



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

“ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΞΙ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ”

Υπό: ΝΤΡΕΛΙΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος
Μηχανολόγου Μηχανικού





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

“ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΞΙ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ”

Υπό: ΝΤΡΕΛΙΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος
Μηχανολόγου Μηχανικού

2019

© 2019 Κωνσταντίνα Ντρέλια

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας, από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του προπτυχιακού πενταετές διπλώματος του τμήματος Μηχανολόγων μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Πριν την παρουσίαση του θέματος και των συμπερασμάτων της διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους, που με βοήθησαν στο ταξίδι αυτής της συγγραφής.

Πρώτον από όλους, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής αυτής, καθηγητή Νικόλαο Ανδρίτσο, για τη σημαντική καθοδήγηση του και την εμπιστοσύνη που έδειξε, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τις ευχαριστίες μου θέλω εγκάρδια να δώσω στους καθηγητές Αναστάσιο Σταματέλλο και Βασίλειο Μποντόζογλου, που δέχθηκαν να είναι τα άτομα, που πλαισίωσαν την τριμελή επιτροπή αξιολόγησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Χρήστο και Ελένη και τον αδερφό μου Φώτη, που με υπομονή και εκτίμηση πρόσφεραν την κατάλληλη υποστήριξη, μέχρι το τέλος της ολοκλήρωσης της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΞΙ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ»

Ντρέλια Κωνσταντίνα

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2019

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος, Καθηγητής Πειραματικών Φαινομένων
Μεταφοράς

Σκοπός της διπλωματικής είναι η συλλογή πληροφοριών που αφορούν τα ποσοστά των σωματιδίων $PM_{2.5}$ και PM_{10} στις ευρωπαϊκές πόλεις Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Λονδίνο, Παρίσι, Στοκχόλμη και Ελσίνκι.

Πρώτα, γίνεται μια εκτενή αναφορά στο τί είναι η αέρια ρύπανση (Κεφάλαιο 1^ο). Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κατηγορίες των σωματιδίων $PM_{2.5}$ και PM_{10} και οι πηγές τους, τον τρόπο με τον οποίο μετριοούνται, καθώς και ποια είναι τα αποδεκτά ποσοστά σε διάφορες πόλεις από τη νομοθεσία (Κεφάλαιο 2^ο).

Μετά γίνεται μια αναλυτική μελέτη, για την κάθε πόλη, ξεχωριστά, με στόχο να εξηγηθούν, τί ρόλο παίζουν η γεωγραφία και το τοπικό κλίμα στα υπάρχοντα ποσοστά, ποιοι άλλοι λόγοι υπάρχουν, που επιβαρύνουν την κατάσταση, καθώς και αν είναι αποδεκτά ή όχι τα ποσοστά αυτά. Επιπλέον, μέσα από αυτές τις πόλεις, θα υπάρξουν κάποιες που θα μπορούσαν να αποτελέσουν πρότυπο οικολογικής συμπεριφοράς, γι' αυτό και θα αναλυθεί αρκετά ο τρόπος, με τον οποίον το κατάφεραν (Κεφάλαιο 3^ο και 4^ο).

Στο κείμενο, υπάρχουν περιγραφικές εικόνες, που διευκολύνουν τον αναγνώστη να κατανοήσει το αντικείμενο, το οποίο αναλύεται σε αυτή τη διπλωματική, όπως, επίσης, και διαγράμματα, που βοηθούν στην καλύτερη παρουσίαση των ποσοστών $PM_{2.5}$ και PM_{10} .

ABSTRACT

«ANALYSIS OF ATMOSPHERIC POLLUTION AND CONCENTRATION OF AEROSOL IN SIX EUROPEAN COUNTRIES»

Ntrelia Konstantina

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2018

Supervisor: Dr. Nikolaos Andritsos

Professor of Experimental Transport Phenomena

The scope of this thesis was the selection of information that concern the percentages of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the European cities Athens, Thessaloniki, London, Paris, Stockholm and Helsinki.

Firstly, there is an extensive report of what is the air pollution (Chapter 1st). Subsequently, the categories of $PM_{2.5}$ and PM_{10} and their sources are introduced, as well as, the method with which they are calculated. In the end, there are data of the appropriate percentages of different cities, taken from the official legislation (Chapter 2nd).

Furthermore, there is an analytic research for each city, separately, aiming to explain what is the influence of geography and local climate in the percentages of particulate matters, what others sources exist that they have worsen the conditions, as well as, if these percentages are acceptable or not. In addition, from these cities, there would be two which they could be an example of eco-friendly behavior and for this reason it will be analyzed, the manner, with which they have succeeded it (Chapter 3rd and 4th).

In the text, there are descriptive images, which help the reader to visualize the scope of this thesis, and diagrams, which create a better presentation of the percentages of $PM_{2.5}$ and PM_{10} , too.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	3
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ	7
1.3 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ	9
1.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ	11
1.5 ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ	12
1.6 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ	14
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	18
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	22
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ	22
2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	26
2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΣΗΣ	33
2.5 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	35
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	37
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΡΡΟΕΣ.....	40
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40
3.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ	40
3.3 ΥΓΡΑΣΙΑ	41
3.4 ΚΑΤΑΙΓΙΔΑ ΑΜΜΟΥ	41
3.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	42
3.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ	45
4.1 ΑΘΗΝΑ & ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (ΕΛΛΑΔΑ)	45
4.1.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	45
4.1.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	46
4.2 ΛΟΝΔΙΝΟ (ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ)	50
4.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ.....	51
4.2.2 ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	52
4.2.3 ΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ ΣΗΜΕΡΑ	53
4.3 ΠΑΡΙΣΙ (ΓΑΛΛΙΑ).....	56
4.3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ & ΚΛΙΜΑ.....	56
4.3.2 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	57
4.4 ΣΤΟΚΧΟΛΜΗ (ΣΟΥΗΔΙΑ).....	60
4.4.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ & ΚΛΙΜΑ.....	61
4.4.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	62
4.4.3 ΑΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	63
4.4.4 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΣΟΥΔΙΑΣ.....	64
4.5 ΕΛΣΙΝΚΙ (ΦΙΛΑΝΔΙΑ).....	64
4.5.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ.....	65
4.5.2 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Συγκέντρωση PM_{10} σωματιδίων σε χώρες της Ευρώπης για το 2014.....	σελ.11
Πίνακας 1.2: Συγκέντρωση $PM_{2.5}$ σωματιδίων σε χώρες της Ευρώπης για το 2014.....	σελ.15
Πίνακας 2.1: Προσδιορισμός του μεγέθους ορισμένων ειδών σωματιδίων.....	σελ.24
Πίνακας 2.2: Νομοθετικά όρια για PM_{10} και $PM_{2.5}$ στην Αυστραλία.....	σελ.35
Πίνακας 2.3: Νομοθετικά όρια για PM_{10} και $PM_{2.5}$ στο Hong Gong.....	σελ.35
Πίνακας 2.4: Νομοθετικά όρια για PM_{10} και $PM_{2.5}$ στην Ευρώπη.....	σελ.35
Πίνακας 2.5: Νομοθετικά όρια για PM_{10} και $PM_{2.5}$ στις Η.Π.Α.....	σελ.35
Πίνακας 2.6: Νομοθετικά όρια για PM_{10} και $PM_{2.5}$ στη Νότια Κορέα.....	σελ.36
Πίνακας 2.7: Νομοθετικά όρια για PM_{10} και $PM_{2.5}$ στην Ιαπωνία.....	σελ.36
Πίνακας 2.8: Νομοθετικά όρια για PM_{10} και $PM_{2.5}$ στην Κίνα.....	σελ.36
Πίνακας 4.1.1: Μέσος όρος PM σωματιδίων σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη για την περίοδο 2011-2012 (σε $\mu\text{g}/\text{mm}^3$).....	σελ.48
Πίνακας 4.1.2: Συγκέντρωση PM σωματιδίων στα σημεία Α,Β,Γ,Δ, για την περίοδο 2011-2012 (σε $\mu\text{g}/\text{mm}^3$).....	σελ.48
Πίνακας 4.2.1: Συγκέντρωση PM_{10} σωματιδίων στο σημείο Α για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε $\mu\text{g}/\text{mm}^3$).....	σελ.54
Πίνακας 4.2.2: Συγκέντρωση $PM_{2.5}$ σωματιδίων στο σημείο Α για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε $\mu\text{g}/\text{mm}^3$).....	σελ.54
Πίνακας 4.2.3: Συγκέντρωση PM_{10} σωματιδίων στο σημείο Β για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε $\mu\text{g}/\text{mm}^3$).....	σελ.55
Πίνακας 4.2.4: Συγκέντρωση $PM_{2.5}$ σωματιδίων στο σημείο Β για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε $\mu\text{g}/\text{mm}^3$).....	σελ.55

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Παγκόσμιος χάρτης με τις χώρες που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κιότο την περίοδο 2013-2020.....	σελ.4
Σχήμα 1.2: Φωτογραφίες της εποχής που παρουσιάζουν την κατάσταση της αιθαλομίχλης στο Λονδίνο του 1952.....	σελ.5
Σχήμα 1.3: Μνημείο στη Μποπάλ της Ινδίας προς τιμήν των θυμάτων της καταστροφής του 1984.....	σελ.5
Σχήμα 1.4: Η κατάσταση του εργοστασίου μετά την έκρηξη.....	σελ.6
Σχήμα 1.5: Πως μολύνθηκαν οι χώρες μετά την έκρηξη και την διασπορά της ραδιενεργής ύλης.....	σελ. 6
Σχήμα 1.6: Χάρτης που υποδεικνύει τις χώρες που έχουν την περισσότερη αστική μόλυνση.....	σελ. 8
Σχήμα 1.7: Ανθρωπογενής πηγή ρύπανσης από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων.....	σελ. 8
Σχήμα 1.8: Περιβαλλοντική πηγή ρύπανσης.....	σελ.9
Σχήμα 1.9: Το τσιγάρο είναι ένα από τους ρύπους εσωτερικού χώρου που περιέχει τουλάχιστον 22 δηλητηριώδεις ουσίες.....	σελ.12
Σχήμα 1.10: Κλεψύδρα που δηλώνει την εξασθένηση του πλανήτη σε σχέση με το χρόνο.....	σελ.17
Σχήμα 2.1: Σύγκριση της διαμέτρου των PM ₁₀ και PM _{2.5} σε σχέση με την ανθρώπινη τρίχα.....	σελ.23
Σχήμα 2.2: Το λατομείο Καβάλας αποτελεί μία ανθρωπογενής πηγή.....	σελ.25
Σχήμα 2.3: Η έρημος της Ιουδαίας αποτελεί μία φυσική πηγή.....	σελ.25
Σχήμα 2.4: Κονιοσκόπιο που δημιουργήθηκε από τον ερευνητή Owens.....	σελ.26
Σχήμα 2.5: Μηχανισμός διαδοχικής πρόσκρουσης από την εταιρεία Casella.....	σελ.27
Σχήμα 2.6: Σχηματική απεικόνιση ενός προσκρουστήρα.....	σελ.27
Σχήμα 2.7: Σχηματική περιγραφή ενός τυπικού θερμικού κατακρημνιστή Green & Watson.....	σελ.28
Σχήμα 2.8: Απεικόνιση διαδικασίας λειτουργίας ηλεκτροστατικού κατακρημνιστή για δειγματοληψία σκόνης.....	σελ.28
Σχήμα 2.9: Οι εσωτερικές και επιφανειακές δομές ενός φίλτρου μεμβράνης με θεωρητικό μέγεθος πόρου 0.8 μm.....	σελ.29
Σχήμα 2.10: Σχηματική απεικόνιση CNC.....	σελ.31
Σχήμα 2.11: Το μικροσκόπιο που αναπτύχθηκε από τον Siedentopf και τον Zsigmondy το 1903.....	σελ. 31

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.12: Η διαδικασία των ακτινών Χ.....	σελ.32
Σχήμα 2.13: Σχηματική παρουσίαση κυκλώνα.....	σελ.33
Σχήμα 2.14: Σχηματική παρουσίαση σακόφιλτρων.....	σελ.33
Σχήμα 2.15: Σχηματική παρουσίαση ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	σελ.34
Σχήμα 2.16: Σχηματική παρουσίαση πλυντρίδας.....	σελ.34
Σχήμα 3.1: Καταιγίδα σκόνης στο Ηράκλειο.....	σελ.42
Σχήμα 3.2: Πυρκαγιά στον Εύρο.....	σελ.42
Σχήμα 3.3: Ευρωπαϊκός χάρτης που υποδεικνύει τις χώρες που θα μελετηθούν.....	σελ.43
Σχήμα 4.1.1: Αιθαλομίχλη στην Αθήνα.....	σελ.46
Σχήμα 4.1.2: Χάρτης Νομού Αττικής (Αθήνα).....	σελ.47
Σχήμα 4.1.3: Χάρτης Νομού Θεσσαλονίκης.....	σελ.47
Σχήμα 4.1.4: Αφρικανική σκόνη στην Αθήνα.....	σελ.50
Σχήμα 4.2.1: Ο χάρτης του Λονδίνου.....	σελ.51
Σχήμα 4.2.2: Σύννεφο ρύπους στο Λονδίνο.....	σελ.53
Σχήμα 4.3.1: Χάρτης Παρισιού.....	σελ.57
Σχήμα 4.3.2: Σύννεφο ρύπους στο Παρίσι.....	σελ.60
Σχήμα 4.4.1: Χάρτης Στοκχόλμης.....	σελ. 61
Σχήμα 4.4.1: Χάρτης που αντιπροσωπεύει το Ελσίνκι.....	σελ.65

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό σε όλους ότι η εκτεταμένη χρήση των αυτοκινήτων, η κατάχρηση της τεχνολογίας, οι εξορύξεις και η κατανάλωση των φυσικών πόρων επιβαρύνουν την φύση, όπως με την περίπτωση της ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η απαρχή των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων ξεκίνησε με την ανάπτυξη της έρευνας, της εφευρετικότητας, της κατασκευής και του σχεδιασμού μηχανών. Αυτή η “τεχνολογική λαιμαργία”, που συνδέθηκε με το πλούτο και τη διευκόλυνση της καθημερινότητας, οδήγησε στο χτίσιμο των βιομηχανιών και στην καύση καυσίμων, χωρίς να υπάρξει έρευνα, για τα κόστη που θα γεννηθούν. Ο άνθρωπος απομακρύνθηκε από τη φύση, σε σημείο που να μην τον ενδιαφέρει πια το περιβάλλον στο οποίο ζει. Γι’ αυτό έχει έρθει η κατάσταση που, πλέον, υπάρχουν οντότητες στον πλανήτη που δεν έχουν αναπνεύσει ποτέ ολοκάθαρο αέρα.

Όταν έγιναν αντιληπτά μερικά από τα αντίκτυπα της βιομηχανικής ανάπτυξης, ορισμένοι ερευνητές, αγνοώντας τα χρήματα και με πυξίδα την ηθική τους, αποφάσισαν να ερευνήσουν τα ανησυχητικά φαινόμενα, που παρατηρούσαν. Με την αναγνώριση του κινδύνου, το πρόβλημα έγινε γνωστό στους κυβερνώντες και στους πληθυσμούς, για να παρθούν μέτρα.

Δυστυχώς, τα τελευταία χρόνια, το μεγαλύτερο ποσοστό των χωρών έχει μείνει μόνο στη θεωρία παρά στην πράξη. Αν και με πάθος δημιουργήθηκαν κέντρα ελέγχου, σχεδιάστηκαν μέτρα, θεσμοθετήθηκαν όρια, όλα αυτά γίνονται δύσκολα να εφαρμοστούν. Μερικά από αυτά τα φαινόμενα, όπως αυτό του εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας με αερολύματα, δεν έχει προσδιοριστεί πλήρως και χρειάζονται, ακόμη, χρόνια και ανάπτυξη της τεχνολογίας, για να γίνουν πλήρως κατανοητά.

Τα αερολύματα, που αποτελούν κίνδυνο για τους ανθρώπους, ανακαλύπτονται μέχρι και σήμερα. Η βάση της διπλωματικής εργασίας είναι τα σωματίδια PM_{10} και $PM_{2.5}$. Είναι ουσιαστικό να αναφερθεί ότι, με τον καιρό, ανακαλύπτονται σωματίδια μικρά, με το όνομα $PM_{1.0}$, που έχουν διάμετρο μικρότερη από 1 μm , υπάρχουν στον αέρα που αναπνέουμε και ακόμα δε ξέρει κανείς ακριβώς από πού πηγάζουν και τί συνέπειες δημιουργούν.

Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζονται οι πηγές ρύπανσης σε έξι πόλεις της Ευρώπης. Επίσης, διευκρινίζεται αν παίζει ρόλο η γεωγραφική θέση και το κλίμα αυτών των περιοχών, για τη συσσώρευση των σωματιδίων στον αέρα. Τέλος, κατά την παρουσίαση της κατάστασης των πόλεων, περιγράφονται και ενέργειες, οι οποίες έχουν γίνει, ανάλογα με το πρόβλημα και τη δράση της κυβέρνησης.

Το πρώτο βήμα, για να καταλάβει κανείς, ποιες είναι οι πηγές ρύπανσης, πρέπει πρώτα να κατανοήσει τί είναι τα σωματίδια, πώς μοιάζουν και, κυρίως, γιατί πρέπει να τους δοθεί σημασία. Τι προκαλούν στον άνθρωπο και γιατί είναι επικίνδυνα; Γνωρίζοντας αυτό, κάποιος μπορεί να καταλάβει τι προκάλεσε την ατμοσφαιρική ρύπανση. Αντίστοιχα, πρέπει να δώσει και προσοχή

στο πώς να προφυλάσσεται. Υπάρχουν σημαντικά παραδείγματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που επιδεικνύουν τη σοβαρότητα του θέματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο του κύριου θέματος, το οποίο αρχίζει να αποκτά χαρακτήρα πιο επιστημονικό, περιγράφονται οι πρώτες μέθοδοι καταμέτρησης των σωματιδίων και πως εξελίχθηκαν κατά τη διάρκεια των χρόνων. Σήμερα κάθε χώρα και κάθε πανεπιστήμιο έχουν ειδικούς σχεδιασμένους μετρητές, στους οποίους το μόνο που αλλάζει είναι η τεχνολογία, γιατί η κεντρική ιδέα βασίζεται στις παλιές θεωρίες.

Το επόμενο κομμάτι της εργασίας αφορά την παρουσίαση των έξι πόλεων, δίνοντας έμφαση σε διαφορετικές πηγές εκπομπής στην κάθε μία. Σκοπός είναι να γίνει κατανοητός ο τρόπος, με τον οποίο παίζει ρόλο, η γεωγραφική θέση και το κλίμα των αερολυμάτων σε μια περιοχή αλλά και να τονιστεί ότι η μεγαλύτερη “πηγή ρύπανσης” προέρχεται από τις ενέργειες των πολιτών. Αυτός ήταν και ο λόγος που με ενθουσίασε το θέμα αυτής της διπλωματικής. Αυτό, ωστόσο, ήταν και το πιο δύσκολο κομμάτι, γιατί σε μία ερευνητική εργασία δεν είναι συνετό να υπάρξει συναισθηματική προσέγγιση του θέματος και επίπληξη των πολιτών.

Ένα άλλο ενδιαφέρον κομμάτι, ήταν η μελέτη των σωματιδίων, καθώς από τα σχολικά χρόνια δε γίνεται αναφορά σε αυτό το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως σε άλλα περιβαλλοντολογικά θέματα. Η πρώτη επαφή ήρθε μέσα από το πανεπιστήμιο και η περιέργεια μου με οδήγησε στο να θέλω να προσεγγίσω την ύπαρξη αυτής από όλες τις πλευρές.

Το δύσκολο στην εκπόνηση της εργασίας ήταν ότι όλες οι χώρες δεν είχαν δημοσιευμένα στοιχεία που αντιπροσώπευαν το σήμερα. Πολλές φορές, όπως στην περίπτωση της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, προσπάθησα να βγάλω συμπεράσματα από συγκεκριμένα έρευνες που αφορούσαν συγκεκριμένες τοποθεσίες και ιδιαίτερα παλαιότερες. Η παραπληροφόρηση, επίσης, ήταν ένα ακόμα εμπόδιο καθώς η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα θέμα που θυμίζει “εμπόλεμη ζώνη” μεταξύ επιστημόνων αλλά και μη.

Τα αποτελέσματα είναι πολύ ενδιαφέροντα και οδηγούν και σε άλλους προβληματισμούς, όπως πώς η οικονομία της κάθε χώρας μπορεί να παίζει ρόλο στην αντιμετώπιση της ρύπανσης του πλανήτη ή πόσο σημαντική είναι η συμμετοχή των πολιτών. Τέτοιες ανησυχίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν την αφορμή, για να δημιουργηθούν νέες θεματολογίες διπλωματικών εργασιών.

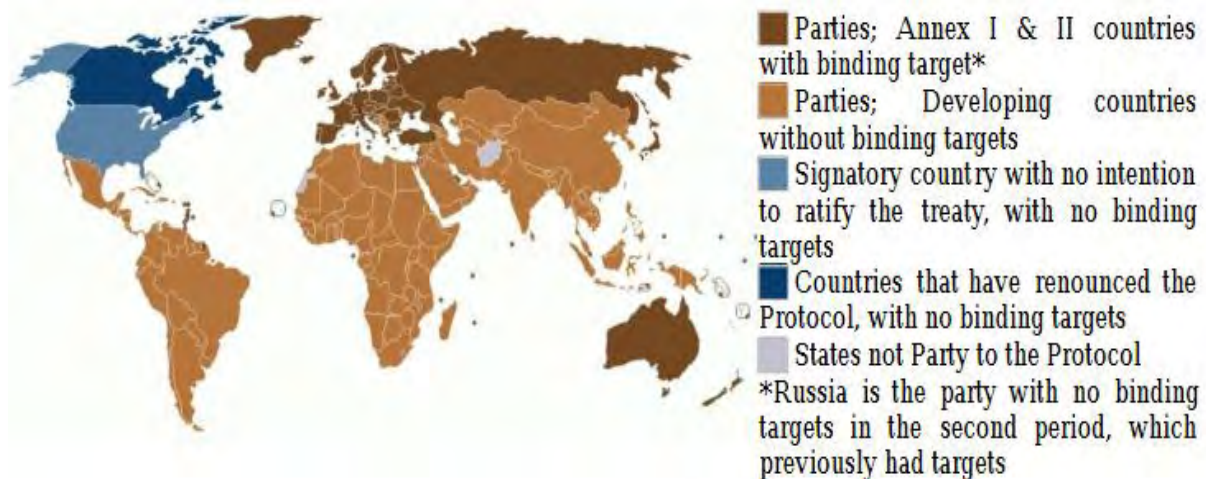
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι σήμερα ένα από τα κυριότερα παγκόσμια προβλήματα, το οποίο ενδυναμώθηκε τον τελευταίο αιώνα και με το οποίο ασχολούνται τόσο μια σημαντική μερίδα επιστημόνων όσο και πολλοί πολιτικοί σε κάθε χώρα. Η ανάγκη και οι τρόποι για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος συζητούνται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, ενώ σχεδόν όλοι οι άνθρωποι σε αυτό τον πλανήτη αναγνωρίζουν το πρόβλημα και συχνά το ταυτίζουν είτε με τη μορφή αιθαλομίχλης είτε με τη μορφή των εκπομπών καυσαερίων από τα αυτοκίνητα. Ωστόσο, η αέρια ρύπανση είναι σίγουρα κάτι παραπάνω από αυτό που φανταζόμαστε και, ίσως, πιο επικίνδυνη από αυτό που περιμένουμε.

Αν και η αέρια ρύπανση φαίνεται να έγινε αντιληπτή στους ανθρώπους μετά τη βιομηχανική επανάσταση και κυρίως τα τελευταία 100 χρόνια, προβλήματα αέριας ρύπανσης φαίνεται να υπήρχαν και να αναφέρονται ήδη από την αρχαιότητα. Για παράδειγμα, στη Ρωμαϊκή εποχή το σύννεφο καπνού από καύση ξύλων ονομαζόταν «*gravioris caeli*» [1a] (βαρύς ουρανός) ή και «*infamis aer*» (διαβόητος αέρας) [1b]. Σε νεότερες εποχές, με την εκτεταμένη χρήση του άνθρακα και του χάλυβα, σε χώρες όπως η Αγγλία, οι Η.Π.Α. και ο Καναδάς, ο καπνός ήταν ένα δείγμα πλούτου αλλά και κίνδυνος δημόσιας υγείας. Ο καπνός τότε συμβόλιζε την εργασία και την ευημερία. Λίγοι ήταν αυτοί που αντιλήφθηκαν τον κίνδυνο των υπερβολικών εκπομπών καπνού και όσοι εναντιώθηκαν στην κατάχρηση των πρώτων υλών και επεσήμαναν τις επιπτώσεις που θα υπήρχαν, θεωρήθηκαν ακατάλληλοι επιστήμονες. Αντίστοιχα, για τα προβλήματα υγείας που εμφανίστηκαν εξαιτίας της ρύπανσης της ατμόσφαιρας κατηγορήθηκαν άλλες ασθένειες της εποχής.

Σήμερα, ένα από τα πιο σημαντικά γεγονότα, που έχουν γίνει για έναν “καθαρότερο πλανήτη”, είναι το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο υιοθετήθηκε αρχικά τον Δεκέμβριο του 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου του 2005 [2]. Σύμφωνα με το οποίο τα κράτη, που το υπέγραψαν (βλ. Σχήμα 1.1 [3]), θα πρέπει να λάβουν τα περιοριστικά μέτρα που ορίστηκαν με σκοπό να ελαττωθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τις εκπομπές του 1990.



Σχήμα 1.1

Παγκόσμιος χάρτης με τις χώρες που συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο του Κιότο την περίοδο 2013-2020.

Ο λόγος που ο κίνδυνος από την ατμοσφαιρική ρύπανση έγινε σημαντικός τα τελευταία χρόνια είναι γιατί χιλιάδες άνθρωποι πεθαίνουν από προβλήματα υγείας, που προκαλούνται από την ύπαρξη της, χωρίς να το αναγνωρίζουν, επειδή οι επιπτώσεις της δεν είναι άμεσες παρά μόνο συμβαίνουν σε βάθος χρόνου. Κατά κύριο λόγο, περιπτώσεις στις οποίες η αέρια ρύπανση γίνεται αμέσως αντιληπτή είναι μόνο σε βιομηχανικά ατυχήματα ή οξέα περιβαλλοντικά επεισόδια. Τέτοια επεισόδια υπήρξαν και κινητοποίησαν τον κόσμο, για το πρόβλημα της ρύπανσης, στοίχισαν, όμως, για την ανθρωπότητα, αναρίθμητες απώλειες. Τέτοια παραδείγματα είναι:

Παράδειγμα 1ο : Λονδίνο Αγγλίας, Δεκέμβριος του 1952 [4]

Εξαιτίας του βαρύ χειμώνα και της αυξημένης ανάγκης για θέρμανση, αυξήθηκε σημαντικά η χρήση του άνθρακα (πλούσιο σε θείο). Οι αυξημένες εκπομπές SO₂ του καπνού σε συνδυασμό με άλλους βιομηχανικούς ρύπους και ένα φαινόμενο, που ονομάζεται “θερμοκρασιακή αναστροφή^α” [5], οδήγησε στη δημιουργία μιας τοξικής αιθαλομίχλης^β [6α] (βλ. Σχήμα 1.2 [7]) που είχε αποτέλεσμα τουλάχιστον 8 000 θανάτους και 100 000 αναπνευστικά κρούσματα στους κατοίκους.

^α Είναι το φαινόμενο στο οποίο αντί η θερμοκρασία να μειώνεται με το ύψος, αυξάνεται και αυτό συμβαίνει γιατί ο θερμός και μολυσμένος αέρας, που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της Γης, ανεβαίνει προς τα πάνω στα ψυχρά ρεύματα, επειδή έχει μικρότερη πυκνότητα.

^β Ένα είδος ατμοσφαιρικής ρύπανσης που δημιουργείται από μίγμα καπνού και ομίχλη στον αέρα.



Σχήμα 1.2

Φωτογραφίες της εποχής που παρουσιάζουν την κατάσταση της αιθαλομίχλης στο Λονδίνο του 1952.

Παράδειγμα 2ο : Μποπάλ Ινδίας, Δεκέμβριος του 1984 [8]

Σε ένα εργοστάσιο, που δεν πληρούσε καθόλου τους περιβαλλοντικούς όρους και προδιαγραφές, έγινε διαρροή 40 τόνων ισοκυανικού μεθυλίου, η οποία μέχρι να γίνει αντιληπτή είχε καλύψει όλη την πόλη. Σχεδόν 3 000 άνθρωποι πέθαναν σε μικρό χρονικό διάστημα τότε, ενώ 20 000 πέθαναν μέσα στα επόμενα χρόνια. Οι κατηγορούμενοι, επτά ανώτατοι υπάλληλοι της ινδικής θυγατρικής της αμερικάνικης χημικής εταιρείας Union Carbide, καταδικάστηκαν σε δύο χρόνια φυλάκισης και το πρόστιμο των 470 εκατομμύρια δολάρια στην κυβέρνηση της Ινδίας! Προς τιμήν των θυμάτων της καταστροφής χτίστηκε μνημείο στη πόλη (Σχήμα 1.3 [9]).



Σχήμα 1.3

Μνημείο στη Μποπάλ της Ινδίας προς τιμήν των θυμάτων της καταστροφής του 1984.

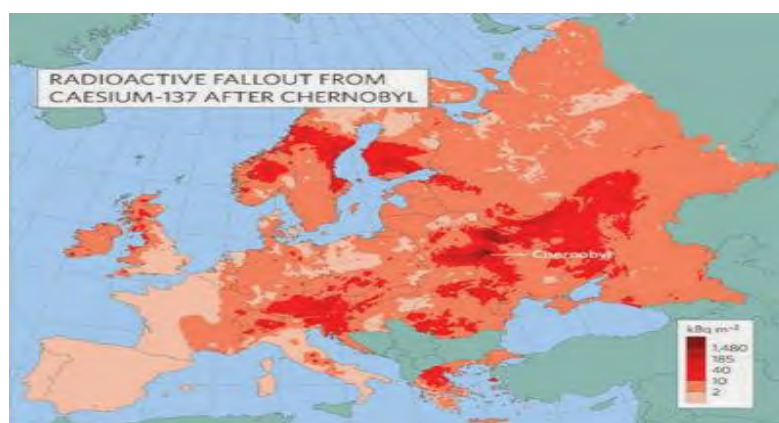
Παράδειγμα 3ο : Τσερνόμπιλ Ουκρανίας, Απρίλιος του 1986 [10]

Το ατύχημα στο Τσερνόμπιλ προήλθε από μια σειρά μη προβλεπόμενων χειρισμών και οφείλεται στις σχεδιαστικές ατέλειες του αντιδραστήρα RBMK-1000, που είχε το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας. Το μέγεθος της καταστροφής αυξήθηκε από την έλλειψη εκπαίδευσης και εξοπλισμού του προσωπικού, η οποία οδήγησε σε σοβαρά λάθη εκτίμησης της πραγματικής κατάστασης. Μπορεί οι νεκροί τότε να ήταν όσοι βρίσκονταν στο εργοστάσιο, ωστόσο, εκατοντάδες άνθρωποι διαγνώστηκαν με καρκίνο, μεταλλάξεις, λευχαιμία στα επόμενα χρόνια, λόγω της επαφή με το ραδιενεργό υλικό, που κατά την έκρηξη απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα. Το εργοστάσιο καταστράφηκε με την έκρηξη ολοσχερώς (βλ. Σχήμα 1.4 [11]), ενώ με την κίνηση των αέριων μαζών, η ραδιενεργή ρύπανση απλώθηκε σχεδόν σε όλη την Ευρώπη και στη χώρα μας (βλ. Σχήμα 1.5 [12]).



Σχήμα 1.4

Η κατάσταση του εργοστασίου μετά την έκρηξη.



Σχήμα 1.5

Πως μολύνθηκαν οι χώρες μετά την έκρηξη και την διασπορά της ραδιενεργής ύλης.
(Προσαρμοσμένο από Smith and Beresford, 2005)

1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ

Τι είναι όμως η ατμοσφαιρική ρύπανση;

Ατμοσφαιρική ρύπανση, ή αλλιώς αέρια ρύπανση είναι η παρουσία στην εξωτερική ατμόσφαιρα ενός ή περισσότερων ουσιών ή ρύπων σε ποσότητες οι οποίες είναι ή μπορεί να είναι επιβλαβείς ή επιζήμιες για την ανθρώπινη υγεία ή ευεξία, για την ύπαρξη των ζώων και των φυτών ή των περιουσιών [13]. Με άλλα λόγια, η οποιαδήποτε αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του αέρα που μπορεί να έχει αντίκτυπο στους ζωντανούς οργανισμούς και όχι μόνο. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μία αλλαγή στο φυσικό περιβάλλον ή σε ένα οικοσύστημα. Πιο συγκεκριμένα, η αλλαγή αυτή προκαλείται από την διάχυση επιβλαβών ουσιών και σωματιδίων στον καθαρό αέρα με αποτέλεσμα να αναπνέονται από τους οργανισμούς, να εισάγονται στο σώμα τους και να προκαλούν προβλήματα υγείας.

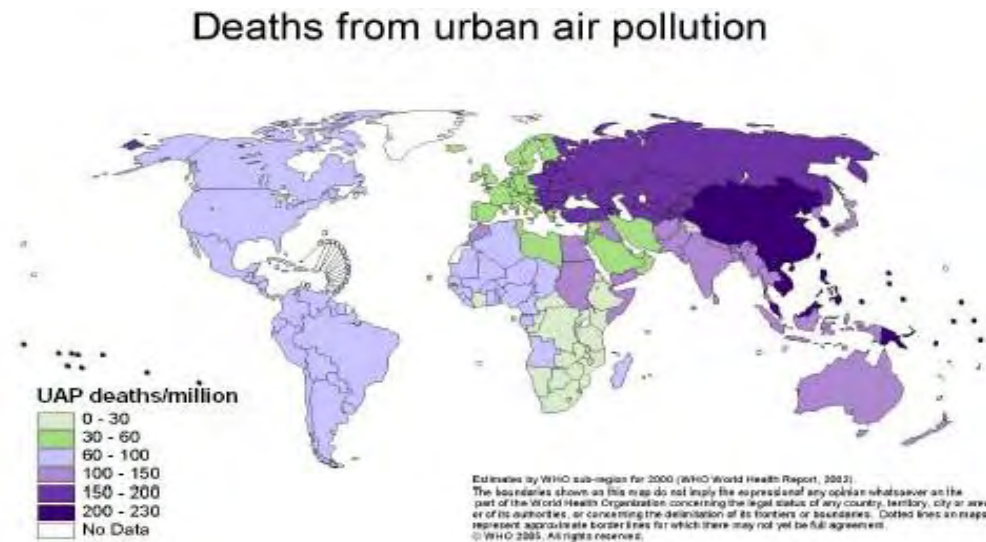
Με την ατμοσφαιρική ρύπανση ασχολούνται πολλοί οργανισμοί και οργανώσεις και έχουν προειδοποιήσει για τους επικείμενους κινδύνους, που θα υπάρξουν αν δεν αλλάξουμε συμπεριφορά προς το περιβάλλον. Μερικές από αυτές είναι η WHO (World Health Organization), που ασχολείται με θέματα παγκόσμιας υγείας, η EPA (Environmental Protection Agency) των Η.Π.Α., που ασχολείται με περιβαλλοντολογικά προβλήματα, η ΕΕΑ (European Environment Agency) για την Ευρώπη, και πολλές άλλες (Union of Concerned Scientists, Earthjustice, Greenpeace κτλ.) [14]. Επίσης, πέρα από τις οργανώσεις, πολλά πανεπιστήμια διενεργούν έρευνες πάνω στα διάφορα θέματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Υπάρχει σαφώς μία αναντίρρητη ανάγκη για τη συνεργασία κυβερνήσεων, οργανισμών και πανεπιστημίων, για να δοθεί μια αποτελεσματική λύση σε θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εξαιτίας της σοβαρότητας του προβλήματος. Τέλος, φημισμένοι επιστήμονες, όπως ο Stephen Hawking [15], έχουν μιλήσει για την παγκόσμια ρύπανση, χαρακτηρίζοντας την ως «την μεγαλύτερη παγκόσμια απειλή»! Το Σχήμα 1.6 [16] είναι ένας παγκόσμιος χάρτης που δείχνει ποια είναι η αστική μόλυνση σε κάθε χώρα.

Το βασικό βήμα, για να κατανοήσουμε τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να αντιμετωπιστεί ή, έστω, να μειωθεί το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι να εντοπίσουμε τις πηγές από τις οποίες προέρχεται. Οι πηγές αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις φυσικές (που οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα) και τις ανθρωπογενείς. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά παραδείγματα:

Ανθρωπογενείς πηγές [17a]

1. Καύση βιομάζας
2. Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγής ορυκτών καυσίμων, αποτεφρωτήρες κ.λπ.
3. Αυτοκίνητα και άλλα μέσα μαζικής μεταφοράς (π.χ. Σχήμα 1.7 [18])
4. Γεωργικά λιπάσματα, ελεγχόμενες πρακτικές καύσης κ.λπ.

5. Κόλλες, καθαριστικά, σπρέι, αρωματικά, προϊόντα οικιακής χρήσης
6. Απόθεση αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής (μεθάνιο)
7. Στρατιωτικά μέσα (πυρηνικά όπλα, τοξικά αέρια κ.λπ.)



Σχήμα 1.6

Χάρτης που υποδεικνύει τις χώρες που έχουν την περισσότερη αστική μόλυνση.
(Προσαρμοσμένο από την WHO, 2002)



Σχήμα 1.7

Ανθρωπογενής πηγή ρύπανσης από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων.

Περιβαλλοντικές πηγές [17b]

1. Σκόνη από φυσικές πηγές (π.χ. έρημος)
2. Μεθάνιο από φυσικές πηγές
3. Ραδόνιο από τη ραδιενεργή διάσπαση του φλοιού της Γης
4. Καπνός από πυρκαγιές
5. Χημικές ουσίες που εκπέμπονται από τη βλάστηση
6. Ηφαιστειακή δραστηριότητα (βλ. Σχήμα 1.8 [19])



Σχήμα 1.8
Περιβαλλοντική πηγή ρύπανσης.

1.3 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ

Τόσο από τις ανθρωπογενείς πηγές όσο και τις φυσικές, εκπέμπονται βλαβερές ουσίες, που μπορούν να αποβούν μοιραίες, για τους οργανισμούς. Για να τις ξεχωρίζουν καλύτερα, τις κατατάσσουν σε δύο κατηγορίες, στις πρωτογενείς και στις δευτερογενείς [20].

Πρωτογενείς ρύποι είναι αυτοί που εκπέμπονται κατευθείαν από πηγές, ενώ **δευτερογενείς ρύποι** είναι αυτοί που δεν εκπέμπονται αλλά δημιουργούνται από τις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται από τους πρωτογενείς ρύπους, όταν απελευθερωθούν και αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους. Οι πιο σημαντικοί πρωτογενείς ρύποι είναι:

- Τα **οξείδια του θείου** [21a], [22a] και ιδιαίτερα το SO_2 . Προέρχονται είτε από ηφαιστειακή δραστηριότητα, είτε από πολλές βιομηχανικές διεργασίες αφού τόσο το πετρέλαιο όσο και άνθρακας περιέχουν θείο, το οποίο με την καύση μετατρέπεται σε SO_2 . Περαιτέρω οξείδωση του SO_2 , συνήθως παρουσία ενός καταλύτη όπως NO_2 , σχηματίζει H_2SO_4 , που οδηγεί στη δημιουργία όξινης βροχής. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που πρέπει να αποφεύγονται όσο είναι δυνατόν τα ορυκτά καύσιμα.
- Τα **οξείδια του αζώτου** [21b], [23a] εξέρχονται από την καύση σε υψηλές θερμοκρασίες και παράγονται, επίσης, κατά τη διάρκεια καταιγίδων με ηλεκτρική εκκένωση. Ιδιαίτερα, το διοξείδιο του αζώτου είναι η χημική ένωση με τον τύπο NO_2 και είναι ένας από τους πιο σημαντικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους (κοκκινωπό-καφέ τοξικό αέριο).
- Το **διοξείδιο του άνθρακα** [21c], [24] έχει χαρακτηριστεί ως ο «κύριος ρύπος», γιατί είναι αυτό που συμμετέχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Προέρχεται είτε από την φύση (φυτά, αναπνοή του ανθρώπου κ.λπ.), είτε από βιομηχανικές δραστηριότητες (καύση ορυκτών).
- Αντίστοιχα, το **μονοξείδιο του άνθρακα** [25a] είναι άοσμο, άχρωμο, τοξικό και πολύ επιβλαβές. Είναι προϊόν καύσης φυσικού αερίου, άνθρακα ή ξύλου. Επίσης, μεγάλη ποσότητα από αυτό προέρχεται από τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Όταν απελευθερωθεί, δημιουργεί μία μορφή νέφους το οποίο, με την αναπνοή, εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα των οργανισμών, γεγονός που οδηγεί στην εμφάνιση σοβαρών ασθενειών.
- Οι **πηκτικές οργανικές ενώσεις (VOCs)** [26a] είναι οποιαδήποτε ένωση άνθρακα (εκτός από το μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, ανθρακικό οξύ, μεταλλικά καρβίδια, ανθρακικά άλατα και ανθρακική αμμωνία) που συμμετέχει σε ατμοσφαιρικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Μερικές αναγνωρισμένες τοξικές ουσίες οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία VOCs είναι το τολουόλιο, το ξυλόλιο, το βενζόλιο και ορισμένα συστατικά σε αιθέρια έλαια. Μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα, δερματικό ερεθισμό και μόνιμα προβλήματα σε νεογέννητα.
- Τα σωματίδια ή εναλλακτικά τα **σωματίδια PM** [21d], [27a] είναι, ίσως, ο χειρότερος και ο πιο βλαβερός ρύπος. Είναι πολύ μικρά σωματίδια υγρά ή στερεά. Πολλές φορές, συνδυάζονται με κάποιο αέριο και έχουν την μορφή αεροζόλ. Μπορούν να προέρχονται φυσικά όπως από μία έρημο ή κάποιο ηφαίστειο αλλά μπορούν να παράγονται και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Κατά κύριο λόγο, πηγάζουν από τις βιομηχανίες και θεωρούνται οι πιο επικίνδυνοι ρύποι, γιατί η διάμετρος των σωματιδίων είναι τόσο μικρή που μπορούν εύκολα να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα. Σήμερα, αντιπροσωπεύουν το 10% της ατμόσφαιρας.
- Οι **ελεύθερες ρίζες** [28] (άτομα ή μόρια που έχουν ένα αζευγάρωτο ηλεκτρόνιο στην εξωτερική τους στοιβάδα) βρίσκονται συνδεδεμένες με αερομεταφερόμενα σωματίδια και δημιουργούν στον άνθρωπο καρδιοπνευμονικές νόσους.
- **Τοξικά μέταλλα** [29] είναι τα μέταλλα που έχουν υψηλή πυκνότητα αλλά είναι τοξικά και δηλητηριώδεις ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (ο υδράργυρος ή ο μόλυβδος).

- Οι **χλωροφθοράνθρακες (CFC)** [30a] επιβάρυναν περισσότερο από όλους τους υπόλοιπους ρύπους την τρύπα του όζοντος. Είναι χημικές ενώσεις που περιέχουν τα στοιχεία της χλωρίνης, του φθορίου και του άνθρακα. Αυτά είναι τα αέρια που απελευθερώνονται από κλιματιστικά, ψυγεία, σπρέι αεροζόλ κ.λπ. Δεν προέρχονται από καμία φυσική πηγή. Κατά την απελευθέρωση τους στον αέρα, τα CFCs φτάνουν στη στρατόσφαιρα. Έρχονται σε επαφή με άλλα αέρια και βλάπτουν τη στιβάδα του όζοντος. Με την εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος, που λειτουργεί σαν ασπίδα στις υπεριώδεις ακτινοβολίες του ήλιου, έχει αυξηθεί κατά πολύ ο καρκίνος. Οι χλωροφθοράνθρακες βλάπτουν, επίσης, και τη χλωρίδα της Γης.
- Η **αμμωνία (NH₃)** [31] προέρχεται κυρίως από την ατέρμονη και λανθασμένη χρήση των λιπασμάτων στη γεωργία. Σε ένα βαθμό, είναι απαραίτητη για τις διατροφικές ανάγκες των φυτών και αποτελεί συστατικό στοιχείο στα φάρμακα. Η πλεονάζουσα ποσότητα της, που αφήνεται, όμως, ελεύθερη με την υπερβολική χρήση της, την καθιστά επικίνδυνη, γιατί είναι καυστική.
- Οι **ραδιενεργοί ρύποι** [32], προερχόμενοι από πυρηνικά εργοστάσια ή εφαρμογές στρατιωτικού εξοπλισμού.

Επίσης, όσον αφορά τους δευτερογενείς ρύπους ως υψίστης σημασίας θεωρούνται:

- Η **αιθαλομίχλη** [6b] είναι μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης η οποία προκαλείται από την καύση στερεών καυσίμων, κυρίως, ξύλου και κάρβουνου. Αποτελείται από σωματίδια αιθάλης (κοινώς: καπνιάς), από τα οποία παίρνει και το όνομά της, καθώς και από το δηλητηριώδες αέριο διοξείδιο του θείου.
- Το **όζον (O₃)** [33a] του εδάφους σχηματίζεται από τις πτητικές ουσίες, όταν αντιδρούν με τα NO_x. Το όζον αποτελεί, κανονικά, βασικό συστατικό της τροπόσφαιρας. Είναι, επίσης, ένα σημαντικό συστατικό ορισμένων περιοχών της στρατόσφαιρας, που είναι γνωστό ως στιβάδα του όζοντος. Σε μεγάλες ποσότητες, παραγόμενο από ανθρωπογενείς πηγές, αποτελεί ρύπος και συστατικό του νέφους.
- Το **νιτρικό υπεροξυακετύλιο** [34] (C₂H₃NO₅) όπου σχηματίζεται από τα NO_x και άλλες ουσίες όπως το όζον ή τα PM σωματίδια.

1.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ

Η αέρια ρύπανση βρίσκεται τόσο σε **εσωτερικούς χώρους** όσο σε **εξωτερικούς**. Σε πολλές περιπτώσεις, μάλιστα, οι ρύποι που υπάρχουν εντός “σπιτιού” αποδείχτηκαν ότι είναι περισσότεροι και πιο επιβλαβείς από ότι αυτοί που υπάρχουν στο εξωτερικό περιβάλλον. Ορισμένοι τύποι ρύπων, που εντοπίζονται σε εσωτερικούς χώρους είναι [35]:

- Άσβεστος (κατασκευαστικά υλικά)
- Ραδόνιο
- Καπνός από τσιγάρο (βλ. Σχήμα 1.9 [36])

- Μικρόβια
- Μούχλα, γύρη
- Μονοξείδιο του άνθρακα (καύσιμο, καπνός τσιγάρου) [25b]
- Σκόνη, σωματίδια
- Φορμαλδεΐδη (καύσιμα)
- VOC (βαφή, διαλύτες) [26b]

Μπορούμε να αποφύγουμε μεγάλο ποσοστό αυτών, αν προσέχουμε τα προϊόντα, που αγοράζουμε, να χρησιμοποιούμε αγνά υλικά, να αντικαταστήσουμε την χλωρίνη και να αερίζουμε συχνά το χώρο.



Σχήμα 1.9

Το τσιγάρο είναι ένα από τους ρύπους εσωτερικού χώρου που περιέχει τουλάχιστον 22 δηλητηριώδεις ουσίες.

1.5 ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ

Δυστυχώς, η υπερβολική κατανάλωση πρώτων υλών και οι εργασίες που εκτελούνται με αυτές μπορεί να έχουν κάνει την καθημερινότητα πιο εύκολη, ωστόσο δε παύουν να παράγουν βλαβερούς ρύπους, που έχουν βαριές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αύξηση πολλών ασθενειών έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια, ενώ πολλές νέες έχουν εμφανιστεί. Κάθε ρύπος προκαλεί διαφορετική εξασθένηση του οργανισμού στους ανθρώπους. Μερικοί ρύποι και οι επιπτώσεις που προκαλούν είναι οι εξής:

- Το **μονοξείδιο του άνθρακα** [25c] εισέρχεται από το αναπνευστικό σύστημα και συνδέεται με την αιμοσφαιρίνη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα περισσότερα μόρια

αιμοσφαιρίνης να συνδέονται με το μονοξείδιο του άνθρακα παρά με το οξυγόνο, με αποτέλεσμα να μην οξυγονώνεται σωστά ο οργανισμός. Έτσι, ένας άνθρωπος μπορεί να αποκτήσει θολή όραση, απώλεια αισθήσεων και θάνατο λόγω ασφυξίας (έλλειψη οξυγόνου).

- Το **διοξείδιο του θείου** [22b] δημιουργεί κατάρρευση του αναπνευστικού συστήματος και έντονους πονοκεφάλους.
- Οι **χλωροφθοράνθρακες** [30b] επηρεάζουν έμμεσα τους ανθρώπους. Εξασθενούν την στοιβάδα του όζοντος, με αποτέλεσμα περισσότερη υπεριώδης ακτινοβολία να φτάνει στη Γη, πράγμα που οδηγεί σε αύξηση των κρουσμάτων καρκίνου του δέρματος ή τυφλώσεις.
- Τα **οξείδια του αζώτου** [23b] εξασθενούν το αναπνευστικό σύστημα.
- Τα **PM σωματίδια** [27b] βλάπτουν το αναπνευστικό και το οπτικό σύστημα του ανθρώπου.

Σε έρευνα, που δημοσιεύθηκε στην εφημερίδα Guardian στις 20 Οκτωβρίου του 2017 με τίτλο “Global pollution kills 9m a year and threatens survival of human societies” [37], αποδείχθηκε ότι ένας στους έξι ανθρώπους πεθαίνουν από τη ρύπανση της Γης, ενώ ο αριθμός των θανάτων είναι τριπλάσιος από αυτόν που πεθαίνουν από Aids, ελονοσία και φυματίωση μαζί. Η συντριπτική πλειοψηφία των θανάτων από ρύπανση συμβαίνουν σε φτωχότερα έθνη και σε μερικά, όπως η Ινδία, το Τσαντ και η Μαδαγασκάρη, η ρύπανση προκαλεί το ένα τέταρτο όλων των θανάτων. Στην Ινδία, ετησίως πεθαίνουν περίπου 1,2 εκατομμύρια άνθρωποι σε πληθυσμό 1,3 δισεκατομμύρια πολιτών [38]. Με μία ματιά στους αριθμούς θα έλεγε κανείς ότι τα ποσοστά σε σχέση με τον πληθυσμό της χώρας είναι μικρά. Στην πραγματικότητα, όμως, θάνατοι λόγω της ρύπανσης του πλανήτη είναι μάταιοι και μπορούν να μειωθούν αν υπάρχει καλύτερη διαχείριση των πόρων και εκτέλεση των διαδικασιών αντιρρύπανσης αλλά και των κανόνων συντήρησης της καθαριότητας των χώρων.

Πέραν από το αντίκτυπο που έχει στους ανθρώπινους οργανισμούς, σοβαρές επιπτώσεις υπάρχουν και στο περιβάλλον. Όμως, όταν το περιβάλλον νοσεί, περισσότερες ασθένειες αναπτύσσονται και ταλαιπωρούν τους οργανισμούς και τον ίδιο τον άνθρωπο. Μερικά από αυτά τα προβλήματα που υπάρχουν σήμερα είναι:

- Η όξινη βροχή [39], που προέρχεται από την αντίδραση του **νιτρικού** και του **θειικού οξέως** με μόρια νερού, καταστρέφει τα δέντρα με την οξύτητα της, μολύνει τα υδάτινα οικοσυστήματα κάνοντας το νερό όξινο, με αποτέλεσμα να μην το αντέχουν τα ψάρια, ενώ, συγχρόνως, καταστρέφει τα μνημεία.
- Η **αυξημένη ποσότητα του αζώτου** που υπάρχει πλέον στα οικοσυστήματα, οδήγησε σε υπερβολική κατανάλωση των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά. Δυστυχώς, η υπερβολική κατανάλωση μπορεί να σκοτώσει τους ζωντανούς οργανισμούς. Επίσης, ο εμπλουτισμός του νερού σε οργανική ύλη, που αποτελεί τροφή για τα θαλάσσια φυτά,

οδήγησε στο φαινόμενο του ευτροφισμού [40], δηλαδή στην αύξηση της φυτικής ζωής στη θάλασσα, κάτι που διαταράσσει το οικοσύστημα.

- Το φωτοχημικό νέφος [41] προέρχεται από τα οξείδια του αζώτου όταν αντιδρούν με τις υπεριώδεις ακτινοβολίες του ήλιου. Εντοπίζεται, κυρίως, σε πυκνοκατοικημένες πόλεις και έχει τη μορφή καφέ ομίχλης.
- Επίσης, όταν μέσω της βροχής, οι ρύποι μεταφέρονται πάνω στα φυτά που αποτελούν τροφί για τα ζώα, με αυτό τον τρόπο εισχωρούν μέσα στους ζωντανούς οργανισμούς και μπορούν να προκαλέσουν γενετικές ανωμαλίες.
- Μία από τις πιο σοβαρές επιπτώσεις που υπάρχουν από την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος [42]. Εκτός από τα δερματολογικά προβλήματα που μπορεί να προκληθούν στον άνθρωπο, αφού δεν υπάρχει πια αρκετή προστασία από τις ακτίνες του ήλιου, ένα ακόμη βασικό μειονέκτημα είναι ότι η υπερβολική ακτινοβολία που απορροφάται πλέον από τα φυτά προκαλεί το αντίθετο από το να τα βοηθάει να αναπτυχθούν.
- Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως **το όζον** [33b], μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες ζημιές στη χλωρίδα, όπως μειωμένη απόδοση των δασών, μειωμένη ανάπτυξη των δέντρων και αυξημένη ευαισθησία σε ασθένειες, παράσιτα και άλλους παράγοντες όπως οι καταιγίδες.
- Τέλος, το πιο δραματικό φαινόμενο που εμφανίστηκε από την ατμοσφαιρική ρύπανση δεν είναι άλλο από την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος του πλανήτη όπου οδηγεί στο λιώσιμο των πάγων και στη διαταραχή των υδάτινων οικοσυστημάτων, στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να μην αντέχουν τα φυτά και να επιβιώνουν πιο πολλά μικρόβια και ιοί. Στη ραγδαία αυτή αλλαγή δεν προλαβαίνουν να προσαρμοστούν οι οργανισμοί.

Όλα αυτά πλήττουν δραματικά εμάς και τους γύρω μας, αλλάζουν τις συνθήκες διαβίωσης των οργανισμών με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην είναι σίγουρη η αναπροσαρμογή τους, και επηρεάζουν τον πλανήτη, αλλάζοντας την βιοσύνθεση του. Καθώς περνάν τα χρόνια και δεν παίρνονται δραστικά μέτρα, οι αλλαγές θα είναι όλο και πιο μεγάλες και πόσα ακόμη νέα προβλήματα θα δημιουργηθούν είναι άγνωστο...

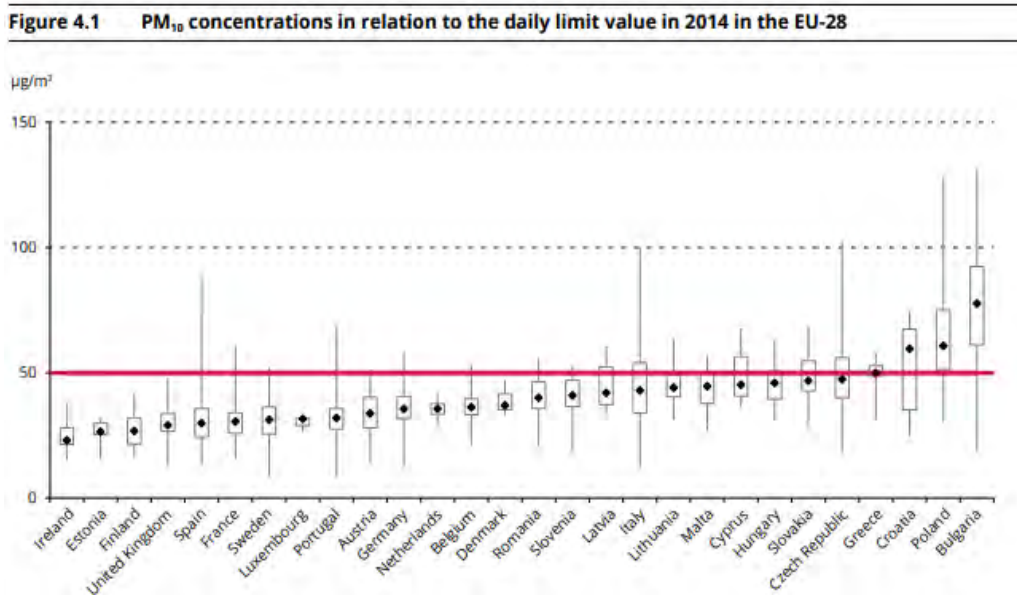
1.6 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Η Κίνα, μία παγκόσμια βιομηχανικά δύναμη, βρίσκεται στις χώρες με την μεγαλύτερη αέρια ρύπανση. Ιδιαίτερα, σε μια έρευνα που δημοσιεύτηκε στις 14 Φεβρουαρίου του 2017 από το CNBC με τίτλο “Around 2.2 million deaths in India and China from air pollution: Study” [43] και αφορούσε το έτος 2015, υποστηρίχθηκε ότι πάνω από 2,2 εκατομμύρια θάνατοι συνέβησαν από τον τοξικό και βρώμικο αέρα (πληθυσμός Κίνας 1,3 δισεκατομμύρια) αυτής.

Αντίστοιχα, στην Ευρώπη από το site της Euronews με τίτλο “Which European countries are the most polluted?” [44] που δημοσιεύτηκε στις 18 Μαρτίου του 2017 δείχθηκε ότι η Βοσνία-Ερζεγοβίνη, η Βουλγαρία, η Αλβανία και η Ουκρανία έχουν τα υψηλότερα ευρωπαϊκά ποσοστά θνησιμότητας, που οφείλονται στην οικιακή και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στον Πίνακα 1.1 και 1.2 δίνονται τα ποσοστά σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5}, για ευρωπαϊκές χώρες [45].

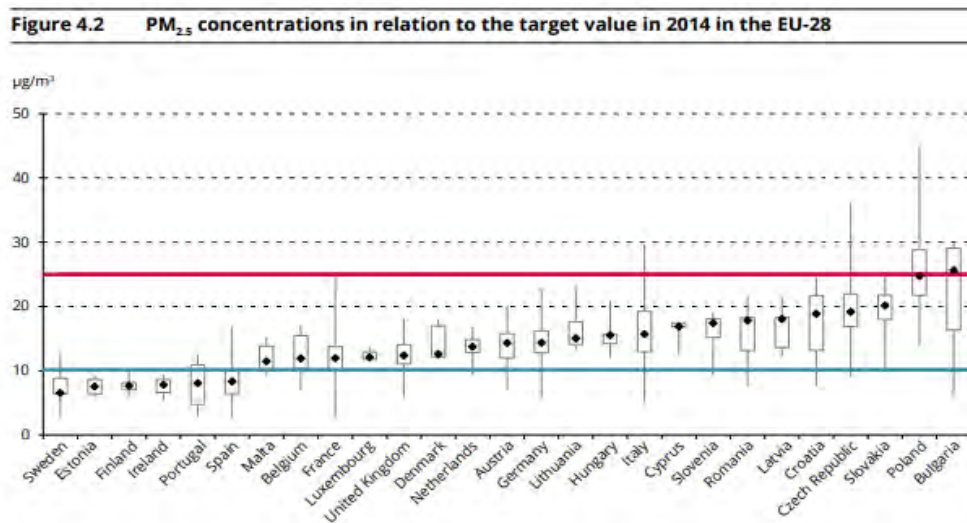
Πίνακας 1.1

Συγκέντρωση PM₁₀ σωματιδίων σε χώρες της Ευρώπης για το 2014.
(Προσαρμοσμένο από την European Environmental Agency)



Πίνακας 1.2

Συγκέντρωση PM_{2.5} σωματιδίων σε χώρες της Ευρώπης για το 2014.
(Προσαρμοσμένο από την European Environmental Agency)



Δυστυχώς, η ατμοσφαιρική ρύπανση, σε μεγάλο βαθμό, προέρχεται από τα καυσαέρια των εργοστασίων, από τις εξορύξεις πρώτων υλών αλλά και από την καύση ορυκτών καυσίμων. Φαντάζονται λίγες οι πηγές αυτές, ώστε να είναι αρκετές, για να οδηγήσουν στη ρύπανση των οικοσυστημάτων. Όμως, πώς θα ήταν η ζωή χωρίς ηλεκτρισμό ή υλικά για να χτιστούν τα σπίτια;

Η ρύπανση του πλανήτη, όπως προαναφέρθηκε, ξεκίνησε από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης και την κατασκευή των πρώτων μέσων μετακίνησης. Εκείνη την εποχή, επειδή χτίστηκαν πολλά εργοστάσια, δεν υπήρξε χρόνος, για να αντιληφθούν τα μελλοντικά προβλήματα ρύπανσης που θα σχηματιζόντουσαν στον πλανήτη. Σε πολλές περιπτώσεις, όταν έγιναν αντιληπτά τα προβλήματα αυτά ήταν αργά και δεν υπήρχε επιστροφή (π.χ. εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος).

Σήμερα, μετά από τόσα χρόνια, έχουν δημιουργηθεί τα μέσα για την αντιμετώπιση των ρύπων. Ωστόσο, εξαρτάται από την κάθε εταιρεία και εκάστοτε κυβέρνηση τι πολιτική θα ακολουθήσει όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα πολιτικής μη-περιβαλλοντολογικού χαρακτήρα, είναι η πολιτική που ακολουθεί ο πρόεδρος των Η.Π.Α. Donald Trump [46], όταν αποφάσισε να απορρίψει την στροφή του προκατόχου του Barack Obama στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στη μείωση εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα. Αντίθετα, ανακοίνωσε πως θα ενισχύσει την καύση ορυκτών καυσίμων και θα απορρίψει περιβαλλοντικούς κανονισμούς, που ίσχυαν και αποτελούσαν εμπόδιο στην ανάπτυξη των επιχειρήσεων. Ένα ακόμη από τα μέτρα, που είχε ανακοινώσει, είναι η περικοπή χορηγήσεων από τον προϋπολογισμό της EPA, ενώ προεκλογικά είχε ανακοινώσει ότι θα βγάλει τις Ηνωμένες Πολιτείες από τη συμφωνία του Παρισιού για το κλίμα.

Ένα πράγμα, όμως, που θα έπρεπε να προβληματίσει εταιρείες ή κυβερνήσεις με μη-οικολογικό χαρακτήρα είναι ότι γλυτώνουν κάποιο ουσιαστικό κόστος; Η ατμοσφαιρική ρύπανση κοστίζει στην παγκόσμια οικονομία 5 τρισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, ως αποτέλεσμα της απώλειας παραγωγικότητας και της υποβαθμισμένης ποιότητας ζωής, σύμφωνα με κοινή μελέτη της Παγκόσμιας Τράπεζας και του Ινστιτούτου Μετρήσεων και Αξιολόγησης της Υγείας (The world bank & Health Metrics and Evaluation [47]) στο Πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον. Αντίστοιχα, μείωση του εργατικού δυναμικού οφείλεται σε θανάτους λόγω ασθενειών, που προκλήθηκαν από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η μελέτη αυτή, παρόλα αυτά, τονίζει ότι μέσα σε αυτά τα κόστη δεν συμπεριλήφθηκαν τα επιπλέον έξοδα που υπάρχουν στον τομέα της υγείας, λόγω της αυξημένης εμφάνισης ασθενειών και τις γεωργικές απώλειες που υπάρχουν. Υπάρχει όμως κατανόηση του βαθμού της σοβαρότητας της κατάστασης; Είναι έτοιμη η ανθρωπότητα να αντιληφθεί την σοβαρότητα του φαινομένου της ρύπανσης του πλανήτη καθώς και τις συνέπειες της;

Ο προβληματισμός αυτός έχει παραμείνει ως θέμα συζήτησης κυρίως στους κύκλους της επιστημονικής κοινότητας, με τους πολίτες να έχουν άγνοια επί του θέματος. Οι επόμενες

γενιές θα πρέπει να αναπτύξουν μία συνείδηση περισσότερο οικολογική και να έχουν την ικανότητα να αντιλαμβάνονται τόσο τους κινδύνους όσο και την αναγκαιότητα προστασίας του πλανήτη. Το δύσκολο κομμάτι θα είναι να μπορέσουν να καταφέρουν τους στόχους, που θα θέσουν, για τη προστασία του περιβάλλοντος, έχοντας να αντιμετωπίσουν τον εχθρό, που ονομάζεται χρόνος (βλ. Σχήμα 1.10 [48]).



Σχήμα 1.10

Κλεψύδρα που δηλώνει την εξασθένηση του πλανήτη σε σχέση με το χρόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1a, b. Mark, Z. Jacobson (2012), *Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions*, 2nd Edition, Cambridge University Press.
2. Grubb, M. (2004) Chapter 5- "*Kyoto and the Future of International Climate Change Responses: From Here to Where?*". *International Review for Environmental Strategies*, No1, 15-38.
3. Sikora, Z., Kawalec, J., & Ossowski, R. (2013), A review on polish experience with dikes constructed on composite soils with anthropogenic contribution. Conference: 11th Slovak Conference on Geotechnical Engineering.
4. "Met Office Education: Teens – Case Studies – The Great Smog". Metoffice.gov.uk. [https://web.archive.org/web/20110605045420/http://www.metoffice.gov.uk/education/teens/casestudy_great_smog.html#p02, πρόσβαση 24.2.2019]
5. Μπουρούνης Α. (1983) Κεφάλαιο 20-Θερμοκρασιακή αναστροφή, *Η ρύπανση του περιβάλλοντος*, 75-93.
- 6a, b. Piazzesi, G. (2006). The Catalytic Hydrolysis of Isocyanic Acid (HNCO) in the Urea-SCR Process (PDF). *ETH Zurich*.
7. Backhouse, F. The Great Smog of London: Environmental disaster, England, United Kingdom [1952]. *Encyclopaedia Britannica*.
8. Broughton, E. (2005). The Bhopal Disaster and Its Aftermath: A Review. *Environmental Health* .
9. Fernandez, H. (2017). The Bhopal disaster. Stanford University.
10. The release, dispersion and deposition of radionuclides". *Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impact*, Chapter II,(2002).
11. Chernobyl disaster. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster, πρόσβαση 2.2.2019]
12. Almond, D., & Edlund, L. (2009), Chernobyl's legacy: Prenatal exposure to radioactive fallout and school outcomes in Sweden, *The Quarterly Journal of Economics*, 124 (4), 1729–1772.
13. What is air pollution?. *WHO*. [http://www.searo.who.int/topics/air_pollution/what-is-air-pollution.pdf?ua=1, πρόσβαση 9.2.2019]
14. List of accredited organizations. *UN Environment*. [<https://www.unenvironment.org/civil-society-engagement/accreditation/list-accredited-organizations>, πρόσβαση 2.2.2019]
15. Samuels, G. (2016). Stephen Hawking says pollution and 'stupidity' still biggest threats to mankind. *Independent*. [<http://www.independent.co.uk/news/science/stephen-hawking-pollution-stupidity-artificial-intelligence-warfare-biggest-threats-mankind-a7106916.html>, πρόσβαση 18.2.2018]

16. The urban environment. *WHO: World Health Organization*.
[<http://www.who.int/heli/risks/urban/en/>, πρόσβαση 5.3.2018]
- 17a, b. Green, J., (2018). What is the difference between Human and natural air pollution. *Sciencing*. [<https://sciencing.com/difference-between-human-natural-air-pollution-23687.html>, πρόσβαση 9.2.2019]
18. Industrial air pollution clean-up is on its way in 2018 (2018). *Air pollution control equipment*. [<https://www.airpollutioncontrolequipment.com/industrial-air-pollution-clean-up-is-on-its-way-in-2018/>, πρόσβαση 21.10.2018]
19. Η ρύπανση του αέρα. *ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ*.
[<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGYM-B202/11/1997,325/>, πρόσβαση 5.3.2018]
20. Armenta, S. & de la Guardia, M. (2016) Chapter 2- Pollutants and air pollution, *Comprehensive analytical chemistry*, 27-44, Elsevier
- 21a, b, c, d. Kent, C. (1998) Chapter 7- Basics of toxicology, 186-189, John Wiley and sons, USA.
- 22a, b. Bowen, B. & Irwin, M. (2007). Sulfur dioxide control technologies in electric power plants. *Indiana center of coal technology research*.
- 23a, b. Smil, V. (2001) Chapter 2- Nitrogen oxides and hydrocarbons, *Air pollution*, International encyclopedia of the social & behavioral sciences.
24. Selley, R. & Sonnenberg, S. (2015), The physical chemical properties of petroleum, *Elements of Petroleum Geology*, 13-39, Third Edition, Academic Press.
- 25a, b, c. Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution.
[<https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO>, πρόσβαση 9.2.2019]
- 26a, b. Tisserand, R. & Young, R. (2014), The respiratory system, *Essential Oil Safety*, Second Edition. Elsevier.
- 27a, b. Morabet, R. (2018), Effects of Outdoor Air Pollution on Human Health, *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, Elsevier.
28. Science for Environment policy: Environmentally persistent free radicals: what do we know about this newly recognized class of pollutants?. *European commission*.
[http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/environmentally_persistent_free_radicals_what_do_we_know_about_newly_recognised_class_of_pollutants_509na2_en.pdf, πρόσβαση 9.2.2019]
29. Duruibe, J., O., Ogwuegbu, M., O., C., & Ekwurugwu, J., N., (2007), Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International journal of physical sciences*, Chapter 2, 112-118.

- 30a, b. Chlorofluorocarbons (CFCs). *Scottish environmental protection agency*.
[<http://apps.sepa.org.uk/spria/pages/substanceinformation.aspx?pid=114>, πρόσβαση 9.2.2019]
31. Krupa S. V. (2003) Chapter 124-Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution*, 179-221, Elsevier.
32. Peremitina TO, Polishchuk IuM, Nesvetailo VD, (2007). Retrospective monitoring of radioactive pollution in zones of the nuclear industry impact. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*. Russia.
- 33a, b. Ground-level Ozone Basics. *United States Environmental Protection Agency*.
[<https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics#wwh>, πρόσβαση 9.2.2019]
34. Peel, L., J., Haeuber, R., Garcia, V., Russell, A., Neas, L., (2013). Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health.
35. Selected Pollutants: WHO selected guidelines for indoor air quality. *WHO*.
[http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf, πρόσβαση 9.2.2019]
36. Το τσιγάρο περιέχει 22 δηλητήρια!!! (2017). *Perierga.gr*. [<http://perierga.gr/2011/11/το-τσιγάρο-περιέχει-22-δηλητήρια>, πρόσβαση 5.3.2018]
37. Carrington, D., (2017). Global pollution kills 9m a year and threatens 'survival of human societies'. *The guardian, international edition*.
[<https://www.theguardian.com/environment/2017/oct/19/global-pollution-kills-millions-threatens-survival-human-societies>, πρόσβαση 20.2.2018]
38. Air pollution causes 1.2 million deaths in India annually; Delhi most polluted: Greenpeace report (2017). *The times of India*. [<https://timesofindia.indiatimes.com/india/air-pollution-causes-12-lakh-deaths-in-india-annually-delhi-most-polluted-greenpeace-report/articleshow/56478622.cms>, πρόσβαση 20.2.2018]
39. Likens, E., G. (2012), Acid rain, *Fundamentals of ecosystem science*, 326, Elsevier.
40. Istvánovics, V. (2009), Eutrophication of Lakes and Reservoirs, *Encyclopedia of inland water*. 157-165, Academic press.
41. Afework, B., Hanania, J., Stenhouse, K., Donev, J. (2018), Photochemical smog, *Energy education*, University of Galgary.
42. The ozone depletion phenomenon (1996). *The National academy of science*.
43. Frangoul, A., (2017). Around 2.2 million deaths in India and China from air pollution: Study. *CNBC*.
[<https://www.cnbc.com/2017/02/14/around-22-million-deaths-in-india-and-china-from-air-pollution-study.html>, πρόσβαση 20.2.2018]
44. Piere, B., (2017). Which European countries are the most polluted?. *euronews*.
[<https://www.euronews.com/2017/05/18/which-european-countries-are-the-most-polluted-who-statistics>, πρόσβαση 18.11.2019]

45. Air quality in Europe — (2016) report. No 28/2016. *European Environmental Agency*.
[file:///C:/Users/%CE%9A%CF%89%CE%BD%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B1/Downloads/THAL16127ENN_Air_quality_in_europe_report_2016.pdf, πρόσβαση 10.2.2019]
46. Jackson, D., (2016). "Scott Pruitt, Trump's pick to head the EPA, has sued the EPA". *USA Today*.
[<https://eu.usatoday.com/story/news/politics/elections/2016/2016/12/07/donald-trump-scott-pruitt-environmental-protection-agency/95104512/>, πρόσβαση 2.2.2019]
47. The cost of air pollution: strengthening the economic case for action. *The world bank*.
[<http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/The-cost-of-air-pollution-strengthening-the-economic-case-for-action>, πρόσβαση 2.2.2019]
48. Earth Hourglass (2015). *Artcop*²¹. [<http://www.artcop21.com/events/earth-hourglass/>, πρόσβαση 7.3.2018]

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια ή αλλιώς τα PM σωματίδια (Particulate Matter) [1] είναι από τους πιο σημαντικούς ρύπους στην ατμόσφαιρα και από τους πιο επιβλαβείς για τον άνθρωπο. Πρόκειται για σωματίδια των οποίων το μέγεθος τους ποικίλει, γι' αυτό και κατατάσσονται σε κατηγορίες. Μπορούν να είναι είτε υγρά είτε στερεά και συνήθως υπάρχουν με τη μορφή αερολύματος.

Αερολύματα (αεροζόλ) [2] είναι τα μικροσκοπικά σωματίδια που βρίσκονται διασκορπισμένα μέσα σε ένα αέριο. Στο ευρύ κοινό, το όνομα αεροζόλ χρησιμοποιείται στα σπρέι, που εξωθούν ένα καταναλωτικό προϊόν, με τη μορφή αερίου, από ένα μεταλλικό δοχείο. Άλλες τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν τη μορφολογία των αεροζόλ είναι η διασπορά φυτοφαρμάκων ή σε ιατρική θεραπεία αναπνευστικών ασθενειών. Ακόμη, οι ασθένειες μπορούν να εξαπλωθούν με μικρά σταγονίδια, με την αναπνοή, ή κατά το φτέρνισμα που ονομάζονται, επίσης, αερολύματα.

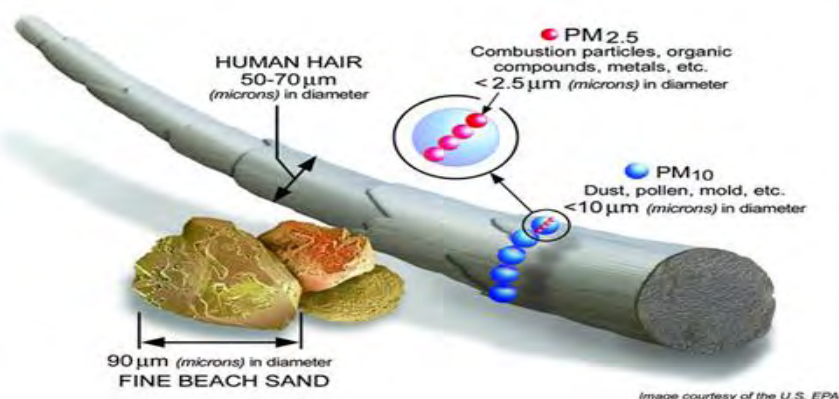
Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ένα θέμα πολύ αναγνωρισμένο και στενά συνδεδεμένο με τη ρύπανση του πλανήτη. Κατά το πέρασμα των χρόνων, η δράση τους έχει απασχολήσει πολλούς φημισμένους επιστήμονες. Η εμφάνιση τους στη βιβλιογραφία είχε ξεκινήσει, ήδη, από το πρώτο παγκόσμιο πόλεμο. Η ονομασία τους [3] προήρθε συγκρίνοντας τα με τα hydrosols, που είναι σωματίδια που διασκορπίζονται μέσα σε νερό και έχουν κolloειδή μορφή. Έτσι, τα αεροζόλ είναι συστήματα υγρών ή στερεών σωματιδίων μέσα σε ένα αέριο.

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ

Τα σημαντικά χαρακτηριστικά, που χρειάζεται να γνωρίζει κάποιος, για να σχεδιάσει τον τρόπο αντιμετώπισης τους, είναι το μέγεθος, το σχήμα, η πυκνότητα, η υφή, η ικανότητα διάβρωσης, η αντιδραστικότητα και η τοξικότητα. Όσον αφορά το μέγεθος, τα σωματίδια κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Τα **ολικά αιωρούμενα σωματίδια** ή **TSP (Total Suspended Particulate)** [4], είναι όλα τα σωματίδια που υπάρχουν με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 μm . Προκαλούν κυρίως αναπνευστικά προβλήματα.
- Ο ορισμός **PM₁₀** [5] χρησιμοποιείται για να περιγράψει σωματίδια που έχουν διάμετρο μικρότερη των 10 μm (βλ. Σχήμα 2.1 [6a], Πίνακας 2.1 [7a]). Αυτού του μεγέθους σωματίδια είναι αναπνεύσιμα και μπορούν να εισχωρήσουν (με την εισπνοή) κάτω από την περιοχή του ρινοφάρυγγα (μύτη και στόμα).
- Τα **PM_{2.5}** [8] είναι σωματίδια τα οποία έχουν διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (βλ. Σχήμα 2.1 [6b], Πίνακας 2.1 [7b]). Αυτά τα σωματίδια μπορούν και ταξιδεύουν κάτω από την τραχειοβρογχική περιοχή (τους πνεύμονες). Σημαντικό ποσοστό του παραγόμενου ανθρωπογενούς αερολύματος έχει αυτό το μέγεθος.
- Τα σωματίδια **PM_{1.0}** [9] έχουν διάμετρο μικρότερη του 1 μm (Πίνακας 2.1 [7c]) και έχουν ξεκινήσει να προσδιορίζονται από τους επιστήμονες τον τελευταίο καιρό, λόγω της μη ύπαρξης ικανού τεχνολογικού εξοπλισμού, για τον εντοπισμό τέτοιων και μικρότερων μεγεθών.
- Τέλος, τα **σωματίδια Ultrafine (UFP)** [10] είναι σωματίδια μεγέθους νανοκλίμακας (μικρότερη από 0,1 μm ή 100 nm σε διάμετρο) (Πίνακας 2.1 [7d]) και είναι μία κατηγορία για την οποία έχουν ξεκινήσει μελέτες τα τελευταία χρόνια. Δυστυχώς, θεωρείται από την επιστημονική κοινότητα, ότι αυτού του είδους σωματίδια είναι τα πιο επιθετικά.

Τα σωματίδια τα οποία κατασκευάζονται στα εργαστήρια έχουν ομοιόμορφο σφαιρικό μέγεθος. Ωστόσο, τα σωματίδια που είναι διασκορπισμένα από άλλες φυσικές πηγές, έχουν ακανόνιστο μέγεθος και είναι δύσκολο να προσδιοριστούν οι διαμέτρου τους. Για να μπορέσουν οι επιστήμονες να προσδιορίσουν τα σωματίδια, χρησιμοποιούν το μέγεθος *ισοδύναμη διάμετρος (de)* ή *αεροδυναμική διάμετρος* [11], η οποία είναι η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει τον ίδιο όγκο με αυτό ενός ακανόνιστου σωματιδίου και πυκνότητα $\rho=1\ 000\ \text{kg/m}^3$.

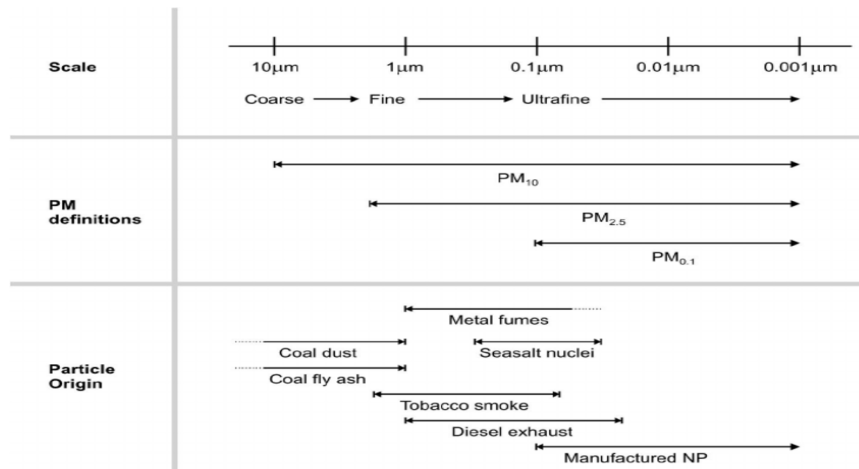


Σχήμα 2.1

Σύγκριση της διαμέτρου των PM₁₀ και PM_{2.5} σε σχέση με την ανθρώπινη τρίχα.
(Προσαρμοσμένο από EPA)

Πίνακας 2.1

Προσδιορισμός του μεγέθους ορισμένων ειδών σωματιδίων.
(Προσαρμοσμένο από ResearchGate, 2008)



Τα σωματίδια μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες [12]:

- **Πρωτογενή σωματίδια:** Απελευθερώνονται απευθείας στην ατμόσφαιρα από μεγάλο αριθμό ανθρώπινων και φυσικών πηγών.
- **Δευτερογενή σωματίδια:** Σχηματίζονται από φυσικές και χημικές αντιδράσεις από άλλους ρύπους. Συγκρατούνται με ισχυρούς ιοντικούς ή ομοιοπολικούς δεσμούς.

Τα σωματίδια αυτά μπορούν να είναι νιτρικά, θειικά, ανθρακικά, χλωριούχα άλατα, ενώσεις οργανικού άνθρακα, ιχνοστοιχεία, κ.λπ., και η χημική σύσταση των αερολυμάτων εξαρτάται από το μέρος από το οποίο εκπέμπονται. Σε περιοχές με ανθρωπογενή δραστηριότητα, παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις από θειικά και νιτρικά αερολύματα, ενώ σε παραθαλάσσιες περιοχές υπάρχουν, κυρίως, μεγάλες συγκεντρώσεις από χλωριούχο νάτριο.

Οι πηγές από τις οποίες προέρχονται τα αερολύματα μπορούν να είναι είτε ανθρωπογενείς είτε φυσικές. Οι εκπομπές σωματιδίων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες εξαρτώνται από τον εξοπλισμό, τις διεργασίες που προκαλούν την παραγωγή των σωματιδίων, και τις συνθήκες λειτουργίας σε αυτές. Έτσι, **ανθρωπογενείς πηγές** [13a] μπορούν να είναι:

- Όργανο
- Εργοτάξια ή δημόσια έργα, καταστροφή έργων
- Λατομεία (π.χ. Σχήμα 2.2 [14])
- Καύση στερεών ορυκτών καυσίμων, υγρών καυσίμων και βιομάζας
- Αυτοκίνητα, μέσα μεταφοράς

Αντίστοιχα, οι **φυσικές πηγές** [13b] μπορούν να είναι:

- Πυρκαγιά
- Ηφαίστεια
- Καιρικά φαινόμενα
- Γύρη
- Σκόνη από ερήμους (π.χ. Σχήμα 2.3 [15])
- Θερμοπίδακες
- Εξάτμιση αλατιού από τη θάλασσα



Σχήμα 2.2

Το λατομείο Καβάλας αποτελεί μία ανθρωπογενής πηγή.



Σχήμα 2.3

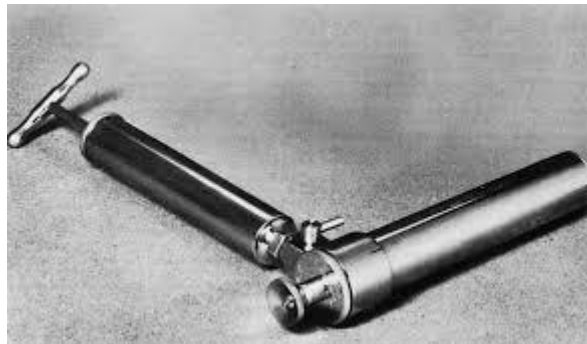
Η έρημος της Ιουδαίας αποτελεί μία φυσική πηγή.

2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Ανάλογα με το έτος που διατυπώθηκαν, οι μέθοδοι χωρίζονται σε προ-κλασικές (< 1900) και κλασικές. Οι προ-κλασικές μέθοδοι ήταν οι πρώτες προσπάθειες μέτρησης των αερολυμάτων και οι πρώτες αναφορές που έγιναν σε αυτά. Οι κλασικές μέθοδοι εμφανίζονται μέχρι και το 1950, δεν χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι όμως σημαντική η αναφορά σε αυτές από άποψη ιστορικής σημασίας αλλά και για την κατανόηση των νέων μεθόδων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ούτε λείζερ, ούτε κομπιούτερ, ούτε εργαλεία ανάλυσης υπήρξαν αυτήν την περίοδο. Όσον αφορά το σήμερα, οι κλασικές εξελίχθηκαν, με τη βοήθεια κατάλληλου κώδικα προγραμματισμού και τεχνολογικού εξοπλισμού, και οδηγήθηκαν στις νέες και ανανεωμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα.

Κλασική περίοδος

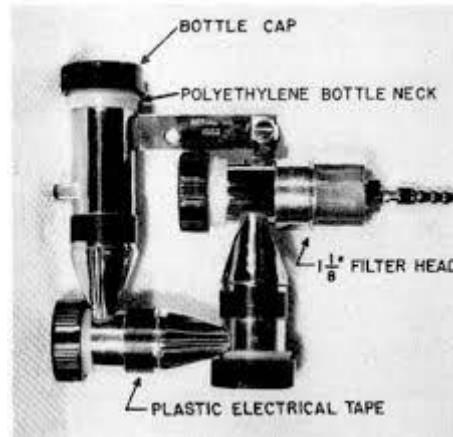
- **Κονιοσκόπιο (Konimeter)** [16a]: Τα σωματίδια σκόνης, διερχόμενα από ένα ακροφύσιο, συγκρούονταν σε μία πλάκα γυαλιού η οποία ήταν καλυμμένη από ένα φιλμ γλυκερίνης ή πετρελαίου και παγιδεύονταν. Τα πρώτα εμπορικά κονιοσκόπια παράχθηκαν από το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γερμανία γύρω στο 1930. Στο Σχήμα 2.4 [17] φαίνεται το κονιοσκόπιο που φτιάχτηκε από τον ερευνητή Owens. Με βάση τον αρχικό σχεδιασμό δημιουργήθηκαν πολλά νέα μοντέλα με τροποποιήσεις.



Σχήμα 2.4

Κονιοσκόπιο που δημιουργήθηκε από τον ερευνητή Owens.

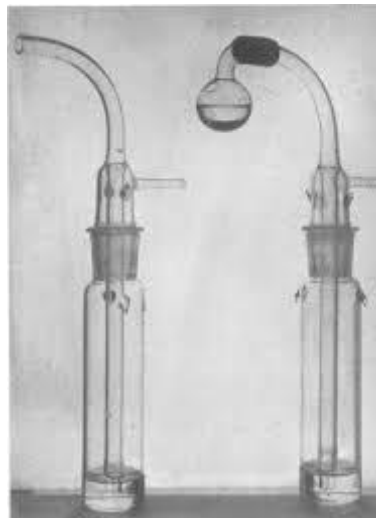
- **Όργανο διαδοχικών κρούσεων (Cascade impactors)** [16b]: Ήταν ένα όργανο το οποίο αποτελούνταν από τέσσερα στάδια κρούσης. Δημιουργήθηκε γύρω στο 1940 από τον May στην Αγγλία. Τέσσερις εκτοξευτήρες τοποθετούνταν ο ένας μετά τον άλλον. Ο αέρας περνούσε από κάθε στάδιο, συγκρούονταν στις επίπεδες επιφάνειες δειγματοληψίας, που ήταν καλυμμένες από κάποιο υγρό και στη συνέχεια πήγαιναν στο παρακάτω στάδιο. Κάθε στάδιο συγκέντρωνε λιγότερα σωματίδια από το προηγούμενο. Το αρχικό όργανο τροποποιήθηκε αρκετές φορές και υπήρξε εκδοχή του που αποτελούνταν από έξι στάδια. Παρακάτω, στο Σχήμα 2.5 [18] βλέπουμε ένα όργανο διαδοχικών κρούσεων.



Σχήμα 2.5

Μηχανισμός διαδοχικής πρόσκρουσης από την εταιρεία Casella.

- **Προσκραστήρας (Impingers) [16c]:** Το όργανο αυτό (βλ. Σχήμα 2.6 [19]) βασίστηκε στη λογική του κονιοσκόπιου. Η διαφορά τους ήταν ότι, μετά την πρόσκρουση του αέρα σε μία στερεή επιφάνεια, ακολουθούσε μία πρόσκρουση των σωματιδίων που συλλέχθηκαν στην αρχή σε ένα υγρό. Στη μέθοδο αυτή μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα υπήρξε, όταν τα σωματίδια είχαν διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μm . Η τεχνική αυτή εμφανίστηκε για πρώτη φορά μετά το 1920.



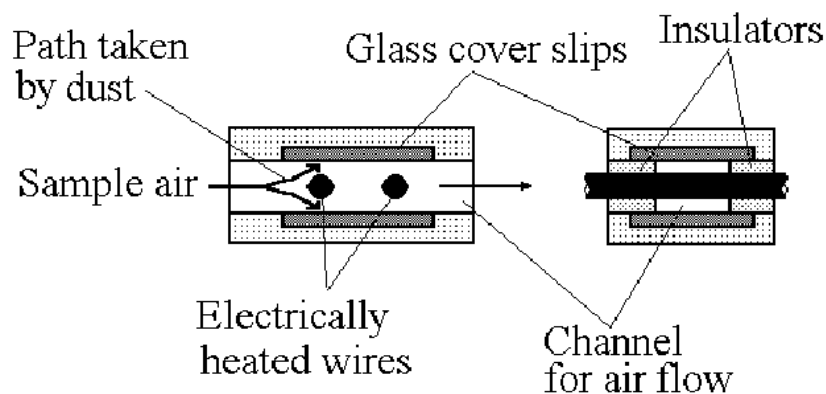
Σχήμα 2.6

Σχηματική απεικόνιση ενός προσκραστήρα.

- **Κατακρημνιστές (Precipitator) [16d]:** Στους κατακρημνιστές τα σωματίδια σκόνης απελευθερώνονταν από τον αέρα με τη βοήθεια θερμικών και ηλεκτρικών πεδίων και κατακάθονται ως ίζημα. Από εκεί πηγάζουν και οι ονομασίες για την κάθε κατηγορία.
1) Θερμικοί κατακρημνιστές: Ο Bancroft ήταν ο πρώτος που δήλωσε, ότι η θερμοφόρηση (κίνηση των σωματιδίων, λόγω απόκλισης της θερμοκρασίας) μπορούσε να παίξει σημαντικό ρόλο στο διαχωρισμό της σκόνη από τον αέρα. Το 1930 ξεκίνησαν να πραγματοποιούνται τα πρώτα πειράματα για την αξιοποίηση των δυνάμεων

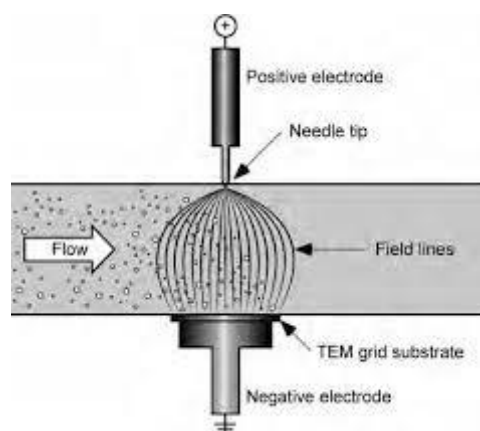
θερμοφόρησης, για τη δειγματοληψία σκόνης. Ο Green (1935) και ο Watson (1936) ήταν αυτοί που τελειοποίησαν αυτή την ιδέα με το πείραμα τους, με το να δημιουργήσουν ένα όργανο (βλ. Σχήμα 2.7 [20]) το οποίο αποτελούνταν από μία πλάκα και ένα καλώδιο το οποίο καθώς το διαπερνούσε ρεύμα έφτανε στους 100°C. Το καλώδιο τοποθετούνταν κατά μήκος της πλάκας και γύρω του ελκύνονταν τα σωματίδια. Το μοντέλο αυτό τροποποιήθηκε από πολλούς επιστήμονες και σε μία νέα εκδοχή του αντί για καλώδιο χρησιμοποιήθηκε μία μεταλλική πλάκα.

2) Ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (Σχήμα 2.8 [21]). Το 1824 ο Hohfeld χρησιμοποίησε ηλεκτροστατικές δυνάμεις, για να απομακρύνει αερομεταφερόμενα σωματίδια από τον αέρα, εφαρμόζοντας υψηλή ισχύ σε ένα καλώδιο, αναρτημένο σε ένα δοχείο μέσα στο οποίο υπήρχε καπνός. Τα σωματίδια με την υψηλή τάση κατακρημνίστηκαν ακαριαία. Μετέπειτα, ο Cottrel στην Αμερική έφτιαξε το ηλεκτροστατικό φίλτρο, ενώ δεκατρία χρόνια μετά, στην Γερμανία φτιάχτηκε ο πρώτος ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής από τον Salmag.



Σχήμα 2.7

Σχηματική περιγραφή ενός τυπικού θερμικού κατακρημνιστή Green & Watson.

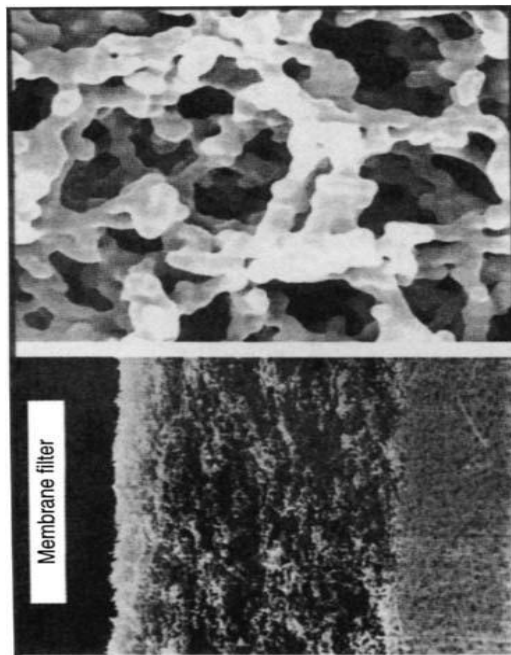


Σχήμα 2.8

Απεικόνιση διαδικασίας λειτουργίας ηλεκτροστατικού κατακρημνιστή για δειγματοληψία σκόνης.

Περίοδος εξέλιξης

- **Δειγματοληψία με φιλτράρισμα του αέρα (Filtration)** [16e]: Η ιδέα και η κατασκευή τους ξεκίνησε το 1923 από τους Trostel και Frevert. Για να φιλτράρουν τον αέρα, χρησιμοποίησαν ένα φίλτρο, από αφρώδες βαμβάκι. Στη συνέχεια, η πιο σημαντική εξέλιξη της τεχνολογίας, ήταν η αντικατάσταση του βαμβακιού με μεμβράνη (Σχήμα 2.9 [16f]), στην οποία η διάμετρος των πόρων ορίζονταν από τον κατασκευαστή. Η εφεύρεση αυτή γνώρισε μεγάλη επιτυχία! Σήμερα, είναι από τους πιο διαδεδομένους τρόπους δειγματοληψίας και μέτρησης των σωματιδίων. Η διαδικασία φιλτραρίσματος πραγματοποιείται με τη ροή του αέρα, μέσω κατάλληλης διόδου, σε χαμηλή ταχύτητα, στην άκρη της οποίας υπάρχει η μεμβράνη. Η μεμβράνη διατηρεί την περισσότερη στερεά ύλη, ενώ επιτρέπει στον αέρα να διαπεράσει. Ένας τρόπος ταξινόμησης των φίλτρων είναι η δομή των πόρων. Τα φίλτρα, που χρησιμοποιούνται για δειγματοληψία, μπορούν να ταξινομηθούν ως ινώδη φίλτρα, φίλτρα πορώδης μεμβράνης, φίλτρα μεμβράνης με ευθεία διέλευση και φίλτρα κοκκώδους-κλίνης.



Σχήμα 2.9

Οι εσωτερικές και επιφανειακές δομές ενός φίλτρου μεμβράνης με θεωρητικό μέγεθος πόρου 0.8 μm.

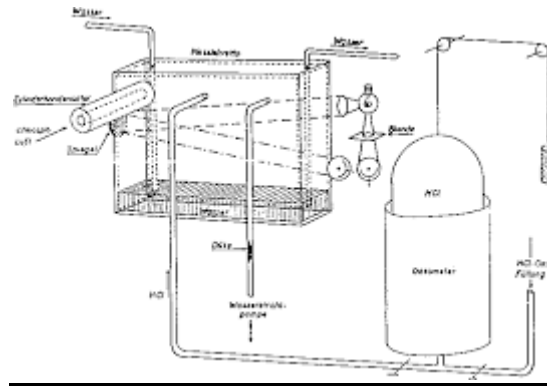
- **Διαχωριστήρας (Elutriator)** [16g] και **φυγοκεντρικής αερολυμάτων (Aerosol Centrifuge)** [16h]: Το 1952, ο Walton υποστήριξε ότι τα σωματίδια μπορούν να διαχωριστούν από τον αέρα, λόγω της διαφοράς του μέτρου της ταχύτητα καθίζησης^α [22] και της ταχύτητας του ρεύματος αέρα, μέσα στο οποίο βρίσκονται.

^α καθίζηση ή καταβύθιση είναι η δημιουργία ενός στερεού σε ένα διάλυμα ή μέσα σε ένα άλλο στερεό κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης ή με διάχυση σε ένα στερεό

Ο Timbrell (1952, 1972), κάνοντας την θεωρία πράξη, σχεδίασε ένα πολύ χρήσιμο φασματόμετρο-διαχωριστήρα (όργανο μέτρησης που βασίζεται στη διακριτικότητα ενός φάσματος^β [23]). Ήταν ένα φορητό όργανο που αποτελούνταν από ένα σφηνοειδές θάλαμο καθίζησης. Το αερόλυμα εισχωρούσε, με στρωτό ρεύμα αέρα, στο θάλαμο. Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας καθίζησης σωματιδίων και της κατά μήκος απόστασης στην οποία κατακάθονταν τα σωματίδια, εξαρτιόνταν από το είδος της ροής. Αντίστοιχα, η λειτουργία των φυγοκεντρικών ήταν ίδια με αυτή των διαχωριστήρων. Παρόλο που οι Sawyer και Walton σχεδίασαν και παρήγαγαν το πρώτο φυγοκεντρική το 1950, η θεωρία τους διατυπώθηκε μετά τη δεκαετία του 1960. Αυτή η τεχνολογία αποτελούνταν από ένα μεταλλικό κώνο, τοποθετημένο πάνω στο δρομέα ενός ηλεκτροκινητήρα υψηλής ταχύτητας και από ένα κωνικό μεταλλικό κάλυμμα, που μπορούσε να στερεωθεί σταθερά στον κώνο, αφήνοντας ένα ρεύμα ροής αέρα μεταξύ του κώνου και του καλύμματος. Όταν η μονάδα περιστρέφονταν, αέρας εισέρχονταν, μέσα από το ελεύθερο άνοιγμα της κορυφής, αντλούνταν διαμέσου του δακτυλίου και εκτοπιζόταν, μέσω των στομιών εξαερώσεως στον πυθμένα. Τα σωματίδια εγκλωβίζονταν σε λεπτές ζώνες, γύρω από την εσωτερική επιφάνεια, του εξωτερικού κώνου. Η θέση του κέντρου κάθε ζώνης ήταν χαρακτηριστική της αεροδυναμικής διαμέτρου των σωματιδίων. Ο «Stober Aerosol Centrifuge» ή αλλιώς ο φυγοκεντρικός του Stober εξελίχθηκε αργότερα σε μία πολύ χρήσιμη μηχανή.

- **Μέτρηση πυρήνων συμπύκνωσης (Condensation Nuclei Counting) [16i]:** Για πρώτη φορά, αναπτύχθηκαν αυτοματοποιημένοι φωτοηλεκτρικοί μετρητές πυρήνων συμπυκνωμάτων (Σχήμα 2.10 [24]) (CNCs=*Condensation Nuclei Counting*) από το ερευνητικό εργαστήριο της General Electric. Τι είναι όμως οι πυρήνες συμπύκνωσης; Δεν είναι τίποτα άλλο από σωματίδια. Συγκεκριμένα, για να επιτευχθεί η συμπύκνωση των υδρατμών δεν αρκεί μόνο η ψύξη τους μέχρι το σημείο δρόσου. Θα πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχουν πρώτα και "πυρήνες συμπύκνωσης". Οι πυρήνες είναι μικροσκοπικά σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, όπως τα μόρια του NaCl ή άλλα ιόντα. Έτσι, το κάθε σταγονίδιο περιλαμβάνει: τον πυρήνα του και υγροποιημένο-συμπυκνωμένο υδρατμό. Για περισσότερες πληροφορίες, ο McMurry (2000) δημοσίευσε πολύ πρόσφατα το πλήρες ιστορικό των CNCs. Με βάση τη θεωρία αυτή γίνεται καταμέτρηση των σωματιδίων που υπάρχουν στον πυρήνα.

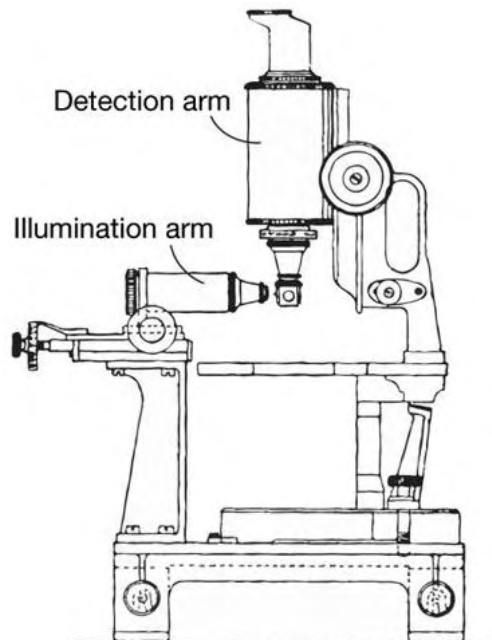
^β είναι το εύρος των συχνοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ορατή ακτινοβολία είναι η ζώνη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητα 400-800THz.



Σχήμα 2.10

Σχηματική απεικόνιση CNC.

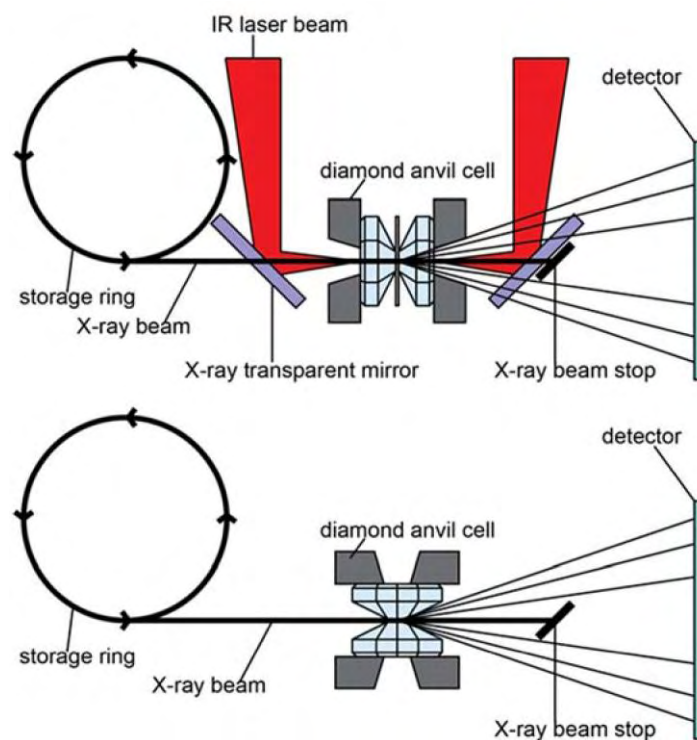
- Μετρητής οπτικού μικροσκοπίου σωματιδίων και aerosols [16j]:** Για να γίνει κατανοητή η μέθοδος λειτουργίας αυτών των οργάνων μέτρησης, πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητό το φαινόμενο Tyndall. Είναι, επίσης, γνωστό ως διάσπαση των Willis-Tyndall και είναι η διασπορά του φωτός εξαιτίας κολλοειδών σωματιδίων ή άλλων σωματιδίων με πολύ λεπτή διάμετρο. Ο Tyndall χρησιμοποίησε τις μεθόδους του, για να υποδείξει πως μπορούν τα σωματίδια -κάτω από το πεδίο ορατού φάσματος- να παρατηρηθούν, να καταμετρηθούν και να κατανεμηθούν. Αυτή ήταν η βάση για τη μελλοντική δημιουργία των νεφελόμετρων, μικροσκοπίων μικρών διαστάσεων ή Ultramicroscopy (Σχήμα 2.11 [25]), Tyndallometers, Optical Particle Counters, κ.λπ.



Σχήμα 2.11

Το μικροσκόπιο που αναπτύχθηκε από τον Siedentopf και τον Zsigmondy το 1903.

- Ορυκτολογική και χημική ανάλυση [16k]:** Ο χαλαζία και άλλα πυριτικά άλατα, καθώς και βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, ήταν τα συστατικά της ορυκτής σκόνης πριν από το 1960. Οι διαδικασίες και τα όργανα, που ήταν διαθέσιμα εκείνη την εποχή, όπως η βαρυμετρία, η ογκομετρική ανάλυση, η χρωματομετρία, η φωτομετρία, και η πολωγραφία χρησιμοποιούνταν για χημικές αναλύσεις της σκόνης και του αερολύματος. Αργότερα, τις αντικατέστησε η διαδικασία της περιθλάσης ακτίνων X (Σχήμα 2.12 [26]). Η μέθοδος δεν χρησιμοποιήθηκε, μέχρι να γίνει τεχνική ανάλυσης στα εργαστήρια βιομηχανικής υγιεινής. Ένας από τους λόγους για την καθυστέρηση της ανάπτυξης της ήταν ότι ο εξοπλισμός ήταν δαπανηρός και η τεχνική δεν ήταν απλή. Με τις παραπάνω διαδικασίες, κατάφεραν να αναλυθούν δείγματα σκόνης από βαρέα μέταλλα, SiO₂, μόλυβδο και κάδμιο.



Σχήμα 2.12

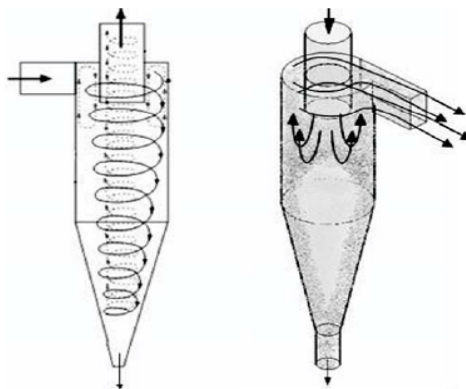
Η διαδικασία των ακτίνων X.

Συνοψίζοντας, αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ διαφορετικές. Άλλες χρειάζονται λεπτά και άλλες ώρες, για να δώσουν αποτελέσματα. Άλλες έχουν μεγαλύτερη επιτυχία σε μικρής διαμέτρου σωματίδια και άλλες σε μεγάλης. Για το λόγο αυτό, σύγκριση της αποτελεσματικότητας των μεθόδων είναι πρακτικά αδύνατη. Αυτό που είναι σημαντικό, όμως, να αναφερθεί, είναι ότι σωματίδια με μέγεθος μικρότερο του 1 μm χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή, έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία του ανθρώπου και δεν υπάρχουν ακόμη κατάλληλες τεχνολογίες για την αποτελεσματικότερη μελέτη τους, γεγονός που οδηγεί στην ανάγκη ανακάλυψης και εξέλιξης τους. Η ανακάλυψη τέτοιων μεθόδων θα απασχολήσει, κατά κύριο λόγο, τους επιστήμονες, στο μέλλον.

2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΣΗΣ

Μετά την κατανόηση των κινδύνων των σωματιδίων PM, εφευρέθηκαν διάφοροι αντιρρυπαντικοί εξοπλισμοί για τη συλλογή και την εξουδετέρωση αυτών. Αυτοί είναι:

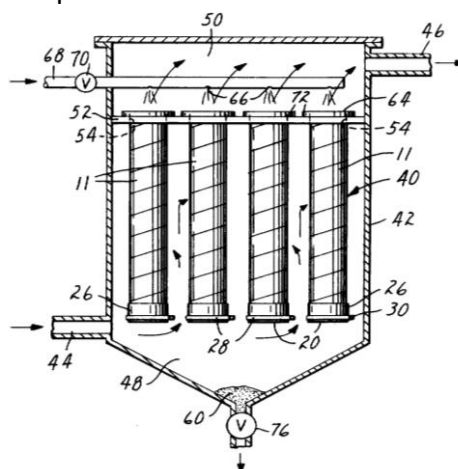
- **Κυκλώνας (cyclone)** [27a] (Σχήμα 2.13 [28]): Το ρεύμα αέρα στριφογυρνάει σε σπειροειδή πορεία στο εσωτερικό ενός σωλήνα. Τα μεγαλύτερα σωματίδια αναγκάζονται και αποκλίνουν από την πορεία, εκτοξεύονται προς τα έξω και συγκρούονται στα τοιχώματα, λόγω της φυγοκεντρικής δύναμης. Στη συνέχεια, τα σωματίδια ολισθαίνουν προς τα κάτω και πέφτουν στη βάση του κυκλώνα, όπου και απομακρύνονται. Τέλος, το καθαρισμένο ρεύμα του αερίου ρέει προς τα έξω από την κορυφή του κυκλώνα.



Σχήμα 2.13

Σχηματική παρουσίαση κυκλώνα.

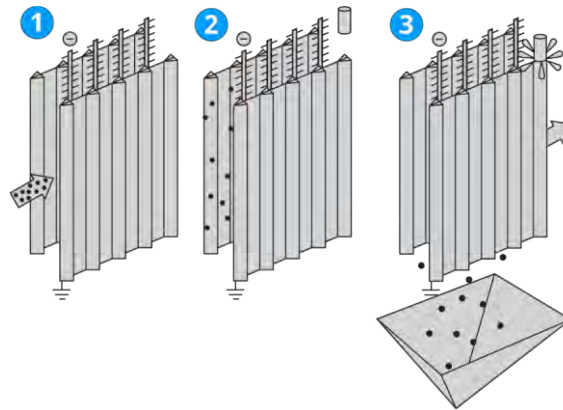
- **Σακόφιλτρα (fabric filter, baghouse)** [27b] (Σχήμα 2.14 [29]): Βασίζεται στη λογική της λειτουργίας της ηλεκτρικής σκούπας. Ο ρυπασμένος αέρας περνάει μέσα από τα φίλτρα, που είναι υφασμάτινοι σάκοι. Καθώς ο αέρας διέρχεται μέσα από την ύφανση, η σκόνη συσσωρεύεται πάνω στο ύφασμα. Έτσι, καθαρίζεται το ρεύμα. Η συγκεντρωμένη σκόνη απομακρύνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, τινάζοντας ή αντιστρέφοντας τη ροή του αέρα.



Σχήμα 2.14

Σχηματική παρουσίαση σακόφιλτρων.

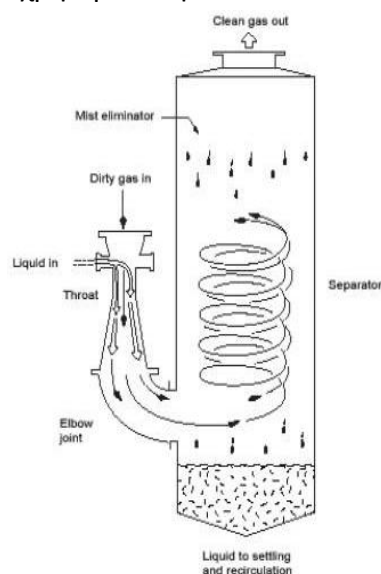
- Ηλεκτροστατικό φίλτρο (electrostatic precipitator) [27c] (Σχήμα 2.15 [27d]):**
 Εφαρμόζεται ηλεκτρική δύναμη, για να διαχωρίσει τα σωματίδια από το αέριο ρεύμα. Συγκεκριμένα, μέσω ηλεκτροδίων δημιουργείται υψηλή πτώση τάσης και τα σωματίδια, που διέρχονται από το δημιουργημένο ηλεκτρικό πεδίο, αποκτούν ηλεκτρικά φορτία. Έτσι, τα φορτισμένα σωματίδια έλκονται από μια πλάκα αντίθετου φορτίου και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια της. Περιοδικά, οι πλάκες καθαρίζονται με απότομα τινάγματα και τα σωματίδια καταλήγουν σε συλλέκτες, στο κάτω μέρος της συσκευής.



Σχήμα 2.15

Σχηματική παρουσίαση ηλεκτροστατικού φίλτρου.

- Πλυντρίδα υγρού καθαρισμού (wet scrubber) [27e] (Σχήμα 2.16 [30]):** Χρησιμοποιεί τις αρχές της πρόσκρουσης και του εγκλωβισμού της σκόνης, με σταγονίδια νερού. Σταγόνες, που είναι μεγάλες και βαριές, είναι πιο εύκολο να διαχωριστούν από το αέριο, λόγω βαρύτητας. Αντίστοιχα, τα στερεά σωματίδια, στη συνέχεια, μπορούν να διαχωριστούν από τα σωματίδια νερού ή μπορεί το ίδιο το νερό να καθαριστεί, μέσα από μία διεργασία, πριν επαναχρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 2.16

Σχηματική παρουσίαση πλυντρίδας.

2.5 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Λόγω των εξαιρετικά βλαβερών επιπτώσεων στην υγεία των ανθρώπων, οι περισσότερες κυβερνήσεις έχουν θέσει νόμους τόσο για το ποσοστό της συγκέντρωσης των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Μερικά από αυτά τα όρια που έχουν τεθεί είναι (Πίνακας 2.2 [31], Πίνακας 2.3 [32], Πίνακας 2.4 [33], Πίνακας 2.5 [34], Πίνακας 2.6 [35], Πίνακας 2.7 [36], Πίνακας 2.8 [37]):

Πίνακας 2.2

Νομοθετικά όρια για PM₁₀ και PM_{2.5} στην Αυστραλία.

(Προσαρμοσμένα από Department of the Environment and Energy, Australian Government)

Αυστραλία	PM₁₀	PM_{2.5}
Ετήσιο όριο	-	8 µg/m ³
Εικοσιτετράωρο	50 µg/m ³	25 µg/m ³

Πίνακας 2.3

Νομοθετικά όρια για PM₁₀ και PM_{2.5} στο Hong Kong.

(Προσαρμοσμένα από Environmental Protection Department, the Government of the Hong Kong)

Hong Kong	PM₁₀	PM_{2.5}
Ετήσιο όριο	50 µg/m ³	35 µg/m ³
Εικοσιτετράωρο	100 µg/m ³	75 µg/m ³

Πίνακας 2.4

Νομοθετικά όρια για PM₁₀ και PM_{2.5} στην Ευρώπη.

(Προσαρμοσμένα από European Commission)

Ευρώπη	PM₁₀	PM_{2.5}
Ετήσιο όριο	40 µg/m ³	25 µg/m ³
Εικοσιτετράωρο	50 µg/m ³	-

Πίνακας 2.5

Νομοθετικά όρια για PM₁₀ και PM_{2.5} στις Η.Π.Α.

(Προσαρμοσμένα από United States Environmental Protection Agency)

Η.Π.Α.	PM₁₀	PM_{2.5}
Ετήσιο όριο	-	12 µg/m ³
Εικοσιτετράωρο	150 µg/m ³	35 µg/m ³

Πίνακας 2.6

Νομοθετικά όρια για PM₁₀ και PM_{2.5} στη Νότια Κορέα.
(Προσαρμοσμένα από Ministry of Environment)

Νότια Κορέα	PM₁₀	PM_{2.5}
Ετήσιο όριο	50 µg/m ³	25 µg/m ³
Εικοσιτετράωρο	100 µg/m ³	50 µg/m ³

Πίνακας 2.7

Νομοθετικά όρια για PM₁₀ και PM_{2.5} στην Ιαπωνία.
(Προσαρμοσμένα από Aarhus Universitet)

Ιαπωνία	PM₁₀	PM_{2.5}
Ετήσιο όριο	-	15 µg/m ³
Εικοσιτετράωρο	100 µg/m ³	35 µg/m ³

Πίνακας 2.8

Νομοθετικά όρια για PM₁₀ και PM_{2.5} στην Κίνα.
(Προσαρμοσμένα από Ministry of ecology and environment the people's Republic of China)

Κίνα	PM₁₀	PM_{2.5}
Ετήσιο όριο	70 µg/m ³	35 µg/m ³
Εικοσιτετράωρο	150 µg/m ³	75 µg/m ³

Τα σωματίδια είναι η πιο θανατηφόρος μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, λόγω της ικανότητας τους να διεισδύουν βαθιά στους πνεύμονες και στο αίμα, προκαλώντας μόνιμες μεταλλάξεις στο DNA, καρδιακές προσβολές και πρόωρο θάνατο. Το 2013 η έρευνα ESCAPE [38], στην οποία συμμετείχαν 312 944 άνθρωποι από εννέα ευρωπαϊκές χώρες, αποκάλυψε ότι δεν τηρούνταν τα επιτρεπόμενα όρια συγκέντρωσης σωματιδίων και ότι για κάθε αύξηση 10 µg/m³ στα PM₁₀, ο ρυθμός καρκίνου των πνευμόνων αυξάνεται κατά 22%. Επίσης, λόγω των PM_{2.5} παρατηρήθηκε αύξηση του καρκίνου του πνεύμονα κατά 36% ανά 10 µg/m³ επιπλέον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Jinyou, L. (2013), Chapter 9- Particulate Matter. *Chemical modeling for air resources: Fundamental, Applications, and Corroborative Analysis*, 189-219, Elsevier.
2. Atmospheric Aerosols: What Are They, and Why Are They So Important?(1996). NASA. [https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Aerosols.html, πρόσβαση 10.2.2019]
3. Hidy, George M. (1984). *Aerosols, An Industrial and Environmental Science*, 5, Academic Press
4. Al-Dahabi, Yasin Al-Zu'bi , Omar Rimawi & Jarrah Al-Zu'bi (2010) Chapter 8-The relationship between total suspended particulate matter (TSP) and different climatic factors: The case of Jordan, *Journal of food, agriculture and environment*, 308-311, WFL Publisher.
5. Xiaodong Li, Xuwu Chen, Xingzhong Yuan, Guangming Zeng , Tomás León et. al. (2017). Characteristics of Particulate Pollution (PM_{2.5} and PM₁₀) and Their Spacescale-Dependent Relationships with Meteorological Elements in China. *Sustainability*. China.
6. Particulate Matter (PM) Basics. *United States Environmental Protection Agency*. [https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM, πρόσβαση 3.2.2019]
7. Mühlfeld, C., Rothen-Rutishauser, B., Blank, F., Vanhecke, D., Ochs, M., Gehr, P. (2008). Interactions of nanoparticles with pulmonary structures and cellular responses, *AJP Lung Cellular and Molecular Physiology*, ResearchGate. Switzerland.
8. Sheng Yang, Jing Sui, Tong Liu, Wenjuan Wu, Siyi Xu et. al. (2018) Chapter 25, Trends on PM_{2.5} research, 1997–2016: a bibliometric study, *Environmental science and pollution research*, 12284-12298, SpringerLink.
9. Congbo, C., & Shanshan, L., (2017) Volume 1, Issue 6- The Lancet Planetary Health. *Effects of ambient PM₁ air pollution on daily emergency hospital visits in China: an epidemiological study*.
10. Liati, A., Scheiber, D., Dasilva, Y., A., J., Dimopoulos, E., P., (2018) Chapter 239- Ultrafine particle emissions from modern Gasoline and Diesel vehicles: An electron microscopic perspective, *Environmental Pollution*, 661-669, Elsevier.
11. Sjolohmderek, P., Ingham, B., Lehtimaki, M., Perttu-Roiha, L., Goodfellow, H., Torvela, H. (2001) Chapter 13- Gas- Cleaning technology, *Industrial Ventilation Design Guidebook*, 1197-1316.
12. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. WHO. [http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf, πρόσβαση 3.3.2019]
- 13a, b. Particulate Matter (2010), *Global Sources of Local Pollution: An Assessment of Long-Range Transport of Key Air Pollutants to and from the United States*, Chapter 3, The national academies press.
14. Λατομείο. *Βικιπαίδεια*. [https://el.wikipedia.org/wiki/λατομείο, τελευταία πρόσβαση 9.3.2018]

15. Έρημος. *Βικιπαίδεια*. [<https://el.wikipedia.org/wiki/έρημος>, πρόσβαση 9.3.2018]
- 16a, b, c, d, e, f, g, h, i, k. Baron, A., P., & Willeke, K. (2001) Chapter 1-Historical aspect of aerosol measurements, *Aerosol Measurements: Principles, Techniques and Applications*, Wiley Interscience, 3-23. Canada.
17. Virgil, A., M., (2010) Chapter 38- History of Impactors—The First 110 Years, *Aerosol Science and Technology*, Taylor & Francis.
18. Morton, Lippmann, S., M., (2007) Chapter 20- Review of Cascade Impactors for Particle Size Analysis and a New Calibration for the Casella Cascade Impactor , *American Industrial Hygiene Association Journal*. Taylor & Francis.
19. May, K., R. & Druett, H., A., (1953) Chapter 10-The pre-impinger: a selective aerosol sampler, 142, *Brit. J. industr.*
20. Kirchner, P., Reisert, S., Schöning, M., J., (2013)- Calorimetric Gas Sensors for Hydrogen Peroxide Monitoring in Aseptic Food Processes, *Gas Sensing Fundamentals*, 279-309, ResearchGate.
21. Miller, M., Frey, G., King, G., Sunderman, C., A Handheld Electrostatic Precipitator for Sampling Airborne Particles and Nanoparticles. *NIOSH Spokane Research Lab*. USA
22. Zumdahl, Steven S. (2005). *Chemical Principles*. 5th ed. New York.
23. What is Spectrum, and Where are You on it?. *National Geographic*. [<https://news.nationalgeographic.com/2018/01/sprint-what-is-spectrum/>, πρόσβαση 2.3.2019]
24. McMurry, P., H., (2000) Chapter 33- The History of Condensation Nucleus Counters, *Aerosol Science & Technolo*, 297-322, Taylor & Francis.
25. Keller, J., P., Ahrens, M., B., Freeman, F., (2005)- Light-sheet imaging for systems neuroscience, *Nature Methods*. [<https://www.nature.com/articles/nmeth.3214>, πρόσβαση 3.3.2019]
26. Stan, C., V., Beavers, M., C., Kunz, M., Tamura, N., (2018). X Ray diffraction under extreme conditions at the advanced light source. *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/figure/Top-typical-DAC-setup-in-axial-geometry-This-schematic-also-includes-schematic-laser_fig4_322664978, πρόσβαση 18.10.2018]
- 27a, b, c, d, e. Cooper, D., & Alley, C., 2004-Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης, Τρίτη Έκδοση, Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2004. Electrostatic Precipitators.
28. Carlos, H., Miguel, R., & Alberto, G., (2007). Cassava flour separation using inverse cyclone. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* ,515-520,SciELO.
29. Thomas, S., (1983). Ceramic fabric filter. *United states patent*. [<https://patentimages.storage.googleapis.com/ad/1d/ef/884f0af1300ab0/US4398931.pdf>, πρόσβαση 22.3.2018]

30. Monitoring by control technique- wet scrubber for particulate matter. *United States Environmental Protection Agency*. [<https://www.epa.gov/air-emissions-monitoring-knowledge-base/monitoring-control-technique-wet-scrubber-particulate-matter>, πρόσβαση 22.3.2018]
31. Air quality standards (2008). *Australian Governments, departments of environment and energy*. [<http://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-quality-standards>, πρόσβαση 17.3.2018]
32. Air quality objectives, Hong Kong's air quality objectives (2005). *Environmental Protection Department, the government of the Hong Kong*. [http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/air_quality_objectives/air_quality_objectives.html, πρόσβαση 19.3.2018]
33. Air quality standards (2017). *European Commission*. [<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>, πρόσβαση 19.3.2018]
34. NAAQS table. *EPA, United States Environmental Protection Agency*. [<https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>, πρόσβαση 19.3.2018]
35. Air quality Standards and Air pollution level. *Ministry of environment*. [<http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=252>, πρόσβαση 3.2.2018]
36. Air quality standards (limit values, target values etc.). *AARHUS UNIVERSITET*. [https://www2.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/Expost/database/docs/AQ_limit_values.pdf, πρόσβαση 11.2.2019]
37. Ministry of ecology and environment the people's Republic of China. [http://www.mee.gov.cn/2018tz/mep_index.html, πρόσβαση 11.2.2019]
38. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, et. al. (2013), Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE), Elsevier.

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΡΡΟΕΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γνωρίζοντας πως τόσο οι μετεωρολογικές συνθήκες όσο και η χημική σύνθεση των ΡΜ σωματιδίων αλλάζει από περιοχή σε περιοχή, είναι εύκολο να καταλάβει κανείς ότι η ερεύνηση αυτών πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την τοποθεσία και τις καιρικές συνθήκες, στην τοποθεσία αυτή.

Ωστόσο, είναι αναγκαίο να τονιστεί ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα των μεθόδων μέτρησης και της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται. Συμπεράσματα για την ατμοσφαιρική ρύπανση προκύπτουν μόνο από μετρήσεις, μέσα από έρευνες, και από την ικανότητα των επιστημόνων να ανιχνεύουν τις πηγές εκπομπής ρύπων. Αν, λοιπόν, κάποιο από τα αποτελέσματα δεν είναι πραγματικό, είναι λογικό να προκύψουν λάθος συμπεράσματα και να διαστρευλωθεί η αλήθεια. Αυτό, συμβαίνει γιατί η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα φαινόμενο που η μελέτη της βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη και δεν έχουν ολοκληρωθεί τα συμπεράσματα για αυτήν.

3.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ

Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε [1], αποδείχθηκε ότι τόσο η σχετική υγρασία όσο και η ταχύτητα του ανέμου είναι δύο καθοριστικοί παράγοντες στη συγκέντρωση των ΡΜ σωματιδίων.

Πιο συγκεκριμένα, η πορεία του ανέμου και η ταχύτητα του είναι ο μοχλός για την αερομεταφορά των σωματιδίων. Με αυτό τον τρόπο, σε περιοχές που έχουν ένα ορισμένο ποσοστό αερολύματος, αυτό μπορεί να αυξηθεί, λόγω της μεταφοράς σωματιδίων από τη μετακίνηση του αέρα. Επίσης, σε περιπτώσεις με δύσκολες καιρικές συνθήκες, όπως όταν έχει αέρα, που προκαλεί την ανασήκωση σωματιδίων, οι συνθήκες γίνονται όλο και πιο επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου, γιατί τα σωματίδια που κατακάθονταν, αιωρούνται και έρχονται σε επαφή με τον άνθρωπο, μέσω της αναπνοής μολυσμένου αέρα.

3.3 ΥΓΡΑΣΙΑ

Από μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η υγρασία παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποσότητα των PM σωματιδίων [2a], που μπορεί να υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Σε πείραμα, που έγινε από το ίδρυμα Εθνικής Φυσικής Επιστήμης της Κίνας [2b], στο Πεκίνο, αποδείχθηκε ότι το πλήθος των PM_{2.5} σωματιδίων συνδέεται με την αύξηση της υγρασίας. Συγκεκριμένα, το μειωμένο πλανητικό οριακό στρώμα^a (το οποίο εξασθενεί από τα PM) οδηγεί σε αύξηση της σχετικής υγρασίας RH, με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατακόρυφη μεταφορά υδρατμών, πράγμα που αυξάνει τις ηλιακές αντιδράσεις, η οποία ενισχύει περαιτέρω την αύξηση δευτερογενών PM σωματιδίων. Ακόμη, μία μελέτη έδειξε ότι [3], μετά τη διαδικασία της βροχής, τα ποσοστά των PM₁₀ είναι τρεις φορές χαμηλότερα από πριν τη βροχή και τα ποσοστά των PM_{1.8} είναι 6 φορές χαμηλότερα από πριν. Όμως, την επόμενη μέρα παρατηρείται ένας νέος σχηματισμός σωματιδίων με διάμετρο 3-20 nm, τα οποία αυξάνονται γρήγορα στα 50-100nm. Έτσι, οι ρύποι αρχίζουν να συσσωρεύονται, από εκεί που είχαν ξεπλυθεί από τη βροχή, και, στη συνέχεια, ακολουθούν έντονες ρυπογόνες μέρες, λόγω της αυξημένης υγρασίας. Γίνεται, λοιπόν, εμφανές ότι το μετεωρολογικό φαινόμενο, που ονομάζεται υγρασία, είναι καθοριστικό στη συγκέντρωση της σωματιδιακής ύλης.

3.4 ΚΑΤΑΙΓΙΔΑ ΑΜΜΟΥ

Ένα άλλο δραματικό φαινόμενο, που παίζει ρόλο στη διασπορά των σωματιδίων, είναι οι καταιγίδες άμμου. Ιδιαίτερα περιοχές κοντά στη Μεσόγειο, πλήττονται από τα φαινόμενα καταιγίδας άμμου, προερχόμενα από τη Σαχάρα της Αφρικής και, μάλιστα, υποβοηθούμενα από το υγρό κλίμα[4]. Περισσότερο το φαινόμενο αυτό αφορά σωματίδια PM₁₀ και από μετρήσεις έχει προκύψει ότι, μετά από τέτοιες καταιγίδες, είναι δυνατό το ποσοστό τους να αυξηθεί από 50μg/m³ (που είναι το αποδεκτό) σε 400μg/m³ [5]. Το φαινόμενο μπορεί να είναι πιο έντονο ή λιγότερο και είναι δυνατόν να υπάρξουν και μέρες που χάνεται η ορατότητα από από τα αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα που προήρθαν από την έρημο (Σχήμα 3.1 [6]). Σαφώς, είναι επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, καθώς είναι δυνατόν να προσέλθουν στους πνεύμονες, μέσα από το αναπνευστικό σύστημα.

^a Το κατώτατο ατμοσφαιρικό στρώμα, πάχους περίπου ενός χιλιομέτρου.



Σχήμα 3.1
Καταιγίδα σκόνης στο Ηράκλειο.

3.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Τέλος, ένας καιρικός παράγοντας, που παίζει ρόλο στη συσσώρευση των σωματιδίων, είναι η θερμοκρασία [7]. Ένας παραλληλισμός, που θα οδηγήσει σε αυτό το συμπέρασμα, είναι ότι τα PM σωματίδια πολλές φορές αποτελούνται από μικρόβια και τα μικρόβια αναπτύσσονται κυρίως σε ζεστό περιβάλλον, με αυξημένες θερμοκρασίες. Επίσης, οι θερμές ηλιακές ακτινοβολίες στους ενισχύουν τη δράση των σουλφιδίων. Ακόμη, στους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας, προκαλούνται πυρκαγιών (Σχήμα 3.2 [8]), με αποτέλεσμα ο καπνός και οι παραγόμενοι ρύποι να επιβαρύνουν παραπάνω την, ήδη, μολυσμένη ατμόσφαιρα.



Σχήμα 3.2
Πυρκαγιά στον Εύρο.

3.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

Μέσα από αυτό το κεφάλαιο, έγινε ξεκάθαρο ότι οι μετεωρολογικές και γεωγραφικές συνθήκες παίζουν κεντρικό ρόλο στα ποσοστά αερολύματος, που πλήττουν μια περιοχή. Φυσικά, αυτός είναι μόνο ο ένας παράγοντας που πρέπει ένας ερευνητής να λάβει υπόψη. Σημαντικό ρόλο, επίσης, έχει ο οικολογικός χαρακτήρας που έχει υιοθετήσει η εκάστοτε πολιτική κυβέρνηση της χώρας, το πόσο αναπτυγμένη είναι η βιομηχανία αυτής, η οικονομική της κατάσταση και η συμπεριφορά των πολιτών.

Με βάση όλους αυτούς τους παράγοντες, για τη διπλωματική, θα πραγματοποιηθεί μια βιβλιογραφική έρευνα στην οποία θα μελετώνται σε έξι πόλεις της Ευρώπης (Σχήμα 3.3 [9]) τα ποσοστά σωματιδιακής ύλης που υπάρχουν σε αυτές και θα αναλύονται και θα αποκωδικοποιούνται οι αριθμοί με βάση τους παραπάνω παράγοντες. Οι πόλεις, που θα μελετηθούν, θα βρίσκονται σε διαφορετικά γεωγραφικά σημεία της ηπείρου, ξεκινώντας από τα Νότια και καταλήγοντας στα Βόρεια. Σε μια τέτοια μελέτη, δε θα μπορούσε να λείπει η Ελλάδα. Επομένως, δύο κεντρικοί πυρήνες αυτής της διπλωματικής είναι η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη. Στη συνέχεια, θα τοποθετηθούμε πιο Βόρεια στην πόλη του Παρισιού και τέλος στις πόλεις Ελσίνκι και Στοκχόλμη. Ένα ξεχωριστό ιδιαίτερο κομμάτι αποτελεί το Λονδίνο (Ηνωμένο Βασίλειο), καθώς δεν αποτελεί κομμάτι της ηπειρωτικής Ευρώπης και βρέχεται από τον Ατλαντικό Ωκεανό.



Σχήμα 3.3

Ευρωπαϊκός χάρτης που υποδεικνύει τις χώρες που θα μελετηθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Csavina, J., Field, J., Félix, O., Corral-Avitia, A., Sáez, E., et. al. (2014). Effect of Wind Speed and Relative Humidity on Atmospheric Dust Concentrations in Semi-Arid Climates. *US National Library of Medicine & National Institutes of Health*.
- 2a, b. Yuan, Ch., Ke-bin, H., Zhen-yu, D., Mei, Z., Feng-kui, D., et. al. 2014 Chapter 197- Humidity plays an important role in the PM2.5 pollution in Beijing, *Environmental pollution*, 68-75. Elsevier.
3. Hu, M., Liu, S., Wu, Z., J., Zhang, J., Zhao, Y., L., et. al. (2006). Effects of high temperature, high relative humidity and rain process on particle size distributions in the summer of Beijing. *US National Library of Medicine & National Institutes of Health*.
4. Engelstaedter, S., & Tegen, I., Washington, R., 2006 Chapter 79-North African dust emissions and transport,. *Earth-Science Reviews*, 73-100, Elsevier.
5. Dimitriou, K., Kassomenos, P., (2018) Chapter 31- Day by day evolution of a vigorous two wave Saharan dust storm - Thermal and air quality impacts, *Atmosfera*, 105-124.
6. Crete as you have never seen before: Covered by Sahara sand. *Explore Crete*. [<http://www.explorecrete.com/various/sahara-crete.htm>, πρόσβαση 21.10.2018]
7. E. Triantafyllou, E., Diapouli, E., M., Tsilibari, A., D., Adamopoulos, G., Biskos, K., et. al. 2016 Chapter 131- Assessment of factors influencing PM mass concentration measured by gravimetric & beta attenuation techniques at a suburban site. *Atmosferic Environment*, 409-417, Elsevier.
8. Πυρκαγιά στον Έβρο (2018). *EPT*. [<http://www.ert.gr/perifereiakoi-stathmoi/orestiada/se-exelixi-pyrkagia-ston-evro/>, πρόσβαση 21.10.2018]
9. Ασλανίδης, Α., & Ζαφειρακίδης, Γ., .Γεωλογία Γεωγραφία Β' Γυμνασίου. *Οι μεγάλες πόλεις της Ευρώπης*. [http://ebooks.edu.gr/modules/document/file.php/DSGYM-B106/%CE%94%CE%B9%CE%B4%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%A0%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%84%CE%BF/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%AF%CE%BF%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE/21-0074-02-v2_Geologia-Geografia_B-Gym_BM.pdf, πρόσβαση 21.10.2018]

ΑΤΜΟΣΦΙΑΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

4.1 ΑΘΗΝΑ & ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (ΕΛΛΑΔΑ)

Είναι γνωστό, πως οι μεγάλες πόλεις της Ελλάδας υποφέρουν από ποικιλία ρύπων, λόγω της γεωγραφίας, των κλιματικών συνθηκών που ευνοούν τη συγκέντρωση ρύπανσης, καθώς και τις πολυάριθμες πηγές ρύπων (π.χ. παλιά αυτοκίνητα και λεωφορεία, μη εκσυγχρονισμένες βιομηχανικές τεχνολογίες, έλλειψη τεχνογνωσίας). Όλα αυτά έχουν δημιουργήσει το υπόβαθρο, για την ύπαρξη κακής ποιότητας αναπνεύσιμου αέρα. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο, θα συζητηθεί η ατμοσφαιρική κατάσταση στις πόλεις της Ελλάδας, Αθήνα και Θεσσαλονίκη, με βάση τους μετεωρολογικούς και οικονομικούς παράγοντες, που συζητήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.1.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Ενώ από τη δεκαετία του 1990 είχαν προταθεί και εκτελεστεί μέτρα, για την καλύτερευση των ατμοσφαιρικών συνθηκών, η χρηματοοικονομική κρίση, που ξεκίνησε το 2009, εκτόπισε από προτεραιότητα την τήρηση αυτών, με αποτέλεσμα να χειροτερέψουν ξανά τα επίπεδα των ρύπων στην ατμόσφαιρα [1a].

Σε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο 2013-2016 [1b], συλλέχθηκαν δείγματα $PM_{2.5}$ ρύπων, σε περιοχές της Αθήνας, και αναλύθηκαν. Με βάση τα νούμερα που προέκυψαν, οι επιστήμονες υποστήριξαν ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά ρύπων, κατά κύριο λόγο, προέρχονταν από την καύση βιομάζας [1c], [2]. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι πολλές φορές οι πολίτες αναγκάστηκαν να κάψουν κομμάτια ξύλου από έπιπλα, τα οποία είχαν δεχτεί περαιτέρω επεξεργασία με βαφές ή χλωρίνες, με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται περισσότερες ρυπογόνες ουσίες. Τα ποσοστά, μάλιστα, που μετριόντουσαν τις νυχτερινές ώρες ήταν μεγαλύτερα από αυτά το πρωί [1d]. Τέλος, η συνεχή καύση βιομάζας, κατά την χειμερινή περίοδο, δημιούργησε το φαινόμενο της αιθαλομίχλης (Σχήμα 4.1.1 [3]), το οποίο είναι επικίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων.



Σχήμα 4.1.1
Αιθαλομίχλη στην Αθήνα.

Μία άλλη ανθρώπινη συνήθεια που οδήγησε στην αύξηση του αερολύματος, σε αυτές τις δύο πόλεις, είναι η χρήση των αυτοκινητιστικών μέσων [1e]. Όμως, εδώ, το πρόβλημα έχει πολλά παρακλάδια. Το ένα και το πιο βασικό είναι ότι οι κάτοικοι των πόλεων αυτών, λόγω της εκάστοτε οικονομικής κατάστασης δεν έχουν τη δυνατότητα να συντηρήσουν και να διατηρήσουν τα αυτοκίνητα τους σε καλή κατάσταση. Έτσι, κυκλοφορούν αυτοκίνητα στο δρόμο τα οποία, πιθανόν, θα έπρεπε να είχαν αποσυρθεί από καιρό. Ακόμη, κάτι που είναι γνωστό, κυρίως στους Έλληνες πολίτες, είναι ότι τα μέσα αστικών συγκοινωνιών, πέραν της Αθήνας, είναι απαρχαιωμένα και πολλές φορές ελλιπή, κάτι που έτσι κι αλλιώς δεν παροτρύνει τους πολίτες να εκμεταλλευτούν την ύπαρξη τους.

Και τα δύο παραπάνω παραδείγματα αποτελούν την αντανάκλαση της οικονομικής κατάστασης της χώρας τα τελευταία χρόνια και της προσπάθειας των πολιτών να μειώσουν τις δαπάνες διαβίωσης. Δυστυχώς, αυτό οδηγεί κατ' εξακολούθηση στη μη συμφιλίωση, με τα όρια που έχουν θεσμοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, για την ποσότητα των PM σωματιδίων. Ωστόσο, η έλλειψη προόδου από τις εθνικές ή περιφερειακές διοικήσεις, για την επίτευξη χαμηλών τιμών των PM, δεν συνδέεται πάντοτε με την απουσία μέτρων μετριασμού αλλά και με τη δυσκολία εντοπισμού των διάφορων πηγών που υπάρχουν.

4.1.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο οι μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν τη συγκέντρωση αερολύματος στις πόλεις Αθήνα και Θεσσαλονίκη, πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητή η μορφολογία του χώρου που είναι εγκατεστημένες οι πόλεις, καθώς και το κλίμα που έχουν.

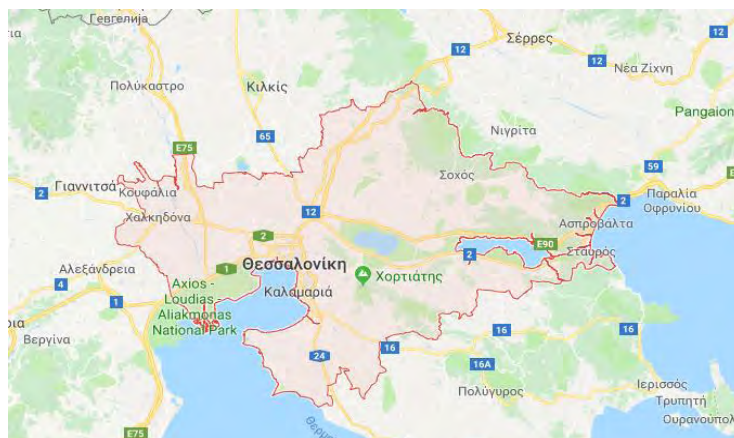
Η Αθήνα [4] είναι η μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, εκτείνεται σε όλη την κεντρική πεδιάδα της Αττικής, χτισμένη γύρω από αρκετούς λόφους και φτάνει μέχρι τις ακτές του Σαρωνικού κόλπου, συμπεριλαμβανομένης της πόλης του Πειραιά (Σχήμα 4.1.2 [5]). Το κλίμα της είναι μεσογειακό με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και υγρούς, ήπιους χειμώνες.



Σχήμα 4.1.2

Χάρτης Νομού Αττικής (Αθήνα).
(Αποτύπωση από Google maps.)

Από την άλλη, η Θεσσαλονίκη είναι κτισμένη στις ακτές του Θερμαϊκού κόλπου (Σχήμα 4.1.3 [6]). Είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας και έχει εξίσου μεγάλο και σημαντικό λιμάνι με αυτό της Αθήνας. Η πόλη δεν είναι τόσο ευνοημένη κατασκευαστικά όσο η Αθήνα, που είναι η πρωτεύουσα της χώρας, γι' αυτό και το μέσο αστικών συγκοινωνιών είναι μόνο το λεωφορείο. Αυτό έχει σα συνέπεια, η πόλη να κατακλύζεται από πλήθος οχημάτων. Στο εξωτερικό τμήμα της πόλης, Βόρεια και Δυτικά, βρίσκονται οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που περιστοιχίζουν την αστική έκταση. Το κλίμα της πόλης είναι μεσογειακό και οι άνεμοι επηρεάζονται ανάλογα με την εποχή [7]. Επίσης, είναι μια πόλη γνωστή για το υψηλά ποσοστά υγρασίας.



Σχήμα 4.1.3

Χάρτης Νομού Θεσσαλονίκης.
(Αποτύπωση από Google maps.)

Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από επιστήμονες του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου σε συνεργασία με το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, έδωσε σημαντικά αποτελέσματα, για την περίοδο 2011-2012 [8a]. Δειγματοληπτικά εργαλεία στην Αθήνα τοποθετήθηκαν προαστιακά, βορειοανατολικά στην πλαγιά του βουνού Υμηττού (**Σημείο Α**) και αστικά, νοτιοανατολικά σε έναν από τους σταθμούς του εθνικού δικτύου παρακολούθησης (**Σημείο Β**). Η δειγματοληψία, εδώ, πραγματοποιήθηκε σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Όσον αφορά την Θεσσαλονίκη, ένα σημείο παρακολούθησης τοποθετήθηκε στο εμπορικό κέντρο που βρίσκεται ανατολικά της πόλης (**Σημείο Γ**), ενώ το δεύτερο στο επάνω κομμάτι της πόλης (**Σημείο Δ**). Εδώ, η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε ύψος 3m πάνω από το έδαφος. Τα δεδομένα, που συγκεντρώθηκαν από την έρευνα για την περίοδο 2011-2012 σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, είναι τα εξής (Πίνακας 4.1.1 [8b], Πίνακας 4.1.2 [8c]):

Πίνακας 4.1.1

Μέσος όρος PM σωματιδίων σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη για την περίοδο 2011-2012 (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
(Προσαρμοσμένα από το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο και Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης)

	2011-2012			
	Αθήνα		Θεσσαλονίκη	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
Σημείο Α	22,8	12,4		
Σημείο Β	33,5	18		
Σημείο Γ			52,6	
Σημείο Δ			36,1	25,9

Πίνακας 4.1.2

Συγκέντρωση PM σωματιδίων στα σημεία Α,Β,Γ,Δ, για την περίοδο 2011-2012 (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
(Προσαρμοσμένα από το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο και Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης)

	Αθήνα				Θεσσαλονίκη			
	Καλοκαίρι 7/7-2/10 2011		Χειμώνας 16/1-10/4 2012		Καλοκαίρι 7/7-2/10 2011		Χειμώνας 16/1-10/4 2012	
	Σημείο Α	Σημείο Β	Σημείο Α	Σημείο Β	Σημείο Γ	Σημείο Δ	Σημείο Γ	Σημείο Δ
PM _{2.5}	11,5	14,3	13,36	21,8	26,5	18,8	40,5	32,7
PM ₁₀	23,0	21,0	22,5	46,4	47,8	32,0	57,9	40,9

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Η διαφορά στις συγκεντρώσεις τις χρονολογίες 2007 με 2011-2012 ήταν έντονη, γεγονός που δείχνει ότι τα μέτρα που εφαρμόστηκαν στις αρχές του 21^{ου} αιώνα είχαν θετικό αποτέλεσμα [8d].
- Ένα μεγάλο ποσοστό της συγκέντρωσης των PM_{10} κατά την καλοκαιρινή περίοδο προέρχονταν από την επαναιώρηση της εδαφικής σκόνης, λόγω των συνθηκών ξηρασίας [8e].
- Οι πόλεις της Ελλάδας πλήττονται από πολλές πυρκαγιές, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση των σωματιδίων από την καύση βιομάζας. Το πρόβλημα μπορεί να ενισχυθεί από τους ανέμους όπου μεταφέρουν τα βλαβερά σωματίδια από άλλες περιοχές που έχουν επεισόδιο πυρκαγιάς στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη. Ειδικά η Θεσσαλονίκη, επειδή γεωγραφικά περιβάλλεται από τη δυτική και ανατολική Μακεδονία, κινδυνεύει περισσότερο.
- Τα νιτρικά ιόντα NO_3^- είχαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις επειδή, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών του καλοκαιριού, μετατρέπονταν σε αέριο. Αντίστοιχα, το καλοκαίρι οι θειούχες ενώσεις SO_4 ήταν υψηλότερες, λόγω της δημιουργίας σουλφιδίων από φωτοχημικές αντιδράσεις [8f].
- Η Αθήνα κυρίως επιβαρύνονταν από πρωτογενή σωματίδια, ενώ η Θεσσαλονίκη από δευτερογενή [8g].
- Η Αθήνα υπέφερε περισσότερο από εδαφική σκόνη, επειδή η περιοχή είναι ανοιχτή χωρίς πλακόστρωμα [8h].
- Η θάλασσα και στις δύο περιπτώσεις έπαιξε σημαντικό ρόλο στον εμπλουτισμό της ατμόσφαιρας με σωματίδια άλατος και, κυρίως, τους χειμερινούς μήνες [8i].
- Τα PM_{10} ήταν περισσότερα από τα $PM_{2.5}$ [8j].
- Τέλος, τα ποσοστά ορυκτής σκόνης που υπήρχαν στην Θεσσαλονίκη προήρθαν όχι μόνο από φυσική πηγή αλλά και από ανθρωπογενή (κατασκευή σταθμών του μετρό).

Από μια άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο [9] αποδείχθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των $PM_{2.5}$, κατά ένα μεγάλο ποσοστό, οφείλονται στη σκόνη της Σαχάρας. Παρατηρήθηκε ότι, όταν το ποσοστό των $PM_{2.5}$ στην Αθήνα είναι μεγαλύτερο από $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, η μάζα του αέρα πέρασε από τη Βόρεια Αφρική, ταξιδεύοντας κοντά στο υψόμετρο του οριακού στρώματος. Γενικότερα, όταν υπάρχουν τέτοια φαινόμενα κύματος σκόνης, η ποσότητα ορυκτής σκόνης στον αέρα αυξάνεται κατά 35%, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μέρες (Σχήμα 4.1.4 [10]). Σε μία άλλη έρευνα, που πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2005, κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου μεταφερόμενης σκόνης από τη Σαχάρα, μετρήθηκε το ποσοστό των PM_{10} σωματιδίων στην Αθήνα παραπάνω από $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [11a]. Τα περισσότερα σωματίδια στη Κρήτη προέρχονται από τη σκόνη της ερήμου και πολλές φορές ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια [11b]. Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα με το Earth Observatory, κύματα σκόνης θεωρούνται επικίνδυνα γιατί επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες των σύννεφων, τη θερμότητα του πλανήτη, τους

τροπικούς κυκλώνες, τα οικοσυστήματα της γης και της θάλασσας αλλά και την υγεία των ανθρώπων [12].



Σχήμα 4.1.4
Αφρικανική σκόνη στην Αθήνα.

Συνοψίζοντας, οι δύο πόλεις της Ελλάδας πλήττονται, κατά κύριο λόγο, από ατμοσφαιρικά αερολύματα λόγω:

- Της οικονομικής κρίσης
- Της γεωγραφικής περιοχής και του κλίματος
- Της αέριας σκόνης από τη Σαχάρα

Στην πρώτη περίπτωση το πρόβλημα είναι γενικός κανόνας, σε όλες τις πόλεις της Ελλάδας, και πηγάζει από την οικονομική αδυναμία των πολιτών να αντικαταστήσουν τα απαρχαιωμένα αυτοκίνητα, και την καύσης βιομάζας. Η μόνη μείωση, που εμφανίστηκε τα τελευταία χρόνια, είναι το ποσοστό των βιομηχανικών βλαβερών σωματιδίων, επειδή έχει περιοριστεί ο αριθμός των ενεργών εργοστάσιων, κάτι που, ωστόσο, έχει φοβερό αρνητικό αντίκτυπο στην οικονομία της χώρας. Όσον αφορά το δεύτερο, αποδείχθηκε ότι και στις δύο πόλεις το πρόβλημα ήταν πιο πολύ τους χειμερινούς μήνες, λόγω του κρύου που ανάγκαζε τους πολίτες να χρειάζονται περισσότερη θέρμανση. Επίσης, σημαντικό ρόλο έπαιξε το ότι και οι δύο πόλεις είναι παραθαλάσσιες και η ατμόσφαιρα τους εμπλουτιζόταν από σωματίδια άλατος. Τέλος, η τελευταία πηγή είναι τα κύματα σκόνης προερχόμενα από τη έρημο Σαχάρα, που δημιουργούν προβλήματα ορατότητας και αναπνευστικά προβλήματα, κυρίως, στη Νότια Ελλάδα.

4.2 ΛΟΝΔΙΝΟ (ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ)

Στην λίστα με τις πόλεις του πλανήτη που κατέχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά αέριας ρύπανσης, το Λονδίνο βρίσκεται στη 2516^η θέση [13]. Αντίθετα με τη φαινομενικά χαμηλή

της θέσης στην παγκόσμια κατάταξη, την εικόνα, αυτή, έρχεται να αντικαταστήσει η τρίτη θέση της στην ευρωπαϊκή κατάταξη. Το Λονδίνο, όπως και άλλες πόλεις της Ευρώπης, έχουν κατηγορηθεί πως πρέπει να τιμωρηθούν με πρόστιμα, λόγω της ανυπακοής τους στους νόμους. Μεγάλα ποσοστά milligrams αερολυμάτων έχουν καταγραφεί στον αέρα, μερικά από τα οποία έχουν ξεπεράσει τα ανώτατα όρια των πιο ρυπογόνων πόλεων του κόσμου. Σε σύγκριση με την κατάσταση στην Ελλάδα, που περιγράφηκε παραπάνω, εδώ δεν παίζουν ρόλο τα οικονομικά προβλήματα. Τη μεγαλύτερη επιρροή την έχει η γεωγραφική τοποθέτηση, τα καιρικά φαινόμενα και η νοοτροπία των πολιτών.

4.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ

Σε μεγάλη κλίμακα, το Λονδίνο (Σχήμα 4.2.1 [14]) επεκτείνεται στο εσωτερικό μιας λεκάνης και στα γύρω σημεία υπάρχουν πλαγιές αλλά σε τέτοιο ύψος που δεν εμποδίζουν την πόλη να επεκταθεί. Με άλλα λόγια, η πόλη φωλιάζει σε μια έκταση γης, που περιβάλλεται από λόφους [15a]. Βέβαια, μια τέτοια γεωγραφία δεν βοηθάει ιδιαίτερα στην ανανέωση του αέρα της πόλης, με αποτέλεσμα το Λονδίνο να είναι άσχημα εκτεθειμένο στη συστηματική ομίχλη και στη ρύπανση. Το κλίμα του Λονδίνου χαρακτηρίζεται από ζεστά καλοκαίρια, δροσερούς χειμώνες, χωρίς υγρή ή ξερή περίοδο και συχνά μέτριους έως ισχυρούς ανέμους. Θεωρείται ένα εύκρατο θαλάσσιο κλίμα. Όσον αφορά τις τοπικές θερμοκρασίες, αυξάνονται προς το κέντρο της αστικής περιοχής, λόγω της αστικής θερμότητας από τις εγκαταστάσεις και τα αυτοκίνητα αλλά και λόγω της εδαφική μορφολογίας [15b].



Σχήμα 4.2.1

Ο χάρτης του Λονδίνου.
(Αποτύπωση από Google maps.)

4.2.2 ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για να γίνουν κατανοητοί οι παράγοντες που παίζουν ρόλο στη ρύπανση της πόλης, θα μελετηθεί ένα επεισόδιο [16a], που είχε συμβεί στο Λονδίνο, με τα ποσοστά αερολύματος να ξεπερνάν αυτά του Πεκίνου. Με $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM σωματιδίων, στις 23 Ιανουαρίου 2017, ο αέρας του Λονδίνου κατακλύστηκε από NO_x και PM σωματίδια σε τέτοια ποσοστά που σε 24 περιοχές της πόλης σημειώθηκε ρεκόρ τιμής. Το σύνηθες ποσό του Πεκίνου είναι $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Επιστήμονες δήλωσαν πως κάτι τέτοιο δεν είχε ξανά συμβεί τα τελευταία πέντε χρόνια [16b]. Γιατί συνέβη όμως αυτό;

Αν και η Κυριακή είναι τυπικά μια μέρα στην οποία τα ποσοστά NO_x και PM σωματιδίων, λόγω της ακινησίας των αυτοκινήτων, έχουν χαμηλότερες τιμές, εκείνη η μέρα είχε ποσοστά που δημιούργησαν ρεκόρ. Αυτό συνέβη λόγω του έντονου παγετώνα που υπήρξε και οδήγησε τους πολίτες στο να χρησιμοποιήσουν υπερβολικά τις σόμπες. Ωστόσο, δεν ήταν αυτός ο κεντρικός παράγοντας που οδήγησε στην αυξημένη ρύπανση.

Ο Martyn Chipperfield [17a], καθηγητής της “Ατμοσφαιρικής χημείας” στο Πανεπιστήμιο του Leeds, δήλωσε ότι ο κύριος παράγοντας, που εμπλέκονταν στις ατμοσφαιρικές δυσκολίες του Λονδίνου, ήταν ο καιρός. Ο καιρός είχε μείνει στάσιμος για μεγάλο χρονικό διάστημα, με την ύπαρξη ενός αντικυκλώνα, μπλοκαρισμένου στην χώρα που δεν επέτρεπε την ανακύκλωση του αέρα με τα ρεύματα από τον Ατλαντικό Ωκεανό. Αντίθετα, το μόνο δείγμα αέρα, που κατάφερε να διαπεράσει το Ηνωμένο Βασίλειο, ήταν από τα νοτιοανατολικά, όπου ήταν ήδη ρυπασμένο από τις χώρες που πέρασε και από τα κύματα άμμου από την έρημο Σαχάρα που συνάντησε.

Ο συνδυασμός αυτός, του καιρικού φαινομένου και της καύσης ξύλου στις σόμπες, απελευθέρωσε ποσότητες σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, οι οποίες ήταν επικίνδυνες, κυρίως, για τις ευπαθείς ομάδες με αναπνευστικά προβλήματα, δηλ. για τους ηλικιωμένους και τα παιδιά. Το αρνητικό σε όλο αυτό ήταν ότι οι ίδιοι οι πολίτες δεν ήταν ενημερωμένοι σωστά και δεν πρόλαβαν να αντιληφθούν το λάθος που κάνουν, με την καύση ξύλου και τη χρήση των αυτοκινήτων, καθώς, κατά κύριο λόγο, εκείνο το διάστημα είχαν αναμμένες τις σόμπες τους, περισσότερο από όσο έπρεπε, για να παραμείνουν ευχάριστα και βολικά στο σπίτι τους, λόγω του παγετώνα.

Βλέπουμε, επομένως, εδώ, μια τεράστια διαφορά σε σχέση με την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη. Στο Λονδίνο, χρησιμοποιούνε τα αυτοκίνητα και τις σόμπες περισσότερο από όσο πρέπει για την άνεση τους, ενώ στη Θεσσαλονίκη και στην Αθήνα, τα παλιά αυτοκίνητα και η καύση βιομάζας είναι αναγκαία επιλογή, λόγω των οικονομικών προβλημάτων.

4.2.3 ΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ ΣΗΜΕΡΑ

Το έτος 2018, το Λονδίνο είχε, ήδη, ξεπεράσει τα ευρωπαϊκά θεσμοθετημένα όρια για τα PM σωματίδια από τον Ιανουάριο. Οι εκτιμήσεις της κυβέρνησης δείχνουν ότι η υπακοή στα σωστά επίπεδα NOx (πολλά από τα οποία προέρχονται από τα αυτοκίνητα diesel) δεν θα υιοθετηθεί μέχρι και το 2026. Ακόμη, 40 000 άνθρωποι πεθαίνουν πρόωρα ετησίως, λόγω της ρυπασμένης ατμόσφαιρας (Σχήμα 4.2.2 [17b]), ενώ παρόμοια φαινόμενα έχουν την τάση να εμφανίζονται με αυτά της “Ομίχλης του 1952” [18]. Η κυβέρνηση αποφάσισε να θέσει νόμους, για την μετακίνηση των αυτοκινήτων diesel στο εσωτερικό της πόλης, προτείνοντας την ιδέα να υπάρχουν φόροι για όποιον θέλει να κυκλοφορεί το diesel-αυτοκίνητο του μέσα στην πόλη [19]. Στόχος τους είναι να καταφέρουν να αποσύρουν όλα τα παλιά αυτοκίνητα, που εκπέμπουν επικίνδυνους ρύπους.



Σχήμα 4.2.2

Σύννεφο ρύπους στο Λονδίνο.

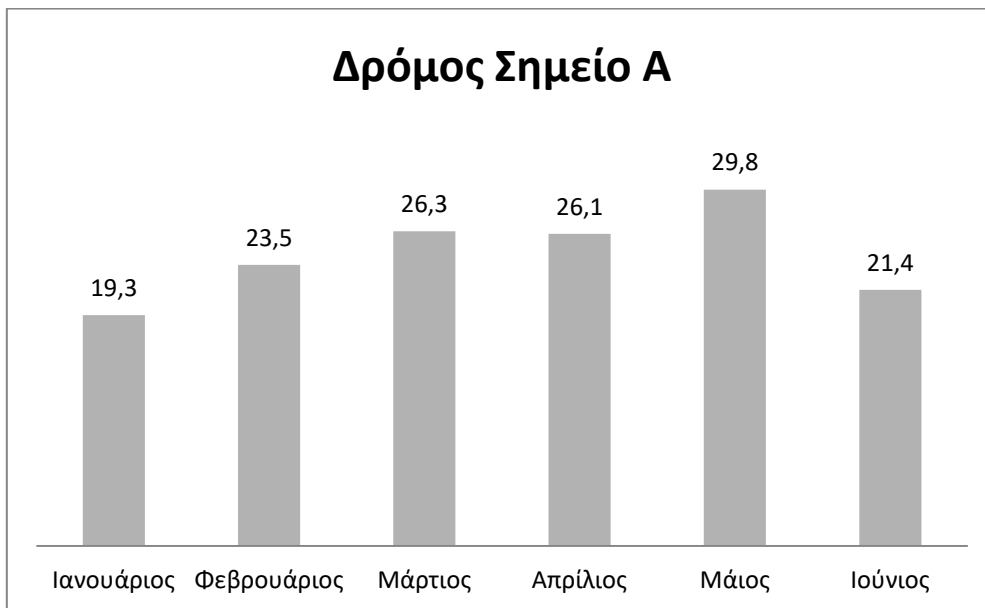
Ακόμη, το Εθνικό Αρχείο Πληροφοριών Ποιότητας Αέρα (AQI) του Ηνωμένου Βασιλείου επιτρέπει, μέσω μίας ιστοσελίδας στο διαδίκτυο, στους πολίτες να έχουν πρόσβαση και να μπορούν να δουν τα δεδομένα, που συλλέγονται καθημερινά για τα NOx και τα PM σωματίδια, δίνοντας τους την πρωτοβουλία να αποφασίζουν αν είναι καλό ή όχι να βγουν από τα σπίτια τους. Η ιστοσελίδα αυτή είναι:

<https://www.londonair.org.uk/LondonAir/nowcast.aspx>.

Παρακάτω υπάρχουν πίνακες που δείχνουν τα ποσοστά σωματιδίων στο Λονδίνο για το έτος 2018 (Πίνακας 4.2.1, Πίνακας 4.2.2, Πίνακας 4.2.3, Πίνακας 4.2.4 [20]):

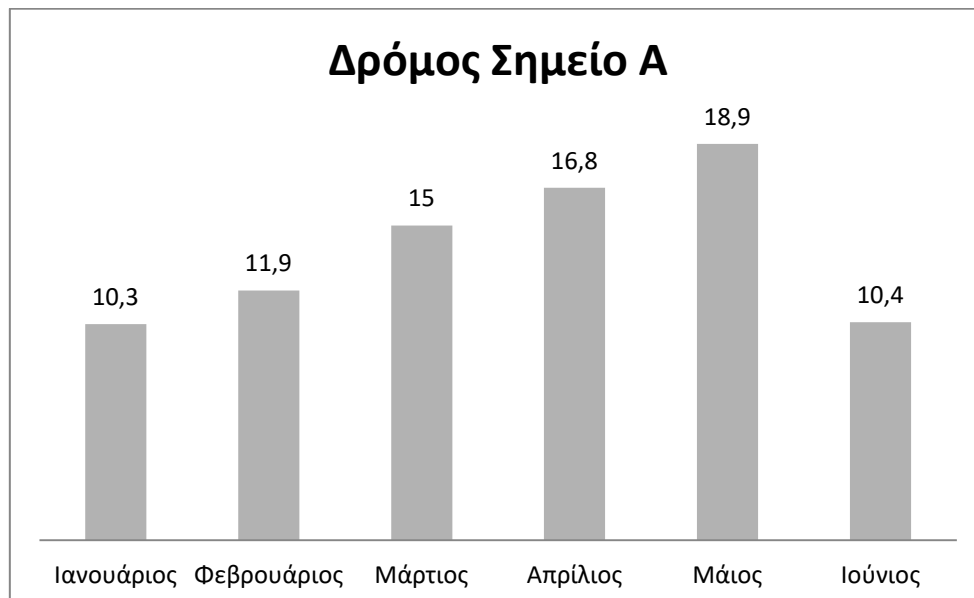
Πίνακας 4.2.1

Συγκέντρωση PM₁₀ σωματιδίων στο σημείο A για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε µg/mm³).
(Προσαρμοσμένα από το King's College London)



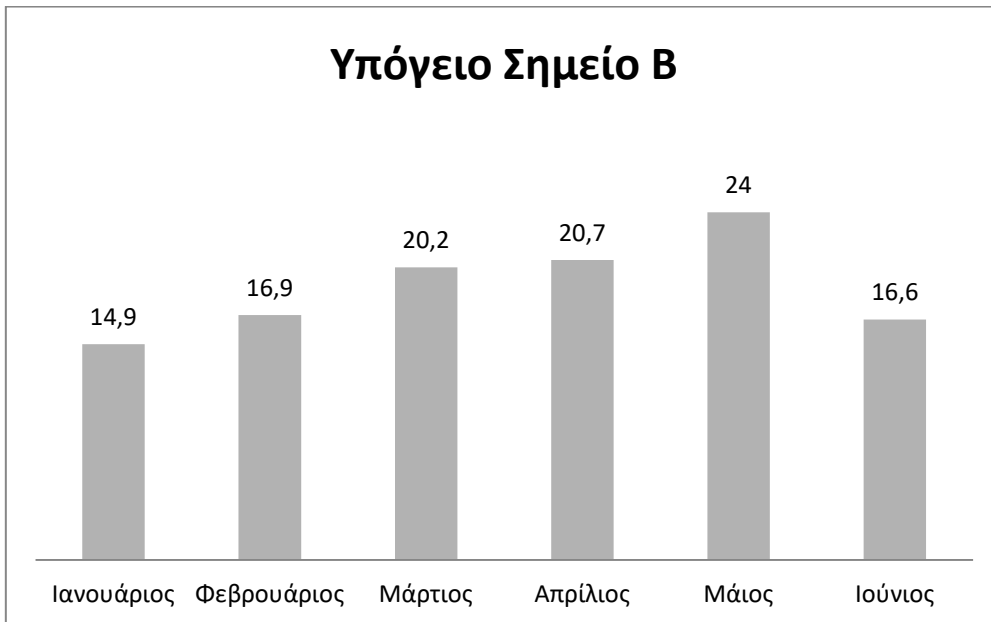
Πίνακας 4.2.2

Συγκέντρωση PM_{2,5} σωματιδίων στο σημείο A, για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε µg/mm³).
(Προσαρμοσμένα από το King's College London)



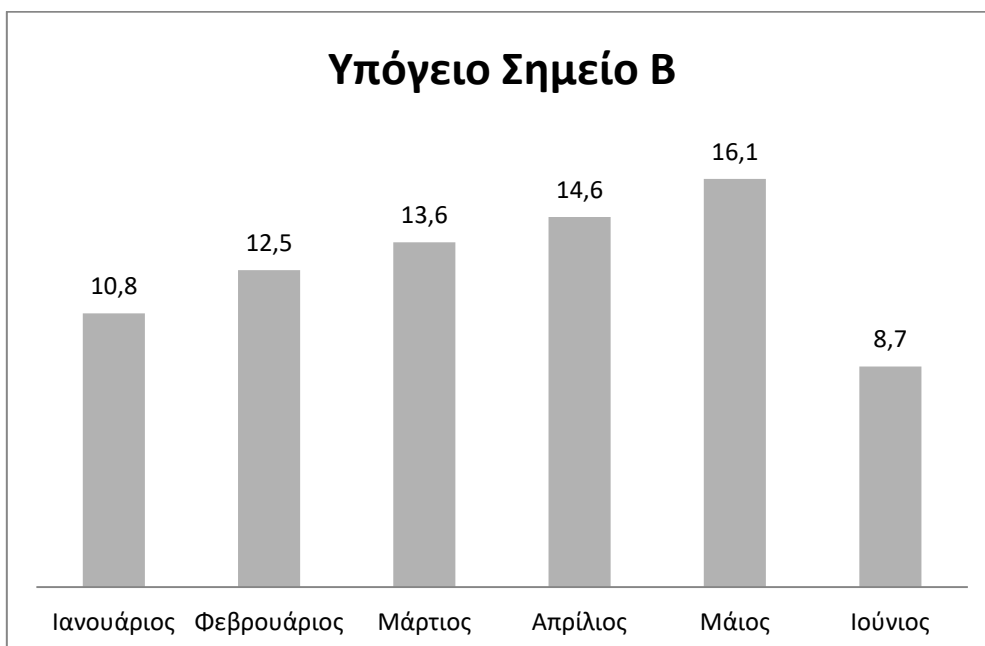
Πίνακας 4.2.3

Συγκέντρωση PM₁₀ σωματιδίων στο σημείο Β, για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε µg/mm³).
(Προσαρμοσμένα από το King's College London)



Πίνακας 4.2.4

Συγκέντρωση PM_{2,5} σωματιδίων στο σημείο Β, για την περίοδο Ιαν.-Ιουν. 2018 (σε µg/mm³).
(Προσαρμοσμένα από το King's College London)



Συνοψίζοντας, όσον αφορά το Λονδίνο, φαίνεται ότι παραμένει, και σήμερα, μία πόλη με μεγάλα προβλήματα ρύπανσης. Αν και βρέχεται από ανοιχτή θάλασσα, ο γεωγραφικός της εγκλωβισμός ανάμεσα σε λόφους δε βοηθάει στο να ανανεώνεται ο αέρας. Αντιθέτως, η ρύπανση συσσωρεύεται, ειδικότερα, όταν δεν υπάρχουν άνεμοι στην περιοχή της πόλης. Ακόμη, αέρας, που έρχεται από την υπόλοιπη Ευρώπη, είναι ρυπασμένος και ενισχύει το πρόβλημα. Η επιρροή της σκόνης από τη Σαχάρα δεν είναι τόσο έντονη όσο στην περίπτωση της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Το βασικό πρόβλημα, εδώ, είναι η άγνοια των πολιτών και η κατάχρηση που κάνουν στα αυτοκίνητα και σε άλλες ρυπογόνες ενέργειες, χωρίς να αντιλαμβάνονται το λάθος που κάνουν. Το βάρος, για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, αφήνεται στα χέρια της κυβέρνησης που υποχρεούνται, μέσα από ημερίδες και μέτρα που πρέπει να λάβει, να ενημερώσει τους πολίτες και να τους κάνει να νιώσουν υπεύθυνοι για την κατάσταση της πόλης και για τον αέρα που αναπνέουν!

4.3 ΠΑΡΙΣΙ (ΓΑΛΛΙΑ)

Από τα στενά δρομάκια που διαθέτει η πόλη, μέχρι το μουσείο του Λούβρου, που είναι γεμάτο από πολιτισμούς και ιστορίες, το Παρίσι έχει τεράστια φήμη για την ομορφιά και την κομψότητα του. Είναι λυπηρό μια τέτοια είδους ομορφιά να αδυνατεί να την αντικρίσει ο κόσμος και να την απολαύσει, μέσα σε αυτή την τεράστια ποσότητα καπνού diesel και ομίχλης που υπάρχει. Η πόλη είναι συνέχεια πνιγμένη στην κυκλοφορία με αποτέλεσμα ο αέρας να είναι γεμάτος με ρύπους. Υπάρχουν στιγμές που, ακόμα, και τα μνημεία είναι δύσκολα να τα δουν από το βάθος, λόγω της θολότητας.

4.3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ & ΚΛΙΜΑ

Η γεωγραφική έκταση του Παρισιού [21], πρωτεύουσα της Γαλλίας (Σχήμα 4.3.1 [22]), είναι σχετικά επίπεδη με υψόμετρο από 11 m έως 217 m, πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επίσης, περιέχει αρκετούς λόφους. Το Παρίσι τοποθετείται στη λεγόμενη “λεκάνη του Παρισιού”, μια περιοχή που είναι γνωστή για τα κανάλια των ποταμών, που τη διαπερνούν, και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ομορφιάς του. Συνεπώς, η μητροπολιτική περιοχή του Παρισιού είναι προνομιούχα, χωρίς να παρουσιάζει τοπογραφία που μπορεί να ενισχύει το πρόβλημα της ρύπανσης.

Αντίστοιχα, το κλίμα του Παρισιού [23], [24] είναι το τυπικό ωκεάνιο κλίμα της δυτικής Ευρώπης που επηρεάζεται από το βορειοατλαντικό ρεύμα. Σε γενικές γραμμές, το κλίμα είναι ήπιο και μέτρια υγρό. Ο χειμώνας είναι κρύος, με τον ήλιο να εμφανίζεται σπάνια και οι θερμοκρασίες να είναι πάντα χαμηλές και καμιά φορά τη νύχτα να πιάνουν τους -5°C με νυχτερινούς παγετώνες. Οι καλοκαιρινές μέρες είναι συνήθως ζεστές και ευχάριστες και

σπάνια εμφανίζονται καύσωνες. Τέλος, το φθινόπωρο και η άνοιξη έχουν, κατά μέσο όρο, ήπιες μέρες και φρέσκιες νύχτες. Το αρνητικό είναι ότι η πόλη, αυτή, είναι γνωστή για τις διακοπτόμενες απότομες βροχοπτώσεις, ένα καιρικό φαινόμενο που επιβαρύνει ιδιαίτερα τον αέρα και δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την αύξηση του αερολύματος.



Σχήμα 4.3.1

Χάρτης Παρισιού.

(Αποτύπωση από Google maps.)

4.3.2 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Αν μπορούσε κανείς να ενοχοποιήσει τους σημαντικότερους υπαίτιους που έχουν οδηγήσει το Παρίσι υψηλά στην κατάταξη, με τις πιο ρυπασμένες πόλεις της Ευρώπης, θα έλεγε ότι είναι πέντε και είναι οι εξής:

- Υπερπληθυσμός
- Καιρικές συνθήκες
- Μέσα μαζικής μεταφοράς
- Θέρμανση
- Βιομηχανίες

Οι πηγές παραμένουν ως ένα σημείο ίδιες σε σχέση με αυτές που εμφανίζονται στο Λονδίνο. Ωστόσο, εδώ, η διαφορά είναι ότι μεγάλο ρόλο παίζουν οι καιρικές συνθήκες, κυρίως, και όχι η γεωγραφία της πόλης.

Υπερπληθυσμός

Σύμφωνα με πρόσφατους υπολογισμούς, ο αριθμός των κατοίκων του Παρισιού είναι 2 241 346 [25]. Ωστόσο, ο πληθυσμός των προαστίων εκτιμάται ότι είναι 10,5 εκατομμύρια, πράγμα που την καθιστά ως την πολυπληθέστερη πόλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης, η πρωτεύουσα της Γαλλίας είναι γεμάτη από αξιοθέατα, γεγονός που την κάνει ταξιδιωτικό προορισμό για τεράστιο αριθμό τουριστών. Ο συνδυασμός του πληθυσμού της και του αριθμού των τουριστών που την επισκέπτονται οδηγούν σε μια κατάσταση υπερπληθυσμού, κάτι που ενισχύει το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης. Όλοι αυτοί οι άνθρωποι έχουν τις δικές τους κατοικίες και χρησιμοποιούν καθημερινά τα αυτοκίνητα τους, για να κινηθούν στην πόλη, γι' αυτό και υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός οχημάτων στους δρόμους. Ακόμη, δημιουργούνται περισσότερες ανάγκες, όπως θέσεις εργασίας, κάτι που, αυτομάτως, αναγκάζει το Παρίσι να μετατραπεί και σε βιομηχανικό κέντρο. Όλοι αυτοί οι ρύποι, που απελευθερώνονται από την λειτουργία εργοστασίων, σε μία φαινομενικά “μικρότερη” έκταση από αυτή που μπορεί να τους χωρέσει, έχει μετατρέψει την πόλη σε πυρήνα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κάτι που προκαλεί προβλήματα υγείας στον πληθυσμό της και, κυρίως, στις ευπαθείς ομάδες.

Καιρικές συνθήκες

Τα καιρικά φαινόμενα που υπάρχουν στο Παρίσι ενισχύουν το πρόβλημα. Καταρχήν, εφόσον στο Παρίσι είναι συνηθισμένο το φαινόμενο της βροχής και επειδή η ρύπανση από τα αυτοκίνητα και τη θέρμανση είναι αυξημένη, ρύποι εγκλωβίζονται στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να μετατρέπουν την βροχή σε όξινη [26]. Επιπλέον, συχνό είναι το φαινόμενο των θερμοκρασιακών αναστροφών [27a]. Θερμός αέρας, που ανεβαίνει προς τα πάνω, εγκλωβίζει κρύο αέρα και ρύπους κοντά στην επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα ο αέρας να γίνεται ξηρός και μολυσμένος και ακατάλληλος για την αναπνοή. Τέλος, οι δυνατοί άνεμοι, όταν εμφανίζονται, μεταφέρουν ρύπους από γειτονικές χώρες [27b].

Μέσα μαζικής μεταφοράς

Η μετακίνηση των οχημάτων μέσα στην πόλη είναι μία από τις πιο σημαντικές πηγές παραγωγής PM σωματιδίων [28a]. Ιδιαίτερα, σε ώρες αιχμής όπου η κίνηση είναι μεγάλη, ο αέρας ρυπαίνεται παραπάνω και γίνεται βλαβερός και ακατάλληλος για τους πολίτες [28b]. Το 2015, στο Παρίσι, το 14% των PM₁₀, το 18% των PM_{2.5} και το 54% των NO_x προέρχονταν από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων [29a]. Η κατάχρηση που γίνεται από τον αυξημένο αριθμό των Παριζιάνων έχει οδηγήσει την κυβέρνηση στο να πάρει δραστικά μέτρα κατά της χρήσης οχημάτων στην πόλη. Από τον Ιανουάριο του 2018, το Παρίσι έγινε η πρώτη πόλη που υποχρέωσε τους πολίτες να έχουν πάνω στο αυτοκίνητο τους ένα αυτοκόλλητο, που υποδεικνύει την ηλικία και το βαθμό μόλυνσης του οχήματος [30]. Με αυτόν τον

τρόπο, ελέγχονται τα αυτοκίνητα τα οποία επιτρέπονται να έχουν πρόσβαση στην πόλη, ενώ αυτοκίνητα μεγαλύτερα της ηλικίας των είκοσι χρονών έχουν, ήδη, απαγορευτεί. Στόχος του μέτρου αυτού είναι να αντικατασταθούν όλα τα παλιά αυτοκίνητα, που θα έπρεπε να έχουν αποσυρθεί. Έτσι, τα περισσότερα μέτρα που υιοθετούνται είναι αποθαρρυντικά, για την χρήση οχημάτων στην πόλη (π.χ. δεν υπάρχουν δωρεάν παρκινγκ). Αντίθετα, η κυβέρνηση έχει καθιερώσει το δικαίωμα στους πολίτες να μπορούν να μετακινούνται δωρεάν με τα μέσα αστικών συγκοινωνιών και με ποδήλατα, που τους παρέχει ο δήμος, από διάφορα σημεία, όταν τα επίπεδα αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα φτάνουν σε κρίσιμα όρια [31].

Θέρμανση

Ο λόγος, για τον οποίο η θέρμανση αποτελεί ένα από τους κύριους παράγοντες, που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα, είναι, γιατί το σύνηθες κλίμα και οι παγετώνες που εμφανίζονται στο Παρίσι συχνά, ωθούν τα άτομα να κάψουν περισσότερα ξύλα ή πετρέλαιο, για να ζεσταθούν. Η θέρμανση στο σπίτι και η μετακίνηση των αυτοκινήτων αποτελούν περισσότερο από τα 2/3 της κορύφωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [32] της πρωτεύουσας και είναι μία πράξη η οποία θα συνεχίσει να γίνεται, γιατί η θέρμανση του οικιακού χώρου αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας σε μία πόλη με συχνά κρύα καιρικά φαινόμενα. Επομένως, ένα βήμα για να υπάρξουν αλλαγές στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι να αρχίσουν να προτιμούνται πιο εναλλακτικοί τρόποι οικιακής θέρμανσης [33].

Βιομηχανίες

Αν και οι βιομηχανίες είναι πηγή ρύπανσης, τα τελευταία 30 χρόνια η βιομηχανική σκόνη έχει μειωθεί αρκετά σε σχέση με τους ρύπους που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα και την οικιακή θέρμανση [34]. Αυτό συνέβη γιατί οι βιομηχανικοί ρύποι ήταν οι πρώτοι που εντοπίστηκαν και κατηγορήθηκαν για την ατμοσφαιρική ρύπανση, γι' αυτό και πάρθηκαν άμεσα δραστικά μέτρα αντιμετώπισης [29b]. Ορίστηκαν νόμοι, με τους οποίους πρέπει να συμφιλώνονται οι εταιρίες, για να είναι νόμιμη η λειτουργία τους. Σαφώς και παίζει ρόλο στην επιβάρυνση του αέρα της πόλης, αλλά δεν ξεκινάει από εδώ το μεγαλύτερο πρόβλημα. Ωστόσο, αυτό που είναι καινούργιο είναι ότι έξω από την πόλη ανιχνεύθηκαν σε τουλάχιστον 35 σημεία ποσότητες ραδιενεργών ουσιών [35], που δεν προέρχονται από πυρηνικά εργοστάσια, αλλά φαρμακευτικές βιομηχανίες και ινστιτούτα έρευνας. Ακόμη και αν ο λόγος ύπαρξης και δραστηριότητας αυτών των επιχειρήσεων είναι το κοινό καλό, δεν παύουν να επιβαρύνουν το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα με βλαβερά σωματίδια.

Σε γενικές γραμμές το πρόβλημα παραμένει το ίδιο και για την πόλη του Παρισιού. Έντονα κρύα καιρικά φαινόμενα που αναγκάζουν τα ποσοστά καύσης για θέρμανση να αυξηθούν, χρήση των αυτοκινήτων και υπερπληθυσμός στελεχώνουν και ενισχύουν το πρόβλημα, όπως και στο Λονδίνο. Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η Γαλλία και αντίστοιχα το Παρίσι αποτελούν βιομηχανικό κέντρο για την ηπειρωτική Ευρώπη, τη μετατρέπουν σε μία από τις πόλεις της Ευρώπης με τα μεγαλύτερα ποσοστά ρύπων (Σχήμα 4.3.2 [32b]). Μέσα σε όλα αυτά, δυστυχώς για το Παρίσι, το πρόβλημα ενισχύεται όλο και πιο πολύ, λόγω των κακών καιρικών φαινομένων.



Σχήμα 4.3.2
Σύννεφο ρύπων στο Παρίσι.

4.4 ΣΤΟΚΧΟΛΜΗ (ΣΟΥΗΔΙΑ)

Η πρωτεύουσα της Σουηδίας, η Στοκχόλμη, έχει μόνιμους κατοίκους περισσότερο από ενάμιση εκατομμύριο [36]. Η πόλη αυτή αποτελεί το οικονομικό, πολιτισμικό, εμπορικό, και πολιτικό κέντρο της Σουηδίας. Είναι μία πλούσια πόλη, αρκετά πλαισιωμένη από τεχνολογίες που καλύπτουν τις ανάγκες των πολιτών της. Έχει από τα πιο πολυτελή και οργανωμένα δίκτυα μέσων μαζικής μεταφοράς ολόκληρου του κόσμου [37a]. Επίσης, υπάρχουν δρόμοι ποδηλασίας [38], που βοηθούν τη μετακίνηση των ατόμων, που θέλουν να αποφύγουν τη χρέωση που επιβάλλεται στα αυτοκίνητα, που εισέρχονται στην πόλη. Όσον αφορά το περιβαλλοντικό κομμάτι, η Στοκχόλμη βρίσκεται στην 8^η θέση από τις 10 πόλεις του κόσμου με το πιο καθαρό αέρα [37b].

Η συμπεριφορά της Σουηδίας ήταν ανέκαθεν τυπική από τότε που αναγνωρίστηκε το πρόβλημα και έχει συλλέξει τιμές από τους ρύπους, που έχει ελευθερώσει στην

ατμόσφαιρα, από τη δεκαετία του '60 [39a]. Ένα μεγάλο ποσοστό του εθνικού ενεργειακού εφοδιασμού της Σουηδίας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ, όσον αφορά τη νομοθεσία, έχει φτιαχτεί ένα οργανωμένο και λεπτομερή πλαίσιο κανόνων, που πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά, με σκοπό να μειωθούν τα αέρια του θερμοκηπίου ακόμα περισσότερο.

Η Σουηδία, επίσης, υπήρξε από τις πρώτες χώρες που συμμετείχαν σε συνέδρια, για την οργάνωση σχεδίου αντιμετώπισης του παγκόσμιου φαινομένου ρύπανσης και το 1972 φιλοξένησε το πρώτο συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών, για τη δημιουργία του “Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το περιβάλλον”, που αποτελεί, ακόμα και σήμερα, τη μέγιστη παγκόσμια περιβαλλοντική αρχή [40a]. Τέλος, η Σουηδία ήταν η πρώτη χώρα που υπέγραψε το “Πρωτόκολλο του Κιότο” το 1998 και το 2002 [40b].

4.4.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ & ΚΛΙΜΑ

Η πόλη αποτελείται από το ηπειρωτικό κομμάτι, από δεκατέσσερα νησιά και τις όχθες του αρχιπελάγους, όπου η λίμνη Μέλαρεν συναντά τη Βαλτική θάλασσα (Σχήμα 4.4.1 [41]). Όλη η περιοχή συνδέεται με γέφυρες και το κέντρο της πόλης, ουσιαστικά, είναι πάνω στο νερό [42].



Σχήμα 4.4.1
Χάρτης Στοκχόλμης.
(Αποτύπωση από Google maps.)

Το κλίμα της πόλης είναι υγρό ηπειρωτικό [43a]. Η μέση υψηλότερη θερμοκρασία της πόλης μπορεί να φτάσει τους 14 °C, ενώ η μέση χαμηλότερη τους -23 °C [43b]. Ο καιρός, λοιπόν, αποτελείται από θερμοκρασίες, με αρκετά έντονες διακυμάνσεις, μεταξύ του χειμώνα και του καλοκαιριού. Επίσης, το χειμώνα συχνό φαινόμενο είναι οι χιονοπτώσεις, ενώ το καλοκαίρι υπάρχουν αρκετές βροχοπτώσεις [43c]. Τα ζεστά νερά από “το ρεύμα του Κόλπου”^α [44], [45] σε συνδυασμό με τους δυτικούς ανέμους παίζουν σημαντικό ρόλο για

τις περιοχές που βρέχονται, γιατί κάνουν πιο θερμό το κλίμα τους, καθώς, αν δεν υπήρχε η επιρροή τους, οι χειμώνες θα ήταν ακόμα πιο ψυχρή. Τέλος, λόγω του μεγάλου γεωγραφικού πλάτους της χώρας, η διάρκεια της μέρας αλλάζει πολύ κατά τη διάρκεια του έτους και διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή.

4.4.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Γενικότερα, όπως συνέβη σε όλη την υπόλοιπη χώρα, έτσι και στη Στοκχόλμη, εμφανίστηκε μια αισθητή μείωση των ποσοτήτων των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, λόγω των κανονισμών που τέθηκαν σε εφαρμογή, μετά το σχηματισμό ενός οργανωμένου σχεδίου, για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αέριας ρύπανσης.

Η πιο σημαντική πηγή ρύπανσης, για τη Στοκχόλμη, είναι η χρήση των αυτοκινήτων μέσα στην πόλη [46]. Πέραν όμως από την εκπομπή των σωματιδίων από τη μετακίνησή τους, τα αυτοκίνητα αναγκάζονται να παραμένουν αναμμένα παρατεταμένα μέχρι να γίνει η μηχανή έτοιμη για λειτουργία, πράγμα που αυξάνει τις ποσότητες των σωματιδίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα [47a]. Επίσης, πηγή απελευθέρωσης σωματιδίων είναι η τριβή, που υπάρχει μεταξύ της ασφάλτου και των αλυσίδων, που εφαρμόζονται κατά τους χειμερινούς μήνες [47b]. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από το πάτημα των φρένων και είναι και αυτό, επίσης, πιο έντονο τις πρωινές ώρες, λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ρύπανσης από τα αυτοκίνητα στο εσωτερικό της πόλης, ένα σύνολο κανονισμών αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί (The Stockholm Trial [48]), με σκοπό να διερευνηθούν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτή και να παρθούν οριστικές αποφάσεις. Στις 2 Ιουνίου 2003 τέθηκε σαν ιδέα από το Συμβούλιο της Στοκχόλμης να μπουν σε ισχύ, για μια συγκεκριμένη περίοδο, φόροι και επιβαρύνσεις, για τη μετακίνηση των αυτοκινήτων, μέσα στην πόλη, και στις 16 Ιουνίου το 2004 η πρόταση αυτή ισχυροποιήθηκε, με το ψήφισμα της ως νόμο. Στόχος ήταν να μειωθούν τα αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στην πόλη κατά 10%-15%, να ευαισθητοποιηθούν οι πολίτες, να κατασκευαστούν ευκολότερες προσβάσεις στις πολυσύχναστες περιοχές και να δημιουργηθούν καλύτερες ατμοσφαιρικές συνθήκες στους δρόμους. Η περίοδος εφαρμογής της νομοθεσίας ήταν από τις 3 Ιανουαρίου 2006 έως τις 31 Ιουλίου 2006 και ο νόμος, αυτός, ήταν, ουσιαστικά, μια επιβολή φόρου και ένα σύστημα τιμολόγησης της κυκλοφοριακής συμφόρησης στα αυτοκίνητα που εισέρχονται και εξέρχονται από το κέντρο της πόλης.

^a Θερμό ρεύμα του Ατλαντικού ωκεανού.

Τα αποτελέσματα [49], σε ορισμένες περιπτώσεις, ήταν καλύτερα από ότι αναμένονταν και μερικά από αυτά ήταν τα εξής:

- Η μείωση της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων στο εσωτερικό της πόλης ήταν μεγαλύτερη από αυτή που περίμεναν.
- Βελτιώθηκε η πρόσβαση σε ορισμένες περιοχές, λόγω της μείωσης του μποτιλιαρίσματος.
- Η μείωση της κίνησης είχε θετική περιβαλλοντική επίδραση αλλά και θετική επιρροή στην υγεία των πολιτών.
- Μειώθηκαν τα αυτοκινητιστικά ατυχήματα και έγιναν πιο ασφαλείς οι δρόμοι.
- Οι πολίτες ευαισθητοποιήθηκαν περισσότερο και άρχισαν να αντιλαμβάνονται τη θετική επιρροή, που έχει στη ζωή τους, ένα υγιές περιβάλλον.
- Η όλη κεντρική ιδέα, καθώς και ο κύκλος των βημάτων που είχαν σχεδιαστεί, λειτούργησαν κανονικά. Έτσι, δόθηκε απόδειξη ότι με τέτοιου είδους μέτρα άλλες ευρωπαϊκές πόλεις, με παρόμοια περιβαλλοντικά ζητήματα, μπορούν να βελτιώσουν τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Συγκεντρώθηκαν αρκετά χρήματα για την βελτίωση των δρόμων και αυξήθηκαν τα κέρδη.

Βλέποντας όλη αυτή την επιτυχία, που σημειώθηκε από αυτή τη δοκιμή, ο φόρος συμφόρησης της Στοκχόλμης εφαρμόστηκε σε μόνιμη βάση από την 1^η Αυγούστου 2007 [50]. Η απόφαση αυτή, μάλιστα, πάρθηκε μετά από δημοψήφισμα, που πραγματοποιήθηκε στο τέλος της περιόδου δοκιμής.

4.4.3 ΑΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Μια άλλη εκπομπή σωματιδίων αποτελεί η οικιακή θέρμανση [51]. Παράγει λιγότερες ποσότητες από τα αυτοκίνητα και δεν επηρεάζει τόσο στην παραγωγή δευτερευόντων σωματιδίων. Είναι, όμως, αναπόφευκτη, γιατί η θέρμανση είναι απαραίτητη στην καθημερινότητα των ανθρώπων που ζουν σε τέτοιο κλίμα. Στην προσπάθεια, όμως, αντιμετώπισης του προβλήματος, άρχισε να εφαρμόζεται η χρήση της τηλεθέρμανσης και των συσκευών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με μεγάλη επιτυχία. Γενικότερα, η τωρινή κατάσταση της χώρας στον τομέα της οικιακής θέρμανσης χαρακτηρίζεται από αποτελεσματικές εγκαταστάσεις παροχής της θέρμανσης, μειωμένη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και χρήση των διαθέσιμων εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Όσον αφορά τις βιομηχανίες και τη γεωργία [52], [53], η εκπομπή σωματιδίων στην πόλη δεν είναι τόσο έντονη, γιατί βρίσκονται συνήθως σε εκτάσεις έξω από αυτήν. Γενικά, όμως, η εκπομπή σωματιδίων από την κατηγορία της ενέργειας και της καλλιέργειας είναι μεγάλη σε εθνικό επίπεδο και έχουν παρθεί και γι' αυτήν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης.

Τέλος, στη Στοκχόλμη έχουν εμφανιστεί ορισμένα επεισόδια έντονης αέριας ρύπανσης από ανέμους που μετέφεραν σωματίδια από χώρες με πιο έντονο το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [54]. Τα επεισόδια, όμως, ήταν μεμονωμένα και υπήρξε η κατάλληλη ενημέρωση των πολιτών από την κυβέρνηση, για να μη βάλουν σε κίνδυνο την υγεία τους, κυρίως οι ευπαθείς ομάδες.

4.4.4 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΣΟΥΔΙΑΣ

Μέσα από την συνεχή προσπάθεια των πολιτών και του κράτους για καλύτερες συνθήκες διαβίωσης με καλύτερη αναπνοή, οι κάτοικοι της Στοκχόλμης έχουν καταφέρει να κερδίσουν ένα παραπάνω χρόνο ζωής, σύμφωνα με τις μελέτες που δημοσιεύθηκαν από το Πανεπιστήμιο της Στοκχόλμης [55].

Σε σχέση, λοιπόν, με τις άλλες πόλεις, που έχουν μελετηθεί σε αυτή την εργασία, φαίνεται ότι η Σουηδία έχει κάνει μια μεγάλη πρόοδο στις μεθόδους αντιμετώπισης της αέριας ρύπανσης και έχει σαν στόχο να εκμηδενίσει τους βλαβερούς ρύπους στο μεγαλύτερο βαθμό που μπορεί. Αυτή η μεγάλη επιτυχία, όμως, βασίζεται στην ενημέρωση των πολιτών και στη δημιουργία μιας οικολογικής συνείδησης, που βασίζεται στην ιδέα ότι “το νερό και ο αέρας είναι το δικό μας νερό και ο δικός μας αέρας”. Πέραν, λοιπόν, από το γεγονός ότι η ίδια η χώρα είναι μια βιώσιμη και αναπτυσσόμενη χώρα, με τη δυνατότητα αγοράς τεχνολογικών μέσων καθαρισμού και δημιουργίας εγκαταστάσεων με μειωμένη παραγωγή καυσαερίων, έχουν δημιουργήσει ένα πλαισιωμένο σύστημα αντιμετώπισης του προβλήματος, βάζοντας σα συμμετέχοντες και τους ίδιους τους πολίτες. Με τον τρόπο αυτό, οι πολίτες αναγνωρίζουν τα προβλήματα και πράττουν ατομικά για να βοηθήσουν σε αυτή την προσπάθεια.

4.5 ΕΛΣΙΝΚΙ, (ΦΙΛΑΝΔΙΑ)

Σύμφωνα με τα στοιχεία της European Environment Agency [56], η Φιλανδία έχει χαμηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων, χωρίς σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και χωρίς καμία εμφανή επιβάρυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ακολουθεί μία παρόμοια πολιτική με αυτή της Σουηδίας, για την προστασία του περιβάλλοντος, και θεωρείται πρωτοπόρος στις τεχνικές μέτρησης της αέριας ρύπανσης και σε τεχνολογίες εξάλειψης της [57].

4.5.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ

Η πόλη βρίσκεται στην άκρη μιας χερσονήσου και αποτελείται επίσης από πολλά νησιά [58] (Σχήμα 4.4.1 [59]). Στην Ευρώπη θεωρείται η πιο αραιοκατοικημένη πρωτεύουσα αλλά υπάρχουν και περιοχές όπου ο αριθμός των ατόμων ανά τετραγωνικό μέτρο είναι πολύ υψηλός [60a]. Είναι μια χώρα πλούσια σε πράσινο και γύρω από τα σύνορα της υπάρχουν δάση. Η μητροπολιτική και ηπειρωτική περιοχή στο Ελσίνκι είναι η πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή και εκεί κατοικεί σχεδόν το 1/4 της χώρας [60b]. Η θάλασσα η οποία τη βρέχει είναι η Βαλτική.

Το Ελσίνκι έχει υγρό ηπειρωτικό κλίμα και λόγω της επιρροής που δέχεται από τη Βαλτική θάλασσα και τα βορειοατλαντικά ρεύματα, οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια ενός χειμώνα είναι πιο υψηλές, σε σχέση με τη βόρεια τοποθεσία στην οποία βρίσκεται. Έτσι, τους χειμερινούς μήνες, όπως τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο, η θερμοκρασία φτάνει κατά μέσο όρο στους $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [61]. Λόγω του γεωγραφικού της πλάτους, υπάρχουν μέρες όπου η ηλιοφάνεια διαρκεί 5 ώρες και 48 λεπτά και σε συνδυασμό με το συννεφιασμένο καιρό που υπάρχει, κυρίως εκείνη την εποχή, το σκοτάδι επιδεινώνεται όλο και πιο πολύ. Ευτυχώς, τις μέρες του καλοκαιριού το φως της ημέρας διαρκεί έως και 19 ώρες και οι θερμοκρασίες φτάνουν και τους $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ [62a]. Η θαλάσσια επαφή κάνει λίγο πιο δροσερές τις ζεστές μέρες αλλά τις νυχτερινές ώρες οι θερμοκρασίες κατεβαίνουν, λόγω της επιρροής της ψυχρής περαιτέρω ενδοχώρας. Τέλος, το καλοκαίρι είναι συχνό το φαινόμενο των βροχοπτώσεων [62b].



Σχήμα 4.4.1

Χάρτης που αντιπροσωπεύει το Ελσίνκι.
(Αποτύπωση από Google maps.)

4.5.2 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Σύμφωνα με ερευνητές, υπάρχουν πολλοί παράγοντες, που βοηθούν στην ενίσχυση της καλής ποιότητας αέρα, που διακατέχει την πρωτεύουσα. Μια από αυτούς είναι ότι το Ελσίνκι βρίσκεται αρκετά μακριά από τις άλλες ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις, οπότε εκπομπές προερχόμενες από άλλες ρυπασμένες πόλεις παραμένουν χαμηλές, ούτε και καταφέρνουν να φτάσουν με ρεύματα ανέμων.

Επίσης, το Ελσίνκι έχει καταφέρει να μειώσει τις εκπομπές ρύπων από τις βιομηχανίες και εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, με την αντικατάσταση παλιών μηχανών με νέες τεχνολογίες, που δουλεύουν με καθαρότερες συνθήκες [63]. Έτσι, οι βιομηχανικοί ρύποι έχουν σταματήσει να επιβαρύνουν και να επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα.

Αγκάθι σε όλη αυτή την προσπάθεια παραμένει η ποσότητα των νιτρικών οξέων και των σωματιδίων που εκπέμπονται από τα οχήματα, σε ορισμένες πυκνοκατοικημένες τοποθεσίες της πόλης [64]. Σε σχέση με τα παλαιότερα χρόνια, ωστόσο, η πόλη έχει παρουσιάσει τεράστια πρόοδο, με την παρότρυνση των πολιτών να χρησιμοποιούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Τα παλιά λεωφορεία έχουν αντικατασταθεί με καινούργια και έχουν δημιουργηθεί δρόμοι ποδηλασίας. Σε ορισμένες περιοχές έχουν οριστεί φόροι μετακίνησης των αυτοκινήτων, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις κοστολογείται και το παρκάρισμα, γεγονός που έχει αναγκάσει τους πολίτες να εγκαταλείπουν τα αυτοκίνητα τους και να ψάχνουν άλλα μέσα, για να φτάσουν στους προορισμούς τους. Διαφημίζονται περισσότερο τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα και, ήδη, πολλά μηχανήματα δημόσια έχουν αντικατασταθεί, με αυτά που φορτίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [65a]. Μέσα από αυτή την προσπάθεια, από το 2006 μέχρι το 2014, η πόλη έχει καταφέρει να μειώσει την κίνηση των αυτοκινήτων στο κέντρο κατά 10%. Παρόλα αυτά, η κυβέρνηση, ακόμα και σήμερα, καλεί τους πολίτες να δράσουν, ο κάθε ένας προσωπικά, ακόμα πιο υπεύθυνα, για να λυθεί το πρόβλημα, κυρίως τις πρωινές ώρες εργασίας. Επισημαίνει, ακόμη, στους πολίτες της, στα νέα αυτοκίνητα που αγοράζουν, να προσέχουν τα ποσοστά ρύπων που εκπέμπουν [65b].

Θετικό χαρακτηριστικό, που ευνοεί τις συνθήκες του αέρα στην πόλη, είναι ότι έχει πιο λίγο πληθυσμό σε σχέση με άλλες πόλεις της Ευρώπης. Αυτό, αυτομάτως, την κάνει και πιο αραιοκατοικημένη. Γι' αυτό και το πρόβλημα ρύπανσης από τα αυτοκίνητα εμφανίζεται μόνο σε ορισμένες πολυπληθείς περιοχές [66a].

Ένα φαινόμενο, που εμφανίζεται ιδιαίτερα στο Ελσίνκι, την περίοδο της άνοιξης, είναι η σκόνη. Αυτό συμβαίνει, γιατί πάγοι από τις βόρειες παγωμένες εκτάσεις και το χιόνι στην πόλη λιώνουν. Με το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού, όμως, ο αέρας γίνεται πιο ξηρός, με αποτέλεσμα οι συνθήκες να γίνονται κατάλληλες για την αιώρηση και τη μεταφορά της σκόνης, που είχε συγκεντρωθεί κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η σκόνη, αυτή, μπερδεύεται με τα μόρια που αποβάλλονται από τα αυτοκίνητα και κάνουν την ποιότητα του αέρα κακή [66b]. Πέραν, όμως, από αυτό, την άνοιξη εμφανίζεται το φαινόμενο της διασποράς της γύρης από την καταπράσινη φύση που περιβάλλει την πόλη, με αποτέλεσμα ο αέρας να μην

είναι πια ανεκτός από τις ευπαθείς ομάδες [65c]. Η κυβέρνηση έχει εφαρμόσει σαν μέτρο αντιμετώπισης το καθάρισμα της πόλης με διάφορα μηχανήματα. Επίσης, παροτρύνει τους πολίτες να κάνουν το ίδιο και στα σπίτια τους, όπου χρειάζεται, αλλά και να αντικαταστήσουν τα χειμερινά βαριά λάστιχα με πιο φιλικά προς το περιβάλλον, για να μειωθούν οι έντονες τριβές με το δρόμο, ειδικά σε περιόδους ζέστης [65d]. Τέλος, από έρευνες που έχουν γίνει, έχει αποδειχθεί ότι περίπου το 90% σε κάθε σπίτι κατέχει ένα τζάκι [65e]. Μπορεί η ζέστη να είναι απαραίτητη σε τέτοιες παγωμένες συνθήκες, παρόλα αυτά, η καύση ξύλου απελευθερώνει ποσότητες σωματιδίων τόσο εξωτερικά στο περιβάλλον όσο και μέσα στο σπίτι [67]. Γι' αυτό το λόγο, η κυβέρνηση έχει εκδώσει τρόπους με τους οποίους γίνεται σωστά η καύση. Οι πολίτες πρέπει να είναι ενημερωμένοι και να γνωρίζουν τις πρώτες ύλες που μπορούν να χρησιμοποιήσουν για καύση και πρέπει να γνωρίζουν και πώς να τις χρησιμοποιούν [65f].

Γι' αυτούς και για ακόμα παραπάνω λόγους, το Ελσίνκι αποτελεί την καθαρότερη πρωτεύουσα της Ευρώπης, όσον αφορά την αέρια ρύπανση. Το πρόβλημα υπάρχει σε μεμονωμένες περιοχές και η κυβέρνηση έχει μελετήσει και προβλέψει γι' αυτές. Η Φιλανδία, όμως, γενικά, είναι μια χώρα αρκετά ευνοημένη, γιατί τα σύνορα της από τη μία πλευρά είναι με τη Σουηδία, μια χώρα καθαρή που ακολουθεί την ίδια πολιτική, και δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από άλλες περιοχές της Ευρώπης. Επίσης, σε σχέση με το Παρίσι και το Λονδίνο έχει το 1/10 του πληθυσμού αυτών. Αυτό σημαίνει ότι οι πηγές ρύπανσης γίνονται λιγότερες και είναι πιο εύκολο να αντιμετωπιστούν. Σε κάθε περίπτωση, όμως, η κυβέρνηση έχει τεχνολογίες και μέσα, που ενισχύουν την καλή ποιότητα του αέρα, χωρίς να καταπατούν τις ανάγκες των πολιτών. Ο στόχος τους έχει επιτευχθεί, με τη σωστή ενημέρωση και με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Γι' αυτούς τους λόγους και για την ύπαρξη καταπράσινων εκτάσεων μέσα στην πόλη, που φέρνουν πιο κοντά τον άνθρωπο με τη φύση και τον ευαισθητοποιούν, σήμερα το Ελσίνκι αποτελεί τέλμα για όποιον πολίτη της Ευρώπης θέλει να ζήσει σε ένα καθαρό υγιές περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. a, b, c, d, e. Theodosi, C., Tsagkaraki, M., Zampas, P., Grivas, G., Liakakou, E., et. al., (2018). Multi-year chemical composition of the fine-aerosol fraction in Athens, Greece, with emphasis on the contribution of residential heating in wintertime. *Atmospheric chemistry and physics*.
2. Dimitriou, K., & Kassomenos, P., 2018 Chapter 214-A meteorological analysis of PM₁₀ episodes at a high altitude city and a low altitude city in central Greece – The impact of wood burning heating devices, *Atmospheric Research*, 329-337, Elsevier.
3. Κόκκινο χτύπησε η αιθαλομίχλη στην Αττική (2017). *Healthview*. [https://www.healthview.gr/38063/kokkino-ctypise-ethalomichli-stin-attiki/, πρόσβαση 12.7.2018]
4. Γεωγραφία και κλίμα (Αθήνα). *TRIP2ATHENS*. [https://www.trip2athens.com/el/practical-info/usefulinfo/geographyclimate/, πρόσβαση 13.2.2019]
5. 37°58'48.0"N 23°43'48.0"E. *Google Maps*.
6. 40°38'26.2"N 22°56'07.1"E. *Google Maps*.
7. Τμήμα Πολιτικών μηχανικών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης. [http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/thessaloniki/pr20ge.pdf, πρόσβαση 13.2.2019]
- 8a, b, c, d, e, f, j. Diapouli, E., Manousakas, M., Vratolis, S., Vasilatou, V., et. al., (2017). Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM₁₀ and PM_{2.5} source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece, *Atmospheric Environment*, 416-430, Elsevier
9. Founda, D., Kazadzis, S., Mihalopoulos, N., Gerasopoulos, E., Lianou, M., and Raptis, P., 2016- Chapter 16 - Long-term visibility variation in Athens (1931–2013): a proxy for local and regional atmospheric aerosol loads, *Atmos. Chem. Phys.*, 11219-11236.
10. Η αφρικανική σκόνη έχει καλύψει την Αττική (2018). *e-dimosio.gr*. [https://www.e-dimosio.gr/ellada/132451/afrikaniki-skoni-echi-kalipsi-tin-attiki/, πρόσβαση 12.7.2018]
- 11a, b. Remoundaki, E., Bourliva, A., Kokkalis, P., Mamouri, R., E., Papayannis, A., Grigoratos, et. al., 2011 Chapter 409- PM₁₀ composition during an intense Saharan dust transport event over Athens (Greece), *Science of The Total Environment*, 4361-4372, Elsevier.
12. Kaskaoutis, D., G., Kambezidis, H., D., Nastos, P., T., Kosmopoulos, P., G., 2008 Chapter 42- Study on an intense dust storm over Greece, *Atmospheric Environment*, 6884-6896, Elsevier.
13. How does London's air pollution compare to other cities? *The telegraph*. [https://www.telegraph.co.uk/news/earth/environment/12055618/How-does-Londons-air-pollution-compare-to-other-cities.html, πρόσβαση 24.7.2018]

14. 51° 30' 30 Β -0° 7' 32 Δ. *Google Maps*.

15a, b. Geography of London. *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_London#Topography, πρόσβαση 24.7.2018]

16a, b. Cai, H., & Wang, C., 2017 Chapter 152- Surviving With Smog and Smoke: Precision Interventions?, *Chest*, 457-458, Elsevier.

17a, b. Smog in the cities: the truth about Britain's dirty air. *The guardian*.

[<https://www.theguardian.com/environment/2017/jan/29/pollution-air-quality-london-environment>, πρόσβαση 24.7.2018]

18. Rose, N., L., & Long, X., 1996 Chapter 27- Measurements of airborne carbonaceous fly-ash particles during two pollution episodes in central London. *Journal of aerosol science*, 5679-5680, Elsevier.

19. Vehicle tax rates. *GOV.UK*. [<https://www.gov.uk/vehicle-tax-rate-tables>, πρόσβαση 13.2.2019]

20. air-quality-london-monthly-averages. *Kings college London*.

[<https://data.london.gov.uk/dataset/london-average-air-quality-levels>, πρόσβαση 13.2.2019]

21. Paris. *Encyclopædia Britannica Online*. [<https://www.britannica.com/place/Paris>, πρόσβαση 13.2.2019]

22. 48° 51' 12 Β 2° 20' 55 Ε. *Google Maps*.

23. "Géographie de la capitale – Le climat". *Institut National de la Statistique et des Études Économiques*.

[https://web.archive.org/web/20061003225432/http://www.paris.fr/portail/accueil/Portal.lut?page_id=4946&document_type_id=5&document_id=3076&portlet_id=10579, πρόσβαση 27.7.2018]

24. Climate. *Paris.com*.

[<https://web.archive.org/web/20130308094732/http://www.paris.com/tourism/climate>, πρόσβαση 13.2.2019]

25. Paris population 2018. *World Population Review*.

[<http://worldpopulationreview.com/world-cities/paris-population/>, πρόσβαση 27.7.2018]

26. Escourrou, G. 1991 Chapter 16- Climate and pollution in Paris, *Energy and Buildings*, 673-676, Elsevier.

27a, b. Guerra, A., (2017). Consequences of air pollution in France. *Towson University: Journal of international affair*.

28a, b. Amato, F., Favez, O., Pandolfi, M., Alastuey, A., et. al., (2016) Chapter 129- Traffic induced particle resuspension in Paris: Emission factors and source contributions, *Atmospheric Environment*. 114-124, Elsevier.

- 29a, b. Air quality and energy transition: the French case. *Paris innovation review*.
[<http://parisinnovationreview.com/articles-en/air-quality-and-energy-transition-the-french-case>, πρόσβαση 28.7.2018]
30. Obtaining the Air Quality Certificate. *Ministère de la transition écologique et solidaire*.
[<https://www.certificat-air.gouv.fr/en/>, πρόσβαση 28.7.2018]
31. Bamat, J., (2017). Is Paris winning the war against air pollution?. *France 24*.
[<http://www.france24.com/en/20170124-paris-winning-war-against-air-pollution-cars-home-heating>, πρόσβαση 28.7.2018]
32. Robinson, D., (2016). 24 times more PM_{2.5} pollution from domestic wood burning than traffic. *BMJ*.
33. Kieseewetter, G., Borken-Kleefeld, J., Schöpp, W., et. al. 2015 Chapter 15- Modelling street level PM₁₀ concentrations across Europe: source apportionment and possible futures, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 1539-1553, issue 3, Copernicus Publications.
34. Vallero, D., 2014 Chapter 29- Emissions from Industrial Sources, *Fundamentals of Air Pollution*, 787-827, Fifth Edition, Elsevier.
35. RFI (2016). Atlas of Toxic France maps air, industrial, nuclear pollution. *The world and all its voices*. [<http://en.rfi.fr/france/20160504-atlas-toxic-france-maps-air-industrial-nuclear-pollution>, πρόσβαση 28.7.2018]
36. Stockholm Population 2019. *World Population Review*.
[<http://worldpopulationreview.com/world-cities/stockholm-population/>, πρόσβαση 14.2.2019]
- 37a, b. Top 10 Cities with Cleanest Air in the World. *Muchneeded*. [<https://muchneeded.com/cities-with-cleanest-air-in-the-world/>, πρόσβαση 14.2.2019]
38. Stockholm-The first European Green Capital. *StockholmStad*.
[<http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2011/04/Stockholm-First-European-Green-Capital-.pdf>, πρόσβαση 16.3.2019]
- 39a, . Johansson, C., Hadenius, A., Johansson, P. & Jonson, T. (1999). SHAPE: The Stockholm Study on Health Effects of Air Pollution and their Economic Consequences, Part I: NO₂ and Particulate Matter in Stockholm — Concentrations and Population Exposure, *Stockholm Environment and Health Protection Administration*, Stockholm.
- 40a, b. From Stockholm to Kyoto: A Brief History of Climate Change. *UNChronicle*.
[<https://unchronicle.un.org/article/stockholm-kyoto-brief-history-climate-change>, πρόσβαση 14.2.2019]
41. 59° 19' 46" N 18° 4' 7" E. *Google Maps*.
42. Adventures in the 'Venice of the North'. *CNN*.
[<http://edition.cnn.com/2009/TRAVEL/06/05/stockholm.trip/index.html>, πρόσβαση 16.3.2019]

- 43a, b, c. CLIMATE – STOCKHOLM. *Climates to travel : World climate guide*.
[<https://www.climatestotravel.com/climate/sweden/Stockholm>, πρόσβαση 16.3.2019]
44. Hameed, S., Wolfe, C., L., P., & Chi, L. (2018) Chapter 31-Impact of Atlantic meridional mode on Gulf Stream North Wall position, *Journal of climate*, 8875-8894, AMS100.
45. Swedish weather and nature. *Sweden sverige*. [<https://sweden.se/nature/swedish-climate/>, πρόσβαση 16.3.2019]
46. Nyberg , F., Gustavsson, P., Järup, L., (2000) Chapter 11=Urban air pollution and lung cancer in Stockholm, *Epidemiology*, 487-495, NCBI.
- 47a, b. Roden, L. (2017). Stockholm registers air pollution 'as bad as Beijing'. *The Local*.
[<https://www.thelocal.se/20170130/stockholm-registers-air-pollution-as-bad-as-beijing>, 18.5.2018]
48. The Stockholm Trial. *SLB analysis*.
[<http://www.stockholmsforsoket.se/upload/Sammanfattningar/English/Effects%20on%20air%20quality%20and%20health.pdf>, πρόσβαση 6.8.2018]
49. Facts and results of the Stockholm trial (2016). *Stockholm Stad*.
[https://www.planetizen.com/files/Final%20Report_The%20Stockholm%20Trial.pdf, πρόσβαση 17.8.2018]
50. Ercolano, P., (2017), Study: Stockholm traffic tax helps kids in Sweden breathe easier. *John Hopkins University*.
51. Werner, S., 2017 Chapter 126- District heating and cooling in Sweden, *Energy*, 419-429, Elsevier.
52. Sweden's environment problems and protection (1960-2010). *Swedish environmental protection agency*
53. Linderhome, K., Mattsson, E., J. & Tellman, A.,-M.,(2012). Phosphorus flows to and from Swedish agriculture and food chain. *NCBI*.
54. Air pollution in Swedish towns and cities must decrease (2017). *Swedish meteorological and hydrological Institute*.
55. Cleaner air has increased life expectancy by up to 1 year (2018). *Stockholm University, Department of Environmental Science and Analytical Chemistry*.
56. Air pollution - State and Impacts (Finland) (2015). *European Environment Agency*.
57. Helsinki Air Quality Test Bed. *Smart& Clean*. [<http://smartclean.fi/en/projects/the-worlds-densest-air-quality-measurement-system/>, πρόσβαση 7.8.2018]
58. Helsinki Geography. *Helsinki.com*. [<https://www.helsinki.com/v/geography/>, πρόσβαση 7.8.2018]
59. 60° 10' 15" N, 24° 56' 15" E. *Google Maps*.

60a, b. Overview of Helsinki. *EasyExpat.com*.

[<http://www.easyexpat.com/en/guides/finland/helsinki/overview/geography.htm>, πρόσβαση 8.8.2019]

61. Climate Helsinki. *Climate-Data.org*. [<https://en.climate-data.org/europe/finland/helsinki/helsinki-5971/>, πρόσβαση 8.8.2018]

62a, b. Helsinki, Finland-Sunrise, sunset, dawn and dusk times, table. *GAISMA*.

[<https://www.gaisma.com/en/location/helsinki.html>, πρόσβαση 8.8.2018]

63. Similä, J., (2007). *Regulating Industrial pollution: The case of Helsinki*. Helsinki.

64. Okokon, E., O., Yli-Tuomi, T., Turunen, A., W., Taimisto, P., Pennanen, A., et. al. (2017) Chapter 154 - Particulates and noise exposure during bicycle, bus and car commuting: A study in three European cities., *Environmental Research*, 181-189, Elsevier.

65a, b, c, d, e, f. Clean Air for Helsinki (2016). *City of Helsinki*.

[<https://www.hel.fi/static/ymk/esitteet/ilmansuojeluesite-en.pdf>, πρόσβαση 8.7.2018]

66a, b. Factors affecting air quality. *City of Helsinki*.

[<https://www.hel.fi/helsinki/en/housing/environmental/air-noise/factors-air/>, πρόσβαση 8.7.2018]

67. Pirjola, L., Niemi, J., V., Saarikoski, S., Aurela, M., Enroth, J., et. al. (2017) Chapter 158 - Physical and chemical characterization of urban winter-time aerosols by mobile measurements in Helsinki, Finland, *Atmospheric Environment*, 60-75, Elsevier.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ερευνήσει έξι διαφορετικές περιπτώσεις, μπορούν να προκύψουν ορισμένα συμπεράσματα, για το τί ουσιαστικά προκαλεί την ατμοσφαιρική ρύπανση και πώς επηρεάζουν οι καιρικές συνθήκες την συγκέντρωση των σωματιδίων. Σαφώς, σημαντικό ρόλο έχει η γεωγραφική θέση της κάθε τοποθεσίας, μεγαλύτερο, όμως, ρόλο αποδείχτηκε ότι παίζει η νοοτροπία των πολιτών.

Με βάση τα χαρακτηριστικά από τις πόλεις που ερευνήθηκαν, θα μπορούσε κανείς να τις διαχωρίσει σε τρεις κατηγορίες:

- Η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, που έχουν παρουσιάσει ελάχιστη πρόοδο σε τρόπους αντιμετώπισης της αέριας ρύπανσης, λόγω οικονομικών θεμάτων.
- Το Λονδίνο και το Παρίσι, που το πρόβλημα είναι μεγαλύτερο από ότι στις άλλες πόλεις της Ευρώπης. Εδώ, το πρόβλημα έχει ξεκινήσει από τις παλαιότερες εποχές, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και ο μεγάλος πληθυσμός των πόλεων.
- Το Ελσίνκι και η Στοκχόλμη, που έχουν καταφέρει να περιορίσουν το μεγαλύτερο ποσοστό πηγών ρύπανσης, έχουν επενδύσει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουν ευαισθητοποιήσει τους πολίτες τους, χτίζοντας τους οικολογικό χαρακτήρα και στοχεύουν για το καλύτερο δυνατό.

Μια ιδιαίτερη ξεχωριστή περίπτωση, ανάμεσα σε αυτές τις χώρες που μελετήθηκαν, είναι η Ελλάδα. Μέσα από τους παράγοντες που συζητήθηκαν, που οδηγούν στην αέρια ρύπανση, μπορεί να καταλάβει κανείς ότι οι λόγοι και οι συνθήκες ρύπανσης είναι τελείως διαφορετικές, στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη, από ότι στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Σίγουρα, το μεγαλύτερο ποσοστό των ρύπων προέρχονται από τις τυπικές συμβατικές πηγές. Όμως, πέραν της Αθήνας, οι άλλες πόλεις είναι αρκετά αραιοκατοικημένες και οι βιομηχανικές μονάδες είναι πολύ λιγότερες. Γι' αυτό και τα μέτρα αντιμετώπισης, που άρχισαν να εφαρμόζονται πριν την οικονομική κρίση, οδήγησαν γρήγορα σε δραστικά αποτελέσματα, εκτός από την Αθήνα που πλησιάζει περισσότερο τα χαρακτηριστικά των μεγαλουπόλεων της Ευρώπης και χρειάζεται πιο δραστικά και περισσότερα βήματα εφαρμογής. Μετά την οικονομική κρίση και καθώς η Ελλάδα τεχνολογικά και οικονομικά είναι πιο αδύναμη από τις άλλες χώρες, δεν μπόρεσε να δώσει την προσοχή που χρειάζεται στο φαινόμενο αυτό. Καμιά πρόοδος δεν συνέβη στο περιβαλλοντικό κομμάτι, δεν υπάρχουν κονδύλια και χορηγίες, για να εφαρμοστούν προγράμματα και να επενδύσουν σε

ανανεώσιμη πηγές ενέργειας. Το μεγαλύτερο πρόβλημα, όμως, ξεκινάει από τους ίδιους τους πολίτες. Εκτός του ότι δεν είναι κατάλληλα ενημερωμένοι, δεν μπορούν να επενδύσουν σε καλύτερες και πιο καθαρές συνθήκες διαβίωσης. Στην περίπτωση αυτή, λοιπόν, η οικονομική ανεπάρκεια είναι ένας από τους λόγους που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Γι' αυτό το λόγο, στη Θεσσαλονίκη και στην Αθήνα υπάρχουν μέρες στις οποίες η ρύπανση χτυπάει κόκκινο, ο αέρας γίνεται επικίνδυνος για τους πολίτες και δεν υπάρχουν μέσα ενημέρωσης. Επίσης, η διασπορά σωματιδίων στην Ελλάδα, λόγω του κλίματος και της γεωγραφικής της θέσης, είναι ακόμα πιο έντονη, γιατί δέχεται τεράστια κύματα σκόνης από τη Σαχάρα αλλά και από τις πυρκαγιές που πλήττουν περιοχές τα καλοκαιριά.

Όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία, στην οποία ανήκουν το Παρίσι και το Λονδίνο, σε αυτές τις πόλεις το πρόβλημα είναι σημαντικό και οι πολίτες βρίσκονται σε συνεχή κίνδυνο. Το φαινόμενο είναι έντονο από παλιότερες εποχές, γιατί αποτελούσαν και αποτελούν βιομηχανικά κέντρα και οι δύο. Το πρόβλημα, όμως, χειροτέρευσε με την εμφάνιση των αυτοκινήτων και σε συνδυασμό με τα πολλά εκατομμύρια πληθυσμού που υπάρχουν, το πρόβλημα έχει γίνει τεράστιο. Έχουν γίνει προσπάθειες, για να γίνουν οι συνθήκες καλύτερες, αλλά ο έλεγχος των πολυάριθμων αυτοκινήτων, που μετακινούνται καθημερινά στο κέντρο της πόλης, είναι ακατόρθωτος. Μόνο η αντικατάσταση των παλιών αυτοκινήτων, που εκπέμπουν πολλούς ρύπους, είναι δυνατή μέσα από επιβολή νόμων. Επίσης, απαραίτητα είναι τα μέτρα για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, καθώς η μετακίνησή τους μέσα στην πόλη επιβαρύνει ακόμα περισσότερο την ατμόσφαιρα. Ακόμη, ζήτημα αποτελεί και η θέρμανση των σπιτιών. Η καύση, κυρίως, βιομάζας και καυσίμων τις χειμερινές περιόδους είναι αυξημένη και σε συνδυασμό με τις βροχοπτώσεις, που μεταφέρουν άλλα σωματίδια από τις άλλες χώρες της Ευρώπης, κάνουν τον αέρα τοξικό. Δυστυχώς, η αντιμετώπιση του προβλήματος θα πρέπει πρώτα να ξεκινήσει από τη διαπαιδαγώγηση των πολιτών. Και το αυτοκίνητο αλλά και η οικιακή θέρμανση βρίσκονται στην καθημερινότητα του ανθρώπου, επομένως, είναι προσωπική ευθύνη του καθενός να βοηθήσει και να βρει εναλλακτικές λύσεις. Επίσης, ρόλο παίζει και η γεωγραφική θέση και το κλίμα της κάθε περιοχής. Η περικύκλωση λόφων γύρω από την πόλη του Λονδίνου και οι συχνές βροχοπτώσεις στο Παρίσι εγκλωβίζουν το βρώμικο αέρα στις πόλεις. Αλλά και λόγω της γεωγραφικής τους θέσης, νέος αέρας που τους διαπερνά είναι και αυτός επιβαρυσμένος με ρύπους από τις άλλες χώρες της ηπειρωτικής Ευρώπης, που διαπέρασε. Το συμπέρασμα, λοιπόν, είναι ότι πρέπει να γίνουν ακόμη τεράστια βήματα και να υπάρξουν σχεδιασμοί, όχι μόνο για τον καθαρισμό του αέρα αλλά και για την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών. Οι κυβερνήσεις πρέπει να εφαρμόσουν προγράμματα, να γνωστοποιήσουν τα προβλήματα που υπάρχουν και να παρθούν μέτρα για τη μετακίνηση των αυτοκινήτων. Προϋπόθεση απαραίτητη θα πρέπει να είναι η οικονομική ενίσχυση και η επιβράβευση των πολιτών από το κράτος, για να τους δοθεί η ώθηση για την αντικατάσταση των αυτοκινήτων και της οικιακής θέρμανσης με τις καλύτερες επιλογές. Μπορεί πηγές ρύπων που εμφανίζονται λόγω της γεωγραφικής θέσης ή του κλίματος να μην είναι εύκολο να

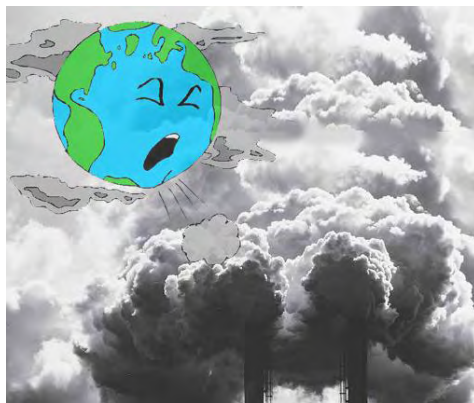
περιοριστούν, όμως η μετακίνηση των πολιτών στο κέντρο της πόλης με τα αυτοκίνητα είναι η πρώτη πηγή ρύπανσης και στις δύο πόλεις. Πρέπει να υπάρχει έλεγχος αλλά και να δημιουργηθούν νέες συνθήκες που δεν υποβαθμίζουν, όμως, τις ανάγκες των πολιτών.

Η Στοκχόλμη και το Ελσίνκι, που ανήκουν στην τρίτη κατηγορία, ανήκουν στις χώρες με τον καθαρότερο αέρα. Η σύγκριση, βέβαια, μεταξύ τους είναι άνιση, γιατί το Ελσίνκι, εκτός από το γεγονός ότι θεωρείται πρωτοπόρος στο θέμα της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας είναι και πιο αραιοκατοικημένη σε σχέση με τη Στοκχόλμη. Και στις δύο περιπτώσεις έχουν γίνει τεράστια βήματα πρώτα από την πλευρά της κυβέρνησης και μετά από την πλευρά των πολιτών. Ήταν από τις πρώτες χώρες που ξεκίνησαν να δρουν, αφού έγινε αντιληπτό το πρόβλημα και θεωρούν ότι το ζήτημα αυτό, που αφορά τη χώρα, έχει την ίδια βαρύτητα όπως άλλα εθνικά προβλήματα. Και στις δύο, περιπτώσεις εφαρμόστηκαν προγράμματα αναθεώρησης των συνθηκών διαβίωσης, ενισχύθηκαν τα δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς, το οδικό δίκτυο και εγκαταστάθηκαν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι πολίτες δέχθηκαν το κάλεσμα της κυβέρνησης και εγκλιματίστηκαν γρήγορα στις νέες συνθήκες. Υιοθέτησαν νέες συνήθειες, όπως την ποδηλασία και το πέλετ. Μόνο οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν αρκετά, γιατί έχει πολύ κρύο, και αναγκάζονται να καίγονται περισσότερα καύσιμα για οικιακή θέρμανση. Αλλά και σε αυτή τη περίπτωση, τα περισσότερα σπίτια έχουν εγκαταλείψει τις παλαιότερες τεχνολογίες θέρμανσης και τα έχουν αντικαταστήσει με καινούργιες, πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Οι πόλεις αυτές αποτελούν την απόδειξη ότι με την κατάλληλη ενημέρωση των πολιτών και με τη δική τους συμμετοχή, το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί σε μεγάλο βαθμό. Δοκιμάστηκαν και εφαρμόστηκαν ιδέες, πειραματίστηκαν με σχεδιασμούς και αντιλήφθηκαν ποια είναι τα σωστά βήματα. Στις μεγάλες πόλεις, ωστόσο, όπως το Λονδίνο και το Παρίσι, πρέπει να μπουνε σε εφαρμογή και άλλα μέτρα, λόγω του αυξημένου πληθυσμού.

Βλέποντας, λοιπόν, αυτές τις τρεις κατηγορίες ξεχωριστά, μπορεί να καταλάβει κανείς ότι έχουμε τρεις ξεχωριστές περιπτώσεις. Η Στοκχόλμη και το Ελσίνκι αποτελούν παράδειγμα συμπεριφοράς προς τις άλλες χώρες. Σαφώς και υπάρχουν πράγματα που πρέπει να γίνουν, όμως εν έτη 2019, που το μεγαλύτερο κατοικήσιμο ποσοστό του κόσμου δεν έχει καθαρό αέρα, γίνεται ξεκάθαρο ότι οι συνθήκες σε αυτές τις δύο πόλεις αποτελούν τις ονειρικές συνθήκες για την κάθε πόλη. Στο Λονδίνο όμως και στο Παρίσι δεν θα είναι τόσο εύκολο να εφαρμοστούν έτσι απλά αυτά τα βήματα, γιατί ο πληθυσμός είναι πολύ μεγαλύτερος. Θα έπρεπε, όμως, να έχει σχεδιαστεί ένα πλάνο και να μπει σε πειραματική εφαρμογή για να προσδιοριστούν ποια είναι τα σωστά βήματα. Οι πόλεις αυτές, λοιπόν, βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της κατανόησης του προβλήματος. Τέλος, η τελευταία περίπτωση της Ελλάδας, αφορά μία περίπτωση στην οποία δεν έχει προβληθεί αρκετά το θέμα, δεν υπάρχει ενημέρωση και δεν υπάρχουν αρκετά προγράμματα και οργανισμοί που να ασχολούνται με αυτό. Σε αυτή τη περίπτωση, λοιπόν, τα βήματα τα οποία είχαν ξεκινήσει να γίνονται ξεχάστηκαν, γιατί δεν αποτελούν πια προτεραιότητα. Επομένως, ουσιαστικά δεν έχει γίνει ακόμη ούτε το βήμα της κατανόησης.

Το δύσκολο σε ένα τέτοιο παγκόσμιο ζήτημα είναι ότι οποιαδήποτε ενέργεια και να γίνει, για να αντιμετωπιστεί το ζήτημα δε θα αντιστρέψει το πρόβλημα. Μπορούν να παρθούν μέτρα, για την τρύπα του όζοντος, όμως αυτό δε σημαίνει ότι το πρόβλημα θα εξαφανιστεί. Μπορούν να εφαρμοστούν όρια για την εκπομπή του άνθρακα, όμως αυτό δε σημαίνει ότι η θερμοκρασία του πλανήτη θα ξανά πέσει και θα σταματήσει το λιώσιμο των πάγων την επόμενη μέρα. Μπορούν να περιοριστούν τα σωματίδια PM που αφήνονται στον αέρα, όμως αυτό δεν σημαίνει ότι θα σταματήσουν να επιβαρύνουν την υγεία των ανθρώπων. Και οι λόγοι αυτοί είναι η αιτία που κάνουν το πρόβλημα αναγκαία προτεραιότητα και όχι ένα απλό ζήτημα.

Για να καλυτερεύσει η ποιότητα διαβίωσης του κάθε ανθρώπου σε αυτές τις πόλεις πρέπει να γίνεται ατομική προσπάθεια. Το πρόβλημα, πλέον, δε ξεκινά μόνο από τις βιομηχανίες αλλά από το καθένα ξεχωριστά. Το πρώτο βήμα της επιτυχίας είναι να καταλάβουν οι κυβερνώντες κάθε χώρας ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν είναι ένα ασήμαντο γεγονός αλλά είναι παρών εδώ και πολλά χρόνια και απειλεί εκατοντάδες ζωές καθημερινά. Είναι χιλιάδες οι άνθρωποι που πεθαίνουν ετησίως από την αέρια ρύπανση, όμως, ποτέ κανείς δεν προσδιόρισε ότι το φαινόμενο αυτό αποτελεί πηγή θανάτου. Όσο πιο γρήγορα γίνει κατανοητό, τόσες περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να αντιμετωπιστούν τα ζητήματα, πριν να είναι αναστρέψιμα. Τα ποσοστά σε πόλεις εκτός Ευρώπης είναι ακόμα χειρότερα και ανεξέλεγκτα. Το δύστυχο είναι ότι η οποιαδήποτε συμπεριφορά δεν επηρεάζει μόνο τοπικά αλλά σε επίπεδο κοσμικό. Ο αέρας αλλάζει, μετακινείται, συγκεντρώνεται και διαχέεται σε όλη την ατμόσφαιρα. Η ρύπανση αφορά όλες τις χώρες και όχι μόνο κάποιες από αυτές. Ορισμένοι οργανισμοί μπορεί να μην είναι μαθημένοι να ανταπεξέρθουν στις υπάρχουσες συνθήκες, γι' αυτό και είδη μπορεί να εξαφανιστούν. Γι' αυτό το λόγο, οι εφοπλιστές, οι κυβερνώντες, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, οι πολίτες πρέπει να καταλάβουν πως οι δικές τους ενέργειες θα θωρακίσουν το μέλλον αυτού του πλανήτη, θα σταματήσουν να διογκώνονται τα υπάρχοντα περιβαλλοντικά ζητήματα και θα δημιουργήσουν συνθήκες για καθαρότερη αναπνοή, αν σταματήσουν να σκέφτονται οικονομικά και αρχίσουν να σκέφτονται οικολογικά (Σχήμα 5.1 [1])!



Σχήμα 5.1

Γελοιογραφία που παρουσιάζει τον πλανήτη να πνίγεται από τα καυσαέρια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Air pollution, lethal to Earth ecosystems.7 major pollutants...world worst-polluted places: “killer communities” (2009) *WcPBlog*. [[http://www.worldculturepictorial.com/blog/content/air - pollution-lethal-earth-ecosystems-7-major-pollut](http://www.worldculturepictorial.com/blog/content/air-pollution-lethal-earth-ecosystems-7-major-pollut), πρόσβαση 19.2.2018]