

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παρακολούθηση και μέτρηση ποιότητα αέρα σε αστικές και βιομηχανικές ρυπογόνες περιοχές



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:ΙΑΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ - 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που ήταν πάντα δίπλα και με στήριζε σε κάθε δυσκολία.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την παρακολούθηση καθώς και την μέτρηση της ποιότητας του αέρα σε περιοχές με αυξημένα ποσοστά ρύπων όπως οι αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Ο βασικός σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση των πηγών ρύπανσης και η διερεύνηση του αντίκτυπου που έχουν στην ανθρώπινη ζωή.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική εισαγωγή στην ποιότητα του αέρα υπό φυσιολογικές συνθήκες αλλά και υπό συνθήκες ρύπανσης μικρής και μεγάλης έκτασης. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τις μεθόδους παρακολούθησης και μέτρησης που έχουν αναπτυχθεί σχετικά με την παρακολούθηση και μέτρηση της ποιότητας του αέρα σε περιοχές όπου η ρύπανση του αέρα αποτελεί σημαντικό πρόβλημα όπως οι αστικές και βιομηχανικές περιοχές.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικότερες πηγές ρύπανσης του αέρα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, καθώς οι απαραίτητες μετρήσεις με βάση τα νέα δεδομένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ αναφέρονται και οι επιπτώσεις τους τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και στο ευρύτερο περιβάλλον του πλανήτη. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των στοιχείων ποιότητας αέρα σε διαφορετικές ευρωπαϊκές πόλεις με μοντελοποίηση της ποιότητας του αέρα με βάση τους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Τέλος στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν με βάση την ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας.

ABSTRACT

This diploma thesis concerns the monitoring and measurement of air quality in areas with higher levels of pollutants such as urban and industrial areas. The main purpose of the work is to analyze the sources of pollution and to investigate the impact they have on human life.

The paper consists of five chapters. More specifically, the first section is a general introduction to air quality under physiological conditions and under conditions of small and large scale contamination. The second chapter concerns the monitoring and measurement methods developed for the monitoring and measurement of air quality in areas where air pollution is a major problem, such as urban and industrial areas.

The third chapter analyzes the main sources of air pollution in urban and industrial areas as well as the necessary measurements based on new data in the European Union, and their impact on both human health and the wider environment of the world. The fourth chapter presents the estimates of air quality data in different European cities by modeling air quality based on atmospheric pollutants. Finally, in the fifth and final chapter are presented the conclusions that form from the review of the existing bibliography.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ABSTRACT	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
1.1 Εισαγωγή στην ποιότητα αέρα	7
1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	8
1.3 Δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	9
1.3.1 Ο δείκτης PSI.....	10
1.3.2 Ο δείκτης AQI	12
1.3.3 Ο δείκτης RPI	14
1.3.4 Ο δείκτης API.....	15
1.3.5 Ο δείκτης ΒΑΡΙ	15
1.3.6 Ο δείκτης IND-AQI	16
1.3.7 Ο δείκτης DAQx.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	19
2.1 Μέθοδοι μέτρησης της ρύπανσης αέρα	19
2.1.1 Η φωτομετρία	20
2.1.2 Η χρωματογραφία.....	22
2.1.3 Η φασματομετρία μάζας.....	23
2.1.4 Η υπέρυθη και υπεριώδης φασματοσκοπία και η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης	24
2.2 Μέθοδοι παρακολούθησης δεικτών ρύπανσης.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	28

3.1 Πηγές ρύπανσης αέρα	28
3.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι	29
3.2.1 Μονοξείδιο του άνθρακα	30
3.2.2 Διοξείδιο του άνθρακα.....	31
3.2.3 Υδρογονάνθρακες.....	33
3.2.4 Αιωρούμενα σωματίδια	35
3.3 Εκδήλωση ρύπανσης	37
3.3.1 Όξινη Βροχή	37
3.3.2 Αιθαλομίχλη.....	39
3.3.3 Φαινόμενο του θερμοκηπίου	42
3.4 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	477
4.1 Ελληνική νομοθεσία.....	47
4.1.1 Εφαρμογή διατάξεων αναφορικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση.....	48
4.1.2 Θεσμικοί κανονισμοί ρύθμισης για τα πρότυπα εκπομπών.....	49
4.1.3 Θεσμικό πλαίσιο αντιμετώπισης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	52
4.1.4 Θεσμικό πλαίσιο ρύθμισης της προσβασης του κοινού στις περιβαλλοντικές πληροφορίες.....	52
4.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρώπη	53
4.3 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Λονδίνου.....	55
4.4 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη της Στοκχόλμης.....	577
4.5 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Παρισιού	599
4.6 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη της Ρώμης.....	61
4.7 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Άμστερνταμ	63
4.8 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Βερολίνου	65

4.9 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη των Βρυξελών.....	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή στην ποιότητα αέρα

Η κακή ποιότητα του αέρα στα αστικά κέντρα τόσο στις αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες, αποτελεί σοβαρή απειλή για την υγεία και ευημερία για τον μισό αστικό πληθυσμό σε ολόκληρο τον κόσμο. Στην Ευρώπη, μετά από μελέτη που διεξήχθη, σε 105 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 500.000 κατοίκους, παρατηρήθηκε ότι το 70-80% των πόλεων, βρέθηκε ότι ένας ή περισσότεροι ρύποι ξεπέρασαν το όριο που έχει θέσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας σχετικά με την ποιότητα του αέρα, τουλάχιστον μία φορά τον χρόνο. Σε ολόκληρο τον κόσμο, σχεδόν 1,6 εκατομμύρια άνθρωποι κινδυνεύουν από την κακή ποιότητα του αέρα (Stanners & Bourdeau, 1995). Εκατοντάδες εκατομμύρια άνθρωποι σε παγκόσμιο επίπεδο, διαμένουν σε πόλεις όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι τόσο σοβαρή ώστε εκατοντάδες χιλιάδες πεθαίνουν πρόωρα κάθε χρόνο και δεκάδες χιλιάδες άλλοι παρουσιάζουν χρόνιες ή οξείες ασθένειες (Elsom, 2014).

Η ρύπανση του αέρα αποτελεί ένα πάγιο πρόβλημα εξαιτίας της διαρκούς αύξησης του αστικού πληθυσμού, της ανεξέλεγκτης αστικής και βιομηχανικής επέκτασης και στην αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων αλλά και όλων των μηχανοκίνητων μεταφορικών μέσων (Akimoto, 2003; Elsom, 2014).

Η κάλυψη βασικών αναγκών όπως θέρμανση, ύδρευση, μαγείρεμα και άλλα, απαιτούν την κατανάλωση ενέργειας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Αυτό σε συνδυασμό με την αύξηση του αστικού πληθυσμού καθώς και των νέων εκπομπών ρύπων που προστίθενται στην ήδη επιβαρημένη αστική ατμόσφαιρα, δημιουργεί ένα ασφυκτικό κλίμα (Akimoto, 2003).

Επίσης, η αύξηση του αστικού πληθυσμού, συνεπάγεται και ανάπτυξη της βιομηχανίας στην περιοχή. Η βιομηχανική δραστηριότητα με την σειρά της συνεπάγεται και αύξηση των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρά (Holdren, 1991). Πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι αρκετές χώρες που βρίσκονται στο στάδιο της βιομηχανικής ανάπτυξης, δεν διαθέτουν τους οικονομικούς και τεχνολογικούς πόρους που απαιτούνται ώστε να διαχειριστούν ή ακόμα και να μειώσουν τα ποσά ρύπων που παράγουν. Γενικά, οι χώρες με αδύναμες οικονομίες δεν επενδύουν αρκετούς πόρους για εξοπλισμούς ελέγχου της ρύπανσης, ενώ βασίζουν την παραγωγή ενέργειας τους σε ρυπαρό καύσιμα όπως ο άνθρακας και ο λιγνίτης (Elsom, 2014).

1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμόσφαιρα της γης αποτελείται από ένα στρώμα αερίων που περιβάλλει τον πλανήτη, φτάνοντας σε ένα πάχος περίπου 480km, ενώ αποτελεί τον βασικό παράγοντα για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη. Παρόλα αυτά, η ατμόσφαιρα είναι ευαίσθητη σε αλλαγές και ζημιές. Η μόλυνση της ατμόσφαιρας από επιβλαβείς ενώσεις ξεκίνησε από τότε που οι προϊστορικοί λαοί άρχισαν να χρησιμοποιούν τη φωτιά. Ωστόσο, από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει λάβει μεγάλες διαστάσεις, απειλώντας το μέλλον του ανθρώπου και του πλανήτη.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα μείγμα πολλών ρύπων που προέρχονται από μυριάδες φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Οι μεταφορές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η βιομηχανική δραστηριότητα, η καύση βιομάζας και η οικιακή θέρμανση και το μαγείρεμα είναι οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές (Burton's Legal Thesaurus, 2007). Ο συνδυασμός ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την εποχή του χρόνου, αποδεικνύοντας την ποικιλομορφία των πηγών ρύπανσης, την απόρροια ατμοσφαιρικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της οξειδωσης των ρύπων και των καιρικών φαινομένων (Akimoto, 2003).

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως τα αέρια, τα χημικά, τα σωματίδια καπνού και άλλες ουσίες, προκαλούν σημαντικά προβλήματα υγείας, ενώ επιφέρουν διάβρωση του περιβάλλοντος. Ο αντίκτυπος της ρύπανσης του αέρα στο κλίμα και το περιβάλλον σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό θέμα το οποίο έχει απασχολήσει μεγάλο πλήθος επιστημόνων κατά τις τελευταίες δεκαετίες (Jimenez, 2009).

Οι ανησυχίες της επιστημονικής κοινότητας, άρχισαν να αυξάνονται κατά την δεκαετία του '80, όταν το διαστημικό λεωφορείο Columbia με εγκατεστημένο ένα εξειδικευμένο μηχάνημα με το όνομα MAPS (Measurement of Air Pollution from Satellite), μετέδωσε τις μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πάνω από την γη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποδείχθηκαν εξαιρετικά χρήσιμα, καθώς μέσα από την παρατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO) πάνω από την τροπική Ασία, την Αφρική και τη Νότια Αμερική, κατέστη σαφές ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αέρας ήταν ένα διεθνές ζήτημα (Akimoto, 2003).

Οι μετρήσεις αυτές λοιπόν, απέδειξαν κατά κάποιο τρόπο ότι ατμοσφαιρική ρύπανση από την καύση ορυκτών καυσίμων που παρατηρούνταν πάνω και γύρω από βιομηχανικές περιοχές, μπορούσε να επηρεάσει την ποιότητα του αέρα τόσο σε τοπικό όσο και παγκόσμιο επίπεδο. Παράλληλα και οι εκπομπές από την καύση βιομάζας, όπως οι δασικές πυρκαγιές, η καύση αγροτικών αποβλήτων αλλά και η καύση φυτικών καυσίμων, αποτελούσαν επίσης σημαντικούς παράγοντες επιβάρυνσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτό σήμαινε ότι οι άνθρωποι στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, καθώς και οι κάτοικοι βιομηχανικών και αναπτυσσόμενων χωρών,

θα μπορούσαν να υποφέρουν από την ατμοσφαιρική ρύπανση που παράγεται αλλού (Akimoto, 2003).

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, άρχισε να παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης διαφόρων ατμοσφαιρικών ρύπων στην τροπόσφαιρα, όπως τα νιτρικά οξείδια (NO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2) και η φορμαλδεΐδη (HCHO) και όζοντος (O_3) (Atkinson, 2012). Τα αεροζόλ από την άλλη πλευρά, αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων που μπορούν να ανιχνευτούν από τους δορυφόρους. Από διάφορες μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με τους τύπους των αερολυμάτων αυτών, ξεχώρισαν τέσσερις τύποι όπως, η σκόνη του εδάφους, το ανθρακούχο άζωτο, τα θειικά και τέλος τα αερολύματα που δημιουργούνται από το θαλασσινό αλάτι (Akimoto, 2003).

Τα παγκόσμια ζητήματα ποιότητας του αέρα υπάρχουν μόνο όσον αφορά τους ρύπους που διατηρούνται στην ατμόσφαιρα για αρκετές ημέρες όπως για παράδειγμα για μία εβδομάδα, με αποτέλεσμα να μεταφερθούν σε γειτονικές χώρες ή ακόμα και σε άλλη ήπειρο. Ένα τέτοιο αέριο είναι το όζον που βρίσκεται στην τροπόσφαιρα. Το όζον, αποτελεί ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, το οποίο είναι τοξικό για τους ανθρώπους, τα ζώα και τα φυτά. Επειδή ο ατμοσφαιρικός χρόνος ζωής του όζοντος είναι μία έως δύο εβδομάδες το καλοκαίρι και από έναν έως δύο μήνες το χειμώνα, το όζον που παράγεται σε μολυσμένη περιοχή μιας ηπείρου μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη ήπειρο καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου (Akimoto, 2003).

1.3 Δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΔΑΡ) αφορούν αριθμητικές τιμές που προκύπτουν με την βοήθεια αλγορίθμων. Οι δείκτες αυτοί παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της ποιότητας της ατμόσφαιρας ενώ βοηθούν στην βέλτιστη αποτίμηση των πιθανών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία του ανθρώπου. Η χρήση τους είναι διεθνής καθώς η εικόνα που μπορεί να αποδοθεί σχετικά με την κατάσταση της ποιότητας του αέρα σε μία περιοχή είναι σαφής και πιο ολοκληρωμένη (Μουστρής, 2009).

Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει ένα μόνο σύστημα δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς αρκετές χώρες έχουν δημιουργήσει δικά τους σύνολα δεικτών τα οποία είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες της κάθε χώρας και περιοχής, θέτοντας εθνικά όρια για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Μουστρής, 2009; Τσιλιμπάρη κ.α. 2016).

1.3.1 Ο δείκτης PSI

Στα μέσα της δεκαετία του '70, παρατηρήθηκε αύξηση του αριθμού ανθρώπων που εμφάνιζαν συμπτώματα αναπνευστικών προβλημάτων. Έτσι η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, U.S.E.P.A.), πρότεινε τον περιβαλλοντικό δείκτη PSI, ο οποίος είναι κατάλληλος για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής (Ott & Hunt, 1976).

Ο δείκτης αυτός αποτελεί έναν σύνθετο δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που υπολογίζεται από τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων διοξειδίου του αζώτου (NO_2), διοξειδίου του θείου (SO_2), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), και όζοντος (O_3) και αιωρούμενων σωματιδίων (TSP). Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του, λειτουργεί μετατρέποντας τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 500 (Tseng, 2017).

Οι τιμές συγκέντρωσης των ρύπων που εντοπίζονται από τα δείγματα που λαμβάνονται σε μία περιοχή, μετατρέπονται από τον αλγόριθμο του δείκτη PSI σε αριθμητικές τιμές. Ανάλογα με την τιμή που λαμβάνει ο δείκτης PSI κάθε φορά, μπορεί να εκτιμηθεί η κατάσταση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σύμφωνα με τον επόμενο πίνακα (Ott & Hunt, 1976).

Πίνακας 1 Κλίμακα εκτίμησης ποιότητας αέρα με βάση τον δείκτη PSI. Πηγή: Ott & Hunt, 1976.

PSI	Κατηγορία ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα
0-50	Καλή
51-100	Μέτρια
101-200	Ανθυγιεινή
201-300	Πολύ ανθυγιεινή
301-500	Επικίνδυνη για την δημόσια υγεία

Για κάθε ρύπο υπάρχει ένας υποδείκτης. Η ημερήσια τιμή του δείκτη PSI αποτελεί και την μέγιστη τιμή αυτών των υποδεικτών όπως φαίνεται και στην επόμενη σχέση (Ott & Hunt, 1976):

$$PSI = \max(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5)$$

όπου:

y_1 : ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM10).

γ₂: ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου.

γ₃: ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα.

γ₄: ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

γ₅: ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των επιμέρους δεικτών και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν.

Πίνακας 2 Τιμές επιμέρους δεικτών PSI (Ott & Hunt, 1976)

I _i	PM ₁₀ μg/m ³ (24h)	SO ₂ μg/m ³ (24h)	CO mg/m ³ (8h)	O ₃ mg/m ³ (1h)	NO ₂ mg/m ³ (1h)
0	0	0	0	0	-
50	50	80	5	118	-
100	150	365	10	235	-
200	380	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	>500	2620	56,7	>1000	3750

Η κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα του δείκτη PSI συνδέεται με άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και κυρίως σε ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι επιπτώσεις κάθε κατηγορίας στην υγεία του πληθυσμού (Boubel et al. 1994).

Πίνακας 3 Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας με πιθανές επιπτώσεις στην δημόσια υγεία. Πηγή: Boubel et al. (1994)

Κατηγορία ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα κατά PSI	Πιθανές επιπτώσεις στην δημόσια υγεία
Καλή	Καμία επίπτωση στην δημόσια υγεία.
Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού.
Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας

	του πληθυσμού.
Πολύ ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων και μειωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα υγείας. Εκτεταμένα συμπτώματα στον γενικό πληθυσμό.
Επικίνδυνη για την δημόσια υγεία	Πρώιμη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών νε σημαντική αύξηση της επιδείνωσης των συμπτωμάτων και μείωση της αντοχής στην υγεία του ανθρώπου. Σε περιπτώσεις όπου PSI>400 ενδέχεται να προκληθούν πρόωροι θάνατοι από ασθενείς και κυρίως ηλικιωμένα άτομα.

1.3.2 Ο δείκτης AQI

Το 1999 η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος, μετά από αναθεώρηση και μετασχηματισμό του δείκτη PSI, δημιούργησε το Δείκτη Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index – AQI). Από την τροποποίηση του δείκτη PSI, το νέο σύστημα περιλαμβάνει κρίσιμα σημεία για το όζον (O₃), με έναν υποδείκτη μέσης συγκέντρωσης O₃ για 8 ώρες και ένα νέο υποδείκτη για τα λεπτά σωματίδια (PM_{2.5}). Επίσης προστέθηκε μια πρόσθετη κατηγορία η οποία περιγράφεται ως «ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες» (Cheng et. al., 2007).

Πίνακας 4 Κλίμακα εκτίμησης ποιότητας αέρα με βάση τον δείκτη AQI. Πηγή: Ε.Α.Ρ-ΠΕ.ΦΥ.

AQI	Κατηγορία ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα
0 – 50	Καλή
51 – 100	Μέτρια
101 – 150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες
151 – 200	Ανθυγιεινή
201 – 300	Πολύ ανθυγιεινή
301 – 500	Επικίνδυνη για την δημόσια υγεία

Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση την παρακάτω εξίσωση (Cheng et. al., 2007):

$$I_i = \frac{I_H - I_L}{BP_H - BP_L} * (C - BP_L) + I_L$$

όπου:

I_H : η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης BP_H

I_L : η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης BP_L

C: η τιμή την ημερήσιας συγκέντρωσης αναφοράς του ρύπου τη στιγμή που υπολογίζεται ο δείκτης και με βάση τα εθνικά όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης

BP_H : το υψηλότερο σημείο διακοπής του ρύπου το οποίο είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το C

BP_L : το χαμηλότερο σημείο διακοπής το οποίο είναι μικρότερο ή ίσο με C

Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι τιμές συγκέντρωσης με τα άνω και κάτω όριά τους, για κάθε ρύπο χωριστά, καθώς επίσης και οι αντίστοιχες ανώτερες και κατώτερες τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI. Αφού υπολογιστούν οι επιμέρους δείκτες, για κάθε ρύπο χωριστά, ως ημερήσια τιμή του δείκτη AQI θεωρείται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές.

Πίνακας 5 Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI. Πηγή: Μουστράς (2009)

Τιμή AQI	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
$PM_{10} \mu g/m^3$ (24h)	0-54	55-154	155-254	255-354	355-424	>424
$PM_{2,5} \mu g/m^3$ (24h)	0-15,4	15,5-40,4	40,5-65,4	65,5-150,4	150,5-250,4	>250,4
$CO \text{ mg}/m^3$ (8h)	0-4,4	4,5-9,4	9,5-12,4	12,5-15,4	15,5-30,4	>30,4
$SO_2 \mu g/m^3$ (24h)	0-0,034	0,035-0,144	0,145-0,225	0,225-0,304	0,305-0,604	>0,604
$O_3 \text{ mg}/m^3$ (8h)	0-0,064	0,065– 0,084	0,085-0,104	0,105-0,124	0,125-0,374	>0,374
$O_3 \text{ mg}/m^3$ (1h)	-	-	0,125-0,164	0,165-0,204	0,205-0,404	>0,404
$NO_2 \text{ mg}/m^3$ (1h)	-	-	-	-	0,65-1,24	>1,24

Αντιστοίχως αλλάζουν και οι επιπτώσεις στην δημόσια υγεία ως εξής:

Πίνακας 6 Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας με πιθανές επιπτώσεις στην δημόσια υγεία. Πηγή: Ε.Α.Ρ-ΠΕ.ΦΥ.

Κατηγορία ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα κατά PSI	Πιθανές επιπτώσεις στην δημόσια υγεία
Καλή	Καμία επίπτωση στην δημόσια υγεία.
Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού.
Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού.
Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού.
Πολύ ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων και μειωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα υγείας. Εκτεταμένα συμπτώματα στον γενικό πληθυσμό.
Επικίνδυνη για την δημόσια υγεία	Πρώιμη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών νε σημαντική αύξηση της επιδείνωσης των συμπτωμάτων και μείωση της αντοχής στην υγεία του ανθρώπου. Σε περιπτώσεις όπου $PSI > 400$ ενδέχεται να προκληθούν πρόωροι θάνατοι από ασθενείς και κυρίως ηλικιωμένα άτομα.

1.3.3 Ο δείκτης RPI

Ο περιφερειακός δείκτης ρύπανσης (Regional Pollution Index - RPI), χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την κυβέρνηση της Νέας Νότιας Ουαλίας στο Σύδνεϋ της Αυστραλίας από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Για τον υπολογισμό του δείκτη RPI χρησιμοποιήθηκαν τα κατώτερα όρια που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση με βάση την οδηγία πλαίσιο 1996/62 / ΕΚ και τις τρεις οδηγίες 1999/30 / ΕΚ, 2000/69 / ΕΚ και 2002/3 / ΕΚ (Moustris et.al. 2010). Τα όρια αυτά παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 7 Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πηγή: Moustris et.al. (2010).

Ρύπος	Όρια τιμών
NO₂	Ωριαία τιμή = 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO₂	Ωριαία τιμή = 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

CO	Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή για 8h = 10 µg/m ³
O₃	Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή για 8h = 120 µg/m ³
PM₁₀	Μέση ημερήσια τιμή = 50 µg/m ³

1.3.4 Ο δείκτης API

Ο Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (Air Pollution Index - API) χρησιμοποιείται κυρίως για την αναφορά του επιπέδου ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Αποτελεί μια πιο απλή και γενικευμένη μορφή παροχής έγκαιρης πληροφόρησης σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα για το κοινό σχετικά με τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, ενώ μπορεί να βοηθήσει τους πολίτες να κατανοήσουν πώς αλλάζει η τοπική ποιότητα του αέρα με την πάροδο του χρόνου (Li et.al. 2014).

Πίνακας 8 Διαστήματα συγκεντρώσεων ρύπων και τα αντίστοιχα API. Πηγή: Li et.al. (2014)

Διαστήματα συγκεντρώσεων ρύπων (mg/m ³)			Διαστήματα API
SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	
[0.000, 0.050]	[0.000, 0.080]	[0.000, 0.050]	0-50
(0.050, 0.150]	(0.080, 0.120]	(0.050, 0.150]	51-100
(0.150, 0.800]	(0.120, 0.280]	(0.150, 0.350]	101-200
(0.800, 1.600]	(0.280, 0.565]	(0.350, 0.420]	201-300
(1.600, 2.100]	(0.565, 0.750]	(0.420, 0.500]	301-400
(2.100, 2.620]	(0.750, 0.940]	(0.500, 0.600]	401-500

1.3.5 Ο δείκτης BAPI

Το 1994, καθιερώθηκε στο δημοτικό διαμέρισμα του Μπρίστολ της Βρετανίας ένα πρόγραμμα συνεχούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, το οποίο αποκαλείται Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης του Μπρίστολ (Bristol Air Pollution Index - BAPI). Το σύστημα αυτό διαθέτει μια βαθμονόμηση της ποιότητας του αέρα από το 1 μέχρι το 10 (DEFRA).

Πίνακας 9 Τιμές δείκτη BAPI και χαρακτηρισμοί ποιότητας του αέρα με πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Πηγή: DEFRA

Τιμές δείκτη BAPI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
1-3	Καλή	Καμία ενόχληση δεν παρατηρείται ακόμα και σε

ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού		
4-6	Μέτρια	Λίγες ενοχλήσεις σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού χωρίς την ανάγκη λήψης μέτρων
7-9	Κακή	Σοβαρά προβλήματα σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού. Ανάγκη λήψης μέτρων για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
10	Πολύ κακή	Επικίνδυνα συμπτώματα για την υγεία του πληθυσμού. Ανάγκη επιβολής άμεσων μέτρων για την προστασία της υγείας του πληθυσμού

1.3.6 Ο δείκτης IND-AQI

Το Ινδικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καρναι πρότεινε τον Ινδικό Δείκτη Ποιότητας Αέρα (Indian Air Quality Index, IND - AQI) το οποίο χρησιμοποιεί μια τεταγμένη γραμμική συνάρτηση σχετικά με τις πραγματικές συγκεντρώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (για κάθε ρύπο ξεχωριστά) μεταφράζοντας τες σε έναν αριθμούς. Οι ρύποι που περιλαμβάνονται στην προτεινόμενη IND - AQI είναι SO₂, NO₂, PM₁₀, CO και O₃. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τη σύνοψη των κρίσιμων σημείων των συγκεντρώσεων και των τιμών AQI για την Ινδία για όλους τους ρύπους (Upadhyaya & Dashore, 2010).

Πίνακας 10 Κατηγορίες ποιότητας αέρα σύμφωνα με το Ινδικό AQI. Πηγή: Upadhyaya & Dashore, (2010)

Index	Category	SO ₂ µg/m ³ (24 hr avg)	NO ₂ µg/m ³ (1-hr avg)	CO µg/m ³ (8-hr avg)	O ₃ µg/m ³ (1-hr avg)	PM ₁₀ µg/m ³ (24-hr avg)
0- 100	Good	0-80	0-80	0-2	0-180	0-100
101- 200	Moderate	81-367	81-180	2.1-12	180-225	101-150
201- 300	Poor	368-786	181-564	12.1-17	225-300	151-350
301- 400	Very poor	787- 1572	565- 1272	17.1-35	301-800	351-420
401- 500	Severe	>1572	>1272	>35	>800	>420

1.3.7 Ο δείκτης DAQx

Ο Δείκτης Ημερήσιας Ποιότητας Αέρα (Daily Air Quality Index - DAQx), αναπτύχθηκε με βάση τα αποτελέσματα της τελευταίας 20ετίας σχετικά με την περιβαλλοντική ιατρική και την τοξικολογία όσον αφορά τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευημερία και την υγεία των ανθρώπων (Mayer et al., 2004).

Ο DAQx μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα μόνο σε ημερήσια κλίμακα. Παρόλα αυτά, για να είναι εφικτή η αξιολόγηση της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα όπως απαιτείται για λόγους πολεοδομικού και περιφερειακού σχεδιασμού, απαιτούνται δεδομένα ενός έτους (Mayer & Kalberlah, 2008)

Πίνακας 11 Κατηγορίες ποιότητας αέρα κατά DAQx και εύρος τιμών ρύπων για κάθε κατηγορία. Πηγή: Mayer et al. (2004)

DAQx Κατηγορίες	Κατηγοριοποίηση	DAQx τιμές	CO (mg/m ³)	NO ₂ (μg/m ³)	O ₃ (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	SO ₂ (μg/m ³)
1	Very good	0.0–1.4	0.0–0.9	0–24	0–32	0–9	0–24
2	Good	1.5–2.4	1.0–1.9	25–39	33–64	10–19	25–49
3	Satisfying	2.5–3.4	2.0–3.9	40–99	65–119	20–34	50–119
4	Sufficient	3.5–4.4	4.0–9.9	100–199	120–179	35–49	120–349
5	Poor	4.5–5.4	10.0– 29.9	200–499	180–239	50–99	350–999
6	Very poor	≥5.5	≥30.0	≥500	≥240	≥100	≥1000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Μέθοδοι μέτρησης της ρύπανσης αέρα

Οι πρώτες ενδείξεις που είχαν οι άνθρωποι σχετικά με την ρύπανση του αέρα ήταν βασισμένες σε ενδείξεις της αναπνοής, της όσφρησης και της όρασης. Η ταλαιπωρία από την εισπνοή καπνού οδηγούσε τους ανθρώπους να ψάχνουν για καθαρό αέρα. Ο σημαντικότερος δείκτης της ρύπανσης, ωστόσο, θα πρέπει να ήταν τα ορατά σύννεφα που προκύπτουν από τη διασπορά και την απορρόφηση του φωτός από αιωρούμενα σωματίδια (Watson & Chow, 1994).

Η πρώτη καταγεγραμμένη αναφορά σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση προέρχεται από τον 14^ο αιώνα, όπου στην Αγγλία με βασιλικό διάταγμα, εφαρμόστηκε κανονισμός για την μείωση της χρήσης άνθρακα. Τα αίτια που οδήγησαν στην εφαρμογή αυτού του μέτρου ήταν ο μαύρος καπνός από τις καμινάδες, η μειωμένη ορατότητα, οι μαυρισμένοι τοίχοι των κτιρίων και των ρούχων καθώς και η αναπνευστική δυσφορία. Αν και η μέθοδος μέτρησης ήταν αρκετά περιορισμένη, η απόφαση ήταν σωστή (Chow, 1995).

Σύμφωνα με την Chow, (1995), μέχρι και τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, η μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης βασιζόταν ως επί το πλείστο στην οπτική παρατήρηση. Ενώ, είχαν εφαρμοστεί κάποιοι κανονισμοί σχετικά με τα επίπεδα καπνού στην ατμόσφαιρα στις βιομηχανικές περιοχές, η μέθοδος μέτρησης συνέχιζε να βασίζεται στην οπτική παρατήρηση μέχρι και κατά την δεκαετία του 1940. Παρόλα αυτά, όπως αναφέρει η Chow, (1995), κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, αναπτύχθηκε μία μέθοδο όπου λαμβάνοντας δείγματα από βρόχινο νερό, εντόπισαν διάφορα επίπεδα όξινων δειγμάτων. Η μεθοδολογία αυτή αποτέλεσε την βάση για ένα δίκτυο παρακολούθησης το οποίο δημιουργήθηκε στο Λονδίνο το 1910, όπου το βρόχινο νερό, φιλτράρονταν μέσω υαλοβάμβακα σε εμαγιέ δοχείο. Το δείγμα του βρόχινου νερού, ήταν τόσο όξινο ώστε ο υαλοβάμβακας να διαλυθεί και η επίστρωση σμάλτου να χαραχτεί.

Ως μία σημαντική αναβάθμιση της μεθόδου, αποδείχθηκε η συλλογή σωματιδίων και σκόνης, για την μέτρηση των στερεών ρύπων. Αναπτύχθηκαν μάλιστα διάφορες τεχνικές οι οποίες κατά βάση, χρησιμοποιήθηκαν δοχεία, κατακρήμνισης με ανοιχτό στόμιο, για την συλλογή μεγάλων σωματιδίων για διάστημα μερικών εβδομάδων. Κατά το πέρας της χρονικής περιόδου συλλογής, τα δοχεία πλένονταν με συγκεκριμένη ποσότητα νερού το οποίο στην συνέχεια φιλτράρονταν. Η μάζα των αδιάλυτων σωματιδίων προσδιορίζονταν μετρώντας την αύξηση βάρους του ξηρού φίλτρου. Παρόλα αυτά παράγοντες όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, καθώς και οι τυχόν οργανικής προέλευσης ύλες που εντοπίζονταν στο δείγμα επηρέαζαν το τελικό αποτέλεσμα (Chow, 1995).

Μέχρι και τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πέρασαν από μια περίοδο εξέλιξης όπου η ανάπτυξη, η χρήση και η επανεξέταση διαφόρων τεχνικών μέτρησης αποτέλεσε την βάση των σύγχρονων τεχνικών. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι οι επιστήμονες πάντα προσπαθούσαν να χρησιμοποιήσουν όλα τα διαθέσιμα τεχνολογικά μέσα κάθε εποχής ώστε να καταφέρουν να λάβουν όσο το δυνατόν αξιόπιστες μέτρησης ήταν εφικτό.

Μέσα από την συνεχή τεχνολογική ανάπτυξη κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, πλέον οι επιστήμονες του κλάδου έχουν στην διάθεση τους μια μεγάλη ποικιλία από όργανα και τεχνικές μετρήσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα όργανα και οι τεχνικές αυτές, παρέχουν ακριβείς μετρήσεις καθώς έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύσουν ένα μεγάλο πλήθος ρύπων και χημικών ενώσεων στον αέρα (Ζάνης, 2014).

Η διαδικασία λήψης των μετρήσεων γίνεται με τρεις τρόπους:

- Ø Λήψη δειγμάτων για εργαστηριακή ανάλυση
- Ø Συνεχή επιτόπια μέτρηση της ρύπανσης
- Ø Τηλεπαρατήρηση για τρισδιάστατη καταγραφή της ατμόσφαιρας σε μία περιοχή.

Όσον αφορά τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διερεύνηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι (Ζάνης, 2014):

- Ø Η φωτομετρία
- Ø Η χρωματογραφία
- Ø Η φασματομετρία μάζας
- Ø Η υπέρυθη και υπεριώδης φασματοσκοπία και φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης
- Ø Οι ηλεκτροχημικές τεχνικές

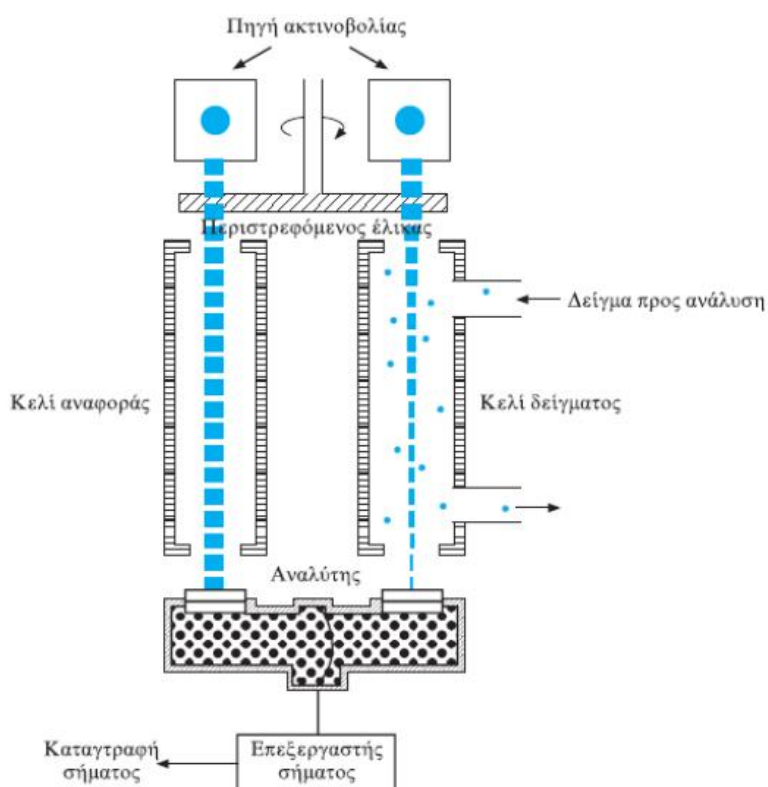
Κάθε μέθοδος και τεχνική μέτρησης της ποιότητας του αέρα έχει διαφορετικό χρόνο εφαρμογής (ετήσια, μηνιαία, ωριαία και λεπτού). Αυτό βασίζεται στον τρόπο εφαρμογής της μεθόδου καθώς και στο είδος των επιθυμητών μετρήσεων. Κατά την επιλογή των κατάλληλων σε κάθε περίπτωση μεθόδων μέτρησης της ποιότητας του αέρα ή αξιολόγησης των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρόνος εφαρμογής κάθε μεθόδου /τεχνικής (Boubel et al. 1994).

2.1.1 Η φωτομετρία

Η φωτομετρία αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο μέτρησης του μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα. Η μη-σκεδαζόμενη υπέρυθη φωτομετρία (NDIR) βασίζεται την αρχή της επιλεκτικής

απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το μονοξείδιο του άνθρακα. Η μέτρηση της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα γίνεται μέσω της μέτρησης της εξασθένησης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας λόγω απορρόφησης από το μονοξείδιο του άνθρακα που περιέχει το δείγμα (Μουστρής, 2009).

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η αρχή στην οποία βασίζεται η μέθοδος.



Εικόνα 1 Μη-σκεδαζόμενη υπέρυθρη φωτομετρία (NDIR)

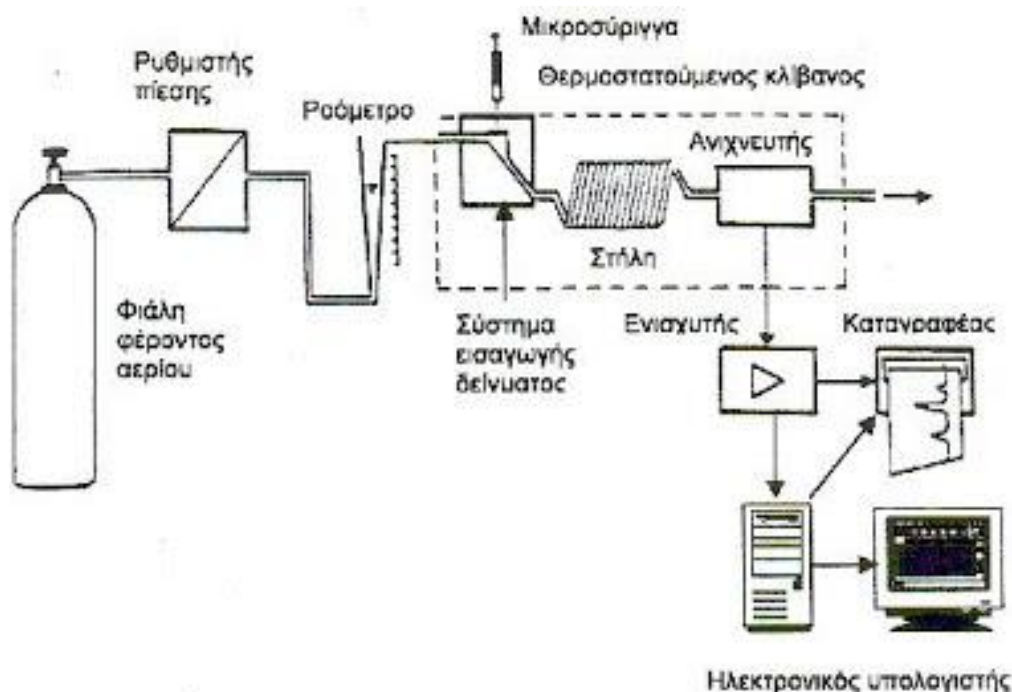
Η συσκευή της ανάλυσης διαθέτει μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας, έναν περιστρεφόμενο έλικα, ένα κελί για το δείγμα, ένα κελί αναφοράς και έναν ανιχνευτή. Το κελί αναφοράς γεμίζεται με ένα αέριο αναφοράς το οποίο δεν απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία. Στο κελί του δείγματος εισάγεται το δείγμα ατμοσφαιρικού αέρα το οποίο περιέχει άγνωστη ποσότητα CO. Ο ανιχνευτής διαιρείται σε δύο τμήματα με μια ελαστική μεμβράνη και κάθε τμήμα είναι γεμισμένο με CO. Η κίνηση της μεμβράνης προκαλεί αλλαγή στην ηλεκτρική χωρητικότητα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ελέγχου του οποίου το σήμα επεξεργάζεται και καταγράφεται (Ζάνης, 2014).

Η περιστροφή του έλικα, οδηγεί σε περιοδική έκθεση των δύο τμημάτων του οργάνου στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Στο κελί αναφοράς όπου βρίσκεται το αέριο αναφοράς, εισέρχεται σταθερή ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στο κελί από όπου περνάει το δείγμα, το οποίο περιέχει ποικίλες ποσότητες CO, η υπέρυθρη ακτίνα που μεταδίδεται στον ανιχνευτή είναι εξασθενημένη,

εξαιτίας του ότι το μονοξειδίο του άνθρακα απορροφά μία ποσότητα αυτής, η οποία μάλιστα είναι αντιστρόφως ανάλογη της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στο δείγμα του αέρα. Οι άνισες ποσότητες ακτινοβολίας που λαμβάνονται από τα δύο τμήματα του ανιχνευτή προκαλούν κίνηση της μεμβράνης, παράγοντας εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η συχνότητα καθορίζεται από την περίοδο του περιστρεφόμενου έλικα και την ταχύτητα περιστροφής του (Ζάνης, 2014).

2.1.2 Η χρωματογραφία

Καθώς στην ατμόσφαιρα παρατηρείται συγκέντρωση διαφόρων τύπων υδρογονανθράκων – όπως μεθάνιο (CH_4) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) – είναι αναγκαία η ανάλυση τους για την εκτίμηση του επιπέδου ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Εξαιτίας του ότι οι υδρογονάνθρακες είναι αναμιγμένοι μεταξύ τους, μετά την συλλογή του δείγματος είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός τους για την επίτευξη του ποσοτικού προσδιορισμού τους. Για τον διαχωρισμό αυτό, χρησιμοποιείται η αέρια χρωματογραφία. Η χρωματογραφία αφορά τον τρόπο με τον οποίο διαχωρίζονται τα συστατικά ενός μίγματος υγρής, στερεάς ή αέριας μορφής (Xie et.al. 2003). Η διάταξη λειτουργίας της αέριας χρωματογραφίας παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 2 Σχηματική διάταξη αέριας χρωματογραφίας. Πηγή: Κόκκινος (2009)

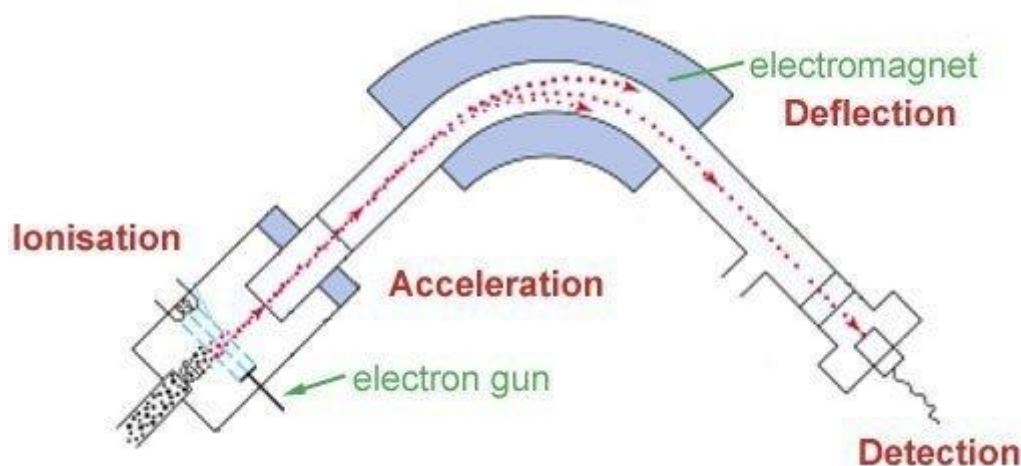
Ως φέρον αέριο χρησιμοποιείται συνήθως το άζωτο (N_2), το ήλιο (He), το υδρογόνο (H) και το αργόν (Ar). Το φέρον αέριο το οποίο διατηρείται σε μία φιάλη υψηλής πίεσης, οδηγείται στην στήλη. Μέσω της βαλβίδας εισαγωγής, εισάγεται το δείγμα στην κορυφή της στήλης. Τα συστατικά του μείγματος

του δείγματος, συμπαρασύρονται από το φέρον αέριο μέσα στην στήλη με αποτέλεσμα να διαχωριστούν. Τα κλάσματα του μίγματος στην συνέχεια ανιχνεύονται στον ανιχνευτή και τα σήματα της ανίχνευσης καταγράφονται από καταγραφικό (Κόκκινος, 2009).

2.1.3 Η φασματομετρία μάζας

Η φασματομετρία μάζας αποτελεί μια μέθοδο που αποσκοπεί στον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των χημικών ενώσεων. Η λειτουργία της βασίζεται στον ιονισμό των μορίων, ο οποίος επιτυγχάνεται με (Παπαγιαννακόπουλος & Λαζάρου, 2017):

- ∅ ηλεκτρονική πρόσκρουση (Electron impact ionization, EI) με ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια σε ηλεκτρικό πεδίο,
- ∅ φωτοϊονισμός (Photoionization, PI), με την βοήθεια φωτός στην υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος
- ∅ χημικός ιονισμός (Chemical ionization, CI), μέσω κρούσεως με άλλα ιόντα.



Εικόνα 3 Διάταξη φασματομέτρου μάζας. Πηγή: Varun (2016)

Μία τυπική διάταξη φασματογράφου μάζας αποτελείται από:

- ∅ Την περιοχή ιονισμού, όπου ένα μέρος του δείγματος ιονίζεται και τα ιόντα που παράγονται οδηγούνται στο επόμενο τμήμα.
- ∅ Το φίλτρο μαζών, όπου λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός των ιόντων με βάση την μοριακή τους μάζα και η επιλογή των ιόντων με μάζα που εμπίπτει σε συγκεκριμένη περιοχή.
- ∅ Τον ανιχνευτή ιόντων, όπου τα ιόντα ανιχνεύονται και ενισχύοντας το σήμα τους, το οδηγεί στην κεντρική συσκευή ελέγχου και μέτρησης.

2.1.4 Η υπέρυθρη και υπεριώδης φασματοσκοπία και η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

Υπάρχουν διάφορες φασματοσκοπικές μέθοδοι για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των ρύπων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Αυτές είναι:

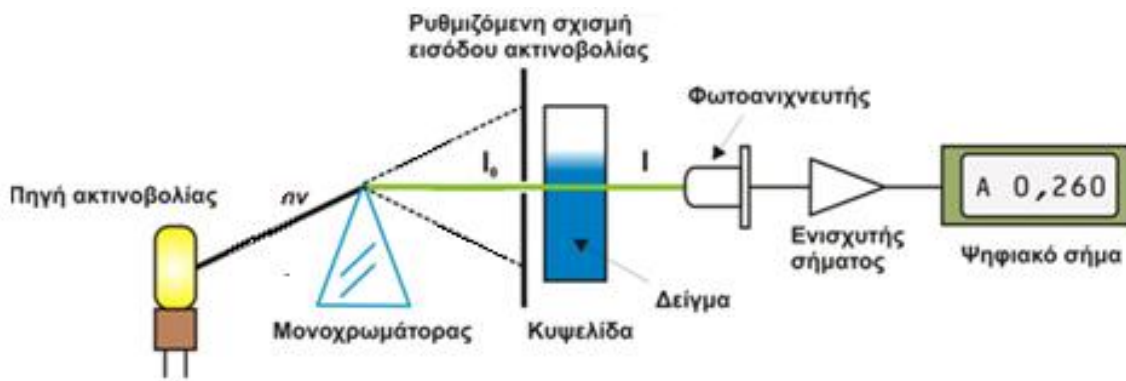
- Ø Η φασματομετρία απορρόφησης υπέρυθρου φωτός
- Ø Η φασματομετρία απορρόφησης υπεριώδους
- Ø Η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης

Η φασματοσκοπία υπέρυθρου αποτελεί μία μέθοδο που βασίζεται στην απορροφητικότητα του υπέρυθρου από τα υπό εξέταση δείγματα. Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, η υπέρυθρη περιοχή εκτείνεται από το τέλος του ορατού φάσματος έως την περιοχή των μικροκυμάτων, μεταξύ 0,7 μm έως 300 μm. Επίσης διακρίνεται σε τρεις επιμέρους περιοχές. Στην πρώτη περιοχή βρίσκεται το εγγύς υπέρυθρο φάσμα (Near Infrared Reflectance – NIR) το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 0,8 μm έως 2,5 μm και αντιστοιχεί στους κυματαριθμούς 14.000-4.000 cm^{-1} . Η περιοχή αυτή επιτρέπει τη μελέτη των υπερτονικών και των αρμονικών δονήσεων ή δονήσεων συνδυασμού. Στην δεύτερη περιοχή βρίσκεται το μέσο υπέρυθρο φάσμα (Middle Infrared Reflectance - MIR) που κυμαίνεται μεταξύ 2,5 μm έως 25 μm και αντιστοιχεί στους κυματαριθμούς 4.000-400 cm^{-1} . Στο φάσμα αυτό παρατηρούνται οι βασικές μεταβολές στη δόνηση των μορίων λόγω απορρόφησης ακτινοβολίας. Στην τρίτη και τελευταία περιοχή βρίσκεται το άπω υπέρυθρο φάσμα (Far Infrared Reflectance - FIR) το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 25 μm έως 300 μm και αντιστοιχεί στους κυματαριθμούς 400 – 10 cm^{-1} . Το φάσμα αυτό παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις μοριακές περιστροφές και τις δονήσεις των βαρέων ατόμων και του κρυσταλλικού πλέγματος (Theophanides, 2012).

Η φασματομετρία υπεριώδους κάνει χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Μία τυπική διάταξη φασματοφωτόμετρου υπεριώδους διαθέτει τα εξής:

- Ø Μία πηγή φωτός όπως λαμπτήρες W, Xe, LED, laser ή τόξου δευτερίου.
- Ø Έναν μονοχρωμάτορα, ο οποίος έχει την ιδιότητα να διαχωρίζει το φως που παρέχεται από την λυχνία στα επιμέρους μήκη κύματος, επιλέγοντας ένα μικρό εύρος μηκών κύματος τα οποία μπορούν να περάσουν προς το δείγμα.
- Ø Τις κυψελίδες οι κατασκευασμένες από πλαστικό ή γυαλί(Vis) ή χαλαζία (SiO_2) (UV)
- Ø Τους ανιχνευτές οι οποίοι παράγουν ηλεκτρικό σήμα όταν σε αυτούς προσπίπτουν φωτόνια.

Η διάταξη παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4 Διάταξη φασματοφωτόμετρου υπεριώδους

Η μέθοδος της φασματοσκοπίας υπεριώδους προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως (Κόκκινος, 2008):

- ∅ Μεγάλη ευαισθησία με δυνατή ανίχνευση συγκεντρώσεων μάζας μέχρι και 10^{-7} .
- ∅ Μεγάλη ταχύτητα λήψης αποτελεσμάτων.
- ∅ Παροχή δυνατότητας αυτοματοποίησης της ανάλυσης σε όλα τα στάδια της.
- ∅ Εκτός από την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση προσφέρει και βασικές πληροφορίες για την δομή της ύλης.

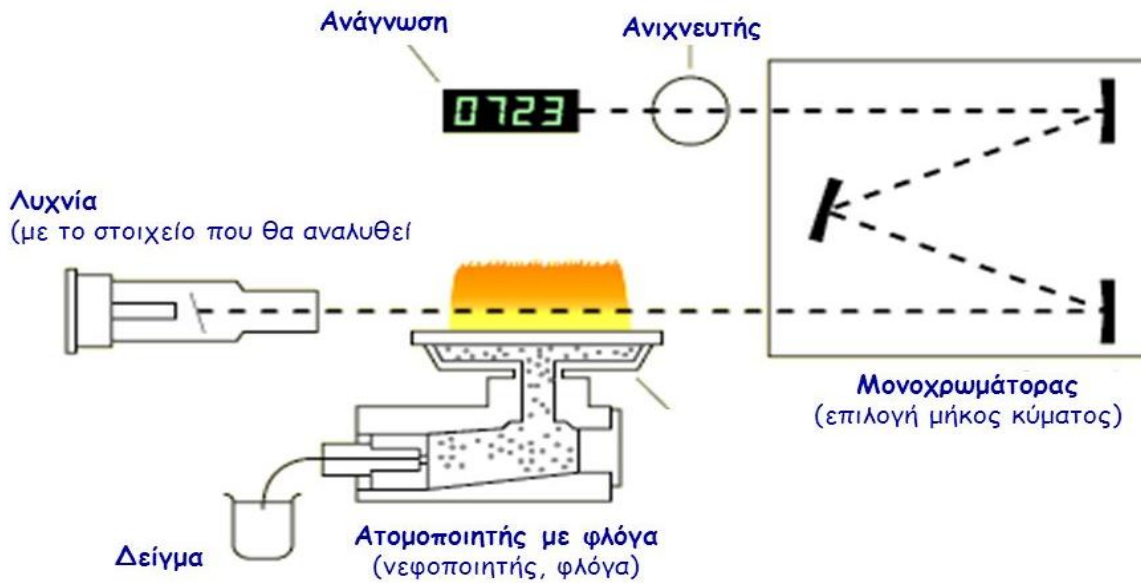
Παρά τα πλεονεκτήματα της, η μέθοδος ενέχει και κάποια μειονεκτήματα όπως η υστέρηση σε ακρίβεια συγκριτικά με άλλες μεθόδους καθώς και το ότι απαιτούν πρότυπα διαλύματα για την ορθή βαθμονόμηση των οργάνων.

Η φασματοσκοπική ατομική απορρόφηση αποτελεί μία από τις φασματοσκοπικές τεχνικές οι οποίες βασίζονται στην αλληλεπίδραση ατόμων με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό τους. Αν ένα υλικό που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση και περιέχει άτομα, διαπεραστεί από πολυχρωματική υπεριώδεις ακτινοβολία, τότε κάποιες από τις συχνότητες θα απορροφηθούν από κάποια άτομα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι για λόγους διέγερσης τα άτομα έχουν την τάση να χρησιμοποιούν ένα μέρος από την ενέργεια (Slavin, 1992).

Μια τυπική διάταξη ατομικής απορρόφησης διαθέτει (Kirkbright, 1980):

- ∅ Μια πηγή ακτινοβολίας
- ∅ Έναν θάλαμο δείγματος
- ∅ Έναν ατομοποιητή με φλόγα
- ∅ Έναν επιλογέα μήκους κύματος
- ∅ Έναν ανιχνευτή
- ∅ Έναν ενισχυτή σήματος

Ø Έναν καταγραφέα



Εικόνα 5 Φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης απλής δέσμης

Όπως φαίνεται και στην προηγούμενη εικόνα, το μείγμα ψεκάζεται στην φλόγα όπως στην φωτομετρία με φλόγα, εξαχνώνεται και χρησιμοποιώντας την ενέργεια διασπάται σε άτομα, τα οποία βρίσκονται σε αέρια κατάσταση. Μερικά απ' αυτά διεγείρονται απ' την θερμότητα που εκπέμπει η φλόγα, όμως τα περισσότερα παραμένουν στην αρχική τους κατάσταση. Στα άτομα που δεν έχουν διεγερθεί, δίνεται ενέργεια από μία πηγή ραδιοκυμάτων. Το μήκος κύματος αυτών των ραδιοκυμάτων που εκπέμπει η πηγή είναι το ίδιο με αυτό που δίνουν τα άτομα με την επίδραση της φλόγας (Kirkbright, 1980).

2.2 Μέθοδοι παρακολούθησης δεικτών ρύπανσης

Για την παρακολούθηση των δεικτών ρύπανσης, κάθε χώρα έχει δημιουργήσει κέντρα και σταθμούς μέτρησης και παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ομοίως και στην Ελλάδα, έχουν εγκατασταθεί πολυάριθμοι σταθμοί σε διάφορα σημεία της χώρας (ΥΠΕΚΑ).

Το τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας της διεύθυνσης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου – ΕΑΡΘ – εγκατέστησε το 2001 ένα εθνικό δίκτυο παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης – ΕΔΠΑΡ – με αναβάθμιση του υφιστάμενου δικτύου και με επέκταση του σε άλλες περιοχές. Σήμερα το δίκτυο των σταθμών που λειτουργούν στην χώρα βρίσκονται σε περιοχές υψηλής συγκέντρωσης ρύπων όπως οι μεγαλουπόλεις της χώρας καθώς και στις περιοχές όπου βρίσκονται εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων (ΥΠΕΚΑ).

Οι σταθμοί αυτοί διεξάγουν μετρήσεις καθ' όλη την διάρκεια του 24ώρου, ενώ τα συστήματα που διαθέτουν μπορούν να δώσουν τιμές της τάξης του ενός λεπτού. Επίσης ο μικροεπεξεργαστής, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, μπορεί να διενεργεί υπολογισμούς σε ωριαία βάση αποδίδοντας χρήσιμες μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής (ΥΠΕΚΑ). Οι ρύποι οι οποίοι μετρούνται και παρακολουθούνται είναι:

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Οξειδία του αζώτου (NO,NO₂)
- Όζον (O₃)
- Διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10–ΑΣ2,5)
- Βενζόλιο (C₆H₆)

Για την καλή λειτουργία των οργάνων των σταθμών απαιτείται τακτικός έλεγχος και ειδική βαθμονόμηση για την ρύθμιση τους. Η βαθμονόμηση του εξοπλισμού βασίζεται στη διαβίβαση αερίου, με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου μέσω του οργάνου. Η παρασκευή αυτή του πρότυπου αερίου, γίνεται με διάταξη δυναμικής αραίωσης, που συνδέεται αφενός με μία πηγή "καθαρού" αέρα και αφετέρου με έναν κύλινδρο που περιέχει μίγμα του εν λόγω αερίου με άζωτο σε γνωστή πρότυπη συγκέντρωση. Ο "καθαρός αέρας", δηλαδή αέρας απαλλαγμένος από τους κύριους ρύπους, παράγεται διαβιβάζοντας αέρα μέσα από ειδικά φίλτρα συγκράτησης των ρύπων. Μεταβάλλοντας την παροχή του "καθαρού" αέρα και του αερίου της φιάλης είναι δυνατή η επίτευξη μιγμάτων αερίων που περιέχουν τον αντίστοιχο ρύπο σε γνωστές συγκεντρώσεις. Η βαθμονόμηση των αναλυτών αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται σε πρότυπα δείγματα γνωστής μάζας. Οι διαδικασίες της βαθμονόμησης γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα ή μετά τη συντήρηση ή επισκευή ενός αναλυτή (ΥΠΕΚΑ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Πηγές ρύπανσης αέρα

Η ρύπανση του αέρα προέρχεται από μία ποικιλία πηγών. Η καύση των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας αλλά και στις μεταφορές, αποτελεί την κύρια πηγή εκπομπής ρύπων όπως το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, οι πτητικές οργανικές ενώσεις, τα οξειδία του αζώτου και τα μικροσωματίδια (Holman, 1999). Παρόλα αυτά, όπως αναφέρει η Holman, κάθε πηγή ρύπανσης μπορεί να διαφέρει από ήπειρο σε ήπειρο.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι πηγές ρύπανσης με τους ρύπους που εκλύουν στην ατμόσφαιρα.

Πίνακας 12 Ρύποι και πηγές από τις οποίες προέρχονται αντίστοιχα

Ρύπος	Πηγή ρύπου
Διοξείδιο του θείου (SO₂)	Καύση ορυκτών καυσίμων με περιεκτικότητα σε θείο, σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, σε κατοικίες και δημόσια κτίρια για θέρμανση, στις οδικές μεταφορές και ηφαιστεια (Holman, 1999; Urone, 2015).
Βενζόλιο (C₆H₆)	Παραγωγή, διύλιση και χρήση καυσίμων αυτοκινήτων (Holman, 1999).
Βουταδιένιο (C₄H₆)	Παραγωγή ελαστικών ειδών, καύση βενζίνης, ντίζελ και ορυκτών καυσίμων (Holman, 1999).
Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)	Χρήση διαλυτών, οδικές μεταφορές, βιομηχανική παραγωγή, εξόρυξη ορυκτών καυσίμων. Φυσική πηγή ρύπανσης είναι η έκλυση VOCs από την χλωρίδα κατά τους θερμούς μήνες (Holman, 1999).
Μικροσωματίδια (PM₁₀, PM_{2,5})	Παραγωγή ενέργειας, βιομηχανική καύση, πηγές καύσης μικρής κλίμακας, βιομηχανική παραγωγή (Holman, 1999).
Οξειδία του αζώτου (NOx)	Καύση ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, υλοτομία, σιδηροδρομικές μεταφορές, βιομηχανική παραγωγή (Driscoll et al. 2003)
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Καύση ορυκτών καυσίμων στην βιομηχανία και στον οικιακό τομέα για λόγους θέρμανσης, πυρκαγιές, μεταφορές (Clerbaux et al. 2008).
Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)	Καύση ορυκτών καυσίμων, βιολογική αποσύνθεση, απελευθέρωση από τους ωκεανούς (Urone, 2015).
Υδρογονάνθρακες	Καύση ορυκτών καυσίμων, χημικοί μηχανισμοί (Urone, 2015).

3.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- a) σε πρωτογενείς ρύπους, όπου οι ρύποι εκπέμπονται απ' ευθείας στην ατμόσφαιρα όπως το διοξείδιο του θείου και το μονοξείδιο του άνθρακα (Stern, 1977)
- b) σε δευτερογενείς ρύπους οι οποίοι δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα ως παράγωγα χημικών αντιδράσεων με άλλους ρύπους, όπως το όζων (Stern, 1977).

Υπάρχουν βέβαια και κάποιοι ρύποι όπως τα μικροσωματίδια και το διοξείδιο του αζώτου, οι οποίοι εντάσσονται και στις δύο κατηγορίες καθώς, από την μία πλευρά εκπέμπονται απ' ευθείας στην ατμόσφαιρα, ενώ από την άλλη σχηματίζονται και μέσω των χημικών ενώσεων άλλων ρύπων. Ένα μέρος του διοξειδίου του αζώτου που εντοπίζεται στην ατμόσφαιρα, εκλύεται απ' ευθείας από τα κέντρα παραγωγής ενέργειας και από τα οχήματα ενώ ως επί το πλείστο σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα από την δημιουργία του μονοξειδίου του αζώτου στον αέρα. Όσον αφορά τα μικροσωματίδια, προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και ανθρωπογενούς φύσεως πηγές, ενώ δημιουργούνται επίσης και στην ατμόσφαιρα, μέσω της οξειδωσης του διοξειδίου του θείου με το διοξείδιο του αζώτου και με την χημική αντίδραση ανάμεσα στην αμμωνία και στο αέριο του υδροχλωρικού οξέως (Holman, 1999).

Σύμφωνα με την Holman (1999), ο διαχωρισμός ανάμεσα στους πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύπους, μπορεί να συμβάλει ενεργά στην κατανόηση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στην αποτελεσματική αντιμετώπιση του.

Επίσης, οι ρύποι διακρίνονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Στην πρώτη κατηγορία βρίσκονται οι αέριοι ρύποι, οι οποίοι κατατάσσονται σε δύο υποκατηγορίες των αερίων και των ατμών. Τα αέρια αποτελούν ουσίες οι οποίες στην φυσική τους κατάσταση διαχέονται στον χώρο στον οποίο βρίσκονται καταλαμβάνοντας όλη την έκταση. Οι ατμοί αποτελούν αέριες μάζες που σε φυσιολογικές συνθήκες έχουν υγρή ή στερεά μορφή (Kamra & Castanas, 2008).

Στην δεύτερη κατηγορία βρίσκονται οι σωματιδιακοί ρύποι οι οποίοι διακρίνονται σε έξι υποκατηγορίες. Στην πρώτη υποκατηγορία των σωματιδιακών ρύπων κατατάσσονται οι κόνιες (σκόνη), όπου τα σωματίδια διαθέτουν μεγάλο σχετικά μέγεθος φτάνοντας τα 200μm και ο σχηματισμός τους προέρχεται από την διάβρωση υλικών στερεών στερεής μορφής όπως το έδαφος. Στην δεύτερη υποκατηγορία κατατάσσεται ο καπνός, ο οποίος αποτελείται από λεπτά

σωματίδια που δημιουργούνται κατά την ατελή καύση καυσίμων με περιεκτικότητα άνθρακα. Στην τρίτη υποκατηγορία κατατάσσεται η ιπτάμενη τέφρα, η οποία αποτελείται από λεπτόκοκκα σωματίδια τέφρας που παράγονται από την καύση των στερεών καυσίμων και παρασύρονται με τα καυσαέρια και τον άνεμο. Στην τέταρτη υποκατηγορία κατατάσσεται η αιθάλη, η οποία απαρτίζεται από στερεά σωματίδια που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα μέσω της συμπύκνωσης των ουσιών που βρίσκονται σε αέρια μορφή. Στην πέμπτη υποκατηγορία κατατάσσεται η ομίχλη, η οποία αποτελείται από σταγονίδια ορατά στο γυμνό μάτι. Στην συγκεκριμένη υποκατηγορία η ουσία που βρίσκεται σε διασπορά είναι το νερό και ο όρος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην μετεωρολογία. Στην έκτη υποκατηγορία κατατάσσεται η αχλύς, η οποία αποτελείται από αιωρούμενα σωματίδια, που δημιουργούνται από την συμπύκνωση των αερίων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα αλλά και μέσω μηχανικών δράσεων (Kampa & Castanas, 2008).

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι γενικά συνδεδεμένη με την ανθρώπινη δραστηριότητα στον βιομηχανικό αλλά και οικιακό τομέα. Παρόλα αυτά, πολλοί από τους αέριους ρύπους, προέρχονται από την ίδια την φύση. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η συνολική μάζα των αερίων μαζών που εκπέμπονται από τη φύση υπερβαίνουν εκείνες που εκπέμπονται από τον άνθρωπο. Παρόλα αυτά, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα της ατμόσφαιρας και ειδικά σε αστικές περιοχές καθώς και σε κοντινές αποστάσεις πηγών εκπομπής ρύπων. Πολλοί από τους ρύπους επηρεάζουν την ατμόσφαιρα τόσο με άμεσο τρόπο, όπως κακή ορατότητα, ερεθισμός των ματιών και δυσάρεστη οσμή, όσο και με έμμεσο τρόπο όπως δημιουργία αναπνευστικών προβλημάτων και άλλα (Urone, 2015).

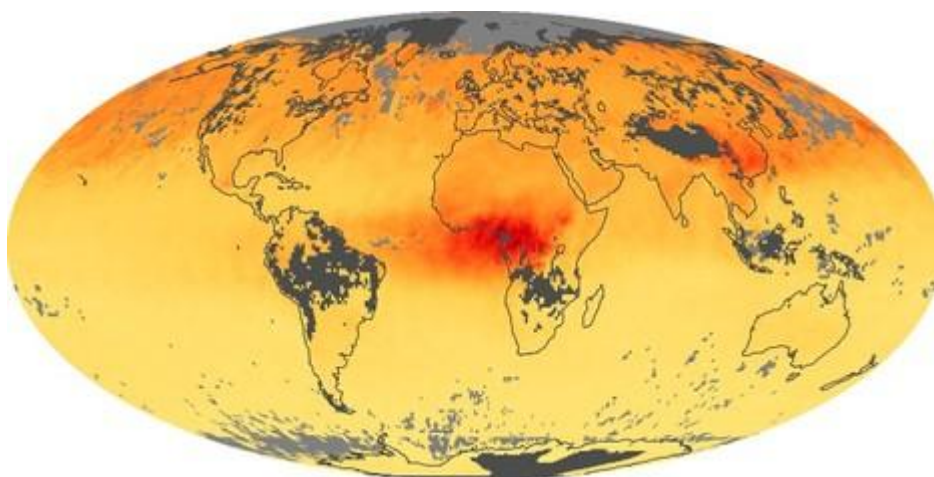
3.2.1 Μονοξειδίο του άνθρακα

Το μονοξειδίο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο με μικρότερο βάρος από εκείνο του αέρα. Το αέριο αυτό, απλώνεται από τους ανέμους και την κυκλοφορία των αερίων μαζών σε όλη την κάτω ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα). Θεωρείται ένα επικίνδυνο αέριο καθώς μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, εξαιτίας του ότι έχει την τάση να δημιουργεί ισχυρούς δεσμούς με την αιμοσφαιρίνη στο αίμα και μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο στους κυτταρικούς ιστούς. Αυτός είναι και ένας από τους βασικούς λόγους για τους θανάτους που σημειώνονται σε ανθρακωρυχεία, πυρκαγιές αι κλειστούς χώρους. Το μονοξειδίο του άνθρακα αποτελεί προϊόν ατελούς καύσης άνθρακα και των ενώσεων του. Εκπέμπεται από πηγές καύσης ορυκτών καυσίμων σε μεγαλύτερη ποσότητα από όλες τις υπόλοιπες πηγές εκπομπής ρύπων (Stern, 2014).

Σε πρόσφατη έρευνα σχετικά με τα ισότοπα του άνθρακα, προέκυψε ότι η φύση παράγει τεράστια ποσά μονοξειδίου του άνθρακα σε ετήσια βάση σε σχέση με τις άλλες πηγές ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα. Η βασικότερη φυσική πηγή του μονοξειδίου του άνθρακα είναι η φωτοχημική

οξειδωση του μεθανίου 36,37. Άλλες φυσικές πηγές περιλαμβάνουν την αποσύνθεση της χλωροφύλλης κατά τους φθινοπωρινούς μήνες του έτους, ηφαίστεια, δασικές πυρκαγιές και βακτηριακή δράση στους ωκεανούς. Σε γενικές γραμμές οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα είναι δέκα φορές μεγαλύτερες από άλλους ρύπους (Stern, 1977).

Πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι τα ποσοστά και οι πηγές του CO είναι διαφορετικά ανάλογα με την εποχή αλλά και την γεωγραφική περιοχή που εξετάζεται κάθε φορά. Στην Αφρική, για παράδειγμα, οι εποχιακές μετατοπίσεις του μονοξειδίου του άνθρακα συνδέονται με την εκτεταμένη γεωργική καύση που μετατοπίζει τα βόρεια και τα νότια του ισημερινού με τις εποχές. Οι πυρκαγιές αποτελούν σημαντική πηγή ρύπανσης από το μονοξείδιο του άνθρακα σε άλλες περιοχές του νότιου ημισφαιρίου, όπως το Αμαζόνιο και η Νοτιοανατολική Ασία. Σε αντίθεση όμως με την Αφρική, σε περιοχές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρώπη και η Ανατολική Κίνα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα εντοπίζονται γύρω από τις αστικές περιοχές ως αποτέλεσμα της εκπομπής ρύπων των οχημάτων και των βιομηχανικών περιοχών (NASA).



Εικόνα 6 Συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα πάνω από την κεντρική Αφρική, Φεβρουάριος 2017. Πηγή: NASA

Το μονοξείδιο του άνθρακα που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα και δεν έχει άμεση επίδραση στην παγκόσμια θερμοκρασία, όπως το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Παρόλα αυτά, το μονοξείδιο του άνθρακα παίζει σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία και επηρεάζει την ικανότητα της ατμόσφαιρας να καθαρίζει από πολλά άλλα ρυπογόνα αέρια. Σε συνδυασμό με άλλους ρύπους και με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, συμμετέχει στη δημιουργία κατώτερου ατμοσφαιρικού όζοντος και αστικού νέφους (NASA).

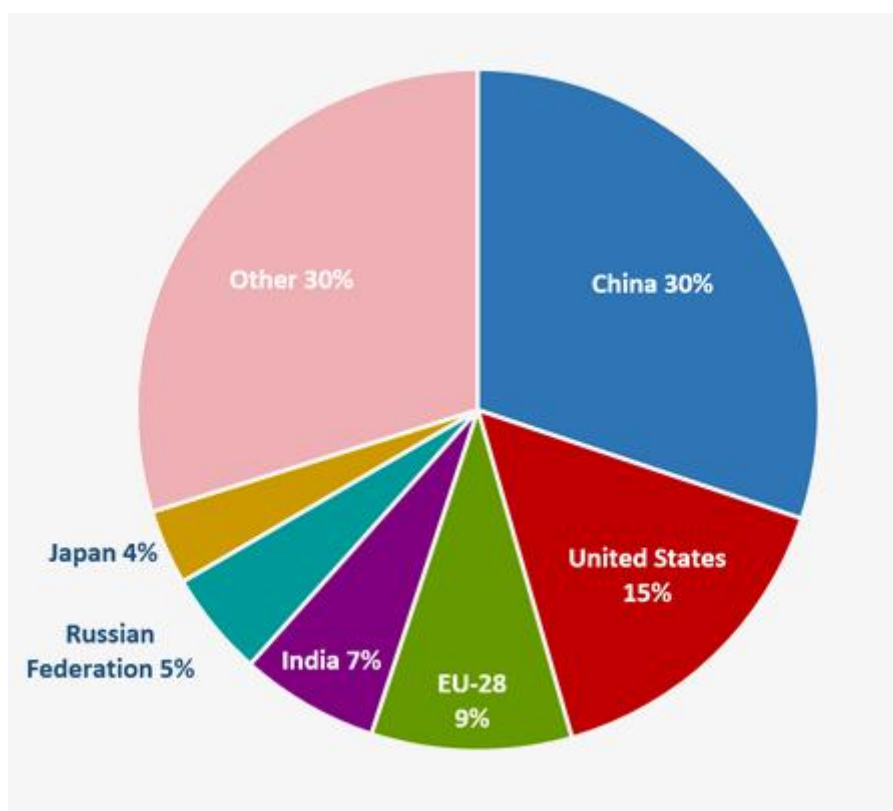
3.2.2 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα δεν αποτελεί κατά βάση ατμοσφαιρικό ρύπο. Είναι ένα μη τοξικό αέριο και μεγάλες ποσότητες από αυτό κυκλοφορούν στην βιόσφαιρα ετησίως. Αποτελεί βασικό κομμάτι της

χλωρίδας, καθώς μέσω της φωτοσύνθεσης μετατρέπεται σε φυτικό ιστό ενώ παράλληλα απελευθερώνεται οξυγόνο ως υποπροϊόν της μετατροπής. Χωρίς την φωτοσύνθεση των φυτών, τα αποθέματα οξυγόνου στον πλανήτη θα μειώνονταν δραματικά. Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μεταβάλλονται διαρκώς και βασίζονται στην διαθεσιμότητα των πηγών εκπομπής αλλά και στην εποχή του χρόνου (Allen, 1990).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η καύση ορυκτών καυσίμων αποτελεί τον πρωταρχικό λόγο της σχετικής αύξησης της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Επίσης, αναφέρεται ότι το συγκεκριμένο αέριο συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στο φαινόμενο αυτό, ακτινοβολία διαπερνά την ατμόσφαιρα και απορροφάται από την γη. Η γη με την σειρά της ακτινοβολεί ενέργεια προς το διάστημα σε μειωμένο επίπεδο και σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, διαφορετικά θα αυξανόταν η θερμοκρασία κατακόρυφα. Ουσιαστικά ανάμεσα στην εισερχόμενη και εκλυόμενη ακτινοβολία επικρατεί μια γενική ισορροπία. Παρόλα αυτά το διοξείδιο του άνθρακα δεσμεύει μεγάλα ποσοστά της ακτινοβολίας με αποτέλεσμα συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην αύξηση της θερμότητας και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Stern, 1977).

Στο επόμενο σχεδιάγραμμα παρουσιάζονται οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα στον κόσμο.



Γράφημα 1 Ποσοστά παραγωγής CO₂ στον κόσμο. Πηγή: Boden et al (2017)

Για το 2014, η παγκόσμια εκπομπή CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων και βιομηχανικής δραστηριότητας, παρατηρήθηκε ως επί το πλείστο στην Κίνα, ακολουθούμενη από τις ΗΠΑ, ενώ σε μικρότερα ποσοστά ακολουθούν η Ευρώπη, η Ινδία, η Ρωσική Ομοσπονδία και η Ιαπωνία αντίστοιχα. Στο σύνολο αυτές οι περιοχές παράγουν το 70% την παγκόσμιας συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (Boden et al, 2017).

Σε παγκόσμια κλίμακα, μέσα σε ένα έτος, η εκτίμηση της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα από φυσικές πηγές υπερβαίνει τους 10¹¹ τόνους. Εκτός όμως από τις φυσικές πηγές, συνεισφέρουν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες, με τις οποίες προστίθενται περί τους 10¹⁰ τόνους ετησίως στο ήδη επιβαρημένο περιβάλλον της ατμόσφαιρας. Έτσι η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μπορεί να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου σε μακροπρόθεσμο επίπεδο (Γεντεκάκης, 2003).

3.2.3 Υδρογονάνθρακες

Με τον όρο υδρογονάνθρακες καλούνται οι οργανικές ενώσεις, οι οποίες περιέχουν μόνο υδρογόνο (H) και άνθρακα (C), ενώ ο γενικός χημικός τύπος τους έχει την μορφή C_xH_y. Μέχρι σήμερα, όπως αναφέρει ο Stern, (2014), έχουν αναγνωρισθεί πάνω από εξήντα υδρογονάνθρακες χωρίς όμως αυτό να αποκλείει την ύπαρξη άλλων, καθώς όπως σημειώνει, ο υπάρχον εξοπλισμός δεν διαθέτει την κατάλληλη ευαισθησία και εκλεξιμότητα για την αναγνώριση τους. Γενικά, οι υδρογονάνθρακες ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες (Stern, 1977):

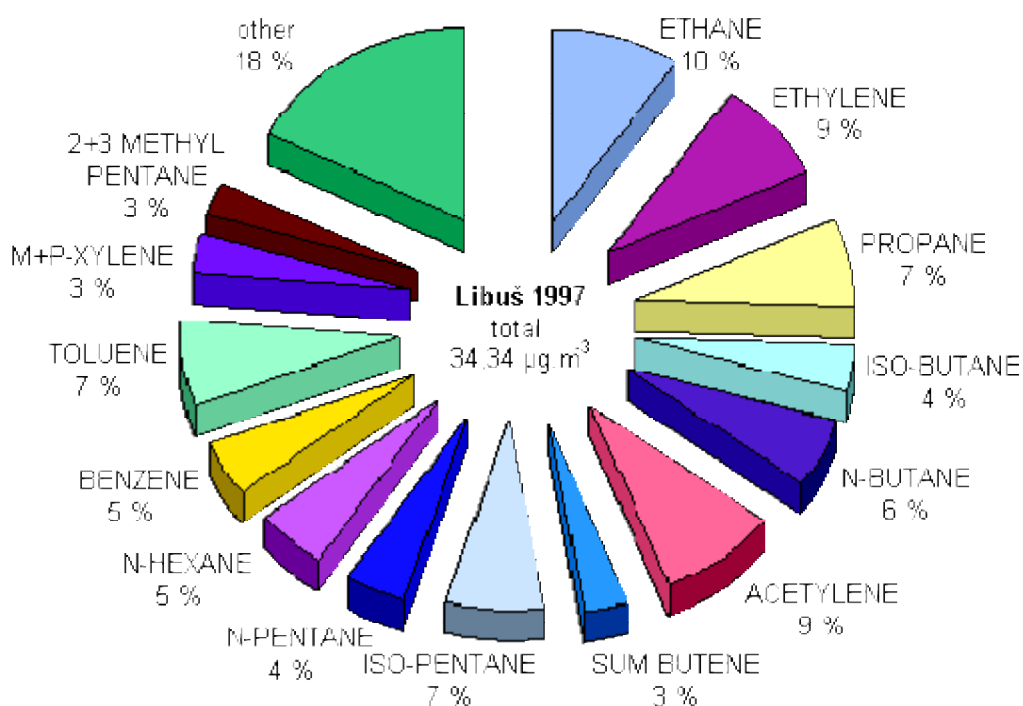
1. Τα αλκάνια
2. Τα αλκένια
3. Τα ακετυλένια
4. Τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες

Το επίπεδο τοξικότητας των υδρογονανθράκων στον αέρα είναι σχετικά μικρό. Παρόλα αυτά η φωτοχημική τους δραστηριότητα κατά την παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας και οξειδίων του αζώτου, εγείρει αρκετές ανησυχίες. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι κατά την αντίδραση αυτή σχηματίζουν φωτοχημικά οξειδία, με το κυριότερο από αυτά να είναι το όζων. Τα οξειδία, συμπεριλαμβανομένου του νιτρικού υπεροξυακυλεστερά (PAN), είναι κατά βάση υπεύθυνα για την πρόκληση βλαβών στα φυτά και για τον ερεθισμό στα μάτια (Menichini, 1992).

Οι πτητικοί υδρογονάνθρακες, αντιπροσωπεύουν μια μεγάλη ομάδα οργανικών ενώσεων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και που υπό κανονικές καιρικές συνθήκες βρίσκονται σε αέρια φάση. Λόγω της συμμετοχής τους στη φωτοχημική αντίδραση, ιδιαίτερα οι πιο δραστικές μη μεθάνιο ενώσεις (NMVOC) θεωρούνται συχνά ως πρόδρομοι του όζοντος. Η θέση του μεθανίου είναι επίσης

συγκεκριμένη στο ότι η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είναι περίπου τρεις τάξεις μεγέθους υψηλότερη από εκείνη άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων - περίπου 1,8 ppm. Για αυτό τον λόγο, οι συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων μετρούνται ξεχωριστά, με τις μη-μεθάνιο ενώσεις από την μία και τις μεθάνιο ενώσεις από την άλλη, καθώς εξαιτίας της χαμηλής φωτοχημικής δραστηριότητας του μεθανίου, η ποσότητα του στην ατμόσφαιρα μπορεί να κυμανθεί από 40 μέχρι 80% της συνολικής συγκέντρωσης υδρογονανθράκων πάνω από τις αστικές περιοχές (Menichini, 1992).

Γενικά, σε ένα αστικό περιβάλλον, οι κύριες πηγές υδρογονανθράκων είναι η αυτοκινητοβιομηχανία όπως καυσαέρια και ατμοί καυσίμων, τα χρώματα και οι διαλύτες, οι τεχνολογικές διεργασίες και η καύση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σύμφωνα με μετρήσεις των συγκεντρώσεων πτητικών οργανικών ενώσεων που διεξάγονται συστηματικά στο πλαίσιο του προγράμματος EMEP στους σταθμούς Košetice και Libuš της Πράγας, τα αποτελέσματα που προέκυψαν το 1997 από το Τσεχικό Υδρομετεωρολογικό Ινστιτούτο παρουσιάζονται στο επόμενο γράφημα.



Γράφημα 2 Μέσες συγκεντρώσεις διαφόρων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα της Πράγας το 1997. Πηγή: AIR - IMISSIONS

Όπως φαίνεται και στο γράφημα, το πλήθος των υδρογονανθράκων που ανιχνεύτηκε στην ατμόσφαιρα της πόλης αποτελείται από ένα μείγμα 13 υδρογονανθράκων όπου το αιθάνιο κατέχει το μέγιστο ποσοστό με 10%, ακολουθούμενο από το εθυλαίνιο και το ακετυλένιο με 9% και το προπάνιο, το ισοπεντάνιο και το τολουένιο με 7%.

3.2.4 Αιωρούμενα σωματίδια

Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια (PM) αποτελούνται από ένα μίγμα στερεών σωματιδίων και υγρών σταγονιδίων διαφόρων μεγεθών που βρίσκονται στον αέρα. Μερικά από τα σωματίδια, όπως σκόνη, αιθάλη ή καπνός, είναι αρκετά μεγάλα ώστε να είναι ορατά με γυμνό μάτι, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που μπορούν να ανιχνευθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Τα αιωρούμενα σωματίδια κατανέμονται κυρίως σε τρία κλάσματα (Finlayson-Pitts & Pitts 1997):

- ∅ Τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια ή νανοσωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 0,1 μm. Αποτελούνται κυρίως από οργανικά ιόντα, υδρογονάνθρακες και μέταλλα. Περνούν από τους ιστούς του πνεύμονα στη ροή του αίματος και κυκλοφορούν όπως τα μόρια του οξυγόνου.
- ∅ Τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη ή ίση με 2,5μm. Παραμένουν αιωρούμενα στον αέρα και μπορούν να ταξιδεύουν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις,. Εκπέμπονται από φυτά, βιομηχανίες και αυτοκίνητα και διεισδύουν βαθύτερα στους πνεύμονες, βλάπτοντας τους πνευμονικούς ιστούς.
- ∅ Τα χονδρόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη ή ίση με 10μm. Είναι εισπνεύσιμα σωματίδια με ταχεία καθίζηση. Εμφανίζονται κοντά σε οδούς και βιομηχανίες, ενώ παρακάμπτουν τις φυσικές άμυνες του σώματος στη μύτη και το λαιμό και εισέρχονται στους πνεύμονες.

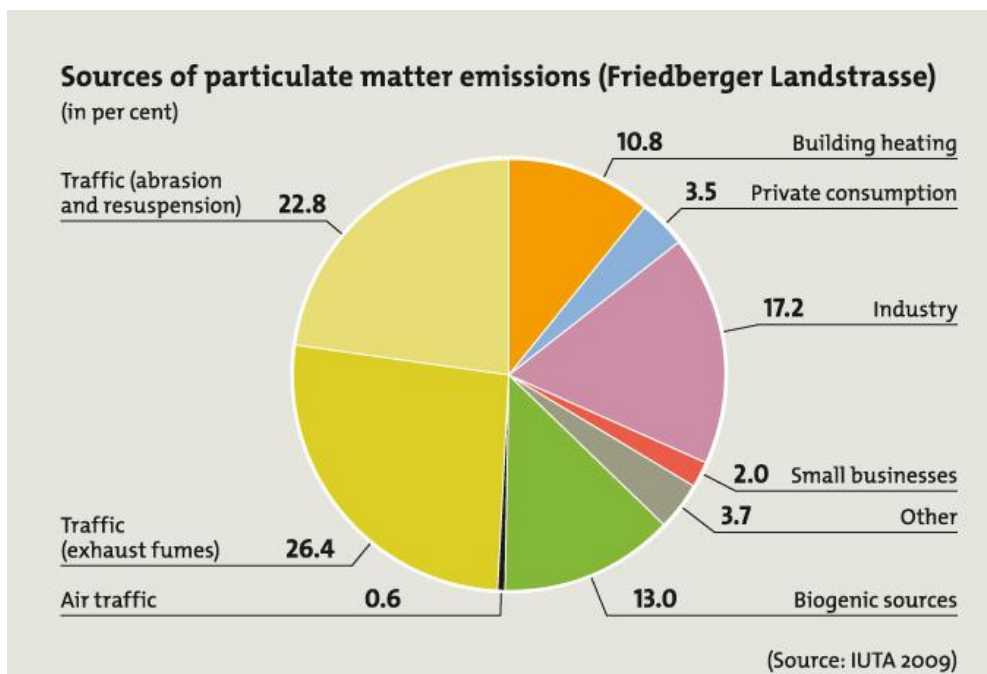
Τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm, μέσω της εισπνοής μπορούν να εισβάλουν στον ανθρώπινο οργανισμό με αποτέλεσμα να εισχωρήσουν πιο βαθιά στους πνεύμονες από ότι τα χονδρόκοκκα σωματίδια. Σύμφωνα με διάφορες μελέτες που έχουν διεξαχθεί σχετικά με την επίδραση των μικροσωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία, έχει αποδειχθεί ότι τα λεπτά σωματίδια συνδέονται με την αυξημένη αναπνευστική νοσηρότητα και θνησιμότητα των ατόμων που κατοικούν στα αστικά κέντρα (Pope et al 2002).

Στα αστικά κέντρα, η κυριότερη πηγή παραγωγής αιωρούμενων σωματιδίων είναι η καύση βενζίνης εμπλουτισμένης με μόλυβδο, στην οποία οφείλονται και τα αυξημένα επίπεδα μολύβδου στο ανθρώπινο σώμα. Μια ακόμα μορφή ρύπου αποτελεί η ραδιενεργός τέφρα, η οποία με τις κατάλληλες συνθήκες (άνεμος, μεταφορά αέριων μαζών και άλλα) μπορεί να εισχωρήσει στα φρούτα και στα λαχανικά, τα οποία μέσω της τροφής μπορούν να μολύνουν τον άνθρωπο, επιφέροντας κρίσιμες επιπτώσεις ακόμα και σε μεγαλύτερη κλίμακα από την ραδιενέργεια των πυρηνικών (Hvistendahl, 2007).

Εκτός όμως από τον χρόνο έκθεσης και από τα ποσοστά συγκέντρωσης των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, η επικινδυνότητα τους επηρεάζεται από ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία είναι:

- ∅ Το μέγεθος των σωματιδίων, το οποίο εκφράζεται από την ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρο. Το μέγεθος των σωματιδίων είναι καθοριστικό τόσο για τη διείσδυση και απόθεσή τους στο αναπνευστικό σύστημα, όσο και για το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και τη δυνατότητα μεταφοράς τους σε μακρινές αποστάσεις (Putaud et al. 2010).
- ∅ Η χημική σύσταση των σωματιδίων, η οποία διαφέρει δραματικά ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχονται. Ιδιαίτερη σημασία έχει η παρουσία τοξικών και επικίνδυνων συστατικών, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Houck et al. 2006).
- ∅ Η βιοδιαθεσιμότητα, η οποία δεν είναι ίδια για όλα τα συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων. Υπάρχουν συστατικά που είναι πιο ευδιάλυτα και συνεπώς προσλαμβάνονται ευκολότερα από τον οργανισμό, και άλλα που είναι λιγότερο βιοδιαθέσιμα. Η βιοδιαθεσιμότητα των αιωρούμενων σωματιδίων σχετίζεται με τις χημικές μορφές με τις οποίες απαντώνται τα διάφορα συστατικά τους (Karthikeyan et al. 2006).

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται οι πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων στην Φρανκφούρτη για το 2009.



Γράφημα 3 Πηγές εκπομπών σωματιδίων στην Φρανκφούρτη το 2009. Πηγή: Frankfurt Green City

Όπως φαίνεται και στο γράφημα, ο τομέας των μεταφορών παράγει το 49,2% των συνολικών εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων στην Φρανκφούρτη. Ακολουθούν οι βιογενείς πηγές με 13% και η θέρμανση του κτιριακού τομέα με 10,8% (Frankfurt Green City)

Το επίπεδο ρύπανσης των σωματιδίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, οι περιόδους χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης με αρκετά υψηλές τιμές ανταλλαγής αέρα και βροχή, που ξεπλένουν τα σωματίδια, μειώνουν τη συγκέντρωση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Όταν οι συναλλαγματικές ισοτιμίες του αέρα είναι χαμηλές (αντίστροφοι καιρικές συνθήκες), οι οποίες συμβαίνουν συχνά κατά τις χειμερινές περιόδους υψηλής ατμοσφαιρικής πίεσης, αυξάνεται η συγκέντρωση σωματιδίων (Feng & Wang, 2012).

3.3 Εκδήλωση ρύπανσης

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ανθρώπινη δραστηριότητα σε συνδυασμό με την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας, έχουν συμβάλει ενεργά στην όξυνση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Με την διατάραξη της περιβαλλοντικής ισορροπίας, η αλλαγές στον πλανήτη γίνονται ολοένα και πιο φανερές. Από την αύξηση της ετήσιας θερμοκρασίας μέχρι το λιώσιμο των πάγων στους πόλους του πλανήτη, η ρύπανση εκδηλώνεται τόσο σε βραχυπρόθεσμη όσο και σε μακροπρόθεσμη κλίμακα.

3.3.1 Όξινη Βροχή

Η όξινη βροχή αποτελεί έναν από τα πιο σοβαρά προβλήματα της σύγχρονης περιβαλλοντικής ιστορίας. Η φύση του προβλήματος εγείρει τόσο επιστημονικά όσο και πολιτικά προβλήματα, καθώς η ανησυχία σχετικά με την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και η διασπορά των χημικών ενώσεων στο ευρύτερο περιβάλλον αποτελούν τα πιο κρίσιμα θέματα που απασχολούν ολόκληρο τον κόσμο (Park, 2013).

Η όξινη βροχή αποτελεί ένα ευρύ πρόβλημα το οποίο δεν έχει προοπτικές να πάψει να υφίστανται στο εγγύς μέλλον. Ο όρος "όξινη βροχή" αναφέρεται στα αραιά θειικά και νιτρικά οξέα, τα οποία δημιουργούνται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χυτήρια και οχήματα με κινητήρα και τα οποία πέφτουν σε μεγάλες αποστάσεις από τις πιθανές πηγές ρύπων (Park, 2013).

Όπως αναφέρει ο Park, (1981), οι ρύποι κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά υλικά ανθρώπινης κατασκευής, όπως τα συνθετικά χημικά υλικά, τα οποία δεν είναι μέρος του φυσικού περιβαλλοντικού κύκλου και για αυτό τον λόγο δεν είναι εφικτή η διάσπαση τους όταν απελευθερώνονται στο φυσικό περιβάλλον ή αν είναι εφικτή, αυτό γίνεται αργά σε ένα πολύ μεγάλο

χρονικό διάστημα. Η δεύτερη κατηγορία αφορά υλικά τα οποία ήδη υπάρχουν στο φυσικό περιβάλλον και μπορούν να διασπαστούν φυσικά μέσω του περιβαλλοντικού κύκλου, να αποσυντεθούν και να ανακυκλωθούν. Παρόλα αυτά όταν τα υλικά αυτά βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, το φυσικό περιβάλλον δεν δύναται να διασπάσει ολόκληρη την ποσότητα αφήνοντας τους ρύπους στην ατμόσφαιρα σε περίσσεια. Αν και οι ρύποι αυτοί υπό κανονικές συνθήκες δεν αποτελούν πρόβλημα για το περιβάλλον, τα πράγματα αλλάζουν όταν η συσσώρευση τους αυξάνεται υπερβολικά (Park, 2013).

Η όξινη βροχή λοιπόν, κατατάσσεται στην δεύτερη κατηγορία καθώς η σύσταση της (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου και όζων), αποτελούν κομμάτι της σύνθεσης της ατμόσφαιρας, αλλά σε μικρότερες συγκεντρώσεις. Υπό κανονικές συνθήκες, η φυσική οξύτητα της βροχής παρέχει χρήσιμα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Ειδικά σε περιοχές όπου το έδαφος έχει έλλειψη σε βασικά μεταλλικά στοιχεία όπως το θείο, η βροχή αυτή είναι ευπρόσδεκτη, προς αποφυγή της χρήσης τεχνητών λιπαντικών. Παρόλα αυτά η αύξηση των επιπέδων οξύτητας στο βρόχινο νερό τα τελευταία χρόνια, έχει παρουσιάσει μια σειρά από σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (Park, 2013).

Ως μορφή ρύπανσης, η όξινη βροχή, έχει κάποιες ασυνήθιστες ιδιότητες. Είναι αόρατη, χωρίς διακριτή γεύση ή οσμή στον άνθρωπο. Έχει παραμείνει σε μεγάλο βαθμό μη ανιχνεύσιμη ακόμη και σε περιοχές όπου το φαινόμενο της όξινης βροχής υφίσταται για πολλά χρόνια, εξαιτίας του ότι οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον δεν είναι άμεσα αισθητές στα πρώιμα στάδια τους. Δεν έχει γρήγορα ή δραματικά αποτελέσματα και μόνο σε προχωρημένες περιπτώσεις τα αποτελέσματά της είναι επαρκώς ποσοτικοποιήσιμα ώστε να είναι πειστικά υπό οποιαδήποτε στατιστική έννοια (Elder & Collins, 1991).

Οι όξινες βροχές καθώς και τα οξείδια που τις δημιουργούν, μπορούν να μετακινηθούν σε μεγάλες αποστάσεις εξαιτίας του ανέμου, συχνά διασχίζοντας τις θάλασσες και τα εθνικά σύνορα. Η προστιθέμενη πολυπλοκότητα προκύπτει από το γεγονός ότι, παρόλο που τα οξείδια του θείου και του αζώτου είναι σχετικά πανταχού παρόν στις χώρες με μεγάλη βιομηχανική δραστηριότητα, δεν επηρεάζονται όλες οι περιοχές από την όξινη βροχή και διαφορετικές τοποθεσίες (ακόμη και μέσα στην ίδια γεωγραφική περιοχή) παρουσιάζουν διαφορετικά συμπτώματα όξυνσης (Park, 2013). Μέχρι στιγμής, οι περιοχές όπου οι επιπτώσεις της όξινης βροχής είναι αισθητές είναι σχετικά λίγες και προβλέψιμες, δεδομένου των συστατικών της όξινης βροχής. Οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο, τείνουν να έχουν κοινά χαρακτηριστικά όπως (La Bastille, 1981):

- Ø Βρίσκονται στην βιομηχανοποιημένη ζώνη του βόρειου ημισφαιρίου, προς την κατεύθυνση του ανέμου και των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χυτηρίων και μεγάλων πόλεων.

- Ø Είναι συχνά ημιορεινές ή ορεινές περιοχές, οι οποίες δέχονται μεγάλες ποσότητες από βροχή και χιόνι.
- Ø Η ποσότητα νερού που δέχονται οι περιοχές αυτές συχνά κατανέμεται σε λίμνες και ρυάκια ενώ συχνά καλύπτονται από δάση.
- Ø Όντας ορεινές περιοχές, συχνά έχουν λεπτόκοκκα εδάφη με παγετώδη υπόβαθρο.



Εικόνα 7 Επιπτώσεις της όξινης βροχής στην χλωρίδα. Αριστερά απογυμνωμένα δέντρα, δεξιά αλλαγή στο χρώμα των φυτών.

3.3.2 Αιθαλομίχλη

Η αιθαλομίχλη αποτελεί μια από τις βασικές ενδείξεις ύπαρξης ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς γίνεται άμεσα αντιληπτή με γυμνό μάτι. Η λέξη αιθαλομίχλη είναι σύνθετη και προέρχεται από την σύνθεση της λέξης αιθάλη που σημαίνει καπνός και της λέξης ομίχλη. Με την αγγλική ορολογία ονομάζεται smog, η οποία αποτελεί μια μίξη των λέξεων smoke (καπνός) και fog (ομίχλη). Οι συγκεντρώσεις που παρατηρούνται στην αιθαλομίχλη αποτελούν μίγμα οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων, ανάλογα με την περιοχή στην οποία σχηματίζονται (ΥΠΕΚΑ).

Πιο συγκεκριμένα στις βιομηχανικές περιοχές η δημιουργία της αιθαλομίχλης γίνεται μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων όπως το κάρβουνο, ο λιγνίτης και άλλα. Το ίδιο επίσης εντοπίζεται και σε περιοχές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε χυτήρια. Στις περιοχές αυτές η αιθαλομίχλη αποτελείται από οξειδία του θείου αναμιγμένα με αιωρούμενα σωματίδια. Στα αστικά κέντρα,

εντοπίζονται δύο κύριες πηγές της αιθαλομίχλης, η καύση ορυκτών καυσίμων για την θέρμανση των κτιρίων και τα οχήματα. Οι εκπομπές των δύο αυτών πηγών παράγουν ένα μίγμα οξειδίων του αζώτου και υδρογονάνθρακες, τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους κατά την παρουσία του ηλιακού φωτός σχηματίζοντας την φωτοχημική αιθαλομίχλη.

Η κακή ποιότητα του αέρα συμβαίνει συνήθως κατά τη διάρκεια περιόδων αρκετών ημερών, κατά τις οποίες οι μέγιστες συγκεντρώσεις ενός ή περισσοτέρων ρύπων φθάνουν σε απειλητικά για την υγεία επίπεδα. Τέτοια επεισόδια ρύπανσης της ατμόσφαιρας, όπως η αιθαλομίχλη, προκαλούνται από περιόδους σταθερών καιρικών συνθηκών που συνδέονται με την παρουσία υψηλής πίεσης αέρα. Σε μερικά κλίματα, όπως τα μεσογειακά, επικρατούν σταθερές καιρικές συνθήκες για μια ολόκληρη εποχή, προκαλώντας σχεδόν συνεχείς συνθήκες φωτοχημικής νέφωσης για μήνες. Χαρακτηριστικά, η αιθαλομίχλη εμφανίζεται είτε κατά τη διάρκεια θερμών και ηλιόλουστων καιρικών συνθηκών ή κατά τη διάρκεια ψυχρών και ομιχλωδών συνθηκών. Κάθε περίπτωση, περιγράφεται ως καλοκαιρινό και χειμωνιάτικο νέφος, αντίστοιχα. Ωστόσο, οι περιγραφές αυτές είναι καταλληλότερες για τα κλίματα μεσαίου και μεγάλου γεωγραφικού πλάτους σε σχέση με τις τροπικές περιοχές, όπου η ξηρή εποχή είναι αυτή που πυροδοτεί το νέφος (Elsom 2014).



Εικόνα 8 Αιθαλομίχλη που καλύπτει την πόλη του Πεκίνου στην Κίνα. Πηγή: CNN Greece

Όπως αναφέρει ο Elsom, (2014), παρόλο που οι σταθερές καιρικές συνθήκες προκαλούν αύξηση των επιπέδων ρύπανσης, το φαινόμενο της αιθαλομίχλης δεν θα συνέβαινε αν δεν υπήρχε η ρύπανση, η οποία αποτελεί και την πηγή του προβλήματος, εφόσον η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι που παράγει τις εκπομπές ρύπων που ευθύνονται για το νέφος και όχι οι καιρικές συνθήκες.

Το καλοκαιρινό νέφος σχηματίζεται κατά τις ζεστές ηλιόλουστες ημέρες όταν οι άνεμοι είναι ήρεμοι και όταν η φωτοχημική δραστηριότητα ενθαρρύνει το σχηματισμό όζοντος. Το όζον δημιουργείται όταν τα οξειδία του αζώτου και οι πτητικές οργανικές ενώσεις που εκπέμπονται από την κυκλοφορία, τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και άλλες ρυπογόνες δραστηριότητες, αντιδρώντας χημικά με την παρουσία του ηλιακού φωτός (Dickerson et al, 1997). Άλλες ενώσεις σχηματίζονται όπως οι αλδεΐδες, το νιτρικό υπεροξυακετύλιο, το υπεροξειδίο του υδρογόνου και τα όξινα αερολύματα όπως τα θειικά, το θειικό οξύ, τα νιτρικά και το νιτρικό οξύ, αλλά το όζον χρησιμοποιείται συχνά ως δείκτης ρύπου για την αξιολόγηση της σοβαρότητας ενός φωτοχημικού νέφους (Elsom 2014).

Δεδομένου ότι ο σχηματισμός όζοντος απαιτεί από μια μέχρι και αρκετές ώρες ηλιακού φωτός για να επηρεάσουν τις χημικές αντιδράσεις στις πρωτογενείς εκπομπές, το όζον αυξάνει τη συγκέντρωση, καθώς οι ρύποι μετακινούνται ακολουθώντας την ροή του ανέμου. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα ρύπανσης του όζοντος, όχι μόνο για τα κοντινά αγροτικά χωριά, αλλά και σε πιο απομακρυσμένες τοποθεσίες, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών που βρίσκονται σε τοπικό ή εθνικό επίπεδο (Elsom 2014).

Τα οχήματα βενζίνης και ντίζελ εκπέμπουν οξειδία του αζώτου σε δύο μορφές: οξειδίο του αζώτου σε ποσοστό περίπου 90% και διοξειδίο του αζώτου σε ποσοστό περίπου 10%. Το μονοξειδίο του αζώτου, που αποτελεί ένα ακίνδυνο ρύπο στις συγκεντρώσεις τις οποίες παρατηρείται, αντιδρά με το οξυγόνο και οξειδώνεται αργά σε διοξειδίο του αζώτου, ενώ η αντίδραση με το όζον είναι πολύ πιο γρήγορη. Συνεπώς, η τελευταία αντίδραση μειώνει τα επίπεδα του όζοντος σε κυκλοφοριακά κέντρα που προκαλούν κυκλοφοριακή συμφόρηση προκαλώντας σχετικά χαμηλά επίπεδα όζοντος σε σύγκριση με τα προάστια και τις γύρω περιοχές της υπαίθρου. Κατά συνέπεια, το διοξειδίο του αζώτου και όχι το όζον είναι ο αέριος ρύπος που μπορεί να αποτελέσει τη σοβαρή απειλή για την υγεία στα κέντρα των πόλεων (Elsom 2014).

Η αιθαλομίχλη κατά τη διάρκεια του χειμώνα σχηματίζεται κατά τη διάρκεια ψυχρών καιρικών φαινομένων, όταν η αντιστροφή θερμοκρασίας λειτουργεί ως θερμικό καπάκι, παρεμποδίζοντας την κατακόρυφη αραίωση και διασπορά των εκπομπών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση οικιών και γραφείων και έτσι ενισχύουν τις εκπομπές διοξειδίου του θείου και των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι συνθήκες ψυχρού αέρα καθιστούν την λειτουργία των μηχανοκίνητων οχημάτων λιγότερο αποτελεσματική, οδηγώντας σε αυξημένες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων. Η σοβαρότητα αυτού του προβλήματος επιδεινώνεται, εξαιτίας του ότι οι καταλυτικοί μετατροπείς χρειάζονται αρκετά λεπτά για να φτάσουν στην ιδανική θερμοκρασία λειτουργίας τους, οπότε από το ξεκίνημα και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι εκπομπές καυσαερίων είναι ανεξέλεγκτες (Elsom 2014).

Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου και του φαινομένου της αιθαλομίχλης, οι ωριαίες και ημερήσιες συγκεντρώσεις του βενζολίου, του μονοξειδίου του άνθρακα, του διοξειδίου του αζώτου, του διοξειδίου του θείου και των αιωρούμενων σωματιδίων, φθάνουν πολλές φορές τις μέσες τιμές τους για το χειμώνα. Για αυτό τον λόγο, ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάζεται στα αστικά κέντρα που λόγω γεωγραφικής τοποθέτησης βρίσκονται σε κοιλάδες και είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένες στο χειμερινό νέφος επειδή ο πυκνός κρύος αέρας που ρέει κάτω από τις γύρω ορεινές περιοχές ενισχύει την αντιστροφή της θερμοκρασίας (θερμικό καπάκι), μειώνοντας την κατακόρυφη διασπορά ρύπων. Ταυτόχρονα, οι γύρω λόφοι εμποδίζουν τη διαρροή της ρύπανσης από την περιοχή (Elsom 2014).

3.3.3 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ο πλανήτης μας καθίσταται κατοικήσιμος από την παρουσία ορισμένων αερίων που παγιδεύουν την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, δίνοντας μια μέση παγκόσμια θερμοκρασία 15°C , σε αντίθεση με μια εκτιμώμενη -18°C απουσία ατμόσφαιρας. Το φαινόμενο αυτό είναι ευρέως γνωστό ως το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το σημαντικότερο αέριο θερμοκηπίου είναι ο υδρατμός. Ωστόσο, υπάρχει σημαντική συνεισφορά από το διοξείδιο του άνθρακα και μικρότερες συνεισφορές από το όζον, το μεθάνιο και το οξείδιο του αζώτου (Mitchell, 1989). Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου είναι γνωστό ότι αυξάνονται και τα τελευταία χρόνια έχουν προστεθεί και άλλα αέρια θερμοκηπίου, κυρίως χλωροφθοράνθρακες (CFC), σε σημαντικές ποσότητες στην ατμόσφαιρα. Υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες όσον αφορά την αφαίρεση των επακόλουθων κλιματικών επιπτώσεων.

Η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα έχει αναγνωρίσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου από το 1824, όπου ο γάλλος επιστήμονας Jean Baptiste Fourier περιέγραψε για πρώτη φορά το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, παρομοιάζοντας την δράση της ατμόσφαιρας με ένα κομμάτι γυαλί που καλύπτει ένα δοχείο. Όπως είναι σήμερα γνωστό, το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου που περιγράφεται από το Fourier αποτελεί σημαντικό μέρος του συστήματος ενεργειακού ισοζυγίου της γης και είναι ουσιώδες για τη ζωή στον αέρα: χωρίς αυτό, η μέση θερμοκρασία επιφάνειας στον πλανήτη θα είναι μόλις -18°C το οποίο είναι πολύ χαμηλό για κάθε είδους ζωή. Η πιθανότητα ενός τεχνητού φαινομένου του θερμοκηπίου εισήχθη περίπου 70 χρόνια αργότερα από τον Σουηδό επιστήμονα Svante Arrhenius. Ο Arrhenius υπέθετε ότι η αυξημένη καύση άνθρακα, η οποία είχε αυξηθεί σημαντικά λόγω της εκβιομηχάνισης, θα οδηγούσε σε αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Ήδη εκείνη την εποχή η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα βρισκόταν κάτω από 300 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο κατ'όγκο) (Fankhauser, 2013).

Καθ' όλη τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών το φαινόμενο του θερμοκηπίου συνέχισε να αποτελεί θέμα μέτριου επιστημονικού ενδιαφέροντος. Το 1965 παρουσιάζεται για πρώτη φορά επίσημο κυβερνητικό έγγραφο σχετικά με την συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα ως περιβαλλοντικό πρόβλημα. Μέσα από παρακολούθηση των επιπέδων συγκέντρωσης από τους σταθμούς της Χαβάης και του Νοτίου Πόλου, παρατηρήθηκε αύξηση στα 320 ppm. Δεκατέσσερα χρόνια αργότερα, το 1979, κατά την πρώτη παγκόσμια διάσκεψη για το κλίμα στη Γενεύη, έγινε και πάλι νύξη σχετικά με το θέμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Κατά την διάσκεψη, συμφωνήθηκε ότι θα πρέπει να ενταθούν οι προσπάθειες για την καλύτερη κατανόηση της αλλαγής του κλίματος, αλλά και πάλι δεν υπήρξε πλήρη συμμετοχή στην προσπάθεια αυτή. (Fankhauser, 2013).

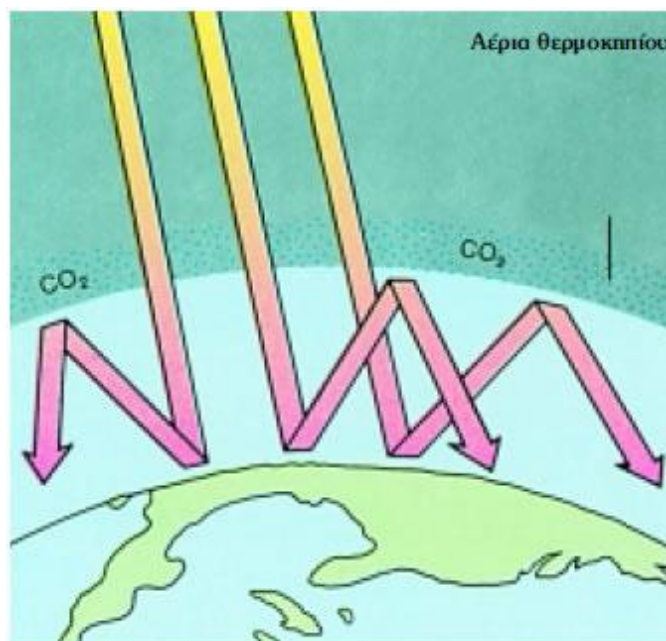
Σημείο καμπής αποτέλεσε ένα διεθνές συνέδριο στο Villach της Αυστρίας το 1985, το οποίο ήταν χορηγούμενο από το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP), τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) και το Διεθνές Συμβούλιο Επιστημονικής Ένωσης (ICSU). Με τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα να έχουν φτάσει στα 345ppm, στο συνέδριο, επετεύχθη συναίνεση μεταξύ της επιστημονική και πολιτικής κοινότητας σχετικά με το μέγεθος του προβλήματος σημειώνοντας ότι, ως αποτέλεσμα των αυξανόμενων συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου, η άνοδος της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας θα ήταν αναπόφευκτη (Fankhauser, 2013).

Στην παγκόσμια διάσκεψη για την αλλαγή ατμόσφαιρας που πραγματοποιήθηκε στο Τορόντο το 1988, ζητήθηκε μείωση της παγκόσμιας εκπομπής κατά τουλάχιστον 50% για τη σταθεροποίηση της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα. Ένας αρχικός στόχος, ο οποίος προτάθηκε ήταν η αρχική μείωση των εκπομπών κατά 20% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1988 όπου συγκέντρωση του έφτανε τα 353 ppm, η οποία θα έπρεπε να επιτευχθεί μέχρι το 2005. Η διαφορά μεταξύ επιστήμης και πολιτικής έγινε εμφανής κατά τη δεύτερη παγκόσμια διάσκεψη για το κλίμα το 1990, όπου οι επιστήμονες επανέλαβαν την έκκλησή τους για ισχυρή και άμεση δράση, ενώ η υπουργική διάσκεψη που διεξήχθη αμέσως μετά παράγαγε πολύ λίγα αποτελέσματα (Fankhauser, 2013).

Από το 1988 μέχρι σήμερα οι αλλαγές έχει υλοποιηθεί ένα πλήθος δράσεων, σε ολόκληρο τον κόσμο, ενώ παράλληλα έχει θεσπιστεί σχετική νομοθεσία θεσπίζοντας τα εξής:

- Ø την μείωση και τον έλεγχο των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου
- Ø την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής
- Ø την παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω συνεχών μετρήσεων
- Ø τη θέσπιση ανώτατων επιτρεπτών ορίων για κάθε ρύπο που εκπέμπεται προς την ατμόσφαιρα
- Ø την απαγόρευση της χρήσης χλωροφθορανθράκων.

Τα αέρια που συμβάλουν στην δημιουργία του φαινομένου εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα είναι το υποξείδιο του αζώτου, το όζον, το μεθάνιο, οι χλωροφθοράνθρακες καθώς και πολλά άλλα. Τα αέρια αυτά συσσωρεύονται στα στρώματα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να μην επιτρέπουν στην ακτινοβολία που εκπέμπει η γη να διαφύγει προς το διάστημα. Έτσι με την ακτινοβολία να εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της ατμόσφαιρας, αυξάνεται η θερμοκρασία του πλανήτη.



Εικόνα 9 Αναπαράσταση λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου

Ως άμεσος αντίκτυπος του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Αυτό έχει οδηγήσει στο ανησυχητικό φαινόμενο της ανύψωσης της στάθμης των θαλασσών εξαιτίας της τήξεως των πάγων στους πόλους του πλανήτη. Η συνέπεια του φαινομένου είναι ο αφανισμός παράκτιων περιοχών και η ερημοποίηση μεγάλων εκτάσεων γης. Επίσης η κλιματική αλλαγή έχει φέρει πολλές αλλαγές και στις κλιματολογικές συνθήκες σε ολόκληρο τον κόσμο, με ισχυρά καιρικά φαινόμενα να πλήττουν πολλές περιοχές τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις είναι ακραία (IPCC, 2014).

3.4 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επηρεάσει περισσότερο από την ορατότητα, αν και μπορεί να παρατηρηθεί εύκολα από τους πολίτες, η ορατή ατμοσφαιρική ρύπανση θεωρείται ως ένα από τα πιο δυσάρεστα αποτελέσματα της ρύπανσης. Μια άλλη σημαντική πτυχή της ατμόσφαιρας που μπορεί να επηρεαστεί από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους είναι ο μηχανισμός σχηματισμού βροχοπτώσεων, διότι έτσι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην

αλλαγή των καιρικών συνθηκών. Εκτός από τις αλλαγές των βροχοπτώσεων, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι έχουν επίσης συνδεθεί με τη συχνότητα ομίχλης σε ορισμένες αστικές περιοχές (Stern, 1977).

Η παρουσία ατμοσφαιρικών ρύπων μπορεί να επηρεάσει τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος μέσω της απορρόφησης της ακτινοβολούμενης ενέργειας. Οι πιθανές επιπτώσεις των αυξανόμενων συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα έχουν κατονομασθεί ως υπαίτιοι για την δημιουργία του φαινομένου αυτού, αλλά το διοξείδιο του αζώτου και τα αερολύματα μπορεί επίσης να είναι παράγοντες σε ορισμένες αστικές περιοχές (Stern, 1977).

Ωστόσο, ο σημαντικότερος αντίκτυπος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξακολουθεί να είναι η ορατότητα, όπου οι ρύποι μπορούν να υποβαθμίσουν σοβαρά την ατμοσφαιρική διαφάνεια. Τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλονται στο γεγονός ότι τόσο τα υγρά όσο και τα στερεά αερομεταφερόμενα υλικά απορροφούν και διασκορπίζουν το φως, προκαλώντας μείωση της ορατότητας στην πληγείσα περιοχή. Αυτή η μειωμένη ορατότητα σχετίζεται με το μέγεθος, τη συγκέντρωση και τα φυσικά χαρακτηριστικά των σωματιδιακών ρύπων. Η βάση για την ατμοσφαιρική ορατότητα και την μείωση της ποιότητας της εξαιτίας των ρύπων, παρουσιάστηκε λεπτομερώς σε διάφορες έρευνες (Hyslop, 2009; Cheung, 2005; Park, 2006).

Αν και τα αερολύματα είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την απώλεια ορατότητας σε μολυσμένες ατμόσφαιρες, το χρώμα του ουρανού έχει αποτελέσει εξαιρετικό σημείο ενδιαφέροντος για τους επιστήμονες του κλάδου και πιο συγκεκριμένα ο καφέ χρωματισμός που μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα των υπερβολικών συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου προκαλούν διαφορετικό χρώμα στην ατμόσφαιρα επειδή αυτό το αέριο είναι ισχυρά απορροφητικό πάνω από την μπλε – πράσινη περιοχή του ορατού φάσματος. Αυτό παράγει φωτισμό που είναι υπερβολικά ισορροπημένο προς το κίτρινο – κόκκινο άκρο του φάσματος και δίνει μίγματα διοξειδίου του αζώτου στον αέρα με τον χαρακτηριστικό κίτρινο – καφέ χρωματισμό τους σε αναλογία προς τη συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου. Οι υπερβολικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου στην αστική ατμόσφαιρα, πιθανώς πάνω από 0,25 ppm, μπορεί να είναι σημαντικές για την αλλαγή του χρώματος του αστικού ορίζοντα (Stern, 1977).

Η διαφάνεια της ατμόσφαιρας, ή όπως πιο συχνά αναφέρεται, η ορατότητα, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από μια ποικιλία μετεωρολογικών παραμέτρων που δρουν επιπρόσθετα με οποιεσδήποτε ρυπογόνες επιδράσεις. Αυτές οι μετεωρολογικές επιπτώσεις, όπως η σχετική υγρασία, πρέπει να αναγνωρίζονται και να λαμβάνονται υπόψη πριν να σχετιστούν με τα προβλήματα ρύπανσης (Stern, 1977).

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι έχουν και άλλες επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα, οι οποίες είναι πιο σημαντικές από τη μείωση της ορατότητας. Αυτά περιλαμβάνουν τις επιδράσεις στον σχηματισμό νεφώσεων και βροχοπτώσεων καθώς και τις διαδικασίες που μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές στην ακτινοβολούμενη ενέργεια που λαμβάνεται από την επιφάνεια της γης. Οι Levin & Cotton, (2008), έχουν παραθέσει κάποιες από τις διάφορες πιθανές επιπτώσεις των ρύπων στην ατμόσφαιρα, οι οποίες συνοψίζονται με τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 13 Επίδραση κάθε ρύπου στην ατμόσφαιρα

Ρύπος	Επίδραση
O ₃	Αύξηση της θερμοκρασίας
NO ₂	Ορατότητα και αύξηση της θερμοκρασίας
SO ₂	pH της βροχής
NH ₃	pH της βροχής
Αερολύματα	pH της βροχής, ορατότητα και αύξηση της θερμοκρασίας
HCl, H ₂ SO ₄	pH της βροχής
CCN	Δομή νεφών και precipitation

Ο Warner (1968), σε μια μελέτη γύρω από μια περιοχή καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου στην ανατολική Αυστραλία, αποδίδει μια μακροπρόθεσμη μείωση της μέσης βροχόπτωσης, κατά 25% στις περιοχές που βρίσκονται στην πορεία του ανέμου και αύξηση του καπνού από την καύση των χωραφιών πριν από τη συγκομιδή του ζαχαροκάλαμου. Κατά την άποψη του, τα αυξημένα επίπεδα καπνού, συνέβαλλαν στην προσθήκη μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρα, σχηματίζοντας έτσι ένα κακής ποιότητας σύστημα νεφών.

Η αυξημένη συχνότητα ομίχλης στις αστικές περιοχές έχει συχνά αναφερθεί ως χαρακτηριστική των αστικών περιοχών και ως αποτέλεσμα εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Ο Landsberg (1981), έδειξε ότι οι αστικές περιοχές μπορεί να βιώσουν 100% περισσότερη ομίχλη κατά την χειμερινή περίοδο του χρόνου και 30% περισσότερη ομίχλη κατά την θερινή περίοδο, σε σχέση με τις παρακείμενες αγροτικές περιοχές. Οι ομίχλες που διαρκούν εις μάκρος στις αστικές περιοχές οφείλονται σε φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τους ίδιους λόγους που δόθηκαν για την τροποποίηση του νέφους, δηλαδή, ένας μεγάλος αριθμός πρόσθετων ρύπων παράγει ένα σύννεφο ομίχλης με αυξημένο αριθμό μικρότερων σταγονιδίων οδηγώντας σε παρατεταμένη παρουσία του φαινομένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Στο Σύνταγμα της Ελλάδας υπάρχει σαφέστατη επιταγή για την προστασία του περιβάλλοντος. Στο άρθρο 24 του Συντάγματος του 2001 αναφέρονται τα εξής: «Η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξη του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας». Ο βασικός νόμος στην Ελλάδα για το περιβάλλον είναι ο Ν. 1650/1986 «για την προστασία του περιβάλλοντος». Σκοπός του νόμου για το περιβάλλον, «είναι η θέσπιση θεμελιωδών κανόνων και η καθιέρωση κριτηρίων και μηχανισμών για την προστασία του περιβάλλοντος έτσι ώστε ο άνθρωπος, ως άτομο και ως μέλος του κοινωνικού συνόλου να ζει σε ένα υψηλής ποιότητας περιβάλλον μέσα στο οποίο να προστατεύεται η υγεία του και να εννοείται η ανάπτυξη της προσωπικότητάς του. Η προστασία του περιβάλλοντος, θεμελιώδες και αναπόσπαστο μέρος της πολιτιστικής και αναπτυξιακής διαδικασίας και πολιτικής, υλοποιείται κύρια μέσα από το δημοκρατικό προγραμματισμό».

Ο Ν. 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος», ο οποίος αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα εκσυγχρονισμού του ελληνικού θεσμικού πλαισίου για την προστασία του περιβάλλοντος, αν και στερείτο συστηματικής προσέγγισης του αντικειμένου. Όμως, έμεινε σε μεγάλο μέρος του ανεφάρμοστος. Ο Ν. 1650/1986 συμπληρώθηκε μεταγενέστερα με το Νόμο 3010/2002 (ΦΕΚ 91Α/25-04-2002) «Εναρμόνιση του Νόμου 1650/1986 με τις οδηγίες 97/11 Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις».

Ακόμη, η προστασία του περιβάλλοντος καθώς και η ενσωμάτωση του στις επί μέρους πολιτικές είναι βασική υποχρέωση των κρατών-μελών της Ε.Ε. Συνεπώς, η προστασία του περιβάλλοντος αναγνωρίζεται και ενσωματώνεται στο θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας, αλλά και των υπολοίπων κρατών-μελών της Ε.Ε. Η προστασία και αναβάθμιση του περιβάλλοντος είναι υποχρέωση της Ελλάδας, όπως αυτή εξειδικεύεται στις διάφορες Κοινοτικές οδηγίες και στα αντίστοιχα εθνικά νομοθετήματα.

Οι υποχρεώσεις της Ελλάδας πηγάζουν και από το διεθνές περιβαλλοντικό δίκαιο. Παρά την ύπαρξη των μηχανισμών παρακολούθησης της συμμόρφωσης των κρατών-μελών, οι πιέσεις οι οποίες μπορούν να ασκήσουν είναι περιορισμένες, κι αυτό γιατί οι διεθνείς σχέσεις συνεχίζουν να βασίζονται κυρίως στην έννοια της εθνικής κυριαρχίας. Παρόλα αυτά όμως, οι διεθνείς υποχρεώσεις τις οποίες επιβάλλει η κάθε περιβαλλοντική συνθήκη πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη από τα κράτη. Επίσης, σε εθνικό αλλά και σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει μία γενική

τοποθέτηση υπέρ της συμμόρφωσης με τις διεθνείς απαιτήσεις, ένας στόχος που επιτυγχάνεται σε διαφορετικές βαθμίδες, ανάλογα με την κάθε περίπτωση.

Βάση των παραπάνω η Ελλάδα έχει δεσμευτεί να τηρήσει τις υποσχέσεις που υπάρχουν στα ψηφίσματα σημαντικών διεθνών συναντήσεων, όπως της Γενικής Συνέλευσης του ΟΗΕ για τη νέα χιλιετία στην οποία συμπεριλήφθηκαν και τα συμπεράσματα αλλά και οι δεσμεύσεις πολλών διεθνών συναντήσεων που έλαβαν χώρα την δεκαετία του 90. Σημαντική είναι και η Διακήρυξη της Παγκόσμιας Συνδιάσκεψης για την Αειφόρο Ανάπτυξη καθώς και το Σχέδιο Εφαρμογής το οποίο συμφωνήθηκε στην ίδια συνδιάσκεψη, καθώς περιλαμβάνει χρονικές και ποσοτικές δεσμεύσεις. Στην Ελλάδα ο θεματοφύλακας της ορθής εφαρμογής του άρθρου 24 του Συντάγματος το οποίο αφορά το περιβάλλον και της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, είναι το Συμβούλιο της Επικρατείας η νομολογία του οποίου συχνά δείχνει τον δρόμο για την κατάργηση των συγκεκριμένων νόμων καθώς και την ανάγκη θέσπισης ολοκληρωμένων πολιτικών σχεδιασμού του χώρου και της διαχείρισης του περιβάλλοντος. Στο επίπεδο του Κοινοτικού δικαίου ο τελικός κριτής για την εφαρμογή του είναι το Δικαστήριο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

4.1.1 Εφαρμογή διατάξεων αναφορικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση

Γι την ατμοσφαιρική ρύπανση, η νομοθεσία της Ελλάδας, απορρέει από τις υποχρεώσεις της έναντι της Σύμβασης - Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Αλλαγές (1992), του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1997) καθώς και του Κοινοτικού δικαίου για τις κλιματικές αλλαγές αλλά και την ατμοσφαιρική ρύπανση .

Μετά από την ΚΥΑ 2002/358/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ελλάδα κύρωσε το Πρωτόκολλο με τον Ν. 3017/2002 (ΦΕΚ Α' 117/2002) το 2002. Για την επίτευξη αυτού του κοινού στόχου του Πρωτοκόλλου, τα κράτη - μέλη της Ένωσης οφείλουν να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 8% εν σύγκριση με το 1990. Βάσει του διακανονισμού, κάθε ένα από τα κράτη-μέλη πρέπει να αναλαμβάνει συγκεκριμένες δεσμεύσεις. Στην Ελλάδα υπάρχει η δυνατότητα να γίνει αύξηση των εκπομπών ρύπων έως και 25% μέχρι το 2010.

Η σημαντική οδηγία 1999/30/ΕΚ «για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος» ενσωματώνεται με την ελληνική νομοθεσία με το ΦΕΚ 125/Β/5-6-02, η οδηγία 2000/69/ΕΚ «για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος», ενσωματώνεται με το ΦΕΚ 405Β/27.2.05 στην ελληνική νομοθεσία και η οδηγία 2002/3/ΕΚ «σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα», ενσωματώνεται στην νομοθεσία της Ελλάδος με το ΦΕΚ 1334Β/21.9.05.

Αυτές οι οδηγίες θεσπίζουν τις οριακές τιμές για συγκεκριμένους ρύπους, οι οποίες είναι δεσμευτικές για τα κράτη - μέλη από το 2005 (CO, SO₂, PM₁₀, μόλυβδος) από το 2010 Το λοιπό θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει τα ζητήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρουσιάζεται ως εξής:

- Νόμος 2503/1997 (ΦΕΚ 107Α/30-05-1997) «Διοίκηση, οργάνωση, στελέχωση της Περιφέρειας, ρύθμιση θεμάτων για την τοπική αυτοδιοίκηση άλλες διατάξεις».
- Νόμος 2647/1998 (ΦΕΚ 237Α/22-10-1998) «Μεταβίβαση αρμοδιοτήτων στις Περιφέρειες και την Αυτοδιοίκηση και άλλες διατάξεις».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. οικ. 3277/209/2000 (ΦΕΚ 180Β/17-02-2000) «Καθορισμός γενικών αρχών και αρμοδίων υπηρεσιών, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022Β/05-04-2002) «Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σύμφωνα με το άρθρο 3 του Νόμου 1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 του Νόμου 3010/02 (ΦΕΚ 91Α/25-04-2002)» και όπως τροποποιήθηκε από την Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. οικ. 145799/2005 (ΦΕΚ 1002Α/18-07-2005) «Συμπλήρωση της υπ' αριθμ. Η.Π.15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022Β/05-08-2002) "Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων..."», και την Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ/ οικ. 126880/2007 (ΦΕΚ 435Β/29-03-2007) «Συμπλήρωση της υπ' αριθμ. Η.Π.15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022Β/05-08-2002) Κοινής Υπουργικής Απόφασης, "Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων ..."»
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με αρ. ΗΠ 11014/703/Φ104/2003 (ΦΕΚ 332Β/20-03-2003) «Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), σύμφωνα με το άρθρο 4 του Νόμου 1650/86 (ΦΕΚ160Α/18-10-1986), όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν.3010/2002 (ΦΕΚ 91Α/25-4-2002) "Εναρμόνιση του Ν.1650/1986 με τις οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις"».

4.1.2 Θεσμικοί κανονισμοί ρύθμισης για τα πρότυπα εκπομπών

Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση με τις θεσμικές διατάξεις οι οποίες ρυθμίζουν τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών για κάθε πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

- Αέριες Εκπομπές από Βιομηχανικές, Βιοτεχνικές Εγκαταστάσεις: Προεδρικό Διάταγμα (Π.Δ.) με αριθ. 1180/1981 (ΦΕΚ 293Α/06-10-1981) «Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγόμενων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανικών,

βιοτεχνικών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφάλισης εν γένει»

- Εκπομπές Πτητικών Οργανικών Ενώσεων: Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 11641/1942/2002 (ΦΕΚ 832B/02-07-2002) «Μέτρα και όροι για τον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (ΠΟΕ) που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε ορισμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. 437/2005/2006 (ΦΕΚ 1641B/08-11-2006) «Εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας προς την Οδηγία 2004/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Απριλίου 2004 όσον αφορά στον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε χρώματα διακόσμησης και βερνίκια και σε προϊόντα επαναβαφής (επισκευαστικής βαφής) αυτοκινήτων και για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/13/ΕΚ».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οικ. 10245/713/1997 (ΦΕΚ 311B/16-04-1997) «Μέτρα και όροι για τον έλεγχο των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) που προέρχονται από την αποθήκευση βενζίνης και τη διάθεση της από τις τερματικές εγκαταστάσεις στους σταθμούς διανομής καυσίμων».
- Οξίνιση, Ευτροφισμός, Πρόδρομες Ενώσεις του Όζοντος (Ο3): Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ 29459/1510/2005 (ΦΕΚ 992B/14-07-2005) «Καθορισμός εθνικών ανωτάτων ορίων εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/81/ΕΚ "σχετικά με εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους" του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001».
- Ουσίες που Καταστρέφουν τη Στιβάδα του Όζοντος: Κανονισμός ΕΚ 2037/2000 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29ης Ιουνίου 2000 για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, με «Ατμοσφαιρική ρύπανση: Έννοιες και θεσμικό πλαίσιο σε Εθνικό και Κοινοτικό επίπεδο» 92 πεδίο εφαρμογής την παραγωγή, την εισαγωγή, την εξαγωγή, τη διάθεση στην αγορά, τη χρήση, την ανάκτηση, την ανακύκλωση, την ποιοτική αποκατάσταση και την καταστροφή των συγκεκριμένων ουσιών, την υποβολή στοιχείων σχετικά με τις ουσίες αυτές και τις εισαγωγές, τις εξαγωγές, τη διάθεση στην αγορά και τη χρήση προϊόντων και εξοπλισμού που περιέχουν τις συγκεκριμένες ουσίες.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 37411/1829/Ε103/2007 (ΦΕΚ 1827B/11-09-2007) «Καθορισμός αρμόδιων αρχών, μέτρων και διαδικασιών για την εφαρμογή του Κανονισμού (ΕΚ) υπ' αριθμ. 2037/2000 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29ης Ιουνίου 2000 "για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος", όπως τροποποιημένος ισχύει».

- Έμμονοι Οργανικοί Ρύποι: Νόμος 3447/2006 (ΦΕΚ 52Α/13-04-2006), «Κύρωση της Σύμβασης της Στοκχόλμης για τους Έμμοτους Οργανικούς Ρύπους (Persistent Organic Pollutants - POPs)».
- Αέρια Θερμοκηπίου: Νόμος 3017/2002 (ΦΕΚ 117Α/30-05-2002) «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Αλλαγή του Κλίματος»
- Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου (Π.Υ.Σ.) 5/2003 (ΦΕΚ 58Α/05-03-2003) «Έγκριση Εθνικού Προγράμματος μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου (2000-2010) σύμφωνα με το άρθρο τρίτο (παράγραφος 3) του Ν. 3017/2002 (ΦΕΚ Α' 117)».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 54409/2632/2004 (ΦΕΚ 1931Β/27-12-2004) «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ "σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου" του Συμβουλίου της 13ης Οκτωβρίου 2003 και άλλες διατάξεις.»
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 9267/468/2007 (ΦΕΚ 286Β/02-03-2007) «Τροποποίηση της υπ' αριθμ. 54409/2632/2004 κοινής υπουργικής απόφασης (Β' 1931), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2004/101/ΕΚ "για την τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ σχετικά με την θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας, όσον αφορά τους μηχανισμούς έργων του Πρωτοκόλλου του Κιότο" του Συμβουλίου της 27ης Οκτωβρίου 2004».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. 36028/1604/2006 (ΦΕΚ 1216Β/01-09-2006) «Έγκριση Εθνικού Σχεδίου Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) αερίων θερμοκηπίου περιόδου 2005–2007, σύμφωνα με το άρθρο 7 της υπ' αριθμ. 54409/2632/2004 κοινής υπουργικής απόφασης «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ ...» (Β' 1931)» και σε συμμόρφωση με το άρθρο 11 (παρ. 1) της οδηγίας 2003/87/ΕΚ του Συμβουλίου της 31ης Δεκεμβρίου 2003».
- Εκπομπές από καύσεις – Ενέργεια: Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 29457/1511/2005 (ΦΕΚ 992Β/14-07-2005) «Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων που προέρχονται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/80/ΕΚ "για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις", του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001».

- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 11294/1993 (ΦΕΚ 264B/15-04-1993) «Όροι λειτουργίας και επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων αποβλήτων από βιομηχανικούς λέβητες, ατμογεννήτριες, ελαιόθερμα και αερόθερμα που λειτουργούν με καύσιμο μαζούτ, ντήζελ ή αέριο.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 10315/1993 (ΦΕΚ 369B/24-05-1993) «Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού»
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 11535/1993 (ΦΕΚ 328B/06-05-1993) «Επιτρεπόμενα είδη καυσίμων στις βιομηχανικές, βιοτεχνικές και συναφείς εγκαταστάσεις στους αποτεφρωτήρες νοσηλευτικών μονάδων και μέτρα για τις ανοικτές εστίες καύσης». «Ατμοσφαιρική ρύπανση: Έννοιες και θεσμικό πλαίσιο σε Εθνικό και Κοινοτικό επίπεδο» 94

4.1.3 Θεσμικό πλαίσιο αντιμετώπισης επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι βασικοί θεσμικοί κανόνες οι οποίοι καθορίζουν τα έκτατα μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση περιπτώσεων έξαρσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι:

- Νόμος 1327/1983 (ΦΕΚ 21A/07-02-1983) «Κύρωση και τροποποίηση της από 18 Ιουνίου 1982 Πράξεως Νομοθετικού Περιεχομένου: “Αντιμετώπιση εκτάκτων επεισοδίων ρύπανσης του περιβάλλοντος και ρύθμιση συναφών θεμάτων”».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 11824/1993 (ΦΕΚ 369B/24-05-1993) «Έκτακτα μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Πρωτεύουσας»

4.1.4 Θεσμικό πλαίσιο ρύθμισης της πρόσβασης του κοινού στις περιβαλλοντικές πληροφορίες

Το θεσμικό πλαίσιο που καθορίζει τη δυνατότητα πρόσβασης του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και τη συμμετοχή του στη λήψη αποφάσεων αποτελείται από τους δύο ακόλουθους κανόνες:

- Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 11764/653/2006 (ΦΕΚ 327B/17-03-2006) «Πρόσβαση του κοινού στις δημόσιες αρχές για παροχή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/4/ΕΚ «για την πρόσβαση του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και για την

κατάργηση της οδηγίας 90/313/ΕΟΚ» του Συμβουλίου. Αντικατάσταση της υπ' αριθμ. 77921/1440/1995 κοινής υπουργικής απόφασης (Β' 795)».

- Κανονισμός ΕΚ αριθ. 1367/2006 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 6ης Σεπτεμβρίου 2006 για την: «εφαρμογή στα όργανα και τους οργανισμούς της Κοινότητας των διατάξεων της σύμβασης του Århus σχετικά με την πρόσβαση στις πληροφορίες, τη συμμετοχή του κοινού στη λήψη αποφάσεων και την πρόσβαση στη δικαιοσύνη για περιβαλλοντικά θέματα».

4.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρώπη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση βλάπτει την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Στην Ευρώπη, οι εκπομπές πολλών ατμοσφαιρικών ρύπων μειώθηκαν σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε ολόκληρη την επικράτεια. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων εξακολουθούν να είναι πολύ υψηλές και τα προβλήματα ποιότητας του αέρα εξακολουθούν να υφίστανται. Σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού της Ευρώπης ζει σε περιοχές, ιδίως στις πόλεις όπου σημειώνονται υπερβάσεις των προτύπων ποιότητας του αέρα: η ρύπανση του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου και των σωματιδίων (PM) δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία (ΕΕΑ, 2008).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα τοπικό, πανευρωπαϊκό και ημισφαιρικό ζήτημα. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που απελευθερώνονται σε μια χώρα μπορούν να μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας ή οδηγώντας σε κακή ποιότητα του αέρα άλλων περιοχών αλλά και άλλων χωρών. Τα αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου και το όζον σε επίπεδο εδάφους αναγνωρίζονται πλέον γενικά ως οι τρεις ρύποι που επηρεάζουν σημαντικά την ανθρώπινη υγεία. Οι μακροχρόνιες και μέγιστες εκθέσεις σε αυτούς τους ρύπους μπορεί να οδηγήσουν στην εξασθένηση του αναπνευστικού συστήματος μέχρι και στον πρόωρο θάνατο. Περίπου το 90% των κατοίκων των πόλεων στην Ευρώπη εκτίθενται σε ρύπους σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα επίπεδα ποιότητας του αέρα που θεωρούνται ασφαλή για την υγεία (ΕΕΑ, 2008).

Για παράδειγμα, τα λεπτά σωματίδια (PM) στον αέρα εκτιμάται ότι μειώνουν το προσδόκιμο ζωής στην ΕΕ κατά περισσότερο από οκτώ μήνες. Το βενζοπυρένιο αποτελεί έναν καρκινογόνο ρύπο ο οποίος έχει αυξήσει το επίπεδο ανησυχίας στους επιστήμονες, εξαιτίας του ότι οι συγκεντρώσεις του υπερβαίνουν το όριο που έχει τεθεί για την προστασία της ανθρώπινης υγείας σε διάφορες αστικές περιοχές με την Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη να έχουν τα υψηλότερα ποσοστά (ΕΕΑ, 2008).

Εκτός από την υγεία, η ατμοσφαιρική ρύπανση βλάπτει επίσης και το περιβάλλον. Σε πολλές περιοχές παρατηρείται το φαινόμενο του ευτροφισμού, το οποίο προκλήθηκε από την εισροή υπερβολικών θρεπτικών ουσιών στα οικοσυστήματα, οδηγώντας το οικοσύστημα σε κατάσταση

σοκ. Επίσης, οι ζημιές που σημειώνονται στις καλλιέργειες, προκαλούνται από την έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Οι περισσότερες γεωργικές καλλιέργειες εκτίθενται σε επίπεδα όζοντος που υπερβαίνουν τον μακροπρόθεσμο στόχο της ΕΕ για την προστασία της βλάστησης. Αυτό περιλαμβάνει κυρίως ένα σημαντικό ποσοστό γεωργικών εκτάσεων, ιδίως στη νότια, κεντρική και ανατολική Ευρώπη (ΕΕΑ, 2008).

Οι κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης που έχουν εντοπισθεί στην Ευρώπη είναι τόσο ανθρωπογενείς όσο και φυσικής προέλευσης (ΕΕΑ, 2008):

- ∅ Η καύση ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στις μεταφορές, στη βιομηχανία και στα νοικοκυριά.
- ∅ Οι βιομηχανικές διεργασίες και η χρήση διαλυτών, για παράδειγμα στις χημικές και ορυκτές βιομηχανίες.
- ∅ Η γεωργία.
- ∅ Η επεξεργασία αποβλήτων.
- ∅ Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, η σκόνη από ανεμοστρόβιλους, ο ψεκασμός θαλάσσιου αλατιού και οι εκπομπές πτητικών οργανικών ουσιών.
- ∅ Οι ενώσεις από φυτά.
- ∅ Οι εκπομπές ρύπων της θάλασσας.

Ο μακροπρόθεσμος στόχος της ΕΕ είναι η επίτευξη επιπέδων ποιότητας του αέρα που δεν οδηγούν σε σοβαρές επιπτώσεις και κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η ΕΕ ενεργεί σε πολλά επίπεδα για να μειώσει την έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση όπως (ΕΕΑ, 2008):

- ∅ μέσω της νομοθεσίας,
- ∅ μέσω της συνεργασίας με τους τομείς που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς και διεθνείς, εθνικές και περιφερειακές αρχές και μη κυβερνητικές οργανώσεις,
- ∅ και μέσω της έρευνας.

Οι πολιτικές της ΕΕ αποσκοπούν στη μείωση της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση με τη μείωση των εκπομπών και τον καθορισμό ορίων και τιμών-στόχων για την ποιότητα του αέρα. Στα τέλη του 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε μια προτεινόμενη δέσμη μέτρων για τον καθαρό αέρα, συμπεριλαμβανομένων νέων μέτρων για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΕΕΑ, 2008).

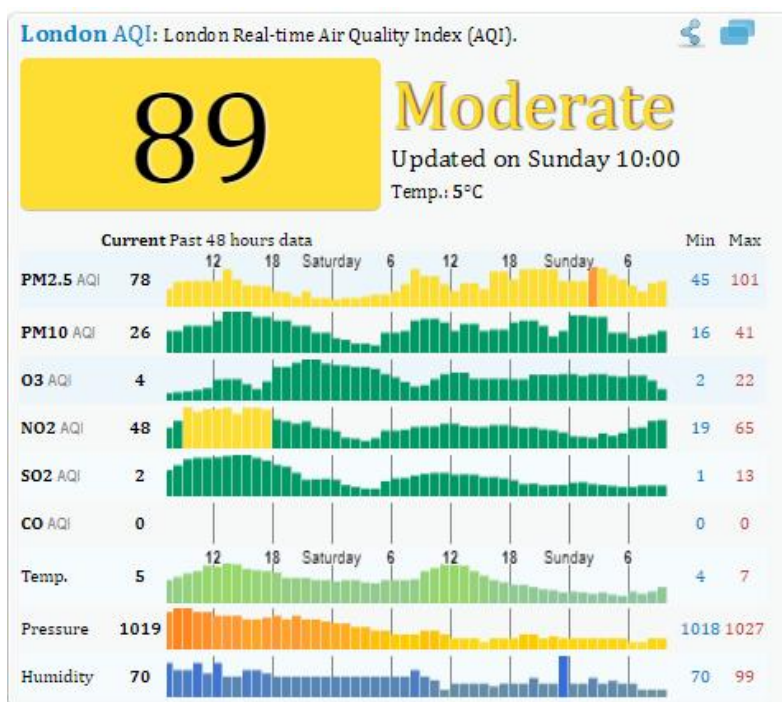
Στην συνέχεια παρουσιάζονται μετρήσεις που έχουν γίνει σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές της Ευρώπης. Για την εξασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων, τα στοιχεία που ελήφθησαν προέρχονται από την διαδικτυακή εφαρμογή Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI), όπου

καταγράφονται οι μετρήσεις ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, διαφόρων πόλεων της Ευρώπης σε πραγματικό χρόνο.

4.3 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Λονδίνου

Η πρώτη πόλη που εξετάζεται είναι το Λονδίνο του Ηνωμένου Βασιλείου. Η διαδικτυακή εφαρμογή χρησιμοποίησε τα δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του αέρα που παρέχονται από την UK-AIR, το Air Quality Information Resource - Defra, του Ηνωμένου Βασιλείου και το London Air Quality Network - Environmental Research Group, King's College London. Σύμφωνα λοιπόν με τις μετρήσεις η ποιότητα του αέρα είναι μέτρια με AQI = 89.

Στην επόμενη εικόνα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των τελευταίων 48 ωρών, για ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} και PM₁₀, το όζον O₃, το διοξείδιο του αζώτου NO₂, το διοξείδιο του θείου SO₂ και το μονοξείδιο του άνθρακα CO, ενώ παρουσιάζονται επίσης και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της υγρασίας.



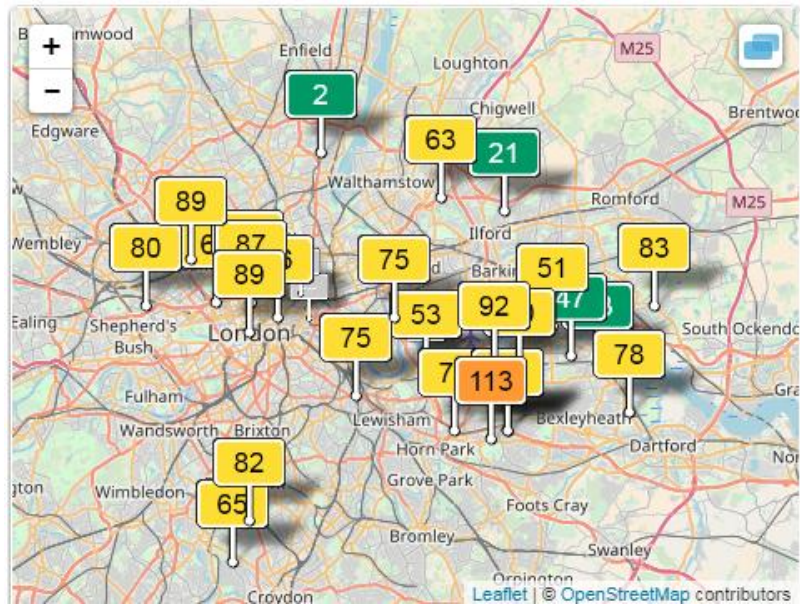
Εικόνα 10 Μετρήσεις ποιότητας αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στο Λονδίνο

Όπως φαίνεται και στην εικόνα τα στοιχεία των μετρήσεων παρουσιάζουν τις εξής τιμές:

Πίνακας 14 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στο Λονδίνο

Ρύπος – Είδος μέτρησης	Τιμή τρέχουσας μέτρησης	Τιμή ελάχιστης μέτρησης	Τιμή μέγιστης μέτρησης
PM_{2,5}	78 (AQI)	45	101
PM₁₀	26 (AQI)	16	41
O₃	4 (AQI)	2	22
NO₂	48 (AQI)	19	65
SO₂	2 (AQI)	1	13
CO	0 (AQI)	0	0
Θερμοκρασία	5° C	4	7

Στον χάρτη που παρέχεται από την υπηρεσία της διαδικτυακής εφαρμογής σχετικά με τα σημεία όπου λαμβάνονται οι μετρήσεις για τη ποιότητα του αέρα παρουσιάζονται σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο διασποράς της ρύπανσης. Όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, στα βόρεια και βορειοανατολικά της πόλης του Λονδίνου υπάρχουν μετρήσεις οι οποίες είναι πολύ καλές (με πράσινο χρώμα), δηλαδή βρίσκονται στην κλίμακα 0-50 της AQI. Όσο νοτιότερα και νοτιοανατολικά προχωράμε, εντοπίζονται αυξημένες μετρήσεις που εμπίπτουν στην 2^η (με κίτρινο χρώμα) και 3^η (με πορτοκαλί χρώμα) κατηγορία.



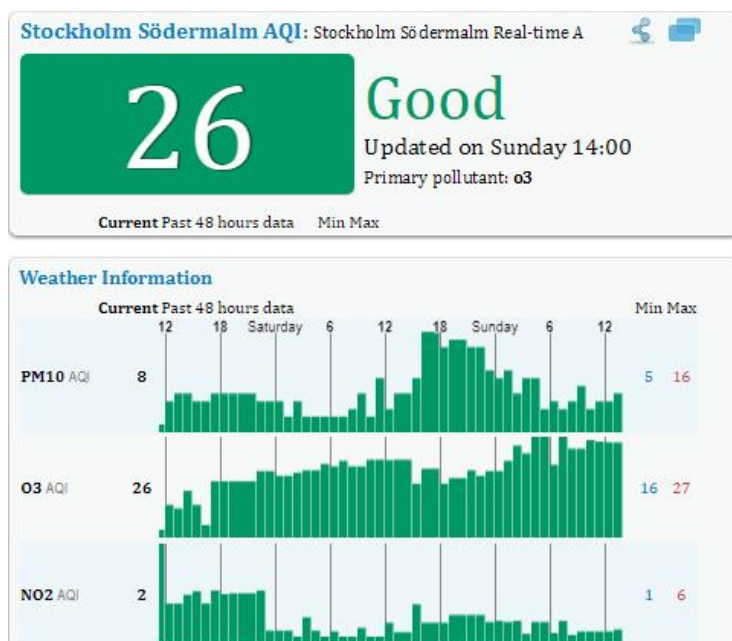
Εικόνα 11 Χάρτης των σταθμών μέτρησης της ποιότητας αέρα κατά AQI στο Λονδίνο

Αυτό θα μπορούσε να είναι ένδειξη σχετικά με την ροή των ανέμων και τον τρόπο με τον οποίο μετακινούνται οι αερομεταφερόμενοι ρύποι.

4.4 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη της Στοκχόλμης

Η δεύτερη πόλη που εξετάζεται είναι η Στοκχόλμη της Σουηδίας. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιεί η διαδικτυακή εφαρμογή σχετικά με την ποιότητα του αέρα παρέχονται από το SLB-analys - Air Quality Management and Operator της πόλης. Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές, η ποιότητα του αέρα στην πόλη της Στοκχόλμης είναι AQI=26, η οποία κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία «Καλή ποιότητα» (0-50).

Στην επόμενη εικόνα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των τελευταίων 48 ωρών, για ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, το όζον O₃ και το διοξείδιο του αζώτου NO₂.

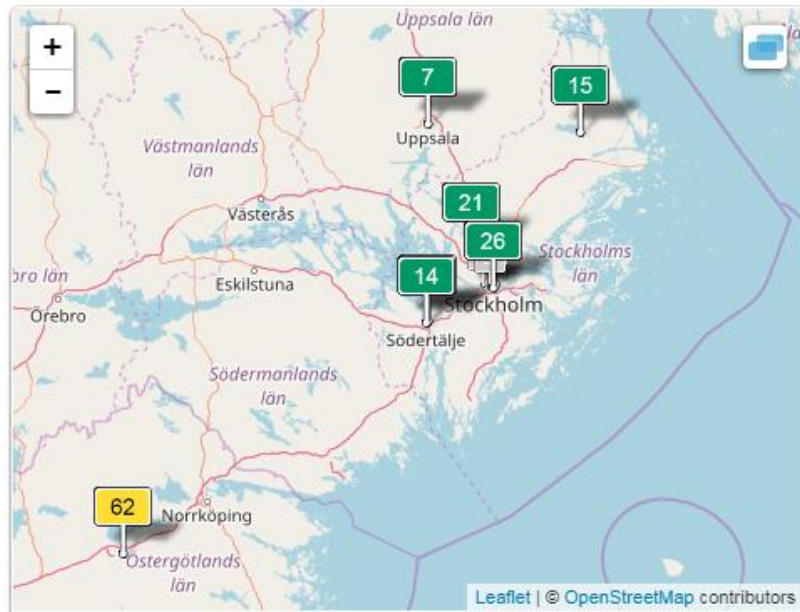


Εικόνα 12 Μετρήσεις ποιότητας αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στην Στοκχόλμη

Όπως φαίνεται και στην εικόνα τα στοιχεία των μετρήσεων παρουσιάζουν τις εξής τιμές:

Πίνακας 15 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στην Στοκχόλμη

Ρύπος – Είδος μέτρησης	Τιμή τρέχουσας μέτρησης	Τιμή ελάχιστης μέτρησης	Τιμή μέγιστης μέτρησης
PM ₁₀	8 (AQI)	5	16
O ₃	26 (AQI)	16	27
NO ₂	2 (AQI)	1	6
Θερμοκρασία	1° C	-1	1



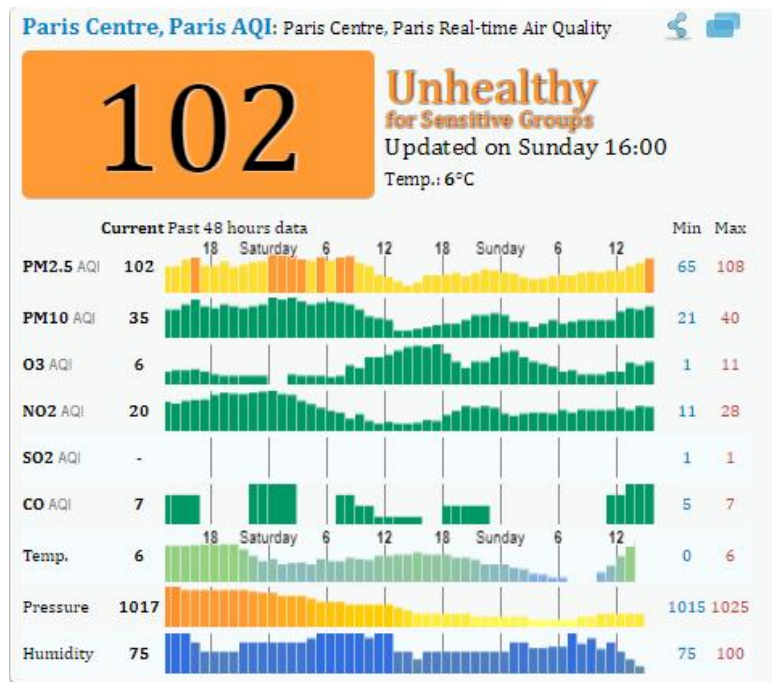
Εικόνα 13 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στη Στοκχόλμη

Στον χάρτη που παρέχεται από την υπηρεσία της διαδικτυακής εφαρμογής σχετικά με τα σημεία όπου λαμβάνονται οι μετρήσεις για τη ποιότητα του αέρα στην Σουηδία, παρουσιάζονται σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο διασποράς της ρύπανσης. Όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, στα βόρεια, βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά της πόλης της Στοκχόλμης όλες μετρήσεις οι οποίες είναι πολύ καλές, δηλαδή κυμαίνονται στην κλίμακα 0-50 της AQI. Παρόλα αυτά στα νοτιοδυτικά της Στοκχόλμης, στην πόλη Linköping, οι μετρήσεις κατατάσσονται στην δεύτερη κατηγορία με AQI=62, «Μέτρια» ποιότητα αέρα καθώς υπήρξε αύξηση στα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀.

4.5 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Παρισιού

Η τρίτη πόλη που εξετάζεται είναι το Παρίσι της Γαλλίας. Η διαδικτυακή εφαρμογή χρησιμοποίησε τα δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του αέρα που παρέχονται από την AirParif, ένωση παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα στην Île-de-France. Σύμφωνα λοιπόν με τις μετρήσεις, η ποιότητα του αέρα είναι AQI = 89 και κατατάσσεται στην τρίτη κατηγορία «Ανθυγιινή για ευαίσθητες ομάδες», 101-150.

Στην επόμενη εικόνα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των τελευταίων 48 ωρών, για ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5} και PM₁₀, το όζον O₃, το διοξείδιο του αζώτου NO₂, το διοξείδιο του θείου SO₂ και το μονοξείδιο του άνθρακα CO, ενώ παρουσιάζονται επίσης και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ατμοσφαιρικής πίεσεως και της υγρασίας που επικρατούν στο κέντρο του Παρισιού.



Εικόνα 14 Μετρήσεις ποιότητας αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στο Παρίσι

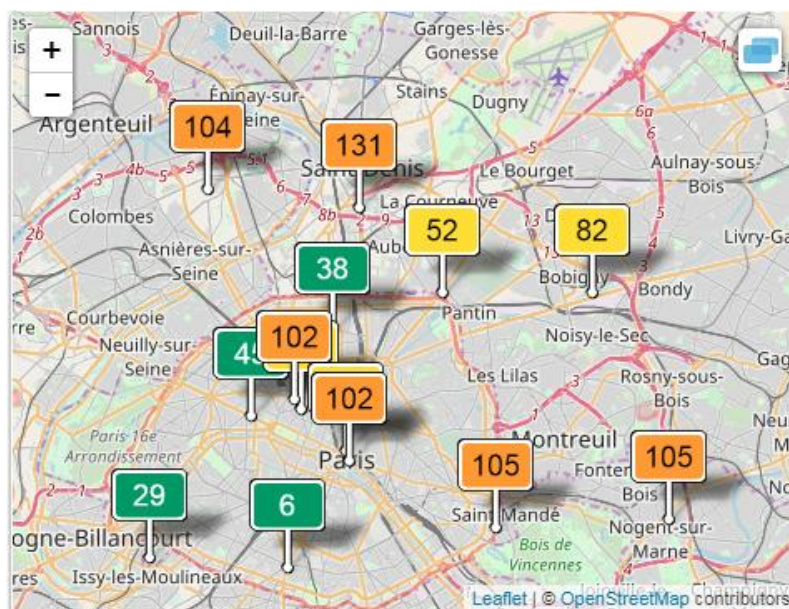
Όπως φαίνεται και στην εικόνα τα στοιχεία των μετρήσεων παρουσιάζουν τις εξής τιμές:

Πίνακας 16 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στο Παρίσι

Ρύπος – Είδος μέτρησης	Τιμή τρέχουσας μέτρησης	Τιμή ελάχιστης μέτρησης	Τιμή μέγιστης μέτρησης
PM _{2,5}	102 (AQI)	65	108
PM ₁₀	35 (AQI)	21	40
O ₃	6 (AQI)	1	11
NO ₂	20 (AQI)	11	28
SO ₂	- (AQI)	1	1
CO	7 (AQI)	5	7
Θερμοκρασία	6° C	0	6

Στον χάρτη που παρέχεται από την υπηρεσία της διαδικτυακής εφαρμογής σχετικά με τα σημεία όπου λαμβάνονται οι μετρήσεις για τη ποιότητα του αέρα στην πόλη του Παρισιού αλλά και στις γύρω περιοχές, παρατηρείται γενικά αυξημένα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα,

Προς τα βόρεια, δυτικά και νοτιοδυτικά του κέντρου της πόλης του Παρισιού, οι μετρήσεις είναι καλές (με πράσινο χρώμα). Στα βορειοανατολικά του κέντρου οι μετρήσεις παρουσιάζουν μια μέτρια διακύμανση στην 2^η κατηγορία (με κίτρινο χρώμα), ενώ στα βόρεια, και στα νοτιοανατολικά του κέντρου οι μετρήσεις εμπίπτουν στην 3^η κατηγορία (με πορτοκαλί χρώμα).



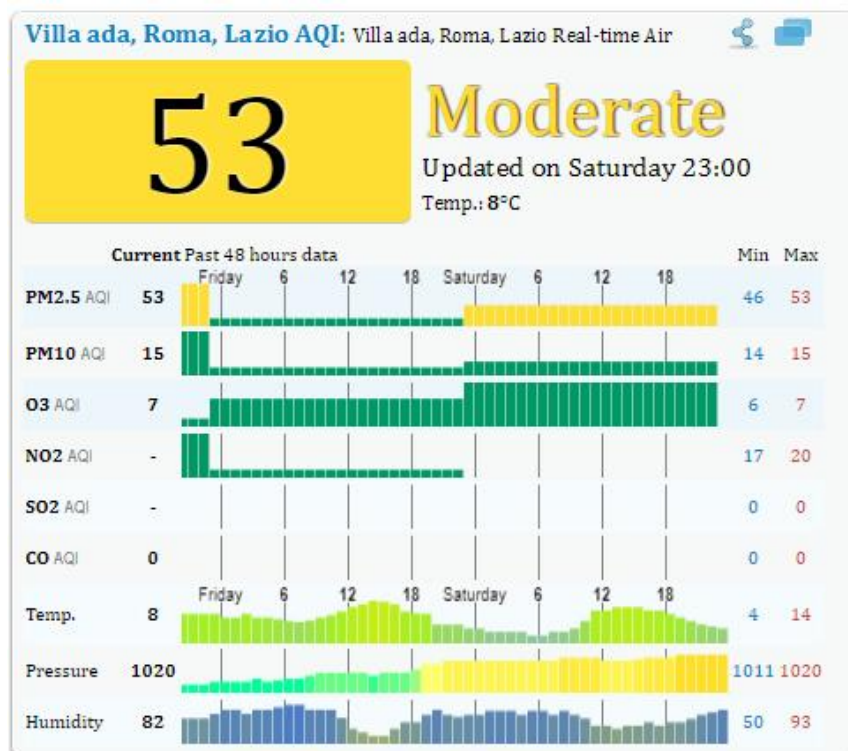
Εικόνα 15 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στο Παρίσι

Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους λόγους, όπως η εγγύτητα των σταθμών μέτρησης σε πηγές εκπομπής ρύπων όπως βιομηχανίες, ή λεωφόρων υψηλής κίνησης.

4.6 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη της Ρώμης

Η τέταρτη πόλη που εξετάζεται είναι η Ρώμη της Ιταλίας. Η διαδικτυακή εφαρμογή χρησιμοποίησε τα δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του αέρα που παρέχονται από την ARAP Lazio, περιφερειακή υπηρεσία για την προστασία του περιβάλλοντος του Lazio στην Ρώμη. Σύμφωνα λοιπόν με τις μετρήσεις, η ποιότητα του αέρα είναι AQI = 53 και κατατάσσεται στην δεύτερη κατηγορία «Μέτρια ποιότητα αέρα», 51-100.

Στην επόμενη εικόνα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των τελευταίων 72 ωρών, για ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} και PM₁₀, το όζον O₃, το διοξείδιο του αζώτου NO₂, το διοξείδιο του θείου SO₂ και το μονοξείδιο του άνθρακα CO, ενώ παρουσιάζονται επίσης και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της υγρασίας που επικρατούν στην πόλη της Ρώμης.

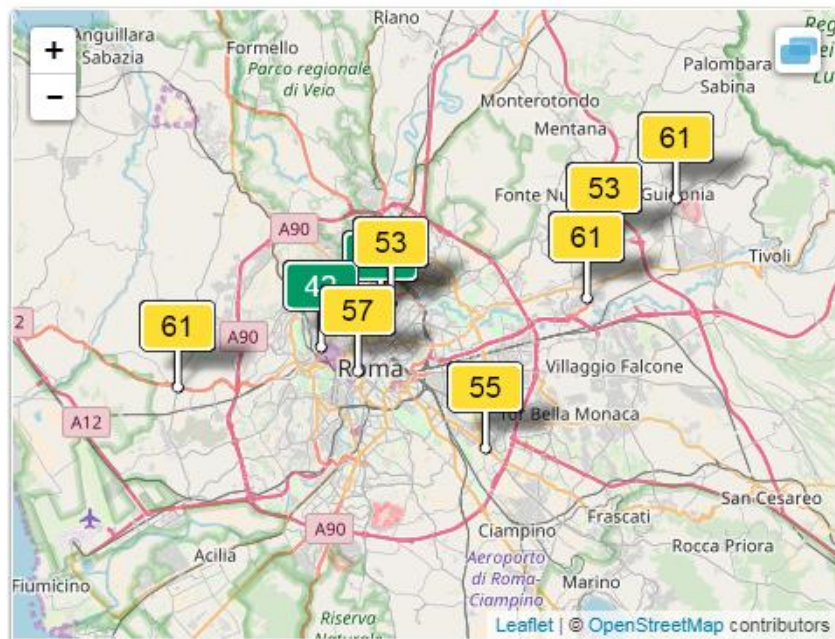


Εικόνα 16 Μετρήσεις ποιότητας αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στη Ρώμη

Όπως φαίνεται και στην εικόνα τα στοιχεία των μετρήσεων παρουσιάζουν τις εξής τιμές:

Πίνακας 17 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στη Ρώμη

Ρύπος – Είδος μέτρησης	Τιμή τρέχουσας μέτρησης	Τιμή ελάχιστης μέτρησης	Τιμή μέγιστης μέτρησης
PM _{2,5}	53 (AQI)	46	53
PM ₁₀	15 (AQI)	14	15
O ₃	7 (AQI)	6	7
NO ₂	- (AQI)	17	20
SO ₂	- (AQI)	0	0
CO	0 (AQI)	0	0
Θερμοκρασία	8° C	4	14



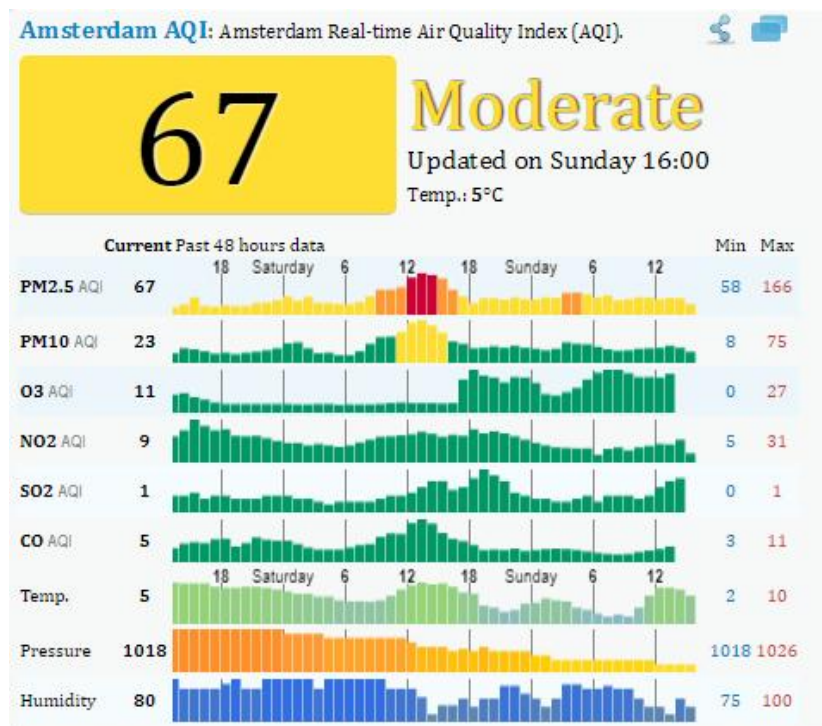
Εικόνα 17 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στη Ρώμη

Από τον χάρτη που παρέχεται από την διαδικτυακή εφαρμογή, παρατηρείται ότι γενικά η ποιότητα του αέρα στην περιοχή της Ρώμης κατατάσσεται στην δεύτερη κατηγορία (με κίτρινο χρώμα) 51-100. Υπάρχουν βέβαια και μετρήσεις όπου η κατάταξη πέφτει στην πρώτη κατηγορία (με πράσινο χρώμα) στα βόρεια της πόλης, υποδηλώνοντας ίσως την πορεία του ανέμου στην περιοχή.

4.7 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Άμστερνταμ

Η πέμπτη πόλη που εξετάζεται είναι το Άμστερνταμ της Ολλανδίας. Η διαδικτυακή εφαρμογή χρησιμοποίησε τα δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του αέρα που παρέχονται από το RIVM - Εθνικό Ινστιτούτο Δημόσιας Υγείας και Περιβάλλοντος, του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ποιότητας του Αέρα. Σύμφωνα λοιπόν με τις μετρήσεις, η ποιότητα του αέρα είναι AQI = 67 και κατατάσσεται στην δεύτερη κατηγορία «Μέτρια ποιότητα αέρα», 51-100.

Στην επόμενη εικόνα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των τελευταίων 48 ωρών, για ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ και PM_{10} , το όζον O_3 , το διοξείδιο του αζώτου NO_2 , το διοξείδιο του θείου SO_2 και το μονοξείδιο του άνθρακα CO , ενώ παρουσιάζονται επίσης και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της υγρασίας που επικρατούν στην πόλη του Άμστερνταμ.



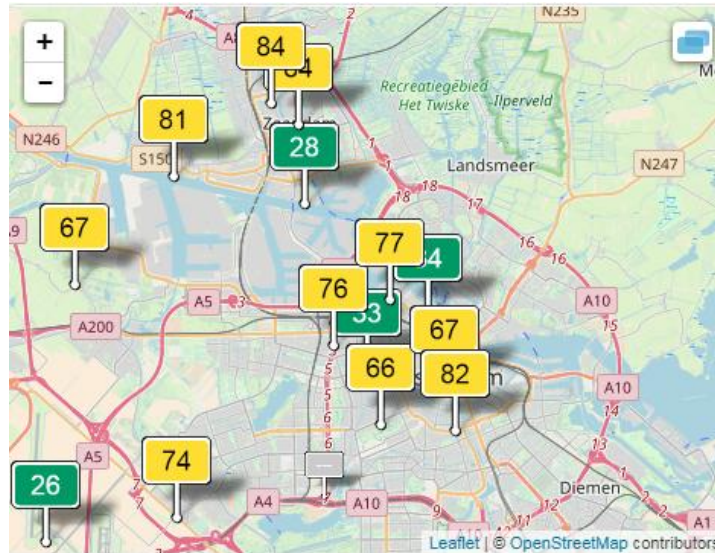
Εικόνα 18 Μετρήσεις ποιότητας αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στο Άμστερνταμ

Όπως φαίνεται και στην εικόνα τα στοιχεία των μετρήσεων παρουσιάζουν τις εξής τιμές:

Πίνακας 18 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στο Άμστερνταμ

Ρύπος – Είδος μέτρησης	Τιμή τρέχουσας μέτρησης	Τιμή ελάχιστης μέτρησης	Τιμή μέγιστης μέτρησης
PM _{2,5}	67 (AQI)	58	166
PM ₁₀	23 (AQI)	8	75
O ₃	11 (AQI)	0	27
NO ₂	9 (AQI)	5	31
SO ₂	1 (AQI)	0	1
CO	5 (AQI)	0	10
Θερμοκρασία	5° C	2	10

Από τον χάρτη που παρέχεται από την εφαρμογή, παρατηρείται μια αυξομείωση στην κατανομή των ρύπων στην ατμόσφαιρα του Άμστερνταμ και των γύρω περιοχών του.

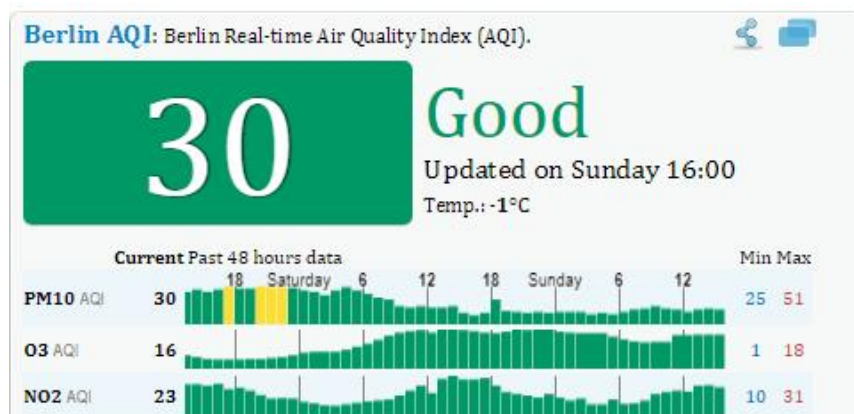


Εικόνα 19 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στο Άμστερνταμ

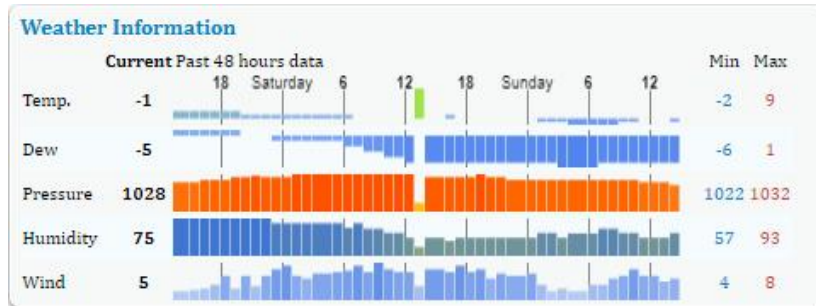
Όπως φαίνεται και στον χάρτη, η περιοχή παρουσιάζει γενικά μέτρια κατάταξη στην ποιότητα του αέρα, με τις μετρήσεις να κυμαίνονται από 62 μέχρι και 84, ενώ υπάρχουν και μετρήσεις που κατατάσσονται στην πρώτη κατηγορία καθώς κυμαίνονται από 26 μέχρι 34.

4.8 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη του Βερολίνου

Η έκτη πόλη που εξετάζεται είναι το Βερολίνο της Γερμανίας. Σύμφωνα με τις μετρήσεις που παρέχει η διαδικτυακή εφαρμογή, η ποιότητα του αέρα είναι AQI = 30 και κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία «Καλή ποιότητα αέρα», 0-50. Στις επόμενες εικόνες, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των τελευταίων 48 ωρών, για ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , το όζον O_3 και το διοξείδιο του αζώτου NO_2 , ενώ παρουσιάζονται επίσης και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της υγρασίας που επικρατούν στην πόλη του Βερολίνου.



Εικόνα 20 Μετρήσεις ποιότητας αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στο Βερολίνο



Εικόνα 21 Μετρήσεις ιδιοτήτων αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στο Βερολίνο

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 18 τα στοιχεία των μετρήσεων παρουσιάζουν τις εξής τιμές:

Πίνακας 19 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στο Βερολίνο

Ρύπος – Είδος μέτρησης	Τιμή τρέχουσας μέτρησης	Τιμή ελάχιστης μέτρησης	Τιμή μέγιστης μέτρησης
PM ₁₀	30 (AQI)	25	51
O ₃	16 (AQI)	1	18
NO ₂	23 (AQI)	10	31
Θερμοκρασία	-1° C	-2	9



Εικόνα 22 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στο Βερολίνο

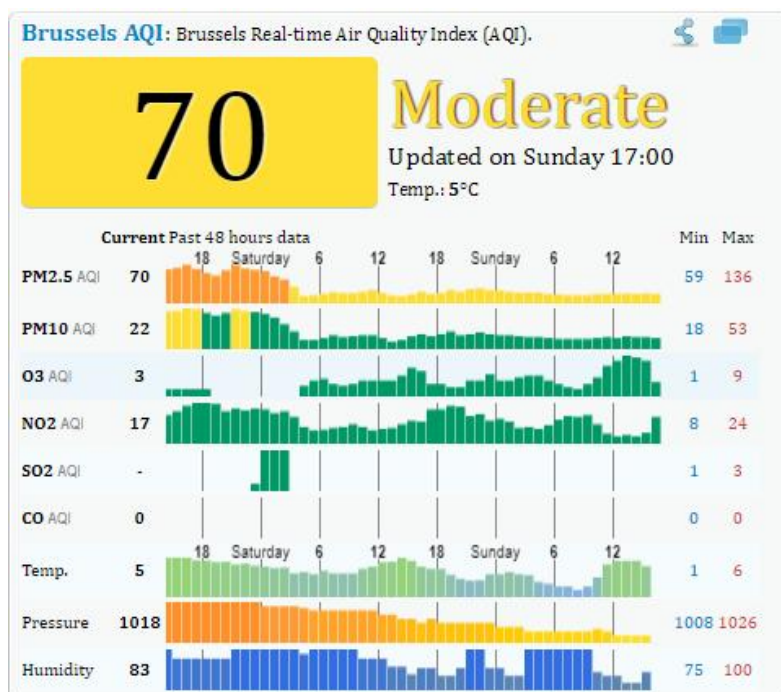
Στον χάρτη που παρέχει η εφαρμογή, παρουσιάζονται όλοι οι σταθμοί μέτρησης της ποιότητας του αέρα στην πόλη του Βερολίνου καθώς και των γύρω περιοχών. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 20,

όλοι οι σταθμοί μέτρησης δίνουν αποτελέσματα μετρήσεων από 18 μέχρι 30 κατατάσσοντας την ποιότητα του αέρα στην πρώτη κατηγορία. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην πολιτική την οποία τηρεί η πόλη σχετικά με την διατήρηση των καλών επιπέδων ποιότητας αέρα. Είναι φανερό και από την εικόνα 18, ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν ο μόνος ρύπος που πέρασε στην δεύτερη κατηγορία μέσα στις τελευταίες 48 ώρες, αλλά το φαινόμενο διήρκησε μόνο μερικές ώρες και στην συνέχεια τα επίπεδα επέστρεψαν και πάλι στην πρώτη κατηγορία.

4.9 Επίπεδα ποιότητας αέρα στην πόλη των Βρυξελών

Η έβδομη πόλη που εξετάζεται είναι οι Βρυξέλες. Η διαδικτυακή εφαρμογή χρησιμοποίησε τα δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του αέρα που παρέχονται από το IRCEL-CELINE - Περιφερειακό Οργανισμό Περιβάλλοντος του Βελγίου. Σύμφωνα με τις μετρήσεις, η ποιότητα του αέρα είναι AQI = 70 και κατατάσσεται στην δεύτερη κατηγορία «Μέτρια ποιότητα αέρα», 51-100.

Στην επόμενη εικόνα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις των τελευταίων 48 ωρών, για ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} και PM₁₀, το όζον O₃, το διοξείδιο του αζώτου NO₂, το διοξείδιο του θείου SO₂ και το μονοξείδιο του άνθρακα CO, ενώ παρουσιάζονται επίσης και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της υγρασίας που επικρατούν στην πόλη των Βρυξελών.



Εικόνα 23 Μετρήσεις ποιότητας αέρα με το Real-time Air Quality Index (AQI) στις Βρυξέλες

Όπως φαίνεται και στην εικόνα τα στοιχεία των μετρήσεων παρουσιάζουν τις εξής τιμές:

Πίνακας 20 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στις Βρυξέλες

Ρύπος – Είδος μέτρησης	Τιμή τρέχουσας μέτρησης	Τιμή ελάχιστης μέτρησης	Τιμή μέγιστης μέτρησης
PM _{2,5}	70 (AQI)	59	136
PM ₁₀	22 (AQI)	18	53
O ₃	3 (AQI)	1	9
NO ₂	17 (AQI)	8	24
SO ₂	- (AQI)	1	3
CO	0 (AQI)	0	0
Θερμοκρασία	5° C	1	6

Όπως φαίνεται στον χάρτη των σταθμών στην πόλη των Βρυξελλών όπως και στα περίχωρά της, παρατηρείται γενική κατάταξη των μετρήσεων στην δεύτερη κατηγορία «Μέτρια ποιότητα αέρα». Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι ίσως λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή και της εκπομπής ρύπων αιωρούμενων σωματιδίων, τα επίπεδα της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα να μην μπορούν να μειωθούν.



Εικόνα 24 Τιμές μέτρησης ρύπων με καταγραφή τρέχουσας κατάστασης και ελαχίστων – μέγιστων τιμών στις Βρυξέλες

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας του αέρα σε αστικές και βιομηχανικές ρυπογόνες περιοχές. Μέσα από τα κεφάλαια της εργασίας, αναλύθηκαν οι δείκτες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με ανάλυση των πιο διαδεδομένων, όπως η PSI και η AQI. Στην συνέχεια, εξετάστηκαν όλοι οι κυριότεροι μέθοδοι μέτρησης της ρύπανσης του αέρα στην ατμόσφαιρα, με ανάλυση των πιο διαδεδομένων τεχνικών, όπως η φωτομετρία, η χρωματογραφία και η φασματομετρία μάζας.

Εκτός από τους δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στην εργασία έγινε επίσης λόγος για τα είδη των ρύπων με ξεχωριστή αναφορά σε κάθε ρύπο που έχει εντοπισθεί στην ατμόσφαιρα όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, οι υδρογονάνθρακες και τα αιωρούμενα σωματίδια. Επίσης έγινε αναφορά στους τρόπους με τους οποίους εκδηλώνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία εκτός από την μείωση της ορατότητας στα αστικά κέντρα, μπορεί να εκδηλωθεί με την μορφή όξινης βροχής αλλά και με την αλλαγή στα καιρικά φαινόμενα μιας περιοχής όπως η παρουσία έντονης ομίχλης και άλλα.

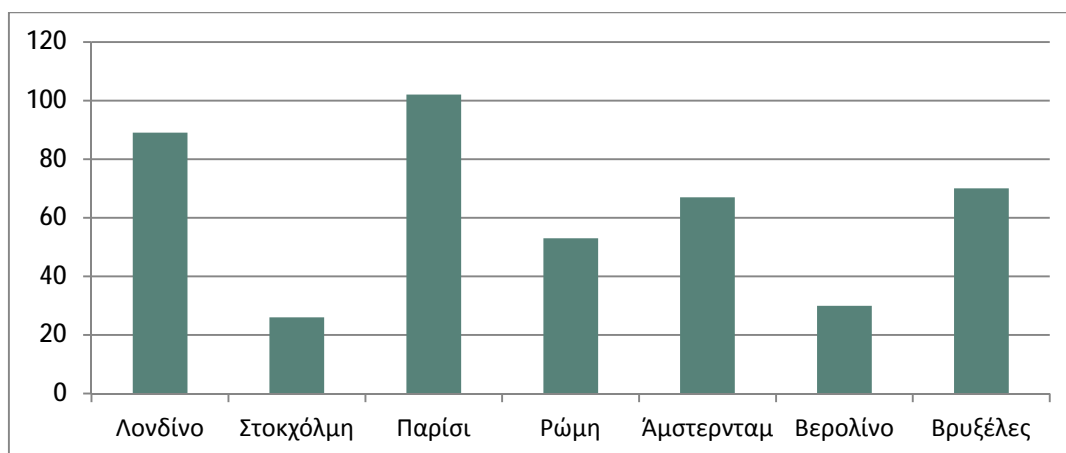
Στο τελευταίο κεφάλαιο μελετήθηκαν τα επίπεδα ποιότητας αέρα σε μεγάλες πόλεις της Ευρώπης. Τα στοιχεία αντλήθηκαν από την διαδικτυακή εφαρμογή Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI), όπου οι περισσότερες μετρήσεις είναι σε πραγματικό χρόνο με πρόσθετη παροχή μετρήσεων των τελευταίων 48 ωρών ή παλαιότερες μέχρι και 72 ωρών. Οι πόλεις που εξετάστηκαν ήταν το Λονδίνο, η Στοκχόλμη, το Παρίσι, η Ρώμη, το Άμστερνταμ, το Βερολίνο και οι Βρυξέλες. Όπως αναφέρεται και στον ιστότοπο της εφαρμογής, η Ελλάδα δεν έχει ενταχθεί στο σύστημα αυτό, καθώς οι μετρήσεις που λαμβάνονται στην χώρα παρακολουθούνται από το υπουργείο ΥΠΕΚΑ και δεν παρέχονται για δημοσίευση.

Τα επίπεδα ποιότητας του αέρα στις πόλεις που εξετάστηκαν παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 21 Μέτρηση δείκτη AQI για κάθε πόλη και χαρακτηρισμός ποιότητας

Πόλη	Δείκτης AQI	Χαρακτηρισμός κατηγορίας
Λονδίνο	89	Μέτρια ποιότητα αέρα
Στοκχόλμη	26	Καλή ποιότητα αέρα
Παρίσι	102	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες
Ρώμη	53	Μέτρια ποιότητα αέρα
Άμστερνταμ	67	Μέτρια ποιότητα αέρα
Βερολίνο	30	Καλή ποιότητα αέρα
Βρυξέλες	70	Μέτρια ποιότητα αέρα

Στο επόμενο γράφημα παρουσιάζονται η διακυμάνσεις των τιμών του δείκτη AQI κάθε πόλης.



Γράφημα 4 Τιμές δείκτη AQI για κάθε πόλη

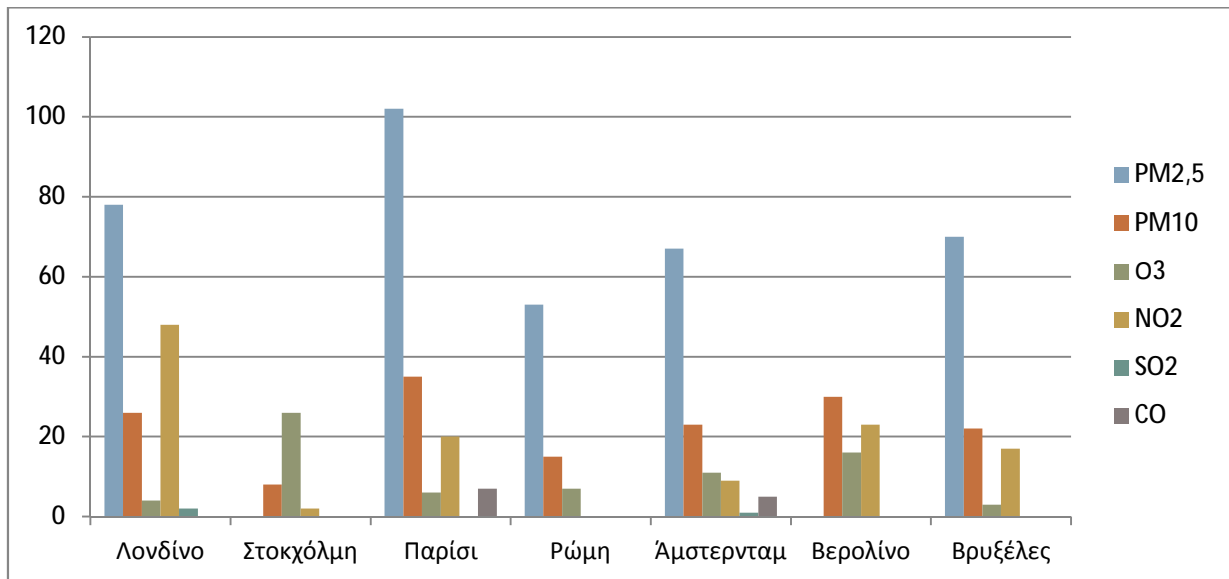
Όπως φαίνεται και στο γράφημα, οι τιμές κάθε πόλης είναι διαφορετικές. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους λόγους όπως:

- ∅ Η ύπαρξη πηγών εκπομπής ρύπων κοντά στους σταθμούς μέτρησης.
- ∅ Οι καιρικές συνθήκες (άνεμος, ομίχλη, παγετός και άλλα) και τα επίπεδα υγρασίας.
- ∅ Τα επίπεδα κίνησης οχημάτων κοντά στους σταθμούς μέτρησης κατά την ώρα της λήψης μετρήσεων.
- ∅ Η χρήση ορυκτών καυσίμων ή φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων για την θέρμανση του κτιριακού τομέα, την κίνηση των οχημάτων και την παραγωγή ενέργειας.
- ∅ Οι πολιτικές πρακτικές που εφαρμόζονται σχετικά με τον έλεγχο των ρύπων που εκπέμπονται και νοοτροπία των πολιτών σχετικά με την εκπομπή ρύπων και την αποφυγή τους.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι συγκεντρωτικές τιμές των ρύπων κάθε πόλης.

Πίνακας 22 Τιμές συγκεντρώσεων ρύπων για κάθε πόλη που εξετάστηκε

Ρύπος	Λονδίνο	Στοκχόλμη	Παρίσι	Ρώμη	Άμστερνταμ	Βερολίνο	Βρυξέλες
PM _{2,5}	78	-	102	53	67	-	70
PM ₁₀	26	8	35	15	23	30	22
O ₃	4	26	6	7	11	16	3
NO ₂	48	2	20	-	9	23	17
SO ₂	2	-	-	-	1	-	-
CO	0	-	7	0	5	-	0



Γράφημα 5 Τιμές των ρύπων σε κάθε πόλη

Όπως φαίνεται και στο γράφημα, ο ρύπος που παρατηρείται σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τους υπόλοιπους είναι τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 2,5. Βέβαια αυτό δεν ισχύει για την Στοκχόλμη και το Βερολίνο, όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις για αιωρούμενα σωματίδια. Γενικότερα αυτές οι δύο πόλεις παρουσιάζουν καλύτερης ποιότητας αέρα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, αποδεικνύοντας ίσως την αποτελεσματικότητα των πολιτικών που έχουν εφαρμόσει σχετικά με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τις μετρήσεις των ρύπων η εφαρμογή παρέιχε πληροφορίες σχετικά με την θερμοκρασία, τα επίπεδα υγρασίας και την ατμοσφαιρική πίεση σε κάθε περιοχή. Αυτό όμως δεν ήταν αρκετό ώστε να συνυπολογίσουμε τον παράγοντα των καιρικών φαινομένων στην εξέταση της κατάστασης της ρύπανσης κάθε πόλης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akimoto, H. (2003). Global air quality and pollution. *Science*, 302(5651), 1716-1719.
- Allen, L. H. (1990). Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. *Journal of Environmental Quality*, 19(1), 15-34.
- Atkinson R, Cohen A, Mehta S, Anderson H. (2012). Systematic review and meta-analysis of epidemiological time-series studies on outdoor air pollution and health in Asia. *Air Qual Atmos Health*. 5:383–391.
- Bastille, A. L. (1981). Acid rain: How great a menace. *National Geographic*, November, 652-680.
- Boden, T.A., Marland, G., and Andres, R.J. (2017). National CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2014, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017.
- Boubel et al. (1994) *Fundamentals of Air Pollution*, 3rd edition. Academic Press. Ανακτήθηκε από: http://nigc.ir/portal/Images/Images_Training/files/files/chemist%20book/chemical%20listed/Fundamentals%20ofAir%20Pollution%203E.pdf
- Cheng, W. L., Chen, Y. S., Zhang, J., Lyons, T. J., Pai, J. L., & Chang, S. H. (2007). Comparison of the revised air quality index with the PSI and AQI indices. *Science of the Total Environment*, 382(2), 191-198. Ανακτήθηκε από: <https://pdfs.semanticscholar.org/dc70/dc6b772a7c50aedca3b526395054b90b9eda.pdf>
- Cheung, H. C., Wang, T., Baumann, K., & Guo, H. (2005). Influence of regional pollution outflow on the concentrations of fine particulate matter and visibility in the coastal area of southern China. *Atmospheric Environment*, 39(34), 6463-6474.
- Chow, J. C. (1995). Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 45(5), 320-382.
- Clerbaux, C., Edwards, D. P., Deeter, M., Emmons, L., Lamarque, J. F., Tie, X. X., ... & Gille, J. (2008). Carbon monoxide pollution from cities and urban areas observed by the Terra/MOPITT mission. *Geophysical Research Letters*, 35(3).

- Dickerson, R. R., Kondragunta, S., Stenchikov, G., Civerolo, K. L., Doddridge, B. G., & Holben, B. N. (1997). The impact of aerosols on solar ultraviolet radiation and photochemical smog. *Science*, 278(5339), 827-830.
- Driscoll, C. T., Whitall, D., Aber, J., Boyer, E., Castro, M., Cronan, C., ... & Lawrence, G. (2003). Nitrogen pollution in the northeastern United States: sources, effects, and management options. *AIBS Bulletin*, 53(4), 357-374.
- Edner, H., Ragnarson, P., Spännare, S., & Svanberg, S. (1993). Differential optical absorption spectroscopy (DOAS) system for urban atmospheric pollution monitoring. *Applied optics*, 32(3), 327-333. Ανακτήθηκε από: <https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-32-3-327>
- Elder, J. F., & Collins, J. J. (1991). Freshwater molluscs as indicators of bioavailability and toxicity of metals in surface-water systems. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (pp. 37-79). Springer New York.
- Elsom, D. (2014). *Smog alert: managing urban air quality*. Routledge.
- Fankhauser, S. (2013). *Valuing climate change: the economics of the greenhouse*. Routledge.
- Feng, X., & Wang, S. (2012). Influence of different weather events on concentrations of particulate matter with different sizes in Lanzhou, China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 665-674.
- Finlayson-Pitts, B.J., Pitts, J.N. (1997). Tropospheric air pollution: ozone, airborne toxics, polycyclic aromatic hydrocarbons, and particles. *Science*. 16; 276(5315):1045-52.
- Holdren, J. P. (1991). Population and the energy problem. *Population & Environment*, 12(3), 231-255.
- Holman, C. (1999). Sources of air pollution. *Air pollution and health*, 1, 115-48.
- Houck, J. E., Chow, J. C., Watson, J. G., Simons, C. A., & Pritchett, L. C. (1989). Determination of particle-size distribution and chemical composition of particulate matter from selected sources in California. Volume 1. Final report, Volume 2 and Volume 3 (appendices) (No. PB-89-232805/XAB). OMNI Environmental Services, Inc., Beaverton, OR (USA).
- Hvistendahl, M. (2007). Coal ash is more radioactive than nuclear waste. *Scientific American*, 13.
- Hyslop, N. P. (2009). Impaired visibility: the air pollution people see. *Atmospheric Environment*, 43(1), 182-195.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press.

Jimenez, J. L., Canagaratna, M. R., Donahue, N. M., Prevot, A. S. H., Zhang, Q., Kroll, J. H., & Aiken, A. C. (2009). Evolution of organic aerosols in the atmosphere. *Science*, 326(5959), 1525-1529.

Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362-367.

Karthikeyan, S., Joshi, U. M., & Balasubramanian, R. (2006). Microwave assisted sample preparation for determining water-soluble fraction of trace elements in urban airborne particulate matter: evaluation of bioavailability. *Analytica Chimica Acta*, 576(1), 23-30.

Kirkbright, G. F. (1980). Atomic absorption spectroscopy. In *Elemental analysis of biological materials* (Vol. 197, pp. 141-165). International Atomic Energy Agency, Vienna.

Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate* (Vol. 28). Academic press.

Levin, Z., & Cotton, W. R. (Eds.). (2008). *Aerosol pollution impact on precipitation: a scientific review*. Springer Science & Business Media.

Li, L., Qian, J., Ou, C. Q., Zhou, Y. X., Guo, C., & Guo, Y. (2014). Spatial and temporal analysis of Air Pollution Index and its timescale-dependent relationship with meteorological factors in Guangzhou, China, 2001–2011. *Environmental Pollution*, 190, 75-81. Ανακτήθηκε από: <http://or.nsf.gov.cn/bitstream/00001903-5/134152/1/1000009254541.pdf>

Mayer H., Kalberlah F. and Ahrens D., 2002a. TLQ-Am impact related air quality index obtained on a daily basis. *Proceedings of the fourth Symposium on the Urban Environment, Norfolk, VA (USA)*, pp 80-81.

Mayer, H., & Kalberlah, F. (2008). Two impact related air quality indices as tools to assess the daily and long-term air pollution. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1-3), 19-29.

Mayer, H., Makra, L., Kalberlah, F., Ahrens, D. and Reuter, U. (2004) 'Air stress and air quality indices', *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 13, pp.395–403.

Menichini, E. (1992). Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: levels and sources of variability. *Science of the total environment*, 116(1-2), 109-135.

Mitchell, J. F. (1989). The “greenhouse” effect and climate change. *Reviews of Geophysics*, 27(1), 115-139.

Moustris, K. P., Ziomas, I. C., & Paliatsos, A. G. (2010). 3-Day-ahead forecasting of regional pollution index for the pollutants NO₂, CO, SO₂, and O₃ using artificial neural networks in Athens, Greece. *Water, Air, & Soil Pollution*, 209(1-4), 29-43.

Ott, W. R., & Hunt Jr, W. F. (1976). A quantitative evaluation of the pollutant standards index. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 26(11), 1050-1054. Ανακτήθηκε από: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00022470.1976.10470358>

Park, C. C. (1987). *Acid rain: rhetoric and reality*. Methuen

Park, C. C. (2013). *Acid Rain (Routledge Revivals): Rhetoric and Reality*. Routledge.

Park, R. J., Jacob, D. J., Kumar, N., & Yantosca, R. M. (2006). Regional visibility statistics in the United States: Natural and transboundary pollution influences, and implications for the Regional Haze Rule. *Atmospheric Environment*, 40(28), 5405-5423.

Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*. 6; 287(9):1132-41.

Putaud, J. P., Van Dingenen, R., Alastuey, A., Bauer, H., Birmili, W., Cyrys, J., ... & Harrison, R. M. (2010). A European aerosol phenomenology–3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. *Atmospheric Environment*, 44(10), 1308-1320.

Saarikoski, S., Teinilä, K., Timonen, H., Aurela, M., Laaksovirta, T., Reyes, F., ... & Junntila, S. (2018). Particulate matter characteristics, dynamics, and sources in an underground mine. *Aerosol Science and Technology*, 52(1), 114-122.

Slavin, W. (1992). A comparison of atomic spectroscopic analytical techniques. *Spectroscopy*, 6, (8), 16.

Stanners, D. & Bourdeau, P. (1995) *Europe’s Environment: The Dobris Assessment*, European Environment Agency, Copenhagen, pp: 27-56.

Stern, A. C. (1977). *Air Pollution: The effects of air pollution (Vol. 2)*. Elsevier.

Stern, A. C. (Ed.). (2014). Air Pollution: Supplement to Air Pollutants, Their Transformations, Transport, and Effects (Vol. 6). Academic Press.

Tseng, C. H., Lu, L. C., Lan, S. H., Hsieh, Y. P., & Lan, S. J. (2017). Relationship between emergency care utilization, ambient temperature, and the pollution standard index in Taiwan. *International journal of environmental health research*, 27(5), 344-354.

Upadhyaya, G., & Dashore, N. (2010). Monitoring of air pollution by using fuzzy logic. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 2(07), 2282-2286.

Urone, P. (2015). The Primary Air Pollutants—Gaseous Their Occurrence, Sources, and Effects. *Air Pollution V1: Air Pollutants, Their Transformation and Transport*, 1, 23.

Warner, J. (1968). A reduction in rainfall associated with smoke from sugar-cane fires—An inadvertent weather modification?. *Journal of Applied Meteorology*, 7(2), 247-251.

Watson, J.G., Chow, J.C. (1994). "Clear Sky Visibility as a Challenge for Society," *Annual Review Energy Environ.* 19:241-266. Ανακτήθηκε από:

<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.eg.19.110194.001325>

Xie, M. X., Xie, F., Deng, Z. W., & Zhuang, G. S. (2003). Determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in aerosol by solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrum. *Talanta*, 60(6), 1245-1257.

Γεντεκάκης, Ι. Β. (2003). Ατμοσφαιρική ρύπανση. Επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα.

Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Περιβαλλοντικής Φυσικής (Ε.Α.Ρ-ΠΕ.ΦΥ.), Δείκτες για την αποτίμηση της ποιότητας του αέρα. Ανακτήθηκε από:

http://airlab.edu.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=104 (2/1/2018)

Ζάνης, Π. (2014). Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ανακτήθηκε από:

https://users.auth.gr/zanis/upload/air_pollution_climate_change/AIR_POLLUTION_ZANHS_SHMEI_OSEIS_2014.pdf

Μουστράς Κ. (2009). Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

AIR – IMISSIONS - 1B.6 volatile hydrocarbons in the atmosphere. Ανακτήθηκε από: http://www.monet.cz/zp/envi98/ak_01b6.htm

Air Pollution in Europe: Real-time Air Quality Index Visual Map. Ανακτήθηκε από: <http://aqicn.org/map/europe/> (14/1/2018)

Atmospheric pollution. (n.d.) *Burton's Legal Thesaurus, 4E.* (2007). Ανακτήθηκε από: <https://legal-dictionary.thefreedictionary.com/Atmospheric+pollution> (2/1/2018)

Department for Environment, Food & Rural Affairs - (DEFRA). Daily Air Quality Index. Ανακτήθηκε από: <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daqj> (3/1/2018)

European Environment Agency – EEA. (2008). Air pollution - Air pollution harms human health and the environment. Ανακτήθηκε από: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/el/displayFtu.html?ftuld=FTU_2.5.5.html (12/1/2018)

Frankfurt Green City, Air pollutants, Particulate matter. Ανακτήθηκε από: <https://frankfurt-greencity.de/en/environment-frankfurt/the-air-in-frankfurt/particulate-matter/> (9/1/2018)

NASA – Earth Observatory. Global Maps – Carbon Monoxide. Ανακτήθηκε από: https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOP_CO_M (9/1/2018)

Theophanides, T. (2012). Introduction to Infrared Spectroscopy, Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology, Prof. Theophanides Theophile (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/49106. Available from: <https://www.intechopen.com/books/infrared-spectroscopy-materials-science-engineering-and-technology/introduction-to-infrared-spectroscopy>

Varun, C.N. (2016). Lab series# 13: Mass Spectrometry Instrumentation Principles. Ανακτήθηκε από: <http://varuncnmicro.blogspot.gr/2016/06/lab-series-13-mass-spectrometry.html>

Κόκκινος, Χ. (2008). Φασματοφωτομετρία UV-VIS. Χημικό Εργαστήριο. Ανακτήθηκε από: <http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2008/09/uv-vis.html>

Κόκκινος, Χ. (2009). Αέριο Χρωματογραφία - Φασματομετρία μαζών (MS). Χημικό Εργαστήριο. Ανακτήθηκε από: <http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2009/11/s.html> (4/1/2018)

Παπαγιαννακόπουλος, Π., Λαζάρου, Γ.Γ. (2017) Φασματοσκοπία Μάζας. Ανακτήθηκε από: http://tccc.iesl.forth.gr/AMS_EPEAEK/courses/LazPap/MSLab_AMS.htm (5/1/2018)

Τσιλιμπάρη, Ε., Αδαμόπουλος, Α., Κακάβα, Σ. (2016). Ετησία έκθεση ατμοσφαιρικής ρύπανσης 2015. ΥΠΕΚΑ, γεν. Δ/ση περιβαλλοντικής πολιτικής δ/ση κλιματικής αλλαγής & ποιότητας ατμόσφαιρας τμήμα ποιότητας της ατμόσφαιρας. Ανακτήθηκε από:

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=81Y3zyY9w%2BU%3D&tabid=490&language=el-GR>

ΥΠΕΚΑ – Αιθαλομίχλη. Ανακτήθηκε από:

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=894&language=el-GR>

ΥΠΕΚΑ. Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ανακτήθηκε από:

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=492&language=el-GR> (5/1/2018)