσσονται συνήθως στις φυσικές πηγές, παρότι μπορεί να πυροδοτήθηκαν αρχικά από ανθρώπινη αμέλεια και ασυνειδησία. Τέτοιες φωτιές εκλύουν μεγάλες ποσότητες ρύπων με μορφή καπνού και ιπτάμενης τέφρας. Οι εκτεταμένες πυρκαγιές μπορούν να δημιουργήσουν νέφος το οποίο να προκαλέσει μείωση της ορατότητας και του ηλιακού φωτός σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο της φωτιάς (Γεντεκάκης 2003). Ένα παράδειγμα τέτοιων πυρκαγιών φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Πυκνά σύννεφα καπνού κινούνται πάνω από το Ιόνιο Πέλαγος με νοτιοδυτική κατεύθυνση, έχοντας καλύψει εντελώς την περιοχή της Μεσσηνίας. Λίγο πιο πάνω παρατηρείται επίσης κίνηση καπνού, από εστίες φωτιάς στην Εύβοια προς περιοχές της Αττικής.



Σχήμα 2.1 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο τον Αύγουστο του 2007 (p15).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Οι βιολογικές διεργασίες που εκτελούνται στην πανίδα αποτελούν ακόμα μία φυσική πηγή εκπομπής σωματιδίων, όπως είναι για παράδειγμα τα φυτικά υπολείμματα, η γύρη και οι διάφοροι μικροοργανισμοί (Γεντεκάκης 2003). Στο Σχήμα 2.2, από προσομοίωση που έκανε η NASA, φαίνεται η κίνηση των αερολυμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο. Παρατηρείται ότι τα σταγονίδια άλατος και η αιωρούμενη σκόνη αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων.



Σχήμα 2.2 Προσομοίωση της κίνησης των αιωρούμενων σωματιδίων σε παγκόσμιο επίπεδο. (Με κόκκινο χρώμα αναπαρίσταται η επαναιώρηση σκόνης από την επιφάνεια της Γης, με πράσινο χρώμα ο καπνός από τις πυρκαγιές, με μπλε χρώμα τα σταγονίδια άλατος από τους ωκεανούς και με λευκό τα σωματίδια θειικών ενώσεων από ηφαίστεια και εκπομπές ορυκτών καυσίμων) (William Putman, NASA/Goddard) ([p16](#)).

2.1.2 Ανθρωπογενείς πηγές

Ενώ οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου, τόσο στο βιοτικό, όσο και στον οικονομικό τομέα, πολλές φορές το συνολικό αποτέλεσμα που προκύπτει είναι αντίθετο. Αυτό γίνεται φανερό αν αναλογιστεί κανείς ότι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος είναι εντονότερη στις αναπτυσσόμενες βιομηχανικά χώρες σε

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

σχέση με τις υπό ανάπτυξη. Ωστόσο εάν γίνει σωστή εκμετάλλευση των γνώσεων και ληφθεί υπόψη η ποιότητα ζωής στο σχεδιασμό της βιομηχανικής ανάπτυξης, τότε η ρύπανση του περιβάλλοντος θα διατηρείτο σε χαμηλά επίπεδα (Κουϊμτζής και Μάτη 1993).

Μολονότι στη σύγχρονη εποχή υπάρχει αρκετά ανεπτυγμένη τεχνολογία ελέγχου των ρύπων, η βιομηχανική δραστηριότητα και ο τομέας παραγωγής ενέργειας αποτελούν τη μεγαλύτερη ανθρωπογενή πηγή αέριων ρύπων και αιωρούμενων σωματιδίων. Ένα μεγάλο ποσοστό της βιομηχανικής ρύπανσης για την παραγωγή ενέργειας και εξειδικευμένων προϊόντων, προέρχεται από την επεξεργασία πρώτων υλών όπως τα ορυκτά, την ξυλεία, το αργό πετρέλαιο, κ.λπ.

Ο τομέας των μεταφορών, που συμπεριλαμβάνει οχήματα, πλοία, αεροπλάνα, έχει μεγάλη συνεισφορά στο κομμάτι των ανθρωπογενών πηγών σωματιδιακής ρύπανσης. Ακόμα και η κίνηση ενός οχήματος σε έναν χωμάτινο δρόμο, που σαν αποτέλεσμα θα είχε την επαναιώρηση σκόνης, αποτελεί πηγή ανθρωπογενούς ρύπανσης. Γενικότερα, διάφορες μορφές καύσης όπως η λειτουργία εστιών θέρμανσης, το κάπνισμα, οι φούρνοι, τα τζάκια, τα κεριά είναι και αυτές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων.

Οι διάφορες οικοδομικές εργασίες, τα έργα υποδομών και ανάπτυξης που χρησιμοποιούν μηχανήματα σκαπτικά, τροχισμού, λείανσης, αλλά και γενικότερα οι τριβές μεταξύ δύο υλικών συμβάλουν στη σύνθλιψη και αιώρηση μικρών σωματιδίων ύλης (Κουϊμτζής και Μάτη 1993, Πελεκάση και Σκούρτος 1992, [p17](#)).

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες στα πλαίσια της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, όπως η αποψίλωση εκτάσεων, το όργωμα, η υπερβόσκηση, η ξηρασία εξ αιτίας της υπερβολικής άρδευσης, αποτελούν και αυτές πηγές έκλυσης αιωρούμενων σωματιδίων. Άλλη μια πηγή σοβαρή πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι η καύση της βιομάζας καθώς αποτελεί μια πολύ κοινή μέθοδο εκκαθάρισης της γήινης επιφάνειας για την καταστροφή των γεωργικών αποβλήτων ([p18](#)).

2.2 Τρόποι σχηματισμού

Τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ανεξάρτητα από την προέλευσή τους, ανθρωπογενή ή φυσική, μπορούν να εκπέμπονται απευθείας από την πηγή τους ως πρωτογενή σωματίδια ή να σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως δευτερογενή, σαν αποτέλεσμα διαφόρων χημικών ή φυσικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα (Κουϊμτζής κ.ά. 1998, [p19](#)).

Ακόμα τα αιωρούμενα σωματίδια συμμετέχουν σε φυσικοχημικές μεταβολές στην ατμόσφαιρα, που περιλαμβάνουν αλλαγές στη χημική τους σύσταση και στο μέγεθός τους. Σε αυτές τις αλλαγές συμπεριλαμβάνονται η πυρηνοποίηση, η συμπύκνωση, η εξάτμιση, η συσσωμάτωση, η κατακρήση καθώς η συμμετοχή σε χημικές αντιδράσεις (Λαζαρίδης 2010). Η πυρηνοποίηση και η συμπύκνωση ατμών, είναι μηχανισμοί που οδηγούν στο σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια αυτά είναι πολύ μικρού μεγέθους και ονομάζονται πυρήνες Aitken. Τα σωματίδια αυτά στην συνέχεια συσσωματώνονται προς μεγαλύτερα σωματίδια (Κουϊμτζής κ.ά. 1998).

Οι ατμοσφαιρικές χημικές αντιδράσεις ταξινομούνται σε φωτοχημικές και θερμικές και μπορούν να συμβούν στην αέρια φάση, στην υγρή (σταγονίδια) και στη στερεή (σωματίδια). Ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί μια χημική ατμοσφαιρική μετατροπή εξαρτάται από την κινητική της αντίδρασης. Οι περισσότερες χημικές αντιδράσεις αέριας φάσης στην ατμόσφαιρα περιλαμβάνουν τη σύγκρουση δύο ή τριών μορίων, με αποτέλεσμα την αναδιάταξη των χημικών τους δεσμών προς σχηματισμό νέων μορίων (Γεντεκάκης 2003). Κατά τη διαδικασία της συσσωμάτωσής τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα συγκρούονται μεταξύ τους, λόγω της σχετικής κίνησης που έχουν, σχηματίζοντας μεγαλύτερα σωματίδια. Αποτέλεσμα αυτών των συγκρούσεων είναι η μείωση του αριθμού των σωματιδίων και η αύξηση του μεγέθους τους. Στην περίπτωση που η εκκίνηση των σωματιδίων οφείλεται σε εξωτερικές δυνάμεις όπως η βαρύτητα, τα αεροδυναμικά φαινόμενα και οι ηλεκτρικές δυνάμεις, η διεργασία αυτή ονομάζεται κινηματική

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

συσσωμάτωση. Ενώ, θερμική συσσωμάτωση υπάρχει όταν η σχετική κίνηση προέρχεται από την κίνηση Brown (Λαζαρίδης 2010).

Όταν μικρά σταγονίδια, που έχουν δημιουργηθεί στην ατμόσφαιρα, συνεχίζουν να αυξάνονται σε μέγεθος, τότε έχουμε τη διαδικασία της συμπύκνωσης υδρατμών. Ο ρυθμός αύξησης του μεγέθους των σταγονιδίων εξαρτάται από τη σχετική υγρασία, το μέγεθος του σωματιδίου και το σχετικό μέγεθος των σωματιδίων ως προς το μέσο ελεύθερο μήκος (Λαζαρίδης 2010).

Μία από τις βασικότερες διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και παίζει πρωταρχικό ρόλο σε φαινόμενα, όπως η συμπύκνωση, η δημιουργία νέων σωματιδίων και νεφών στην ατμόσφαιρα, είναι η πυρηνοποίηση. Με αυτή την ονομασία ορίζεται η μεταβολή από μια φάση σε μία άλλη (φάσεις: στερεή, υγρή και αέρια). Η πυρηνοποίηση που γίνεται χωρίς την ύπαρξη σωματιδίων που προϋπάρχουν ονομάζεται ομογενής, ενώ όταν προϋπάρχουν σωματίδια ονομάζεται ετερογενής. Κατά την πυρηνοποίηση λαμβάνουν μέρος ένα χημικό στοιχείο ή περισσότερα και αντίστοιχα αναφέρονται ως ομομοριακή ή ως ετερομοριακή διεργασία πυρηνοποίησης (Λαζαρίδης 2010).

Γενικότερα, τα μικρότερα μεγέθους ατμοσφαιρικά σωματίδια σχηματίζονται μέσω δύο κύριων κατηγοριών χημικών διεργασιών. Η πρώτη αφορά τη μετατροπή αερίων σε σωματίδια και συμβαίνει μέσω της οξειδωσης ρύπων στην αέρια φάση που παράγουν δευτερογενή σωματίδια. Ενώ η δεύτερη κατηγορία αφορά τη χημική μετατροπή αερίων σε ατμούς χαμηλής πτητικότητας. Παράδειγμα αποτελούν τα θειικά αερολύματα που προέρχονται από την οξειδωση του αερίου διοξειδίου του θείου και τα οργανικά αερολύματα που προέρχονται από τη φωτοχημική οξειδωση πτητικών οργανικών ενώσεων ([p20](#)).

2.3 Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων

Η ατμόσφαιρα είναι ένα κολλοειδές σύστημα αποτελούμενο από άζωτο, οξυγόνο, ευγενή αέρια, ίχνη αερίων και αιωρούμενη ύλη. Τα σωματίδια

κολλοειδών διαστάσεων ονομάζονται αερολύματα (αεροζόλ) (Κουϊμτζής κ. ά. 1998). Ωστόσο πολλές φορές αερολύματα και αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζονται ως μια έννοια (Λαζαρίδης 2008).

Η χημική σύσταση της σωματιδιακής ύλης (αιωρούμενης και αποτιθέμενης) διαφέρει ανάλογα με την πηγή εκπομπής της και καθορίζεται από το είδος των διεργασιών και των μηχανισμών που οδηγούν στο σχηματισμό της. Η πλήρης χημική ανάλυση της σωματιδιακής ύλης είναι διαδικασία χρονοβόρα και απαιτεί γνώσεις των διεργασιών σχηματισμού της (Κουϊμτζής και Σαμαρά 1994).

Διάφορες ομάδες αερολυμάτων περιλαμβάνουν θειικά, άνθρακα, νιτρικά άλατα, αιθάλη, ανόργανη σκόνη και αλάτι της θάλασσας κ.λπ. Στην πράξη πολλά από αυτά, συχνά συσσωρεύονται μαζί για να σχηματίσουν σύνθετα μίγματα. Για παράδειγμα σωματίδια αιθάλης και καπνού αναμειγνύονται με νιτρικά και θειικά άλατα καθώς και σκόνη, δημιουργώντας έτσι υβριδικά σωματίδια ([p21](#)).

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων διακρίνεται τόσο σε οργανικά, όσο και ανόργανα σωματίδια. Η κύρια διαφορά ανάμεσά τους είναι ότι τα οργανικά εξάγονται από ζωντανούς οργανισμούς, όπως είναι τα φυτά ή τα ζώα, ενώ τα ανόργανα προέρχονται από αβιοτικά στοιχεία, όπως είναι οι πέτρες, το έδαφος κ.λπ. Για παράδειγμα το υλικό του φλοιού της Γης, τα άλατα, η σκόνη, ο καπνός, η αιθάλη, τα οξειδία μετάλλων, οι θειικές ρίζες, οι νιτρικές ρίζες, τα οξειδία αργιλίου, ασβεστίου, σιδήρου, πυριτίου, αποτελούν σωματίδια ανόργανα. Ενώ οργανικά συστατικά είναι ο οργανικός άνθρακας, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα αμμωνιακά ιόντα, τα βιολογικά συστατικά όπως τα αλλεργιογόνα και τα μικρόβια ([p22](#), [p23](#)).

2.4 Φυσικά χαρακτηριστικά αιωρούμενων σωματιδίων

Διάφοροι ειδικοί περιγράφουν τα αιωρούμενα σωματίδια με βάση το σχήμα, το μέγεθος και τη χημική τους σύσταση. Τόσο το μέγεθος, όσο και το σχήμα των στερεών ή υγρών σωματιδίων που βρίσκονται στον αέρα ποικίλει

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

και επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Αιωρούμενα σωματίδια βρίσκονται τόσο στην τροπόσφαιρα, όσο και στη στρατόσφαιρα.

Το μέγεθός τους εκφράζεται κατά κανόνα από τη διάμετρό τους. Επειδή όμως, τα σωματίδια διαφέρουν μεταξύ τους και ως προς το σχήμα και ως προς την πυκνότητα, για την ομοιόμορφη έκφραση του μεγέθους τους χρησιμοποιείται συνήθως ο όρος ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος.

Όταν γίνεται αναφορά στις αεροδυναμικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων, υπονοείται ο τρόπος που αυτά μεταφέρονται στον αέρα και ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να αφαιρεθούν από αυτόν. Οι αεροδυναμικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων σχετίζονται επίσης και με την είσοδό τους στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα (p24). Η ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος ενός μη σφαιρικού σωματιδίου με πυκνότητα διαφορετική από 1g/cm^3 , είναι η διάμετρος μιας σφαίρας με πυκνότητα ίση με τη μονάδα που έχει ίδια ταχύτητα πτώσης με το εν λόγω σωματίδιο (Κουϊμτζής κ.ά. 1998).

Προκείμενου να μετρηθεί το μέγεθος των σωματιδίων σε ένα δείγμα ατμοσφαιρικού αέρα, θα πρέπει να συνδυαστούν αρκετές τεχνικές μετρήσεων, όπου η κάθε μια να είναι ειδικευμένη στη μέτρηση σωματιδίων ενός συγκεκριμένου μεγέθους. Έτσι οι ειδικοί, έχοντας χρησιμοποιήσει τις κατάλληλες μεθόδους για τη μέτρηση των σωματιδίων, τα ταξινομούν βάσει μεγέθους σε δύο βασικές κατηγορίες, στα λεπτόκοκκα και στα χονδρόκοκκα (Γεντεκάκης 2003).

Σαν λεπτόκοκκα σωματίδια (fine particles) χαρακτηρίζονται εκείνα που έχουν ισοδύναμη διάμετρο μικρότερη από $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$), ενώ σαν χονδρόκοκκα (PM_{10}), εκείνα με ισοδύναμη διάμετρο μεγαλύτερη από $2.5\mu\text{m}$ και μικρότερη από $10\mu\text{m}$ (Λαζαρίδης 2010).

Τα λεπτόκοκκα διακρίνονται σε δύο περιοχές, την περιοχή πυρηνοποίησης και την περιοχή συσσώρευσης. Τα σωματίδια στην περιοχή πυρήνων γνωστά ως πυρήνες Aitken, με διάμετρο από 0.005 έως και $0.1\mu\text{m}$,

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

δημιουργούνται μέσω της συμπύκνωσης ατμών, κατά τη διάρκεια καύσεων, ή μέσω πυρηνοποίησης και απομακρύνονται με τη συσσωμάτωσή τους σε μεγαλύτερα σωματίδια. Τα σωματίδια στην περιοχή συσσώρευσης, με διάμετρο από 0.1μm έως και 2.5μm, δημιουργούνται από τη συσσωμάτωση των πυρήνων Aitken ή από τη συμπύκνωση ατμών σε υπάρχοντα σωματίδια.

Ο χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα καθορίζεται από το μέγεθός τους, το ειδικό τους βάρος, την υγρασία της ατμόσφαιρας και την ένταση του ανέμου (Λαζαρίδης 2010). Η ταχύτητα πτώσης των αιωρούμενων σωματιδίων περιγράφεται από το νόμο του Stokes (Κουϊμτζής κ. ά. 1998), που σε συνδυασμό με το μέγεθός τους και το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, είναι αυτά που καθορίζουν τη διάρκεια έκθεσης του ανθρώπου σε αυτό το σύνθετο ρύπο. Παρακάτω γίνεται διαχωρισμός της διάρκειας αιώρησης των ρύπων ανάλογα με το μέγεθός τους.

Για τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.1μm, γνωστά σαν πυρήνες Aitken, προκύπτει ότι δεν προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα γιατί παρασύρονται εύκολα από τον πνέοντα άνεμο σε μεγάλα ύψη και μετά με τη βροχή γίνεται απόπλυση της ατμόσφαιρας και εναπόθεσή τους στο έδαφος (p25). Το μέγεθος των σωματιδίων τα κατηγορίας αυτής είναι τόσο μικρό ώστε ποτέ δεν ακινητοποιούνται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της άτακτης κίνησης Brown που οφείλεται στις συγκρούσεις τους με τα μόρια αερίων. Σε αστικές περιοχές ο αριθμός των σωματιδίων αυτών είναι υψηλός (Γεντεκάκης 2003).

Τα μεγαλύτερα σωματίδια με διάμετρο από 0.1μm έως 1μm, σχηματίζονται από την συμπύκνωση ατμών, από προϊόντα καύσης και από ατμοσφαιρική σκόνη. Είναι βαρύτερα και δεν επηρεάζονται από την κίνηση Brown, εναποτίθενται τόσο αργά ώστε παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μήνες. Έτσι, μεταφέρονται σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων παραμένοντας σε αιώρηση στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα σωματίδια αυτά είναι η αιτία της ομίχλης ενώ συμμετέχουν και σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις, συγκρούσεις και συσσωματώσεις (Γεντεκάκης 2003).

Τα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερης του 1μm, έχουν μικρό βεληνεκές εναπόθεσης από την πηγή που παράγονται. Η δράση της

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

βαρύτητας τα απομακρύνει από την ατμόσφαιρα και τα αποθέτει όπως ακριβώς είναι στην επιφάνεια της Γης ή σε υλικά που βρίσκονται πάνω στη Γη (Γεντεκάκης 2003, Παλιατσός 2009).

Ειδικότερα τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 10μm, χαρακτηρίζονται από σημαντικότερη ταχύτητα πτώσης υπό σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αποτέλεσμα αυτού είναι να παραμένουν για μικρό χρονικό διάστημα στην ατμόσφαιρα και να αποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους σχεδόν αμέσως μετά την αποδέσμευσή τους από την πηγή (Κουϊμτζής κ.ά. 1998, Παλιατσός 2009).

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η οπτική τους συμπεριφορά. Ανάλογα του πλήθους, του μεγέθους και της χημικής τους σύστασης, τα σωματίδια αποτελούν κύρια αιτία μείωσης της ορατότητας σε πολλές περιοχές. Λέγοντας μείωση της ορατότητας εννοείται η υποβάθμιση της ικανότητάς του ανθρώπου να αντιλαμβάνεται αντικείμενα διαμέσου της ατμόσφαιρας που τον περιβάλλει. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα σωματίδια προκαλεί σκεδασμό, δηλαδή επανεκπομπή του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις, καθώς και απορρόφηση, δηλαδή μετατροπή της αναρροφούμενης ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια (Γεντεκάκης 2003).

2.5 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό

Τα αποτελέσματα της εισπνοής αιωρούμενων σωματιδίων έχουν μελετηθεί ευρύτατα στον άνθρωπο και περιλαμβάνουν άσθμα, καρκίνο του πνεύμονα, καρδιαγγειακά προβλήματα, καθώς και πρόωρο θάνατο. Τα αιωρούμενα σωματίδια εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία (Churg and Brauer 2000). Η υπερβολική έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια συμβάλλει στη δημιουργία χρόνιων αναπνευστικών προβλημάτων και μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο της καρδιακής ανακοπής και του πρόωρου θανάτου. Διάφορες μελέτες συνδέουν τα επίπεδα των αιωρούμενων

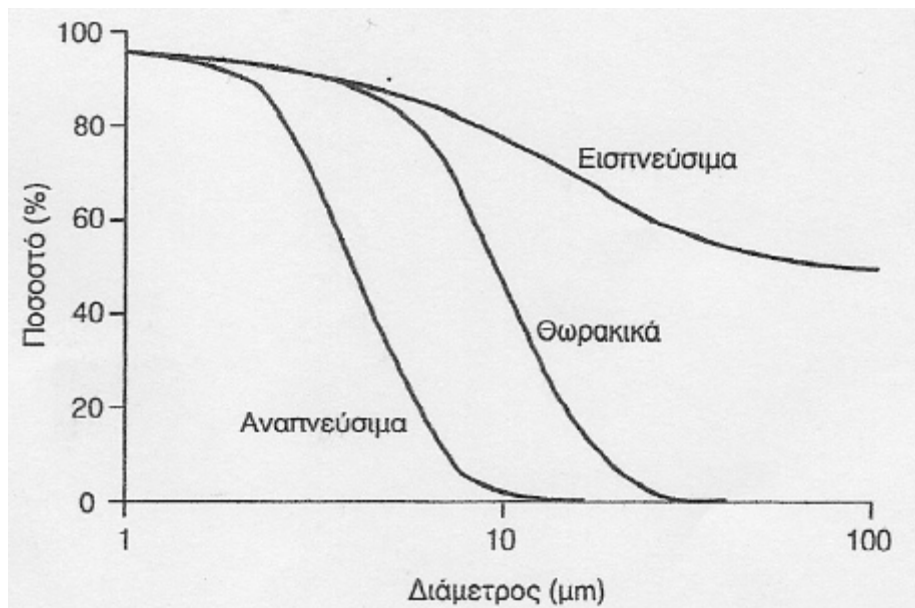
“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

σωματιδίων με τις αυξημένες εισαγωγές στα νοσοκομεία και ειδικά τις αυξημένες επισκέψεις στις πρώτες βοήθειες ατόμων με καρδιοαναπνευστικά συμπτώματα-προβλήματα. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι εκείνες οι ομάδες του πληθυσμού που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Seaton et al. 1995, Pope et al. 2002, Bartzokas et al. 2004, Panagiotakos et al. 2004, Paliatsos et al. 2006, Nastos et al. 2007a, 2007b, 2008).

Η πορώδης επιφάνεια των σωματιδίων έχει την ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων, καρκινογόνων ουσιών και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) με αποτέλεσμα να προκαλούνται ασθένειες και κακοήθεις νεοπλασίες του αναπνευστικού συστήματος. Οι επιδημιολογικές έρευνες των τελευταίων δεκαετιών δείχνουν αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα σε αστικές περιοχές λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων εισπνεόμενων σωματιδίων (ιδιαίτερα τα σωματίδια με μικρή αεροδυναμική διάμετρο, τα PM_{10} και $PM_{2.5}$) (Seaton et al. 1995, Pope et al. 2002). Συνεπώς, οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθός τους, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Μακροχρόνια δε εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθματος ή, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση.

Με βάση τη δυνατότητα εισχώρησής τους στον ανθρώπινο οργανισμό, τα σωματίδια ταξινομούνται, σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα. Εισπνεύσιμα χαρακτηρίζονται τα σωματίδια που μπορούν να εισέλθουν και να αποτεθούν στο τμήμα του αναπνευστικού συστήματος της περιοχής του κεφαλιού. Θωρακικά είναι τα σωματίδια που διασχίζουν το λάρυγγα και τους πνεύμονες, ενώ αναπνεύσιμα σωματίδια είναι το μέρος των θωρακικών σωματιδίων που φθάνει στην περιοχή που πραγματοποιείται η ανταλλαγή αερίων, στους πνεύμονες (Λαζαρίδης 2010).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”



Σχήμα 2.3 Κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα ανάλογα με το μέγεθός τους (Κουϊμτζής κ. ά. 1998).

Ως εισπνευσιμότητα χαρακτηρίζεται το ποσοστό των σωματιδίων συγκεκριμένης αεροδυναμικής διαμέτρου που είναι δυνατόν να εισέλθουν στο αναπνευστικό σύστημα, μέσω της αναπνοής σε σχέση με πλήθος τους στον περιβάλλοντα αέρα. Είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της εναπόθεσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα και εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων και την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου. Έχει βρεθεί επίσης πως εξαρτάται από τον τρόπο αναπνοής, δηλαδή για το αν γίνεται η αναπνοή μέσω της μύτης ή του στόματος. Σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 2.5μm είναι αναπνεύσιμα και εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα σε ποσοστό 90%, ενώ τα μεγαλύτερα σωματίδια, διαμέτρου 10μm και πάνω, φιλτράρονται σε ποσοστό έως και 50% (Λαζαρίδης 2010, Κουϊμτζής κ.ά. 1998).

Η είσοδος των ουσιών αυτών στον οργανισμό του ανθρώπου εξαρτάται από τη μορφή της ουσίας, τις χημικές και φυσικές της ιδιότητες, καθώς και τα επίπεδα συγκέντρωσής τους. Οι κυριότερες πύλες εισόδου στον οργανισμό είναι το αναπνευστικό σύστημα (εισπνοή), το γαστρεντερικό σύστημα (λήψη τροφών και υγρών), το δέρμα, το ενδοκρινικό, το αιμοποιητικό και το κυκλοφορικό. Ειδικότερα, το αναπνευστικό σύστημα είναι το πλέον

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

ευπρόσβλητο διότι, οι πνεύμονες λόγω της θέσης τους και του ρόλου τους είναι το κύριο όργανο που συνδέει το περιβάλλον με τον οργανισμό και επομένως είναι και το πρώτο όργανο που δέχεται τις δυσμενείς επιδράσεις από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Σημαντικό ρόλο έχουν τα σωματίδια PM_{10} και ιδίως τα σωματίδια $PM_{2.5}$, διότι το μέγεθός τους, επιτρέπει την είσοδό τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα. Τα μεγάλα σωματίδια απομακρύνονται γρήγορα από την ατμόσφαιρα, ενώ τα μικρότερα ίσως να παραμείνουν για ημέρες ή μήνες. Η βροχή βοηθά στην απομάκρυνσή τους (Seinfeld and Pandis 1998). Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τα επίπεδα της ρύπανσης, από το είδος της ρύπανσης και από τη διάρκεια έκθεσης στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Οι ρύποι που σήμερα θεωρούνται ότι έχουν αιτιολογική συσχέτιση με την αύξηση τόσο της νοσηρότητας, όσο και της θνησιμότητας των έμβιων όντων.

Γνωρίζοντας ότι ένας ενήλικας αναπνέει περίπου 10000 λίτρα αέρα κάθε μέρα. Άρα, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα που αναπνέουμε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και στη ποιότητα της ζωής. Παγκοσμίως, η ατμοσφαιρική ρύπανση θεωρείται υπεύθυνη για μεγάλο αριθμό θανάτων, αλλά και ασθενειών του αναπνευστικού / καρδιαγγειακού συστήματος (Johnson 2004). Σήμερα, η ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις μας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, ειδικά για αυτούς που ζουν στα αστικά κέντρα.

Το πολυκεντρικό ευρωπαϊκό πρόγραμμα APHEA βασίστηκε σε υλικό από 30 ευρωπαϊκές πόλεις και διερεύνησε τις βραχυχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία (Atkinson and Anderson 2001). Τα αποτελέσματα του APHEA έδειξαν ότι αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σχετίζεται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό με αύξηση στην ημερήσια ολική θνησιμότητα κατά 0.6%, στην αναπνευστική κατά 1%, και στην καρδιαγγειακή κατά 0.8% (Katsouyianni et al. 1995, 1997, 2003). Για την ίδια αύξηση στα επίπεδα του ρύπου, οι

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

εισαγωγές στα νοσοκομεία από νοσήματα του αναπνευστικού αυξάνονται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κατά 0.3% για τις ηλικίες 15-64 και κατά περίπου 1% για τις ηλικίες άνω των 65 χρόνων (Poloniowski et al. 1997). Οι εισαγωγές για χρόνια αναπνευστική πνευμονοπάθεια αυξάνονται κατά 0.4% σε όλες τις ηλικίες και κατά 1% για άτομα άνω των 65 ετών. Οι εισαγωγές από καρδιακά νοσήματα αυξάνονται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κατά 0.5% για όλες τις ηλικίες και κατά 0.8% για τους άνω των 65 ετών (Brook et al. 2004).

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι μειώνουν το μέσο προσδόκιμο επιβίωσης σύμφωνα με το Εργαστήριο Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών το οποίο συντονίζει το ερευνητικό πρόγραμμα «APHEA» (Air Pollution and Health: A European Approach) που επιχορηγεί η Ε.Ε. Στο πρόγραμμα, που ξεκίνησε το 1992, συμμετέχουν 20 διαφορετικές χώρες (Katsouyanni et al. 2003). Έχουν αναλυθεί δεδομένα από 32 ευρωπαϊκές πόλεις και, βάσει αυτών, εκτιμάται ότι το 2020: (α) Θα προκληθεί μείωση του προσδόκιμου ζωής των Ευρωπαίων κατά 5.5 μήνες, διάστημα που μπορεί να φτάσει και τους 12 μήνες στις μεσογειακές χώρες, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν και της πολύ αυξημένης κίνησης των αυτοκινήτων που παρατηρείται στις χώρες αυτές. (β) Εκτιμάται ότι 271000 άνθρωποι θα χάσουν τη ζωή τους πρόωρα και (γ) εκτιμάται ότι 66000 άνθρωποι θα εισαχθούν στα νοσοκομεία με σοβαρά καρδιαγγειακά προβλήματα.

2.6 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων δε σχετίζονται μόνο με τον άνθρωπο αλλά και με το χώρο που τον περιβάλλει. Εκεί παρατηρείται ότι υπάρχουν άμεσες ή έμμεσες επιδράσεις, τόσο στους έμβιους οργανισμούς, όσο και στο κλίμα, στο οικοσύστημα, τις κατασκευές και γενικά στο περιβάλλον.

Τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα με άμεσο τρόπο μέσω της ανάκλασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και με έμμεσο

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

τρόπο μεταβάλλοντας τις οπτικές ιδιότητες και τη διάρκεια ζωής των νεφών. Το αποτέλεσμα αυτής της επίδρασης είναι συνήθως η μείωση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

Συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια των ατελών καύσεων, ανθρωπογενούς προέλευσης, όταν βρεθούν στην ατμόσφαιρα επιδρούν με δύο τρόπους. Τα λιγότερο σκούρα σωματίδια οργανικού άνθρακα έχουν την ιδιότητα να ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία και να ψύχουν τις περιοχές όπου βρίσκονται. Τα σωματίδια μαύρου άνθρακα και αιθάλης επιδρούν στο ενεργειακό ισοζύγιο θερμαίνοντας την ατμόσφαιρα, με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πέρα από τα άμεσα αποτελέσματα στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας, λόγω της διάχυσης και της απορρόφησης του φωτός, τα σωματίδια ενεργούν και έμμεσα. Πολλές φορές η έμμεση αυτή επίδραση προκαλεί μεγαλύτερες μεταβολές στην ατμόσφαιρα σε σχέση με την άμεση επίδραση. Τα έμμεσα αποτελέσματα βασίζονται στη δυνατότητα που έχουν ορισμένα αερολύματα να δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης στα νέφη.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της συγκέντρωσης του πλήθους των σταγονιδίων στο νέφος καθώς και την κατανομή του μεγέθους τους, στοιχεία που καθορίζουν σημαντικά το ρυθμό κατακρήμνισής τους. Τέτοιες μεταβολές στα χαρακτηριστικά του νέφους θεωρείται ότι μεταβάλλουν το χρόνο ζωής και το μέγεθος ενός νέφους.

Τα νέφη έχουν την ιδιότητα να μειώνουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ανακλώντας ένα σημαντικό ποσό της, πίσω προς το διάστημα. Σε μεγάλα ύψη μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε θέρμανση της τροπόσφαιρας, διαμέσου της αλληλεπίδρασης, με τη μεγάλο μήκους κύματος υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη θερμαινόμενη γήινη επιφάνεια προς το διάστημα.

Επιπλέον υπάρχουν ορισμένα δεδομένα που δείχνουν ότι τα νέφη στην πραγματικότητα απορροφούν μεγαλύτερο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας από αυτό που θεωρητικά αναμένεται. Εάν τα στοιχεία αυτά είναι σωστά, τότε οι

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

συνέπειες στη θέρμανση της ατμόσφαιρας και στις διαδικασίες της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με ότι πιστεύεται μέχρι σήμερα. Ήδη από το έτος 1974 ο Twomey σε εργασία του υποστήριζε ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες των νεφών, κάτι που σημαίνει ότι μπορούν έμμεσα να επηρεάσουν το κλίμα (Twomey 1974).

Όταν συμβαίνουν επίσης μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις σε διάρκεια και ένταση, η επίδραση των αερολυμάτων αυτών στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι σημαντική. Για λόγους ανομοιογένειας ως προς τη χωρική κατανομή, αλλά και ως προς τη σύστασή τους δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια η επίδραση στη μείωση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις στέλνουν μόρια τέφρας στη στρατόσφαιρα τα οποία εμποδίζουν το φως του ήλιου να φτάσει στη Γη, συμβάλλοντας έτσι στην ψύξη του πλανήτη. Η τέφρα από τα ηφαίστεια μπορεί να έχει παγκόσμια επίδραση, δεδομένου ότι η τέφρα στη στρατόσφαιρα είναι σε θέση να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις. Παραδείγματος χάρη, το ηφαίστειο του όρους Pinatubo που εξερράγη το έτος 1991 (19/06/1991) και έστειλε τόση ποσότητα τέφρας στην ατμόσφαιρα, σε ύψος 19km (στρατόσφαιρα), η οποία ήταν αρκετή ώστε να κρατηθεί, ενώ η μείωση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη που προκλήθηκε αντιστοιχεί σε 0.5°C.

Από βιολογικής πλευράς όταν σωματίδια επικάθονται ακόμη και στο φύλλωμα φυτών και δέντρων εμποδίζουν την κυκλοφορία του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του οξυγόνου (O₂) και έτσι ελαττώνεται η είσοδος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζοντας τη λειτουργία του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης (Κουγκόλος 2007). Όταν οι σωματιδιακοί ρύποι καταλήγουν πια στο έδαφος επιδρούν σε αυτό διαφοροποιώντας τη σύσταση των θρεπτικών συστατικών του που μεταφέρονται μέσω των ριζικών συστημάτων στους φυτικούς οργανισμούς. Οι επιπτώσεις ποικίλουν και μπορεί να παρουσιαστεί μειωμένη ανάπτυξη, κιτρίνισμα και πτώση των φύλλων, ή ακόμη και νέκρωση του φυτού (Γεωργαλά 2005).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Όπως είναι φυσικό η απόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να μεταβάλει τη σύσταση των υδάτων, όσον αφορά ορισμένα συστατικά όπως τα θειικά και τα νιτρικά άλατα. Έτσι παρατηρείται όξινηση των λιμνών και των ποταμών, επιφέροντας καταστροφή στη βλάστηση και διατάραξη της θρεπτικής ισορροπίας σε παραλιακά νερά και σε εκβολές μεγάλων ποταμών (Γεωργαλά 2005).

Τέλος, αμελητέα δε θα μπορούσε να είναι η επίδραση που έχουν οι σωματιδιακοί ρύποι στα υλικά αντικείμενα. Ειδικά σε αστικές ή βιομηχανικές περιοχές υπάρχει έντονη επικάλυψή τους με τη διαδικασία ρύπανσης του αέρα. Έτσι παρατηρούνται: κτίρια καλυμμένα από αιθάλη, διαβρωμένες μεταλλικές επιφάνειες, βρώμικα παράθυρα κτηρίων κ.λπ. Ειδικά στις Βόρειες χώρες θα έλεγε κανείς ότι το φυσικό χρώμα των κτιρίων είναι καστανόμαυρο ή ακόμα και μαύρο.

Η χημική και φυσική διάβρωση σχετίζονται με την ταυτόχρονη παρουσία διαφόρων ρύπων σε συνδυασμό και με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Τα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν χημική διάβρωση μέσω γαλβανικής δράσης, όμως με την παρουσία υγρασίας, όξινων και αλκαλικών σωματιδίων, οι ρυθμοί διάβρωσης επιταχύνονται πολύ. Το κοινωνικό και οικονομικό κόστος δεν δύναται να υπολογιστεί καθώς όχι μόνο αυξάνεται το κόστος συντήρησης και διατήρησης των κτηρίων, αλλά ταυτόχρονα προκαλείται και υποτίμηση της αξίας τους. Ειδικά σε μία χώρα όπως η Ελλάδα με τεράστια πολιτιστική κληρονομία και αναρίθμητα μνημεία, όπως π.χ. ο Παρθενώνας, οι ειδικοί παρατηρούν ότι μέσα σε λίγα χρόνια, έχει προκληθεί μεγαλύτερη φθορά από αυτή που έχει προκληθεί με το πέρασμα των αιώνων (Γεντεκάκης 2003).

2.7 Μηχανισμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων

Η ατμόσφαιρα είναι ένα σύστημα δυναμικό, με είσοδο, μετατροπή και απομάκρυνση αερίων και σωματιδιακών ρύπων. Διαθέτει δηλαδή ένα δικό της

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

σύστημα αυτοκάθαρσης, απομακρύνοντας τα ρυπογόνα υλικά με δύο διαδικασίες την ξηρή και την υγρή εναπόθεση (Γεντεκάκης 2003).

Η ξηρή εναπόθεση προκαλείται από τις κατακόρυφες αναταρακτικές κινήσεις που γίνονται μέσα στην ατμόσφαιρα, έχοντας σαν αποτέλεσμα την καθοδική ροή των ρύπων στη γη (Λαζαρίδης 2010, Παλιατσός 2009).

Στην υγρή εναπόθεση παρατηρείται ενσωμάτωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε σταγονίδια νερού και μεταφορά τους προς το έδαφος μέσω του υετού (βροχή, χιόνι, χαλάζι). Ανάλογα με τις εκπομπές και τις μετεωρολογικές συνθήκες, οι χρόνοι παραμονής των σωματιδιακών ρύπων κυμαίνονται από λίγες ημέρες έως και μερικές βδομάδες, ανάλογα με τη διάστασή τους και το ύψος του σημείου από το οποίο έγινε η εκπομπή τους (Λαζαρίδης 2010).

Η δράση της βαρύτητας είναι επίσης ένας τρόπος απομάκρυνσης των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα. Σωματίδια που συγκρούονται μεταξύ τους στον αέρα τείνουν να συσσωματωθούν λόγω των ελκτικών δυνάμεων, δημιουργώντας έτσι σταδιακά όλο και μεγαλύτερα συσσωματώματα. Εκείνα που απομακρύνονται από τον αέρα με την επίδραση της βαρύτητας είναι αυτά που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 1μm. Όσο μεγαλώνει το βάρος τους, τόσο πιο σύντομη είναι η βαρυτική εναπόθεση των σωματιδίων στο έδαφος. Έτσι, σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερης των 10μm αποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους σχεδόν αμέσως μετά την αποδέσμευσή τους, ενώ τα μικρότερα υφίστανται την επίδραση της διάχυσης παρατείνοντας τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα μέχρι να εναποτεθούν στο έδαφος (Γεντεκάκης 2003, Παλιατσός 2009).

Ακόμη μερικοί ρύποι με χημικές αντιδράσεις, δίνουν ουσίες που δεν είναι ρύποι όπως για παράδειγμα η οξειδωση του μονοξειδίου του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα. Ακόμα τα ρυπογόνα σωματίδια μπορεί να μεταφερθούν από την τροπόσφαιρα προς τη στρατόσφαιρα, αυτό εξαρτάται από το είδος των αερολυμάτων και από τα γενικότερα ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά που επικρατούν τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο (Παλιατσός 2009).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Ο άνθρωπος όμως με τη σειρά του παρατηρώντας ότι η εκπομπή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι ορατή και οι επιπτώσεις στη δημόσια υγεία είναι άμεσα αντιληπτές, θέλησε να προστατεύσει το περιβάλλον από τη ζημιά που ο ίδιος έχει προκαλέσει. Ιδίως στις αστικές-βιομηχανικές περιοχές, ξεκίνησε μια σειρά διεργασιών για τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα αιωρούμενα σωματίδια. Με τη σύγχρονη τεχνολογία είναι εφικτό να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα που προκύπτουν από τη μεγάλη ποικιλία πηγών εκπομπής σωματιδίων (Κουϊμτζής κ. ά. 1998).

Ένα προληπτικό μέτρο κατά της εκπομπής σωματιδίων από τις διάφορες πηγές καύσης είναι η χρησιμοποίηση καύσιμων χαμηλής εκπομπής σωματιδίων και ρυπαντών. Έτσι, η καύση μαζούτ συνοδεύεται από πολύ υψηλότερες εκπομπές σωματιδίων από ότι η καύση πετρελαίου. Επίσης υψηλές σωματιδιακές εκπομπές προκαλούνται από την καύση βιομάζας, ξύλου και κάρβουνου, ενώ το υγραέριο και η κηροζίνη χαρακτηρίζονται από σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές (Κουϊμτζής κ.ά. 1998).

Πίνακας 3. Συστήματα αποκονίωσης αερολυμάτων (Κουϊμτζής κ. ά. 1998).

| Σύστημα αποκονίωσης | Μέθοδος αποκονίωσης | Διάμετρος σωματιδίων που συγκρατούνται (μm) |
|----------------------------|----------------------------|--|
| Θάλαμοι Βαρύτητας | Βαρύτητα | $d > 50$ |
| Αεροκυκλώνες | Φυγοκεντρικός διαχωρισμός | $d > 1$ |
| Πύργοι έκπλυσης | Υγρή δέσμευση (έκπλυση) | $d > 0.05$ |
| Σακόφιλτρα | Διήθηση | $d > 0.01$ |
| Ηλεκτροστατικά φίλτρα | Ηλεκτροστατική ή καθίζηση | $d > 0.001$ |

Στις βιομηχανίες η χρήση μεγάλου ύψους καμινάδας αποτελεί την απλούστερη λύση προκειμένου να διαχέονται, να αραιώνονται και να απομακρύνονται οι ρύποι από την πηγή εκπομπής τους. Η συγκέντρωση των ρύπων στο έδαφος είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο του ύψους

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

της καμινάδας. Οπότε ο διπλασιασμός του ύψους μιας καμινάδας έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλεί μείωση της μέγιστης συγκέντρωσης ρύπων στο έδαφος κατά 25% (Βαλκανάς 1992).

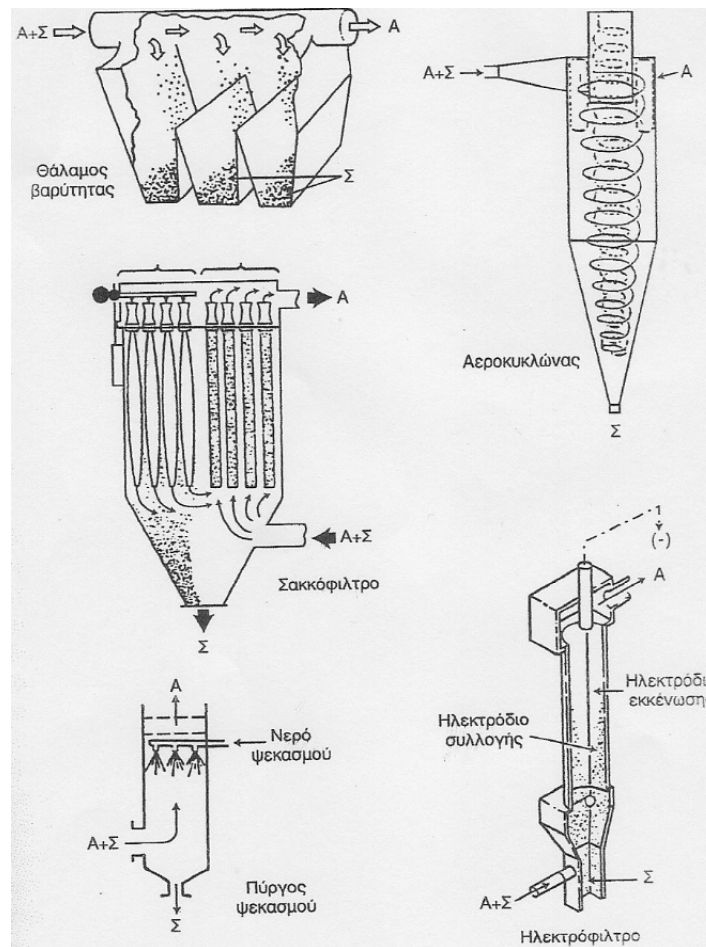
Με την πάροδο του χρόνου έχουν αναπτυχθεί επίσης διάφορες τεχνικές για τον περιορισμό εκπομπής σωματιδιακής ύλης στην ατμόσφαιρα. Ο εξοπλισμός που είναι εμπορικά διαθέσιμος, για την αφαίρεση σωματιδίων από τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι: οι μηχανικοί συλλέκτες, οι εκπλυτές, ή οι υγροί συλλέκτες, ή οι πλημμυρίδες, ή απλώς τα υγρά φίλτρα, τα υφασμάτινα φίλτρα ή σακοφίλτρα και τέλος, οι ηλεκτροστατικοί συλλέκτες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs - Electrostatic Precipitators) (Γεντεκάκης 2003).

- Οι μηχανικοί συλλέκτες διακρίνονται σε τρεις βασικούς τύπους. Τους βαρυτικούς συλλέκτες, τους συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία και τους κυκλώνες υψηλής απόδοσης.
 - i. Οι βαρυτικοί συλλέκτες έχουν την ιδιότητα να μειώνουν την ταχύτητα του αερίου ώστε να μπορέσει η βαρύτερη σωματιδιακή ύλη να κατακαθίσει. Το μοναδικό τους μειονέκτημα είναι ότι έχουν χαμηλή απόδοση σε λεπτόκοκκη σωματιδιακή ύλη.
 - ii. Οι συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία έχουν την ιδιότητα να συγκρατούν τη βαρύτερη σωματιδιακή ύλη και να την παγιδεύουν σε ειδικό υποδοχέα έως ότου την αποβάλουν. Όπως και οι βαρυτικοί συλλέκτες, έτσι και οι συλλέκτες εκτροπής, αν και είναι πιο αποδοτικοί, έχουν το μειονέκτημα να μην αντιμετωπίζουν επαρκώς το λεπτόκοκκο φορτίο σκόνης.
 - iii. Οι κυκλώνες υψηλής απόδοσης θεωρούνται τα πιο διαδομένα συστήματα καθαρισμού των αερολυμάτων από τα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερης των 10μm. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ανάπτυξη φυγοκεντρικών δυνάμεων στα σωματίδια, ώστε να αποσπαστούν από τα αερολύματα, να συλλεχθούν και τέλος να αποβληθούν (Γεντεκάκης 2003, Κουϊμτζής και Μάτη 1987).

- Οι εκπληγτές (πλημμυρίδες, υγρά φίλτρα, υγροί συλλέκτες) χρησιμοποιούν ένα υγρό, συνήθως νερό, σε θαλάμους ψεκασμού για να παγιδεύσουν και να απομακρύνουν τη σωματιδιακή ύλη και τα διαλυτά αέρια. Αυτό επιτυγχάνεται όταν με την επαφή του υγρού με τα αερολύματα, τα σωματίδια μετατρέπονται από αέρια σε υγρή κατάσταση κι έτσι τα αερολύματα βγαίνουν καθαρά στην ατμόσφαιρα. Το υγρό που λιμνάζει στον πυθμένα απελευθερώνει τη σκόνη που έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθιζάνει σχηματίζοντας λάσπη και αποβάλλεται (Γεντεκάκης 2003, Κούγκολος 2007).
- Μια άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των αερολυμάτων είναι τα σακόφιλτρα. Εκεί τα αερολύματα αναγκάζονται να περάσουν μέσα από ένα φίλτρο (υφασμάτινο ή συνθετικό) που συγκρατεί τη σκόνη και αφήνει να περάσουν τα αέρια. Πάνω στο φίλτρο σχηματίζεται ένα στρώμα σκόνης, που στη συνέχεια επενεργεί και αυτό σαν φίλτρο για συλλογή σωματιδίων μικρότερης αεροδυναμικής διαμέτρου. Με την πάροδο του χρόνου το στρώμα σκόνης αυξάνει σημαντικά και δημιουργεί προβλήματα στη δίοδο των αερίων. Έτσι είναι απαραίτητος ο συχνός καθαρισμός των φίλτρων (Κουϊμτζής και Μάτη 1987).
- Σε αντίθεση με τις άλλες τεχνικές οι ηλεκτροστατικοί συλλέκτες κατακρατούν σωματίδια ανεξάρτητα από το μέγεθός τους. Τα ηλεκτρόφιλτρα αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, το αρνητικό ή ηλεκτρόδιο εκκένωσης και το θετικό ή ηλεκτρόδιο συλλογής. Όταν τα αερολύματα βρεθούν στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, τα μόρια των αερίων ιονίζονται αρνητικά και κινούνται με την επίδραση του πεδίου 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 προσκολλούνται. Στη συνέχεια αποφορτίζονται, αποκολλούνται και απομακρύνονται από το ηλεκτρόδιο. Έτσι τα αερολύματα βγαίνουν από τα ηλεκτρόδια απαλλαγμένα από τα σωματίδια. Αν και οι ηλεκτροστατικοί συλλέκτες έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής,

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

εγκατάστασης και λειτουργίας, το βασικότερο πλεονέκτημά τους είναι η υψηλή απόδοση (Κούγκολος 2007, Κουϊμτζής και Μάτη 1987).



Σχήμα 2.4 Συστήματα αποκονίωσης αεροφίλτρων (Κουϊμτζής κ.ά. 1998).

Η επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου καθαρισμού καθορίζεται από πολλούς παράγοντες όπως τη διάμετρο των σωματιδίων, τις φυσικοχημικές ιδιότητες των σωματιδίων, τον όγκο και την ταχύτητα παροχής των αερολυμάτων, καθώς και την παρουσία άλλων τοξικών αερίων στα αερολύματα (Κουϊμτζής και Μάτη 1987).

2.8 Σύγκριση συσκευών συλλογής αιωρούμενων σωματιδίων

Οι μηχανικοί συλλέκτες είναι λιγότερο δαπανηροί από τις άλλες μεθόδους αλλά έχουν γενικά μέτρια απόδοση. Είναι πολύ καλύτεροι για τα μεγάλα

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

αιωρούμενα σωματίδια παρά για τα λεπτότερα. Χρησιμοποιούνται συχνά ως πρώτο στάδιο καθαρισμού και η έξοδός τους συνδέεται με τις πιο αποδοτικές συσκευές τελικού ελέγχου, ιδιαίτερα όταν το αρχικό φορτίο των σωματιδίων είναι ιδιαίτερα υψηλό. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα μπορούν να χειριστούν πολύ μεγάλες ογκομετρικές παροχές με χαμηλές πτώσεις πίεσης και να επιτύχουν πολύ υψηλές αποδόσεις. Είναι όμως δαπανηρά και προσαρμόζονται σχετικά δύσκολα στις αλλαγές των συνθηκών λειτουργίας μιας διεργασίας. Τα υγρά φίλτρα μπορούν να επιτύχουν υψηλές αποδόσεις και έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι μπορούν να απομακρυνθούν ταυτόχρονα μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια και ορισμένοι αέριοι ρύποι. Ωστόσο, παράγουν υγρά απόβλητα, που χρειάζονται κατάλληλη διαχείριση πριν διατεθούν στο περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Περιβαλλοντικά όρια για τον περιορισμό της ρύπανσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) που ασχολείται με περιβαλλοντικά θέματα με σκοπό τη διασφάλιση και προστασία της ανθρώπινης υγείας καθώς και η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), έχουν θεσπίσει οριακές τιμές, μεταξύ άλλων ρύπων, για τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων. Στόχος τους αποτελεί η μείωση των επιπέδων συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα, του συγκεκριμένου ρύπου, αποβλέποντας στη βελτίωση της ποιότητας ζωής αλλά και την αύξηση του προσδόκιμου ζωής των ανθρώπων.

Η εξέλιξη των περιβαλλοντικών ορίων ασφαλείας για τα αιωρούμενα σωματίδια αλλάζει με το πέρασμα των χρόνων. Στην αρχή αντιμετωπίζονταν σαν ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP - Total Suspended Particles) με μέγεθος μικρότερο των 100μm, ενώ αργότερα εξετάζονται τα σωματίδια PM₁₀ που εξαιτίας της μικρής τους αεροδυναμικής διαμέτρου (<10μm) αφενός μπορούν να εισπνευσθούν, αφετέρου μπορούν να έχουν μικρή ταχύτητα πτώσης, άρα μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα. Λόγω του μεγάλου χρόνου παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και της ικανότητάς τους να διεισδύουν στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα (Παλιατσός 2009).

Η Ε.Ε. έχει θέσει ανώτατα όρια για τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (**Πίνακας 4**), που έχουν τεθεί σε ισχύει από την 1^η Ιανουαρίου του 2005. Ωστόσο, εξαιτίας της σύνθετης φύσης της σωματιδιακής ρύπανσης, δεν έχουν θεσμοθετηθεί κάποια επίσημα όρια συναγερμού στην περίπτωση που τα όρια αυτά ξεπεραστούν.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Πίνακας 4. Τα όρια που έχει θέσει η ΕΕ για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και βρίσκονται σε ισχύει από 1 Ιανουαρίου του 2005 (p27).

| | |
|--------------------------------|--|
| Μέσος όρος (PM ₁₀) | Ανώτερο Θεσμοθετημένο Όριο της ΕΕ |
| Ανά ημέρα (24 ώρες) | 50μg/m ³ (να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 35 ημέρες το χρόνο) |
| Ανά ημερολογιακό έτος | 40μg/m ³ |

Σύμφωνα με το «ANNEX III» της Κοινοτικής Οδηγίας 1999/30/EC, κατά το «1ο στάδιο» εφαρμογής, για κάθε 24-ωρο η μέση τιμή συγκέντρωσης των PM₁₀ δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή των 50μg/m³ για περισσότερες από 35 μέρες το χρόνο. Επίσης, η μέση ετήσια τιμή συγκέντρωσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή των 40μg/m³.

Όμως κατά το «2ο στάδιο» εφαρμογής τα μέτρα γίνονται πολύ αυστηρότερα, με τη νέα Ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/50/EC, η οποία από το 2010 έχει θεσπίσει οριακές τιμές και για τα μικρότερα σωματίδια PM_{2.5} αλλά και νέες μειωμένες τιμές για τα PM₁₀. Έτσι στην «φάση 2», η οποία δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη, για κάθε 24-ώρο η μέση ημερήσια τιμή των PM₁₀ δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή των 50μg/m³ για περισσότερες από 7 μέρες το χρόνο, ενώ η ετήσια μέση τιμή να μην υπερβαίνει την οριακή τιμή των 20μg/m³ (p28, p29).

Ωστόσο η κοινοτική νομοθεσία δεν έχει θεσπίσει όρια για την ενημέρωση του πληθυσμού. Έτσι, για την αντιμετώπιση των PM₁₀, εκδόθηκε η ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272B/23-12-2013). Με αυτήν θεσμοθετούνται τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, καθορίζονται μέτρα ενημέρωσης για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, καθώς και μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, τη βιομηχανία-βιοτεχνία και την κυκλοφορία οχημάτων ανάλογα με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων (Πίνακας 5).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Πίνακας 5. Τρόποι δράσης και αντιμετώπισης κατά την υπέρβαση του ορίου των PM_{10} , σύμφωνα με την ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272Β/23-12-2013) (ΥΠΕΚΑ 2013).

| Ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM_{10} ($\mu g/m^3$) | Τρόποι δράσης και αντιμετώπισης |
|--|---|
| 51-75 | Συστάσεις στις ευπαθείς ομάδες πληθυσμού. |
| 76-100 | Συστάσεις στις ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και του γενικού πληθυσμού. |
| 101-150 | Συστάσεις στις ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και του γενικού πληθυσμού. Μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία οχημάτων. |
| >150 | Συστάσεις στις ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό, μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία οχημάτων. |

3.2 Η ευρύτερη περιοχή της Πάτρας.

Η Πάτρα είναι μια παραλιακή πόλη η οποία βρέχεται από τον Πατραϊκό Κόλπο και είναι χτισμένη στους πρόποδες του Παναχαϊκού όρους. Αποτελεί την πρωτεύουσα του νομού Αχαΐας καθώς και την μεγαλύτερη πόλη της Πελοποννήσου. Το μεγαλύτερο ποτάμι της ευρύτερης περιοχής είναι ο Γλαύκος που ρέει νότια της Πάτρας και πηγάζει από το Παναχαϊκό όρος. Άλλα ποτάμια είναι ο Χάραδρος, ο Μείλιχος και ο ορμητικός χείμαρρος Διακονιάρης (p30).

Το κλίμα της Πάτρας είναι Μεσογειακό με ζεστά καλοκαίρια και παρατεταμένη περίοδο ξηρασίας λόγω της έλλειψης βροχοπτώσεων. Τη χειμερινή περίοδο το κλίμα είναι πιο ήπιο, με βροχοπτώσεις. Η πόλη της Πάτρας είναι παράκτια με αποτέλεσμα να επηρεάζεται από τη θαλάσσια ανατάραξη. Η θαλάσσια αύρα τείνει να στρωματοποιεί την ατμόσφαιρα, κυρίως πάνω από την νότια πλευρά της πόλης, παγιδευοντας τους αέριους ρύπους σε σχετικά μικρό ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Στη διάρκεια

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

της επικράτησής της, κατά την κίνηση των αέριων μαζών σημαντικές χημικές μετατροπές φωτοχημικών ουσιών είναι πιθανό να προκληθούν.

Το σχέδιό της πόλης λέγεται ότι έκανε ο Σταμάτης Βούλγαρης, Κερκυραίος αξιωματικός του γαλλικού στρατού. Στο ρυμοτομικά άρτιο σχέδιο, προέβλεπε τη διάνοιξη κάθετων και οριζόντιων δρόμων, μεγάλων πλατειών, καθώς και την επέκταση της πόλης έως την παραλία. Ένα κεντρικό χαρακτηριστικό της αστικής τοπογραφίας της Πάτρας είναι η διαίρεσή της στην Άνω και Κάτω πόλη, που συνδέονταν μεταξύ τους με σκάλες. Αυτό είναι αποτέλεσμα μιας αλληλεπίδρασης ανάμεσα στη φυσική τοπογραφία της περιοχής και του μοντέλου ανθρώπινης κατοίκησης.

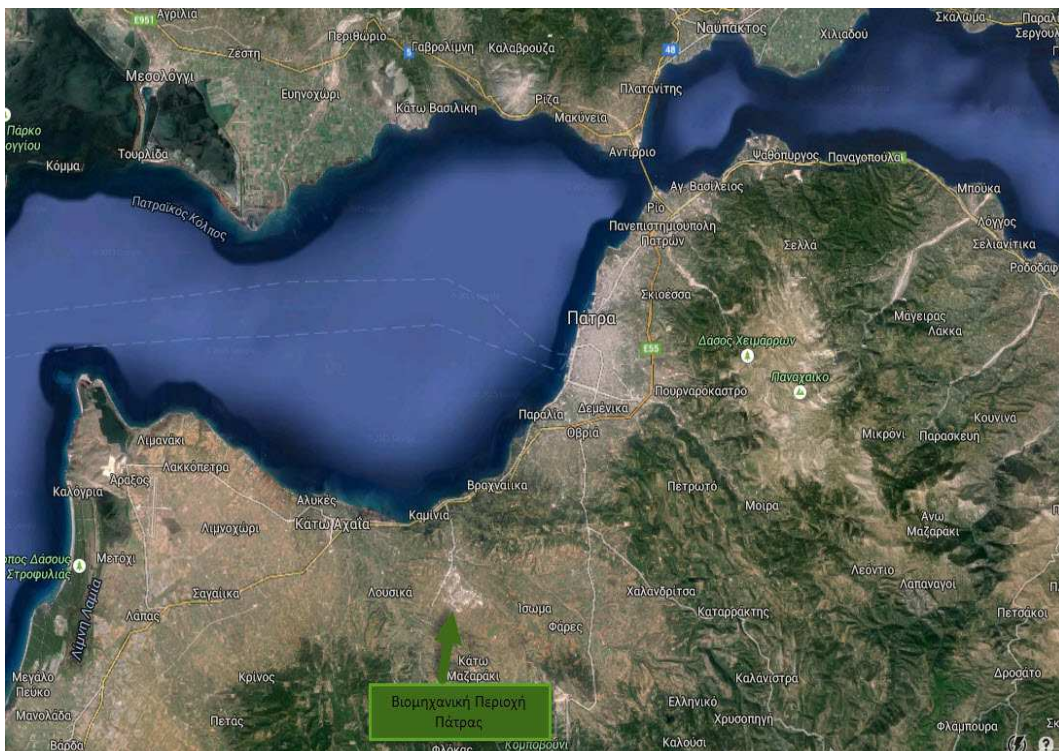
Η Κάτω πόλη, η οποία περιλαμβάνει τον αστικό πυρήνα του 19ου αιώνα και το λιμάνι, βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα και απλώνεται μεταξύ των εκβολών των ποταμών Γλαύκου και Φάραδρου και είναι χτισμένη πάνω σε ένα αρχικά ποταμογενές και ελώδες έδαφος, ενώ η Άνω πόλη καλύπτει την περιοχή των παλαιότερων οικισμών, γύρω από το φρούριο, πάνω στις δυτικότερες υπώρειες του Παναχαϊκού όρους (1926 m) πριν τον Πατραϊκό Κόλπο (Μασσάρα 2011).

Η Πάτρα, πρωτεύουσα της Αχαΐας και περιφερειακή πρωτεύουσα της Δυτικής Ελλάδας έχει πληθυσμό 211000 (Απογραφή 2011) και αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο αστικό κέντρο της Ελλάδας, μετά από αυτά της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Είναι μια πόλη που επικοινωνεί με όλες τις μεγάλες πόλεις της Ελλάδας και της Ευρώπης από τη στεριά, τη θάλασσα και τον αέρα.

Χαρακτηριστικό είναι το λιμάνι της Πάτρας, από πολύ παλιά είχε σημαντικό ρόλο στην οικονομική, κοινωνική και πολιτική ζωή της πόλης και της ευρύτερης περιοχής. Η ανάπτυξη των πορθμειακών μεταφορών, οδήγησε σε μία περίοδο ακμής, που άρχισε τη δεκαετία του 1960 και συνεχίζεται έως σήμερα. Είναι λιμάνι με έντονη εμπορευματική δραστηριότητα, ενώ παρέχει ναυτική σύνδεση των Πατρών με όλη σχεδόν τη δυτική Ελλάδα, καθώς και με την Ιταλία (p31).

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Το λιμάνι της Πάτρας είναι το δεύτερο μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας και ο βασικότερος θαλάσσιος τερματικός σταθμός στη Δυτική Ελλάδα. Είναι ακόμα το σημαντικότερο λιμάνι που συνδέει την Ελλάδα με την Ιταλία συνεπώς και με την υπόλοιπη Ευρώπη, καθώς μέσω των φορτηγών πλοίων μεταφέρεται πληθώρα αγαθών. Οι στατιστικές μελέτες δείχνουν ότι η κίνηση στο λιμάνι της Πάτρας είναι συνεχώς αυξανόμενη ενώ ταυτόχρονα διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα γίνονται ολοένα πιο έντονα. Τόσο η συνεισφορά των πλοίων κατά την προσέγγιση τους στον λιμένα, όσο και η αυξημένη δραστηριότητα των οχημάτων στην περιοχή αυτή αυξάνουν τις εκπομπές ρύπων και αιωρούμενων σωματιδίων(p32).



Σχήμα 3.1 Εδώ παρατηρούμε την ευρύτερη περιοχή της Πάτρας, του Πατραϊκού Κόλπου και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους όπως αυτά προκύπτουν από τον δορυφόρο. Ακόμα παρατηρούμε, την κοντινή απόσταση της ΒΙ.ΠΕ Πατρών σε ακτίνα μόλις 15km από το λιμάνι της πόλης (p33).

Ένα ακόμα σημαντικό είναι, να αναφέρουμε ότι το 1972, ιδρύθηκε η Βιομηχανική Περιοχή Πάτρας (ΒΙ.ΠΕ.). Περικλείεται από τους οικισμούς Άγιος Στέφανος (Περιστερά), Διδαχαίικα, Χαρμπιλαίικα, Κουνελαίικα και Χαϊκάλι και βρίσκεται σε ακτίνα μόλις 15km από το λιμάνι της Πάτρας (Σχήμα 3.1). Ο χώρος της ΒΙ.ΠΕ. είναι μια γεωγραφική έκταση στην οποία είναι

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

εγκατεστημένες με οργανωμένο τρόπο βιομηχανίες διαφόρων κλάδων, όπως φαρμακευτικών προϊόντων, χάρτου και συσκευασιών, σίτου και αλεύρων, ζύθου, ιχθυοκαλλιέργειας, ζυμαρικών, ελαίων, ανακύκλωσης κ.λπ. (p34).

Έτσι λοιπόν, η Πάτρα εξαιτίας τόσο της γεωγραφικής της θέσης, όσο και των σημαντικών έργων υποδομής που έχουν υλοποιηθεί (λιμάνι, γέφυρα Ρίο – Αντίρριο, εθνική οδός Αθηνών Πατρών, κ.λπ.) αποτελεί σύνδεσμο μεταξύ δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Πελοποννήσου καθώς και πύλη εισόδου προς την Ευρώπη.

3.3 Οι σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στην Πάτρα.

Η Διεύθυνση του Τμήματος Ποιότητας Ατμόσφαιρας (ΕΑΡΘ), εγκατέστησε το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ). Συστάθηκε το 2001 με στόχο τη διαρκή, συστηματική παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε όλη την ελληνική επικράτεια, με σκοπό τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί να χρησιμοποιηθούν προς μελέτη, για την αντιμετώπιση της αέριας ρύπανσης.

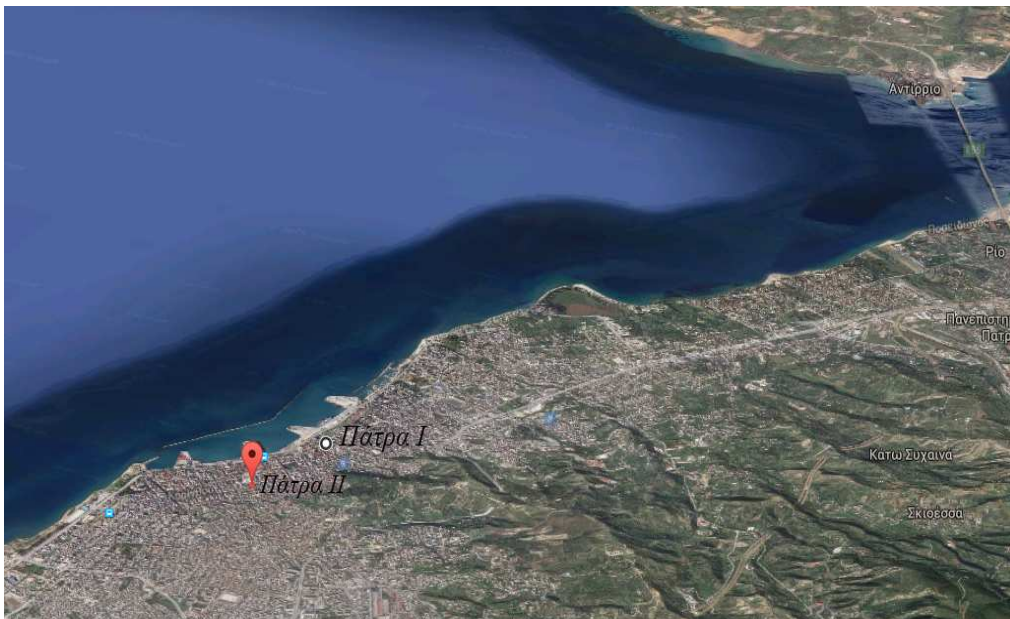
Το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, όπως έχει μέχρι σήμερα διαμορφωθεί, περιλαμβάνει 33 σταθμούς, με έμφαση σε αστικά κέντρα όπως της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης, της Πάτρας και άλλων πόλεων της Ελλάδας.

Οι σταθμοί αυτοί είναι εξοπλισμένοι με τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την αυτόματη καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς και με εξοπλισμό για την τηλεμετάδοση των μετρήσεων. Όλοι οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με σύστημα αποθήκευσης δεδομένων (data logger), σύστημα τηλεμετάδοσης με χρήση modem και τηλεφωνικής γραμμής και σύστημα βαθμονόμησης Η Διεύθυνση του Υ.ΠΕ.Κ.Α. και οι αντίστοιχες περιφερειακές υπηρεσίες με εξειδικευμένο εξοπλισμό και λογισμικό, χειρίζονται απομακρυσμένα τα όργανα πραγματοποιώντας διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου, ενώ λαμβάνουν και επεξεργάζονται τις μετρήσεις σχεδόν σε

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

πραγματικό χρόνο. Ακόμα μερικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι και με μετεωρολογικό σταθμό, για την παράλληλη λήψη και ανάλυση βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων που επιδρούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση όπως η ένταση και η διεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία αέρα και η σχετική υγρασία (ΥΠΕΚΑ 2012, Χρονόπουλος ΥΠΕΧΩΔΕ 2005).

Στην περιοχή της Πάτρας βρίσκονται εγκαταστημένοι δυο σταθμοί καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ. Για το διαχωρισμό τους αποκαλούνται ως Πάτρα I με συντεταγμένες (Γεωγραφικό Πλάτος: $38^{\circ} 15' 11''.15$ και Γεωγραφικό Μήκος: $21^{\circ} 44' 18''.35$) και Πάτρα II με συντεταγμένες (Γεωγραφικό Πλάτος: $38^{\circ} 14' 45''.51$ και Γεωγραφικό Μήκος: $21^{\circ} 44' 09''.23$) και ύψος 16m και 19m από την επιφάνεια της θάλασσας, αντίστοιχα (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Στο σχήμα απεικονίζονται στον χάρτη οι δύο σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, που βρίσκονται στην περιοχή της Πάτρας. Με το άσπρο στίγμα απεικονίζεται ο σταθμός Πάτρα I, ενώ με το κόκκινο στίγμα ο σταθμός Πάτρα II (p35).

Ανάλογα με τον χαρακτήρα της περιοχής όπου βρίσκονται, ταξινομούνται οι σταθμοί σε διάφορες κατηγορίες, όπως αστικός - κυκλοφορίας, αστικός - υποβάθρου, περιαστικός - υποβάθρου και αστικός - βιομηχανικός. Τόσο ο σταθμός Πάτρα I όσο και ο σταθμός Πάτρα II χαρακτηρίζονται, αστικοί - κυκλοφορίας. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από το Σχήμα 3.2, οι δύο

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

σταθμοί βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση από το λιμάνι, ενώ η μεταξύ τους απόσταση είναι κοντινή (μικρότερη του 1km) (ΥΠΕΚΑ 2013).

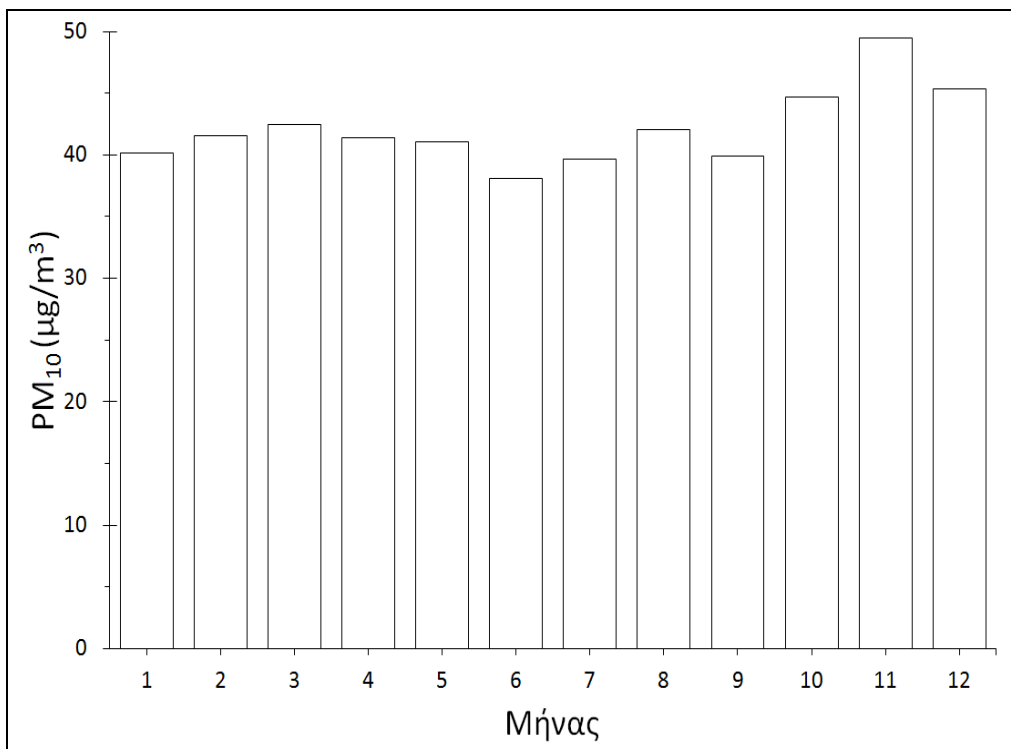
3.4 Μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στην πόλη της Πάτρας

3.4.1 Διαχρονική εξέλιξη των μέσων μηνιαίων τιμών

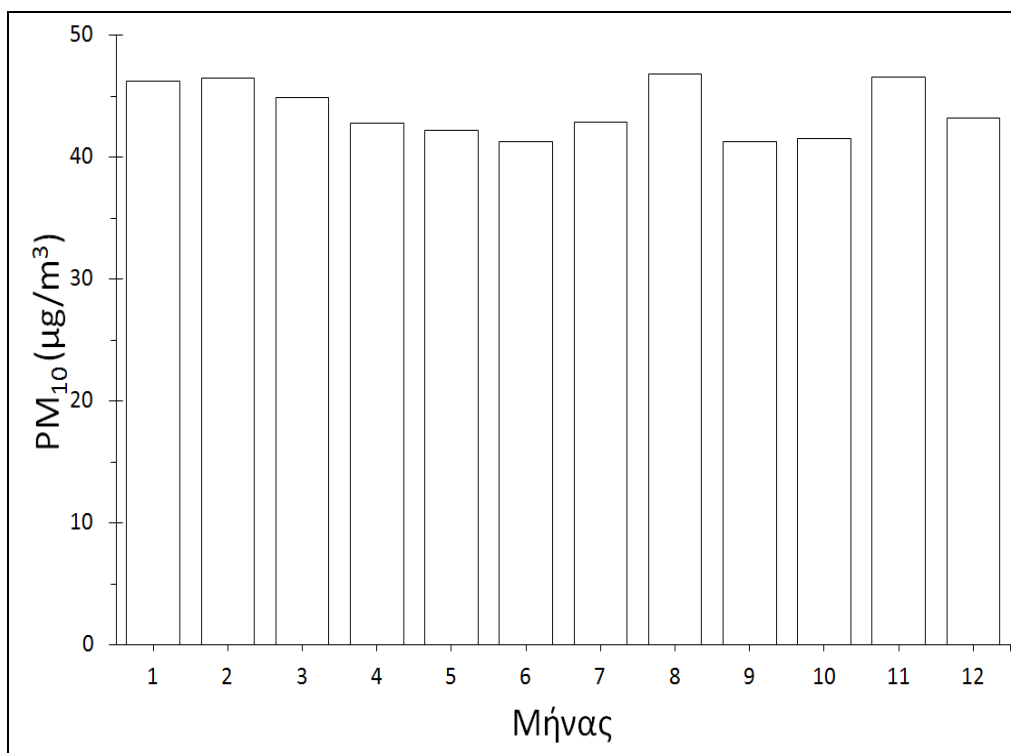
Στα Σχήματα 3.3 και 3.4 παρουσιάζεται η ενδοετήσια μεταβολή των μέσων μηνιαίων τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2013 στους σταθμούς Πάτρα I και Πάτρα II.

Από τα Σχήματα 3.3 και 3.4 διαπιστώνεται ότι η ενδοετήσια μεταβολή των PM_{10} στους σταθμούς Πάτρα I και Πάτρα II διαφέρει. Συγκεκριμένα στον σταθμό Πάτρα I παρατηρούμε ότι η ενδοετήσια μεταβολή εμφανίζει μέγιστο κατά τους ψυχρούς μήνες (Οκτώβριο-Νοέμβριο-Δεκέμβριο) και ελάχιστες κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Στον σταθμό Πάτρα II η ενδοετήσια μεταβολή εμφανίζει πρώτο μέγιστο κατά τους ψυχρούς μήνες (Νοέμβριο-Δεκέμβριο-Ιανουάριο-Φεβρουάριο) και ένα δεύτερο τον Αύγουστο το οποίο αποδίδεται στην κορύφωση της δραστηριότητας του λιμένα λόγω των θερινών διακοπών.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”



Σχήμα 3.3 Μέση ετήσια πορεία των PM₁₀ στο σταθμό «Πάτρα I» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013.



Σχήμα 3.4 Μέση ετήσια πορεία των PM₁₀ στο σταθμό «Πάτρα II» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

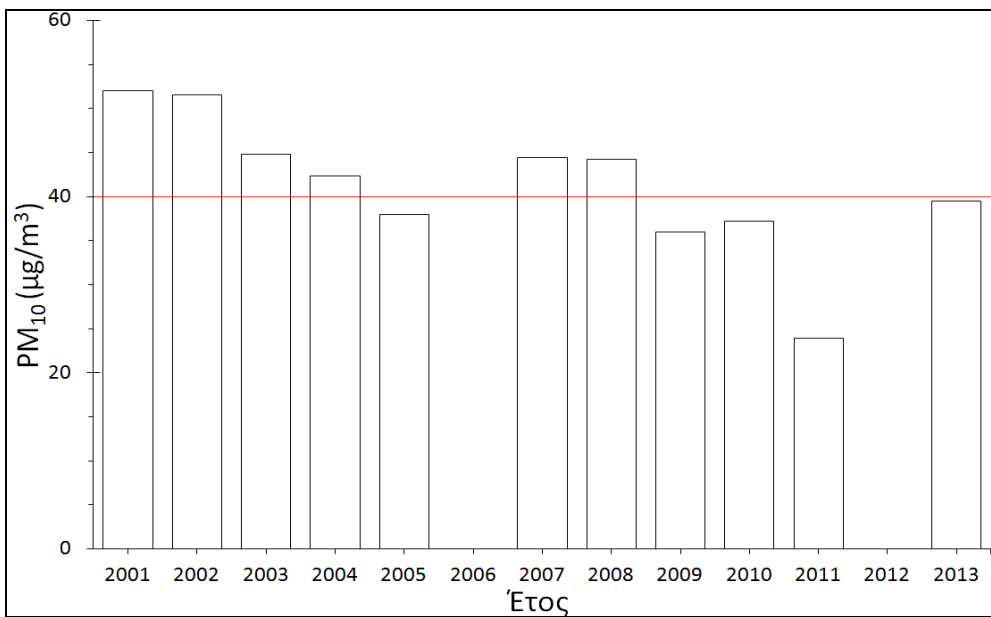
Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε γενικά ότι τα αιωρούμενα σωματίδια φαίνονται να παρουσιάζουν έξαρση τον Αύγουστο. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε αυξημένη δραστηριότητα στο λιμάνι (αυξημένη κυκλοφορία και αυξημένος αριθμός αφίξεων και αναχωρήσεων πλοίων λόγω θερινών διακοπών). Επίσης, μέγιστα εμφανίζονται και κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους τα οποία ενδεχομένως να συνδέονται με τη λειτουργία συστημάτων θέρμανσης.

3.4.2 Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών

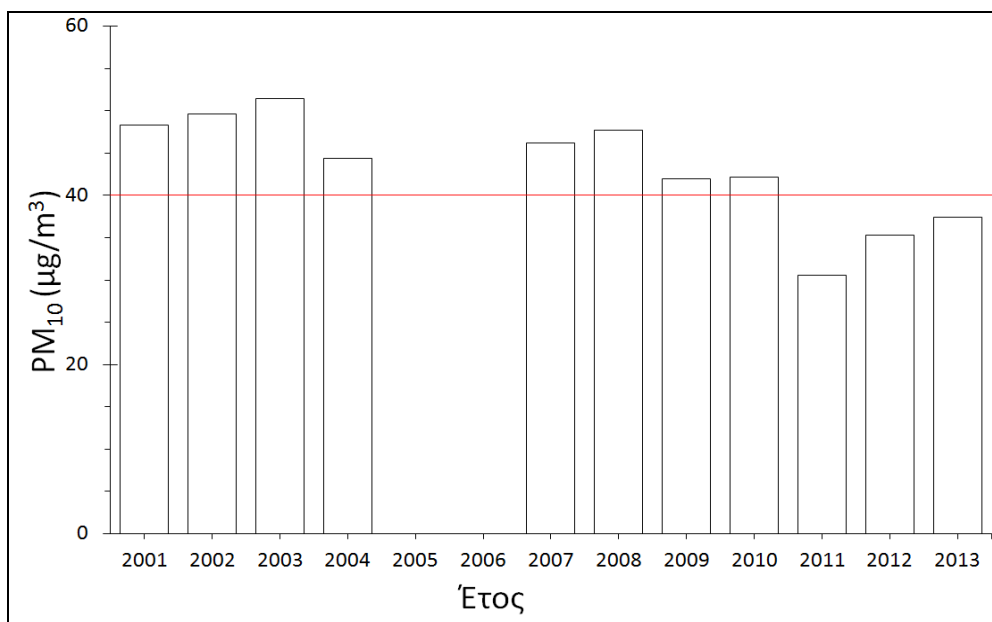
Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} για τους σταθμούς Πάτρα I και II στην υπό μελέτη χρονική περίοδο 2001-2013, προσδιορίστηκαν οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις για κάθε σταθμό. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6.

Από το Σχήμα 3.5 διαπιστώνεται ότι υπάρχουν υπερβάσεις της οριακής τιμής των $40\mu g/m^3$ στο σταθμό Πάτρα I για το μεγαλύτερο τμήμα της υπό μελέτης χρονικής περιόδου. Κατά το διάστημα 2009-2013 παρατηρείται μια σχετική συμμόρφωση, ωστόσο, αυτό μπορεί να οφείλεται στην ιδιαίτερα μικρή διαθεσιμότητα δεδομένων που παρατηρήθηκε κατά τα έτη 2009, 2011 και 2013.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”



Σχήμα 3.5 Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των PM₁₀ στο σταθμό «Πάτρα I» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



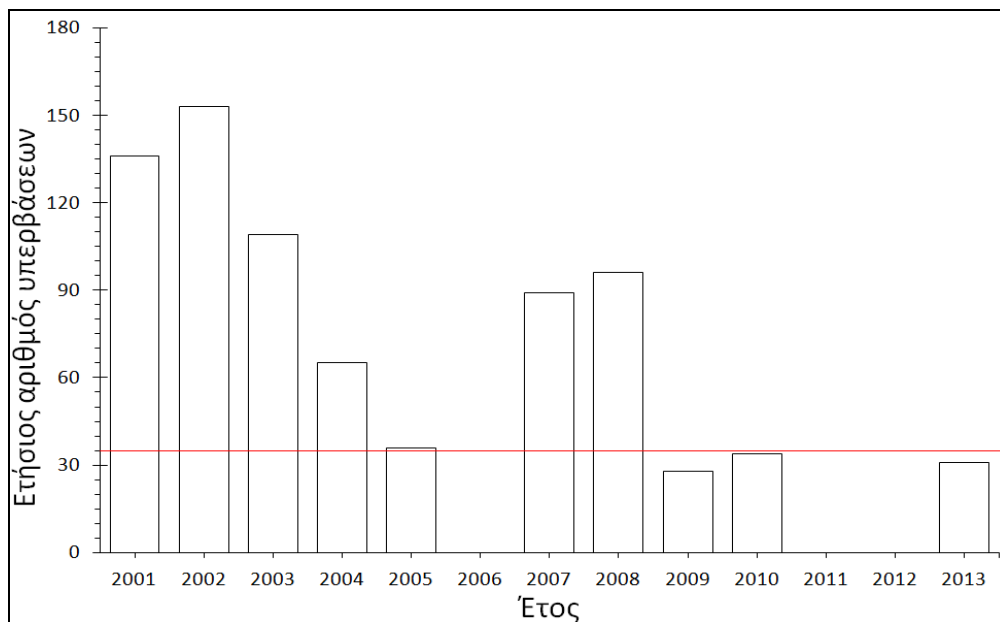
Σχήμα 3.6 Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των PM₁₀ στο σταθμό «Πάτρα II» στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).

Αντίστοιχα από το Σχήμα 3.6 διαπιστώνεται ότι παρατηρούνται υπερβάσεις στο σταθμό Πάτρα II για το μεγαλύτερο τμήμα της υπό μελέτης

χρονικής περιόδου. Κατά το 2-ετία 2009-2010 παρατηρείτε μια σχετική μείωση, ενώ κατά τα έτη 2011-2013 φαίνεται να επιτυγχάνεται συμμόρφωση σχετικά με τις κοινοτικές οδηγίες για τη μη υπέρβαση των ετήσιων μέσων τιμών συγκέντρωσης της οριακής τιμής των $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Βέβαια, και στην περίπτωση αυτού του σταθμού είναι αρκετά πιθανό να ευθύνεται η μικρή διαθεσιμότητα δεδομένων που παρατηρήθηκε κατά τα έτη 2011 και 2012.

3.4.3 Διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού υπερβάσεων της οριακής τιμής

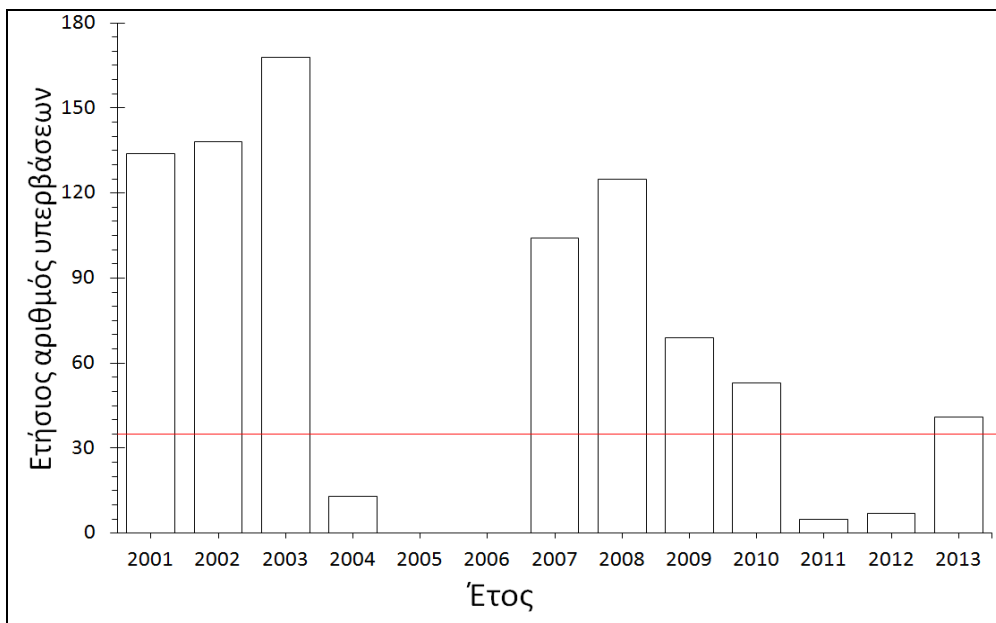
Επίσης, από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} για τους σταθμούς Πάτρα I και II στην υπό μελέτη χρονική περίοδο, προσδιορίστηκαν οι ανά έτος αριθμοί ημερών με υπέρβαση της μέσης 24-ωρης τιμής των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ για κάθε σταθμό. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.7 και 3.8.



Σχήμα 3.7 Διαχρονική εξέλιξη, για την περίοδο 2001-2013, του ποσοστού των υπερβάσεων της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή), των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα I». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στο ετήσιο μέγιστο επιτρεπτό αριθμό ημερών με υπέρβαση, δηλαδή έως 35 ημέρες.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Από τα σχήματα αυτά διαπιστώνεται υπέρβαση της ετήσιας οριακής τιμής των 35 ημερών και στους δύο σταθμούς καταγραφής. Χαρακτηριστικά στον σταθμό Πάτρα I οι υπερβάσεις το 2002 φτάνουν τις 153 ημέρες, ενώ το αμέσως επόμενο έτος 2003 στον σταθμό Πάτρα II οι υπερβάσεις έφτασαν στις 168 ημέρες. Παρόλα αυτά κατά το διάστημα 2009-2013 παρατηρείται μια πτωτική διαχρονική εξέλιξη όσον αφορά τον αριθμό των ημερών με υπέρβαση της μέσης 24-ωρης οριακής τιμής στο σταθμό Πάτρα II, ενώ το για το ίδιο χρονικό διάστημα στον σταθμό Πάτρα I δεν σημειώνονται υπερβάσεις.



Σχήμα 3.8 Διαχρονική εξέλιξη, για την περίοδο 2001-2013, του ποσοστού των υπερβάσεων της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24-ωρη τιμή), των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM_{10} στο σταθμό «Πάτρα II». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στο ετήσιο μέγιστο επιτρεπτό αριθμό ημερών με υπέρβαση, δηλαδή έως 35 ημέρες.

3.5 Συμπεράσματα για τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στην πόλη της Πάτρας.

Σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε., ο έλεγχος για τη διατήρηση των αιωρούμενων σωματιδίων στα επιτρεπόμενα όρια είναι αναγκαίος, για ένα υγιές ατμοσφαιρικό περιβάλλον και για μια καλύτερη ποιότητα ζωής.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε εκτενής μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων, του τρόπου σχηματισμού τους και των επιπτώσεων που επιφέρουν τόσο στη δημόσια υγεία, όσο και στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα έγινε μελέτη των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων στην αστική περιοχή της Πάτρας κατά τη χρονική περίοδο 2001 - 2013 και μελετήθηκε η διαχρονική πορεία εξέλιξης τους, στους σταθμούς Πάτρα Ι και Πάτρα ΙΙ.

Από την εξελικτική πορεία των αιωρούμενων σωματιδίων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} υπερέβαιναν την ετήσια οριακή τιμή των $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά τη μεγαλύτερη εξεταζόμενη χρονική περίοδο (2001 - 2008), ενώ από το έτος 2009 και έπειτα παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια σημαντική μείωση και συμμόρφωση με τη σχετική οδηγία της Ε.Ε.
- Σχετικά με τον αριθμό των ημερών που η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} ξεπέρασε την 24-ώρη οριακή τιμή των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρήθηκε ότι υπήρχε υπέρβαση της θεσπισμένης οριακής τιμής κατά το μεγαλύτερο τμήμα του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος (2001-2008). Ενώ την υπόλοιπη χρονική περίοδο, 2009-2013, παρατηρήθηκε σημαντικότερη μείωση των υπερβάσεων.
- Επιπλέον αναλύοντας την ενδοετήσια μεταβολή των μέσων μηνιαίων τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2013, παρατηρήθηκε ότι εμφανίζουν μέγιστο το μήνα Αύγουστο και κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους (Νοέμβριο-Φεβρουάριο).

Θα πρέπει να επισημανθεί ακόμα μια φορά ότι υπήρχε μικρή διαθεσιμότητα δεδομένων στο σταθμό Πάτρα Ι κατά τα έτη 2009, 2011 και 2013 και στο σταθμό Πάτρα ΙΙ κατά τα έτη 2011 και 2013. Έτσι τα συμπεράσματα που προέκυψαν, για τις συγκεκριμένες χρονιές, παρουσιάζονται με επιφύλαξη και θεωρείται απαραίτητο να υπάρξει

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

συγκριτική αναζήτηση και μεταξύ άλλων ερευνητικών εργασιών για να υπάρξουν όσο το δυνατόν ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Από το έτος 2009 και έπειτα στην περιοχή της Πάτρας παρατηρείται σημαντικότερη μείωση της ύπαρξης αιωρούμενων σωματιδίων, αυτό το γεγονός μπορεί έμμεσα να συνδεθεί με την Παγκόσμια Οικονομική Κρίση που άρχισε το 2008, ενώ οι συνέπειές της ήταν ορατές στην Ελληνική οικονομία το επόμενο έτος. Πιο συγκεκριμένα οι μειώσεις που εφαρμόστηκαν στο εισόδημα των πολιτών οδήγησαν στην ανεύρεση οικονομικότερων επιλογών διαβίωσης. Περιορίστηκε λοιπόν ως ένα βαθμό η χρήση των Ι.Χ. αυτοκινήτων, η χρήση των Ε.Δ.Χ. αυτοκίνητων (ταξί), καθώς και η αλόγιστη καύση πετρελαίου για οικιακή θέρμανση.

Αυτό αρχικά είχε θετικό αντίκτυπο, ως προς την μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, στη συνέχεια όμως η στροφή και αναζήτηση φθηνότερης καύσιμης ύλης για την οικιακή θέρμανση απέκτησε αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία των πολιτών σε διάφορες μεγάλες πόλεις όπως η Πάτρα, η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη κ.α. Το συγκεκριμένο γεγονός φαίνεται να επιβεβαιώνεται μέσα από την εξελικτική πορεία των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων κατά τα την χρονική περίοδο 2011 – 2013 καθώς παρατηρείται σταδιακή αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων στην υπό μελέτη περιοχή της Πάτρας (Σχήμα 3.5 και 3.6)

Σε μετρήσεις που έγιναν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, βρέθηκε ότι η μέση χειμερινή συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ κατά την τριετία της οικονομικής κρίσης (2010 - 2012) αυξήθηκε κατά 30% σε σύγκριση με την τριετία προ κρίσης (2007 - 2009) (Petrakakis et al. 2013). Επίσης, από την σύγκριση των συγκεντρώσεων των χημικών συστατικών των $PM_{2.5}$ κατά τις χειμερινές περιόδους (2012 με 2013) προέκυψε ότι οι δείκτες καύσης πετρελαίου ήταν μειωμένοι κατά 20-30%, λόγω μειωμένης χρήσης πετρελαίου ενώ, οι δείκτες καύσης βιομάζας ήταν 2-5 φορές υψηλότεροι (Safari et al. 2013) .

Σύμφωνα με την εργασία των Φλώρου κ.ά. (2013) η ανησυχητικά αυξητική τάση των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τα τελευταία έτη, οδήγησε την Ελληνική επιστημονική κοινότητα στη μελέτη και διερεύνηση του

συγκεκριμένου θέματος. Για το σκοπό αυτό κατά τη διάρκεια του χειμώνα του έτους 2012 και του 2013 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου σε δύο από τις μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις (Πάτρα και Αθήνα), προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν τα επίπεδα των οργανικών σωματιδίων από την τοπική καύση ξύλου και να χαρακτηρισθούν φυσικά και χημικά τα αντίστοιχα σωματίδια.

Από τις μετρήσεις αυτές εξήχθηκαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων τις κρύες νύχτες με άπνοια έφταναν σε πολύ υψηλά επίπεδα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στο Θησείο ήταν $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ και στην περιοχή της Πάτρας πάνω από $200\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Κατά τις νυχτερινές περιόδους με μεγάλα επίπεδα ρύπανσης, βρέθηκε ότι το 90% της συγκέντρωσης ρύπων οφειλόταν σε μικρά σωματίδια και συγκεκριμένα με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των $2.5\mu\text{m}$, τα οποία είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία.
- Υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούνταν περίπου μεταξύ 19:00 και 21:00.
- Η καύση ξυλείας ήταν υπεύθυνη σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80% για τις υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων τις νυχτερινές ώρες. Το συμπέρασμα αυτό υποστηρίζεται από μετρήσεις του ακετονιτριλίου (ενός αέριου ρύπου) και του καλίου (στοιχείο που εντοπίζεται στα αιωρούμενα σωματίδια), που παίζουν το ρόλο του χημικού «δακτυλικού αποτυπώματος» της συγκεκριμένης πηγής εκπομπών.
- Τα σωματίδια από την καύση των ξύλων αποτελούνταν κατά 80% από οργανικές ενώσεις, κατά 10% από στοιχειακό άνθρακα (μη καθαρό γραφίτη) και κατά 10% από ανόργανα άλατα (χλωριούχο κάλιο, θειικό κάλιο, κ.λπ). Οι εκατοντάδες οργανικές ενώσεις συμπεριλαμβάνουν πολυκυκλικούς αρωματικές υδρογονάνθρακες (ιδιαίτερα τοξικές ενώσεις),

αλκάνια, μονο- και δι-καρβοξυλικά οξέα, διτερπενοικά οξέα, λεβογλυκόζη, κ.λπ.

- Στην περιοχή της Πάτρα οι συγκεντρώσεις των $PM_{2.5}$ ξεπέρασαν τα $50\mu g/m^3$ δώδεκα νύχτες κατά τη διάρκεια του μήνα των μετρήσεων. Σε πέντε από αυτές τις νύχτες ξεπέρασαν και τα $100\mu g/m^3$. Παρόμοια εικόνα συναντάται και στις υπόλοιπες μεγάλες πόλεις της Ελλάδας με μοναδική διαφοροποίηση να υπάρχει στο Ηράκλειο Κρήτης όπου εκεί οι θερμοκρασίες είναι γενικώς υψηλότερες.
- Ταυτόχρονα με τις υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων, σε συγκεκριμένες νύχτες μετρήθηκαν και σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις αερίων αρωματικών ενώσεων (τολουόλιο, ξυλόλια, κ.λπ). Η ύπαρξη αυτών των ενώσεων αποδεικνύει την καύση επεξεργασμένων ξύλων και άλλων υλικών. Οι συγκεντρώσεις αυτών των τοξικών ενώσεων τη νύχτα ήταν διπλάσιες ή και τριπλάσιες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κατά τις ώρες κυκλοφοριακής αιχμής.
- Τις εξαιρετικά κρύες νύχτες με θερμοκρασία μικρότερη των $5^\circ C$ με άπνοια, τα αιωρούμενα σωματίδια από την καύση ξυλείας παγιδεύονται σε ένα στρώμα λίγων εκατοντάδων μέτρων πάνω από το έδαφος, φτάνοντας σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις.

Στη μελέτη αυτή (Φλώρου κ.ά. 2013) αναφέρεται ότι τα σωματίδια που παράγονται από την καύση του ξύλου (με βάση το μέγεθός τους και τη χημική τους σύσταση) φαίνονται να είναι το ίδιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία με τα σωματίδια που παράγονται από την κυκλοφορία των οχημάτων και τις άλλες πηγές καύσης.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι η αλλαγή καυσίμων για τη θέρμανση των οικιών με σκοπό τη χρήση φτηνότερων αλλά βλαβερότερων καυσίμων είναι πιθανό να οδηγήσει σε μια εκ νέου υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, που επιβαρύνει την ήδη υπάρχουσα κατάσταση, αυξάνοντας αφενός μεν τον κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, αφετέρου την πιθανότητα να οδηγηθεί η Ελλάδα μελλοντικά ενώπιον

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου για τη μη εναρμόνισή της με τις οριακές τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων (p36).

Αυξημένη παρατηρείται επίσης η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων το μήνα Αύγουστο. Αυτό δικαιολογείται λόγω της αυξημένης κίνησης στο λιμένα κατά την περίοδο των καλοκαιρινών διακοπών. Τόσο η συνεχής διέλευση των πλοίων, επιβατικών και εμπορικών, όσο και των οχημάτων που συνωστίζονται στους τριγύρω δρόμους του λιμανιού, οδηγούν αφενός σε αυξημένες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων λόγω παρατεταμένης λειτουργίας των κινητήρων πλοίων και πετρελαιοκίνητων οχημάτων, αφετέρου δε σε ενδεχόμενη αύξηση αιωρούμενης σκόνης από την προκαλούμενη επαναιώρησή της λόγω κυκλοφορίας.

Από παλαιότερη ερευνητική εργασία (Αποστόλου 2006) είχε αναφερθεί ότι τα σχετικά για τα παραγόμενα αιωρούμενα σωματίδια από τα πλοία:

- Η ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία, επηρεάζει άμεσα το θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον, αλλά και τη δημόσια υγεία, ιδίως των ατόμων που κατοικούν κοντά στα μεγάλα λιμάνια.
- Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι των πλοίων μεταξύ αυτών και τα αιωρούμενα σωματίδια, είναι διασυννοριακής φύσης. Μπορούν δηλαδή να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Εκτιμάται ότι οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από τα πλοία συμβάλουν σημαντικά στην αύξηση των επιπέδων συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων στους περισσότερους λιμένες, σε ποσοστό 20 έως 30%.
- Κατά τη διάρκεια του έτους, πολλά πλοία εισέρχονται στο λιμάνι της Πάτρας και ελλιμενίζονται σε αυτό για κάποιες ώρες ακόμα και ημέρες, ακόμα και κατά τη διάρκεια της παραμονής τους τα πλοία δεν σβήνουν καθόλου τις μηχανές τους οι οποίες είναι συνεχώς σε λειτουργία, άρα έχουμε διαρκή επιβάρυνση της ατμόσφαιρας της περιοχής από τις εκπομπές σωματιδίων.

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος INTERREG «Ευρωπαϊκής Εδαφικής Συνεργασίας Ελλάδας - Ιταλίας 2007-2013» πραγματοποιήθηκε το

έργο «CESAPO - Συμμετοχή των πηγών ρύπανσης στην ποιότητα του αέρα των πόλεων - λιμένων στην Ελλάδα και την Ιταλία». Στις 26/11/2012, στο Μπρίντιζι Ιταλίας, πραγματοποιήθηκε συνάντηση για την παρουσίαση της προόδου στην εξέλιξη του έργου. Το έργο επικεντρώθηκε στη διερεύνηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην Πάτρα και το Μπρίντιζι. Τα ευρήματα θα χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των εφαρμοζόμενων πολιτικών διαχείρισης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Από τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου έργου για το λιμάνι της Πάτρας, για την κατηγορία των θαλάσσιων μεταφορών/δραστηριοτήτων υπολογίστηκαν εκπομπές ρύπων με χρήση των πιο πρόσφατων διαθέσιμων δεδομένων δραστηριότητας που αφορούσαν έτος στο 2010. Πιο συγκεκριμένα, η ετήσια συνεισφορά σωματιδιακών (PM_{10} και $PM_{2.5}$) ρύπων (σε tn) από τις επιμέρους πηγές του τομέα των θαλάσσιων μεταφορών και δραστηριοτήτων στην περιοχή του λιμανιού της Πάτρας, με έτος αναφοράς το 2010, κατανέμεται ως εξής:

- Επιβατηγά πλοία : ~436tn
- Φορτηγά πλοία : ~27tn
- Σκάφη αναψυχής : ~61tn
- Αλιευτικά σκάφη : ~46tn
- Ρυμουλκά : ~0.02tn
- Δραστηριότητες εντός λιμανιού : ~1tn

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η παραπάνω συνεισφορά του τομέα των θαλάσσιων μεταφορών και δραστηριοτήτων στην περιοχή του λιμανιού της Πάτρας αποτελεί το 23.4% της ολικής ετήσιας συνεισφοράς των ανθρωπογενών πηγών στις εκπομπές σωματιδιακών (PM_{10} και $PM_{2.5}$) ρύπων στην περιοχή της Πάτρας (p37, p38).

Συνοψίζοντας, κατά τη μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων, διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζουν διάφορες θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στους έμβιους οργανισμούς και στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι:

- Έχουν τη δυνατότητα να δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία νεφών.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

- Επηρεάζουν το κλίμα με άμεσο τρόπο μέσω της ανάκλασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Σε υψηλές συγκεντρώσεις μειώνουν σημαντικά την ορατότητα.
- Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων όπως το μέγεθος, την χημική τους σύσταση και την κατάσταση στην οποία βρίσκονται, υγρή ή στερεή, μπορεί να είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία.

Βιβλιογραφία

Ελληνική:

- Αποστόλου Α. (2006). Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη του Περιβάλλοντος του Λιμένα των Πατρών. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Βαλκανά, Γ. (1992). Ρύπανση Περιβάλλοντος: Επιστήμη και Τεχνική Αντιμετώπισης, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.
- Γεντεκάκης, Ι.Β. (2003). Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές Τεχνολογίες, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Γεωργαλά, Β. (2005). Ρύπανση από Λεπτόκοκκα Σωματίδια (PM₁) στην Ατμόσφαιρα της Αθήνας - Στατιστική Ανάλυση Χρονοσειρών Συγκεντρώσεων. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2013). Κάθε ανάσα που παίρνουμε, Βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην Ευρώπη. Εκδόσεις ΕΟΠ, Κοπεγχάγη (Προσβάσιμο από: <http://www.eea.europa.eu/el/publications/simata-eop-2013-kathe-anasa>)
- Καλδέλλης, Ι.Κ., Χαλβατζής, Κ.Ι. (2005). Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη: Αειφορία και Ανάπτυξη, Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Τόμος Α', Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Καρβούνης, Σ., Γεωργακέλλος, Δ. (2003). Διαχείριση του Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Κούγκολος, Α.Γ. (2007). Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

- Κουϊμτζής, Θ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου, Κ. (1994). Έλεγχος Ρύπανση Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου, Κ. (1998). Χημεία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Κουϊμτζής, Θ., Μάτη Κ. (1987). Αρχές Τεχνολογίας Αντιρρύπανσης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Λαζαρίδης, Μ. (2010). Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Μασσάρα Β. (2011). Αιωρούμενα Σωματίδια Στην Ατμόσφαιρα Της Πάτρας. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Πελεκάση, Κ., Σκούρτος, Μ. (1992). Η ατμοσφαιρική Ρύπανση στην Ελλάδα, Εκδόσεις Παπαζήσης / WWF, Αθήνα.
- Παλιατσός, Α.Γ. (2009). Τεχνολογία Περιβάλλοντος, Διδακτικές Σημειώσεις, ΤΕΙ Πειραιά, Αθήνα.
- Τριανταφύλου, Α.Γ. (2004). Ατμοσφαιρική Ρύπανση - Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα: Σύγχρονες Τεχνικές Μέτρησης, Κοζάνη.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (2012). Γενική Διεύθυνση Οικονομικών Υπηρεσιών, Διεύθυνση Οικονομικού, Τμήμα Προμηθειών και Διαχείρισης (<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=OEDHsK88SNA%3D&tabid=473&language=el-GR>).
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (2013). Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2013, (<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=kLVZNDNL86c%3D&tabid=490&language=el-GR>).
- Φλογαίτη, Ε. (1998). Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Ελληνικές Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Αθήνα

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Φλώρου, Κ., Παπαναστασίου, Δ., Λούβαρης, Ε., Πανδής, Σ.Ν., Πικριδάς, Μ. (2013). Ατμοσφαιρική ρύπανση την χειμερινή περίοδο και η Ελληνική οικονομική κρίση. 9ο ΠΕΣΧΜ: Η Συμβολή της Χημικής Μηχανικής στην Αειφόρο Ανάπτυξη. Αθήνα 23-25/05/2013 [<http://9pesxm.chemeng.ntua.gr/fullpapers/EN0298.pdf>].

Χρονόπουλος Γ., ΥΠΕΧΩΔΕ (2005). Διεύθυνση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος, Παρακολούθηση της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος – Διαχρονική Εξέλιξη της Ρύπανσης, Αθήνα (http://library.tee.gr/digital/m2050/m2050_chronopoulos.pdf).

Διεθνής:

Bartzokas, A., Kassomenos, P., Petrakis, M., Celessides, C. (2004). The effect of meteorological and pollution parameters on the frequency of hospital admissions for cardiovascular and respiratory problems in Athens. *Indoor Built Environment*, 13, 271-275.

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

Churg, A., Brauer, M. (2000). Ambient atmospheric particles in the airways of human lungs. *Ultrastructural Pathology*, 24, 353-361.

Dockery, D.W., Pope, C.A., Xiping, X., Spengler, J.D, Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G. and Speizer, F.E. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753-1759.

Johnson, R. (2004). Relative effects of air pollution on lungs and heart. *Circulation*, 109, 5-7.

Katsouyanni, K., Zmirou, D., Spix, C., Sunyer, J., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R., Lemoulllec, Y., Wojtyniak, B., Vigotti, M.A., Bacharova,

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

- L. (1995). Short-Term Effects of Air-Pollution on Health - a European Approach Using Epidemiologic Time-Series Data - the Aphea Project - Background, Objectives, Design. *European Respiratory Journal*, 8(6), 1030-1038.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R. (1997). Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *BMJ*, 7, 314(7095), 1658-1663
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Petasakis, Y., Analitis, A., Le Tertre, A., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H., Wojtyniak, B., Paldy, A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C., Schwartz, J. (2003). Sensitivity analysis of various models of short-term effects of ambient particles on total mortality in 29 cities in APHEA2. In: *Health Effects Institute 2003. Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health*. Special Report. Health Effects Institute, Boston MA.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G. and Priftis, K.N. (2007a). Cross spectrum analysis between childhood asthma and ambient air pollutants, at Athens, Greece. *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST 2007)*, vol. A, 1021-1028.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Priftis, K.N. and Zachariadi-Xypolita, A. (2007b). Particulate matter PM10 and childhood asthma in Athens, Greece. *Book of Abstracts of the 14th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region with Focus on the Environment and Health*, 96-97.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G. and Priftis, K.N. (2008). Do the maxima of air pollutants coincide with the incidence of childhood asthma in Athens, Greece. *Global NEST Journal*, 10(3), 453-460.

- Paliatsos, A.G., Koronakis, P.S. and Kaldellis, J.K. (2006). Effect of surface ozone exposure on vegetation in the rural area of Aliartos, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15(11), 1387-1393.
- Paliatsos, A.G., Priftis, K.N., Ziomas, I.C., Panagiotopoulou-Gartagani, P., Nikolaou-Panagiotou, A., Tapratzi-Potamianou, P., Zachariadi-Xypolita, A. Nicolaidou, P., Saxoni-Papageorgiou, P. (2006). Association between ambient air pollution and childhood asthma in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15(7), 614-618.
- Panagiotakos, D.B., Chrysohoou, C., Pitsavos, C., Nastos, P., Anadiotis, A., Tentolouris, C., Stefanadis, C., Toutouzas, P., Paliatsos, A. (2004). Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *International Journal of Cardiology*, 94, 229-233.
- Petrakakis M.J., Kelessis A.G., Tzoumaka P.N., Samara C. (2013). Levels of suspended particulate matter before and after the economic crisis in Thessaloniki Greece. 17th International MESAEP Symposium Istanbul/Turkey, Sept 28 - Oct 1, 2013.
- Poloniecki, J.D., Atkinson, R.W., de Leon, A.P., Anderson, H.R. (1997). Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London U.K. *Occupational Environmental Medicine*, 54, 535-540.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Cale, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of American Medical Association*, 287, 1132-1141.
- Prezerakos, N.G., Paliatsos, A.G., Koukouletsos, K.V. (2010). Diagnosis of the relationship between dust storms over the Sahara Desert and dust deposit or coloured rain in the South Balkans. *Advances in Meteorology*, Volume 2010, Article ID 760546, 14 pages, (doi:10.1155/2010/760546).
- Saffari, A., Daher, N., Samara, C. Voutsas, D., Kouras, A. Manoli, E., Karagkiozidou, O., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N., Shafer, M.M., Schauer, J.J., and Sioutas, C. (2013). Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

Air Quality in Thessaloniki. Environmental Science and Technology, 47 (23), 13313-13320 (DOI: 10.1021/es403847h).

Samet, J. and Krewski, D. (2007). Health effects associates with exposure to ambient air pollution. Journal of Toxicology and Environmental Health, 70, 227-242.

Seaton, A., McNee, W., Donalson, K., Godden, D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. Lancet, 345, 176-178.

Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons.

Twomey, S. (1974). Pollution and the planetary albedo. Atmospheric Environment, 8, 1251-1256.

Σελίδες Διαδικτύου:

- p1:<http://users.sch.gr/organopoulos/glossari.htm>
- p2:<http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://www.inotos.gr/wp-content/uploads/2015/01/energy.png&imgrefurl=http://www.inotos.gr/archives/169197&h=453&w=905&tbnid=TVWkwXtxDeGeBM:&zoom=1&docid=MlFjq95jF7qZIM&ei=HA9BVerbE8PbaKbigbAE&tbnid=isch&ved=0CB8QMygXMBc4rAI>
- p3:http://meteoparea.blogspot.gr/2013/03/blog-post_6723.html
- p4:[http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/all/9785C89ED72AAFFAC22578BD0033E813/\\$file/stoixia_meteorologias.pdf?openelement](http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/all/9785C89ED72AAFFAC22578BD0033E813/$file/stoixia_meteorologias.pdf?openelement)
- p5:<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B115/90/712,2696/>
- p6:http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://www.deyat.gr/sites/default/themes/blueprint/images/kyklos_neroy.jpg&imgrefurl=http://www.deyat.gr/nero-kai-fysi&h=505&w=792&tbnid=0LT91vUiQq-b7M:&zoom=1&docid=0woahWIW-XRYrM&ei=duZEVebSAcqtUazhgFA&tbnid=isch&ved=0CCMQMygFMAU
- p7:<http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://www.env-edu.gr/documents/images//Air-Th-lm1.jpg&imgrefurl=http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id%>

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

[3D60&h=366&w =400&tbnid=DvHrTe78MIU6xM:&zoom=1&docid=7YNFM2H7k7tb8M&ei=jvFEVefxL4a8UfW7gbAH&tbnm=isch&ved=0CDAQMygSMBI](http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/Molyvdos.1113227865496.pdf)

- p8:http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/Molyvdos.1113227865496.pdf
- p9:<http://www.gcsl.gr/media/environment/Faliagas.pdf>
- p10:<http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2010/10/VOCs.pdf>
- p11:http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_vasilakos.pdf
- p12:<http://www.keelpno.gr/Portals/0/Αρχεία/Δημοφιλή-Συνέδρια%20κά/ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ%20αιθαλομίχλης/ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ%20ΤΗΣ%20ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΛΗΣ.pdf>
- p13:<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/>
- p14: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Volcano>
- p15:<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=18939&eocn=image&eoci=morenh>
- p16:<http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/index.html>
- p:17:<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols>
- p18:<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols>
- p19:http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf?ua=1
- p20:<http://www.vipapharm.com/greek/free-online-journals/medical/medical-articles/saxinidis/somatidia.htm>
- p21: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols>
- p22:<http://www.diffbtwn.com/2010/01/difference-between-organic-and.html>
- p23:http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf?ua=1

“Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής.”

- p24:<http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=2C68B45C-1>
- p25:<http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/All/201271F15CD0C153C2257B3>
- p26:<http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/All/201271F15CD0C153C2257B3>
- p27:<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- p28:<http://www.pm10.uth.gr/>
- p29:http://www.mie.uth.gr/files/1999_30_EC.pdf
- p30:http://www.wondergreece.gr/v1/el/Perioxes/N_Axaias/Gia_tin_perioxi/Poleis_Xwria/1300-Patra
- p31:<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%AC%CF%84%CF%81%CE%B1>
- p32:<http://www.cesapo.upatras.gr/index.php/el/project-description-gr>
- p33:<https://www.google.gr/maps/@38.2082161,21.5522035,58735m/data=!3m1!1e3>
- p34:<http://www.thebest.gr/news/index/viewStory/234567>
- p35:<https://www.google.gr/maps/place/%CE%A0%CE%AC%CF%84%CF%81%CE%B1/@38.252515,21.7382504,18.53z/data=!4m2!3m1!1s0x135e3599a524ed2d:0x400bd2ce2b98ca0>
- p36:<http://symposio-poiaellada.auth.gr/sites/default/files/sections/final-samara.pdf>
- p37:<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=359059>
- p38:<http://www.cesapo.upatras.gr/newsletters/2012/NewsletterI GR.pdf>