

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**



**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**

---



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*Ποιότητα αέρα στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας κατά τη δεκαετία 2001-2011*

Νοτάκη Αργυρώ

*Επιβλέπουσα καθηγήτρια*

**Αναπλ. Καθ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΚΑΤΣΙΒΕΛΑ**

**ΧΑΝΙΑ 2015**

*Ποιότητα αέρα στο αστικό περιβάλλον  
της Αθήνας κατά τη δεκαετία 2001-2011*

*Νοτάκη Αργυρώ*

*Στον θείο μου, Ανέστο*

**Ευχαριστώ την καθηγήτρια μου,  
κ. Ελευθερία Κατσίβελα για την  
πολύτιμη βοήθεια της**

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ελευθερία Κατσίβελα  
Επίκουρη Καθηγήτρια Μελίνα-Σπυριδούλα Κώττη  
Καθηγητής Εφαρμογών Δημήτριος Καλδέρης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας στα αστικά κέντρα και ειδικότερα στο παράδειγμα της Αθήνας κατά την δεκαετία 2001-2011. Η εργασία επικεντρώνεται στους σημαντικότερους εκπεμπόμενους ρύπους (μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου, όζοντος, μαύρου καπνού και εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων) στην ατμόσφαιρα κυρίως από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, στις νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση της ρύπανσης και σε νομοθετικές ρυθμίσεις που έχουν θεσπιστεί από το κράτος για τον περιορισμό της και τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από έξι κυρίως σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ. Όσον αφορά υπερβάσεις των μέσων ετήσιων τιμών σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπτά νομοθετημένα όρια κατά τη διάρκεια της δεκαετίας, διαπιστώθηκαν μόνο στα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια Α.Σ<sub>10</sub>. Όσον αφορά όλους τους εξετασθέντες πρωτογενείς ρύπους (μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου και μαύρο καπνό), οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στο κέντρο της πόλης στο σταθμό Πατησίων όλη την περίοδο 2001-2011, ενώ οι χαμηλότερες στο σταθμό Αγ. Παρασκευής. Αντίθετα οι υψηλότερες τιμές του δευτερογενώς σχηματιζόμενου όζοντος μετρήθηκαν σε όλη τη δεκαετία στον περιαστικό σταθμό Αγ. Παρασκευής και οι χαμηλότερες στο κέντρο της πόλης στο σταθμό Πατησίων. Γενικότερα διαπιστώθηκε μια μείωση των μέσων ετήσιων τιμών που κυμαινόταν από 30-60% κατά την δεκαετία 2001-2011 σε όλους τους σταθμούς μέτρησης και όσον αφορά όλους του εξεταζόμενους πρωτογενείς ρύπους. Αντίθετα παρατηρήθηκε μια σταθερότητα στις μέσες ετήσιες τιμές του δευτερογενούς ρύπου όζοντος σε όλους τους επιλεγθέντες σταθμούς μέτρησης.

**ABSTRACT**

The scope of the present diploma thesis is to evaluate the air quality in urban centers, and in particular, in Athens during the decade 2001-2011. This work focuses on the most important pollutant emissions (carbon monoxide, nitrogen oxides, sulfur dioxide, ozone, black carbon and respirable particulate matter) in the atmosphere mainly from vehicle traffic, as well as in new technologies developed to control air pollution. The current national legislation for the protection of the atmosphere and monitoring of air quality is also analyzed. In this study, we used mainly data from six monitoring stations of air pollution, which belong to the Ministry of Energy and Climate Change. The annual concentrations of respirable particulate matter P.M<sub>10</sub> were higher than the legislative upper limits during the period studied. The highest annual values of all primary pollutants (carbon monoxide, nitrogen oxides, sulphur dioxide and black smoke) were measured in the city centre at the station in Patision Street during the period of 2001-2011, while the lowest concentrations were observed in the suburban station of Agia Paraskevi. In contrast, the highest concentrations of the secondary formed tropospheric ozone were measured in the suburban station of Agia Paraskevi, whereas the lowest concentrations were found in the city centre at the station of Patision. Generally, a decreasing trend of the annual concentrations of all primary atmospheric pollutants ranging from 30 to 60% over the decade 2001-2011 was observed at all monitoring stations. At the same period of time, there was no decrease of the annual concentrations of the secondary pollutant ozone in all measuring stations.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	13
2.1 Πηγές εκπομπής	14
2.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι	17
2.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	18
2.2.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	19
2.2.3 Υδρογονάνθρακες (HC <sub>s</sub> )	19
2.2.4 Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	20
2.2.5 Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> )	21
2.2.6 Αιωρούμενα σωματίδια	22
2.3 Φαινόμενα ρύπανσης	24
2.3.1 Όξινη βροχή	25
2.3.2 Φαινόμενο θερμοκηπίου	32
2.3.3 Νέφος καπνομίχλης	35
2.3.4 Φωτοχημικό νέφος	36
2.3.5 Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	41
3.1 Ποιότητα ατμόσφαιρας	41
3.2 Κλιματική Αλλαγή – Πρωτόκολλο Κιότο	47
3.3 Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις	49
3.3.1 Απόσυρση παλαιού τύπου οχημάτων	49
3.3.2 Χρήση βιοκαυσίμων	50
3.3.3 Ρυθμίσεις για καταλυτικούς μετατροπείς-Πρότυπα Euro	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	53
4.1 Καταλυτικοί μετατροπείς	53
4.2 Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες αερίων	57
4.3 Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες σωματιδίων	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	65
5.1 Εθνικό πλαίσιο	65
5.2 Σταθμοί μέτρησης και μετρούμενοι ρύποι	66
5.3	70
5.3.1 Μετρούμενοι ρύποι σε επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης	69
5.3.2 Διαχρονική εξέλιξη ετήσιων συγκεντρώσεων ρύπων κατά τη δεκαετία 2001-2011	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	87
7.1 Προτάσεις για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του αέρα	87
7.2 Καθαρότερα οχήματα και καύσιμα	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας στα αστικά κέντρα και ειδικότερα στο παράδειγμα της Αθήνας κατά την δεκαετία 2001-2011. Η εργασία επικεντρώνεται στους σημαντικότερους εκπεμπόμενους ρύπους στην ατμόσφαιρα κυρίως από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, στις νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση της ρύπανσης και σε νομοθετικές ρυθμίσεις που έχουν θεσπιστεί από το κράτος για τον περιορισμό της και τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Αρχικά στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται σύντομα η υφιστάμενη κατάσταση της ατμόσφαιρας των μεγαλουπόλεων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι κυριότερες πηγές εκπομπής των ρύπων, οι συνηθέστεροι ρύποι που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα των πόλεων και ποια φαινόμενα παρατηρούνται όταν η συγκέντρωση ορισμένων ρύπων βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας και ποια είναι τα ανώτατα επιτρεπτά όρια για κάθε ρύπο ξεχωριστά. Ακολουθεί αναφορά στην απόσυρση οχημάτων και στους νέους τύπους βιοκαυσίμων. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου αναφέρεται το νέο πρότυπο εκπομπών ρύπων για τα ΙΧ αυτοκίνητα, το Euro 5.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται αναλυτικά στην περιγραφή του καταλυτικού μετατροπέα και στις αντιδράσεις που καταλύει. Ακολουθεί μια αναφορά στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες αέριων και σωματιδιακών ρύπων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα σύμφωνα με τις μετρήσεις του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), τα οποία απεικονίζονται εξελικτικά για κάθε ρύπο για τη δεκαετία 2001-2011.

Στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της μελέτης ποιότητας της ατμόσφαιρας των αστικών κέντρων. Κατά πόσο δηλαδή η οικονομική κρίση έχει συμβάλει στη μείωση εκπομπών συγκεκριμένων ρύπων βιομηχανικής κυρίως προέλευσης, ενώ αντιθέτως η υπέρμετρη χρήση τζακιού και ξυλόσομπας επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. Ακολουθεί μια έρευνα της NASA, η οποία αναφέρεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση παγκοσμίως καθώς επίσης και μια σύντομη αναφορά της Greenpeace στα επεισόδια ρύπανσης των αστικών κέντρων τις προηγούμενες δεκαετίες.

Το έβδομο κεφάλαιο περιλαμβάνει προτάσεις για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του αέρα των αστικών κέντρων παγκοσμίως καθώς επίσης και προτάσεις από τη Greenpeace για τη βελτίωση της ατμόσφαιρας στην Αττική. Ακολουθεί εκτενής αναφορά στην αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά καύσιμα.



## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ**

- Air lab: Εργαστήριο αέρα
- ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- ΑΣ: Αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter)
- As: Αρσενικό
- B: Βόριο
- Ca<sup>2+</sup>: Κατιόν ασβεστίου
- CaCO<sub>3</sub>: Ανθρακικό ασβέστιο
- Cd: Κάδμιο
- CFC<sub>s</sub>: Χλωροφθοράνθρακες
- CH<sub>4</sub>: Μεθάνιο
- CNG: Συμπιεσμένο φυσικό αέριο (Compressed Natural Gas)
- CO: Μονοξείδιο του άνθρακα
- CO<sub>2</sub>: Διοξείδιο του άνθρακα
- DU: Μονάδες Dobson
- ΕΑΡΘ: Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Ελέγχου
- ΕΔΠΑΡ: Ενιαίο Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Ε.Ε: Ευρωπαϊκή Ένωση
- ΕΜΕΡ: Πρόγραμμα Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης
- ΕΡΑ: Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency)
- ESP: Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electrostatic Precipitators)
- HC: Υδρογονάνθρακες
- HCFC<sub>s</sub>: Υδρογονοχλωροφθοράνθρακες
- HCl: Υδροχλώριο
- HC<sub>s</sub>: Υδρογονάνθρακες
- HF: Υδροφθόριο
- Hg: Υδράργυρος
- H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: Ανθρακικό οξύ
- Η.Π.Α: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
- HNO<sub>3</sub>: Νιτρικό οξύ
- H<sub>2</sub>S: Υδρόθειο
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Θειικό οξύ
- IPCC: Διακυβερνητική Επιτροπή για την μελέτη των κλιματικών αλλαγών
- Ir: Ιρίδιο
- K<sup>+</sup>: Κατιόν καλίου
- LNG: Υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquified Natural Gas)
- Μ.Ε.Κ.: Μηχανές εσωτερικής καύσης
- Mg<sup>2+</sup>: Κατιόν μαγνησίου
- Na<sup>+</sup>: Κατιόν νατρίου
- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: Σόδα (Ανθρακικό νάτριο, ανθρακική σόδα)
- NaOH: Καυστική σόδα, υδροξείδιο του νατρίου
- NGV: Οχήματα φυσικού αερίου (Natural Gas Vehicle)
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Κατιόν αμμωνίου
- NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>: Νιτρικό αμμώνιο
- NH<sub>3</sub>: Αμμωνία
- Ni: Νικέλιο
- N<sub>2</sub>: Άζωτο
- N<sub>2</sub>O: Υποξείδιο του αζώτου
- NO<sub>x</sub>: Οξειδία του αζώτου
- O<sub>3</sub>: Όζον

- ΟΚΚ: Οχήματα με Κυψέλες Καυσίμου
- ΟΣΕΠ: Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας Εύξεινο Πόντου
- ΠΑΥ: Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες
- ΡΑΝ: Νιτρικό υπεροξυακετύλιο (Peroxyacetyl nitrate)
- Ρd: Παλλάδιο
- ρΗ: Ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδροξονίου σε διάλυμα
- ΡΜ: Αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter)
- ΡΜ<sub>2,5</sub>: Αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια
- ΡΜ<sub>10</sub>: Εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια
- ppm: parts per million
- Ρt: Λευκόχρυσος
- Ρh: Ρόδιο
- Ρu: Ρουθήνιο
- SO<sub>2</sub>: Διοξείδιο του θείου
- SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>: θειικό ιόν
- TLV οροφής: Μέγιστες συγκεντρώσεις ρύπων σε χώρους εργασίας
- TLV σύντομης έκθεσης: Τιμές μέγιστης επιτρεπτής έκθεσης
- TLV χρονικά σταθμισμένη: Τιμές κατωφλίου
- TSP: Ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particles)
- TWC: Τριοδικό καταλυτικό μετατροπέι (Three Way Catalyst)
- VOCs: Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds)
- WHO: Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization)
- ΥΠΕΚΑ: Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει οριστεί στη βιβλιογραφία με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Κατά μια έννοια είναι η προσθήκη κάθε υλικού (μοριακής ή σωματιδιακής φύσης) στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει τη γη, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη δηλητηρίαση της ζωής (βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα) πάνω στον πλανήτη. Η ανεξέλεγκτη εισαγωγή τέτοιων στοιχείων σε ένα οικοσύστημα συνήθως μειώνει τις ικανότητες του να αντιδρά ή να κινεί τους μηχανισμούς ανακύκλωσης, αναπαραγωγής και αυτοκαθαρισμού. Ρύποι επίσης θεωρούνται οτιδήποτε υλικά είναι δυνατόν να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα είτε εσκεμμένα είτε διάμεσου κάποιας φυσικής διαδικασίας, και να έχουν έστω και έμμεσα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα η μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου της ατμόσφαιρας ή κάποια άλλη αλλαγή της σύστασης του αέρα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα, αποτελεί πλέον κύριο χαρακτηριστικό των αστικών κέντρων. Είναι γεγονός, ότι τέσσερις στους πέντε Ευρωπαίους πολίτες ζουν σε πόλεις, οι περισσότερες από τις οποίες αντιμετωπίζουν τις συνέπειες της υποβάθμισης του αστικού περιβάλλοντος. Η κακή ποιότητα αέρα, η πυκνή οδική κυκλοφορία και η συμφόρηση αυτοκινήτων στους δρόμους καθώς επίσης και η ηχορρύπανση περιλαμβάνονται ανάμεσα στα βασικά χαρακτηριστικά της σημερινής μεγαλούπολης [1].

Οι πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τόσες πολλές όσοι και οι άνθρωποι πάνω στη γη και ακόμα περισσότερες. Στην πραγματικότητα, κάθε άνθρωπος πάνω στην γη είναι εν δυνάμει μια πηγή ρύπανσης, μέσω των καθημερινών του δραστηριοτήτων. Ως κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης των αστικών κέντρων μπορούμε να θεωρήσουμε τα μέσα μεταφοράς, την οικιακή θέρμανση, τις διεργασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις ανεπιθύμητες καύσεις και τις βιομηχανικές καύσεις καυσίμων και γενικότερα τις υπόλοιπες βιομηχανικές εκπομπές. Είναι δύσκολο να καθοριστεί το ποσοστό ευθύνης που αναλογεί σε καθεμία από αυτές τις πηγές. Η συνεισφορά όλων των τύπων μηχανών εσωτερικής καύσης για την κίνηση των αυτοκινήτων εκτιμάται στο 60% της συνολικής ετήσιας εκπομπής. Οι γεννήτριες παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας συνεισφέρουν κατά 10-15%, η οικιακή θέρμανση περίπου 10%, οι βιομηχανικές καύσεις και βιομηχανικές εκπομπές περίπου 20% ενώ οι ανεπιθύμητες καύσεις περίπου 5%. Εφόσον η κοινωνία μας είναι εξελίξιμη, αυτά τα προσεγγιστικά ποσοστά δεν είναι σταθερά. Όσο κατασκευάζονται και πωλούνται περισσότερα αυτοκίνητα, η συνεισφορά της αυτοκίνησης στην ατμοσφαιρική ρύπανση θα αυξάνεται.

Τα προβλήματα της ρύπανσης των αστικών κέντρων επιδεινώνονται και από το γεγονός ότι ο πληθυσμός συνεχώς αυξάνει. Η πληθυσμιακή έκρηξη, όπως χαρακτηρίζεται η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού κυρίως στις μεγαλουπόλεις, δημιουργεί μεγάλες ανησυχίες [2].

Σήμερα, που είναι πλέον ορατά τα προβλήματα, αντί η ρύπανση από την βιομηχανική δραστηριότητα να συρρικνώνεται και παρά τις σχετικές διαβεβαιώσεις τα μέτρα που λαμβάνονται δεν επαρκούν. Οι παρενέργειες της έντονης αυτής βιομηχανικής δραστηριότητας (αυξημένες εκπομπές ρύπων, διαρροές καυσίμων, μεγάλες ποσότητες τοξικών εκπομπών, αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια και νερό) είναι υπεύθυνες για την υποβάθμιση της ατμόσφαιρας, της θάλασσας, του εδάφους, του υπεδάφους και των υπόγειων νερών. Ο τομέας της βιομηχανίας ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό ως προς την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και είναι απαραίτητη η άμεση λήψη μέτρων από τον κρατικό φορέα. Η αυτοκίνηση, η οποία αποτελεί κύρια πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλο ποσοστό στα αστικά κέντρα, αυξάνεται σημαντικά. Αντί να υπάρχει η τάση να αλλάξει αυτή η κατάσταση γινόμαστε μάρτυρες του αντιθέτου. Σχεδιάζεται η χάραξη νέων δρόμων, η επέκταση των

όριων της πόλης καθώς επίσης και ευνοϊκές ρυθμίσεις για την μείωση του κόστους της αγοράς αυτοκινήτων [3].

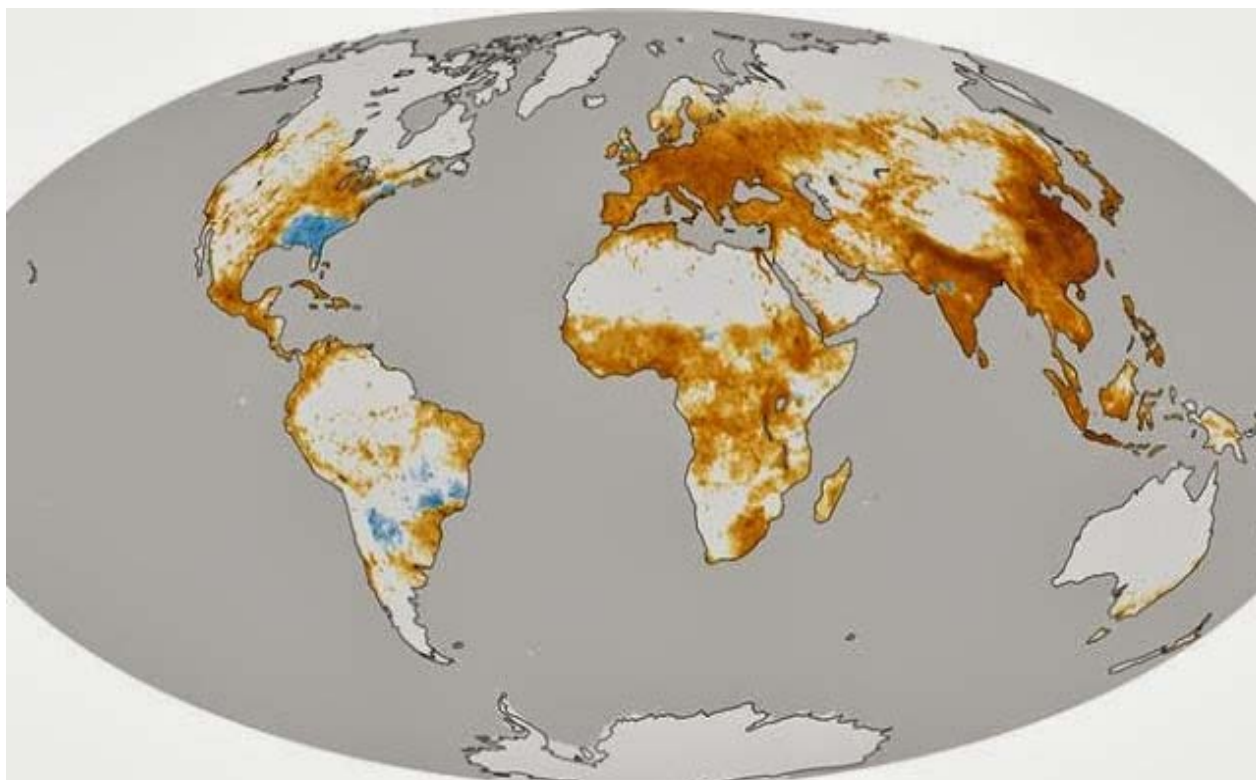
Η χώρα μας βρίσκεται σταθερά τα τελευταία χρόνια στις πρώτες θέσεις στη Ευρώπη με τις υψηλότερες τιμές τροποσφαιρικού όζοντος και τις πολλές ημέρες του έτους κατά τις οποίες οι συγκεντρώσεις του ξεπερνούν τα όρια συναγερμού. Σαν αιτία αναφέρουν οι ειδικοί ότι η Ελλάδα έχει πολύ υψηλό υπόβαθρο όζοντος (περίπου 70-80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Σε αυτό προστίθεται το όζον που σχηματίζεται δευτερογενώς από τους παραγόμενους αέριους ρύπους από τις μεταφορές και τη βιομηχανία. Έτσι εξηγείται γιατί η χώρα μας ξεπερνάει τα όρια [4].

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τοξικών αερίων ρύπων, όπως υδρογονανθράκων (HC), στην κατηγορία των οποίων συγκαταλέγονται το βενζόλιο, η τολουόλη, το αιθυλοβενζόλιο, το ξυλόλιο κ.ά., παρατηρούνται το πρωί ανάμεσα στις 7 και 10 η ώρα και το βραδύ από 21 έως 23 η ώρα και συμπίπτουν με την αιχμή της κυκλοφορίας των μέσων μεταφοράς και τις ώρες λειτουργίας της οικιακής θέρμανσης [5].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας στα αστικά κέντρα και ειδικότερα στο παράδειγμα της Αθήνας κατά την δεκαετία 2001-2011. Η εργασία επικεντρώνεται στους σημαντικότερους εκπεμπόμενους ρύπους στην ατμόσφαιρα, κυρίως από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, στις νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση της ρύπανσης και σε νομοθετικές ρυθμίσεις που έχουν θεσπιστεί από το κράτος για τον περιορισμό της και τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2** **ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ**

Η NASA έδωσε στη δημοσιότητα τον παγκόσμια άτλαντα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (εικόνα 2.1), εμφανίζοντας μια εικόνα των περιοχών της Γης κυρίως με εναλλαγές των αποχρώσεων του καφέ: Όσο πιο καφέ είναι η περιοχή τόσο περισσότεροι πρόωροι θάνατοι εξαιτίας της ατμοσφαιρικής μόλυνσης. Οι ερευνητές κατέγραψαν στοιχεία ατμοσφαιρικής ρύπανσης από το 1850 ως και τις ημέρες μας και έκαναν την αναγωγή με τον αριθμό πρόωρων θανάτων εξαιτίας αυτής ανά 1.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Οι μπλε περιοχές είναι μέρη του κόσμου που παρουσίασαν βελτίωση των επιπέδων ρύπανσης του αέρα από το 1850 [30].



Εικόνα 2.1: Ο παγκόσμιος χάρτης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [30].

Υπολογίζεται ότι περίπου 2,1 εκατ. άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο στη Γη εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτό σημαίνει 5.753 κάθε μέρα ή τέσσερις κάθε λεπτό που περνάει. Σύμφωνα με τη NASA υπάρχει πιθανότητα μετεωρολογικά φαινόμενα να επιδεινώσουν προσωρινά ήδη επιβαρημένες περιοχές, όπως συνέβη στη βορειοανατολική Κίνα τον Ιανουάριο του 2012, οπότε ένα πυκνό νέφος από τη βιομηχανική δραστηριότητα είχε προκαλέσει δεκάδες θανάτους. Ο καπνός από τις πυρκαγιές στη Σουμάτρα τον Ιούνιο του 2013 ήταν εξίσου καταστροφικός [30].

Εντυπωσιακό είναι πάντως το γεγονός ότι στις νοτιοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες παρατηρείται μια μεγάλη μπλε περιοχή, γεγονός που σημαίνει ότι η ποιότητα του αέρα βρίσκεται στα επίπεδα πριν από τη βιομηχανική επανάσταση. Αυτό, σύμφωνα με τους ερευνητές οφείλεται πιθανότατα στη μείωση των πυρκαγιών, που στο πρώτο μισό του 19ου αιώνα αποτελούσαν την κοινή πρακτική για την αποψίλωση τεράστιας κλίμακας δασικών εκτάσεων ώστε να χρησιμοποιηθούν για καλλιέργειες και δημιουργία πόλεων. Ενδεικτικό

είναι εξάλλου το γεγονός ότι και στη Βρετανία διακρίνονται δύο μπλε κουκίδες, που μαρτυρούν τη βελτίωση του αέρα λόγω της σταδιακής αποβιομηχάνισης που καταγράφηκε από τη δεκαετία του 1970 και έπειτα. Η Ελλάδα διακρίνεται με ένα ελαφρύ καφέ χρώμα [30].

## 2.1 ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Οι πηγές εκπομπής ρύπων, κατά μια γενική προσέγγιση, χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες: τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς. Φυσική πηγή ρύπανσης μπορεί να αποτελέσει ένα ηφαίστειο, το οποίο όταν εκραγεί απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα σωματίδια ύλης, καθώς επίσης και αέριους ρύπους, όπως διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), φθορίδια και άλλα. Ακόμα μια σημαντική φυσική πηγή ρύπανσης είναι οι πυρκαγιές που προκαλούνται από φυσικά φαινόμενα π.χ. από αστραπές και ξηρασία, οι οποίες εκλύουν μεγάλες ποσότητες άκαυστων υδρογονανθράκων (HC), μονοξειδίου και διοξειδίου το άνθρακα ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και ιπτάμενης τέφρας. Οι πυρκαγιές μπορούν να θεωρηθούν ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης, όταν προκαλούνται από ανθρώπινη υπαιτιότητα (αμέλεια ή εμπρησμό). Παρότι οι φυσικές πηγές εκπομπής ρύπων είναι αρκετές, αντικείμενο μας σε αυτήν την ενότητα θα αποτελέσουν οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης και συγκεκριμένα στα αστικά κέντρα [2].

Όπως προαναφέραμε, οι κύριες πηγές εκπομπής ρύπων σε αστικά κέντρα είναι κυρίως η αυτοκίνηση, η βιομηχανία (εικόνα 2.2) καθώς επίσης και η οικιακή θέρμανση. Σε μικρότερα ποσοστά, ευθύνονται οι ανεπιθύμητες καύσεις [2].



Εικόνα 2.2: Εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων από εγκαταστάσεις μεγάλων βιομηχανικών μονάδων [20].

Ως κινητή πηγή ρύπανσης χαρακτηρίζουμε την πηγή εκείνη που μετακινείται από το ένα μέρος στο άλλο με ενέργεια που παράγει η ίδια. Οι κινητές πηγές περιλαμβάνουν κινούμενα μέσα μεταφοράς διάφορων τύπων που κινούνται σε διαφορετικά επίπεδα (ουρανό, ξηρά και θάλασσα) και χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης διαφορετικών κύκλων και διαφορετικά καύσιμα. Εκπέμπουν επίσης μια ποικιλία απλών και σύνθετων ρύπων όσον αφορά στην ποσότητα και το είδος. Το αυτοκίνητο είναι η πλέον αντιπροσωπευτική κινητή

πηγή ρύπανσης στα αστικά κέντρα. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι κυριότερες κινητές πηγές:

Πίνακας 2.1: Κινητές πηγές και οι εκπομπές τους [2].

Τύπος μηχανής εσωτερικής καύσης	Καύσιμο	Κύριοι ρύποι	Μέσον
Τετράχρονη (Otto)	Βενζίνη	HC, CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	Αυτοκίνητα, δίτροχα
Δίχρονη	Βενζίνη ή πετρέλαιο	HC, CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , σωματίδια	Δίτροχα, εξωλέμβιες μηχανές
Πετρελαίου (Diesel)	Πετρέλαιο	NO <sub>x</sub> , CO, HC, σωματίδια, CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub>	Αυτοκίνητα και άλλα οχήματα
Τουρμπίνα (αεροπλάνα)	Κηροζίνη	NO <sub>x</sub> , CO, HC, CO, σωματίδια, CO <sub>2</sub>	Αεροπλάνα
Πετρελαίου (παλαιότερα ατμομηχανή)	Πετρέλαιο (παλαιότερα κάρβουνο)	NO <sub>x</sub> , CO, HC, σωματίδια, CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub>	Πλοία, τρένα

Η επικρατέστερη κινητή πηγή ρύπανσης στα ανεπτυγμένα κράτη είναι αναμφίβολα το αυτοκίνητο που κινείται παράγοντας ενέργεια στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ του 1990 βρίσκονταν σε κυκλοφορία πάνω από εκατό εκατομμύρια αυτοκίνητα, συμπεριλαμβανόμενων και των φορτηγών, λεωφορείων (15 εκατομμύρια) και δικύκλων (4 εκατομμύρια) [2]. Η ατελής καύση που συντελείται στους θαλάμους καύσης των κινητήρων προκαλεί τη δημιουργία αερίων ρύπων και σωματιδίων. Τα ντίζελοκίνητα οχήματα εκπέμπουν σχεδόν το διπλάσιο αριθμό σωματιδίων σε σχέση με τα βενζινοκίνητα, με αεροδυναμική διάμετρο περίπου 0,1μm. Τα παραγόμενα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες και σωματίδια αιθάλης, ουσιαστικά σωματίδια ελεύθερου άνθρακα, και εμπεριέχουν θείο σε αναλογία με τη συγκέντρωση του στο καύσιμο. Επίσης κατά την κυκλοφορία των οχημάτων σημειώνεται επαναιώρηση των καθιζομένων σωματιδίων και επαναφορά τους στην ατμόσφαιρα.

Ο βιομηχανικός κλάδος είναι η επόμενη σημαντική πηγή ρύπανσης. Οι εκπομπές από τις βιομηχανίες ποικίλουν στο περιεχόμενο, αλλά συχνά και στην πολυπλοκότητα. Αυτές μπορούν να ελεγχθούν με εφαρμογή της κατάλληλης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί έχουν εν γένει, την ευελιξία να εφαρμόζονται ικανοποιητικά σε ευρύ φάσμα παρόμοιων βιομηχανικών εκπομπών, όχι κατ' ανάγκη πανομοιότυπων [2].

Οι εκπομπές από μια χημική βιομηχανία μπορούν να σχετιστούν με την συγκεκριμένη διεργασία. Ένα εργοστάσιο για παράδειγμα που επεξεργάζεται ρητίνες, εκλύει όχι μόνο διαφυγούσα ρητίνη, αλλά επίσης και πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, καθώς και κάποια άλλα προϊόντα που παράγονται στα ενδιάμεσα της διεργασίας, τα οποία μπορεί να είναι εντελώς άσχετα με το τελικό προϊόν. Για παράδειγμα, ένα εργοστάσιο που παράγει αλουμίνιο εκπέμπει φθόριο και ενώσεις φθορίου, ενώ ένα εργοστάσιο που κατασκευάζει θειικό οξύ εκλύει αέριο θειικό οξύ και διοξείδιο του θείου. Ένα εργοστάσιο που κατασκευάζει σαπούνια αναμένεται να εκλύει ποικιλία αερίων. Ανάλογα με την διεργασία, οι εκπομπές της βιομηχανίας περιλαμβάνουν, σε γενικές γραμμές, κάποιες από τις παρακάτω ενώσεις ή συνδυασμό τους: σωματιδιακή ύλη (σκόνη, αεροζόλ, καπνός) και αέρια, όπως CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και άλλους σχετιζόμενους με την δραστηριότητα ρύπους. Οι εκλύσεις αυτές

μπορεί να έχουν οσμή ή όχι, να είναι τοξικές ή μη. Ορισμένες από τις κύριες εκπομπές μπορεί να είναι αρχικά ακίνδυνες, αλλά σε δεύτερο στάδιο να αντιδρούν στην ατμόσφαιρα και να σχηματίζουν επικίνδυνους δευτερογενείς ρύπους [2].

Κάθε βιομηχανική μονάδα, ανάλογα με το προϊόν παράγωγής της, εκλύει διαφορετικούς ρύπους, υπό διαφορετική μορφή. Οι ρύποι αυτοί διαφεύγουν την ατμόσφαιρα σε μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό ανάλογα με τα μέτρα που λαμβάνονται. Για παράδειγμα, τα φωσφορούχα λιπάσματα παρασκευάζονται με την επεξεργασία φωσφορούχων ορυκτών, τα οποία ξηραίνονται και τρίβονται. Το τεταρτοξείδιο του φωσφόρου στο ορυκτό αντιδρά με θειικό οξύ για την παραγωγή υπερφωσφορικών λιπασμάτων. Οι ρύποι που εκλύονται από τέτοια εργοστάσια είναι κυρίως: SO<sub>2</sub>, φθόριο, αμμώνια και αμμωνιακά άλατα υπό μορφή σωματιδιακής ύλης και γενικότερα σωματιδιακή ύλη ποικίλης σύστασης. Στην περίπτωση αυτών των βιομηχανιών μας ανησυχούν ιδιαίτερα οι εκπομπές φθορίου, είτε είναι αέριας είτε σωματιδιακής μορφής [2].

Ακόμη ένα μη ορθά ελεγχόμενο διυλιστήριο, αποτελεί μια εν δυνάμει πηγή εκτεταμένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα προϊόντα του πετρελαίου προέρχονται από το αργό πετρέλαιο. Η διαδικασία εξόρυξης του αργού πετρελαίου από το έδαφος και η μεταφορά του στο διυλιστήριο, συνοδεύεται από ποικίλες εκλύσεις πτητικών υδρογονανθράκων και θειούχων αερίων. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι των διυλιστηρίων περιλαμβάνουν συνήθως: υδρογονάνθρακες κάθε είδους (από διαρροές, φόρτωση, δειγματοληψίες κτλ), υδρόθειο και οξειδία του θείου (από τους αντιδραστήρες αποθείωσης, αναμόρφωσης κτλ), μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (από τους αναμορφωτές και τις διεργασίες θερμικής διάσπασης), οξειδία του αζώτου (από καύσεις και αναμορφωτές), σωματιδιακή ύλη (από κλίβανους, μονάδες διάσπασης, αναμορφωτές, παραγωγή κτλ). Τα περισσότερα διυλιστήρια χρησιμοποιούν πολύ αυστηρά μέτρα ελέγχου των εκπομπών τους, τόσο για οικονομικούς όσο και για λόγους αυστηρών κανονισμών που τους επιβάλλονται [2]. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται συνοπτικά οι ρύποι που εκπέμπονται από τις βιομηχανικές μονάδες κατά την παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων.

Πίνακας 2.2: Παραγωγή ανόργανων χημικών και οι σχετιζόμενες εκπομπές ρύπων [2].

Παραγόμενο προϊόν	Κύριοι εκπεμπόμενοι ρύποι
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (σόδα)	Αμμωνία, σκόνη σόδας
NaOH (καυστική σόδα)	Αμμωνία, σκόνη και ομίχλη NaOH
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Αμμωνία, νιτρικό οξύ
Χλώριο	Αέριο χλώριο
Βρώμιο	Αέριο χλώριο και βρώμιο

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η καύση γαιανθράκων. Ακόμα και σήμερα, το 40% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στον κόσμο βασίζεται στον άνθρακα. Για την Ελλάδα ο άνθρακας είναι ένα καύσιμο μείζονος σημασίας, δεδομένων των αποθεμάτων λιγνίτη που διαθέτουμε. Τα προβλήματα εκπομπών που οφείλονται στην εξόρυξη, καθαρισμό, διαχείριση και μεταφορά του ορυκτού άνθρακα από το ανθρακωρυχείο στον χρήστη, είναι πολύ μικρότερης σημασίας σε σχέση με το συνολικό πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζεται με την χρήση του. Γενικά, η χρήση άνθρακα συνοδεύεται με εκτεταμένες εκπομπές σωματιδιακής ύλης. Αυτές οι εκπομπές μπορεί να περιλαμβάνουν είτε σκόνη άνθρακα είτε άλλες ανόργανες ενώσεις. Ο έλεγχος τους είναι ενίοτε ακριβός, όταν η αποθήκευση του άνθρακα και οι διαδικασίες φόρτωσης-εκφόρτωσης γίνονται κοντά σε πόλεις [2].

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την θέρμανση των σπιτιών, παράγει επίσης ανάλογους αέριους ρύπους και αιωρούμενα σωματίδια. Το ξύλο, το κάρβουνο, το κωκ και το πετρέλαιο είναι οι πρώτες ύλες με τη μεγαλύτερη συνεισφορά. Η ιστορική αιθαλομίχλη του



Λονδίνου το 1952, με μεγάλο αριθμό θυμάτων, οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στη χρήση των στερεών καυσίμων. Το φυσικό αέριο και η θέρμανση με ενέργεια που προέρχεται από απομακρυσμένη πηγή που ένα μέρος της παράγεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και διαθέτει αντιρρυπαντικές τεχνολογίες (ηλεκτρική ενέργεια), είναι πιο φιλικές μέθοδοι προς το περιβάλλον [6].

## 2.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Οι ρύποι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα είτε στην αέρια κατάσταση (με τη μορφή αερίων ή ατμών), είτε στην στερεή φυσική κατάσταση (με τη μορφή αιωρούμενων στερεών σωματιδίων ή σταγονιδίων). Αντίστοιχα ονομάζονται αέριοι ή σωματιδιακοί ρύποι. Στη συνέχεια περιγράφονται οι κυριότερες μορφές ατμοσφαιρικών ρύπων [7].

### 1) Αέριοι ρύποι

1α) Αέρια (gases). Ουσίες οι οποίες σε φυσική κατάσταση διαχέονται και καταλαμβάνουν το χώρο, μέσα στον οποίο περικλείονται. Σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης δεν εμφανίζονται σε στερεή ή υγρή κατάσταση.

1β) Ατμοί (vapors). Αέριες μορφές ουσιών που σε συνήθεις συνθήκες βρίσκονται σε υγρή ή στερεή κατάσταση.

### 2) Σωματιδιακοί ρύποι

2α) Κόνεις (dusts). Στερεά σωματίδια μεγάλου σχετικά μεγέθους (μέχρι και 200μm) που σχηματίζονται ως αποτέλεσμα διάβρωσης ή κατακερματισμού στερεών υλικών (π.χ. σκόνη εδάφους, σωματίδια φυτών, κ.ά.)

2β) Καπνός (smoke). Λεπτότατα σωματίδια που σχηματίζονται κατά την ατελή καύση ουσιών που περιέχουν άνθρακα.

2γ) Ιπτάμενη τέφρα (fly ash). Λεπτόκοκκα σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων που παρασύρονται με τα καυσαέρια.

2δ) Κάπνα (fume). Στερεά σωματίδια που σχηματίζονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα από συμπύκνωση ουσιών που βρέθηκαν λόγω ειδικών συνθηκών στην αέρια φάση.

2ε) Ομίχλη (fog). Ορατά σταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Ο όρος χρησιμοποιείται κυρίως στη μετεωρολογία, όπου η ουσία που βρίσκεται σε διασπορά είναι το νερό.

2στ) Αχλύς (mist). Σταγονίδια αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα, που σχηματίζονται από μηχανικές δράσεις ή από συμπύκνωση αερίων.

Για τα σωματίδια και σταγονίδια που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται πολύ συχνά ο γενικός όρος αιωρούμενα σωματίδια (airborne particulates ή particulate matter (PM) ), ενώ τα κολλοειδούς μεγέθους σωματίδια ονομάζονται και αεροζόλ (aerosols) [7].

Ένα αξιοσημείωτο ποσοστό των υλικών που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε σημαντικές ποσότητες είναι σχετικά απλά μόρια, π.χ μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), οξείδια του αζώτου (NO, NO<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>O), υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), αμμωνία (NH<sub>3</sub>), υδροχλωρίο (HCl), υδροφθόριο (HF) κ.ά., καθώς και διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), όπως οργανικοί διαλύτες και υδρογονάνθρακες HC που εξατμίζονται λόγω πτητικότητας, όπως αλκάνια, αλκένια και αρωματικοί υδρογονάνθρακες με σχετικά απλή δομή [2].

Επιπροσθέτως με αυτά τα υλικά, η ατμόσφαιρα δέχεται και άλλες εκπομπές, κυρίως από την βιομηχανία, που περιλαμβάνουν πιο πολύπλοκα μόρια, όπως π.χ. πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες και διοξίνες, τα οποία μάλιστα συχνά αναφέρονται ως τοξικά αέρια. Ουσίες σαν αυτές, οι οποίες εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή, ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι. Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όμως δεν είναι

αποτέλεσμα αποκλειστικά και μόνο αυτών των πρωτογενών ρύπων. Στην ατμόσφαιρα συμβαίνουν διάφορες χημικές αντιδράσεις, τόσο μεταξύ των ρύπων όσο και μεταξύ των ρύπων με μόρια που απαρτίζουν την καθαρή ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένας τεράστιος αντιδραστήρας μέσα στον οποίο λαμβάνουν χώρα διάφορες χημικές μεταβολές στα μόρια των ρύπων, δια μέσου φωτοχημικών, ομογενών αλλά και ετερογενών (κατόπιν συμμετοχής και της σωματιδιακής ύλης) αντιδράσεων [2].

Έτσι έχουμε την παραγωγή νέων ενώσεων που ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι, όπως το όζον στην τροπόσφαιρα ( $O_3$ ), το θειικό οξύ ( $H_2SO_4$ ), το νιτρικό οξύ ( $HNO_3$ ), τα νιτρικά υπεροξειδία υδρογονανθράκων, νιτρικά, θειικά και αμμωνιακά άλατα και άλλα. Οι δευτερογενείς ρύποι είναι υπεύθυνοι κατά κύριο λόγο για τα φαινόμενα του φωτοχημικού νέφους, της μειωμένης ορατότητας, του ερεθισμού των ματιών και του αναπνευστικού, αλλά και για μια σειρά καταστροφών στην χλωρίδα, την πανίδα και τα υλικά. Εάν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την χημική διαδικασία, μέσω της οποίας παράγεται ένας δευτερογενής ρύπος, ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος για να τον ελέγξουμε, είναι να παρέμβουμε ελέγχοντας την δημιουργία του πρωτογενούς ρύπου, από τον οποίο προέρχεται [2].

### 2.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ )

Το διοξείδιο του άνθρακα, αν και όχι άμεσα τοξικό, αποτελεί μια αέρια εκπομπή εκτεταμένης κλίμακας, με έμμεσες επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη λόγω της συμβολής του στην κλιματική αλλαγή και ως εκ τούτου κατατάσσεται στους αέριους ρύπους. Τα αποτελέσματα της εκπομπής του  $CO_2$  είναι μακροπρόθεσμα. Εκτιμάται ότι η ετησία εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα είναι της τάξης των  $10^{13}$  τόνων ανά έτος από διεργασίες βιολογικής αποσύνθεσης, που έχουν ως αρχή την παραγωγή μεθάνιου. Στο ποσό αυτό συνεισφέρουν ανθρωπογενείς δραστηριότητες με ένα ετήσιο ποσό της τάξης των  $10^{10}$  τόνων. Έτσι έχουμε μια σταθερή αύξηση του  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα που παράγεται από τις ποικίλες διεργασίες καύσης. Μέσα σε 5 χρόνια (1995-2000) αυτή η αύξηση έχει ανέλθει κατά 10% περίπου σε μερικές αστικές περιοχές και η τάση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί αυξανόμενη. Έως το 2000, εκτιμήθηκε μια αύξηση της τάξης του 18%. Σύμφωνα με μερικούς επιστήμονες, το  $CO_2$  της ατμόσφαιρας μπορεί και να διπλασιαστεί στο άμεσο μέλλον. Το προβλεπόμενο αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου [2].

Ωστόσο πρέπει να αναφερθεί και ένα άλλο φαινόμενο που είναι επίσης συνέπεια της καύσης των στερεών καυσίμων και πετρελαιοειδών και το οποίο δημιουργεί αντίθετα αποτελέσματα από αυτά του θερμοκηπίου. Η ατμοσφαιρική καπνομίχλη και η σωματιδιακή ύλη, προϊόντα και αυτά της καύσης, μπορούν να προκαλέσουν ελαφρά ψύξη της ατμόσφαιρας λόγω παρεμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας προ της Γη. Στις μέρες μας υπάρχει συστηματική παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών επιπέδων του  $CO_2$  σε παγκόσμια κλίμακα [2].

Από την άλλη πλευρά είναι γνωστή η σημασία του  $CO_2$  για την ζωή σε αυτόν τον πλανήτη. Τα φυτά χρειάζονται το  $CO_2$  για την φωτοσύνθεση και ολόκληρη η τροφική αλυσίδα, από την οποία εξαρτάται ο άνθρωπος, βασίζεται σε αυτό. Επίσης, αν και είναι προϊόν απόρριψης κατά την αναπνοή των ανθρώπων, των ζώων και των μικροοργανισμών, και τοξικό σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, ένα ορισμένο ποσοστό του διεγείρει την αναπνοή. Το επίπεδο ασφαλείας για παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπου σε  $CO_2$ , είναι 15 φορές μεγαλύτερο από τα σημερινά επίπεδα του στον ατμοσφαιρικό αέρα. Εντούτοις, παρατηρείται η συνεχής αυξητική τάση του ατμοσφαιρικού  $CO_2$  τα τελευταία 100 περίπου χρόνια [2].

Το φυτικό βασίλειο δείχνει να ωφελείται με αυξήσεις του  $CO_2$  και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια για την αύξηση της σοδειάς. Φαίνεται λοιπόν να υπάρχουν και άμεσα οφέλη από την αύξηση του ατμοσφαιρικού  $CO_2$ , δεν θα πρέπει όμως να παρασυρόμαστε. Μια περαιτέρω ανύψωση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1 έως

2 βαθμούς εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενδέχεται να έχει τρομακτικές συνέπειες στο παγκόσμιο κλίμα [2].

### 2.2.2. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και αναφλέξιμο. Είναι ένας από τους μαζικότερα παραγόμενους ρύπους. Υπολογίζεται ότι 102 εκατομμύρια τόνοι παρήχθησαν στις Ηνωμένες Πολιτείες μονάχα το 1968 που ισούται με το άθροισμα όλων των άλλων ρύπων που παρήχθησαν εκείνη την χρονιά. Περίπου οι 60 εκατομμύρια τόνοι από αυτό το ποσό (το 60% περίπου) προέρχονται από τα οχήματα [2].

Η κύρια ποσότητα του CO προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στα αυτοκίνητα, σε ποσοστό περίπου 71%, ενώ κατά κάποιο μικρότερο ποσοστό συνεισφέρουν και οι μονάδες θέρμανσης, οι βιομηχανικές κατεργασίες και η καύση των στερεών αποβλήτων στις αστικές περιοχές. Η ατελής καύση συμβαίνει όταν υπάρχει ανεπαρκής ποσότητα οξυγόνου ή χρόνου για την πλήρη μετατροπή των υδρογονανθράκων και γαιανθράκων σε CO<sub>2</sub> (πλήρης καύση). Οι βενζινοκινητήρες (μηχανές εσωτερικής καύσης) βασίζονται στην σχεδόν στιγμιαία καύση (υπό μορφή έκρηξης) ενός μίγματος καυσίμου με αέρα. Η παραγωγή CO αντί για CO<sub>2</sub>, κατά τις καύσεις έχει επίσης ως αποτέλεσμα την απώλεια των 2/3 της διαθέσιμης θερμικής ενέργειας. Οι οικιακές μονάδες θέρμανσης παράγουν συγκριτικά περισσότερο CO ανά ποσότητα καταναλωμένου καυσίμου, αλλά εντούτοις όλες οι στατικές πηγές καύσης συνεισφέρουν μόνο κατά ~10% στο συνολικό CO που παράγεται. Η παγκόσμια έκλυση CO την δεκαετία 1990-2000 ανερχόταν περίπου σε 300 εκατομμύρια τόνους/ημέρα, αποκλειστικά σχεδόν παραγόμενη στο βόρειο ημισφαίριο [2].

### 2.2.3. Υδρογονάνθρακες (HCs)

Οι υδρογονάνθρακες (HCs) είναι οι ενώσεις που αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα. Τα οξείδια του άνθρακα (CO, CO<sub>2</sub>), τα καρβίδια και τα ανθρακικά άλατα αποτελούν τις ανόργανες ενώσεις του άνθρακα [2].

Πηγές των ατμοσφαιρικών υδρογονανθράκων είναι κυρίως οι ατελείς καύσεις των πτητικών καυσίμων και η χρήση οργανικών ενώσεων ως χημικά αντιδραστήρια και διαλύτες. Έχει υπολογιστεί μια ετήσια εκπομπή CH<sub>4</sub> από φυσικές πηγές της τάξης των 16\*10<sup>8</sup> τόνους/έτος και μια εκπομπή της τάξης των 1,7\*10<sup>8</sup> τόνους/έτος σε τερπένια. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες προσθέτουν υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα περίπου 1\*10<sup>8</sup> τόνους/έτος, με κύριο συστατικό το μεθάνιο (~90%). Το υπόλοιπο 10% αφορά μια μεγάλη ποικιλία υδρογονανθράκων προερχόμενων από τα πετρέλαια και τις διάφορες χρήσεις τους, από εξατμίσεις διαλυτών, από αποτεφρώσεις, κ.ά.. Τα επίπεδα συγκέντρωσης του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) σε μη αστικές περιοχές εκτιμώνται από 0,7 έως 1,0 mg/m<sup>3</sup> (1,0 έως 1,5 ppm). Για άλλους υδρογονάνθρακες οι εκτιμώμενες τιμές είναι μικρότερες από 0,1 ppm για τον καθένα.

Δεδομένου ότι το μεθάνιο ουσιαστικά δε συμμετέχει σε φωτοχημικές αντιδράσεις έχει καθιερωθεί ένας διαχωρισμός των υδρογονανθράκων της ατμόσφαιρας σε δυο κατηγορίες: (α) το μεθάνιο και (β) όλους τους υπόλοιπους υδρογονάνθρακες, που ονομάζονται πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, σε συντομογραφία VOCs). Ο Οργανισμός Περιβαλλοντικής Προστασίας της Αμερικής (Environmental Protection Agency, EPA) ορίζει ως VOCs κάθε πτητική οργανική ένωση, η οποία όταν εισέλθει στην ατμόσφαιρα μπορεί να παραμείνει σε αυτή τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για να πάρει μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις. Οι ενώσεις που ανήκουν στην κατηγορία των VOCs πρέπει να είναι πτητικές στην θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ατμοσφαιρική πίεση. Οι VOCs εμφανίζουν δηλαδή μια τάση ατμών εν γένει μεγαλύτερη από 0,1 mmHg στις κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες (20°C, και πίεση 760 mmHg) [2].

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) είναι συνηθισμένα προϊόντα πυρόλυσης οργανικής ύλης και έτσι συναντώνται ευρύτατα στο περιβάλλον. Προέρχονται κυρίως από τις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, την καταλυτική διάσπαση του πετρελαίου, από ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς που λειτουργούν με καύση μαζούτ, την παραγωγή κωκ, κλπ. Κατόπιν απορροφώμενοι από αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη παραμένουν στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας για μια περίοδο που ποικίλει από λίγες μέρες μέχρι 2-3 εβδομάδες. Ο χρόνος αυτός είναι ικανός για την μεταφορά και τον διασκορπισμό τους σε μεγάλη κλίμακα (περιφερειακή, διηπειρωτική). Με την βοήθεια της βροχής μεταφέρονται και στο υδάτινο περιβάλλον, όπου είναι δυνατόν να συσσωρευθούν στους πυθμένες των υδάτινων όγκων και να μπουν στην τροφική αλυσίδα με αποτέλεσμα σοβαρές επιδράσεις στην υδρόβια ζωή. Άμεσοι αποδέκτες αυτών με συνέπειες στην υγεία, είναι ο άνθρωπος και κάθε οργανισμός που μέσω της αναπνοής ή της τροφής θα εκτεθεί σε αυτούς. Στην ατμόσφαιρα μπορεί να ελαττωθεί η συγκέντρωσή τους μέσω φωτοχημικών ή και καταλυτικών μηχανισμών σε αντιδράσεις με όζον, οξυγόνο ή ρίζες υδροξυλίου [2].

Αναλύσεις τριών ετών που έγιναν σε τρεις αμερικάνικες πόλεις έδειξαν ότι μερικές μέρες τον χρόνο, όταν οι μετεωρολογικές συνθήκες ήταν τέτοιες ώστε να συντελούν στο σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών ενώσεων, συγκεντρώσεις μη μεθανικών υδρογονανθράκων  $\sim 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (αντιστοιχεί σε 0,3 ppm C) για μια χρονική περίοδο 3 ωρών (από τις 6:00 έως τις 9:00 π.μ.), δύναται να παράγουν (σε 2-4 ώρες αργότερα) μια μέση ωριαία συγκέντρωση φωτοχημικών οξειδωτικών ενώσεων υψηλότερη από  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Δεν έγιναν μετρήσεις σε επίπεδα υδρογονανθράκων χαμηλότερα από  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  εξαιτίας περιορισμών στην ευαισθησία του τεχνικού εξοπλισμού. Εντούτοις με την μέθοδο της εξωτερικής παρεμβολής μπορούμε να εκτιμήσουμε, ότι η αναγκαία συγκέντρωση υδρογονανθράκων για να παραχθεί επικίνδυνη ποσότητα φωτοχημικών οξειδωτικών ενώσεων είναι προσεγγιστικά  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ((αντιστοιχεί σε 0,2 ppm C) [2].

Από πειράματα σε ζώα είναι γνωστό εδώ και πολλές δεκαετίες ότι ορισμένοι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι ισχυρά μεταλλαξιογόνοι και καρκινογόνοι [2].

#### 2.2.4. Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )

Η πιο κακόφημη και καταστροφική ομάδα ατμοσφαιρικών ρύπων σχετίζεται με τις ενώσεις του θείου. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα οξείδια του θείου ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4$ ), το υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), τα οξέα ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) και ένα αριθμό άλλων ενώσεων, οι οποίες είναι κατά κανόνα δύσοσμες. Το διοξείδιο του θείου είναι η πλέον συνηθισμένη πρωτογενής, κυρίως ανθρωπογενής εκπομπή από αυτή την ομάδα ρύπων. Πρωτεύοντα ρόλο στην εκπομπή  $\text{SO}_2$  παίζει η καύση άνθρακα στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ( $> 100$  εκατομμύρια τόνοι/έτος), οι διεργασίες καύσης και διύλισης πετρελαίου ( $> 30$  εκατομμύρια τόνοι/έτος) και οι μεταλλουργικές βιομηχανίες ( $> 20$  εκατομμύρια τόνοι/έτος). Το θείο υπάρχει στους γαιάνθρακες και στο πετρέλαιο, συνήθως σε ποσοότητες 0-6% κ.β. υπό μορφή οργανικών μορίων, τα οποία όταν καίγονται παράγουν  $\text{SO}_2$ . Το επεξεργασμένο πετρέλαιο και οι βενζίνες περιέχουν λιγότερο από 50 ppm θείο. Οι μεταλλουργικές βιομηχανίες παράγουν  $\text{SO}_2$  κατά την φρύξη των ορυκτών που είναι συνήθως σουλφίδια των μετάλλων [2].

Στην ατμόσφαιρα το  $\text{SO}_2$  αντιδρά για να σχηματίσει το  $\text{SO}_3$ , το οποίο εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη (αεροζόλ) θειικού οξέος. Είναι προφανής η διαβρωτική ικανότητα του θειικού οξέος στα υλικά και στις ανθρώπινες κατασκευές. Έχει επίσης τοξικές ιδιότητες που εξαρτώνται άμεσα από το μέγεθος των σωματιδίων αυτής της ομίχλης. Εμφανίζει επίσης σημαντική δραστηριότητα με άλλη σωματιδιακού τύπου ύλη που πλανάται στην ατμόσφαιρα [2].

Το 1996 στις ΗΠΑ διοχετεύθηκαν στην ατμόσφαιρα 28 εκατομμύρια τόνοι  $\text{SO}_2$ . Οι βιομηχανίες και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη γαιάνθρακες ή υπολείμματα (βαρέα κλάσματα) πετρελαίου που περιέχουν υψηλά ποσοστά

θείου, ευθύνονται για περισσότερο από 50% των εκπομπών SO<sub>2</sub>, ενώ τα διυλιστήρια, οι μεταλλουργικές βιομηχανίες, οι μονάδες παραγωγής θειικού οξέος και τα αποτεφρωτήρια είναι υπεύθυνα για το υπόλοιπο 50% [2].

Το θείο με την μορφή των διαφόρων ενώσεων του εκπέμπεται και από φυσικές πηγές, όπως λόγω χάρη ηφαίστεια, θερμές πηγές κ.ά.. Κάποιες άλλες διεργασίες το επαναφέρουν στη Γη για να κλείσει ο κύκλος του θείου. Σε αυτό τον κύκλο, σε υπολογισμούς που έγιναν το 1975, η συνεισφορά των ανθρωπογενών πηγών έναντι των φυσικών ήταν περίπου 0,5:1. Σήμερα αναμένεται μεγάλη διαμόρφωση αυτής της αναλογίας [2].

Η ευαισθησία των φυτών στο SO<sub>2</sub> ποικίλει ευρέως. Ορισμένα δέντρα και θάμνοι κιτρινίζουν κάτω από ολιγόωρη έκθεση σε 0,3 έως 0,5 ppm SO<sub>2</sub>. Χαμηλότερες συγκεντρώσεις αλλά για μεγαλύτερες περιόδους μπορούν να προκαλέσουν πτώσεις φύλλων και σοβαρές καταστροφές σε ορισμένους καρπούς. Τα τριφύλλι αποχρωματίζεται σε έκθεση 1,25 ppm για μια ώρα. Είναι επίσης δυνατόν να συμβεί καθυστέρηση στην διαδικασία ανάπτυξης ενός φυτού ακόμα και κάτω από πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις SO<sub>2</sub> [2].

Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι πλέον συνηθισμένες ενώσεις θείου στο περιβάλλον, η οξειδωτική τους βαθμίδα καθώς επίσης και η μορφή με την οποία συναντώνται στο περιβάλλον.

Πίνακας 2.3: Ενώσεις θείου στο περιβάλλον [2].

Ένωση θείου στο περιβάλλον	Οξειδωτική βαθμίδα	Μορφή που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα
H <sub>2</sub> S	- 2	Αέρια
CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub> (DMS)		Αέρια
CS <sub>2</sub>		Αέρια
OCS		Αέρια
CH <sub>3</sub> SH		Αέρια
CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub>	-1	Αέρια
Στοιχειακό S	0	Στερεά
CH <sub>3</sub> SOCH <sub>3</sub> (DMSO)		Υγρή
SO <sub>2</sub>	+4	Αέρια
HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Υγρή
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		Υγρή
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+6	Υγρή/αεροζόλ
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		Υγρή/αεροζόλ
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		Υγρή/αεροζόλ

### 2.2.5. Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Ακόμη μία κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων αποτελούν τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Η μεγάλη μάζα των οξειδίων του αζώτου προέρχεται από καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες, αν και υπάρχουν και φυσικές πηγές (μικροβιακοί οργανισμοί) που παράγουν οξείδια και άλλες ενώσεις του αζώτου (όπως π.χ. NH<sub>3</sub>) [2].

Η παραγωγή του NO κατά τις καύσεις ευνοείται από την αύξηση της θερμοκρασίας, γι' αυτό και η σπουδαιότερη πηγή του είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, οι οποίες εργάζονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Από την άλλη μεριά, μια σύγκριση της ανά μονάδα βάρους παραγόμενης ποσότητας NO από διάφορα συνηθισμένα

καύσιμα, τα κατατάσσει με την ακόλουθη φθίνουσα σειρά δυναμικότητας παραγωγής NO: άνθρακα > πετρέλαιο > φυσικό αέριο [2].

Αν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκλύουν πολύ λιγότερες ποσότητες οξειδίων του αζώτου (~ 1/15 του συνολικού NO), οι εκπομπές αυτές συγκεντρώνονται στο περιορισμένο περιβάλλον των πόλεων, με αποτέλεσμα να γίνονται πολύ επικίνδυνες. Η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα είναι συνδυασμένη με μια μεγάλη ποικιλία αναπνευστικών ασθενειών και είναι υπεύθυνα για την παραγωγή των φωτοχημικών οξειδωτικών ενώσεων[2].

Οι φωτοχημικές οξειδωτικές ενώσεις προκύπτουν από μια σειρά πολύπλοκων ατμοσφαιρικών φωτοχημικών αντιδράσεων, που συμβαίνουν, όταν ενεργές οργανικές ουσίες και οξείδια του αζώτου συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα και εκτίθενται στο ηλιακό φως [2].

Από αυτές τις αντιδράσεις σχηματίζονται διάφορες δευτερογενείς ενώσεις, ανάμεσα στις οποίες συγκαταλέγονται οξείδια, όζον, και νιτρικά υπεροξυακύλια. Αναπτύσσεται ένα είδος ομίχλης, γνωστής ως φωτοχημική καπνομίχλη ή φωτοχημικό νέφος. Η φωτοχημική καπνομίχλη είναι πολύ ερεθιστική στα μάτια και στο αναπνευστικό σύστημα και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία [2].

Αναφέρονται αρνητικές επιδράσεις στην υγεία υπό μορφή ελαττωμένης απόδοσης, όταν οι μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις των φωτοχημικών οξειδωτικών ξεπερνούν τα 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,07 ppm), και ερεθισμοί των ματιών όταν η ρύπανση από φωτοχημικές οξειδωτικές ενώσεις φτάσει στα επίπεδα των 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,10 ppm), έστω και στιγμιαία. Υπάρχει επίσης μια αυξημένη συχνότητα άσθματος σε ένα αστικό περιβάλλον τις μέρες που η συγκέντρωση των φωτοχημικών οξειδωτικών ενώσεων ξεπεράσει την τιμή 490  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,25 ppm) με ένα επίπεδο μέσης ωριαίας συγκέντρωσης περίπου 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,15 ppm). Συγκεντρώσεις περίπου 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,05 ppm) για διάρκεια άνω των 4 ωρών επιφέρει αρνητικές επιδράσεις και στην βλάστηση. Αρνητικές επιδράσεις στα υλικά κατά την έκθεση τους σε φωτοχημικές οξειδωτικές ενώσεις δεν έχουν προσδιοριστεί με ακρίβεια [2].

### 2.2.6. Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους ρύπους της ατμόσφαιρας των κατοικημένων περιοχών. Για το ρύπο αυτό, οι επιδημιολογικές έρευνες της τελευταίας δεκαετίας, στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α., έχουν τεκμηριώσει την ύπαρξη βραχυχρόνιων συνεπειών στην υγεία (αυξημένη αναπνευστική και καρδιαγγειακή νοσηρότητα). Παράλληλα, οι προοπτικές μελέτες που έχουν γίνει μέχρι τώρα παρέχουν ενδείξεις ότι οι μακροχρόνιες επιδράσεις είναι σημαντικότερες λόγω μείωσης του προσδόκιμου επιβίωσης, καθώς και την πρόκληση πολλών πρόωρων θανάτων και ημερών με περιορισμένη δραστηριότητα ετησίως κ.ά. Ωστόσο, για συγκεκριμένο χρόνο έκθεσης, πολλά άλλα χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων, εκτός από τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα, επηρεάζουν την επικινδυνότητά τους προκαλώντας ετερογένεια στις παρατηρούμενες επιδράσεις στην υγεία. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν [13]:

(α) 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.

(β) 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, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (καρκινογόνα / μεταλλαξιογόνα), οι πολυχλωριωμένες διοξίνες, τα φουράνια κ.ά .

(γ) τέλος, 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 (π.χ. ο χλωριούχος μόλυβδος που εκπέμπεται με τα καυσαέρια των αυτοκινήτων είναι πολύ πιο ευδιάλυτος από το θειούχο μόλυβδο που εκπέμπεται από βιομηχανικές πηγές, π.χ. χυτήρια).

Γενικά, διακρίνουμε τρεις κατηγορίες (3 κλάσματα) αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίες διαφέρουν ως προς την προέλευση, τη χημική τους σύσταση και την επικινδυνότητά τους: τα TSP (ολικά αιωρούμενα σωματίδια), τα PM<sub>10</sub> (εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια) και τα PM<sub>2.5</sub> (αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια). Τα τελευταία περιλαμβάνουν σωματίδια που μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα και να αποτεθούν στους τερματικούς βρόγχους και τις πνευμονικές κυψελίδες. Η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία Οδηγία 1999/30/EC καθορίζει τα όρια της ποιότητας αέρα για τα εισπνεύσιμα σωματίδια με προθεσμία πλήρους εφαρμογής την 1/1/2005 (βλέπε κεφάλαιο 3). Τα όρια αυτά περιλαμβάνουν την 24-ωρη τιμή των 50 μg/m<sup>3</sup> που δεν επιτρέπεται να ξεπεραστεί για περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο, και το ετήσιο όριο των 40 μg/m<sup>3</sup>. Με την ίδια Οδηγία αναπροσαρμόζεται το όριο για τον ατμοσφαιρικό μόλυβδο σε 500 ng/m<sup>3</sup> ως μέση ετήσια τιμή. Επιπλέον, με την προς ψήφιση 4η θυγατρική Οδηγία προτείνονται όρια και για άλλα επικίνδυνα συστατικά των PM<sub>10</sub>, όπως τα τοξικά μέταλλα (Cd), νικέλιο (Ni), αρσενικό (As), υδράργυρο (Hg) και το καρκινογόνο B[a]P. Τέλος, όρια ποιότητας αέρα για τα επικίνδυνα συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων προτείνονται και από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας [13].

Οι οπτικές και τοξικολογικές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται έντονα από το μέγεθος τους. Η μικρότερη σε έκταση επιστημονική μελέτη έχει γίνει για σωματίδια μεγέθους μικρότερο από 0,1μm. Σε αυτό το εύρος μεγεθών βρίσκονται ιόντα και πυρήνες Aitkin. Αυτά τα σωματίδια είναι τόσο μικρά ώστε ποτέ δεν ακινητοποιούνται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της άτακτης κίνησης Brown που οφείλεται στις συγκρούσεις τους με τα μόρια αερίων. Σε αστικές περιοχές συναντάμε υψηλό αριθμό αφόρτιστων σωματιδίων μικρότερων από 0,1μm. Σε αυτά έχει δοθεί το όνομα Aitkin, του επιστήμονα που ανέπτυξε μια τεχνική μέτρησης τους. Αυτά τα σωματίδια θεωρείται ότι δεν συμμετέχουν στον σχηματισμό νεφών. Τα δεδομένα είναι πολύ σπάνια εξαιτίας των μικρών μεγεθών. Πιθανές πηγές τους είναι καταιγίδες σκόνης, ηφαίστεια, πυρκαγιές δασών, εξατμίσεις αυτοκινήτων, φωτοοξειδωτικές αντιδράσεις και βιομηχανικές εκπομπές. Ο μηχανισμός σχηματισμού τους και οι επιδράσεις τους στην υγεία του ανθρώπου είναι σχετικά άγνωστα [2].

Σωματίδια με εύρος μεγέθους 0,1-1,0μm σχηματίζονται κυρίως από την συμπύκνωση ατμών, από προϊόντα καύσης και από ατμοσφαιρική σκόνη. Είναι πολύ βαριά ώστε να επηρεαστούν από την κίνηση Brown, αλλά εναποτίθενται τόσο αργά ώστε να παραμένουν στην ατμόσφαιρα για ολόκληρους μήνες. Αυτά τα σωματίδια είναι η αιτία της ομίχλης και της μείωσης της ορατότητας. Συμμετέχουν σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις, συγκρούσεις και συσσωματώσεις [2].

Πάνω από 1,0μm τα σωματίδια έχουν μικρό βεληνεκές εναπόθεσης από την πηγή που παράγονται. Προέρχονται από συσσωμάτωση μικρότερων σωματιδίων, από προϊόντα καύσης, στάχτες, σκόνη και κονιορτοποιήσεις από οχήματα και πεζούς. Επίσης, σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι σταγόνες βροχής, οι νιφάδες του χιονιού, η γύρη και τα έντομα [2].

Η κυριότερη ανησυχία μας για τη σωματιδιακή ύλη που περιπλανάται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από το γεγονός ότι σωματίδια κάποιου μεγέθους εισπνέονται και κατακρατούνται από το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα [2].

Η τοξικολογία των σωματιδίων απαιτεί τη γνώση τόσο του μεγέθους των σωματιδίων όσο και της χημικής σύνθεσης. Σωματίδια έως περίπου 0,5μm κατακρατούνται από τη μύτη,

ενώ αυτά κάτω των 0,5 μm συνήθως εναποθέτονται στην τραχεία των πνευμόνων. Βαρέα μέταλλα, όπως ο Pb και το Ni, υπό τη μορφή σκόνης ή σύνθετων μορίων έχουν τη χειρότερη φήμη από άποψη τοξικότητας [2].

Η εισπνοή των λεπτών σωματιδίων που προέρχονται από την καύση της βενζίνης των αυτοκινήτων εμπλουτισμένης σε μόλυβδο έχει κατηγορηθεί για τα υψηλά επίπεδα μόλυβδου στον ανθρώπινο οργανισμό με διάφορες συνέπειες στην υγεία. Η ραδιενεργός τέφρα είναι μια άλλη μορφή ρύπου υψηλού κινδύνου για την ανθρωπότητα. Αυτή μπορεί να προσληφθεί και από την τροφική αλυσίδα. Τοξικά σωματίδια οργανικής ύλης, όπως πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, περιλαμβάνονται κυρίως σε εντομοκτόνα ή προέρχονται από αποτεφρώσεις βιομάζας [2].

Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με την σωματιδιακή ύλη της ατμόσφαιρας είναι η σοβαρή απορρόφηση και διασπορά της ηλιακής ακτινοβολίας που υφίσταται από αυτά. Το θέμα έχει άμεση σχέση με την διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και επομένως μας αφορά σημαντικά. Μια τέτοια διασπορά και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας τείνει σε μερικές περιπτώσεις να ελαττώσει την θερμοκρασία του πλανήτη σε αντίθεση με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και σε άλλες περιπτώσεις να το ενισχύσει [2].

Συγκριτικά στοιχεία από περιοχές της Ελλάδας ή του εξωτερικού δείχνουν ότι η κυκλοφορία αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή εκπομπής εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων [13].

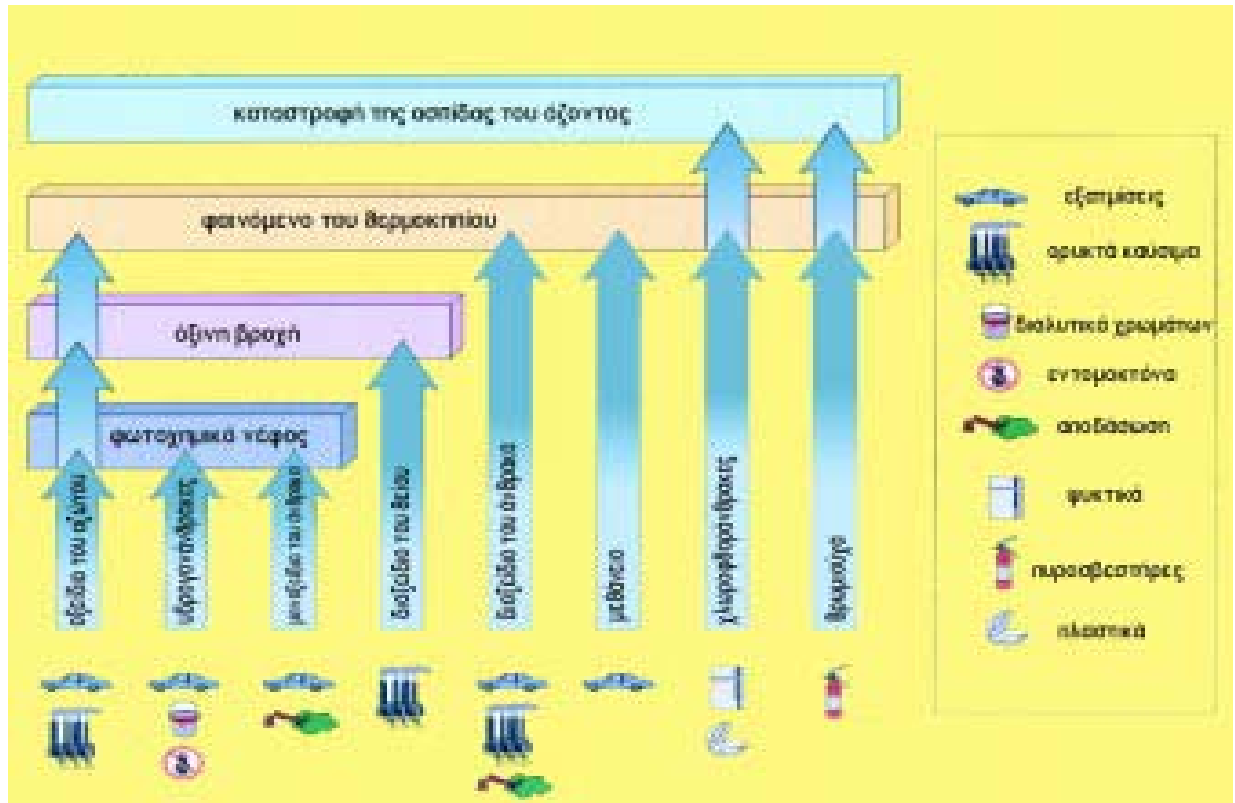
Περαιτέρω αξιολόγηση των ερευνητικών δεδομένων οδήγησε σε καταμερισμό της ρύπανσης που προέρχεται από την κυκλοφορία σε βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα. Η σχετική συμμετοχή των πετρελαιοκίνητων οχημάτων έναντι των βενζινοκίνητων υπολογίστηκε στο 40%-60% για τα PM<sub>10</sub>, 10%-25% για τον εισπνεύσιμο Pb και 40%-60% για το B[a]P.[13]

Έχει διαπιστωθεί, ότι τα πετρελαιοκίνητα οχήματα έχουν σημαντικό μερίδιο στη συνολική σωματιδιακή ρύπανση της ατμόσφαιρας που οφείλεται στην κυκλοφορία στην πόλη της Θεσσαλονίκης, παρά το γεγονός ότι αποτελούν ένα μικρό μέρος του στόλου των αυτοκινήτων. Ανάλογα συμπεράσματα έχουν προκύψει και για άλλες αστικές περιοχές [13].

### 2.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Βρισκόμαστε σε μια εποχή που η τεχνολογική ανάπτυξη εξαπλώνεται σε όλο και περισσότερα σημεία στον πλανήτη. Αυτή η ανθρωπογενής δραστηριότητα συνοδεύεται από μια διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας. Καθημερινά απελευθερώνονται χιλιάδες τόνοι αποβλήτων σε αέρα, στεριά και θάλασσα, ρυπαίνοντας, το φυσικό περιβάλλον. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπεύθυνη για εκτεταμένες επιδράσεις, που έχουν επιπτώσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν τα κυριότερα φαινόμενα ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Στην ακόλουθη εικόνα 2.1. συνοψίζονται τα τέσσερα πιο σημαντικά φαινόμενα ρύπανσης της ατμόσφαιρας του πλανήτη σε σχέση με τους σημαντικότερους παραγόμενους ρύπους και τις ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής τους.





2.1: Τα τέσσερα μεγάλα προβλήματα που σχετίζονται με τη ρύπανση τη ατμόσφαιρας. Φαίνεται καθαρά η συμβολή της καύσης των ορυκτών καυσίμων στη δημιουργία και συντήρηση των προβλημάτων αυτών [11].

### 2.3.1. Όξινη βροχή

Στην Σουηδία την δεκαετία του 1970 βρέθηκαν 18.000 λίμνες, στις οποίες η οξύτητα είχε ξεπεράσει τα φυσικά όρια και στις μισές από αυτές, ο πληθυσμός των ψαριών είχε μειωθεί δραματικά. Το 1982 στις Η.Π.Α. 3.000 λίμνες και 25.000 μίλια ποταμών είχαν προσβληθεί από όξινα νερά. Η αιτία αυτών των συμβάντων είναι η Όξινη Βροχή, που καταστρέφει ολόκληρα οικοσυστήματα, είτε αυτά είναι δάση, είτε είναι λίμνες, είτε ποτάμια [8].

Ο όρος Όξινη Βροχή πρωτοαναφέρθηκε περίπου 20 χρόνια πριν, όταν οι επιστήμονες στην Σουηδία και τη Νορβηγία θεώρησαν αρχικά ότι η όξινη βροχή μπορεί να προκαλέσει μεγάλη οικολογική ζημιά στον πλανήτη. Η ανίχνευση της βαθμιαίας οξίνισης μιας λίμνης είναι συχνά αρκετά δύσκολη. Μια λίμνη δεν γίνεται όξινη κατά τη διάρκεια μιας νύχτας. Συμβαίνει μέσα σε μία περίοδο πολλών ετών, ακόμη και μερικών δεκαετιών [8].

Όξινη Βροχή ονομάζουμε οποιαδήποτε κατακρήμνιση από τον ουρανό, όπως είναι η βροχή, το χιόνι, η υγρασία κλπ, με όξινο pH μικρότερο από 5,5. Ως φυσιολογικό pH για την καθαρή βροχή θεωρείται η τιμή 5,5, η οποία αντιστοιχεί στο pH του αποσταγμένου νερού, που βρίσκεται σε ισορροπία με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Ανάλογος ορισμός ισχύει και για τα άλλα μετεωρικά κατακρημνίσματα (χιόνι, χαλάζι, ομίχλη) [7, 8].

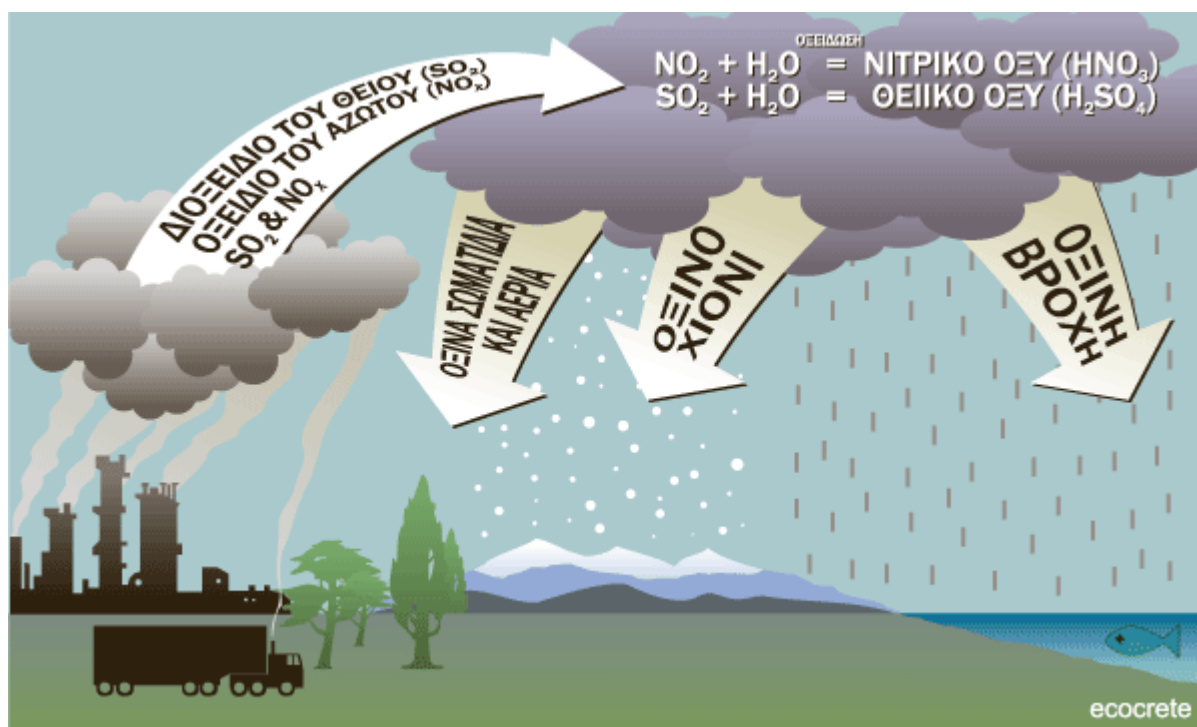
Η δραστηριότητα της όξινης βροχής μετριέται με την κλίμακα του pH. Όσο πιο χαμηλό είναι το pH, τόσο πιο όξινη είναι η βροχή. Το pH του καθαρού νερού είναι 7. Η κανονική βροχή είναι λίγο όξινη καθώς το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται σε αυτήν, ρίχνοντας έτσι το pH στο 5,5. Μέχρι το 2000, η πιο όξινη βροχή είχε πέσει στις Η.Π.Α με pH που έφτανε μόλις στο 4,3 [8].

Η οξύτητα του νερού της βροχής οφείλεται στην παρουσία κυρίως των ισχυρών οξέων  $H_2SO_4$  και  $HNO_3$ . Σε μερικές περιπτώσεις, συνυπάρχουν και άλλα ανόργανα ( $HCl$ ,  $H_3PO_4$ ) ή οργανικά οξέα ( $HCOOH$ ,  $CH_3COOH$ ), συνήθως όμως όχι σε σημαντικές ποσότητες. Τα χλωριούχα ανιόντα βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις και προκύπτουν κυρίως από ουδέτερα άλατα, συνήθως θαλάσσιας προέλευσης, παρά από  $HCl$ . Ακόμη, μπορεί να υπάρχουν και άλλα οξέα, όπως  $H_2CO_3$ , που σχηματίζεται από την αντίδραση του  $CO_2$  της ατμόσφαιρας με το νερό. Η φύση αυτής της αντίδρασης είναι τέτοια, ώστε η συμμετοχή του  $H_2CO_3$  στην οξύτητα να ελαττώνεται, καθώς αυξάνει η συμμετοχή των ισχυρών οξέων [7].

Αν και τα  $H^+$  αποτελούν το κύριο κατιόν της όξινης βροχής, συνήθως υπάρχουν κι άλλα κατιόντα, όπως  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  και  $NH_4^+$ . Δηλαδή η όξινη βροχή είναι μίγμα οξέων και αλάτων. Ο βαθμός, στον οποίο τα ανιόντα των ισχυρών οξέων ( $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  και  $Cl^-$ ) υπερτερούν των βασικών κατιόντων στη βάση των χημικών τους ισοδυναμιών, καθορίζει την ικανότητα της βροχής σχετικά με την αύξηση της οξύτητας σε ένα σύστημα [7].

Το φαινόμενο αυτό συνδέεται με πολλούς παράγοντες: χημικούς, γεωλογικούς, μετεωρολογικούς και βιολογικούς. Έτσι, στη σχέση ανάμεσα στις εκπομπές ρύπων, την όξινη βροχή και την καταστροφή του περιβάλλοντος υπεισέρχονται οι καιρικές μεταβολές, διάφορα είδη εδαφών, διάφορα είδη φυτών και ζώων, η παρουσία άλλων ρύπων κ.ά. [7].

Οι επιστήμονες ανακάλυψαν πως η κύρια αιτία δημιουργίας της όξινης βροχής είναι η παρουσία μεγάλων ποσοστών διοξειδίου του θείου ( $SO_2$ ) και οξειδίων του αζώτου ( $NO_x$ ) στην ατμόσφαιρα. Στις Η.Π.Α. τα 2/3 από όλο το διοξείδιο του θείου και το 1/4 από όλα τα οξείδια του αζώτου προέρχονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην οποία χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας. Η όξινη βροχή δημιουργείται όταν αυτά τα αέρια αντιδρούν στην ατμόσφαιρα με νερό, οξυγόνο και άλλες χημικές ενώσεις σχηματίζοντας διάφορες όξινες ενώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία δρα καταλυτικά, αυξάνοντας το ρυθμό αυτών των αντιδράσεων. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός θειικού και νιτρικού οξέος, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2 [8].



Εικόνα 2.2: Περιγραφή του φαινομένου της όξινης βροχής. Η πορεία των ατμοσφαιρικών ρύπων στο περιβάλλον [8].

Επίσης τα διάφορα σχηματιζόμενα όξινα αερολύματα μπορούν να φτάσουν και να ρυπαίνουν το έδαφος με ξηρή απόθεση, η οποία αναφέρεται στα αέρια και σωματίδια. Περίπου το μισό ποσοστό των οξέων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα επιστρέφει στην Γη με αυτόν τον τρόπο. Ο άνεμος παρασέρνει τα όξινα σωματίδια και αέρια πάνω σε κτίρια, αυτοκίνητα, σπίτια και δέντρα, τα οποία μπορούν να ξεπλυθούν από τις διάφορες επιφάνειες με την βροχή. Όταν συμβαίνει αυτό, τα απόνερα προσθέτονται στο νερό της όξινης βροχής, κάνοντας έναν συνδυασμό ακόμη πιο όξινο και ισχυρό, από όσο η όξινη υγρή απόθεση από μόνη της [8].

Όσο περισσότερο παραμένουν τα οξειδία στην ατμόσφαιρα, τόσο πιο πιθανό είναι να υποστούν οξείδωση και να επανέλθουν στη γη ως οξέα διαλυμένα στο νερό της βροχής. Η υγρή αυτή απόθεση μπορεί να συμβεί ίσως και χιλιόμετρα μακριά από την πηγή εκπομπής των οξειδίων θείου και αζώτου. Πράγματι κατά κανόνα, η όξινη βροχή δεν εμφανίζεται στις περιοχές όπου γίνεται η εκπομπή των πρόδρομων ενώσεων SO<sub>2</sub> και NO<sub>2</sub>, αλλά σε μακρινές περιοχές προς τις οποίες κατευθύνονται τα μέτωπα κακοκαιρίας. Η πιθανότητα να δεχθεί μια περιοχή όξινη βροχή εξαρτάται κυρίως, από την προέλευση και την τροχιά των αέριων μαζών που προκαλούν τις βροχές. Έτσι εξηγείται το μεγάλο ποσοστό όξινων βροχοπτώσεων στις Σκανδιναβικές χώρες και τον Καναδά, χώρες χωρίς σημαντικές εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου, αλλά αποδέκτες της οξύτητας που σχηματίζεται από τις εκπομπές της κεντροδυτικής Ευρώπης και των Βορειοανατολικών ΗΠΑ αντίστοιχα [8].

Στην Ελλάδα, κατά κανόνα, το μεγαλύτερο ποσοστό (35-45%) των βροχών προκαλείται από αέριες μάζες με δυτική-νοτιοδυτική προέλευση. Στην πορεία των αέριων αυτών μαζών δεν υπάρχουν σημαντικές πηγές εκπομπής SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>. Γι' αυτό και οι βροχές αυτές, εμφανίζουν κατά κανόνα, pH παρόμοιο με εκείνο της «καθαρής» βροχής. Ένα εξίσου μεγάλο ποσοστό (30-40%) βροχών έχουν νότια προέλευση (Αίγυπτο, Λιβύη). Οι βροχές αυτές χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό pH (αλκαλικές) και σκόνη, την οποία μεταφέρουν από τη Σαχάρα (λασποβροχές). Το μικρότερο ποσοστό, περίπου το 20-25% των βροχών έχει προέλευση την κεντρική Ευρώπη, όπου υπάρχουν σημαντικές πηγές εκπομπής SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>. Οι βροχές αυτές έχουν pH χαμηλότερο από εκείνο της «καθαρής» βροχής (ασθενώς όξινες βροχές). Ακόμη, υπάρχουν και οι τοπικές βροχές, που μπορεί να είναι όξινες ανάλογα με την παρουσία τοπικών πηγών εκπομπής και την επικράτηση συνθηκών που ευνοούν την οξείδωση των εκπεμπόμενων οξειδίων, π.χ τοπικές βροχές που εκδηλώνονται μετά από παρατεταμένες περιόδους θερμοκρασιακής αναστροφής και έντονης ηλιοφάνειας [8].

Ανεξάρτητα από την προέλευση της βροχής, η ρύπανση της τοπικής ατμόσφαιρας παίζει σημαντικό ρόλο στη χημική σύσταση της βροχής, αφού αυτή κατά την πτώση της διαλύει διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας. Τα συστατικά που μπορούν να προκαλέσουν εξουδετέρωση της οξύτητας της βροχής είναι κυρίως η ατμοσφαιρική αμμωνία και η αιωρούμενη σκόνη εδαφικής προέλευσης (CaCO<sub>3</sub>) [8].

Οι φυσικοχημικές διεργασίες μετατροπής των οξειδίων SO<sub>2</sub> και NO<sub>2</sub> σε H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και HNO<sub>3</sub>, αντίστοιχα, είναι αρκετά πολύπλοκες και περιλαμβάνουν διάφορους μηχανισμούς όπως, οξείδωση στην αέρια φάση, οξείδωση στην υγρή φάση, κατάλυση σε σταγονίδια ή κατάλυση στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων. Η συμμετοχή των μηχανισμών αυτών στη συνολική διεργασία μετατροπής εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν (ένταση του ηλιακού φωτός, θερμοκρασία, υγρασία), καθώς και από άλλους παράγοντες που δρουν καταλυτικά, όπως είναι η παρουσία μετάλλων (σιδήρου, μαγγανίου, βαναδίου κ.ά.) στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας ή η παρουσία αμμωνίας [7].

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις H<sup>+</sup> και SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> έχουν παρατηρηθεί σε βροχές που συνοδεύονται από ψυχρά μέτωπα και γραμμές καταιγίδων, ενώ οι χαμηλότερες σε θερμά μέτωπα. Οι καταιγίδες χαρακτηρίζονται από μια δυσανάλογα μεγάλη ποσότητα όξινης απόθεσης, σε σχέση με την ποσότητα της βροχής. Έχει μάλιστα διαπιστωθεί ότι η

μεγαλύτερη απόθεση  $H^+$  και  $SO_4^{2-}$  γίνεται το καλοκαίρι, παρόλο που την εποχή αυτή οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες [7].

Επίσης έχει παρατηρηθεί, ότι οι συγκεντρώσεις  $H^+$  και  $SO_4^{2-}$  είναι υψηλότερες όταν η βροχή πέφτει με μικρή ταχύτητα. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στο γεγονός ότι η σιγανή βροχή αποτελείται από μικρότερες σταγόνες, οι οποίες μπορούν πιο εύκολα να απομακρύνουν διάφορες ουσίες από την ατμόσφαιρα [7].

Η όξινη βροχή προκαλεί οξίνιση στο νερό των λιμνών και των ποταμών, όπως επίσης την καταστροφή δέντρων σε μεγάλα ύψη (π.χ. κόκκινα έλατα σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 650 μέτρων) και πολλών ευαίσθητων εδαφών στα δάση. Επιπλέον, η όξινη βροχή επιταχύνει την φθορά των οικοδομικών υλικών και χρωμάτων. Αυτό σημαίνει πως αναντικατάστατα κτίρια, αγάλματα και γλυπτά που μπορεί να είναι μέρος της εθνικής πολιτιστικής κληρονομιάς μιας χώρας, βρίσκονται στο έλεος της όξινης βροχής. Αλλά ακόμη και πριν πέσουν στο έδαφος το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, καθώς και τα παράγωγά τους, προκαλούν προβλήματα στην ορατότητα και βλάπτουν την υγεία του ανθρώπου [8].

Οι ενώσεις του θείου και του αζώτου που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τις εκπομπές διοξειδίου του θείου και νιτρικών οξέων προκαλούν μείωση της ορατότητας. Αυτό σημαίνει πως δεν μπορούμε να δούμε τόσο μακριά και τόσο καθαρά όσο στον καθαρό αέρα [8].

Η όξινη βροχή μοιάζει έχοντας την ίδια αίσθηση και την ίδια γεύση, με την κανονική βροχή. Οι βλάβες που μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο δεν είναι τόσο άμεσες. Το να περπατάει κάποιος μέσα στην όξινη βροχή ή ακόμη και να κολυμπάει σε κάποια όξινη λίμνη, δεν είναι παραπάνω επικίνδυνο από το να περπατάει ή να κολυμπάει μέσα σε καθαρό νερό. Ωστόσο, οι ρύποι που προκαλούν την όξινη βροχή (διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου), μπορούν επίσης να βλάψουν την υγεία του ανθρώπου. Τα αέρια αυτά, όπως αναφέρθηκε, αντιδρούν στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας διάφορα μόρια από ενώσεις θείου και αζώτου, τα οποία μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις από ανέμους, μέσα σε κατοικημένες περιοχές όπου καθένας μπορεί να τα εισπνεύσει. Τα οξείδια του θείου και αζώτου μπορούν επίσης να διεισδύσουν μέσα σε κλειστούς χώρους. Πολλές επιστημονικές έρευνες έχουν αναγνωρίσει μια σχέση μεταξύ υψηλής συγκέντρωσης οξειδίων θείου και αζώτου και αυξημένης παρουσίας ασθενειών και πρόωρων θανάτων από καρδιακές και πνευμονικές δυσλειτουργίες, όπως το άσθμα και η βρογχίτιδα [8].

Επιστήμονες, δασολόγοι και άλλοι έχουν επίσης παρατηρήσει ότι η ανάπτυξη κάποιων δασών που δέχονται ή δέχθηκαν όξινη απόθεση, γίνεται με μειωμένο ρυθμό. Τα δέντρα σ' αυτά τα δάση δε μεγαλώνουν τόσο γρήγορα όσο στην υγιή τους κατάσταση. Τα φύλλα και τα αγκάθια γίνονται καφέ και πέφτουν, ενώ θα έπρεπε να είναι πράσινα και υγιή. Σε μερικές εξαιρετικές περιπτώσεις, συγκεκριμένα δέντρα μέσα σε ολόκληρες περιοχές του δάσους, απλά πεθαίνουν χωρίς καμία άλλη προφανή αιτία, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3 [8].



Εικόνα 2.3: Οι καταστροφικές συνέπειες της όξινης βροχής στις δασικές εκτάσεις [8].

Οι ερευνητές γνωρίζουν πλέον ότι η όξινη βροχή προκαλεί μείωση της ταχύτητας της ανάπτυξης, τραυματισμό και θάνατο των δασών. Φυσικά, δεν είναι μόνο η όξινη βροχή που τα προκαλεί αυτά. Η ρύπανση του αέρα, τα έντομα, οι ασθένειες, η ξηρασία ή ο πολύ κρύος καιρός μπορούν, επίσης, να βλάψουν τα δέντρα και τα φυτά. Στην πραγματικότητα, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι επιπτώσεις της όξινης βροχής στα δέντρα συμβαίνουν λόγω της συνδυασμένης δράσης της όξινης βροχής μαζί με τους υπόλοιπους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μετά από μια μακρόχρονη συλλογή στοιχείων για την χημεία και βιολογία των δασών, οι ερευνητές καταλαβαίνουν πως η όξινη βροχή επιδρά στο έδαφος του δάσους, στα δέντρα και στα άλλα φυτά [8].

Οι οικολογικές επιδράσεις της όξινης βροχής μπορούν να φανούν καθαρά σε οικοσυστήματα που είναι εξαρτημένα από το νερό, όπως ποτάμια, λίμνες και βάλτους, καθώς αυτή πέφτει κατ' ευθείαν πάνω στους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες των περιοχών αυτών. Οι περισσότερες λίμνες και τα ποτάμια έχουν pH μεταξύ 6 και 8, αν και μερικές λίμνες είναι από τη φύση τους όξινες, ακόμη και χωρίς την επίδραση της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή αρχικά επηρεάζει τις ευαίσθητες περιοχές του νερού, που έχουν περιορισμένη ικανότητα να εξουδετερώνουν τις όξινες ενώσεις. Η ικανότητα εξουδετέρωσης ονομάζεται «χωρητικότητα αφομοίωσης». Οι λίμνες και τα ποτάμια γίνονται όξινα (δηλαδή, η τιμή του pH μειώνεται) όταν το νερό και το έδαφος που το περιβάλλει δεν μπορεί να αφομοιώσει αρκετά την όξινη βροχή ώστε να την εξουδετερώσει. Σε περιοχές όπου η χωρητικότητα αφομοίωσης είναι χαμηλή, η όξινη βροχή απελευθερώνει άργιλο από το έδαφος μέσα στις λίμνες και τα ποτάμια. Ο άργιλος είναι πολύ τοξικός για πολλά είδη υδρόβιων οργανισμών [8].

Η όξινη βροχή προκαλεί μια σειρά επιδράσεων που βλάπτουν ή σκοτώνουν κάποια είδη ψαριών, μειώνοντας έτσι τον πληθυσμό τους ή ακόμη και εξολοθρεύοντας ένα ή περισσότερα είδη από κάποιον υδρόβιο οργανισμό μειώνοντας μ' αυτόν τον τρόπο την βιοποικιλότητα. Καθώς το νερό της όξινης βροχής ρέει μέσω του εδάφους στις λίμνες και τα ποτάμια μια περιοχή, απελευθερώνεται άργιλος από το έδαφος. Έτσι καθώς το pH σε μια λίμνη μειώνεται, οι ποσότητες του αργίλου αυξάνονται. Το χαμηλό pH μαζί με τα αυξημένα επίπεδα αργίλου είναι πολύ τοξικά για τα ψάρια. Επιπλέον, η συνεχής εκλεκτική πίεση που θα ασκηθεί, μπορεί να μην σκοτώσει απ' ευθείας κάποια είδη ψαριών, αλλά να οδηγήσει σε μικρότερο βάρος σώματος και μειωμένο μέγεθος, κάνοντας τα έτσι λιγότερο ικανά στο να ανταγωνιστούν για την τροφή και την διαμονή τους σε ένα οικοσύστημα. Επίσης στις λίμνες

ρυπαίνεται και η τροφή των ψαριών (φυτικοί οργανισμοί). Σύντομα δεν έχουν αρκετή τροφή και στρέφονται στον κανιβαλισμό. Μετά από λίγο διάστημα επιβιώνουν μόνο τα μεγάλα ψάρια που στο τέλος πεθαίνουν και αυτά. Τα οξέα προκαλούν δυσκολίες στο αναπαραγωγικό σύστημα των ψαριών. Συχνά τα ψάρια που γεννιούνται στις όξινες λίμνες δεν επιζούν γιατί γεννιούνται με ελαττώματα όπως παραμορφωμένες σπονδυλικές στήλες. Αυτό είναι ένα σημάδι ότι είναι ανίκανα να αφομοιώσουν αρκετό ασβέστιο από το νερό για να αναπτύξουν πλήρως τα οστά τους [8, 10].

Κάποια είδη φυτών και ζώων είναι ικανά να ανεχτούν το όξινο νερό. Άλλα, όμως, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα εξαφανιστούν καθώς το pH μειώνεται. Γενικά, οι νεότεροι οργανισμοί κάποιου είδους είναι περισσότερο ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές συνθήκες απ' ό,τι οι ενήλικοι. Τα περισσότερα αυγά των ψαριών δεν μπορούν να εκκολαφτούν σε νερό με pH 5. Σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα pH πεθαίνουν κάποια ενήλικα ψάρια. Μερικές όξινες λίμνες δεν έχουν καθόλου ψάρια. Τα ψάρια, τα οστρακόδερμα ή τα έντομα που τρώνε, δεν αντέχουν τα ίδια επίπεδα οξύτητας. Για παράδειγμα, οι βάτραχοι είναι πιο ανθεκτικοί στο όξινο περιβάλλον σε σύγκριση με την πέστροφα [8].

Οι έμβιοι οργανισμοί και οι αβιοτικοί παράγοντες στο περιβάλλον μέσα στο οποίο ζουν, ονομάζεται οικοσύστημα. Τα φυτά και τα ζώα που ζουν μέσα σε ένα οικοσύστημα έχουν αυξημένη αλληλεξάρτηση. Για παράδειγμα, μπορεί τα βατράχια να αντέχουν σε σχετικά όξινο περιβάλλον αλλά αν τρώνε έντομα, όπως τα εφημερόπτερα, τότε μπορεί να επηρεαστούν επειδή κάποιο μέρος της τροφής τους θα εξαφανιστεί. Λόγω της σύνδεσης μεταξύ πολλών ψαριών, φυτών και άλλων ειδών που κατοικούν σε έναν υδροβιότοπο, αλλαγές του pH ή του επιπέδου του αργίλου επηρεάζουν όλη την βιοποικιλότητα. Γι' αυτό, όσο οι λίμνες και τα ποτάμια γίνονται πιο όξινα, ο αριθμός και τα είδη των ψαριών καθώς και άλλων υδροβίων φυτών και ζώων σε αυτά τα νερά, μειώνονται [8].

Η επίδραση των ενώσεων του αζώτου στην επιφάνεια του νερού είναι επίσης κρίσιμος παράγοντας. Το άζωτο παίζει σημαντικό ρόλο στην σταδιακή οξίνιση σύμφωνα με μια νέα έρευνα. Επιπλέον, η αρνητική επίδραση της απόθεσης του ατμοσφαιρικού αζώτου σε εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές είναι επίσης σημαντική. Οι επιστήμονες υπολόγισαν ότι το 10-45% των παραγόμενων ενώσεων του αζώτου από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, μεταφέρονται και αποτίθενται μέσω της ατμόσφαιρας στις εκβολές και τα παράκτια οικοσυστήματα. Το άζωτο είναι ένας σημαντικός παράγοντας που προκαλεί ευτροφισμό (εξάντληση οξυγόνου) στις φυσικές δεξαμενές νερού. Τα συμπτώματα του ευτροφισμού περιλαμβάνουν την άνθιση των θαλάσσιων φυκιών (τοξικά και μη-τοξικά), μείωση στην υγεία των ψαριών και οστρακόδερμων, μείωση του θαλάσσιας χλωρίδας και των κοραλλιογενών υφάλων, και αλλαγές στις τροφικές αλλαγές. Όταν η βροχή που πέφτει, αποθέτει ενώσεις αζώτου ( $\text{NO}_x$  και  $\text{NH}_3$ ) στο έδαφος, μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα χερσαία οικοσυστήματα. Όσο η ποσότητα αζώτου στο έδαφος αυξάνεται, τα είδη των φυτών κι ο τρόπος που μεγαλώνουν τα δέντρα αλλάζει άλλο τόσο. Γι' αυτόν το λόγο οι δυναμικές ολόκληρου του οικοσυστήματος μπορούν να καταστραφούν [8].

Η όξινη βροχή και ξηρή απόθεση των όξινων σωματιδίων προκαλούν επίσης φθορές στα μέταλλα (όπως τον μπρούντζο) και μείωση της αξίας των χρωμάτων και πετρωμάτων (όπως το μάρμαρο και ο ασβεστόλιθος). Αυτό με την σειρά του επιφέρει μείωση της αξίας των κτισμάτων, των γεφυρών, των πολιτισμικών αντικειμένων (όπως αγάλματα, μνημεία και τάφοι) και των αυτοκινήτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4 [8].



Εικόνα 2.4: Δεξιά: ένα γλυπτό στον πύργο Χέρτεν στη Βεστφαλία της Γερμανίας μοιάζει με ένα κομμάτι πέτρα χωρίς σχήμα. Αριστερά: το ίδιο γλυπτό σε μια φωτογραφία, από το 1908 δείχνει πως ήταν περίτεχνο άγαλμα κοριτσιού [9].

Η ξηρή απόθεση των όξινων ενώσεων μπορεί επίσης να λερώσει τα κτίρια, οδηγώντας σε αυξημένο κόστος συντήρησης. Για να μειωθεί η ζημιά στο χρώμα των αυτοκινήτων, κάποιοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν μπογιές, οι οποίες είναι ανθεκτικές στο όξινο περιβάλλον, αυξάνοντας λίγο το μέσο κόστος κατασκευής [8].

Για να κατανοηθούν καλύτερα τα αίτια και τα αποτελέσματα της απόθεση οξέων και να εντοπιστούν οι αλλαγές που γίνονται στο περιβάλλον, επιστήμονες από όλα τα κράτη που εμφανίζουν παρόμοια προβλήματα, όπως και ακαδημαϊκοί ερευνητές, μελετούν τις διαδικασίες οξίνισης. Συλλέγουν δείγματα αέρα και νερού και μετράνε διάφορα χαρακτηριστικά τους, όπως το pH και η χημική τους σύσταση. Έπειτα εξετάζουν τα αποτελέσματα που έχουν σε υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο, όπως το μάρμαρο και ο μπρούντζος. Τελικά, οι επιστήμονες εργάζονται για την κατανόηση των επιπτώσεων του διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) – τους ρύπους που προκαλούν απόθεση οξέων και όξινων αλάτων – στη ανθρώπινη υγεία [8].

Η εξάλειψη του φαινομένου της όξινης βροχής απαιτεί τη παύση της εκπομπής του διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ). Η θέσπιση της αποθείωσης του καυσίμου, η χρήση των καταλυτικών μετατροπέων στα μέσα μεταφοράς, όπως και η χρήση άλλων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών, αλλά και η θέσπιση νομοθεσίας ορισμού ανώτατων επιτρεπτών ορίων, έχει οδηγήσει στη μείωση της εμφάνισης του φαινομένου. Παρόλα αυτά υπάρχουν επιπλέον δραστηριότητες που μπορούν να κάνουν οι άνθρωποι για να επαναφέρουν τις λίμνες και τα ποτάμια πιο γρήγορα σε ισορροπία. Για παράδειγμα, μπορεί να προστεθεί ασβεστόλιθος σε όξινες λίμνες για να εξουδετερώσει την οξύτητα. Αυτή η διαδικασία έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην Νορβηγία και την Σουηδία. Μια διαδικασία ιδιαίτερα δαπανηρή, η οποία πρέπει να γίνεται επαναλαμβανόμενα για να αποτρέψει το νερό να ξαναγυρίσει στην όξινη κατάσταση. Θεωρείται σαν βραχυπρόθεσμη επιδιόρθωση σε συγκεκριμένες περιοχές και όχι σαν μια προσπάθεια μείωσης ή εξάλειψης της ρύπανσης. Επιπλέον, δεν λύνει ευρύτερα προβλήματα, όπως την αλλαγή της σύστασης του εδάφους, την μείωση της ορατότητας, την καταστροφή των υλικών και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, συχνά επιτρέπει στα ψάρια να παραμείνουν σε μια λίμνη, έτσι ώστε ο ενδογενής πληθυσμός να επιζήσει σ' αυτό το μέρος, έως ότου να μειωθεί η εκπομπή ρύπων και η απόθεση οξέων στην περιοχή [8].

### 2.3.2. Φαινόμενο θερμοκηπίου

Πηγή ενέργειας για τη Γη και το κλίμα της είναι ο Ήλιος, ο οποίος παρέχει ακτινοβολία στην ορατή, υπέρυθη και υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (100 nm – 1 mm). Περίπου το ένα τρίτο της ακτινοβολίας που φτάνει στην άκρη της ατμόσφαιρας ανακλάται κατευθείαν πίσω στο διάστημα. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα απορροφώνται, κυρίως από τη Γη αλλά και από την ατμόσφαιρα. Προκειμένου να εξισορροπηθεί το ποσό της ενέργειας που απορροφάται, η Γη πρέπει να εκπέμπει το ίδιο ποσό ενέργειας στο διάστημα. Η Γη, λόγω του ότι είναι πολύ πιο ψυχρή από τον ήλιο, ακτινοβολεί σε πολύ μεγαλύτερα μήκη κύματος, κυρίως στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το έδαφος και τον ωκεανό απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα και ακτινοβολείται πίσω στη γη. Αυτό καλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου (Εικόνα 2.5). Οι τοίχοι γυαλιού σε ένα θερμοκήπιο μειώνουν τη ροή του αέρα και αυξάνουν τη θερμοκρασία του εσωτερικού του. Ανάλογα, αλλά μέσω μιας διαφορετικής φυσικής διαδικασίας, το φαινόμενο του γήινου θερμοκηπίου θερμαίνει την επιφάνεια του πλανήτη. Αν δεν υπήρχε το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης θα ήταν κάτω από το σημείο πήξης του νερού. Με άλλα λόγια, αν δεν υπήρχε το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ζωή στη Γη, τουλάχιστον με τη σημερινή της μορφή, δεν θα υπήρχε. Χωρίς αυτόν τον μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν κατά 35°C χαμηλότερη, δηλαδή περίπου -20°C αντί για +15 που είναι σήμερα. Το πρόβλημα είναι ότι οι δραστηριότητες του ανθρώπου, κυρίως η καύση ορυκτών καυσίμων και η καταστροφή των δασών, εντείνουν κατά πολύ το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του πλανήτη. Είναι γνωστή η σύσταση της ατμόσφαιρας και η περιεκτικότητα της στα βασικά αέρια O<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>, αλλά και σε αέρια που συνυπάρχουν σε πολύ μικρότερα ποσοστά.



Εικόνα 2.5: Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου [42].

Τα δυο αέρια που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό της ατμόσφαιρας, το άζωτο (78%) και το οξυγόνο (21%), έχουν μηδαμινή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το τελευταίο προκαλείται κυρίως από πιο πολύπλοκα μόρια, τα οποία βρίσκονται σε πολύ μικρότερο ποσοστό στην ατμόσφαιρα. Οι υδρατμοί είναι το σημαντικότερο αέριο



θερμοκηπίου και το διοξείδιο του άνθρακα το δεύτερο πιο σημαντικό, ενώ συμβάλλουν κι άλλα αέρια, όπως το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και το όζον, τα οποία υπάρχουν σε μικρότερα ποσοστά.

Κάποια από τα αέρια όπως το CO<sub>2</sub>, το CH<sub>4</sub>, το N<sub>2</sub>O, το τροποσφαιρικό O<sub>3</sub> και οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) ή υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), αποτελούν τους κυριότερους αντιπροσώπους των ονομαζόμενων αερίων του θερμοκηπίου που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο. Δηλαδή την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας και την επανεκπομπή μέρους αυτής προς το έδαφος (Εικόνα 2.5). Η απορροφητική τους ικανότητα είναι αποτέλεσμα των χαρακτηριστικών του φάσματος απορρόφησης τους που οφείλεται στην δομή των μορίων τους. Ως αποτέλεσμα της τεχνολογικής ανάπτυξης η συγκέντρωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο, έχει αυξηθεί τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> αυξήθηκε κατά 30% και του CH<sub>4</sub> σχεδόν κατά 100%. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι αν δεν ληφθούν κατάλληλα μέτρα όσον αφορά τις ανθρώπινες δραστηριότητες, η ισχύς του φαινομένου θα διπλασιαστεί σε λιγότερο από 50 χρόνια [2, 10].

Στον πίνακα 2.4 αναφέρεται η ποσοστιαία συνεισφορά των σημαντικότερων αερίων του θερμοκηπίου.

Πίνακας 2.4: Αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου και η συνεισφορά τους στο φαινόμενο [2].

Αέριο	Συνεισφορά (%)
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	48
Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	18
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	17
Υποξείδιο του αζώτου (N <sub>2</sub> O)	6
Άλλα αέρια και όζον	11

Η ένταση της επίδρασης για προσθήκη μιας συγκεκριμένης ποσότητας συγκεκριμένου θερμοκηπιακού αερίου εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος και το ύψος. Προσθήκη κοντά στον ισημερινό, όπου στην ατμόσφαιρα υπάρχουν διαρκώς αυξημένα ποσοστά υγρασίας, θα έχει μικρότερο αντίκτυπο από αντίστοιχη κοντά στους πόλους, καθότι στη δεύτερη περίπτωση το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι πιο ασθενές. Επίσης, προσθήκη στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, που είναι πιο ψυχρά και ξηρά, θα έχει πιο ισχυρό αντίκτυπο από ότι κοντά στην επιφάνεια [10].

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης των αερίων θερμοκηπίου από την ατμόσφαιρα (π.χ. απομάκρυνση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης, Εικόνα 2.6). Αυτός είναι και ο λόγος που η καταστροφή των δασών επηρεάζει την εκδήλωση του ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου σε μεγάλο βαθμό [10].



**Το φαινόμενο του θερμοκηπίου:**  
Το στρώμα του διοξειδίου του άνθρακα που συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα από τις καύσεις εγκλωβίζει τις θερμικές ακτίνες του ήλιου στην επιφάνεια της γης και προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας της.

Η μείωση των τροπικών δασών εντείνει την ατμοσφαιρική ρύπανση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυξάνει το διοξείδιο του άνθρακα και μειώνει το οξυγόνο και την παραγωγή φυτικής βιομάζας.

Εικόνα 2.6: Περιγραφή του φαινομένου του θερμοκηπίου και η συνεισφορά των τροπικών δασών στην εξάλειψη του φαινομένου [42].

Οι πιο συζητημένες επιπτώσεις του φαινομένου είναι η ανύψωση της στάθμης των θαλασσών λόγω τήξεως των πάγων των πόλων και η ερημοποίηση εκτεταμένων περιοχών της εύκρατης ζώνης με μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από τον ισημερινό προς βορρά. Η σημαντική ανύψωση της στάθμης των θαλασσών (μερικά μοντέλα την εκτιμούν στα 65 εκατοστά μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα) αυτονόητο είναι ότι θα οδηγήσει σε καταβύθιση ολόκληρων παράκτιων περιοχών συμπαρασύροντας και ολόκληρες πόλεις. Η ερημοποίηση, όπως και η λέξη δηλώνει, θα καταστήσει το έδαφος ακατοίκητο, αφού η λειψυδρία θα είναι φοβερή. Πέραν αυτών όμως οι επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης ενδεχομένως θα είναι απρόβλεπτες τόσο στις κλιματικές επιπτώσεις όσο και στην ανακατανομή της ποιότητας των εδαφών. Άγνωστος επίσης είναι και ο τρόπος και βαθμός προσαρμογής του ζωικού και φυτικού βασιλείου στις νέες συνθήκες. Όλα αυτά βεβαίως θα οδηγήσουν σε αλυσιδωτά προβλήματα που θα αφορούν όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας αφού όλα είναι συνυφασμένα με το περιβάλλον, το οποίο θα αλλάξει δραστικά [10].

Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής απασχολεί τα τελευταία 40 περίπου χρόνια την παγκόσμια κοινότητα. Έχουν υλοποιηθεί κάποιες δράσεις, κυρίως στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ παράλληλα έχει θεσπιστεί σχετική νομοθεσία για την επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής. Η νομοθεσία σχετικά με την παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, η θέσπιση ανώτατων επιτρεπτών ορίων για τους εκπεμπόμενους ρύπους, η απαγόρευση της χρήσης CFCs και HCFCs από το 2000 και 2004 αντίστοιχα, η νομική ισχύς του Πρωτοκόλλου του Κιότο, η χρήση αντιρρυπαντικών τεχνολογιών, αλλά και η αυξανόμενη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι κυριότερες πρωτοβουλίες. Η σχετική ευρωπαϊκή νομοθεσία αναφέρεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Η πλήρης αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ήπιες-ανανεώσιμες μορφές ενέργειας θα πρόσφερε μια μόνιμη λύση του προβλήματος. Δηλαδή η αποκλειστική χρήση της ηλιακής, της γεωθερμικής, της αιολικής ενέργειας, της βιομάζας και των βιοκαυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες αλλά και της πυρηνικής ενέργειας. Η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων και η καθιέρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εφικτή

στις μέρες μας, αφού η απαραίτητη τεχνολογία και τεχνογνωσία υπάρχουν. Αλλά και πριν ακόμα περάσουμε στην χρήση αυτών των μορφών ενέργειας, είναι δυνατόν να επιβραδύνουμε τουλάχιστον τις αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου, αρκεί όλα τα κράτη να εφαρμόσουν την σχετική νομοθεσία, να επιβάλλουν εκσυγχρονισμό των βιομηχανιών και των οχημάτων, χρήση καθαρότερων καυσίμων και αντιρρυπαντικών τεχνολογιών αλλά και περιορισμό της υπερκαταναλωτικής μανίας των πολιτών [10].

## Νέφη Ρύπανσης

Τα νέφη της ρύπανσης που παρατηρούνται σε αστικό περιβάλλον, διακρίνονται σε δυο κατηγορίες και διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα συστατικά, τις χημικές ιδιότητες και τις αιτίες σχηματισμού τους. Αυτά είναι το νέφος της καπνομίχλης και το φωτοχημικό νέφος.

### 2.3.3. Νέφος Καπνομίχλης

Το νέφος καπνομίχλης ονομάζεται και καπνομίχλη τύπου Λονδίνου ή αιθαλομίχλη (smog). Τα νέφη αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις SO<sub>2</sub> και καπνού και έχουν αναγωγικές ιδιότητες. Καπνομίχλες δημιουργούνται σε περιοχές όπου υπάρχουν βιομηχανίες πετροχημικών, παράγωγης H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, επεξεργασίας σουλφιδίων, και γενικά όπου ως πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται κάρβουνο ή μαζούτ. Για να δημιουργηθεί νέφος καπνομίχλης πρέπει να συντρέχουν οι δυο παρακάτω λόγοι [7]:

- α) να επικρατεί άπνοια και ταυτόχρονη θερμοκρασιακή αναστροφή
- β) εκπομπή SO<sub>2</sub> και καπνού

Ένα μεγάλο ποσοστό του SO<sub>2</sub> οξειδώνεται φωτοχημικά ή καταλυτικά προς SO<sub>3</sub>, το οποίο σχηματίζει στη συνέχεια σταγονίδια H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Η παρουσία ομίχλης ευνοεί το σχηματισμό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και επιπλέον, παρατείνει το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής. Έτσι αυξάνει σημαντικά τις δυσμενείς επιπτώσεις του νέφους. Έχει διαπιστωθεί ότι σε περιπτώσεις καπνομίχλης η θνησιμότητα αυξάνει επικίνδυνα όταν οι συγκεντρώσεις του SO<sub>2</sub> και του καπνού υπερβούν τα 0,25 ppm και 750 μg/m<sup>3</sup>, αντίστοιχα [7].

Οι καπνομίχλες είναι γνωστές από πολύ παλιά. Ιστορικά αναφέρεται ότι η πρώτη απαγορευτική διάταξη σχετικά με τα νέφη αυτά εκδόθηκε στο Λονδίνο το 1.300 μ. Χ. από το βασιλιά Εδουάρδο Α'. Στον 20<sup>ο</sup> αιώνα το πρώτο σοβαρό επεισόδιο καπνομίχλης συνέβη στην κοιλάδα Meuse του Βελγίου (Δεκέμβριος 1930). Μια θερμοκρασιακή αναστροφή διάρκειας 5 ημερών προκάλεσε τη συσσώρευση SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και HF που εκπέμπονταν από τις βιομηχανίες της περιοχής. Αποτέλεσμα ήταν ο θάνατος 68 ατόμων. Τον Οκτώβριο του 1948, θερμοκρασιακή αναστροφή δημιούργησε νέφος SO<sub>2</sub>-καπνού στην πόλη Donora, κοντά στο Pittsburg των ΗΠΑ. Το νέφος προκάλεσε τον ξαφνικό θάνατο 20 ατόμων, ενώ μεγάλο τμήμα του πληθυσμού παρουσίασε συμπτώματα διαφόρων ασθενειών. Γνωστό, επίσης, είναι το νέφος που εμφανίστηκε στη Νέα Υόρκη το 1966, την Ημέρα των Ευχαριστιών και προκάλεσε το θάνατο 168 ατόμων [7].

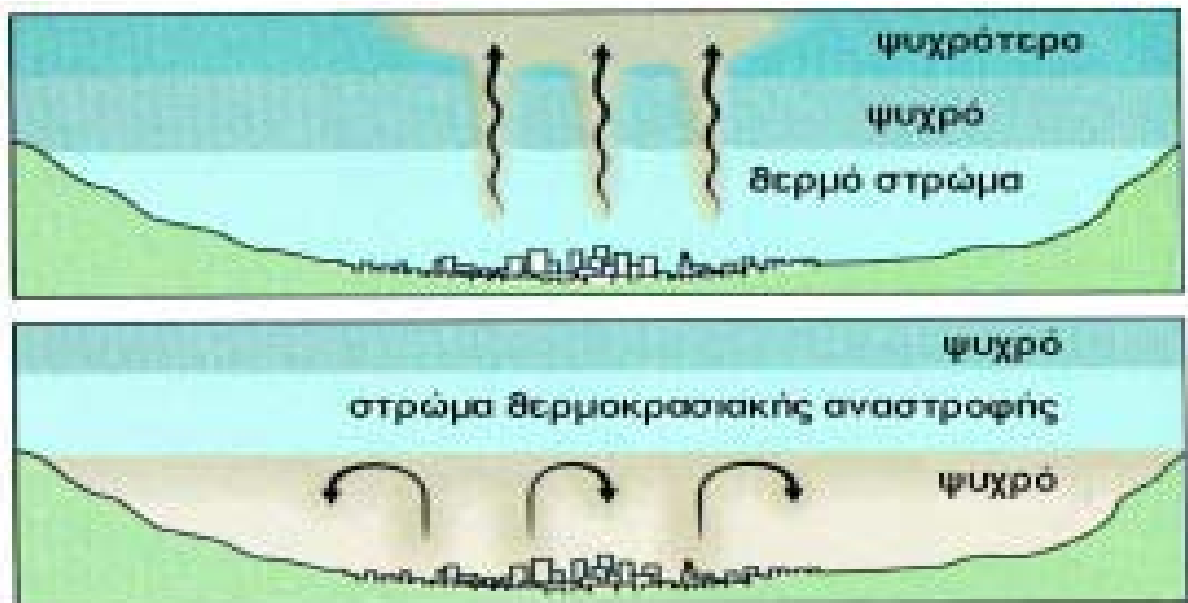
Πολύ σοβαρότερο επεισόδιο καπνομίχλης έπληξε το Λονδίνο το Δεκέμβριο του 1952. Μια θερμοκρασιακή αναστροφή διάρκειας 5 ημερών προκάλεσε τη συσσώρευση SO<sub>2</sub> και καπνού με αποτέλεσμα το θάνατο 3.900 ατόμων περισσότερων από το συνήθη αριθμό για το μήνα αυτό. Το σοβαρό αυτό επεισόδιο ρύπανσης έδωσε το όνομα «καπνομίχλη τύπου Λονδίνου» στο αντίστοιχο φαινόμενο. Καπνομίχλες δημιουργήθηκαν και άλλες φορές στην περιοχή του Λονδίνου με ηπιότερες όμως επιπτώσεις. Από το 1962 δεν αναφέρθηκαν σοβαρά περιστατικά καπνομίχλης στην περιοχή, χάρη στα μέτρα που εφαρμόστηκαν για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [7].

### 2.3.4. Φωτοχημικό νέφος

Το φωτοχημικό νέφος χαρακτηρίζεται από το φωτοχημικό σχηματισμό δευτερογενών ατμοσφαιρικών ρύπων με οξειδωτικές ιδιότητες, όπως είναι το  $O_3$ , το  $NO_2$ , το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (PAN), κ.ά. Για να δημιουργηθεί φωτοχημικό νέφος σε μια περιοχή πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις [7]:

- α) να επικρατεί άπνοια και ταυτόχρονη θερμοκρασιακή αναστροφή
- β) εκπομπή πρωτογενών ρύπων, κυρίως υδρογονανθράκων, οξειδίων του αζώτου
- γ) ηλιακή ακτινοβολία μεγάλης έντασης

Η θερμοκρασιακή αναστροφή συντελεί στη συσσώρευση ρύπων στο ψυχρό στρώμα αέρα πάνω από το έδαφος, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6. Αν οι συγκεντρώσεις των ρύπων υπερβούν τις ανώτατες επιτρεπτές τιμές, υπάρχει άμεσος κίνδυνος για το άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά και τα υλικά και παρατηρείται ο σχηματισμός νέφους [7].



Εικόνα 2.6: Ο θερμός αέρας πάνω από την πόλη ανεβαίνει συνήθως σε υψηλότερα στρώματα και ψύχεται (επάνω διάγραμμα). Σε μια θερμοκρασιακή αναστροφή (κάτω διάγραμμα) ο θερμός αέρας παγιδεύεται από την ψυχρότερη αέρια μάζα των γύρω βουνών και τυλίγει την πόλη σαν μια κουβέρτα μη επιτρέποντας στους αέριους ρυπαντές να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα. [11].

Η χημεία του φωτοχημικού νέφους είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και οι μηχανισμοί πολλών αντιδράσεων που οδηγούν στο σχηματισμό του παραμένουν αδιευκρίνιστοι. Οι ενώσεις που θεωρούνται υπεύθυνες για την δημιουργία φωτοχημικού νέφους (πρωτογενείς ρύποι) είναι τα οξείδια του αζώτου και οι πτητικές οργανικές ενώσεις. Στις φωτοχημικά δραστικές πτητικές οργανικές ενώσεις περιλαμβάνονται οι υδρογονάνθρακες εκτός μεθανίου, καθώς και αλδεΐδες, κετόνες, κ.ά [7].

Το φωτοχημικό νέφος μελετήθηκε για πρώτη φορά στο Los Angeles των Η.Π.Α.. Αργότερα διαπιστώθηκε ότι το φαινόμενο αυτό, αποτελεί κοινό πρόβλημα των περισσότερων αστικών περιοχών. Η αιτία που το προκαλεί είναι η εκπομπή  $NO_x$  και υδρογονανθράκων με τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Τα συστατικά του φωτοχημικού νέφους έχουν δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου, στη βλάστηση, στα διάφορα υλικά και στα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (ορατότητα). Η μείωση της ορατότητας

οφείλεται στο σχηματισμό αεροζόλ από τον πολυμερισμό μικρότερων μορίων που παράγονται από τις φωτοχημικές αντιδράσεις [7].

Σημαντικές είναι οι επιδράσεις του φωτοχημικού νέφους στην υγεία. Παρατηρείται δυσχέρεια στην αναπνοή, ερεθισμός των ματιών, επιδείνωση προβλημάτων άσθματος, μειωμένες επιδόσεις αθλητών κ.ά. Επίσης ιδιαίτερα μεγάλη σημασία έχουν οι καταστροφικές επιδράσεις του φωτοχημικού νέφους στην βλάστηση. Οι καταστροφικές επιδράσεις οφείλονται στις δευτερογενώς παραγόμενες οξειδωτικές ενώσεις, όπως είναι το όζον, το PAN, τα υπεροξειδία και το NO<sub>2</sub>. Τη μεγαλύτερη φυτοτοξικότητα εμφανίζει το PAN, το οποίο προσβάλλει τα νεαρά φύλλα προσδίδοντας τους μπρούτζινη, γυαλιστερή επιφάνεια. Η τοξικότητα του PAN οφείλεται στην καταστροφή των σουλφυδρυλικών ομάδων των πρωτεϊνών των φυτών [7].

### 2.3.5. Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος

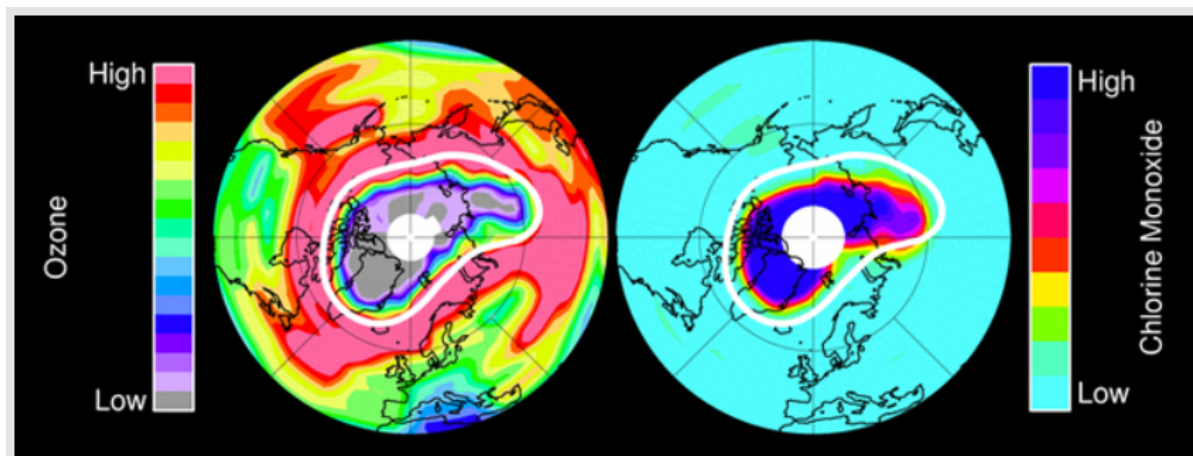
Όπως είναι γνωστό η Γή περιβάλλεται από την ατμόσφαιρά της, η οποία αποτελείται από διάφορα στρώματα, τα οποία διακρίνονται ανάλογα με την σύστασή τους και τις συνθήκες που επικρατούν. Έτσι το πρώτο στρώμα είναι η Τροπόσφαιρα, στην οποία διαμορφώνεται ουσιαστικά ο καιρός, αφού εδώ λαμβάνουν χώρα τα διάφορα καιρικά φαινόμενα, όπως τα σύννεφα, η βροχή, το χιόνι κ.λπ. Πάνω από αυτή σε ύψος 10.000 μέτρα περίπου αρχίζει η Στρατόσφαιρα, η οποία εκτείνεται μέχρι τα 40.000 μέτρα περίπου. Το ενδιαφέρον που παρουσιάζει αυτό το στρώμα το οφείλει κυρίως στην ύπαρξη του Όζοντος. Το Όζον είναι κατά κάποιον τρόπο ένα είδος Οξυγόνου, αφού το μόριό του απαρτίζεται από τρία άτομα Οξυγόνου αντί δύο που συνιστούν το μόριο του Οξυγόνου. Το στοιχείο αυτό σχηματίζει ένα λεπτό επί μέρους στρώμα στην Στρατόσφαιρα (μεταξύ 19.000 και 30.000 μέτρα) που είναι πιο λεπτό πάνω από τις τροπικές περιοχές και πιο παχύ πάνω απ' τις πολικές και λέγεται Οζονόσφαιρα ή στρώμα Chapman. Η ποσότητα του Όζοντος μετρείται σε μονάδες Dobson (DU) και μία τυπική του τιμή είναι 260 DU πάνω απ' τις τροπικές περιοχές, αν και υπάρχει μεγάλη εποχική και υψομετρική διακύμανση. Το Όζον δημιουργείται με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) σε μόρια Οξυγόνου, οπότε μια σειρά αντιδράσεων λαμβάνει χώρα γνωστών και ως Αντιδράσεις Chapman. Αρχικά το μόριο του Οξυγόνου διασπάται στα δύο άτομά του τα οποία εν συνεχεία αντιδρούν με άλλα μόρια Οξυγόνου και συνθέτουν μόρια Όζοντος. Ευνόητο είναι ότι οι ψηλότερες περιοχές είναι πιο πλούσιες σε Όζον απ' ότι οι χαμηλότερες αφού η δράση των υπεριωδών ακτινών ανακόπτεται, καθώς αυτές απορροφώνται απ' τα πυκνότερα χαμηλότερα στρώματα. Οι ίδιες ακτίνες προκαλούν και την καταστροφή του Όζοντος, αφού όταν πέφτουν πάνω του το διασπούν στα εξ ων συνετέθη επιβάλλοντας έτσι ένα ισοζύγιο Όζοντος που καταστρέφεται και Όζοντος που δημιουργείται με συνέπεια η περιεκτικότητα αυτού στην ατμόσφαιρα να παραμένει κατ' αρχήν σταθερή και περίπου 10 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο). Η ποσότητα του Όζοντος είναι τέτοια που αν συγκεντρωνόταν κοντά στο έδαφος σε θερμοκρασία 0 βαθμούς Κελσίου και πίεση 1ατμόσφαιρα, θα σχημάτιζε ένα στρώμα πάχους 3 χιλιοστών [14].

Ενώ το Όζον κοντά στο έδαφος είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία αφού συμβάλει στην ρύπανση του αέρα πρωταγωνιστώντας στην δημιουργία του περίφημου φωτοχημικού νέφους, αντίθετα το ευρισκόμενο ψηλότερα στην Στρατόσφαιρα συμβάλλει στην προστασία της υγείας σε βαθμό που θα ήταν αδύνατη η επιβίωση μας χωρίς αυτό. Έτσι λειτουργώντας σαν αόρατο φίλτρο απορροφά κάποιες από τις εξαιρετικά επικίνδυνες υπεριώδεις ακτίνες (UV-C και UV-B) που αν έφταναν στο έδαφος θα προκαλούσαν σοβαρές καταστροφές σε φυτά, ζώα και ανθρώπους [14].

Συγκεκριμένα οι ακτίνες της UV ακτινοβολίας με λ μήκος κύματος μικρότερο των 300 nm προκαλούν καρκίνο και γήρανση του δέρματος, καταρράκτη των ματιών,

εξασθένιση τού αμυντικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού κατά των παθογόνων μικροβίων και αύξηση των μεταδοτικών ασθενειών. Καταστρέφουν επίσης το φυτοπλαγκτόν και τις προνύμφες των ψαριών. Επομένως εύκολα καταλαβαίνει κανείς γιατί η Οζονόσφαιρα ονομάζεται και ασπίδα όζοντος. Μάλιστα έχει υπολογιστεί ότι κάθε μείωση της περιεκτικότητας του όζοντος κατά 10% ισοδυναμεί με αύξηση των περιπτώσεων καρκίνου τού δέρματος κατά 300.000 παγκοσμίως. Μεγαλύτερο κίνδυνο διατρέχουν τα άτομα με ανοιχτόχρωμο δέρμα, μπλε μάτια και ξανθά μαλλιά και τα οποία παρά τις καλοκαιρινές πολύωρες ηλιοθεραπείες ευκολότερα καίγονται παρά μαυρίζουν [14].

Τις τελευταίες δεκαετίες πολύς λόγος γίνεται για την περιβόητη «τρύπα τού όζοντος». Μετά μάλιστα την διαπίστωση της βλαπτικής δραστηριότητας αυτού, πολλές κυβερνήσεις ανησύχησαν και όλοι άρχισαν να ενδιαφέρονται, επιστήμονες και μη, για το τι συμβαίνει με την φυσική αυτή ασπίδα της βιόσφαιρας. Έτσι έγινε αντιληπτό ότι μερικές από τις ανθρώπινες δραστηριότητες παράγουν κάποιους ρύπους που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον και ανατρέπουν το ισοζύγιο φυσικής παραγωγής και φυσικής καταστροφής αυτού υπέρ της τελευταίας. Επειδή μάλιστα η καταστροφή είναι επιλεκτική και συμβαίνει κυρίως στην στρατόσφαιρα πάνω απ' την Ανταρκτική, η μείωση της περιεκτικότητας τού όζοντος εκεί δίνει την αίσθηση τρύπας της Οζονόσφαιρας, διά μέσου της οποίας οι ανεπιθύμητες και επιζήμιες υπεριώδεις ακτίνες φτάνουν στον πλανήτη μας με όλες τις προαναφερόμενες συνέπειες. Όταν λοιπόν αναφέρεται η «τρύπα τού όζοντος» εννοείται η περιοχή της Στρατόσφαιρας με χαμηλότερη της συνήθους περιεκτικότητα σε όζον λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που παράγουν ρύπους καταστρεπτικούς γι' αυτό. Οι κυριότεροι απ' αυτούς τους ρύπους είναι οξείδια τού αζώτου που περιέχονται στα καυσαέρια αυτοκινήτων και αεροπλάνων και αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες χλωροφθοράνθρακες (CFC) και υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFC). Οι ενώσεις του χλωρίου χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως προωθητικά αερίων στα διάφορα σπρέι (αποσμητικά, εντομοκτόνα κ.ά.), στις μονώσεις, στα ψυκτικά υγρά στα ψυγεία (Freon) και τους κλιματισμούς. Αυτές οι ενώσεις είναι πολύ σταθερές και όταν απελευθερώνονται με αντίστοιχες καθημερινές χρήσεις ή βιομηχανικές δραστηριότητες στην επιφάνεια του εδάφους, αρχίζουν να ανεβαίνουν με ένα πολύ αργό ρυθμό και μετά από 20 και 30 χρόνια φτάνουν στην στρατόσφαιρα, όπου φωτοδιασπώνται. Έτσι με την συνδρομή τής ηλιακής ακτινοβολίας ελευθερώνουν ελεύθερες ρίζες χλωρίου που αντιδρούν με άτομα οξυγόνου εμποδίζοντας τη παραγωγή όζοντος. Αυτές οι ενώσεις είναι εξαιρετικά σταθερές, διατηρούνται αναλλοίωτες καθ' όλη την διάρκεια τού ταξιδιού τους, φτάνουν στην Οζονόσφαιρα και εκεί λαμβάνουν μέρος σε φωτοχημικές αλυσιδωτές αντιδράσεις ελευθέρων ριζών. Δηλαδή ενώ αυτές καταστρέφουν το όζον, οι ίδιες δεν καταστρέφονται και η δράση τους αναπτύσσεται σε εξαιρετικά μακροχρόνιους κύκλους. Για το λόγω αυτό η καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος θεωρείται ότι θα συνεχιστεί για επόμενα 100 χρόνια περίπου, παρόλο που η χρήση και η εμπορία τους έχει απαγορευτεί από το έτος 2000. Μια απλοποιημένη παρουσίαση της δράσης των CFC φαίνεται στην εικόνα 2.7 [14].



Εικόνα 2.7: Αριστερά, οι συγκεντρώσεις όζοντος στην Αρκτική, δεξιά οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του χλωρίου, του κύριου παράγοντα που προκαλεί την τρύπα [45].

Αυτή η διαδικασία καταστροφής τού όζοντος είναι πολύ έντονη πάνω από την Ανταρκτική και κυρίως κατά τους ανοιξιάτικους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν πάνω από αυτή την ήπειρο του Νοτίου Πόλου. Κατά την διάρκεια του πολικού χειμώνα σχηματίζονται πάνω από την Ανταρκτική τα καλούμενα πολικά στρατοσφαιρικά σύννεφα (PSCs, Polar Stratospheric Clouds) σε απίστευτα χαμηλές θερμοκρασίες, μικρότερες από τους 80 βαθμούς κάτω απ' το μηδέν, λόγω τού ισχυρού ανέμου με το όνομα ανταρκτική δίνη (polar vortex) που απομονώνει την ήπειρο από τον υπόλοιπο κόσμο αποτρέποντας τον θερμό αέρα από τις τροπικές περιοχές να εισέλθει στην περιοχή. Τα νέφη αυτά, που είναι πλήρη παγοκρυστάλλων, έχει διαπιστωθεί ότι παίζουν σπουδαίο ρόλο στην καταστροφή τού στρατοσφαιρικού όζοντος αφού επάνω σε αυτά συσσωρεύονται τα προϊόντα αποικοδόμησης των χλωροφθορανθράκων που με γρήγορες αντιδράσεις οδηγούν στον σχηματισμό μορίων νιτρικού οξέος και χλωρίου, του οποίου την καταστρεπτική δράση προαναφέραμε.

Για πρώτη φορά η καταστροφή τού στρατοσφαιρικού όζοντος παρατηρήθηκε το 1975 και στα χρόνια που ακολούθησαν, συνεχίστηκε η δραματική του μείωση. Στην δεκαετία τού '80 η καταστροφή συνεχίστηκε, η «τρύπα» συνεχώς μεγάλωνε και τον Οκτώβριο τού 1994 είχε μείνει η μισή ποσότητα όζοντος και η «τρύπα» υπερκάλυψε την ήπειρο. Τον χειμώνα του 2000 κατέληξε να είναι τριπλάσια σε έκταση από τις Η.Π.Α. και έφτασε σε πολλές πόλεις στην νότια Χιλή και Αργεντινή. Ενώ οι μεγαλύτερες ποσότητες χλωροφθορανθράκων παράγονται στις ανεπτυγμένες χώρες του Βορείου Ημισφαιρίου, εν τούτοις πλήττονται από την μείωση τού όζοντος περιοχές τού Νοτίου Ημισφαιρίου. Βεβαίως υπάρχει επέκταση της καταστροφής σε μικρότερο όμως βαθμό και σε περιοχές του Βορείου Ημισφαιρίου. Έτσι από τα αποτελέσματα τού Ευρωπαϊκού προγράμματος "Θησέας" επιβεβαιώνεται η τάση μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και των δύο ημισφαιρίων με εντονότερη την τάση αυτή τον χειμώνα και την άνοιξη. Η Μεσόγειος, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδος, ανήκουν στην ζώνη υψηλού κινδύνου και είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην μείωση τού όζοντος λόγω μεγάλης ηλιοφάνειας. Σύμφωνα με το Κέντρο Χαρτογράφησης του στρατοσφαιρικού Όζοντος των Ηνωμένων Εθνών οι τιμές όζοντος μειώνονται σταθερά κατά 5% ανά δεκαετία, ενώ στην χώρα μας η αύξηση των επιβλαβών υπεριωδών ακτίνων κατά τα τελευταία 20 χρόνια έφτασε το 18%. Κατά την διάρκεια των πέντε πιο κρύων χειμώνων από το 1993 έως το 1997 υπήρξε μείωση των τιμών όζοντος πάνω από την Αρκτική και εξασθένηση της προστατευτικής ασπίδας αυτού για πολλές περιοχές τής Ευρώπης. Σύμφωνα με τους επιστήμονες το πρόβλημα είναι πολύ πιο ήπιο στο Βόρειο Ημισφαίριο χάρις στην ύπαρξη μεγάλων ορεινών όγκων, όπως τα Ιμαλάια, και γενικότερα λόγω της κατανομής της στεριάς υπέρ αυτού. Αντίθετα στο Ν. Ημισφαίριο

είναι περισσότερες οι θάλασσες. Έτσι αυτή η κατανομή σε στεριά και θάλασσα οδηγεί στην δημιουργία κυματισμών κατ' αρχήν στην Τροπόσφαιρα του Β. Ημισφαιρίου, που καλούνται κύματα πλανητικής κλίμακας ή μακρά κύματα. Τα κύματα αυτά διαδίδονται προς τα πάνω και θερμαίνουν την στρατόσφαιρα με την ενέργεια που μεταφέρουν και αποτρέπουν την δημιουργία των πολικών στρατοσφαιρικών κυμάτων στην Αρκτική, που όπως προαναφέραμε διευκολύνουν την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος. Πάντως με την απειλούμενη κλιματική αλλαγή ενδεχομένως να αλλάξουν τα πράγματα προς το χειρότερο και για όλο τον πλανήτη [14].



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

#### 3.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Για την διασφάλιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, έτσι ώστε να αποκλείονται δυσμενείς επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά και το υλικό περιβάλλον, έχουν θεσπιστεί από διάφορες χώρες η οργανισμούς πρότυπα ποιότητας αέρα. Ιδανικός στόχος για τις κατοικημένες περιοχές είναι, φυσικά η ίδια ποιότητα αέρα με τις μη ρυπασμένες περιοχές. [7].

Τα πρότυπα ποιότητας του αέρα εκφράζονται ως οριακές ή κατευθυντήριες τιμές. Οι οριακές είναι ανώτατες επιτρεπτές συγκεντρώσεις ρύπων για καθορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. ένα έτος, μια ημέρα, μια ώρα, κ.ά.). Ο στόχος των ορίων είναι κυρίως η προστασία της υγείας του ανθρώπου. Οι κατευθυντήριες τιμές εκφράζουν την επιθυμητή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, όπως αυτή καθορίζεται από συγκεκριμένους στόχους. Οι κατευθυντήριες τιμές ισχύουν για καθορισμένες χρονικές περιόδους, όπως και οι οριακές, και προορίζονται να χρησιμεύσουν για τη μακροπρόθεσμη πρόληψη σε θέματα υγείας και προστασίας του περιβάλλοντος, και ως σημεία αναφοράς για τη θέσπιση ειδικών καθεστώτων σε διάφορες περιοχές (π.χ. ζώνες προστασίας, βιομηχανία τροφίμων, νοσοκομεία, αρχαιολογικούς χώρους, κ.ά.) [7].

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) ονομάζει τα κριτήρια οδηγούς για την ποιότητα του αέρα και τα κατατάσσει σε τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες περιλαμβάνουν [7]:

α) Συγκεντρώσεις ρύπων και χρόνους έκθεσης μέχρι το όριο εκπομπής, για το οποίο –σύμφωνα με την υπάρχουσα ιατρική πληροφόρηση- παρατηρούνται έμμεσες ή άμεσες επιδράσεις (περιλαμβανομένης της αλλοίωσης των ανακλαστικών, καθώς και των αντιδράσεων προσαρμογής ή προστασίας).

β) Συγκεντρώσεις ρύπων και χρόνους έκθεσης μέχρι το όριο εκπομπής, για το οποίο υπάρχει πιθανότητα ερεθισμού των αισθητηρίων οργάνων, βλαβερές επιδράσεις στη βλάστηση, μείωση της ορατότητας κι άλλες «εχθρικές» προς το περιβάλλον επιδράσεις.

γ) Συγκεντρώσεις ρύπων και χρόνους έκθεσης μέχρι το όριο εκπομπής, για το οποίο υπάρχει πιθανότητα χειροτέρευσης ζωικών φυσιολογικών λειτουργιών ή εμφάνισης αλλαγών που μπορούν να οδηγήσουν σε χρόνιες ασθένειες και επιβράχυνση της ζωής.

δ) Συγκεντρώσεις ρύπων και χρόνους έκθεσης μέχρι το όριο εκπομπής, για το οποίο υπάρχει πιθανότητα ακαριαίας ασθένειας ή θανάτου σε ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού (βρέφη, ηλικιωμένοι, πάσχοντες από αναπνευστικά νοσήματα, κ.ά.).

Στην τελική διαμόρφωση των προτύπων υπεισέρχονται και άλλες παράμετροι, όπως η ατμοσφαιρική διασπορά κάθε τύπου, οι ατμοσφαιρικές χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα, και κυρίως, οικονομικές, τεχνικές και πολιτικές παράμετροι.

Στην Ελλάδα ισχύουν τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τα κράτη μέλη με βάση αποτελέσματα σχετικών μελετών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας ή άλλων αναγνωρισμένων ερευνητικών κέντρων. Τα όρια ή στόχοι αυτοί αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων. Τέτοια όρια έχουν θεσπιστεί για τους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια, καπνό, μολύβδο, βενζόλιο, αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο, βενζο(α)πυρένιο κ.ά.

Οι οδηγίες που έχουν εκδοθεί μέχρι σήμερα και αφορούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι:

-Οδηγία 2008/50/EK για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (KYA ΗΠ 14122/549/E103, ΦΕΚ 488B/30.3.11), η οποία

συσσωματώνει την 1996/62/EK και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/EK, 2000/69/EK και 2002/3/EK), όπως και την απόφαση 97/101/EK για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα.

-Οδηγία 2004/107/EK σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα πρότυπα ποιότητας του αέρα (όρια ή κατευθυντήριες τιμές) για κάθε ρύπο. Τα όρια αυτά δεν είναι οριστικά, αλλά μπορούν να αναθεωρηθούν π.χ. επίκειται μείωση του ορίου για το Pb, αφού η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του έχει ελαττωθεί σημαντικά με τη χρήση της αμόλυβδης βενζίνης. Παράλληλα γίνεται προσπάθεια για τη θέσπιση ορίων και για άλλους, μη θεσμοθετημένους ρύπους, οι οποίοι αποδεικνύεται ότι είναι επικίνδυνοι [7].

Πίνακας 3.1: Τιμές ορίων για το διοξείδιο του θείου [22].

	Οριακή τιμή
<b>Μέση ωριαία τιμή</b> , να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές το χρόνο.	<b>350 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Μέση ημερήσια τιμή</b> , να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο.	<b>125 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Όριο συναγερμού</b>	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από <b>500 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> για τρεις συνεχόμενες ώρες

Πίνακας 3.2.: Τιμές ορίων για τα αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{A}\Sigma_{10}$ ) [22].

	Οριακή τιμή
<b>Μέση ημερήσια τιμή</b> , να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο.	<b>50 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Μέση ετήσια τιμή</b>	<b>40 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας 3.3: Τιμές ορίων για τα αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{A}\Sigma_{2,5}$ )

	Ενδεικτικές οριακές τιμές, $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Οριακή τιμή $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Μέση ετήσια τιμή</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>25</b>
Τιμή-στόχος Έτος ισχύος 2010	<b>Μέση ετήσια τιμή 25 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>				

Πίνακας 3.4: Τιμές ορίων για το διοξείδιο του αζώτου [22].

	Οριακή τιμή
<b>Μέση ωριαία τιμή</b> , να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο.	<b>200 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Μέση ετήσια τιμή</b>	<b>40 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

<b>Όριο συναγερμού</b>	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από <b>400 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> για τρεις συνεχόμενες ώρες
------------------------	--

Πίνακας 3.5: Τιμές ορίων για μόλυβδο [22].

	Οριακή τιμή
<b>Μέση ετήσια τιμή</b>	<b>0,5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας 3.6: Τιμές ορίων για το όζον [22].

		Οριακή τιμή
Όριο ενημέρωσης	Μέση ωριαία τιμή	<b>180 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
Όριο συναγερμού	Μέση ωριαία τιμή	<b>240 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
Τιμή – στόχος για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Έτος έναρξης ισχύος τριετίας 2010	Μέγιστη ημερήσια μέση 8ωρη τιμή, της οποίας <b>δεν πρέπει</b> να σημειώνεται <b>υπέρβαση</b> περισσότερες από <b>25 φορές ανά έτος για διάστημα 3 ετών</b>	<b>120 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας 3.7: Τιμές ορίων για το μονοξειδίο του άνθρακα [22].

	Οριακή τιμή
<b>Μέση ημερήσια οκτάωρη τιμή</b>	<b>10 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας 3.8: Τιμές ορίων για βενζόλιο [22].

	Οριακή τιμή
<b>Μέση ετήσια τιμή</b>	<b>5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας 3.9: Τιμές στόχοι για το αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο και βενζο(α)πυρένιο. Οι τιμές στόχοι ισχύουν από 31.12.2012.

	Οριακή τιμή για			
	αρσενικό	κάδμιο	νικέλιο	Βενζο(α)πυρένιο
<b>Μέση ετήσια τιμή</b>	<b>6 <math>\text{ng}/\text{m}^3</math></b>	<b>5 <math>\text{ng}/\text{m}^3</math></b>	<b>20 <math>\text{ng}/\text{m}^3</math></b>	<b>1 <math>\text{ng}/\text{m}^3</math></b>

\* Μέση ετήσια τιμή συγκέντρωσης. Η μέση ετήσια τιμή προκύπτει από τη διαίρεση του αθροίσματος των έγκυρων ημερήσιων τιμών δια του αριθμού των ημερών, κατά τη διάρκεια των οποίων ελήφθησαν οι έγκυρες τιμές (10 τουλάχιστον συνεχείς ημέρες κάθε μήνα).

Τα διάφορα κράτη έχουν θεσπίσει επίσης, όρια που έχουν ισχύ μόνον σε ορισμένες περιοχές και έχουν στόχο την αντιμετώπιση της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έτσι, με την κυβερνητική ανακοίνωση «Μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της Αθήνας» (15/1/1982) θεσπίστηκαν όρια πάνω από τα, οποία είναι αναγκαία η εφαρμογή μέτρων (πίνακας 3.10). Τα όρια αυτά είναι γνωστά ως «όρια επιφυλακής». Όταν οι συγκεντρώσεις των ρύπων υπερβούν τα όρια επιφυλακής, τότε τίθενται σε ετοιμότητα οι αρμόδιες υπηρεσίες για ενημέρωση τόσο των πολιτών, όσο και των αρχών σχετικά με την κατάσταση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Αν οι συγκεντρώσεις των ρύπων ξεπεράσουν τα όρια «συναγερμού» και «έκτακτης ανάγκης» και συγχρόνως υπάρχει πρόβλεψη συνέχισης των συνθηκών, που συντελούν στη συσσώρευση της ρύπανσης, τότε λαμβάνονται διάφορα περιοριστικά μέτρα, ώστε να μειωθούν οι εκπομπές των ρύπων από τις διάφορες πηγές, ανάλογα με το ρύπο, ο οποίος έχει υπερβεί τα όρια [7].

Πίνακας 3.10: Τα όρια λήψης εκτάκτων μέτρων που ισχύουν για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας [22].

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ
Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> )	1 ώρα	Όριο συναγερμού: <b>400 μg/m<sup>3</sup></b> Υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	1 ώρα	Όριο συναγερμού: <b>500 μg/m<sup>3</sup></b> Υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Όζον (O <sub>3</sub> )	1 ώρα	Όριο συναγερμού: <b>240 μg/m<sup>3</sup></b> Υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες για εφαρμογή σχεδίων δράσης

Για να επιτευχθεί η ποιότητα του αέρα, όπως αυτή καθορίζεται από τα πρότυπα ποιότητας, απαιτείται έλεγχος στις πηγές εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα. Για το σκοπό αυτό θεσπίστηκαν τα πρότυπα εκπομπής (emission standards), τα οποία εκφράζουν ανώτατες επιτρεπτές συγκεντρώσεις ρύπων στο σημείο εκπομπής. Με το Προεδρικό Διάταγμα για την προστασία του περιβάλλοντος από τη βιομηχανική ρύπανση (ΦΕΚ Α 239/6-10-1981) καθοριστικά όρια εκπομπής για αρκετούς ρύπους, όπως τον καπνό, το φθόριο, τον ανόργανο μόλυβδο, το αρσενικό, το κάδμιο, τα αιωρούμενα σωματίδια, το υδροχλωρικό οξύ, το SO<sub>2</sub>, το NO<sub>2</sub>, το υδρόθειο, τον άνθρακα και τον αμιάντο [7].

Τα πρότυπα εκπομπής διακρίνονται σε γενικά και κλαδικά. Τα γενικά ισχύουν για όλες τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ενώ τα κλαδικά μόνο σε ορισμένους βιομηχανικούς κλάδους. Για παράδειγμα, ο κλάδος παραγωγής συσσωρευτών Pb έχει αυστηρότερο όριο εκπομπής σωματιδίων από τους άλλους κλάδους, επειδή τα σωματίδια που εκπέμπει είναι περισσότερο επιβλαβή με Pb.

Τα πρότυπα εκπομπής, συνήθως, εκφράζονται ως μάζα ή όγκος ρύπων ανα μονάδα όγκου των αερολυμάτων [7].

Τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας εσωτερικών χώρων αναφέρονται, κυρίως, στους χώρους εργασίας. Για αυτούς έχουν θεσπιστεί ανώτατες επιτρεπτές συγκεντρώσεις ρύπων, στους οποίους μπορούν οι εργαζόμενοι να εκτίθεται χωρίς κίνδυνο για την υγεία τους [7].

Οι οριακές αυτές τιμές εκφράζονται ως «μέγιστες συγκεντρώσεις σε χώρους εργασίας» (MAK-Werte, FRG), ως «τιμές μέγιστης επιτρεπτής έκθεσης» (PEL, OSHA/USA) ή ως «τιμές κατωφλίου» (TLV, ACGIH/USA). Η επιτροπή βιομηχανικών υγιεινολόγων των ΗΠΑ (ACGIH) προτείνει τρεις κατηγορίες τιμών TLV: TLV οροφής (ανώτατες), TLV- σύντομης έκθεσης και TLV- χρονικά σταθμισμένη. Η τελευταία είναι η μέση, χρονικά σταθμισμένη, τιμή της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης ενός ρύπου, στην οποία επιτρέπεται να εκτίθενται οι εργαζόμενοι για 8 ώρες την ημέρα επί 5 ημέρες την εβδομάδα. Η χρονικά σταθμισμένη TLV υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TLV = \frac{C_1 * t_1 + C_2 * t_2 + \dots + C_v * t_v}{t_1 + t_2 + \dots + t_v}$$

όπου  $C_1 \dots C_v$  είναι οι συγκεντρώσεις του ρύπου κατά τις χρονικές περιόδους  $t_1 \dots t_v$ , αντίστοιχα [7].

Για την ατμόσφαιρα των κατοικιών και γραφείων δεν έχουν θεσπιστεί ακόμη πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας, παρά μόνο για ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. για τη φορμαλδεΰδη, το ραδόνιο, κ.ά. [7].

Στον πίνακα 3.11 δίνονται οι χρονικά σταθμισμένες TLV για διάφορους ρύπους του εργασιακού περιβάλλοντος.

Περνάμε το περισσότερο χρόνο μας σε εσωτερικούς χώρους, όπου οι συγκεντρώσεις ρύπων με τα αόρατα χημικά κοκτέιλ και τα μικροβιακά φορτία να ξεπερνούν κατά πολύ τις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων. Τα αποτελέσματα της κακής ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε σε εσωτερικούς χώρους, (όπως αναφέρουν επιστήμονες) είναι η μείωση της παραγωγικότητας στο γραφείο ή χώρο εργασίας, οι κεφαλαλγίες και το τσούξιμο στα μάτια, οι αλλεργίες και το άσθμα, ακόμα και οι μόνιμες βλάβες στο πνευμονικό σύστημα κ.ά. [16].

Το πραγματικό πρόβλημα δημιουργείται όταν ο ρυπασμένος αέρας π.χ. με ραδόνιο ή κάποιο από τα θυγατρικά του προϊόντα, εισπνέεται. Λόγω του βάρους του, (είναι το πιο πυκνό γνωστό αέριο) από τη στιγμή της εισόδου του στους εσωτερικούς χώρους διασπάται σε μερικά θυγατρικά του ραδιενεργά προϊόντα που μπορεί να προσκολλώνται σε σωματίδια σκόνης και έτσι να συγκεντρώνονται στα χαμηλότερα επίπεδα, με αποτέλεσμα αργότερα να το βρίσκουμε σε μοκέτες-χαλιά, σαλόνια, στρώματα, δάπεδα και κατ' επέκταση σε αεραγωγούς, κλιματιστικά, κλπ [16].

Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται «σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου» κι έχει προκαλέσει σοβαρές παθήσεις, αλλά και θανάτους. Με πρώτο και βασικότερο παράγοντα το καρκινογόνο ραδόνιο. Το οποίο, μόνον στις ΗΠΑ, ευθύνεται για την απώλεια 15.000 ανθρώπων ετησίως, αφού έχει χαρακτηριστεί η δεύτερη αιτία θανάτου από καρκίνο του πνεύμονα, μετά το τσιγάρο. Οι καπνιστές, μάλιστα, που εκτίθενται στο συγκεκριμένο ραδιενεργό στοιχείο μέσα σε κλειστές αίθουσες έχουν δέκα φορές μεγαλύτερη πιθανότητα να νοσήσουν σε σχέση με τους μη καπνιστές [16, 17].

Το δηλητηριώδες αυτό αέριο είναι γνωστό εδώ και πολλές δεκαετίες στο εξωτερικό, ενώ στη χώρα μας πολύ πρόσφατα άρχισε να μας απασχολεί εντονότερα.

Από την πλευρά του Ελληνικού κράτους, ελάχιστα έχουν γίνει, τόσο για τον εντοπισμό του προβλήματος, όσο και προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισής του. Δεν θα ήταν υπερβολή αν λέγαμε ότι όλη η προσπάθεια πρέπει να ξεκινήσει από σχεδόν μηδενική βάση, πριν να είναι πολύ αργά [17].

Πίνακας 3.11.: Χρονικά σταθμισμένες TLV για διάφορους ρύπους του εργασιακού περιβάλλοντος [7].

Ουσία	ppm <sup>α</sup>	Ουσία	ppm <sup>α</sup>
Αιθανολαμίνη	3	2-εξανόνη	100
Αιθανόλη	1000	Ισοκυανικός μεθυλεστήρ	0,02
Αιθυλαιθέρας	400	Ιώδιο <sup>β</sup>	0,1
Αιθυλαμίνη	10	Καμφορά	2
Αιθυλενοδιαμίνη	10	Κροτοναλδεύδη	2
Αιθυλομερκαπτάνη	10	Μεθανόλη	200
Ακεταλδεύδη	200	Μεθυλομερκαπτάνη	10
Ακετόνη	1000	Μηλονικός ανυδρίτης	0,25
Ακετονιτρίλιο	40	Μυρμηκικό οξύ	5
Ακρολείνη	0,1	Όζον	0,1
Αλλυλοχλωρίδιο	1	Οξειδιο φθορίου	0,05
Αμμωνία	50	Οξικό οξύ	10
Αρσίνη	0,05	Πενταφθοριούχο θείο	0,025
Π-βενζοκινόνη	0,1	Πυριδίνη	5
Βενζυλοχλωρίδιο	1	Στιλβένιο	0,1
Βουτυλομερκαπτάνη	10	Τετρακαρβονυλονικέλιο	0,001
Βρώμιο	0,1	Τετραφαινύλια	1
Δεκαβοράνιο	0,05	Τριχλωριούχος φώσφορος	0,5
Διαζωμεθάνιο	0,2	Υδραζίνη	1
Διαιθυλαμίνη	25	Υδροσελήνιο	0,05
Διβοράνιο	0,1	Υδροχλώριο <sup>β</sup>	5
Διοξειδιο του αζώτου	5	Φθόριο	0,1
Διοξειδιο του θείου	5	Φωσγένιο	0,1
Διοξειδιο του χλωρίου	0,5	Φωσφίνη	0,1
Διφαινύλιο	0,2	Χλωροφόρμιο <sup>β</sup>	50

<sup>α</sup> Χρονικά σταθμισμένη τιμή (8 ώρες) εκτός αν υπάρχει διαφορετική σήμανση.

<sup>β</sup> Τιμή οροφής. Οι τιμές αυτές δεν επιτρέπεται να ξεπεραστούν σε καμία χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια του 8ωρου.

Τα καλά έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το «άρρωστο κτίριο» αντιμετωπίζεται σχεδόν με «ασπρίνη», αφού συχνά αρκεί ο καλός αερισμός. Ενώ ως προς το ραδόνιο η

μέτρησή του γίνεται εύκολα και αξιόπιστα και οι λύσεις αποκαθιστούν το πρόβλημα. Οι λύσεις ξεκινούν πρωτίστως από τον καλό αερισμό, περνούν σε κατασκευαστικές προτάσεις και καταλήγουν σε μέτρα που μπορούν να ληφθούν σε κάθε υπό ανέγερση κτίριο [17].

Φυσικά σημαντικό ρόλο στη ρύπανση εσωτερικών χώρων παίζουν και άλλοι παράγοντες ή πρακτικές που εφαρμόζονται στις καθημερινές δραστηριότητες, όπως οι λανθασμένες μέθοδοι καθαρισμού, όπου οι συγκεντρώσεις των ανακυκλωμένων ρύπων με τα σωματίδια της καμένης σκόνης να φτιάχνουν αόρατα χημικά κοκτέιλ με μικροβιακά φορτία. Στη χώρα μας όρια για τους ρύπους εσωτερικών χώρων δεν υφίστανται, ενώ και σε κοινοτικό επίπεδο η αρμόδια επιτροπή δεν έχει καταλήξει σε αποδεκτά όρια ασφαλείας στο εσωτερικό των κτιρίων. Στην Ελλάδα, οι Πανεπιστημιακές Έρευνες και μετρήσεις που αφορούν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα σε σπίτια γραφεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, αθλητικά κτίρια, νοσοκομεία, κ.λ.π. δείχνουν ότι πλήθος χημικών ουσιών αποτελούν μια διαρκή αόρατη απειλή για την υγεία μας [16].

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα έρευνας που έκανε πριν από λίγα χρόνια η Ομάδα Φυσικής Κτιριακού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, στο 75% με 80% των 1.100 κτιρίων που μετρήθηκαν, εντοπίστηκε τουλάχιστον ένας ρυπαντής πάνω από τα επιτρεπτά όρια που έχει θεσπίσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Στο 35% των περιπτώσεων εντοπίστηκαν δύο ρυπαντές πάνω από τα όρια και στο 15% βρέθηκαν τρεις έως τέσσερις ρυπαντές που ξεπερνούσαν τις διεθνώς αποδεκτές τιμές [17].

«Οι συνηθέστερες, και ίσως από τους πιο επικίνδυνους ρύπους, είναι οι λεγόμενες πτητικές οργανικές ενώσεις», επισήμανε στο πλαίσιο αυτής της έρευνας ο εκπρόσωπος της χώρας μας στην Ευρωπαϊκή Ένωση για θέματα εσωτερικού περιβάλλοντος και αναπληρωτής καθηγητής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Αθηνών Ματθαίος Σανταμούρης. Κι όπως εξήγησε: «Οι ενώσεις αυτές οφείλονται κυρίως σε προϊόντα καθαρισμού χαλιών, πλαστικά δάπεδα και συνθετικές μοκέτες, αλλά και σε αποσμητικά χώρου κ.ά. Ιδιαίτερα έχει ενοχοποιηθεί η γνωστή πια φορμαλδεΰδη, που χρησιμοποιείται σε υποκατάστατα ξύλου, όπως αυτά από τα οποία έχουν φτιαχτεί κατά καιρούς τα σχολικά θρανία. Ακολουθούν ο μόλυβδος και οι τοξικές ενώσεις που υπάρχουν σε χρώματα, σε βερνίκια ξύλων κ.ά.. Επικίνδυνοι ρύποι είναι επίσης τα διαλυτικά από κόλλες και το όζον που εκπέμπεται από φωτοτυπικά μηχανήματα και εκτυπωτές λέιζερ. Και βέβαια δεν πρέπει να παραλείψουμε τους ρύπους που εκπέμπονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, το διοξείδιο του άνθρακα που προκύπτει από το κάπνισμα, αλλά και από την ανάσα μας, και το οποίο αν και δεν βλάπτει την υγεία, εν τούτοις σε υψηλές συγκεντρώσεις μειώνει δραματικά την παραγωγικότητα των ανθρώπων και προκαλεί υπνηλία. Σε πολλά σχολεία μετρήθηκε σε τιμές τέσσερις και πέντε φορές επάνω από τα επιτρεπτά όρια» [17].

Η ανάγκη για την διατήρηση της καλής ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους δεν είναι μια δαπάνη ή μια πολυτέλεια αλλά μια υποχρέωση απέναντι στους συνανθρώπους μας και το περιβάλλον [16].

### 3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ – ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΚΙΟΤΟ

Το Δεκέμβριο του 1997 στο Κιότο, στην 3<sup>η</sup> σύνοδο των συμβαλλομένων μερών υιοθετήθηκε το πρωτόκολλο του Κιότο, με βάση τις διαδικασίες που προβλέπονται από τη σύμβαση. Το πρωτόκολλο είχε στόχο τη συνολική μείωση των εκπομπών των θερμοκηπιακών ρύπων τουλάχιστον κατά 5% την πενταετία 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για την επίτευξη του, τα ανεπτυγμένα κράτη-μέλη που υπέγραψαν το πρωτόκολλο είχαν υποχρέωση να μειώσουν τις εκπομπές 6 συνολικά θερμοκηπιακών αερίων και να μην υπερβούν τα όρια που τους είχαν τεθεί με βάση το πρωτόκολλο αυτό.

Η Ελλάδα υπέγραψε το πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα κράτη-μέλη τη Ε.Ε και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα κράτη-μέλη της Ε.Ε

επικύρωσαν το πρωτόκολλο του Κιότο στις 30 Μαΐου 2002. Η Ελλάδα το επικύρωσε με το νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α' 117). Με την απόφαση αυτή δεσμεύτηκε να περιορίσει την αύξηση των εκπομπών της στο +25% για το διάστημα 2008-2012, προκειμένου να συνεισφέρει στον κοινό στόχο της Ε.Ε για 8% μείωση των εκπομπών της για αυτό το χρονικό διάστημα. Για να ανταποκριθεί στη δέσμευση της αυτή, η χώρα μας εκπόνησε το εθνικό πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου για την περίοδο 2000-2010.

Το πρωτόκολλο είχε μια λεγόμενη «διπλή σκανδάλη» για να κατοχυρωθεί και να γίνει διεθνής δεσμευτικός νόμος. Αφενός χρειαζόταν να επικυρωθεί από τουλάχιστον το 55% των χωρών (αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες) και αφετέρου έπρεπε να αναλογεί τουλάχιστον το 55% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> στις βιομηχανικές χώρες που το επικυρώνουν. Το Νοέμβριο του 2004 η ρωσική κυβέρνηση επικυρώνει το πρωτόκολλο του Κιότο και εκπληρώνονται οι όροι της διπλής σκανδάλης. Το πρωτόκολλο του Κιότο απέκτησε διεθνή νομική ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005 μετά την υπογραφή της σύμβασης από το 55% των συμβαλλόμενων μελών-κρατών που ταυτόχρονα κάλυπταν τουλάχιστον το 55% των παγκόσμιων παραγόμενων εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα από αυτά.

Τα αέρια τα οποία πραγματεύεται το πρωτόκολλο, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), οι υδροφθοράνθρακες (HFC), οι πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (PFC) και το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>).

Το πρωτόκολλο του Κιότο, για την επίτευξη του στόχου, διαθέτει τους εξής «ευέλικτους μηχανισμούς»:

Α) Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου (εμπόριο ρύπανσης). Μια χώρα που έχει πετύχει το στόχο του πρωτοκόλλου μπορεί να προχωρήσει σε περαιτέρω μειώσεις των εκπομπών της και να «πουλήσει» αυτή τη μείωση σε άλλη χώρα που αντιμετωπίζει δυσκολίες στο να πετύχει το στόχο της. Το εμπόριο εκπομπών ισχύει μόνο μεταξύ των χωρών που έχουν δεσμευτεί νομικά να περιορίσουν τις εκπομπές τους, ισχύει δηλαδή για τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες συμπεριλαμβανομένης της Ρωσίας και της Ουκρανίας, όπου οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώθηκαν σημαντικά, λόγω της εντεινόμενης αποβιομηχάνισης των χωρών αυτών μετά την κατάρρευση της Σοβιετικής Ένωσης.

Β) Τα δάση ως «καταβόθρες άνθρακα». Τα δάση αποτελούν σημαντικό ρυθμιστικό παράγοντα της σύστασης της ατμόσφαιρας και συνεπώς ο ρόλος τους στην διαμόρφωση του κλίματος είναι καθοριστικός. Τα δάση, μαζί με τους ωκεανούς, θεωρούνται ως οι σημαντικότερες «καταβόθρες άνθρακα», ως οι κατ' εξοχήν φυσικοί μηχανισμοί που δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα.

Στο πρωτόκολλο υπάρχει συγκεκριμένη πρόβλεψη έτσι ώστε, όταν κάποιες χώρες ενισχύουν με τη δράση τους τη δέσμευση CO<sub>2</sub> από φυσικές καταβόθρες, οι δεσμευόμενες ποσότητες ρύπων να προσμετρούνται υπέρ των χωρών αυτών στο εθνικό «ισοζύγιο άνθρακα». Αυτό σημαίνει ότι εάν μια χώρα σχεδιάζει τη δημιουργία ενός καινούριου τεχνητού δάσους, τότε μπορεί να προσμετρήσει την ποσότητα του CO<sub>2</sub> που θα απορροφάται από αυτό το δάσος ως μείωση εκπομπών και να την αφαιρέσει από τις συνολικές της εκπομπές.

Γ) Δημιουργία μηχανισμού καθαρής ανάπτυξης. Ο τελικός στόχος αυτού του μηχανισμού είναι οι αναπτυσσόμενες χώρες να αναπτύξουν καθαρές τεχνολογίες για να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Ο μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης παρέχει ένα «κίνητρο», σύμφωνα με το οποίο οι βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες μπορούν να χρηματοδοτήσουν προγράμματα μεταφοράς τεχνογνωσίας στις αναπτυσσόμενες χώρες και ως αντιστάθμισμα να καρπωθούν μέρος της μείωσης των εκπομπών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, κερδίζουν «πόντους άνθρακα» που τους επιτρέπουν να αυξήσουν το δικό τους ισοζύγιο άνθρακα. Πρέπει όμως να διευκρινιστεί ότι η πυρηνική ενέργεια ή η καθαρότερη καύση του κάρβουνου δεν αποτελούν περιβαλλοντικά βιώσιμες λύσεις.



Δ) Από κοινού εφαρμογή προγραμμάτων. Παρεμφερές εργαλείο με τον μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης. Σε αντίθεση όμως με αυτόν αφορά χώρες που έχουν δεσμευτεί σε μειώσεις μέσω του πρωτόκολλου του Κιότο (όπως π.χ οι χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης).

Εξαιρετικής σημασίας θέμα επίσης αποτελεί και η συνέχιση του πρωτόκολλου του Κιότο κατά τη 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> περίοδο δεσμεύσεων (2013-2017 και 2018-2022 αντίστοιχα). Με δεδομένο ότι τα χρονικά περιθώρια για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών στενεύουν, οι κυβερνήσεις θα πρέπει να αποφασίσουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των ανεπτυγμένων κρατών κατά 35% έως το 2020.

Τον Ιανουάριο του 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε δεσμευτική νομοθεσία για τα κράτη μέλη της Ε.Ε. την υλοποίηση των στόχων 20-20-20. Η γνωστή ως «δέσμευση για το κλίμα και την ενέργεια», η οποία συμφωνήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο τον Δεκέμβριο του 2008 και έγινε νόμος τον Ιούνιο του 2009, περιλαμβάνει τα παρακάτω νομοθετήματα:

1. Την Οδηγία 2009/29/ΕΚ «για τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ με στόχο τη βελτίωση και την επέκταση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου της Κοινότητας»
2. Την απόφαση 406/2009/ΕΚ «περί των προσπαθειών των κρατών μελών να μειώσουν τις οικείες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ώστε να τηρηθούν οι δεσμεύσεις της Κοινότητας για μείωση των εκπομπών αυτών μέχρι το 2020»

Για να συμφέρει οικονομικά η επιδιωκόμενη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 20% έναντι των επιπέδων του μέχρι το 1990, το 2020, θα πρέπει να συμβάλουν στις μειώσεις των εκπομπών όλοι οι τομείς της οικονομίας. Συνεπώς, τα κράτη μέλη θα πρέπει να εφαρμόσουν πρόσθετες πολιτικές και μέτρα σε μια προσπάθεια περαιτέρω περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από πηγές που δεν καλύπτει η οδηγία 2003/87/ΕΚ. Τα δύο παραπάνω νομοθετήματα στοχεύουν στην επίτευξη του στόχου μείωσης των εκπομπών κατά 20%, στόχος που εξειδικεύεται σε μείωση κατά 21% στους τομείς του συστήματος εμπορίας και κατά 10% στους τομείς εκτός εμπορίας [12, 43-44].

### 3.3. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Λόγω της σημαντικής συνεισφοράς των οδικών μεταφορών στην παραγόμενη ατμοσφαιρική ρύπανση, ιδιαίτερα σε αστικά κέντρα, έχουν εφαρμοστεί διάφορες νομοθετικές και κυκλοφοριακές ρυθμίσεις.

#### 3.3.1 ΑΠΟΣΥΡΣΗ ΠΑΛΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Μία νομοθετική ρύθμιση που αφορούσε τα έτη 2010 και 2011 ήταν η απόσυρση των παλαιών και ρυπογόνων αυτοκινήτων με την παροχή οικονομικών κίνητρων για την αγορά καινούργιου αυτοκινήτου και αφορούσε την ενθάρρυνση για τον περιορισμό της ηλικίας των αποσυρόμενων αυτοκινήτων. Ειδικότερα για να επωφεληθεί κάποιος από το μέτρο αυτό, θα πρέπει να αποσύρει αυτοκίνητο με άδεια κυκλοφορίας 12ετίας και παλαιότερο, εάν είχαν καταβληθεί τα τέλη κυκλοφορίας του έτους, εντός του οποίου γίνεται η διαγραφή, αλλά και τυχόν οφειλομένων προηγούμενων ετών. [33].



Εικόνα 3.1.: Χώροι τοποθέτησης παλαιών αποσυρόμενων αυτοκινήτων [33].

Όποιος λοιπόν απόσυρε ένα παλαιό όχημα, σύμφωνα με τις παραπάνω προϋποθέσεις, ωφελείτο από την αγορά καινούργιου οχήματος με την κλιμακωτή μείωση του τέλους ταξινόμησης, ανάλογα με τον κυβισμό του καινούργιου αυτοκινήτου και τη φορολογητέα του αξία.

### 3.3.2 ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Μια άλλη σημαντική ενέργεια μείωσης του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα από τις οδικές μεταφορές ήταν η χρήση βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση τόσο στα Ιδιωτικής Χρήσεως αυτοκίνητα, όσο και στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Τα βιοκαύσιμα προέρχονται από οργανικά προϊόντα και ανήκουν στην κατηγορία ανανεώσιμων καυσίμων. Παράγονται κυρίως από ενεργειακές καλλιέργειες φυτών αλλά και από ποικιλία ανακυκλωμένων ελαίων και έχουν τόσο οπαδούς, όσο και αντιπάλους. Το μεγάλο τους προσόν είναι ότι εκπέμπουν σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, ενώ παράλληλα, επειδή προέρχονται κυρίως από φυτά, αναπτύσσουν τη γεωργική οικονομία μιας χώρας και μειώνουν την εξάρτηση της από το πετρέλαιο [34].

Η Ελλάδα εφαρμόζοντας την Κοινοτική οδηγία 2009/28/EK απορρόφησης ανανεώσιμων καυσίμων από το 2010 διαθέτει αποκλειστικά πετρέλαιο κίνησης αναμειγμένο με 6,5 % κ.β. βιοντίζελ. Υπό αυτό το πρίσμα, αποκτά ιδιαίτερη σημασία το γεγονός ότι από την 1η Ιανουαρίου του 2011 ξεκίνησε η διάθεση νέων βιοκαυσίμων στην Ευρώπη και, ειδικότερα, αμόλυβδης βενζίνης E10, η οποία περιέχει βιοαιθανόλη, που προέρχεται κυρίως από καλλιέργειες καλαμποκιού ή σιταριού. Βιοκαύσιμο αμόλυβδης βενζίνης προηγούμενου τύπου E5 προσφέρεται από πλευράς Ευρώπης, στην Αυστρία, στη Γαλλία, στη Δανία, στην Ιρλανδία και τέλος στη Σουηδία, όπου μάλιστα είναι και η μοναδική αμόλυβδη που υπάρχει. Ο νέος τύπος βιοκαυσίμου E10 διατίθεται λοιπόν από τις αρχές της χρονιάς, ενώ η E5 επιτρέπεται να πωλείται μέχρι και το 2013 [34]. Σε ό,τι αφορά στη βενζίνη και ειδικά στους τύπους που προαναφέραμε, η προδιαγραφή E5, που υπάρχει αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη, αφορά σε αμόλυβδη βενζίνη με 5% κ.β. βιοαιθανόλη, ενώ ο νέος τύπος αυξάνει αυτό το ποσοστό στο 10% και άρα έχουμε να κάνουμε με ακόμη πιο οικολογικό καύσιμο. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι η αμόλυβδη βενζίνη E10 δεν είναι

συμβατή με όλους τους κινητήρες βενζίνης. Ο περιορισμός στη χρήση της αφορά συνήθως σε παλαιότερους κινητήρες κατασκευής πριν από το 2000, ενώ αρκετές είναι οι περιπτώσεις εταιρειών όπου το νέο καύσιμο είναι συμβατό για αυτοκίνητα ηλικίας έως και 20-25 ετών. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα της βιοαιθανόλης στη βενζίνη, απαιτούνται ειδικές επεμβάσεις στους κινητήρες των διαφορετικών μοντέλων αυτοκινήτων, ώστε να λειτουργήσουν με το βιοκαύσιμο. [34].

Εκτός Ευρώπης τα βιοκαύσιμα είναι ακόμη πιο διαδεδομένα και με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε βιοαιθανόλη. Είναι χαρακτηριστικό ότι η Βραζιλία διαθέτει αποκλειστικά αμόλυβδη E20-E25 (δηλ. με αιθανόλη σε ποσοστό 20-25% κ.β.), ενώ στην Ταϊλάνδη προσφέρεται αποκλειστικά αμόλυβδη E10-E20 [34].



Εικόνα 3.2.: Αντλία καύσιμου, που δίνει επιλογή για πλήρωση του ρεζερβουάρ με διάφορους τύπους καυσίμων [34].

### 3.3.3 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΥΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ -ΠΡΟΤΥΠΑ EURO

Προκειμένου να περιοριστεί ή ατμοσφαιρική ρύπανση από τις οδικές μεταφορές, Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει πρότυπα εκπομπών σωματιδιακών και αέριων ρύπων και έγκρισης κυκλοφορίας οχημάτων, τα ονομαζόμενα Euro πρότυπα, ήδη από το 1992 που εφαρμόστηκε το πρώτο (Euro 1). Στο πίνακα 3.12 καταγράφονται τα διαφορετικά πρότυπα που έχουν εφαρμοστεί από το 1992 έως σήμερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση μειώνοντας τις εκπομπές των ρύπων.

Το νέο πρότυπο Euro 6 θα είναι ένα ακόμη σημαντικό βήμα ως προς αυτοκίνητα που δεν ρυπαίνουν και έτσι, δεν βλάπτουν τον άνθρωπο και το περιβάλλον του. Ουσιαστικά, με την εξέλιξη της τεχνολογίας των εναλλακτικών μορφών κίνησης, υπάρχουν αρκετά αυτοκίνητα με μηδενικούς ρύπους, όμως μέχρι αυτό να γίνει καθολικά, σε όλα τα αυτοκίνητα, απαιτούνται πολλά ακόμη χρόνια [32].

Πίνακας 3.12.: Πρότυπα Ευρωπαϊκής Ένωσης για εκπομπές ρύπων επιβατικών αυτοκινήτων [32].

Πρότυπο	Ημερομηνία ισχύος για εγκρίσεις τύπου	Ημερομηνία ισχύος για ταξινομήσεις	Ανώτατα όρια ρύπων (γρ./χλμ.)				
			CO	HC	NOx	HC+NOx	PM
<b>Κινητήρες Πετρελαίου</b>							
Euro 1	Ιούλιος 1992	Ιούλιος 1992	2,72	-	-	0,97	0,14
Euro 2	Ιανουάριος 1996	Ιανουάριος 1996	0,64	-	-	0,7	0,08
Euro 3	Ιανουάριος 2000	Ιανουάριος 2000	0,5	-	0,5	0,56	0,05
Euro 4	Ιανουάριος 2005	Ιανουάριος 2005	0,5	-	0,25	0,3	0,025
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	Ιανουάριος 2011	0,5	-	0,18	0,23	0,005
Euro 6	Σεπτέμβριος 2014	Σεπτέμβριος 2015	0,5	-	0,08	0,17	0,005
<b>Κινητήρες Βενζίνης</b>							
Euro 1	Ιούλιος 1992	Ιούλιος 1992	2,72	-	-	0,97	-
Euro 2	Ιανουάριος 1996	Ιανουάριος 1996	2,2	-	-	0,5	-
Euro 3	Ιανουάριος 2000	Ιανουάριος 2000	2,3	0,2	0,15	-	-
Euro 4	Ιανουάριος 2005	Ιανουάριος 2005	1,0	0,1	0,08	-	-
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	Ιανουάριος 2011	1,0	0,1	0,06	-	0,005*
Euro 6	Σεπτέμβριος 2014	Σεπτέμβριος 2015	1,0	0,1	0,06	-	0,005*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 **ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**

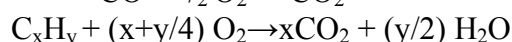
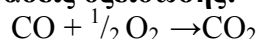
### 4.1 ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Το 60% (και πλέον) της ρύπανσης που εκπέμπει ένα αυτοκίνητο στο περιβάλλον προέρχεται από την εξάτμιση. Η ραγδαία αύξηση του πλήθους των αυτοκινήτων τις τελευταίες δεκαετίες, συνεπάγεται την αύξηση των εκπεμπόμενων προς το περιβάλλον ρύπων. Οι κύριοι ρύποι που θα εξέλθουν από τις μηχανές εσωτερικής καύσης είναι το CO, τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), άκαυστοι και μερικά οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες (VOC<sub>s</sub> - πτητικές οργανικές ενώσεις) και τα αιωρούμενα σωματίδια [2].

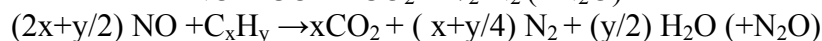
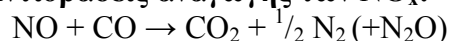
Καταλυτικός μετατροπέας είναι μια συσκευή που τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων των αυτοκινήτων και έχει ως σκοπό την μετατροπή των εκπεμπόμενων ρύπων σε αβλαβή για την ατμόσφαιρα καυσαέρια, όπως H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> και CO. Το CO<sub>2</sub> είναι αβλαβές αέριο εφόσον δεν έχει τοξικές ιδιότητες στην υγεία, παρόλο που είναι γνωστή η συνεισφορά του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου) [2].

Οι πιθανές χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στον καταλυτικό μετατροπέα είναι πολλές και η πραγματοποίηση πολλών εξ'αυτών εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Οι κυριότερες αντιδράσεις καταστροφής ρύπων που επιτελούνται σε ένα καταλυτικό μετατροπέα είναι οι ακόλουθες [2]:

**(i) Αντιδράσεις οξείδωσης:**



**(ii) Αντιδράσεις αναγωγής των NO<sub>x</sub>:**



Οι αντιδράσεις αναγωγής των NO<sub>x</sub> αφορούν την ταυτόχρονη μετατροπή δυο ρύπων, αλλά συγχρόνως οδηγούν σε ένα μικρό ποσοστό, στην δημιουργία N<sub>2</sub>O, το οποίο αν και δεν είναι τοξικό σε μικρές ποσότητες, γνωρίζουμε τις διάφορες επιδράσεις του στην ατμόσφαιρα (όπως για παράδειγμα την συνεισφορά του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος). Βέβαια το ποσοστό N<sub>2</sub>O που θα παραχθεί από αυτές τις αντιδράσεις εξαρτάται από αυτό που ονομάζουμε N<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>O-εκλεκτικότητα των χρησιμοποιούμενων καταλυτικών συστημάτων. Ορίζεται από την σχέση:

$$S_{\text{N}_2/\text{N}_2\text{O}} = \Gamma_{\text{N}_2} / \Gamma_{\text{N}_2} + \Gamma_{\text{N}_2\text{O}}$$

Όπου  $\Gamma_{\text{N}_2}$  και  $\Gamma_{\text{N}_2\text{O}}$  είναι οι ρυθμοί με τους οποίους παράγονται το N<sub>2</sub> και το N<sub>2</sub>O αντίστοιχα [2].

Η ιστορία των καταλυτικών μετατροπέων είναι κάπως πρόσφατη. Η πρώτη τους εμφάνιση έγινε στις ΗΠΑ περίπου το 1974, μετά από μια δια νόμου, απαίτηση της μείωσης των εκπομπών των υδρογονανθράκων και του CO στην Καλιφόρνια την δεκαετία του 1960. Η Ευρώπη άρχισε να εμπλέκεται στην παραγωγή και την χρήση τους μόλις το 1984, ενώ στην Ελλάδα άρχισαν να παρουσιάζονται το 1987. Αυτά τα χρόνια η χρήση τους συνεχώς επεκτεινόταν λόγω φυσικά των περιορισμών που θεσπίστηκαν από τα διάφορα κράτη, αλλά και λόγω της τροποποίησης της βενζίνης, με τη χρήση αμόλυβδης. Σήμερα, το μεγαλύτερο ποσοστό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν, αλλά και το σύνολο αυτών που παράγονται είναι καταλυτικά: χρησιμοποιούν δηλαδή στις εξαμίσεις τους

καταλυτικούς μετατροπείς. Ωστόσο και η εξέλιξη των καταλυτικών μετατροπέων συνεχίζεται ραγδαία, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων στην απόδοσή τους, εφόσον οι κανόνες και περιορισμοί που θέτονται είναι συνεχώς αυστηρότεροι [2].

Η ιστορία των καταλυτικών μετατροπέων πέρασε από τα ακόλουθα στάδια [2].:

- (1) Ξεκίνησαν από τους ονομαζόμενους *οξειδωτικούς* ή *διοδικούς καταλυτικούς μετατροπείς* που σκοπό είχαν την αντιμετώπιση κυρίως των CO και των υδρογονανθράκων μέσω των αντιδράσεων οξείδωσης.
- (2) Πέρασαν στους καταλύτες *διπλής κλίσης*, όπου ο οξειδωτικός καταλυτικός μετατροπίας συνδυάζεται και με ένα αναγωγικό που καλείται να αντιμετωπίσει και τα οξείδια του αζώτου διαμέσου των αντιδράσεων αναγωγής των NO<sub>x</sub>.
- (3) Σήμερα έχουμε περάσει σε μια νέα γενιά τριοδικών καταλυτικών μετατροπέων μιας κλίσης οι οποίοι πρωτοεμφανίστηκαν το 1979 κι επιτυγχάνουν την ταυτόχρονη μετατροπή όλων των ρύπων. Τους ονομάζουμε *τριοδικούς καταλυτικούς μετατροπείς* (Three Way Converters, TWC). Αντίστοιχα, η χημεία των καταλυτικών αντιδράσεων ταυτόχρονης μετατροπής των ρύπων έχει καθιερωθεί με την ονομασία τριοδική καταλυτική χημεία (Three Way Catalytic Chemistry).

Ο τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας αποτελείται κυρίως [2]:

(i) Από ένα μεταλλικό εξωτερικό περίβλημα

(ii) Από έναν κεραμικό, συνήθως, μονόλιθο. Ο μονόλιθος έχει κυψελοειδή μορφή με διαμήκη κανάλια, μέσα από τα οποία διέρχονται τα καυσαέρια. Ο αριθμός των καναλιών ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες (περίπου 400 κανάλια/in<sup>2</sup>). Το υλικό κατασκευής του μονόλιθου είναι ο κορδιερίτης, ένα ιδιαίτερα θερμοανθεκτικό υλικό με σχεδόν μηδενικό συντελεστή θερμικής διαστολής. Ενίοτε κυκλοφορούν και καταλυτικοί μετατροπείς με σφαιρίδια ή μεταλλικό έλασμα ως υπόστρωμα, αλλά σε μικρότερη έκταση.

(iii) Από μια ενδιάμεση επίστρωση (wash coat): Πάνω στον μονόλιθο υπάρχει μια επίστρωση (wash coat) σε ποσότητα περίπου 20% v/v, στην οποία είναι υποστηριγμένες οι καταλυτικά ενεργές φάσεις. Ως ενδιάμεση επίστρωση επιλέγεται συνήθως η γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, υλικό που διαθέτει μεγάλη επιφάνεια (της τάξης των 100-200 m<sup>2</sup>/g) για να διασπαρθούν με την βέλτιστη δυνατή διασπορά οι ενεργές φάσεις. Στο στρώμα της γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> είναι συχνή και η χρησιμοποίηση ενισχυτών (όπως π.χ CeO<sub>2</sub>, BaO, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO) για την σταθεροποίηση αλλά και την αύξηση της δραστηριότητας των ενεργών φάσεων.

(iv) Από τις καταλυτικά ενεργές φάσεις. Ο τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας χρησιμοποιεί ως καταλυτικά ενεργές φάσεις τα μέταλλα Pt, Pd και Rh ή συνδυασμό από αυτά.

(v) Από τον λήπτη λάμδα (λ): Είναι ένας, ηλεκτροχημικού τύπου, αισθητήρας οξυγόνου, ο οποίος ελέγχει συνεχώς την συγκέντρωση του οξυγόνου στα καυσαέρια. Κατόπιν, με την βοήθεια ενός ηλεκτρονικού συστήματος, γίνεται αυτόματη ρύθμιση στην αναλογία καύσιμου προς αέρα στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα (καρμπιρατέρ), για την βελτιστοποίηση της διεργασίας καύσης του κινητήρα και της λειτουργίας του μετατροπέα.

Το κάθε μέταλλο σε ένα καταλυτικό μετατροπέα, συνεισφέρει στις αντιδράσεις καταστροφής των ρύπων που πρέπει να επιτελέσει ο καταλυτικός μετατροπέας.

Ο λευκόχρυσος (Pt) είναι έξοχος καταλύτης για την μετατροπή του CO και των υδρογονανθράκων διαμέσου των αντιδράσεων οξείδωσης, αλλά εμφανίζει ασήμαντη δραστηριότητα και πολύ χαμηλή N<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>O-εκλεκτικότητα για τις αντιδράσεις αναγωγής των NO<sub>x</sub>. Είναι πολύ ανθεκτικότερος των άλλων δύο ευγενών μετάλλων σε δηλητηρίαση (απενεργοποίηση) από διάφορες προσμίξεις που εμπεριέχουν τα καυσαέρια.

Το παλλάδιο (Pd) είναι ένας καλός καταλύτης οξείδωσης του CO και ακόμα καλύτερος για την οξείδωση των υδρογονανθράκων. Η αναγωγική του δράση δεν είναι

τόσο άσχημη όσο του λευκόχρυσου, εντούτοις δεν είναι επαρκής για να αποτελέσει την επιθυμητή λύση. Ωστόσο, η δυνατότητα διασπαστικής ρόφησης των οξειδίων του αζώτου από το Pd, ελέγχεται από την θερμοκρασία και ευνοείται στα όρια των κρυστάλλων. Υπάρχουν τρόποι βελτίωσης της απόδοσης του σε τέτοιες αντιδράσεις. Εφόσον όμως το παλλάδιο είναι το πιο φθηνό από τα άλλα ευγενή μέταλλα που έχει ένας καταλυτικός μετατροπέας, το ερευνητικό και πρακτικό ενδιαφέρον για την επέκταση της χρήσης του είναι υψηλό.

Το ρόδιο (Rh) είναι το συστατικό κλειδί για την διάσπαση των οξειδίων του αζώτου, εφόσον έχει την ικανότητα της σχεδόν ολοκληρωτικής διασπαστικής ρόφησης του NO, εμφανίζοντας έτσι ισχυρή δραστηριότητα στις αντιδράσεις αναγωγής των NO<sub>x</sub>. Μάλιστα, η N<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>O-εκλεκτικότητα που επιτυγχάνει, προσεγγίζει το 100%. Ωστόσο είναι πολύ σπανιότερο (περίπου 1:15) των άλλων ευγενών μετάλλων (Pt, Pd) στη φύση, με αποτέλεσμα να είναι και σημαντικά ακριβότερο. Κάθε ενέργεια που θα οδηγούσε σε μερική ή ολική αντικατάσταση του στον καταλυτικό μετατροπέα - χωρίς αυτό φυσικά να σημαίνει μείωση της απόδοσης του μετατροπέα - θα έχει τεράστια οικονομικά οφέλη. Η μείωση της χρήσης του από περιβαλλοντικής άποψης θα ήταν πολύ επιθυμητή, εφόσον θα αποφεύγαμε την διατάραξη άλλης μιας ισορροπίας της φύσης (ο κύριος καταναλωτής Rh σήμερα είναι ο καταλυτικός μετατροπέας που το χρησιμοποιεί σε πολύ διαφορετικά ποσοστά, Rh:Pt = 1:5 από αυτά που υποδεικνύει η φύση ~1:15) (Πίνακας 4.1) [2].

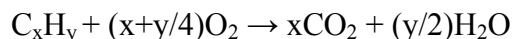
Πίνακας 4.1: Η αναλογία των ευγενών μετάλλων στα ορυκτά της N. Αφρικής [2].

Ορυχείο	Pt	Pd	Rh
Merensky	19,6	8,3	1
UG	5,2	4,4	1
Platreef	14	15,3	1

Υπάρχουν και άλλα ευγενή μέταλλα που εμφανίζουν έξοχες ιδιότητες στις αντιδράσεις αναγωγής των NO<sub>x</sub>. Ωστόσο για διαφορετικούς λόγους η χρήση του κάθε ενός από αυτά κρίνεται απαγορευτική. Για παράδειγμα, το ιρίδιο (Ir) είναι πολύ καλός καταλύτης (καλύτερος και από το Rh) για την αναγωγή του NO σε N<sub>2</sub> ιδιαίτερα σε οξειδωτικά περιβάλλοντα. Η σπανιότητα του όμως δεν μας επιτρέπει ούτε να σκεφτούμε την χρήση του. Αν μάλιστα συνδυαστεί κα με το γεγονός ότι αυτό σχηματίζει με ευκολία πτητικά οξείδια που γρήγορα θα οδηγήσουν στην εξαφάνιση του από τον μετατροπέα, η χρήση του γίνεται πλέον απαγορευτική [2].

Το ρουθίνιο (Ru) είναι επίσης ένας καλός καταλύτης αναγωγής του NO προς N<sub>2</sub>, αλλά κυρίως σε αναγωγικά περιβάλλοντα που δεν είναι επιθυμητά λόγω απώλειας καυσίμου. Ένα επίσης μειονέκτημα του είναι ο ευχερής σχηματισμός πτητικών οξειδίων του ρουθηνίου που κάνουν το χρόνο παραμονής του στο μετατροπέα σύντομο [2].

Η εγκατάσταση του τριοδικού καταλυτικού μετατροπέα στο αυτοκίνητο συνοδεύεται από ένα ειδικό κλειστό σύστημα ελέγχου που απαρτίζεται από τον λήπτη λάμδα (λ) και ένα ηλεκτρονικό σύστημα, με το οποίο γίνεται συνεχής ρύθμιση του λόγου αέρα/καυσίμου στον κινητήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλή καύση στον κινητήρα δε συνδυασμό με την βέλτιστη λειτουργία του μετατροπέα. Το σύστημα διατηρεί στον κινητήρα την ανάμιξη αέρα καυσίμου σε στοιχειομετρική αναλογία. Ο στοιχειομετρικός λόγος βάρους αέρα-καυσίμου υπολογίζεται με βάση την αντίδραση τέλει καύσης ενός υδρογονάνθρακα C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, που υποθέτουμε ότι αντιπροσωπεύει όλο το καύσιμο:



Ο λόγος  $x/y$  αντιστοιχεί στην μέση αναλογία αριθμού ατόμων άνθρακα και υδρογόνου στο καύσιμο. Για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη πράξη, ο στοιχειομετρικός λόγος  $A/F$  είναι περίπου ίσος με 14,7 (δηλαδή κάτι μεταξύ των μοριακών τύπων  $C_7H_{13}$  και  $C_7H_{14}$ ) [2].

Το πηλίκο της πραγματικής προς την στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου το ονομάζουμε δείκτη  $\lambda$  (ή λόγο αδυναμίας  $\lambda$ ):

$$\lambda = (A/F)/(A/F)_{\text{stoic}}$$

Για  $\lambda > 1$  το μίγμα χαρακτηρίζεται φτωχό (σε καύσιμο), ενώ για  $\lambda < 1$  πλούσιο. Από τον μετατροπέα επιτυγχάνεται πλήρης μετατροπή του CO και των υδρογονανθράκων σε συνθήκες περίσσειας αέρα, δηλαδή για  $\lambda > 1$ , ενώ αντίθετα μια τέτοια κατάσταση δεν ευνοεί τις αναγωγικές αντιδράσεις λόγω ανταγωνιστικής διάθεσης του οξυγόνου προς το NO. Η απομάκρυνση των NO<sub>x</sub> ευνοείται σε  $\lambda < 1$  (αναγωγικές συνθήκες). Οι τριοδικό καταλυτικοί μετατροπείς αυτορυθμίζονται ώστε να λειτουργούν σε μία περιοχή του  $\lambda$  κοντά στην τιμή 1, με μια ελαφρά διάθεση προς την πλευρά του πλούσιου μίγματος ( $\lambda < 1$ ). Η περιοχή αυτή ονομάζεται παράθυρο  $\lambda$  (Lambda window) [2].

Ο λήπτης  $\lambda$  (Lambda sensor) που είναι εγκατεστημένος στην είσοδο του καταλυτικού μετατροπέα, ανιχνεύει το O<sub>2</sub>, και σε κάθε απόκλιση από την στοιχειομετρική αναλογία ( $\lambda = 1$ ) ενεργοποιεί αυτόματα μια μεταβολή στην ανάμιξη αέρα-καυσίμου στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα για την σχετική διόρθωση.

Η λειτουργικότητα των καταλυτικών μετατροπέων συνηθίζεται να παρουσιάζεται σε διαγράμματα θερμοκρασίας έναυσης (Light-off temperature). Αυτά απεικονίζουν την μετατροπή των ρύπων σαν συνάρτηση θερμοκρασίας. Ονομάζουμε δε, θερμοκρασία έναυσης, την θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε 50% μετατροπή του ρύπου. Είναι προφανές ότι όσο καλύτερος είναι ένας καταλυτικός μετατροπέας, τόσο χαμηλότερη θα είναι η τιμή των θερμοκρασιών έναυσης που επιτυγχάνει [2].

Η λειτουργικότητα (απόδοση) ενός καταλυτικού μετατροπέα υποβαθμίζεται με τον χρόνο για δύο κυρίως λόγους [2]:

(α) εξαιτίας της σταδιακής δηλητηρίασης (απενεργοποίησης) των δραστικών μετάλλων, και

(β) εξαιτίας της θερμικής γήρανσης.

Η δηλητηρίαση οφείλεται στην κατασταλτική δράση ορισμένων στοιχείων που υπάρχουν στα καύσιμα, όπως ο φώσφορος (P), ο μόλυβδος (Pb), το θείο (S), το μαγγάνιο (Mn), ο άνθρακας, κ.ά., τα οποία προσροφώνται ισχυρά στην ενεργή επιφάνεια των ευγενών μετάλλων προκαλώντας, συν το χρόνο, σημαντική ελάττωση της καταλυτικά ενεργής επιφάνειας και έτσι μείωση της απόδοσης του καταλύτη. Ο φώσφορος (P) περιέχεται σε μικρές ποσότητες στα καύσιμα (περίπου 0,002-0,1 mg/l), αλλά παράγεται και από την κατανάλωση των λαδιών της μηχανής, όπου βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες (1,2 g/l). Η αμόλυβδη βενζίνη περιέχει μόλυβδο (Pb) σε μικρές ποσότητες (περίπου 1 mg/l), ενώ θείο περιέχεται επίσης στα καυσαέρια υπό μορφή SO<sub>2</sub> σε συγκέντρωση περίπου 20 ppm θείο. Το μαγγάνιο είναι πρόσθετο της βενζίνης με σκοπό την βελτίωση των αντικροτικών (anti-knock) ιδιοτήτων της [2].

Η λειτουργία ενός καταλυτικού μετατροπέα σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλεί σοβαρή υποβάθμιση της απόδοσης του. Οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν την σύντηξη (συσσωμάτωση) των κρυσταλλιτών των ευγενών μετάλλων, και έτσι την ελάττωση της ενεργής επιφάνειας του καταλύτη. Μάλιστα ευνοείται και μια κραματοποίηση του Rh με το Pd, όπου το προκύπτον κράμα εμφανίζει σημαντικά μειωμένη δραστηριότητα και



εκλεκτικότητα στις σχετικές αντιδράσεις. Θερμοκρασίες λειτουργίας μεγαλύτερες από 900°C προκαλούν σε μικρό χρονικό διάστημα εκτεταμένες καταστροφές στον καταλύτη.

Η επιστήμη της Περιβαλλοντικής κατάλυσης δραστηριοποιείται με ενδιαφέρον στην ανάπτυξη νέων καταλυτικών συστημάτων που θα έχουν ενισχυμένη απόδοση και εκλεκτικότητα για τις αντιδράσεις αναγωγής των οξειδίων του αζώτου, σε τέτοιο βαθμό που θα ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στα συνεχώς αυστηρότερα όρια που θεσπίζονται. Από την άλλη πλευρά επιδιώκουμε τα νέα αυτά τεχνολογικά προϊόντα να είναι οικονομικότερα των υπαρχόντων. Δεν είναι υπερβολή αν πούμε ότι κάθε χρόνο καταγράφονται περισσότερες από 50 δημοσιεύσεις προσπαθειών ανεύρεσης νέων αποδοτικότερων καταλυτικών συστημάτων και περίπου 5 νέες πατέντες στον τομέα.

Οι προσπάθειες κυρίως εντοπίζονται στις παρακάτω κατευθύνσεις [2]:

(i) Στην ενίσχυση των καταλυτικών ιδιοτήτων των ευγενών μετάλλων σε αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος στον καταλυτικό μετατροπέα με την χρήση ενεργών φορέων.

(ii) Στην ενίσχυση των καταλυτικών ιδιοτήτων των ευγενών μετάλλων με την χρήση προωθητών.

(iii) Χρήση πρόσθετων ουσιών στο wash coat (εμπλουτισμός (doping) φορέα) που επαυξάνουν την ενεργότητα, αντοχή και εκλεκτικότητα των ευγενών μετάλλων.

(iv) Ανεύρεση εντελώς νέων καταλυτών (κατά προτίμηση μη ευγενών μετάλλων).

#### 4.2 ΑΝΤΙΠΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

Ο έλεγχος της ρύπανσης που προέρχεται από στατικές πηγές εκπομπής (βιομηχανικές μονάδες) ποικίλει τόσο, όσο σχεδόν και οι υπάρχουσες βιομηχανικές διεργασίες. Κάθε βιομηχανία έχει εκπομπές ανάλογες της παραγωγικής διαδικασίας και του χρησιμοποιούμενου καυσίμου και τα συστήματα ελέγχου θα πρέπει να σχεδιαστούν ως αντίστοιχα.

Οι κύριες διεργασίες διαχωρισμού και απομάκρυνσης αέριων ρύπων που χρησιμοποιούνται γενικώς στην βιομηχανία είναι: (i) η απορρόφηση με υγρά, (ii) η προσρόφηση με στερεούς προσροφητές, (iii) η συμπίκνωση και (iv) η χημική μετατροπή με καυστήρες ή καταλυτικά φίλτρα (καταλυτικοί μετατροπέες) [2].

Η διεργασία της **απορρόφησης** είναι καλά γνωστή από την χρήση της στην βιομηχανία για τον διαχωρισμό των πρώτων υλών αλλά και των παραγόμενων προϊόντων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε πολλές περιπτώσεις και για την απομάκρυνση αέριων ρύπων. Η απορρόφηση των ρύπων επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα επιλεγμένο υγρό έκπλυσης (ή διαλύτη) σε πύργους απορρόφησης με πληρωτικά υλικά ή βαθμίδες ισορροπίας. Οι ρύποι που συνηθίζεται να ελέγχονται με απορρόφηση είναι το διοξείδιο του θείου, το υδροθείο, το υδροχλώριο, το χλώριο, η αμμωνία, σε μερικές περιπτώσεις τα οξείδια του αζώτου, καθώς και οι υδρογονάνθρακες χαμηλού σημείου βρασμού [2].

Η επιλογή του υγρού έκπλυσης γίνεται ανάλογα με το αέριο που επιθυμούμε να απομακρύνουμε. Η διαλυτότητα του αερίου στον υγρό διαλύτη πρέπει να είναι υψηλή έτσι ώστε να απαιτούνται λογικές ποσότητες διαλύτη. Ο διαλύτης πρέπει να έχει χαμηλή τάση ατμών για να μην υπάρχουν απώλειες. Πρέπει να είναι μη διαβρωτικός, φθηνός, μη τοξικός, μη εύφλεκτος, χημικά σταθερός και να έχει χαμηλό σημείο πήξης. Το νερό είναι ο πιο δημοφιλής διαλύτης που χρησιμοποιείται σε συσκευές απορρόφησης. Αυτό σε συνδυασμό με ένα οξύ ή μια βάση μπορεί να παρουσιάσει βελτιωμένη απόδοση στην απομάκρυνση ενός συγκεκριμένου αερίου. Παράδειγμα, για την κατακράτηση διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιείται συνήθως υδατικό διάλυμα  $\text{Ca(OH)}_2$ , ενώ το διοξείδιο του θείου είναι εύκολα διαλυτό επίσης σε αλκαλικά διαλύματα και έτσι χρησιμοποιούνται συχνά διαλύματα που περιέχουν αμμωνία ή αμίνες.

Το χλώριο, το υδροχλώριο, το υδροφθόριο, είναι παραδείγματα αερίων ευδιάλυτων σε νερό. Σε αυτήν την περίπτωση το νερό είναι πολύ αποτελεσματικό για τον έλεγχο τους. Για πολλά χρόνια το υδρόθειο απομακρυνόταν από αέρια δυλιστηρίων με χρήση διαιθανολαμίνης.

Οι ατμοί ελαφρών υδρογονανθράκων σε δυλιστήρια πετρελαίου απορροφώνται υπό πίεση σε υγρή βενζίνη και ανακτώνται. Επειδή πολλοί από τους ρύπους της χημικής βιομηχανίας έχουν και κάποια οικονομική σημασία, καταφεύγουμε συχνά στην ανάκτηση τους από τους διαλύτες στους οποίους έχουν απορροφηθεί [2].

Η **προσρόφηση** αερίων ρυπαντών προτιμάται όταν τα αέρια αυτά έχουν διάθεση εκλεκτικής ρόφησης στην επιφάνεια πορωδών στερεών. Η διεργασία μπορεί να είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο μοριακών δυνάμεων (φυσική ρόφηση), αν και κατά κύριο λόγο συμβαίνει μια επιφανειακή χημική αντίδραση τύπου χημειορόφησης, όταν το αέριο και ο προσροφητής έρθουν σε επαφή.

Τα στερεά υλικά που χρησιμοποιούνται ως προσροφητές είναι συνήθως πολύ πορώδη με εξαιρετικά μεγάλους λόγους επιφάνειας προς βάρος ( $100-2000 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Τυπικά παραδείγματα στερεών προσροφητών είναι οι ενεργοί άνθρακες ( $600-2000 \text{ m}^2/\text{g}$ ), η  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  ( $100-200 \text{ m}^2/\text{g}$ ) και η síλικά  $\text{SiO}_2$  ( $200-600 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Ο ενεργός άνθρακας, για παράδειγμα, είναι άριστος για απομάκρυνση ελαφρών υδρογονανθράκων, η síλικά  $\text{SiO}_2$  καθώς είναι ένα πολικό υλικό, έχει άριστη συμπεριφορά στην προσρόφηση πολικών αερίων (είναι χαρακτηριστική η χρήση της στην κατακράτηση υδρατμών), ορισμένοι τύποι ζεόλιθων προσροφούν εκλεκτικά το  $\text{CO}_2$  και υδρογονάνθρακες [2].

Οι στερεοί προσροφητές πρέπει να έχουν αντοχή σε θραύση και να αναγεννιούνται ώστε να επαναχρησιμοποιούνται μετά τον κορεσμό τους από τα μόρια αερίων. Με την αναγέννηση του προσροφητή ανακτούμε ταυτόχρονα τα ροφημένα αέρια που πιθανόν να έχουν και κάποια οικονομική αξία.

Η απόδοση των περισσότερων προσροφητών είναι πολύ κοντά στο 100% στην έναρξη της λειτουργίας και παραμένει εξαιρετικά υψηλή σχεδόν μέχρι ο προσροφητής να κορεστεί πλήρως από το ροφούμενο είδος. Σε αυτό το σημείο ο προσροφητής πρέπει να ανανεωθεί ή να αναγεννηθεί.

Σε πολλές περιπτώσεις ο πιο επιθυμητός (λόγω ευκολίας) τρόπος ελέγχου εκροών ατμών πτητικών ουσιών μπορεί να γίνει με **συμπύκνωση**. Οι συμπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν πριν από άλλες συσκευές ελέγχου ρύπανσης ώστε να απομακρύνουν συμπυκνώσιμα συστατικά. Οι λόγοι που τους χρησιμοποιούμε είναι: (i) η ανάκτηση πολύτιμων οικονομικά προϊόντων, (ii) η απομάκρυνση συστατικών που μπορεί να είναι διαβρωτικά και να καταστρέφουν τα άλλα μέρη του συστήματος και (iii) η ελάττωση του όγκου των αερίων εκροής [2].

Παρότι η συμπύκνωση μπορεί να επιτευχθεί είτε μειώνοντας την θερμοκρασία είτε αυξάνοντας την πίεση, στην βιομηχανική πρακτική γίνεται κατά προτίμηση με μείωση μόνο της θερμοκρασίας.

Τέλος, η **χημική μετατροπή** ρύπων σε μη ρυπογόνα υλικά είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον έλεγχο των οργανικών αερίων εκπομπών, την οξειδωση των εύφλεκτων συστατικών προς νερό και διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και για ποικίλες άλλες εφαρμογές όπου ένας ρύπος μπορεί μέσω κάποιας χημικής αντίδρασης να μετατραπεί σε μη-τοξικό συστατικό. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η αναγωγή των  $\text{NO}_x$  βιομηχανικών εκπομπών σε καταλυτικά φίλτρα, όπου εκμεταλλευόμαστε την αντίδραση των  $\text{NO}_x$  με αμμωνία για μετατροπή και των δυο σε αβλαβές  $\text{N}_2$  [2].

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την χημική μετατροπή ρύπων είναι δυο γενικών τύπων: (i) καυστήρες φλόγας, όπου τα αέρια οξειδώνονται σε ένα θάλαμο ψεκασμού στην θερμοκρασία αυτογενούς ανάφλεξης ή πάνω από αυτήν και (ii) καταλυτικά φίλτρα, όπου τα αέρια οξειδώνονται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες απ' το σημείο αυτανάφλεξης [2].

Οι καυστήρες βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στον έλεγχο αερολυμάτων (αεροζόλ), ατμών και οσμών. Τα καταλυτικά φίλτρα χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στην βιομηχανία για τον έλεγχο των ατμών διαλυτών και των εκπομπών οργανικών ατμών από βιομηχανικούς φούρνους, καθώς και για τον έλεγχο των H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, κ.ά.. Ήδη αναφέρθηκε και η εκτεταμένη εφαρμογή τους στα αυτοκίνητα.

Το κύριο πλεονέκτημα των καταλυτικών φίλτρων είναι η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 300-500 °C), κάτι που έχει θετικές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ως μειονέκτημα μπορούμε να αναφέρουμε το συχνά υψηλό κόστος του καταλύτη. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα περισσότερα καταλυτικά συστήματα υπάρχει μια βαθμιαία απώλεια δραστηριότητας εξαιτίας της δηλητηρίασης του καταλύτη, έτσι ο καταλύτης πρέπει να αντικαθίσταται σε τακτικά διαστήματα. Άλλες μεταβλητές που επηρεάζουν τον σωστό σχεδιασμό και την λειτουργία των καταλυτικών συστημάτων είναι οι ταχύτητες ροής των αερίων (που εκφράζονται μέσω των χρόνων παραμονής), η έκταση της δραστηρικής επιφάνειας του καταλύτη (που συνήθως εκφράζεται μέσω της διασποράς), και η θερμοκρασία προθέρμανσης που είναι απαραίτητη για την πλήρη μετατροπή των υπό έλεγχο αερίων. Μετά την έναυση, οι καταλύτες αυτοσυντηρούνται θερμικά από τον εξώθερμο χαρακτήρα των αντιδράσεων που επιτελούν [2].

Ο έλεγχος των στατικών πηγών ρύπανσης του αέρα απαιτεί την εφαρμογή των τεχνικών ή των συσκευών ελέγχου που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Σε μερικές περιπτώσεις, για να επιτευχθεί ικανοποιητικός έλεγχος είναι απαραίτητη η χρήση περισσότερων του ενός συστημάτων ή συσκευών, που θα συνοδεύεται από ένα σχεδιασμό κατάλληλης αλληλουχίας και συνεργίας αυτών. Τρεις βασικές μέθοδοι προσέγγισης του προβλήματος είναι:

(i) η μετατροπή της βιομηχανικής διεργασίας σε μια λιγότερο ρυπαντική διεργασία ή ριζική τροποποίηση της υπάρχουσας, σε διεργασία χαμηλότερων εκπομπών ρύπων μέσω αλλαγών στην λειτουργία της,

(ii) η αλλαγή του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας από την βιομηχανία, με καύσιμο το οποίο θα δίνει τα επιθυμητά επίπεδα εκπομπών (π.χ. αντικατάσταση του άνθρακα από φυσικό αέριο), και

(iii) η εγκατάσταση εξοπλισμού ελέγχου.

Εφόσον αυτό είναι εφικτό, είναι πάντα προτιμητέο να ελέγχουμε τις εκπομπές εν τω γεννάστε, δηλ. στην πηγή εκπομπής, ίσως πριν αυτές να εμφανιστούν, παρά να προσπαθήσουμε να βρούμε εκ των υστέρων λύσεις.

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζεται συγκριτικά το κόστος των αντιρρυπαντικών τεχνολογιών αερίων ρυπαντών στη βιομηχανία.

Πίνακας 4.2: Σύγκριση βιομηχανικών συστημάτων απομάκρυνσης αερίων ρύπων [2].

Σύστημα	Κόστος εγκατάστασης (\$/m <sup>3</sup> )	Ετήσιο κόστος λειτουργίας (\$/m <sup>3</sup> )
Συμπυκνωτήρας	28,00	14,00
Απορροφητής	10,40	28,00
Εκπλυτής (για την κατακράτηση σωματιδίων)	9,80	14,00
Καυστήρας	8,20	8,40+καύσιμο
Καταλυτικό φίλτρο	11,60	28,00+καύσιμο

#### 4.3 ANTIΠΡΥΠΙΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η σωματιδιακή ύλη παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στην κατανομή μεγέθους σωματιδίων, στο σχήμα, στη χημική σύσταση, στο ειδικό βάρος, στην πυκνότητα, στην ευθραυστότητα, στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, στην συνοχή, στο υγροσκοπικότητα και κολλώδη μορφή κ.τ.λ. Η επιλογή του εξοπλισμού για την αφαίρεση της σκόνης περιπλέκεται ακόμα περισσότερο από την ποσότητα και την ποιότητα του επεξεργαζόμενου αερίου.

Εξαιτίας αυτών των απεριόριστων μεταβλητών, το πρώτο βήμα στην επιλογή του εξοπλισμού για την αφαίρεση της σκόνης είναι η αναγνώριση του προβλήματος καθαρισμού του αερίου και η δυνατότητα καθαρισμού του με τους τέσσερις βασικούς τύπους εξοπλισμού που είναι εμπορικά διαθέσιμοι [2].:

- (i) Μηχανικοί συλλέκτες
- (ii) Εκπλυτές, ή υγροί συλλέκτες, ή πλημμυρίδες, ή απλώς υγρά φίλτρα
- (iii) Υφασμάτινα φίλτρα ή σακόφιλτρα
- (iv) Ηλεκτροστατικοί συλλέκτες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα

##### **(i) Μηχανικοί Συλλέκτες**

Το ειδικό βάρος της σωματιδιακής ύλης στις βιομηχανικές εκπομπές είναι τυπικά μία με δύο χιλιάδες φορές μεγαλύτερο του ειδικού βάρους του αερίου που το εμπεριέχει. Οι **μηχανικοί συλλέκτες** εκμεταλλεύονται αυτή τη διαφορά στο ειδικό βάρος, για να διαχωρίσουν τη βαριά σωματιδιακή ύλη από το ελαφρύτερο αέριο. Βασικοί τύποι των μηχανικών συλλεκτών είναι [2]:

1. Οι βαρυτικοί συλλέκτες
2. Οι συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία
3. Οι κυκλώνες υψηλής απόδοσης

##### **Βαρυτικοί συλλέκτες**

Ο συλλέκτης αυτός υποβιβάζει την ταχύτητα του αερίου σε ταχύτητα ικανή για καθίζηση και για επαρκές χρονικό διάστημα ώστε να μπορέσει να κατακαθίσει η βαρύτερη (από το αέριο) σωματιδιακή ύλη, υπό την επίδραση της βαρύτητας, μέσα σε χοάνες από όπου απομακρύνεται περιοδικά. Οι ταχύτητες καθίζησης κυμαίνονται από 20-200 m/min.

Το μοναδικό μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι η πολύ χαμηλή του απόδοση σε λεπτόκοκκη και μέτρια σωματιδιακή ύλη. Έτσι, εάν η κατακράτηση των λεπτόκοκκων σωματιδίων κρίνεται απαραίτητη, η χρήση αυτού του συστήματος είναι μειονεκτική.

Πίνακας 4.3: Η αξιολόγηση του βαρυτικού συλλέκτη στα βασικότερα χαρακτηριστικά του [2].

Βασικά χαρακτηριστικά	Αξιολόγηση
Μέγεθος	Πολύ μεγάλο
Κόστος εγκατάστασης	Χαμηλό
Ενεργειακό κόστος	Πολύ χαμηλό
Κόστος συντήρησης	Χαμηλό
Απόδοση	Πολύ χαμηλή
Αξιοπιστία	Εξαιρετική
Απόδοση σε χαμηλά φορτία	Αυξάνει
Απόδοση σε υπερβολικά φορτία	Μειώνεται

### Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία

Το αέριο για να καθαριστεί στους συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία εισάγεται με μεγάλη ταχύτητα σε οριζόντιο εκτροπέα αποτελούμενο από οπές, οι οποίες απέχουν περίπου 1,5 cm μεταξύ τους. Για να περάσει ανάμεσα από τις οπές και να φθάσει στο θάλαμο καθαρού αερίου στην έξοδο, το ακάθαρτο αέριο πρέπει να κάνει μια ξαφνική, υψηλής ταχύτητας, στροφή. Τα αέρια που έχουν χαμηλό ειδικό βάρος κάνουν πολύ εύκολα αυτήν την απότομη στροφή. Αντίθετα, η βαρύτερη σωματιδιακή ύλη, λόγω αδράνειας, δεν μπορεί να ακολουθήσει αυτή την πορεία και συγκρατείται κάτω από τον εκτροπέα μέχρις ότου παγιδευτεί στον υποδοχέα σωματιδιακής ύλης. Η σκόνη μεταφέρεται με φθίνουσα ταχύτητα και καθιζάνει μέσα στη χοάνη του συλλέκτη (όπως σε ένα θάλαμο βαρυτικής καθίζησης).

Παρόλο που η απόδοση του είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του βαρυτικού συλλέκτη, και αυτή η τεχνολογία δεν είναι επαρκής ώστε να αντιμετωπίσει λεπτόκοκκο φορτίο σκόνης, εκτός αν χρησιμοποιηθεί σαν προ-καθαριστής αερίου και κατόπιν ακολουθήσει ένας αποδοτικότερος συλλέκτης, κάτι που συνηθίζεται στην πράξη.

Πίνακας 4.4: Η αξιολόγηση του συλλέκτη εκτροπής με ανακυκλοφορία στα βασικότερα χαρακτηριστικά του [2].

Βασικά χαρακτηριστικά	Αξιολόγηση
Μέγεθος	Μικρό
Κόστος εγκατάστασης	Χαμηλό
Ενεργειακό κόστος	Χαμηλό
Κόστος συντήρησης	Χαμηλό
Απόδοση	Χαμηλή
Αξιοπιστία	Εξαιρετική
Απόδοση σε χαμηλά φορτία	Μειώνεται
Απόδοση σε υπερβολικά φορτία	Αυξάνεται ελάχιστα

### Κυκλώνες υψηλής απόδοσης

Οι κυκλώνες υψηλής απόδοσης, οι οποίοι είναι φυγόκεντροι συλλέκτες και συχνά ονομάζονται κυκλώνες, διαχωρίζουν λεπτόκοκκη (κατά προτίμηση) σωματιδιακή ύλη από ένα φέρον αέριο, μετασχηματίζοντας την ταχύτητα του ρεύματος εισόδου σε μία κατερχόμενη εξωτερική δίνη και μία ανερχόμενη εσωτερική δίνη, και οι δύο περιορισμένες στο πάνω εσωτερικό μέρος του κυλίνδρου και στο κάτω εσωτερικό μέρος του κώνου του κυκλώνα. Η γρήγορα περιστρεφόμενη καθοδική δίνη κατακρατά τα βαρύτερα σωματίδια στα τοιχώματα του κυκλώνα με την ανάπτυξη της φυγόκεντρου δύναμης και τα εναποθέτει στην χοάνη συλλογής, από όπου απομακρύνονται περιοδικά. Η ανοδική εσωτερική δίνη του καθαρισμένου αερίου εγκαταλείπει τον κυκλώνα διαμέσου ενός κυλίνδρου που βρίσκεται στην κορυφή του κυκλώνα.

Η μορφή της ροής σε έναν κυκλώνα μπορεί να είναι από απλή μέχρι πολύπλοκη, εξαρτώμενη από πολλές μεταβλητές, όπως π.χ. ο τύπος της εισόδου, οι αναλογίες των διαστάσεων, και άλλα.

Εξαιτίας της απλότητας, αξιοπιστίας και υψηλής απόδοσής του, ο κυκλώνας έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τα τελευταία εκατό χρόνια. Για να επιτευχθεί μια επιθυμητή λειτουργία, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ εκατοντάδων τύπων συλλεκτών σωματιδιακής ύλης που χρησιμοποιούν την γενική αρχή λειτουργίας του κυκλώνα. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι που κυκλοφορούν είναι τρεις:

- (i) Κυκλώνες μικρής διαμέτρου με πτερύγια
- (ii) Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιελισσόμενη είσοδο

(iii) Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιερισσόμενη είσοδο και εκχυτήρα λεπτοκόκκων σωματιδίων

Καθένας από τους παραπάνω, ευρέως χρησιμοποιούμενους, τύπους έχει από κατασκευής του μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα και είναι διαθέσιμος σε ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων και αναλογιών, οι οποίες και καθορίζουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του. Είναι σημαντικό να γίνει προσεκτική επιλογή ώστε να μεγιστοποιήσουμε τα πλεονεκτήματα και να ελαχιστοποιήσουμε τα μειονεκτήματα, εφ' όσον αυτά σχετίζονται με την κάθε εφαρμογή. Τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται παρακάτω είναι κοινά για τους παραπάνω τρεις τύπους κυκλώνων, οι οποίοι διαφέρουν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο το ακάθαρτο αέριο εισάγεται στον κύλινδρο.

(α) Απόδοση: Όλοι οι συλλέκτες τύπου κυκλώνα έχουν μία χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης, σύμφωνα με την οποία η απόδοση του κυκλώνα μειώνεται έντονα κάτω από κάποιο μέγεθος σωματιδίων.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση, και ο τρόπος με τον οποίο την επηρεάζουν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.5: Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση κυκλώνων [2].

Αύξηση σε	Επίδραση σε απόδοση
Ειδικό βάρος σκόνης	Αύξηση
Ιξώδες αερίου (θερμοκρασία)	Μείωση
Επιφάνεια σκόνης	Μείωση
Φορτίο σκόνης	Αύξηση
Ταχύτητα εισόδου	Αύξηση

(β) Απώλεια ενέργειας ροής (πτώση πίεσης): Οι περισσότεροι κυκλώνες λειτουργούν σε ταχύτητες εισόδου 900-1.200 m/min. Η απαιτούμενη ενέργεια, «απώλεια ενέργειας», είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας εισόδου. Όταν εισάγουμε ατμοσφαιρικό αέρα, η απώλεια θα είναι μεταξύ 100-150 mm στήλης H<sub>2</sub>O. Αυτή η απώλεια εκφράζεται ως διαφορά στατικής πίεσης (πτώση πίεσης) ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο. Σε αέρια υψηλότερων θερμοκρασιών και χαμηλότερης πυκνότητας παρουσιάζονται χαμηλότερες απώλειες.

(γ) Δυναμικότητα: Ο σχεδιασμός κάθε κυκλώνα αντιπροσωπεύει έναν συμβιβασμό ανάμεσα σε τρεις παράγοντες: απόδοση, απώλεια ενέργειας ροής και μέγεθος. Σε γενικές γραμμές οι υψηλότερες αποδόσεις απαιτούν υψηλότερες απώλειες ενέργειας ροής (μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας), ή μεγαλύτερο μέγεθος κυκλώνα ή και τα δύο. Με σκοπό να βελτιωθούν οι κυκλώνες υψηλής απόδοσης, όσον αφορά τη χρήση τους σε βιομηχανικές εφαρμογές, μερικοί κατασκευαστές έχουν αφιερώσει αρκετά χρόνια μελέτης και έρευνας στην ανάπτυξη νέων τύπων κυκλώνων.

Μια αλλαγή στις διαστάσεις του κυκλώνα ή στην ακτίνα θα επηρεάσει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Κατασκευαστικές μεταβολές και η επίδραση του στην απόδοση του κυκλώνα [2].

Αύξηση διάστασης του κυκλώνα σε	Απόδοση	Απώλεια ενέργειας	Δυναμικότητα
Επιφάνεια εισόδου	μειωμένη	αυξημένη	αυξημένη
Μήκος κυλίνδρου	αυξημένη	ίδια	ίδια
Μήκος κώνου	αυξημένη	ίδια	ίδια
Διάμετρος κυλίνδρου	μειωμένη	ίδια	ίδια

Διάμετρος εξόδου	μειωμένη	ίδια	αυξημένη
Διεισδυτικότητα φίλτρου εξόδου	αυξημένη	αυξημένη	ίδια

### **(iii) Εκπλυτές**

Οι **εκπλυτές** (υγρά φίλτρα) χρησιμοποιούν ένα υγρό, συνήθως νερό, για να παγιδεύσουν και να απομακρύνουν σωματιδιακή ύλη (αλλά πιθανόν και διαλυτά αέρια) από ένα ρέον ρεύμα. Το υγρό εισέρχεται σε ένα ειδικό θάλαμο υπό μορφή ψεκασμού.

Το ακάθαρτο αέριο επιβραδύνεται στο στόμιο εισόδου, περνάει μέσα από την δίνη που προκαλείται από την δίνη που προκαλείται από τη δύναμη των ψεκαστών, έπειτα διέρχεται από τον τομέα απομάκρυνσης της ομίχλης (κατακράτηση υγρών σταγονιδίων), και επιταχύνεται στο στόμιο εξόδου για να ανακτήσει ξανά την ταχύτητα εισόδου.

Η απομάκρυνση επιτυγχάνεται κυρίως με την σύγκρουση ανάμεσα σε ένα σωματίδιο σκόνης και μια σταγόνα νερού, με αποτέλεσμα τη δέσμευση του πρώτου από τη δεύτερη. Η συλλογή των σωματιδίων από τα σταγονίδια του υγρού προκαλείται από τους ακόλουθους μηχανισμούς [2]:

- Πρόσκρουση των μεγαλύτερων σωματιδίων σκόνης στις σταγόνες
- Σύλληψη λόγω διάχυσης των λεπτών σωματιδίων
- Ηλεκτροστατικές δυνάμεις
- Θερμικές κλίσεις
- Συμπύκνωση υγρασίας σε σωματίδια

Οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν ως αποτέλεσμα το σωματίδιο, δεσμευμένο πλέον από μία σταγόνα νερού, να γίνεται μεγαλύτερο και βαρύτερο. Αυτή η αύξηση στο μέγεθος και το βάρος βοηθάει στη διαδικασία συλλογής και απομάκρυνσης των σωματιδίων από τις δυνάμεις βαρύτητας, αδράνειας ή και φυγόκεντρες δυνάμεις (ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του υγρού φίλτρου).

Οι σταγόνες λιμνάζουν στον πυθμένα απελευθερώνοντας τη σκόνη, η οποία, έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό, καθιζάνει και σχηματίζει λάσπη που περιοδικά αντλείται.

Κατά την έξοδο των αερίων συνδυάζονται (μέσω ειδικής κατασκευής) οι δυνάμεις αδράνειας και βαρύτητας, ώστε τα σταγονίδια να προσκρούουν στην επιφάνεια του λιμνάζοντος υγρού και να απομακρυνθεί η ομίχλη που διαφεύγει από τον θάλαμο ψεκασμού.

Το υγρό, αφού καθαριστεί ευχερώς ώστε να αποφευχθούν προβλήματα διάβρωσης των εγκαταστάσεων, μπορεί να ανακυκλωθεί. Ο θάλαμος ψεκασμού μπορεί να περιέχει και διαφράγματα πρόσκρουσης και εκτροπής της ροής που αυξάνουν την απόδοση του υγρού φίλτρου. Έχει αναπτυχθεί μια μεγάλη ποικιλία υγρών φίλτρων (εκπλυτών) που συνδυάζουν το σχεδιασμό του κυκλώνα υπό ταυτόχρονο ψεκασμό ή την χρήση διαβρεχόμενων σακόφιλτρων μέσα στον θάλαμο ψεκασμού [2].

### **(iv) Σακόφιλτρα**

Τα **σακόφιλτρα** είναι συλλέκτες με τις περισσότερες εφαρμογές στην απομάκρυνση ξηρών (άνυδρων) σωματιδίων από ένα ρεύμα εκπομπών. Διατίθεται μια μεγάλη ποικιλία εμπορικών σακόφιλτρων. Σε όλα αυτά τα φίλτρα η σκόνη κατακρατείται από την μια πλευρά του υφάσματος (από αυτή που εισάγεται το πλούσιο σε σωματίδια αέριο), ενώ από τα διάκενα του υφάσματος διαπερνά το καθαρό αέριο. Σε ένα τυπικό εμπορικό σακόφιλτρο αυτά τα διάκενα είναι των διαστάσεων των 100 μm. Ένας συλλέκτης αυτών των χαρακτηριστικών μπορεί να παγιδεύσει σωματίδια τόσο μικρά όσο ~0,5 μm.

Η ικανότητα του φίλτρου να συλλέγει τόσο λεπτόκοκκο υλικό είναι ένα αποτέλεσμα της συνεχούς ενίσχυσης αυτής της ικανότητας από ένα πορώδες στρώμα σωματιδίων που σχηματίζεται στην πλευρά συλλογής. Αυτό το στρώμα, το οποίο λέγεται κρούστα ή πλάκα

του φίλτρου, φράσσει σταδιακά τα μεγαλύτερα σε διαστάσεις διάκενα και αιχμαλωτίζει όλο και πιο λεπτά σωματίδια.

Στα φίλτρα στα οποία χρησιμοποιούνται πιο συμπαγή υφάσματα, η εξάρτηση της απόδοσης από την πλάκα είναι μικρότερη. Τα φίλτρα αυτού του τύπου δεν μπορούν να καθαριστούν αποτελεσματικά με ένα απλό τίναγμα και πρέπει να καθαρίζονται συχνά με ανάστροφο αέριο ρεύμα υψηλής πίεσης.

Οι φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι προκαλούν το σχηματισμό της πλάκας, είναι κυρίως οι ακόλουθοι [2]:

- Συσσωρευση λεπτόκοκκου υλικού που κινείται αντίθετα προς το ρεύμα
- Ενσφήνωση των μεγαλύτερων σωματιδίων στις ίνες με διήθηση
- Διάχυση σωματιδίων μέσα από τις ίνες (αυτά τα σωματίδια έχουν διαστάσεις μικρότερες από 1  $\mu\text{m}$ )
- Ηλεκτροστατική έλξη και άπωση
- Θερμικές επιδράσεις
- Χονδρό κοσκίνισμα από το ύφασμα
- Λεπτό κοσκίνισμα από την πλάκα του φίλτρου

#### **(v) Ηλεκτροστατικά φίλτρα**

Το **ηλεκτροστατικό φίλτρο** εφευρέθηκε το 1910 από τον Frederic Garder Cottrell του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια. Οι ηλεκτροστατικές συσκευές κατακρήμνισης (ESPs) εφαρμόζονται σε μία μεγάλη ποικιλία προβλημάτων καθαρισμού αερίων με αποδόσεις συλλογής που φτάνουν τα 99,9%, χωρητικότητες έως 120.000  $\text{m}^3/\text{min}$  και σε θερμοκρασίες επεξεργάσιμου αερίου έως 550°C.

Μια συσκευή ESP διαχωρίζει τα σωματίδια ύλης από ένα ρεύμα αερίου, αρχικά φορτίζοντάς τα σε ένα αρνητικό δυναμικό περίπου 50.000 V και κατόπιν προσκολλώντας τα πάνω σε ειδικά επίπεδα ηλεκτρόδια συλλογής. Τελικά η συσσωρευμένη σκόνη συλλέγεται σε μια χοάνη. Παρόλο που χρησιμοποιούνται υψηλές τάσεις, η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή και οι απώλειες των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι οι μικρότερες από όλους τους άλλους συλλέκτες υψηλής απόδοσης.

Σε εμπορικές μονάδες φυσικού μεγέθους, το πλούσιο σε σωματιδιακή ύλη αέριο περνά οριζόντια μέσα από στενά περάσματα που σχηματίζονται από παράλληλες πλάκες γειωμένων ηλεκτροδίων συλλογής. Ηλεκτρικά μονωμένα, σύρματα υψηλής τάσης είναι τοποθετημένα στους χώρους διέλευσης του αερίου, περίπου στο μέσον της απόστασης των πλακών (γειωμένων ηλεκτροδίων).

Το κύριο πλεονέκτημα του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η υψηλή απόδοση συλλογής και το μικρό κόστος λειτουργίας. Απαιτεί τη μικρότερη ενέργεια από όλους τους συλλέκτες υψηλής απόδοσης. Επιπλέον πλεονέκτημα είναι η υψηλή αξιοπιστία σε κάθε απαιτούμενη απόδοση συλλογής. Μοναδικά μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης για διεργασίες μικρής δυναμικότητας, η απρόβλεπτη απόδοση συλλογής σε υψηλές ειδικές αντιστάσεις σκονών, και η απώλεια της απόδοσης συλλογής σε ροές αερίων πάνω από την προσχεδιασμένη [2].



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5** **ΛΕΛΟΜΕΝΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

Σχετικά με την ποιότητα του αέρα στο νομό Αττικής επίσημες, ολοκληρωμένες και αξιόπιστες μετρήσεις με ένα Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ξεκινούν το 2002, όπως αναφέρεται αναλυτικά και στην συνέχεια αυτού του κεφαλαίου.

Παλαιότερες μελέτες της Greenpeace αναφέρουν πολλά επεισόδια ρύπανσης ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως τον Ιούλιο του 1998 στο νομό Αττικής. Σύμφωνα με τους μετεωρολόγους, ο Ιούλιος αυτός υπήρξε διεθνώς ο θερμότερος μήνας τα τελευταία 160 χρόνια, ο θερμότερος δηλαδή από την απαρχή των συστηματικών μετρήσεων. Είναι γνωστό, τόσο από την τεκμηριωμένη επιστημονική θεωρία, όσο και εμπειρικά, πως οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες συνδυαζόμενες με σημαντικές εκπομπές αέριων ρύπων, μπορούν να οδηγήσουν σε εξάρσεις του φωτοχημικού “νέφους” με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Τέτοιες καταστάσεις δημιουργήθηκαν στην Αθήνα στις αρχές Ιουλίου του 1998. Καταστάσεις αφόρητες που έστειλαν αρκετές εκατοντάδες κόσμο στα νοσοκομεία με αναπνευστικά προβλήματα. Ευτυχώς, η κατάσταση δεν άγγιξε τη σοβαρότητα του αντίστοιχου επεισοδίου του 1987, όταν ένας συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών, άπνοιας και υψηλών επιπέδων ρύπανσης οδηγούσε σε πρόωρο θάνατο τουλάχιστον 2.000 άτομα στην Αττική. Η επιστημονική έρευνα έδειξε ότι η ρύπανση ήταν εξ ίσου καθοριστικός παράγοντας με τον αφόρητο καύσωνα εκείνης της περιόδου [29].

Η συνειδητοποίηση των προβλημάτων αυτών, δρομολόγησε κάποιες λύσεις ήδη από την περασμένη δεκαετία. Η νομοθεσία έγινε πιο αυστηρή, τα όρια της επιτρεπόμενης ρύπανσης τέθηκαν συχνά σε χαμηλότερα επίπεδα, τα καύσιμα βελτιώθηκαν, η τεχνολογία των αυτοκινήτων γνώρισε σημαντικές βελτιώσεις με τους καταλυτικούς μετατροπείς να γίνονται απαραίτητο εξάρτημα κάθε νέου οχήματος [29].

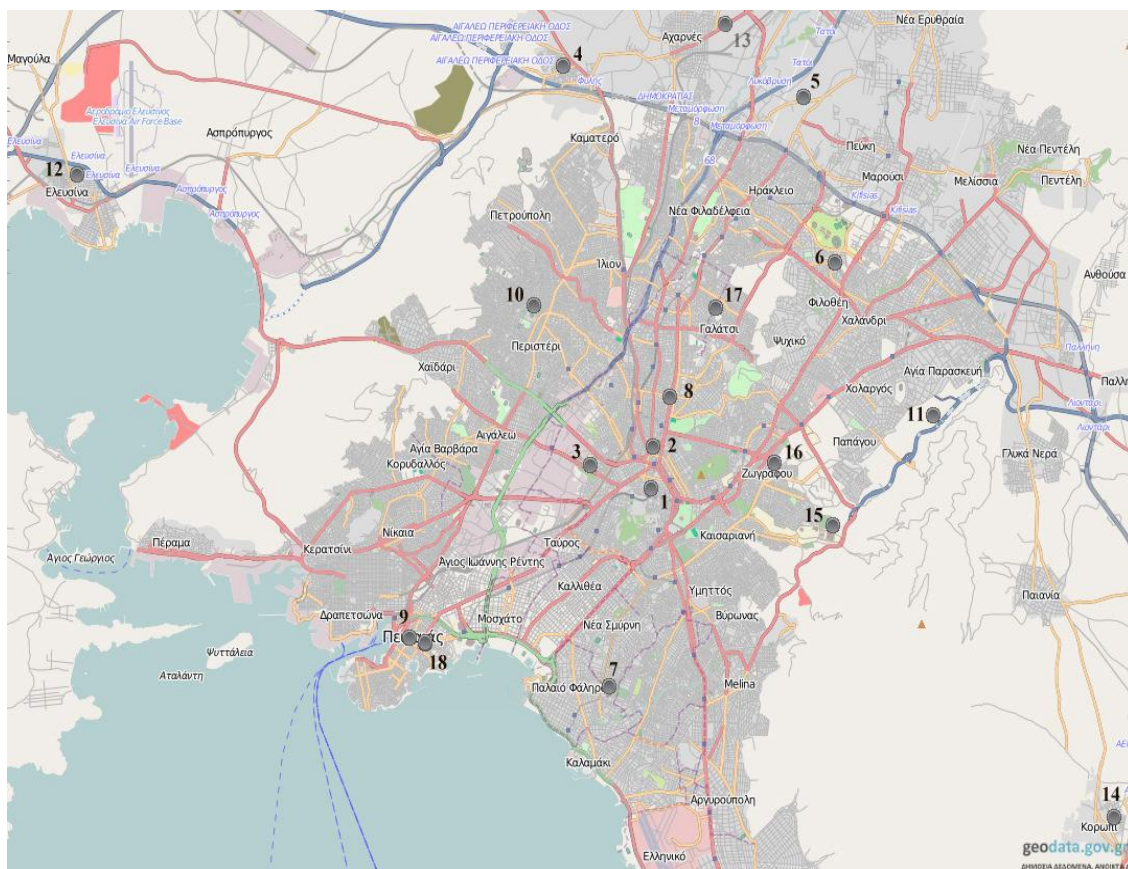
Παρά τις αναμφισβήτητες βελτιώσεις που επήλθαν σε σχέση με τη δεκαετία του '80, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνεχίζει να υφίσταται εξίσου σοβαρό, εξίσου απειλητικό. Το νέφος μεταλλάσσεται και πάλι. “Νέοι” ρύποι γίνονται κυρίαρχοι. Η αλλαγή της τεχνολογίας και της σύστασης των καυσίμων και του στόλου των αυτοκινήτων, έφερε στο προσκήνιο ρύπους, όπως τα αναπνεύσιμα μικροσωματίδια (γνωστά και ως εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια Α.Σ<sub>10</sub>) και τους πολυκυκλικούς και απλούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (όπως π.χ. το βενζόλιο), οι οποίοι, εκτός των άλλων, είναι και καρκινογόνοι. Τα επίπεδά τους σε όλη την Ευρώπη αγγίζουν απίστευτες τιμές. Η υποδομή για τη συστηματική καταμέτρηση τους απουσίαζε από τα επίσημα δίκτυα μέτρησης σε πολλές χώρες (ανάμεσα τους και η Ελλάδα μέχρι το 2002), ενώ οι διαπιστώσεις των επιστημόνων ήταν ανησυχητικές [29]. Αυτά τα στοιχεία οδήγησαν στην αναγκαιότητα δημιουργίας ενός Εθνικού Δίκτυου Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης σε όλη την Ευρώπη.

### 5.1 ΕΘΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία αποτελεί υποχρέωση της χώρας η λειτουργία δικτύου σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για το σκοπό αυτό και με πόρους του Β' ΚΠΣ, στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού προγράμματος «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ», το ΥΠΕΚΑ (ως ΥΠΕΧΩΔΕ) αναβάθμισε σταθμούς του λεκανοπεδίου των Αθηνών και άλλων πόλεων, που ήδη λειτουργούσαν, και παράλληλα εγκατέστησε νέους σταθμούς σε μεγάλες πόλεις, δημιουργώντας το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ). Το ΕΔΠΑΡ ξεκίνησε να λειτουργεί από το 2000 [22].

Το Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Δ/ση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ) του ΥΠΕΚΑ είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής Αττικής. Την ευθύνη της λειτουργίας των υπόλοιπων σταθμών του ΕΔΠΑΡ έχουν οι κατά τόπους Περιφέρειες, σύμφωνα με το Ν. 2647/98. Ειδικότερα για τους σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι στο Βόλο και στη Λάρισα τη λειτουργία τους έχουν αναλάβει οι αντίστοιχες Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις [22].

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων από συγκεκριμένους σταθμούς του ΕΔΠΑΡ, που την ευθύνη λειτουργίας τους έχει το ΥΠΕΚΑ, καθώς και η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των ρύπων από το 2001 έως το 2011. Στην εικόνα 5.1 παρουσιάζεται ο χάρτης με τους σταθμούς μέτρησης στο νομό Αττικής [22].



Εικόνα 5.1: Χάρτης σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ στην Αττική. Η επεξήγηση των σταθμών μέτρησης αναφέρεται στον πίνακα 5.1 [22].

## 5.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ

Οι τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων των τελευταίων ετών καταγράφονται από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Η δειγματοληψία πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες περιοχές, στις οποίες έχουν εγκατασταθεί οι κατάλληλες συσκευές. Η κάθε δειγματοληπτική συσκευή (αυτόματος σταθμός μέτρησης) έχει πάρει το όνομά της περιοχής στην οποία βρίσκεται τοποθετημένη (σταθμός Πατησίων, Αθηνάς, Πειραιώς, Περιστερίου, Ν. Σμύρνης, Γεωπονικής, Αμαρουσίου, Λυκόβρυσης, Λιοσίων, Αριστοτέλους) [22].

Το 2001 ξεκίνησε η λειτουργία επτά νέων αυτόματων σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο της Αθήνας παράλληλα με τους δέκα αυτόματους σταθμούς που ήδη λειτουργούσαν από προηγούμενα χρόνια, ενώ από το 2009 η Δ/ση

ΕΑΡΘ (Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας) λειτουργεί συνολικά 17 σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, δεκαπέντε σταθμούς μέτρησης στην περιοχή Αττικής, ένα σταθμό στα Οινόφυτα, καθώς και ένα σταθμό στην Αλίαρτο Βοιωτίας για τις ανάγκες του Προγράμματος Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης (EMEP) (πίνακας 5.1) [22].

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά των 17 σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, που την ευθύνη λειτουργίας τους έχει το ΥΠΕΚΑ [22].

Όνομα (αριθμός στο χάρτη 5.1)	Υψόμετρο	Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι
Αθηνάς (1)	100	Αστικός-Κυκλοφορίας	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, O <sub>3</sub>
Αριστοτέλους (2)	95	Αστικός-Κυκλοφορίας	NO <sub>x</sub> , ΑΣ <sub>10</sub>
Γεωπονική (3)	50	Περιαστικός-Βιομηχανικός	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub>
Λιόσια (4)	165	Περιαστικός-Υποβάθρου	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>
Λυκόβρυση (5)	210	Περιαστικός	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub> , ΑΣ <sub>2,5</sub>
Μαρούσι (6)	145	Αστικός-Κυκλοφορίας	NO <sub>x</sub> , CO, O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub>
Ν. Σμύρνη (7)	50	Αστικός-Υποβάθρου	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub>
Πατησίων (8)	105	Αστικός-Κυκλοφορίας	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Πειραιάς- Πει-1 (9)	20	Αστικός-Κυκλοφορίας	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub> , ΑΣ <sub>2,5</sub>
Περιστερί (10)	80	Αστικός-Υποβάθρου	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub>
Αγ. Παρασκευή (11)	290	Περιαστικός-Υποβάθρου	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub> , ΑΣ <sub>2,5</sub>
Γουδί (16)	155	Αστικός-Κυκλοφορίας	NO <sub>x</sub> , ΑΣ <sub>2,5</sub>
Ελευσίνα (12)	20	Περιαστικός-Βιομηχανικός	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub>
Θρακομακεδόνες (13)	550	Περιαστικός-Υποβάθρου	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub>
Κορωπί (14)	140	Περιαστικός-Υποβάθρου	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub>
Οινόφυτα	92	Περιαστικός-Βιομηχανικός	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , ΑΣ <sub>10</sub>
Αλίαρτος	110	Υποβάθρου	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>

Οι μετρούμενοι ρύποι καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα του Υπουργείου. Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτόματων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλαδή ο κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι 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 γνώση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής. Στο παρακάτω πίνακα 5.2 φαίνονται οι μετρούμενοι ρύποι καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση τους [22].

Πίνακας 5.2.: Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδοι μέτρησης [22].

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο φάσμα (NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO, NO <sub>2</sub> )	Χημειοφωταύγεια
Οζόν (O <sub>3</sub> )	Απορρόφηση στο υπεριώδες φάσμα
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ <sub>10</sub> <sup>1</sup> - ΑΣ <sub>2,5</sub> <sup>2</sup> )	Απορρόφηση β-ακτινοβολίας
Βενζόλιο (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Αέρια χρωματογραφία (GC)

Στα αυτόματα όργανα πραγματοποιείται βαθμονόμηση, η οποία περιλαμβάνει τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των οργάνων και τη ρύθμιση τους. Η βαθμονόμηση βασίζεται στη διαβίβαση μέσω του οργάνου αερίου, με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου. Η παρασκευή αυτή του προτύπου αερίου, γίνεται με ειδική συσκευή που συνδέεται αφενός με μία πηγή «καθαρού» αέρα και αφετέρου με ένα 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 διαδικασία αυτή της βαθμονόμησης γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα ή μετά τη συντήρηση ή επισκευή ενός αναλυτή [22].

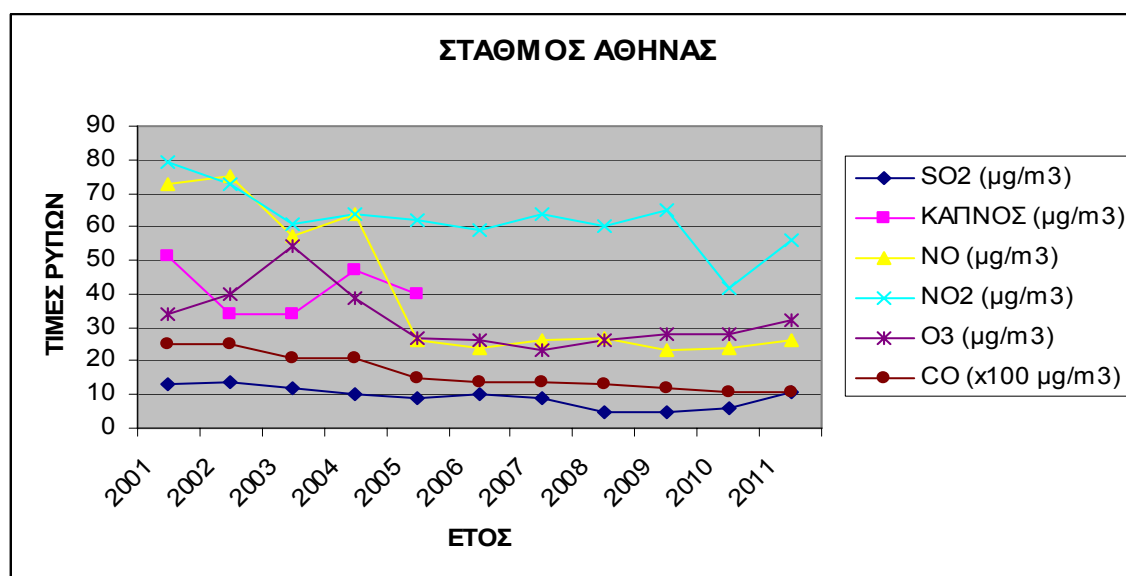
Το τριαντάφυλλο ανέμου είναι μέγιστης σημασίας καθώς η διεύθυνση του ανέμου καθορίζει την περιοχή προς την οποία θα κατευθυνθούν οι ρύποι ενώ η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό αραίωσης τους. Η διεύθυνση του ανέμου είναι καθοριστικής σημασίας, ιδιαίτερα στην περίπτωση που η ρύπανση προέρχεται από σημειακές πηγές (π.χ καμινάδες). Σε αυτή την περίπτωση τα επίπεδα ρύπανσης σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να αλλάξουν δραστικά ακόμη και σε περίπτωση που η διεύθυνση του ανέμου μεταβληθεί με μόνο 10°. Σε αυτά τα πλαίσια η μεταβλητότητα της διεύθυνσης του ανέμου έχει ευεργετικές συνέπειες γιατί διασκορπίζεται η ρύπανση σε μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή με αποτέλεσμα οι τοπικές συγκεντρώσεις να είναι χαμηλότερες. Από την άλλη πλευρά η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει το πόσο γρήγορα θα απομακρυνθούν οι ρύποι από το σημείο εκπομπής. Η επίδραση που ασκεί ο άνεμος στις

συγκεντρώσεις των ρύπων είναι πολύ σημαντική. Υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα του ανέμου και την συγκέντρωση της ρύπανσης [25].

Ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες προκαλούν ισχυρότερους ανέμους ενώ άλλες συνδέονται με ασθενείς ανέμους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα βαρομετρικά υψηλά ή αντικυκλώνες. Στο κέντρο τους ο καιρός είναι ηλιόλουστος και οι άνεμοι πολύ ασθενείς. Σε περιοχές οι οποίες βρίσκονται τακτικά υπό την επίδραση στάσιμων αντικυκλώνων οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και όταν συνδυάζονται με υψηλές εκπομπές ρύπανσης, όπως συμβαίνει σε όλες τις μεγαλουπόλεις, ο κίνδυνος επεισοδίου ρύπανσης είναι αυξημένος [25].

### 5.3.2. ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκαν οι μετρήσεις των σημαντικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων των αστικών κέντρων Αθήνας και Πειραιά για την δεκαετία 2001-2011 σε σταθμούς μέτρησης του ΥΠΕΚΑ που διέθεταν τις πιο ολοκληρωμένες χρονοσειρές και εξετάστηκαν οι συγκεντρώσεις τους ανά έτος με σκοπό να αξιολογηθούν πιθανές αντιρρυπαντικές τεχνολογίες και άλλες ρυθμίσεις, οι οποίες εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Αξιολογήθηκαν οι τιμές έξι διαφορετικών ρύπων και συγκριμένα του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), καπνού, μονοξειδίου του αζώτου (NO), διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και του όζοντος (O<sub>3</sub>) σε έξι διαφορετικούς σταθμούς του ΥΠΕΚΑ [22]. Οι σταθμοί που εξετάστηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ο σταθμός Αθηνάς, ο σταθμός Πατησίων, ο σταθμός Περιστερίου, ο σταθμός Ν. Σμύρνης, ο σταθμός Αγ. Παρασκευής και ο σταθμός Πειραιά. Οι τιμές αυτές αφορούν τα έτη από το 2001 έως το 2011 και τα δεδομένα ελήφθησαν από τις ετήσιες εκθέσεις του Υπουργείου [22]. Απεικονίσαμε τα προαναφερθέντα δεδομένα στα διαγράμματα 5.1 έως 5.6 που ακολουθούν, όπου το κάθε διάγραμμα αναφέρεται στην εξέλιξη της συγκέντρωσης των μέσων ετήσιων τιμών των συγκεκριμένων ρύπων κατά ανά σταθμό.



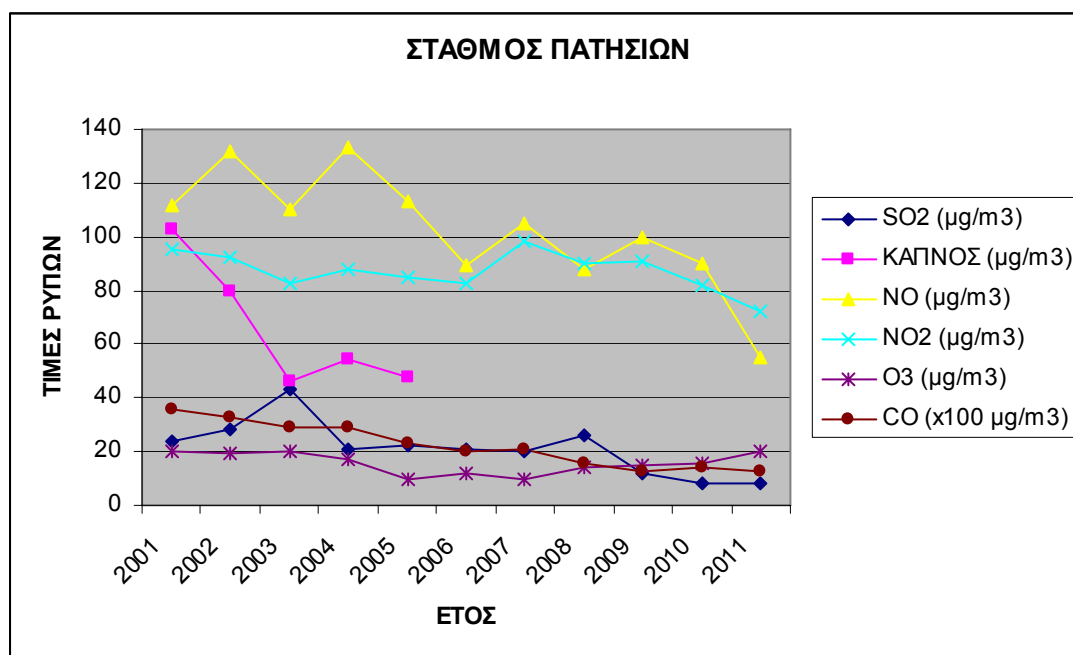
Διάγραμμα 5.1.: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ρύπων στο σταθμό Αθηνάς κατά τη δεκαετία 2001-2011 [22].

Στο σταθμό Αθηνάς παρατηρούμε χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας που εξετάζουμε, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους ρύπους, με μέγιστες τιμές συγκέντρωσης τα έτη 2001, 2002 και 2003.

Αντίθετα, υψηλές τιμές συγκέντρωσης παρατηρούνται στο μονοξείδιο του άνθρακα, στο μονοξείδιο του αζώτου και στο διοξείδιο του αζώτου. Οι μέσες τιμές του μονοξειδίου του άνθρακα και του μονοξειδίου του αζώτου παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις τα έτη 2001 έως και 2004, ενώ τα επόμενα έτη παρατηρείται μείωση της τάξης του 56% και 65% αντίστοιχα. Αντίθετα οι μέσες τιμές του διοξειδίου του αζώτου παραμένουν σε πολύ υψηλά επίπεδα με πολύ μικρή πτωτική τάση. Οι υψηλές τιμές NO και NO<sub>2</sub> οφείλονται κυρίως στο μεγάλο αριθμό αυτοκινήτων (και φορτηγών σε κοντινούς δρόμους) που κυκλοφορούν στην περιοχή, αλλά και στην πιθανή αερομεταφερόμενη ρύπανση από βιομηχανική δραστηριότητα άλλων περιοχών.

Πτωτική τάση παρατηρούνται επίσης και στις τιμές του όζοντος όπως και του μονοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της δεκαετία 2001-2011. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις και για τους δύο ρύπους μετρήθηκαν τα έτη πριν το 2005.

Μεσαία επίπεδα συγκεντρώσεων παρατηρούμε στις τιμές καπνού, για τις οποίες όμως δεν υπάρχουν μετρήσεις μετά το 2005 [22].

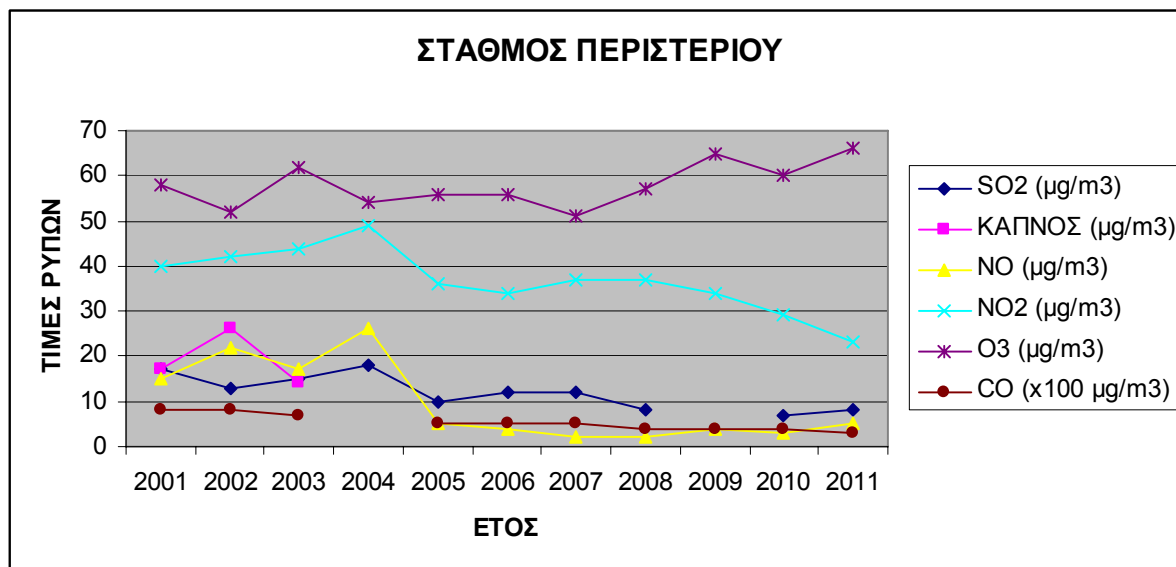


Διάγραμμα 5.2.: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ρύπων στο σταθμό Πατησίων κατά τη δεκαετία 2001-2011 [22].

Στον σταθμό Πατησίων παρατηρείται μια σχετική μείωση των συγκεντρώσεων των αερίων ρύπων κατά τη δεκαετία 2001-2011. Ιδιαίτερη μείωση μετρήθηκε στις συγκεντρώσεις του μαύρου καπνού, του οποίου οι τιμές μειώθηκαν από το 2001 έως το 2003 κατά 55%. Οι τιμές του κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα από το 2003 έως το 2005 που υπάρχουν δεδομένα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο και το διοξείδιο το αζώτου είχαν τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα στον σταθμό Πατησίων. Παρόλο που παρατηρείται μια μείωση των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου παραμένουν στα ίδια επίπεδα σε όλη τη δεκαετία 2001-2011.

Οι τιμές διοξειδίου του θείου και του όζοντος κυμαίνονται συγκριτικά σε χαμηλά επίπεδα όλη την περίοδο. Το διοξείδιο του θείου παρουσιάζει τη μέγιστη συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα το 2003, ενώ το όζον εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με όλους τους υπόλοιπους αέριους ρύπους [22].

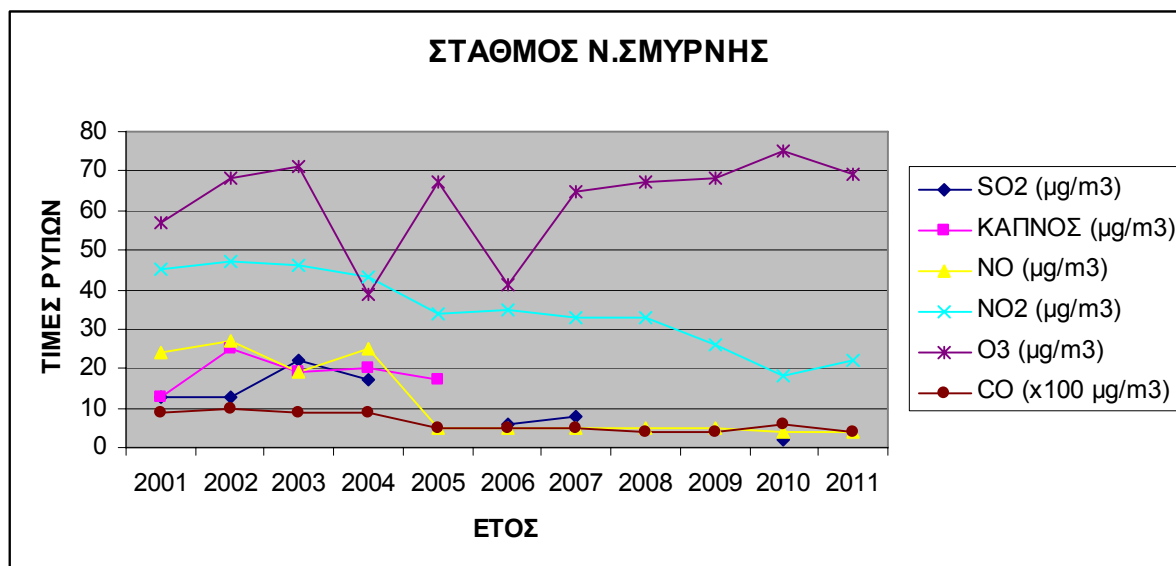


Διάγραμμα 5.3.: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ρύπων στο σταθμό Περιστερίου κατά τη δεκαετία 2001-2011 [22].

Εκτός του μονοξειδίου του άνθρακα, το όζον παρουσιάζει τις υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις στον σταθμό Περιστερίου. Οι τιμές του παρόλο που αυξομειώνονται, κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα με ελαφρά αυξητική τάση. Οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν την τελευταία τριετία 2009-2011 καθώς επίσης και το 2003.

Οι υπόλοιποι ρύποι παρουσιάζουν μια σταδιακή μείωση κατά τη δεκαετία 2001-2011, ιδιαίτερα μετά το 2004. Εξ αυτών οι υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις ήταν εκείνες του διοξειδίου του αζώτου, το οποίο παρουσίασε ανοδική τάση από το 2001 έως το 2004 και σταδιακή μείωση από το 2005 έως το 2011. Αντίθετα το μονοξείδιο του αζώτου το 2005 μειώθηκε κατά 93%. Από το 2005 και μετά κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Από τις μετρήσεις στο σταθμό Περιστερίου λείπουν εκείνες του διοξειδίου του θείου του 2009, οι τιμές του καπνού από το 2004 έως το 2011 και εκείνες του μονοξειδίου του άνθρακα για το 2004.



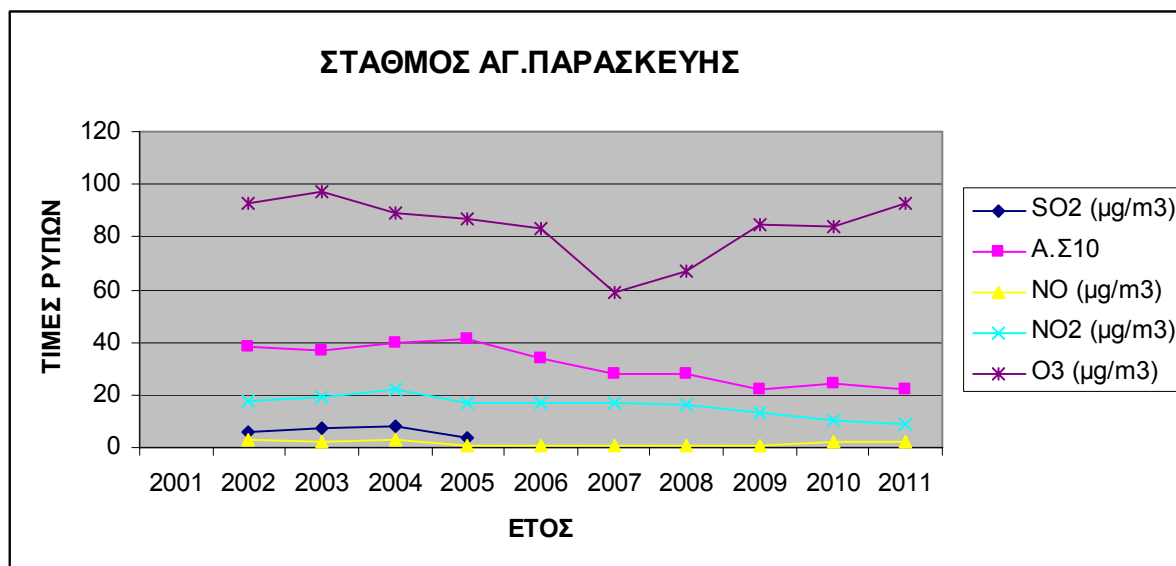
Διάγραμμα 5.4.: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ρύπων στο σταθμό Ν. Σμύρνης κατά τη δεκαετία 2001-2011 [22].

Εκτός του μονοξειδίου του άνθρακα, το όζον παρουσιάζει τα υψηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων, με έντονες αυξομειώσεις από το 2003 έως το 2007 στο σταθμό της Ν. Σμύρνης. Γενικότερα η κατανομή των αερίων ρύπων σε αυτό το σταθμό είναι παρόμοια με εκείνη του σταθμού Περιστερίου.

Δεύτερο σε συγκέντρωση είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, ακολουθούμενο από το διοξείδιο του αζώτου, τα οποία μειώνονται σταδιακά με την πάροδο των ετών 2001-2011. Οι αέριοι ρύποι αυτοί παρουσιάζουν και σε αυτό το σταθμό (όπως και στο σταθμό Περιστερίου) υψηλότερες τιμές έως το 2004, ενώ από το 2005 η συγκέντρωσή τους μειώνεται σημαντικά (> 50%) και ακολουθεί σταθερή σχετικά πορεία τιμών.

Δεδομένα για τον καπνό υπάρχουν μέχρι το 2005 με τις υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις το 2002. Το διοξείδιο του θείου, ενώ βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα αυξάνεται γενικά από το 2002 έως το 2004, ενώ οι μετρήσεις των ετών 2006, 2007 και 2010 είναι χαμηλότερες. Οι τιμές του διοξειδίου του θείου των ετών 2005, 2008, 2009 και 2011 δεν έχουν μετρηθεί [22].



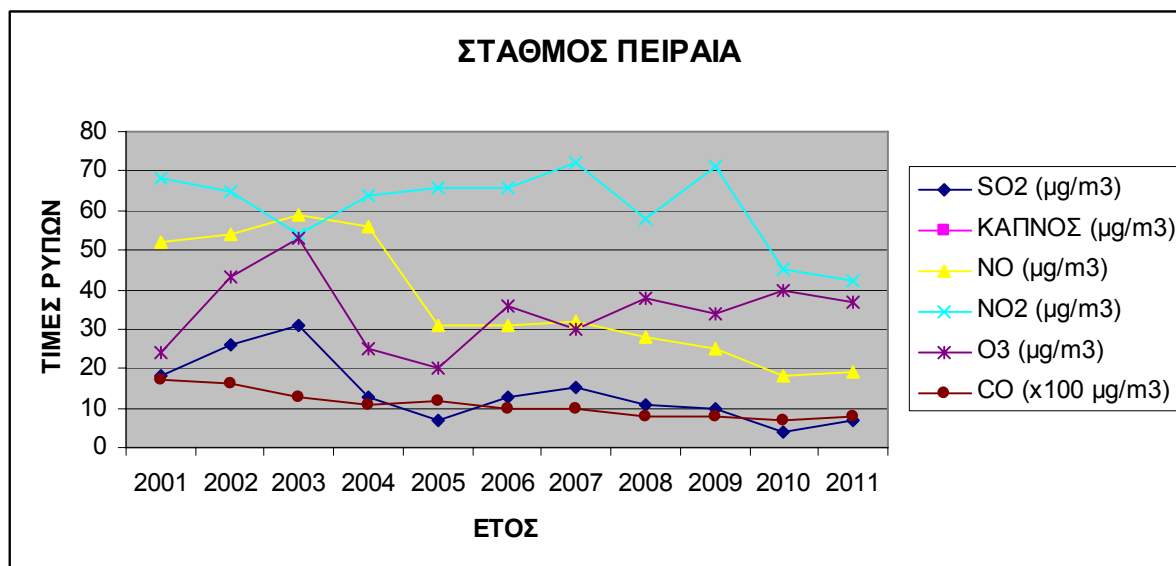


Διάγραμμα 5.5.: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ρύπων στο σταθμό Αγ. Παρασκευής κατά τη δεκαετία 2001-2011 [22].

Ο σταθμός της Αγ. Παρασκευής έχει τα λιγότερα καταγεγραμμένα δεδομένα, τα οποία ξεκινούν από το 2002. Για αυτό το λόγο δεν συμπεριλαμβάνονται στο διάγραμμα 5.5 οι μέσες ετήσιες τιμές του μονοξειδίου του άνθρακα και του καπνού, ενώ η καταγραφή των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου έχει πραγματοποιηθεί μόνο για τα έτη 2002 έως 2005. Στη θέση των μετρήσεων του καπνού έχουν προστεθεί και απεικονίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων Α.Σ<sub>10</sub>.

Το όζον βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα καθ' όλη την διάρκεια της δεκαετίας με μέγιστη τιμή το 2003 και ελάχιστη το 2007. Συγκριτικά με τους υπόλοιπους ρύπους το όζον εμπεριέχεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό στην ατμόσφαιρα, ενώ οι υπόλοιποι ρύποι παρουσιάζονται με πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη μεταφορά με τον αέρα αυτού του δευτερογενούς ρύπου στην περιοχή της Αγ. Παρασκευής, τόσο από το κέντρο της Αθήνας όσο και από την Αττική οδό.

Το μονοξείδιο του αζώτου παρουσιάζει αμελητέες συγκεντρώσεις, ενώ και το διοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του θείου έχουν επίσης χαμηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή, όπως προκύπτει από τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί.



Διάγραμμα 5.6.: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ρύπων στο σταθμό Πειραιά κατά τη δεκαετία 2001-2011 [22].

Στο σταθμό Πειραιά παρατηρείται σε όλους τους μετρούμενους ρύπους, εκτός του διοξειδίου του αζώτου, μία σταδιακή μείωση κατά τη δεκαετία 2001-2011, ιδιαίτερα σημαντική από το 2005. Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει τις υψηλότερες μέσες ετήσιες τιμές με μέση τιμή δεκαετίας  $1,09 \text{ mg/m}^3$ , ακολουθούμενο από το διοξείδιο του αζώτου, το οποίο παρουσιάζει συγκριτικά μία πολύ χαμηλότερη μείωση σε σχέση με τους υπόλοιπους ρύπους από το 2010 της τάξης του 40%.

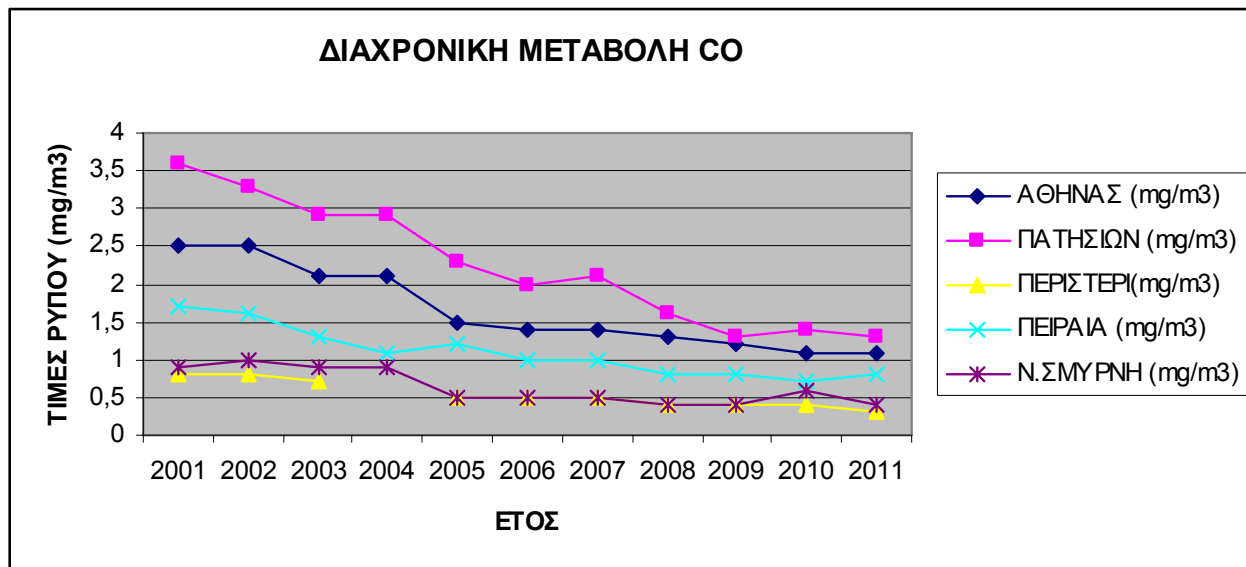
Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του αζώτου μειώνονται κατά 45% το 2005 και συνεχίζει να μειώνεται τα επόμενα χρόνια. Παρόμοια εξέλιξη ακολουθεί και το διοξείδιο του θείου, ενώ οι μέσες ετήσιες τιμές του όζοντος αυξομειώνονται έντονα μέχρι το 2005, ενώ από το 2006 έως το 2011 οι τιμές παρουσιάζουν μια μικρή ανοδική τάση.

Οι τιμές του καπνού ή εισπνευσίμων αιωρούμενων σωματιδίων δεν δίνονται για το σταθμό του Πειραιά την εξεταζόμενη δεκαετία [22].

Γενικότερα η κατανομή των αερίων ρύπων σε αυτό το σταθμό είναι παρόμοια με εκείνη του σταθμού Αθηνάς.

### 5.3.3. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΤΗΣΙΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ 2001-2011

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται στη συνέχεια στα διαγράμματα 5.7 έως 5.12 που ακολουθούν, η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών των έξι ατμοσφαιρικών ρύπων (CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, καπνού και ΑΣ<sub>10</sub>) κατά την δεκαετία 2001-2011 στους επιλεγθέντες έξι σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ στην Αθήνα και τον Πειραιά.

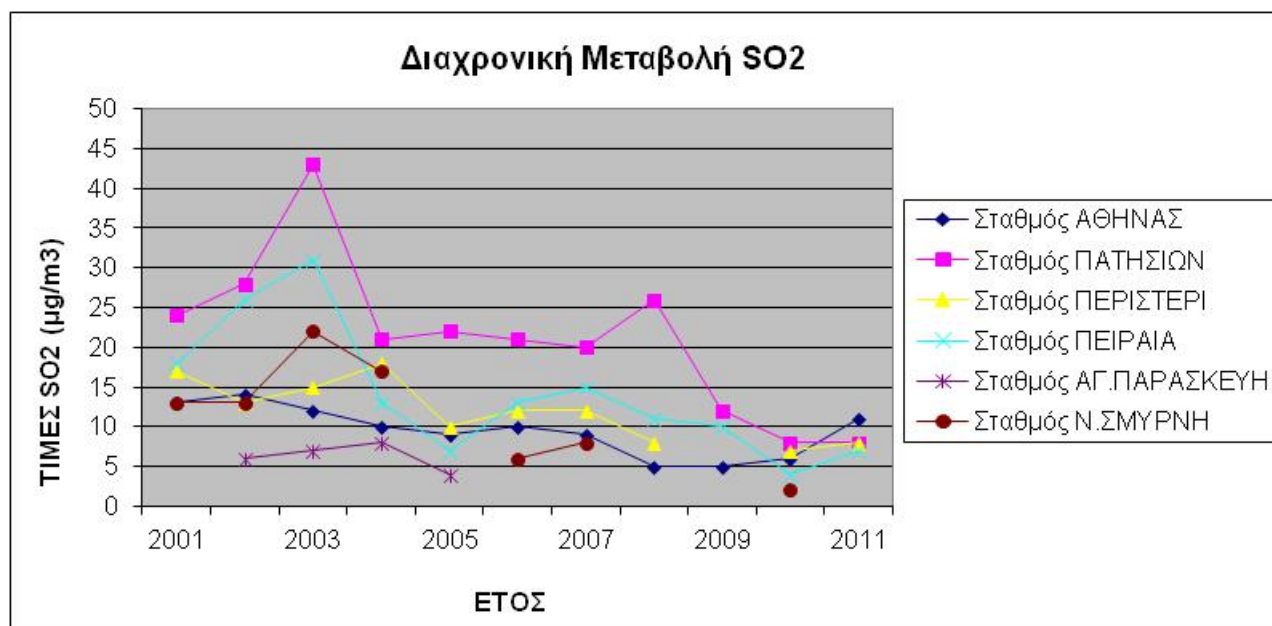


Διάγραμμα 5.7.: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα κατά τη δεκαετία 2001-2011.

Το παραπάνω διάγραμμα 5.7 απεικονίζει τις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στους σταθμούς Αθηνάς, Πατησίων Περιστερίου, Πειραιά και Ν. Σμύρνης κατά τη δεκαετία από το 2001 έως 2011. Η ατμόσφαιρα παρουσιάζει την μεγαλύτερη περιεκτικότητα στο συγκεκριμένο ρύπο, του οποίου οι τιμές στους επιλεγθέντες πέντε σταθμούς κυμαίνονται από 0,3 έως 3,6 mg/m<sup>3</sup>. Οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες του ανώτατου επιτρεπτού ορίου (μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή 10 mg/m<sup>3</sup>).

Παρατηρώντας λοιπόν το διάγραμμα, συμπεραίνουμε ότι κατά σειρά ετών, και πιο συγκεκριμένα τα έτη 2001 έως 2011, ο σταθμός Πατησίων κατέγραψε τις υψηλότερες τιμές μονοξειδίου του άνθρακα. Οι αμέσως επόμενες υψηλές τιμές καταγράφηκαν στον σταθμό Αθηνάς, και στη συνέχεια στο σταθμό Πειραιά. Αντίθετα οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε παρόμοιο εύρος τιμών καταγράφηκαν στους σταθμούς Περιστερίου και Ν. Σμύρνης. Δεν εμφανίζονται οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στο σταθμό της Αγ. Παρασκευής λόγω μη καταγραφής των τιμών του από το ΥΠΕΚΑ., ενώ δεν έχει πραγματοποιηθεί καταγραφή μέσης ετήσιας τιμής για το μονοξείδιο του άνθρακα στο σταθμό Περιστερίου για τα έτη 2004 και 2005.

Παρατηρούμε ακόμα ότι η πορεία των καταγεγραμμένων τιμών παρουσιάζει σημαντική πτώση σε όλους τους σταθμούς μέτρησης, από το 2001 μέχρι το 2009, ενώ από το 2009 έως το 2011 ο ρύπος παρουσιάζει μικρές αυξομειώσεις. Συνολικά παρατηρείται μια μέση μείωση των ετήσιων τιμών του μονοξειδίου του άνθρακα της τάξης του 57,6 % κατά τη δεκαετία 2001-2011.



Διάγραμμα 5.8: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου κατά τη δεκαετία 2001-2011.

Στο διάγραμμα 5.8 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου την εξεταζόμενη δεκαετία στους συγκεκριμένους σταθμούς μέτρησης. Γενικότερα παρατηρείται μια σταδιακή μείωση των τιμών, ενώ όλες οι τιμές είναι χαμηλότερες του ανώτατου επιτρεπτού ορίου ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  μέση ημερήσια τιμή).

Οι μέσες ετήσιες τιμές του διοξειδίου του θείου κυμαίνονται από 2 έως  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στον σταθμό Πατησίων με μέγιστη εκείνη του 2003 ( $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Εξαιρεση αποτελεί η συγκέντρωση του έτους 2011, όπου ο σταθμός Αθηνάς παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση διοξειδίου του θείου. Η γενικότερη τάση της δεκαετίας είναι πτωτική, παρόλο που τρία από το 2001 έως το 2003 αυξάνονται οι τιμές στο σταθμό Πατησίων. Η ίδια διαχρονική εξέλιξη παρατηρείται και στο σταθμό Πειραιά που ακολουθεί δεύτερος σε μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου αυτό το χρονικό διάστημα.

Στο σταθμό Περιστερίου αυξομειώνονται οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις μέχρι το 2005, ενώ τα επόμενα χρόνια παρουσιάζεται αισθητή μείωση του ρύπου. Το 2009 δεν μας δίνονται δεδομένα για την περιοχή του Περιστερίου.

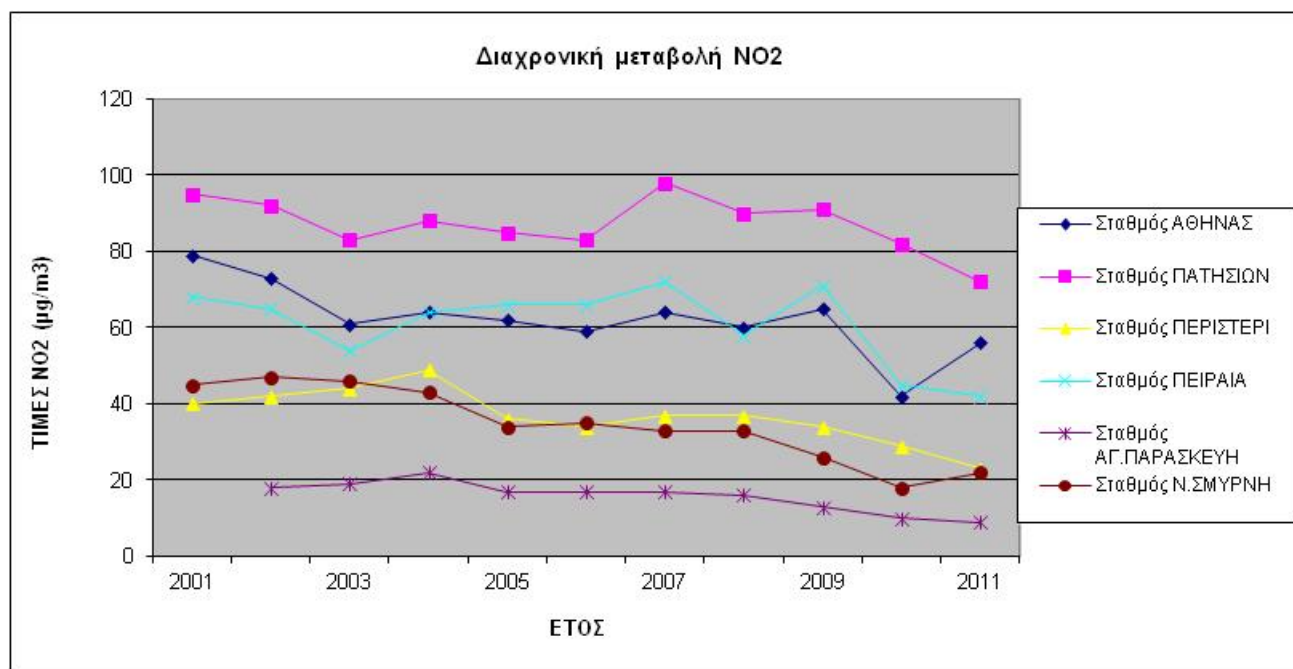
Ο σταθμός Ν. Σμύρνης στη συνέχεια παρουσιάζει αυξητική τάση μέχρι το 2003, ενώ τα έτη 2006, 2007 και 2010 οι τιμές του διοξειδίου του θείου μειώνονται αισθητά κατά 88%. Και σε αυτό το σταθμό δεν δίνονται δεδομένα τα έτη για 2005, 2008, 2009 και 2011.

Οι τιμές διοξειδίου του θείου για το σταθμό Αθηνάς κυμαίνονται σε χαμηλά γενικά επίπεδα και η διαχρονική εξέλιξη των τιμών είναι καθοδική.

Για το σταθμό Αγ. Παρασκευής υπάρχουν δεδομένα μόνο από το 2002 έως το 2005. Με βάση τα έτη αυτά ο σταθμός της Αγ. Παρασκευής είναι ο σταθμός με την χαμηλότερη μέση ετήσια συγκέντρωση διοξειδίου του θείου.

Γενικότερα από το 2004 έως το 2011 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στο ίδιο εύρος τιμών στους σταθμούς Ν. Σμύρνης, Αθηνάς, Περιστερίου αλλά και Πειραιά.

Συνολικά παρατηρείται μια μέση μείωση των ετήσιων τιμών του διοξειδίου του θείου της τάξης του 49 % κατά τη δεκαετία 2001-2011.



Διάγραμμα 5.9: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου κατά τη δεκαετία 2001-2011.

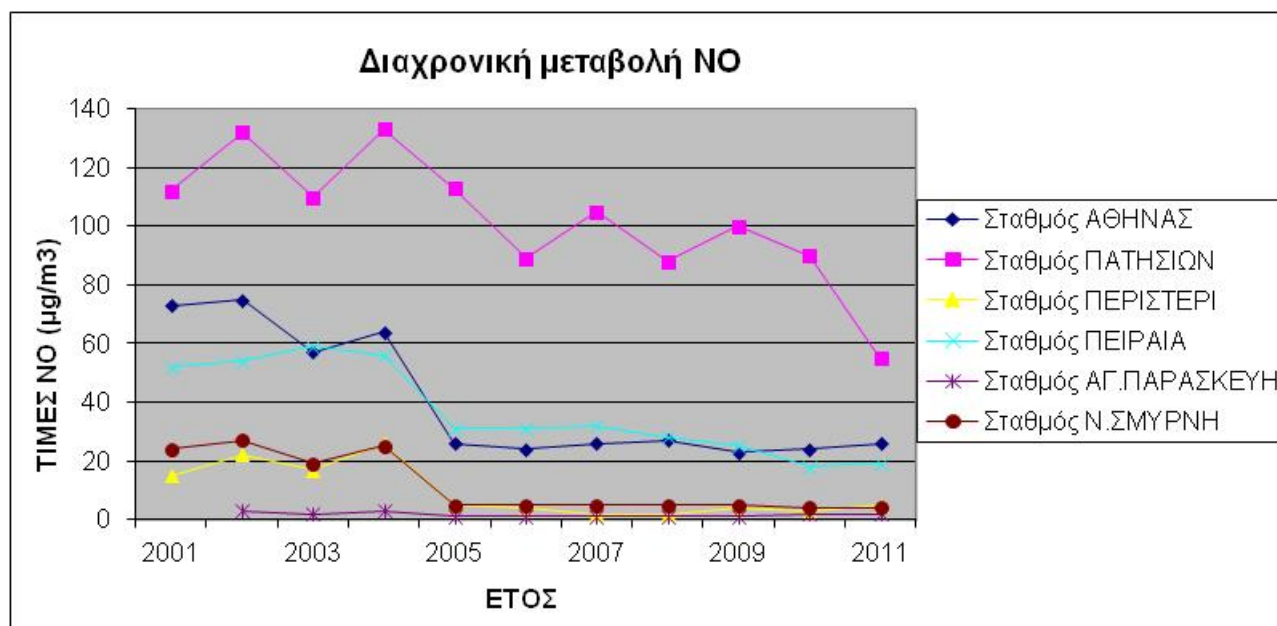
Το διοξείδιο του αζώτου, όπως απεικονίζεται στο παραπάνω διάγραμμα 5.9 παρουσιάζει γενικά μικρές αυξομειώσεις σε όλους τους σταθμούς μέχρι το 2009 και μόνο κατά τα έτη 2010 και 2011 μια πολύ μικρή τάση μείωσης της τάξης του 33,5%. Σημειώνεται ότι όλες οι μέσες ετήσιες τιμές σε όλους τους σταθμούς (εκτός αυτού της Αγ. Παρασκευής) παρουσιάζουν σημαντικές υπερβάσεις του ανώτατου επιτρεπτού ορίου μέχρι το έτος 2005 ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  μέση ετήσια τιμή). Οι δε σταθμοί Πατησίων, Αθηνάς και Πειραιά σημειώνουν υπέρβαση καθ' όλη τη δεκαετία.

Ο σταθμός Πατησίων, όπως και στους προηγούμενους ρύπους εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου με μέγιστη μέση συγκέντρωση το 2007 ( $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2,5 φορές υψηλότερο του ανώτατου επιτρεπτού ορίου).

Ακολουθούν οι σταθμοί Πειραιά και Αθηνάς, των οποίων οι τιμές κυμαίνονται σε κοντινό εύρος τιμών, ακολουθούμενοι από τους σταθμούς Περιστερίου και Ν. Σμύρνης, των οποίων επίσης οι τιμές κυμαίνονται στο ίδιο εύρος.

Η μικρότερη συγκέντρωση καταγράφηκε στην περιοχή της Αγ. Παρασκευής, της οποίας τα δεδομένα ξεκινούν από το 2002. Η πορεία της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου από το 2004 είναι ομαλά καθοδική.

Συνολικά παρατηρείται μια μέση μείωση των ετήσιων τιμών του διοξειδίου του αζώτου της τάξης του 49 % κατά τη δεκαετία 2001-2011.



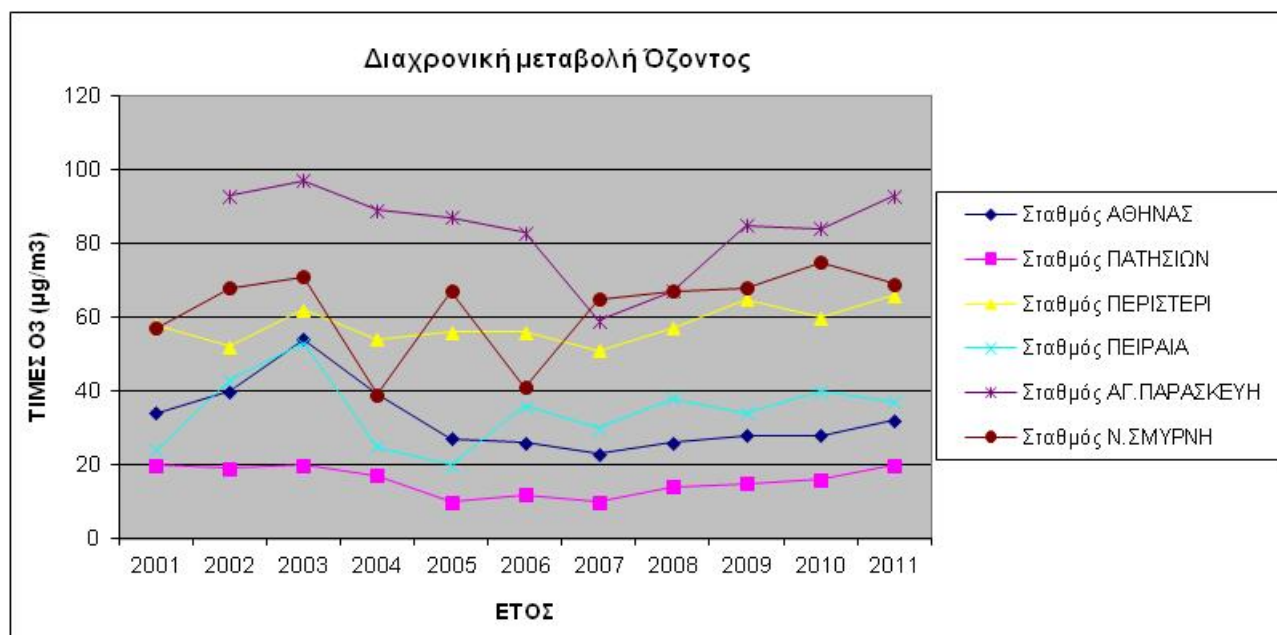
Διάγραμμα 5.10: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου κατά τη δεκαετία 2001-2011.

Το παραπάνω διάγραμμα 5.10 απεικονίζει τη διαχρονική μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου στους έξι εξεταζόμενους σταθμούς. Σημειώνεται ότι για το μονοξείδιο του αζώτου δεν έχει νομοθετηθεί ανώτατη επιτρεπτή τιμή.

Ο σταθμός Πατησίων είναι ο σταθμός, ο οποίος κατέγραψε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις την δεκαετία 2001-2011, όπως και στην περίπτωση του διοξειδίου του αζώτου. Παρουσιάζει έντονες αυξομειώσεις με μία σταθερή πτωτική τάση κατά τη διάρκεια της δεκαετίας. Το 2011 παρατηρείται η μικρότερη συγκέντρωση ( $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Και σε αυτό το διάγραμμα όπως και στο διοξείδιο του αζώτου, οι σταθμοί Αθηνάς και Πειραιά ακολουθούν και οι μέσες ετήσιες τιμές τους βρίσκονται σε πολύ κοντινά επίπεδα συγκέντρωσης. Από το 2005 παρατηρείται έντονη σταθερή μείωση των συγκεντρώσεων της τάξης του 65%.

Αντίστοιχα με το διοξείδιο του αζώτου συγκεντρώσεις στο ίδιο εύρος τιμών κατέγραψαν και οι σταθμοί Περιστερίου και Ν. Σμύρνης. Από το 2001 έως το 2004 παρουσιάζουν χαμηλές συγκεντρώσεις με αμελητέες αυξομειώσεις, ενώ από το 2005 μέχρι και το τέλος της εξεταζόμενης δεκαετίας οι συγκεντρώσεις μειώνονται περαιτέρω και κυμαίνονται χαμηλότερα των  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ακόμα χαμηλότερες συγκεντρώσεις μικρότερες από  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  μονοξειδίου του αζώτου παρουσιάζει ο σταθμός της Αγ. Παρασκευής καθ' όλη τη δεκαετία.

Συνολικά παρατηρείται μια μέση μείωση των ετήσιων τιμών του μονοξειδίου του θείου της τάξης του 64,5 % κατά τη δεκαετία 2001-2011.



Διάγραμμα 5.11: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του όζοντος κατά τη δεκαετία 2001-2011.

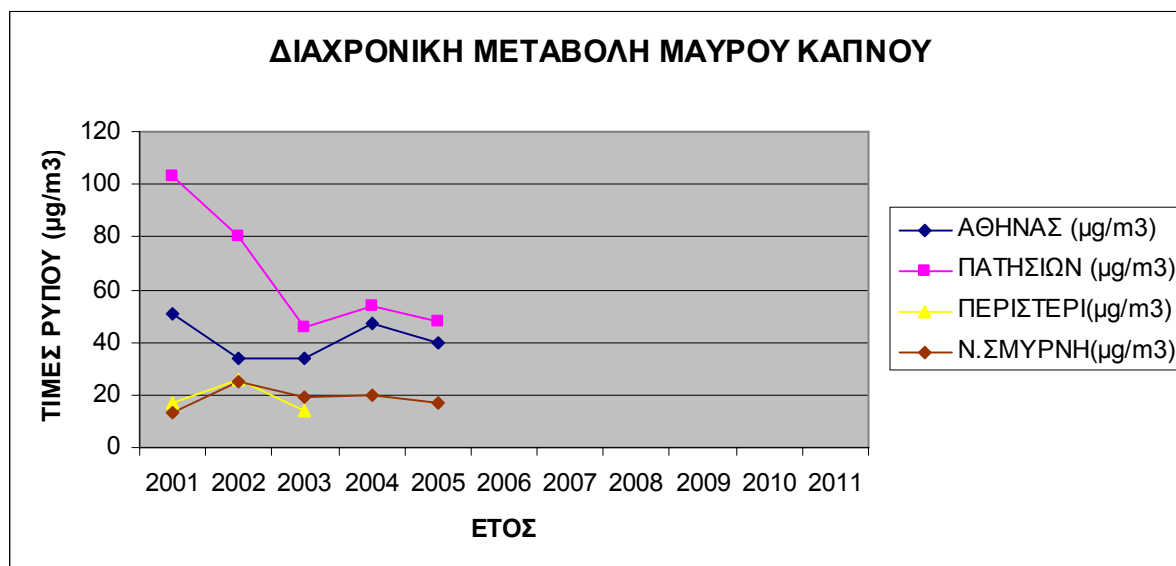
Το παραπάνω διάγραμμα αναφέρεται στη διαχρονική εξέλιξη του όζοντος από το 2001 έως το 2011. Όλες οι τιμές είναι χαμηλότερες του ανώτατου επιτρεπτού ορίου ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  μέγιστη ημερήσια 8-ωρη τιμή).

Όσον αφορά αυτόν τον δευτερογενή ρύπο, παρατηρείται ακριβώς η αντίστροφη σειρά κατάταξης των έξι σταθμών μέτρησης σε σχέση με το ύψος των καταγραμμένων μέσων ετήσιων τιμών όζοντος. Έτσι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος παρουσιάζονται στη περιοχή της Αγ. Παρασκευής καθ' όλη τη δεκαετία, σε αντίθεση με τα προηγούμενα διαγράμματα των  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  και  $\text{NO}$ , στα οποία η Αγ. Παρασκευή παρουσίαζε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η συγκέντρωση του όζοντος από το 2002 έως και το 2007 παρουσιάζει γενικά τάση μείωσης, ενώ από το 2008 μέχρι το τέλος της εξεταζόμενης δεκαετίας η συγκέντρωση του αυξάνεται σταδιακά. Μέση ετήσια συγκέντρωση για το 2001 δεν δίνεται.

Η επόμενη περιοχή με υψηλές τιμές είναι εκείνη της Ν. Σμύρνης που παρουσιάζει μικρή αυξητική τάση τα τρία πρώτα έτη, έντονες αυξομειώσεις από το 2004 έως το 2007, ενώ τα επόμενα έτη σταθεροποιείται περίπου στα  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ακολουθεί ο σταθμός Περιστερίου στο ίδιο μικρό εύρος τιμών και στη συνέχεια οι σταθμοί Αθηνάς και Πειραιά. Αυτοί οι δύο σταθμοί ενώ ξεκινούν με αυξητική πορεία συγκέντρωσης όζοντος μέχρι το 2003, ακολουθεί μια μείωση των συγκεντρώσεων μέχρι το 2011 με μικρές αυξομειώσεις.

Ο σταθμός Πατησίων κατέγραψε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος με τιμές μικρότερες από  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Συνολικά δεν παρατηρείται μια μέση ποσοστιαία μείωση των ετήσιων τιμών του όζοντος κατά τη δεκαετία 2001-2011.



Διάγραμμα 5.12: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του μαύρου καπνού κατά τη δεκαετία 2001-2011.

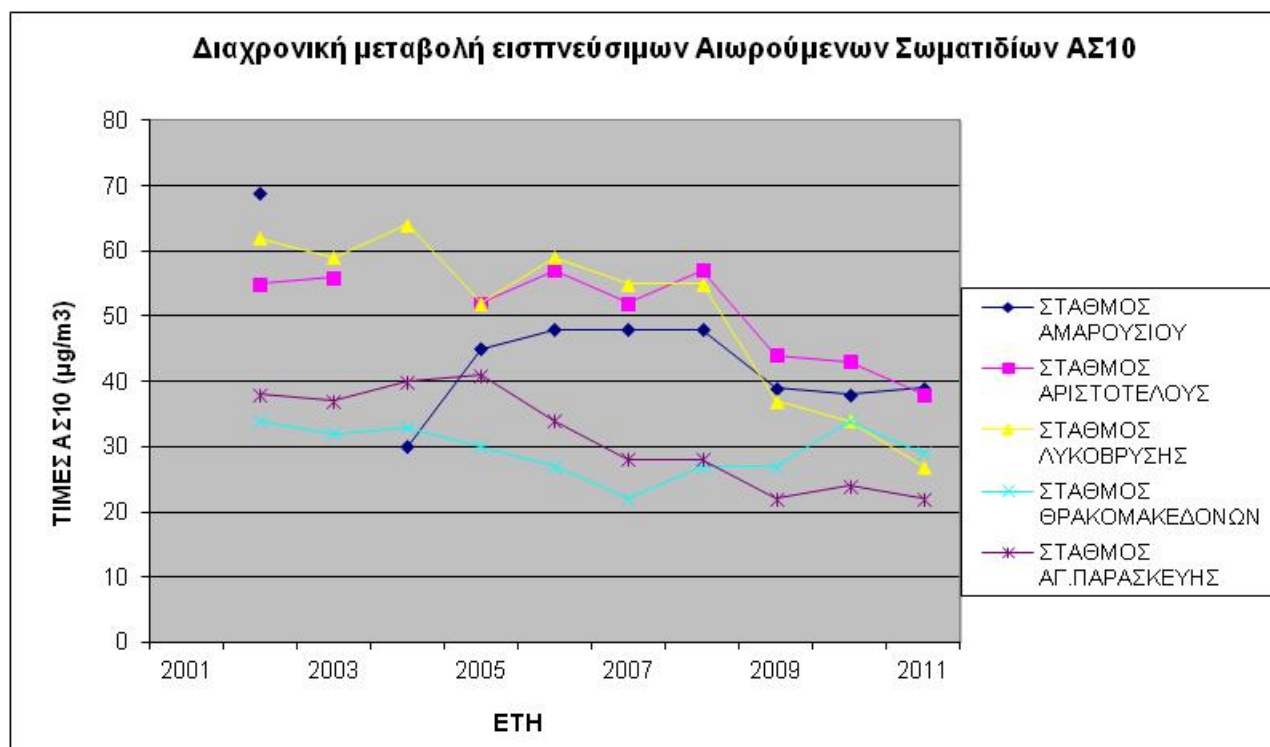
Το παραπάνω διάγραμμα 5.12 απεικονίζει τη διαχρονική μεταβολή του μαύρου καπνού. Τα δεδομένα τα οποία έχουν καταγραφεί, αφορούν τους τέσσερις σταθμούς Αθηνάς, Πατησίων και Ν. Σμύρνης για τα έτη 2001 έως 2005 και το σταθμό Περιστερίου από το 2001 έως το 2003.

Την μεγαλύτερη συγκέντρωση καπνού παρουσιάζει ο σταθμός Πατησίων, στον οποίο όμως παρατηρείται πτώση συγκέντρωσης κατά 55% το 2003. Ακολουθεί ο σταθμός Αθηνάς ο οποίος παρουσιάζει αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια των πέντε ετών που υπάρχουν μετρήσεις. Παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του μαύρου καπνού στο σταθμό Πατησίων τα δυο πρώτα έτη είναι κατά πολύ μεγαλύτερη (περίπου διπλάσια) εκείνης στο σταθμό Αθηνάς.

Οι σταθμοί Περιστερίου και Ν. Σμύρνης παρουσιάζουν τη μικρότερη συγκέντρωση μαύρου καπνού στο ίδιο εύρος τιμών.

Οι μετρήσεις του μαύρου καπνού αντικαταστάθηκαν με τις μετρήσεις των εισπνεύσιμων και αναπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων, των σωματιδίων Α.Σ<sub>10</sub> και των σωματιδίων Α.Σ<sub>2,5</sub>, με βάση τη διεισδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό και την επικινδυνότητα τους σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία. Θεωρείται γενικά ότι τα PM<sub>10</sub> ταυτίζονται με την κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων και έχουν αεροδυναμική διάμετρο έως 10 μm. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές των εισπνεύσιμων Α.Σ<sub>10</sub>, για την ίδια δεκαετία σε πέντε διαφορετικούς σταθμούς: τον σταθμό Αμαρουσίου, Αριστοτέλους, Λυκόβρυσης, Θρακομακεδόνων και Αγ. Παρασκευής. Απεικονίσαμε τις τιμές αυτές στο παρακάτω διάγραμμα, το οποίο αναφέρεται στην εξέλιξη της συγκέντρωσης των Α.Σ<sub>10</sub>, από το 2001 έως το 2011 στους πέντε προαναφερθέντες σταθμούς [22].





Διάγραμμα 5.13: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των Α.Σ<sub>10</sub> σε πέντε διαφορετικούς σταθμούς μέτρησης από το 2001 έως το 2011 [22].

Το παραπάνω διάγραμμα αναφέρεται στη διαχρονική μεταβολή των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων Α.Σ<sub>10</sub>. Οι σταθμοί στους οποίους πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες, είναι διαφορετικοί από τους σταθμούς μέτρησης των προηγούμενων ρύπων, εκτός από το σταθμό της Αγ. Παρασκευής. Επίσης οι μετρήσεις καταγράφηκαν από το 2002 έως το 2011. Σημειώνεται ότι όλες οι μέσες ετήσιες τιμές στους σταθμούς Αριστοτέλους, Λυκόβρυσης και μερικώς στο σταθμό Αμαρουσίου παρουσιάζουν σημαντικές υπερβάσεις του ανώτατου επιτρεπτού ορίου μέχρι το έτος 2008 (40 µg/m<sup>3</sup> μέση ετήσια τιμή).

Ο σταθμός Αμαρουσίου εμφανίζει τη μέγιστη συγκέντρωση το 2002, ακολουθεί πτώση κατά 56% το 2004, ενώ η μέση ετήσια συγκέντρωση για το 2003 δεν δίνεται. Τα επόμενα έτη τα Α.Σ<sub>10</sub> κυμαίνονται εντός ορίων.

Οι σταθμοί Λυκόβρυσης, Αριστοτέλους και Αμαρουσίου κατέγραψαν τις υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις σε όλη τη δεκαετία παρόλο που η γενική πορεία τους παρουσιάζεται καθοδική. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων στους δύο σταθμούς κυμαίνονται στο ίδιο εύρος τιμών.

Ακολουθούν οι σταθμοί της Αγ. Παρασκευής και Θρακομακεδόνων, οι οποίοι καθ' όλη τη δεκαετία παρουσιάζουν τιμές χαμηλότερες του ανώτατου επιτρεπτού ορίου.

Συνολικά παρατηρείται μια μέση μείωση των ετήσιων τιμών των Α.Σ<sub>10</sub> της τάξης του 40 % κατά τη δεκαετία 2001-2011. Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι αριθμητικοί μέσοι όροι των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των Α.Σ<sub>10</sub> σε κάθε σταθμό κατά την δεκαετία 2001-2011.

Όπως φαίνεται, οι σταθμοί Αριστοτέλους και Λυκόβρυσης ακολουθούμενοι από τον σταθμό Αμαρουσίου παρουσιάζουν τις μέγιστες (κατά μέσο όρο) συγκεντρώσεις εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων Α.Σ<sub>10</sub>, ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στην περιοχή των Θρακομακεδόνων.

Συμπερασματικά παρατηρήθηκε σε όλους τους πρωτογενείς ρύπους μια σταδιακή διαχρονική μείωση στη δεκαετία 2001-2011, η οποία προφανώς οφείλεται κυρίως στη χρήση καταλυτικών μετατροπέων και στην αποθείωση του καυσίμου στην αυτοκίνηση.

Πίνακας 5.3.: Αριθμητικοί μέσοι όροι των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των Α.Σ<sub>10</sub> σε κάθε σταθμό κατά την δεκαετία 2001-2011 [22].

ΣΤΑΘΜΟΣ	Α.Σ <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
Αμαρουσίου	44,9
Αριστοτέλους	50,4
Λυκόβρυσης	50,4
Θρακομακεδόνων	29,5
Αγ. Παρασκευής	31,4

Ταυτόχρονα παρατηρήθηκε μείωση των τοξικών ρύπων μολύβδου και του βενζολίου στην ατμόσφαιρα της αστικής περιοχής [22]. Οι ρύποι αυτοί δε συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία, λόγω του μικρού αριθμού μετρήσεων από το ΥΠΕΚΑ και της έλλειψης δεδομένων για τους σταθμούς μέτρησης που επιλέχθηκαν.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6** **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### 6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας στα αστικά κέντρα και ειδικότερα στο παράδειγμα της Αθήνας κατά την δεκαετία 2001-2011. Η εργασία επικεντρώνεται στους σημαντικότερους εκπεμπόμενους ρύπους (μονοξειδίο του άνθρακα, οξειδία του αζώτου, διοξειδίο του θείου, όζοντος, μαύρου καπνού και εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων) στην ατμόσφαιρα κυρίως από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, στις νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση της ρύπανσης και σε νομοθετικές ρυθμίσεις που έχουν θεσπιστεί από το κράτος για τον περιορισμό της και τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από έξι κυρίως σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ [22]. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι δύο αστικοί σταθμοί στις οδούς Αθηνάς και Πατησίων με έντονη κυκλοφορία αυτοκινήτων, οι τρεις αστικοί – περιαστικοί υποβάθρου Ν. Σμύρνης (νότιο προάστιο), Αγίας Παρασκευής (βορειοανατολικό προάστιο) και Περιστερίου (δυτικό προάστιο). Επιπλέον ελήφθη ο σταθμός Πειραιά, ο οποίος βρίσκεται νοτίως του κέντρου και συνδυάζει όχι μόνο αστικό περιβάλλον με έντονη κυκλοφορία αυτοκινήτων, αλλά και εκπομπές ρύπων από την ακτοπλοΐα.

Όσον αφορά υπερβάσεις των μέσων ετήσιων τιμών σε σχέση με τα ανώτατα επιτρεπτά νομοθετημένα όρια κατά τη διάρκεια της δεκαετίας, διαπιστώθηκαν μόνο στο διοξειδίο του αζώτου και στα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια Α.Σ<sub>10</sub>. Οι μέσες ετήσιες τιμές του διοξειδίου του αζώτου ξεπερνούσαν το όριο των 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε όλους τους σταθμούς μέτρησης (εκτός Αγ. Παρασκευής) σε όλη τη δεκαετία. Αντίστοιχα οι μέσες ετήσιες τιμές των Α.Σ<sub>10</sub> ξεπερνούσαν 1,5 έως 2 φορές το ανώτατο ετήσιο επιτρεπτό όριο τόσο στο κέντρο της Αθήνας (σταθμός Αριστοτέλους) μέχρι το 2011, όσο και στους περιαστικούς σταθμούς στα βορειοανατολικά προάστια Αμαρουσίου και Λυκόβρυσης μέχρι το 2008.

Συγκρίνοντας τις μέσες ετήσιες τιμές των ρύπων στους επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης σε όλη τη δεκαετία, διαπιστώθηκαν παρόμοιες κατανομές μέσων ετήσιων τιμών ρύπων στους σταθμούς Αθηνάς και Πειραιά, με τη διαφορά ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου ήταν υψηλότερες, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της ακτοπλοΐας, στον Πειραιά. Επίσης παρόμοια κατανομή μέσων ετήσιων τιμών ρύπων τη δεκαετία 2001-2011 παρατηρήθηκε στους σταθμούς υπόβαθρου Περιστερίου και Νέας Σμύρνης, παρόλο που βρίσκονται σε άλλη γεωγραφική περιοχή.

Όσον αφορά όλους τους εξετασθέντες πρωτογενείς ρύπους (μονοξειδίο του άνθρακα, οξειδία του αζώτου, διοξειδίο του θείου και μαύρο καπνό), οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στο κέντρο της πόλης στο σταθμό Πατησίων όλη την περίοδο 2001-2011, ενώ οι χαμηλότερες στο σταθμό Αγ. Παρασκευής. Αντίθετα οι υψηλότερες τιμές του δευτερογενώς σχηματιζόμενου όζοντος μετρήθηκαν σε όλη της δεκαετία στον περιαστικό σταθμό Αγ. Παρασκευής και οι χαμηλότερες στο κέντρο της πόλης στο σταθμό Πατησίων.

Γενικότερα διαπιστώθηκε μια μείωση των μέσων ετήσιων τιμών που κυμαινόταν από 30-60% κατά την δεκαετία 2001-2011 σε όλους τους σταθμούς μέτρησης και όσον αφορά όλους του εξεταζόμενους πρωτογενείς ρύπους μια μείωση των μέσων ετήσιων τιμών που κυμαινόταν από 30-60% κατά την δεκαετία 2001-2011. Αντίθετα παρατηρήθηκε μια σταθερότητα στις μέσες ετήσιες τιμές του δευτερογενούς ρύπου όζοντος σε όλους τους επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης.

Πιο συγκεκριμένα η μέση μείωση της δεκαετίας 2001-2011 των μέσων ετήσιων τιμών ήταν 64,5 % για το μονοξειδίο του αζώτου, 57,6 % για το μονοξειδίο του άνθρακα, 49 % για το διοξείδιο του θείου, 40 % για εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια Α.Σ<sub>10</sub>, 33,5 % για το διοξείδιο του αζώτου και 0 % για το όζον.

Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση του στόλου των Ι.Χ αυτοκινήτων και των μέσων μαζικής μεταφοράς με την χρήση καταλυτικών μετατροπέων, στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας έλεγχου καυσαερίων (ΚΕΚ), στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές, στη χρήση αποθειωμένων καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές, στη λειτουργία των μέσων σταθερής τροχιάς, στη διευκόλυνση της κυκλοφορίας των μέσων μαζικής μεταφοράς, στη διείσδυση του φυσικού αερίου στον οικιακό, βιομηχανικό και τριτογενή τομέα, στην ολοκλήρωση των μεγάλων κυκλοφοριακών έργων κ.ά. [22].

Η κρίση του χρηματοπιστωτικού συστήματος που διείσδυσε με μεγάλη ταχύτητα στην ευρωπαϊκή οικονομία και ιδιαίτερα στην Ελλάδα, την οδήγησε σε μια μεγάλη σε έκταση και βάθος οικονομική ύφεση. Ταυτόχρονα όμως έχει συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με αποτέλεσμα μέσω των σημαντικών μειώσεων των κοινοτικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που επιτελούνται, στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) μειώθηκαν κατά 6,9% το 2009 σε σύγκριση με το 2008 [44].

Βάσει των εκτιμήσεων αυτών, το 2009 οι εκπομπές της Ε.Ε. ήταν περίπου 17,3% μικρότερες από αυτές του 1990 και άρα πολύ κοντά στο στόχο της μείωσης των εκπομπών κατά 20% έως το 2020. Η μεγάλη μείωση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από την απότομη πτώση 12,7% της χρήσης του άνθρακα. Η πτώση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεγάλη οικονομική ύφεση που σημειώθηκε στην Ε.Ε. το 2009 που με την σειρά της επηρέασε όλους τους οικονομικούς τομείς.

Στην Ε.Ε. η κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) μειώθηκε κατά 5,5% το 2009 σε σύγκριση με το 2008. Συγχρόνως αυξήθηκε σημαντικά η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) σημειώνοντας αύξηση κατά 8,3% (εκτός της βιομάζας). Οι μεγαλύτερες μειώσεις εκπομπών πραγματοποιήθηκαν στις βιομηχανικές διεργασίες αντικατοπτρίζοντας τα χαμηλότερα επίπεδα δραστηριότητας στους τομείς του τσιμέντου, χημικών, σιδήρου και χάλυβα.

Όσον αφορά την Ελλάδα, η βιομηχανική παραγωγή τον Αύγουστο του 2009 κατέγραψε πτώση 8,8% σε σχέση με τον Αύγουστο του 2008 ενώ μεγαλύτερη ήταν η μείωση της παραγωγής στη μεταποίηση (9,6%) η οποία αποτελεί και τον βασικό κορμό της ελληνικής βιομηχανίας.

Στην Ευρώπη το 2009 οι εξακριβωμένες εκπομπές των τομέων που καλύπτονται από το κοινοτικό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) μειώθηκαν κατά 11,6% σε σύγκριση με το 2008.

Η μείωση των εκπομπών είναι συγκυριακή και μία (επιθυμητή άλλωστε) οικονομική ανάκαμψη μπορεί πολύ γρήγορα να περιορίσει ή και να εκμηδενίσει λόγω σωρευμένης καταναλωτικής πίεσης τις όποιες μειώσεις εκπομπών, για τον λόγο αυτό απαιτείται συνεχής επαγρύπνηση και παρακολούθηση.

Από την άλλη πλευρά, στην Ελλάδα από τις αρχές της οικονομικής κρίσης (ειδικότερα από τις αρχές Νοεμβρίου 2010) παρατηρείται στα μεγάλα αστικά κέντρα, Αθήνα (εικόνα 6.1), Θεσσαλονίκη, Βόλο, Ιωάννινα, Πάτρα και άλλες μεγάλες πόλεις μια οπτικά εμφανής επιδείνωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, κυρίως τις βραδινές ώρες. Η μυρωδιά καμένου ξύλου και η παραγωγή μεγάλης ποσότητας αιωρούμενων σωματιδίων είναι ενδεικτική της προέλευσης τους από τζάκια και ξυλόσομπες. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο σε συνθήκες ατμοσφαιρικής σταθερότητας που χαρακτηρίζονται από

άπνοια και την ανάπτυξη του φαινομένου της θερμοκρασιακής αναστροφής. Η θερμοκρασιακή αναστροφή περιγράφει μια κατάσταση στην οποία, λόγω μη κανονικής μεταβολής της θερμοκρασίας με το ύψος, οι αέριες μάζες εγκλωβίζονται κοντά στην επιφάνεια της γης. Με αυτόν τον τρόπο οι αρχικές εκπομπές ρύπων, αντί να διασπείρονται παραμένουν και οι ρύποι συσσωρεύονται. Η θερμοκρασιακή αναστροφή συνήθως λαμβάνει χώρα τις νυχτερινές και πρώτες πρωινές ώρες. Η συσσώρευση των ρύπων που προκαλείται τις νυχτερινές ώρες, το πρωί με την επίδραση και της ηλιακής ακτινοβολίας επιτρέπει τις χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στο δευτερογενή σχηματισμό ακόμη πιο επικίνδυνων ρύπων [20].

Από την καύση καυσόξυλων, άλλης ξυλείας και διαφόρων μορφών pellets σε παραδοσιακά τζάκια, ενεργειακά τζάκια και ξυλόσομπες παράγονται αιωρούμενα σωματίδια, μονοξειδίο του άνθρακα, αλλά και άλλοι ρύποι (αναλόγως της περιεκτικότητας των διαφόρων προϊόντων pellets που κυκλοφορούν). Συγκεκριμένα από την οικιακή καύση ξύλου παράγονται και προσροφώνται στα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και πολικές αρωματικές οργανικές ενώσεις, όπως φαινόλες και οξέα, αλλά και οι αντίστοιχες πολυκυκλικές ενώσεις τους, οι οποίες εκτός από ερεθιστικές για το αναπνευστικό σύστημα, ορισμένες είναι τοξικές και καρκινογόνες. Επιπλέον από τη χρήση ακατάλληλης για καύση ξυλείας, όπως π.χ. καύση επίπλων ή δομικής ξυλείας εκπέμπονται πτητικές οργανικές ενώσεις [20].

Εκτός από τη ρύπανση του εξωτερικού περιβάλλοντος, ιδιαίτερη είναι και η επιβάρυνση του αέρα του εσωτερικού χώρου στον οποίο γίνεται η καύση με τους επικίνδυνους ρύπους. Τα αιωρούμενα σωματίδια που παράγονται από αυτές τις καύσεις ανήκουν στην κατηγορία των αναπνεύσιμων σωματιδίων που μέσω της αναπνοής φθάνουν στους επιθηλιακούς ιστούς των πνευμόνων και μπορούν να συκρατηθούν, μεταφέροντας τις επικίνδυνες ενώσεις. Πέρα από τις μακροχρόνιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία που περιλαμβάνουν την τοξική βιοσυσσωρευση, τη μεταλλαξογένεση και την καρκινογένεση, οι αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων με ρυπογόνο οργανικό υλικό δυσχεραίνουν την αναπνευστική λειτουργία και δημιουργούν μεγάλη επιβάρυνση σε ευαίσθητες πληθυσμιακές ομάδες όπως τα άτομα με άσθμα, οι ασθενείς με αναπνευστικά προβλήματα, τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι [20].

Το Υπουργείο Υγείας της Βρετανίας παρουσίασε τα αποτελέσματα μιας έρευνας για τις μακροχρόνιες συνέπειες της ρύπανσης στην υγεία των πολιτών της χώρας αυτής τον Ιανουάριο του 1998. Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη κάθε χρόνο 12.000-24.000 άτομα στη Βρετανία οδηγούνται σε πρόωρο θάνατο, ενώ άλλα 14.000-24.000 άτομα οδηγούνται εκτάκτως στα νοσοκομεία, εξ αιτίας της ρύπανσης. Οι ρύποι που κατεξοχήν συσχετίστηκαν με αυτά τα εικαζόμενα περιστατικά είναι τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια  $A_{S_{10}}$ , το όζον και το διοξείδιο του θείου [29]. Σε παρόμοια αποτελέσματα καταλήγουν και πιο πρόσφατα στοιχεία που παρουσίασε η NASA 15 χρόνια αργότερα, τον Σεπτέμβριο του 2013, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5. Τα στοιχεία αυτά επιβεβαιώνουν τη συσχέτιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με πρόωρη θνησιμότητα και παρ' όλες τις προσπάθειες και ρυθμίσεις στις βιομηχανοποιημένες πυκνοκατοικημένες περιοχές του πλανήτη, όπως στην Ευρώπη, απαιτείται περαιτέρω μείωση της εκπομπής των ατμοσφαιρικών ρύπων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες για τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής (30).

Όπως λοιπόν διαπιστώθηκε και στην παρούσα πτυχιακή εργασία στο παράδειγμα της Αθήνας, παρόλο που τα μέσα ετήσια επίπεδα όλων των πρωτογενών ρύπων μειώθηκαν σταδιακά από το 2001 έως το 2011, οι τιμές του δευτερογενούς όζοντος παρέμειναν σταθερές και άρχισε να επανεμφανίζεται το φαινόμενο της καπνομίχλης (χωρίς αυτό να αντικατοπτρίζεται στις μέσες ετήσιες τιμές των ρύπων), το οποίο είχε εξαφανιστεί στην Ευρώπη από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν πιθανότατα και άλλες ελληνικές ή ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις και μπορούν να ερμηνευτούν, ότι τόσο ο περαιτέρω έλεγχος και η παρακολούθηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα είναι αναγκαίοι, όσο

και ότι η χρήση νέων εναλλακτικών ενεργειακών και αντιρρυπαντικών τεχνολογιών και η εφαρμογή περιβαλλοντικών νομοθετικών ρυθμίσεων μπορούν μόνο να οδηγήσουν σε ένα καθαρότερο εισπνεόμενο αέρα. Μερικές προτάσεις νέων τεχνολογιών αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 6.1: Η αθηναϊκή αιθαλομίχλη, και γενικά η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας [31].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

#### **7.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ**

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για τον έλεγχο της ρύπανσης του αέρα. Μια προσέγγιση ονομάζεται έλεγχος εισροών και επιχειρεί να εμποδίσει το πρόβλημα της ρύπανσης σε πρώτη φάση. Κάποια παραδείγματα αυτής της προσέγγισης είναι ο έλεγχος της πληθυσμιακής αύξησης, η ανακύκλωση, η μείωση της χρήσης ενέργειας, η χρησιμοποίηση ενέργειας με αποδοτικό τρόπο, η χρήση άλλων εναλλακτικών πηγών ενέργειας που θα αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα και θα δημιουργούν λιγότερους ρύπους, όπως και η μείωση της ρύπανσης στην παραγωγική διαδικασία [18].

Η δεύτερη προσέγγιση αφορά τον έλεγχο των εκπεμπόμενων ρύπων και επιχειρεί να καθαρίσει ή να μειώσει την επίδραση της ρύπανσης αφού δημιουργηθεί. Παραδείγματα είναι οι αντιρρυπαντικές τεχνολογίες που έχουν αναφερθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 4, όπως π.χ. ο χημικός καθαρισμός των αερίων και ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός των σωματιδίων στις καπνοδόχους, η χρήση υψηλών καπνοδόχων και η χρήση μεγάλων όγκων απορροφητικών διαλυμάτων εξουδετέρωσης της εναπόθεσης οξέων και οξειδίων (π.χ. με χρήση CaO). Ενώ αυτές οι τεχνολογίες είναι χρήσιμες και απαραίτητες για την άμεση αντιμετώπιση των προβλημάτων, οι αντιρρυπαντικές μέθοδοι «ελέγχου των εκπεμπόμενων ρύπων» θα μπορούσαν μακροπρόθεσμα να δημιουργήσουν νέα περιβαλλοντικά προβλήματα. Για παράδειγμα, οι συσκευές ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είτε πρόκειται για χημικό καθαρισμό των αερίων ρύπων των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, είτε για καταλυτικούς μετατροπείς στα αυτοκίνητα, κατακλύζονται από αύξηση στη χρήση. Το υπόλειμμα στις συσκευές ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως η υγρή στάχτη που δημιουργείται από το παγίδες αερίων και σωματιδίων είναι ένα επιβλαβές μίγμα, το οποίο χρειάζεται κατόπιν επιπλέον επεξεργασία. Η χρήση απορροφητικών διαλυμάτων (παγίδευσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων) γίνεται όλο και περισσότερο δαπανηρή, καθώς οι όγκοι που απαιτούνται είναι ιδιαίτερα υψηλοί. Γενικότερα το κόστος της χρήσης αντιρρυπαντικών τεχνολογιών είναι ιδιαίτερα υψηλό σε σχέση με την απόδοσή τους.

Η αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής απαιτεί συντονισμένη αντιμετώπιση σε παγκόσμιο επίπεδο, ώστε η ανθρώπινη δημιουργικότητα να επικεντρωθεί στην εξεύρεση αποτελεσματικών λύσεων. Η διασφάλιση της κατάλληλης ποιότητας ζωής για τους πολίτες είναι συνδεδεμένη με τη βιομηχανική ανάπτυξη, τη συμμετοχή των νέων τεχνολογιών και τη μεγαλύτερη αλληλοεπίδραση της τεχνολογίας με την κοινωνία, με σεβασμό στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Η διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης προϋποθέτει την στενή παρακολούθηση των αλληλοεπιδράσεων της βιομηχανίας με το περιβάλλον.

Οι αλληπάλληλες παγκόσμιες κρίσεις, όπως η επισιτιστική, η ενεργειακή, η χρηματοπιστωτική, εντείνονται συνεχόμενα, ενώ παράλληλα εξελίσσεται και η περιβαλλοντική κρίση. Η αντιμετώπιση της μπορεί να αποτελέσει διέξοδο και από την κοινωνικοοικονομική κρίση [24].

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ, οφείλουμε να υιοθετήσουμε ένα νέο πρότυπο ανάπτυξης για τη χώρα. Ένα πρότυπο ανάπτυξης που υπηρετεί τον άνθρωπο και τις πραγματικές του ανάγκες. Η Πράσινη Ανάπτυξη, αυτή που σέβεται το περιβάλλον και το αντιμετωπίζει ως αναπτυξιακό απόθεμα, μπορεί να είναι η μόνη εφικτή και βιώσιμη λύση για τον τόπο. Η Πράσινη Ανάπτυξη αποτελεί μια νέα στρατηγική για την έξοδο από αυτήν την κρίση επιδιώκοντας την ανασυγκρότηση της παραγωγικής βάσης της χώρας, την ισόρροπη

περιφερειακή ανάπτυξη, τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Όλα αυτά δεν μπορεί να γίνουν χωρίς επένδυση στην παιδεία, τη γνώση, την καινοτομία, τις νέες τεχνολογίες. Η ανάδειξη αυτού του νέου αναπτυξιακού προτύπου ανοίγει νέες δυνατότητες από τον αγροτικό μέχρι τον τουριστικό τομέα, δημιουργώντας νέες προοπτικές στον κλάδο της μεταποίησης, στον κατασκευαστικό τομέα, στον τομέα της ενέργειας. Προτεραιότητες αποτελούν το κλίμα και η ενέργεια, η αναδιάρθρωση στους παραγωγικούς τομείς και η εξοικονόμηση των φυσικών πόρων [24].

Σε έναν προικισμένο από τη φύση τόπο σαν την Ελλάδα, η μετάβαση σ'ένα πρότυπο που θα βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη διαχείριση της ενεργειακής ζήτησης είναι εφικτή. Η εξοικονόμηση και η ορθή διαχείριση της ενέργειας αποτελούν το πιο σημαντικό, οικολογικά βέλτιστο, εγγώριο «κοίτασμα» ενέργειας της χώρας μας. Για αυτό, η εξοικονόμηση της ενέργειας και η προώθηση των ΑΠΕ, με παράλληλη ανάπτυξη τεχνογνωσίας και τεχνολογίας και με προϋπόθεση την αύξηση της απασχόλησης και της προστιθέμενης αξίας στην οικονομία μας, αποτελούν προτεραιότητες [24].

Στον τομέα της διαχείρισης των φυσικών πόρων, προτεραιότητα δίνεται στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και στη διαχείριση των υδάτινων πόρων]. Οι πολιτικές για τα δάση αφορούν στη διαφύλαξη τους αλλά και στην ανάπτυξη τους. Εάν διαχειριστούμε συνετά και αποτελεσματικά τα δάση της χώρας μας, θα δημιουργήσουμε ένα πλεονέκτημα για μια ανάπτυξη συμβατή με το περιβάλλον και μάλιστα σε περιοχές γεωγραφικά αποκλεισμένες, τα οφέλη της οποίας θα διαχέονται σε όλο τον τοπικό πληθυσμό. Απαιτείται δασοπονικό σχέδιο για κάθε δασικό σύμπλεγμα, ολοκλήρωση του προγράμματος κατάρτισης των δασικών χαρτών και σύνταξη δασολογίου για τη χώρα [24].

Η επανεξέταση της υδατικής πολιτικής, η ορθή εφαρμογή του Εθνικού Προγράμματος Προστασίας και Διαχείρισης των Υδάτων και η αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως η λειψυδρία και η ξηρασία που αναμένεται να αυξηθούν λόγω κλιματικών αλλαγών, αναδεικνύονται ως τα πιο σημαντικά. Η εξοικονόμηση του πόσιμου νερού και η εφαρμογή προγραμμάτων προστασίας για τα ποτάμια και τις λίμνες προέχουν. Απαιτούνται πολιτικές και τεχνικές εξοικονόμησης νερού, οι οποίες θα εφαρμοστούν στον αγροτικό, τουριστικό, βιομηχανικό και αστικό τομέα. Η ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων με μείωση της παραγωγής, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση υλικών διαχείρισης δημιουργεί μια αγορά και ποιοτικές θέσεις εργασίας στην έρευνα και την ανάπτυξη τεχνολογίας, στην παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών, στα προγράμματα ανακύκλωσης, στην κατασκευή και τη λειτουργία μονάδων επεξεργασίας και εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων [24].

Η αναβάθμιση της ζωής της πόλης μέσα από τις αστικές αναπλάσεις και τη δημιουργία ελεύθερων χώρων πράσινου αποσκοπούν να μετατρέψουν τις πόλεις σε ασφαλείς και βιώσιμες. Το επίπεδο ζωής στις μεγάλες πόλεις ανά τον πλανήτη υποβαθμίζεται σταθερά λόγω της αυξανόμενης ρύπανσης σε συνδυασμό με τις κλιμακές αλλαγές και την αυξανόμενη πυκνότητα πληθυσμού. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μοιάζει να αποτελεί την πλέον εφικτή λύση για την μείωση της ρύπανσης και της ενεργειακής κατανάλωσης σε έναν πλανήτη που αστικοποιείται μαζικά και ασφυκτιά αναλόγως [24, 28].

Η διαδικασία της έντονης αστικοποίησης, η οποία μετά τον δυτικό κόσμο στον 20<sup>ο</sup> και 21<sup>ο</sup> αιώνα επεκτείνεται πλέον και στην Ασία αλλά και στην Αφρική, μετατρέπει τον πλανήτη σε μια σειρά μεγαλουπόλεων (Εικόνα 7.1). Ήδη το μισό του σημερινού παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε πόλεις, ποσοστό το οποίο αναμένεται να προσεγγίσει το 80% το 2050, όταν και ο παγκόσμιος πληθυσμός εκτιμάται ότι θα υπερβεί τα 9 δισεκατομμύρια. Σύμφωνα με τις επίσημες απογραφές πληθυσμών, το 2007 υπήρχαν στο πλανήτη 13 μητροπολιτικά κέντρα με πληθυσμό άνω των 15 εκατομμυρίων κατοίκων, 48 άνω των 5 εκατομμυρίων και 157 άνω του ενός εκατομμυρίου κατοίκων [28].



Καθώς πλέον οι αναπλάσεις μεγάλων ή και μικρών τμημάτων πόλεων θεωρούνται αδύνατες ή εξαιρετικά δύσκολες, εξαιτίας της έλλειψης κεντρικού σχεδιασμού, της έλλειψης πόρων αλλά και λόγω των πρακτικών δυσχερειών που προκαλούνται από την υπερβολική συγκέντρωση πληθυσμού, η βελτίωση των ήδη υπάρχοντων κτιρίων είναι ικανή να βελτιώσει σημαντικά το περιβάλλον των μεγάλων αστικών κέντρων. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, στις Ηνωμένες Πολιτείες οι κτιριακές εγκαταστάσεις είναι υπεύθυνες για το ένα τρίτο της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και το 20% των εκπεμπόμενων ρύπων. Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA – Environmental Protection Agency) σε μελέτες της εκτιμά ότι η ρύπανση εσωτερικών χώρων μπορεί να είναι δυο έως και πέντε φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του εξωτερικού περιβάλλοντος [28].

Σε άλλες χώρες, όπως η Ελλάδα, η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων είναι πολύ υψηλότερη, αφού εκτιμάται ότι τα κτίρια καταναλώνουν το 40% της συνολικής ενέργειας (για ανάγκες κυρίως θέρμανσης ή ψύξης) όντας υπεύθυνα έως και για το 50% των εκπεμπόμενων ρύπων των ελληνικών πόλεων. Τα τελευταία κυρίως χρόνια, οι εκπομπές ρύπων από τα τζακία και τις ξυλόσομπες και η συσσώρευση τους στο αστικό περιβάλλον βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Οι αιτίες του προβλήματος είναι οι συνθήκες που οδηγούν στις αυξημένες εκπομπές όπως η κακή χρήση, η ποιότητα και η επιλογή της καύσιμης ύλης, η δομή/λειτουργία του τζακιού ή της ξυλόσομπας, αλλά και η στροφή μέρους των πολιτών προς λιγότερο αποδοτικές και αποκεντρωμένες μορφές θέρμανσης, όπως η χρήση οικιακού τζακιού και ξυλόσομπας σε κατοικία που προϋπάρχει λύση κεντρικής θέρμανσης, επιλογή που οφείλεται στο αυξημένο κόστος του πετρελίου θέρμανσης [20, 28].

Μία λύση είναι η λειτουργία πλαισίου ελέγχου για τα καυσόξυλα και τα υλικά pellets που κυκλοφορούν, ενώ ειδικά για τα δεύτερα υπάρχουν και σχετικά πρότυπα ποιότητας, στα οποία πρέπει να βασιστεί ένα πλαίσιο εποπτείας της αναπτυσσόμενης αυτής αγοράς. Η ατομική ευθύνη κάθε χρήστη τζακιού ή ξυλόσομπας να εξασφαλίζει τις καλές συνθήκες καύσης και να μην χρησιμοποιεί ακατάλληλα προς καύση υλικά, πρώτα από όλα για την δική του προστασία, είναι ιδιαίτερα σημαντική. Θεωρείται ότι η τυχόν υιοθέτηση προτάσεων για φορολογία στα καυσόξυλα θα μπορούσε αντί να μειώσει την κατανάλωση, να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτη υλοτομία και χρήση τελείως ακατάλληλης προς καύση ξυλείας, πολλαπλασιάζοντας τις περιβαλλοντικές και τις υγειονομικές επιπτώσεις. Η δυνατότητα για χρήση των κεντρικών θερμάνσεων των πολυκατοικιών πρέπει ωστόσο να επανέλθει για μεγάλο μέρος του πληθυσμού [20].

Η ανασκόπηση των φορολογικών εσόδων, η αύξηση των οποίων αποτέλεσε έναν σημαντικό παράγοντα για την εξίσωση του πετρελίου θέρμανσης με αυτό της κίνησης (ένας πολύ σημαντικός λόγος ήταν και η μείωση της φοροδιαφυγής από την χρήση πετρελίου θέρμανσης για κίνηση), δείχνει ότι η πτώση της κατανάλωσης δεν έχει επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα και μια ενδεχόμενη μείωση της φορολογίας που θα οδηγούσε σε πτώση της τιμής κατά 20-30%, θα επέτρεπε τη διατήρηση των φορολογικών εσόδων, επιτρέποντας στους χρήστες κεντρικής θέρμανσης με πετρέλαιο, να τη χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά για θέρμανση τους [20].

Η βελτίωση της ποιότητας ατμόσφαιρας των εσωτερικών χώρων αποτελεί ένα από τα πλέον καινοτόμα πεδία έρευνας στον κόσμο τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της ταχύτατης αστικοποίησης της αντιστρόφως ανάλογης μείωσης της ποιότητας του αέρα στις μεγαλουπόλεις του πλανήτη. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, με παρεμβάσεις είτε στην ίδια την κατασκευή, είτε με την εισαγωγή νέων καινοτόμων χρήσεων των κτιριακών εγκαταστάσεων, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, βελτιώνοντας το κλίμα της πόλης ταυτόχρονα με το επίπεδο ζωής των κατοίκων της, οι οποίοι μάλιστα σύμφωνα με έρευνες καταναλώνουν το 90% του συνολικού χρόνου της ζωής τους εντός κλειστών χώρων (Εικόνα 7.1) [28].



Εικόνα 7.1: Οι κτιριακές εγκαταστάσεις των μεγαλουπόλεων της Αμερικής στις οποίες οι άνθρωποι περνούν ένα μεγάλο μέρος της καθημερινότητάς τους [28].

Σε αντίθεση όμως με άλλα περιβαλλοντικά προγράμματα και προτάσεις, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων εγκαταστάσεων, είναι εφικτή τόσο σε τεχνικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το πρόγραμμα Whole Building Design Guide του Εθνικού Ινστιτούτου Τεχνολογίας Κτιρίων, εκτιμά ότι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου είναι εκτός από εφικτή και εξαιρετικά συμφέρουσα, καθώς «μπορεί να επιτευχθεί καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής και της χρήσης του κτιρίου» χωρίς μάλιστα να απαιτούνται πολύ μεγάλες και κοστοβόρες αλλαγές ή και ολική ανακατασκευή του [28].

Στην Μέση Ανατολή, περιοχή με πολύ υψηλές θερμοκρασίες και έντονη αστικοποίηση τις τελευταίες δεκαετίες, η επιθεώρηση Middle East Climate Control, εκτιμά ότι «στο άμεσο μέλλον η μεγαλύτερη βελτίωση ενεργειακής κατανάλωσης, λειτουργίας και υπηρεσιών μπορεί να επιτευχθεί με την καταγραφή και βελτίωση των ήδη υφισταμένων κτιριακών εγκαταστάσεων» [28].

Πολλές περιβαλλοντικές οργανώσεις έχουν ασχοληθεί εντατικότερα με το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ειδικότερα η Greenpeace είχε διενεργήσει ένα ανεξάρτητο, μη κυβερνητικό, πρόγραμμα καταγραφής των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη ήδη την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου 1998 με τη βοήθεια της κινητής μονάδας μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (AirLab), η οποία ήταν εξοπλισμένη με μηχανήματα για την ανίχνευση και καταγραφή των εξής ρύπων: διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, όζον, σκόνη και ειδικά τα εισπνεόμενα μικροσωματίδια ( $PM_{10}$ ), βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο και καπνό [29].

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε οκτώ σημεία της Αθήνας (στο κέντρο και τα προάστια), στον Πειραιά και σε τέσσερα σημεία της Θεσσαλονίκης (κέντρο, δυτική και ανατολική Θεσσαλονίκη) είχαν καταγράψει ήδη από τη δεκαετία του '90 το φωτοχημικό νέφος και την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ορισμένων ρύπων (όπως των  $PM_{10}$  και οργανικών πτητικών ρύπων), και είχε καταδείξει ότι, ακόμα και οι σύντομες εξάρσεις του

νέφους (η ύπαρξη δηλαδή υψηλών επιπέδων ρύπων για μικρό χρονικό διάστημα) μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία [29].

Ήδη από εκείνη την εποχή είχε διαπιστωθεί, ότι η κύρια πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα είναι η κυκλοφορία των οχημάτων. Τους καλοκαιρινούς μάλιστα μήνες, η κυκλοφορία ευθύνεται για το 80% περίπου του νέφους. Αντίθετα στη Θεσσαλονίκη, εκτός της κυκλοφορίας, ήταν εμφανής και η επίδραση της βιομηχανικής δραστηριότητας [29].

Η μείωση των οχηματοχιλιομέτρων που διανύονται συνολικά στην πόλη, η ενίσχυση των μέσων μαζικής μεταφοράς και η κατάργηση της πετρελαιοκίνησης στα ταξί, είναι τρεις από τις σημαντικότερες δράσεις μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη. Ταυτόχρονα η απαγκίστρωση από τα ορυκτά καύσιμα, η εξοικονόμηση ενέργειας και η ορθολογική της χρήση, παράλληλα με την ανάπτυξη των καθαρών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί ουσιαστικά μονόδρομο για να μειωθεί δραστικά τη ρύπανση. Παράλληλα η ουσιαστική προστασία και ανάδειξη των περιστατικών δασών, που απειλούνται από το καταστροφικό μοντέλο ανάπτυξης των μεγαλουπόλεων που κυριαρχεί τις τελευταίες δεκαετίες, μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα αυτών [29].

Η Πράσινη Ανάπτυξη λοιπόν αναδεικνύεται ως νέο μοντέλο με εφαρμογή σε όλους του τομείς της κοινωνίας. Είναι ταυτόχρονα ένας πολυδιάστατος στόχος για το μέλλον, για το σύγχρονο τοπίο που διαμορφώνεται. Απαιτείται άμεσα η στροφή προς την πράσινη κατεύθυνση για να μετέχουμε στη βελτίωση της ποιότητας ζωής αλλά και για να έχουμε βιώσιμη αναπτυξιακή πορεία [24].

## 7.2. ΚΑΘΑΡΟΤΕΡΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ

Στα πλαίσια πολιτικής για την προώθηση των καθαρότερων καυσίμων και οχημάτων στις οδικές μεταφορές, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ήδη τον στόχο της υποκατάστασης του 20% των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές με εναλλακτικά καύσιμα μέχρι το 2020. Για τον σκοπό αυτό η Ε.Ε, έχει ήδη προβεί σε έκδοση Οδηγιών, αποφάσεων και προτάσεις οδηγιών για την προώθηση της αγοράς των εναλλακτικών καυσίμων στα κράτη-μέλη [35]:

- Από το 2010, το 5,75% των καυσίμων μεταφορών αποτελείται από βιοκαύσιμα, (οδηγία 2003/30/EK), με την ενδεχόμενη προοπτική να αυξηθεί η αναλογία αυτή σε 8% μέχρι το 2015. Στο Χάρτη Πορείας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προτείνεται ο καθορισμός ενός ελάχιστου δεσμευτικού στόχου για τα βιοκαύσιμα στο 10% όσον αφορά τα καύσιμα οχημάτων μέχρι το 2020.

- δημιουργία πλαισίου για την μείωση ή απαλλαγή των βιοκαυσίμων ή άλλων εναλλακτικών καυσίμων όπως φυσικό αέριο, υγραέριο από τον ειδικό φόρο κατανάλωσης στον οποίο υπόκεινται τα συμβατικά υγρά καύσιμα. (Οδηγία 2003/96/EK).

- πρόταση οδηγίας COM(2005) 261, 5.07.2005 για την φορολόγηση επιβατικών οχημάτων ανάλογα με τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, προκειμένου να ενθαρρυνθεί η αγορά καθαρών και περισσότερο ενεργειακά αποδοτικών οχημάτων.

- Πρόταση οδηγίας COM(2005) 634, 21.12.2005 η οποία προβλέπει την προώθηση καθαρών οχημάτων οδικής μεταφοράς για τη μείωση των ρύπων με υποχρεωτική ποσόστωση καθαρών οχημάτων "Enhanced environmentally friendly vehicle" ("EEV") (directive 2005/55/EC/20.10.2005) στη προμήθεια βαρέων οχημάτων για φορείς δημόσιας διοίκησης. Οι δημόσιοι οργανισμοί-φορείς υπόκειται στην υποχρέωση να διαθέτουν

ελάχιστη ποσόστωση 25% των ετήσιων προμηθειών τους (αγορές ή χρηματοοικονομική μίσθωση) οχημάτων άνω των 3,5 τόνων για «βελτιωμένα και σεβόμενα το περιβάλλον οχήματα».

• Σύμφωνα με την στρατηγική της Ε.Ε. για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στα ελαφρά οχήματα μεταφοράς εμπορευμάτων, πρέπει να επιτευχθούν για τα σχετικά καινούργια οχήματα κατά μέσον όρο εκπομπές CO<sub>2</sub> 140 g/km μέχρι το 2008/09 και 120 g/km μέχρι το 2012.



Εικόνα 7.2: Παραγωγή, χρήση και περιβαλλοντικό όφελος βιοκαυσίμων [35].

Επομένως, τα εναλλακτικά καύσιμα (όπως βιοκαύσιμα, φυσικό αέριο, υδρογόνο) πρόκειται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών και ενέργειας, επειδή αποτελούν μία από τις λίγες διαθέσιμες εναλλακτικές επιλογές με την οποία η βενζίνη και το πετρέλαιο κίνησης θα αντικατασταθούν ως ανανεώσιμα καύσιμα για τις μεταφορές με μικρότερη συνεισφορά στην κλιματική αλλαγή και γενικότερα στην ρύπανση της ατμόσφαιρας (Εικόνα 7.2).

Πιο αναλυτικά, τα οχήματα τα οποία λειτουργούν με φιλικότερα στο περιβάλλον, ανανεώσιμα, εναλλακτικά καύσιμα είναι τα παρακάτω [35]:

**Οχήματα φυσικού αερίου.** Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκοσμίου Συνδέσμου Οχημάτων Φυσικού Αερίου, σήμερα κυκλοφορούν παγκοσμίως περίπου 5 εκατομμύρια τέτοια οχήματα. Σε ορισμένες χώρες η ευνοϊκή φορολογική πολιτική για τα οχήματα φυσικού αερίου έχει οδηγήσει σε σημαντική διάδοση των οχημάτων αυτών. Στην Αθήνα κυκλοφορούν περισσότερα από 400 λεωφορεία φυσικού αερίου. Τα οχήματα φυσικού αερίου διαθέτουν κινητήρες εσωτερικής καύσης με ανάφλεξη και είναι παρόμοια με τα βενζινοκίνητα οχήματα, αλλά με διαφορετικό εξοπλισμό αποθήκευσης και παροχής του καυσίμου.

Το φυσικό αέριο όταν συμπιέζεται δεν υγροποιείται και για τον λόγο αυτό αποθηκεύεται επάνω στο όχημα ως συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG – Compressed Natural Gas) υπό πολύ υψηλή πίεση, συνήθως 200 bar, ή ως κρυογονικά υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG – Liquefied Natural Gas) σε θερμοκρασίες κάτω από -180°C.

Υπάρχουν τρεις τύποι οχημάτων φυσικού αερίου: τα οχήματα που λειτουργούν αποκλειστικά με φυσικό αέριο, τα οχήματα διπλού καυσίμου που λειτουργούν με φυσικό αέριο ή βενζίνη και τα οχήματα μίγματος φυσικού αερίου και Diesel, όπου τα ποσοστά των δύο καυσίμων μεταβάλλονται ανάλογα με τις στροφές και το φορτίο του κινητήρα.

Τα οχήματα φυσικού αερίου σε γενικές γραμμές είναι πολύ φιλικά προς το περιβάλλον αναφορικά με τις εκπομπές αερίων ρύπων, δηλ. τις εκπομπές που επιβαρύνουν την ανθρώπινη υγεία, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NOx) και τους καρκινογόνους υδρογονάνθρακες (HC). Τα οχήματα φυσικού αερίου έχουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές σωματιδίων, γεγονός που τους δίνει μεγάλο πλεονέκτημα έναντι των πετρελαιοκίνητων και αποτελεί έναν από τους βασικούς λόγους αντικατάστασης βαρέων οχημάτων diesel με αντίστοιχα φυσικού αερίου. Όπως και τα άλλα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων, τα οχήματα φυσικού αερίου χαρακτηρίζονται και αυτά από υψηλότερο κόστος αγοράς, το διαφορετικό αυτό κόστος όμως αποσβένεται γρήγορα από το χαμηλότερο κόστος καυσίμων [36].

**Οχήματα βιοντίζελ.** Το βιοντίζελ μπορεί να αντικαταστήσει τελείως το συμβατικό πετρέλαιο κίνησης ή να αναμειχθεί με αυτό σε διαφορετικές αναλογίες για χρήση σε πετρελαιομηχανές. Η πρακτική της ανάμειξης είναι πολύ συνηθισμένη σε πολλές χώρες, με το ποσοστό του 5% να είναι το συνηθέστερο, δηλ. 5% βιοντίζελ, 95% πετρέλαιο κίνησης. Στην Ελλάδα η περιεκτικότητα του βιοντίζελ στο πετρέλαιο κίνησης από το 2010 είναι 6 - 7 %.

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του βιοντίζελ μοιάζουν πολύ με εκείνες του ορυκτού πετρελαίου και για αυτό οι συμβατικοί κινητήρες δεν χρειάζονται μετατροπές για να χρησιμοποιούν μίγματα έως περίπου 5%. Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι σύγχρονοι κινητήρες μπορούν να λειτουργούν με μίγματα έως 30%, αλλά πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η χρήση μιγμάτων με πάνω από 5% βιοντίζελ, μπορεί να ακυρώσει αρκετές από τις εγγυήσεις των κατασκευαστών. Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 590, για το πετρέλαιο κίνησης επιτρέπει ανάμειξη μέχρι 5% βιοντίζελ. Η χρήση 100% βιοντίζελ πρέπει να ικανοποιεί το Ευρωπαϊκό πρότυπο ποιότητας EN 14214. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης βιοντίζελ σαν καύσιμο μεταφορών είναι ότι μπορεί να παρουσιάσει μείωση στις εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τη χρήση συμβατικού πετρελαίου (Εικόνα 7.2). Η χρήση 100% βιοντίζελ (πράγμα ακόμα μη υλοποιήσιμο) μπορεί να μειώσει τις καθαρές εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 40-50%, ενώ αντίστοιχα η χρήση μίγματος 5% μειώνει το CO<sub>2</sub> κατά 2 - 2,5% [37].

**Βιοαιθανόλη.** Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μίγμα 5 10 % με βενζίνη σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο ποιότητας EN 228. Η χρήση τέτοιου μίγματος δεν απαιτεί μετατροπή του κινητήρα. Στην Ελλάδα το ποσοστό ανάμειξης στη βενζίνη από το 2011 είναι 5 % (E5) ή 10 % (E10).

Το κύριο πλεονέκτημα της βιοαιθανόλης είναι ότι η χρήση της έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Εικόνα 7.2). Από τη χρήση 100% βιοαιθανόλης θα προκύψει μείωση 50-60% των αερίων του θερμοκηπίου υπολογισμένη σε πλήρη κύκλο ζωής, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση μιγμάτων είναι προφανώς μικρότερα. Για παράδειγμα από τη χρήση μίγματος 5% βιοαιθανόλης προκύπτει καθαρή μείωση 2,5 - 3 % [38].

**Υβριδικά οχήματα.** Τα υβριδικά οχήματα διαθέτουν ταυτόχρονα κινητήρα εσωτερικής καύσης και ηλεκτροκινητήρα. Τα υβριδικά οχήματα είναι «καθαρότερα» και

περισσότερο αποδοτικά από τα συμβατικά οχήματα, παρουσιάζουν μικρότερο λειτουργικό κόστος, παρόλο που είναι ακριβότερα στην αγορά τους. Τα οχήματα αυτά δεν είναι δυσκολότερα στην οδήγηση από τα συμβατικά οχήματα, αλλάζουν αυτόματα λειτουργία από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης στον ηλεκτροκινητήρα και δεν απαιτείται να συνδεθούν με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για την φόρτιση των μπαταριών γιατί διαθέτουν αυτόματο σύστημα μετάδοσης [39].

**Οχήματα κυψελών καυσίμου.** Η κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που ενώνει το υδρογόνο ( $H_2$ ) και το οξυγόνο και παράγει μόνο νερό, θερμότητα και ηλεκτρισμό. Η κυψέλη καυσίμου είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναμένεται να προσφέρει μια καθαρή και αποδοτική πηγή ισχύος για πολλές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, η οποία εφαρμόζεται σε διαστημόπλοια και υποβρύχια ήδη. Σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές οχημάτων συμμετέχουν σε σημαντικά ερευνητικά προγράμματα με κυψέλες καυσίμου, αλλά οι περισσότεροι πιστεύουν ότι τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου (OKK) δεν θα έχουν ευρεία χρήση μέχρι περίπου το 2020 λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής και πώλησης τους. Τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου που τροφοδοτούνται με υδρογόνο δεν παράγουν ρύπους, εκτός από ατμό, και για το λόγο αυτό παρουσιάζουν μεγάλο περιβαλλοντικό όφελος. Η οικονομική βιωσιμότητα των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου εξαρτάται πολύ από την μείωση του κόστους παραγωγής των κυψελών καυσίμου και από την ανάπτυξη εμπορικά βιώσιμης υποδομής ανεφοδιασμού [40].

**Κινητήρες εσωτερικής καύσης με υδρογόνο.** Το  $H_2$  μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK) αντίστοιχες των βενζινοκινητήρων, οι οποίες όμως δεν παράγουν σχεδόν καθόλου αέριους ρύπους (εκτός από ελάχιστες ποσότητες που προκύπτουν από τα λιπαντικά και την παραγωγή οξειδίων του αζώτου). Οι MEK υδρογόνου παρουσιάζουν κάποια από τα πλεονεκτήματα των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου αλλά με τεχνολογία ήδη πιστοποιημένη και περισσότερο αποδεκτή από τους καταναλωτές. Οι MEK υδρογόνου θα βοηθήσουν να καλυφθεί το κενό μέχρι το απώτερο μέλλον, που θα εισαχθούν τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου, δημιουργώντας ζήτηση για καύσιμο  $H_2$  και οδηγώντας στην ανάπτυξη υποδομής για ανεφοδιασμό. Στο απώτερο μέλλον αναμένεται να επικρατήσουν τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου, κυρίως επειδή είναι πολύ πιο αποδοτικά [41].

Στο Φλαμανδικό Ινστιτούτο VITO του Βελγίου (σε συνεργασία με το ΚΑΠΕ στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου TREATISE) δημιουργήθηκε το λογισμικό συγκριτικής αξιολόγησης για στόλους οχημάτων. Το συγκεκριμένο λογισμικό ενεργειακής και περιβαλλοντικής διαχείρισης στόλων οχημάτων αποτελεί μια ευέλικτη βάση δεδομένων που απευθύνεται σε ιδιοκτήτες- διαχειριστές στόλων οχημάτων, οι οποίοι καταχωρώντας στην βάση τα χαρακτηριστικά των οχημάτων του στόλου, έχουν την δυνατότητα να πληροφορηθούν, να αξιολογήσουν και τελικά να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση ενός ή περισσότερων οχημάτων του στόλου τους. Αναλυτικότερα, η παραπάνω εφαρμογή δημιουργήθηκε με τελικό αποδέκτη τους ιδιοκτήτες και διαχειριστές στόλων παντός είδους οχημάτων, ώστε αυτοί να λάβουν γνώση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των οχημάτων τους και να ανακαλύψουν τις δυνατότητες για μείωση του κόστους καυσίμων, τη μείωση των εκπομπών των ρύπων και την προώθηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων. Με τον τρόπο αυτό οι ιδιοκτήτες -διαχειριστές στόλων οχημάτων παρακινούνται να συνεισφέρουν στην βιώσιμη ανάπτυξη του κλάδου των οδικών μεταφορών, μέσω της βελτιστοποίησης της λειτουργίας του στόλου τους και της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών και περιβαλλοντικά φιλικών οχημάτων, είτε με την χρήση συμβατικών είτε εναλλακτικών καυσίμων [35].

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Ποιότητα αστικών κέντρων. Αστικό περιβάλλον και ποιότητα ζωής [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.enthes.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6:enthe](http://www.enthes.net/index.php?option=com_content&view=article&id=6:enthe) [προσβάσιμο στις 28 Ιανουαρίου 2014]
2. Ιωάννης Β. Γεντεκάκης Ατμοσφαιρική ρύπανση. Επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.
3. Αστικοί ρύποι [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.oikologio.gr/content/view/2265/2/> [προσβάσιμο στις 26 Ιανουαρίου 2014]
4. Αστικοί ρύποι. On-line-Αέρας-δηλητήριο σε Περιστερί και Λυκόβρυση. Διαθέσιμο από: <http://www.tanea.gr/default.asp?pid=2&artid=4530019+ct=1> [προσβάσιμο στις 3 Ιουνίου 2014]
5. V4.ethnos.gr- Το επικίνδυνο χημικό νέφος «χτυπά»και τα Μεσόγεια [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.ethnow.gr/artcle.asp?catid=11900&subid=2&tag=8400&pubid=1930785> [προσβάσιμο στις 28 Ιανουαρίου 2014]
6. Econews.gr Περιβάλλον-Environment Ενέργεια-Energy Οικολογία-Ecology [online]. Διαθέσιμο από: [www.econews.gr](http://www.econews.gr) [προσβάσιμο στις 4 Φεβρουαρίου 2014]
7. Θ.Κουιμτζή, Κ.Φυτιάνου, Κ.Σαμαρά- Κωνσταντίνου Χημεία περιβάλλοντος. Εκδόσεις University Studio Press, 2009.
8. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης [online]. Διαθέσιμο από: <http://utopia.dyth.gr> [προσβάσιμο στις 4 Φεβρουαρίου 2014]
9. Όξινη βροχή [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.google.gr/search?q=%CE%BF%CE%BE%CE%B9%CE%BD%CE%B7+%CE%B2%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%B7&biw=600&bih=1024&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=VLHTVNVrIoLuUtnVgrAM&ved=OCCgQ7Ak#imgrc=2qfcO-P-AIXmNM%253A%3BxJfiQu11DX3H3M%3Bhttp%253A%252F%252F1lyk-dramas.dra.sch.gr%252Fefimerida%252Ffebruary2011%252Foksini.files%252Fimage006.jpg%3Bhttp%253A%252F%252F1lyk-dramas.dra.sch.gr%252Fefimerida%252Ffebruary2011%252Foksini.htm%3B438%3B281> [προσβάσιμο στις 23 Μαρτίου 2014]
10. Φαινόμενο θερμοκηπίου [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.e-telescope.gr> [προσβάσιμο στις 4 Φεβρουαρίου 2014]
11. Φωτοχημικό νέφος [online]. Διαθέσιμο από: [http://3lykargyr.att.sch.gr/arg/books/gl02pdf/g02s111\\_112.pdf](http://3lykargyr.att.sch.gr/arg/books/gl02pdf/g02s111_112.pdf) [προσβάσιμο στις 4 Φεβρουαρίου 2014]
12. Πρωτόκολλο του Κιότο [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.greenpeace.org/greece/news/kyoto-protocol-story> [προσβάσιμο στις 5 Νοεμβρίου 2014]
13. Ecocity [online] Διαθέσιμο από: <http://www.ecocity.gr/uploaded/files/static/Samara.doc> [προσβάσιμο στις 28 Ιανουαρίου 2014]

14. Τρύπα όζοντος [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://users.att.sch.gr/xtsamis/images/ozon.jpg> [προσβάσιμο στις 28 Ιανουαρίου 2014]
15. Econews.gr Περιβάλλον-Environment Ενέργεια-Energy Οικολογία-Ecology [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.econews.gr/wp-content/uploads/2009/03/hole-in-ozone.jpg> [προσβάσιμο στις 8 Απριλίου 2014]
16. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων. Διαθέσιμο από: [http://www.cleaningfed.gr/viewpost.php?post\\_id=1&category=aropseis](http://www.cleaningfed.gr/viewpost.php?post_id=1&category=aropseis) [προσβάσιμο στις 12 Φεβρουαρίου 2010]
17. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων. Διαθέσιμο από: <http://www.arogematini.gr/?p=39862> [προσβάσιμο στις 12 Φεβρουαρίου 2010]
18. Makofske Karlin, Τεχνολογία και παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα. Εκδόσεις Ίων, 1999.
19. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.minenv.gr/download/2008-05-12.eisigisi.gia.to.ethniko.sxedio.antimetopisis.tis.atmosferikis.ripansis.doc> [προσβάσιμο στις 17 Σεπτεμβρίου 2013]
20. Χρήση καυσόξυλων στα μεγάλα αστικά κέντρα [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.skai.gr/mobile/article?aid=243695> [προσβάσιμο στις 6 Φεβρουαρίου 2014]
21. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.minenv.gr/download/2010/2010January/2010.01.28.Maniatis.omilia.OSEP.doc> [προσβάσιμο στις 17 Σεπτεμβρίου 2013]
22. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Περιβάλλον. Ποιότητα της Ατμόσφαιρας. Εκθέσεις [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=TYgrT0qoSrI%3d&tabid=490&language=el-GR> [προσβάσιμο στις 10 Ιανουαρίου 2014]
23. Μέτρα Καταπολέμησης Ατμοσφαιρικής ρύπανσης [online]. Διαθεσιμό από: [www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=71](http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=71) [προσβάσιμο στις 6 Ιουνίου 2014]
24. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής [online]. Πράσινη Ανάπτυξη. Διαθέσιμο από: [www.ypeka.gr/?tabid=223](http://www.ypeka.gr/?tabid=223) [προσβάσιμο στις 14 Δεκεμβρίου 2014]
25. Κυριότεροι Ατμοσφαιρικοί ρύποι [online]. Διαθέσιμο από: [www.env-edu.gr/Documents/Ατμοσφαιρικη%20Ρύπανση%20-%20Οδηγός%20Εκπαιδευτικών.pdf](http://www.env-edu.gr/Documents/Ατμοσφαιρικη%20Ρύπανση%20-%20Οδηγός%20Εκπαιδευτικών.pdf) [προσβάσιμο στις 22 Σεπτεμβρίου 2014]
26. Πηγές Βασικότερων Ατμοσφαιρικών Ρύπων. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.minenv.gr/1/12/122/12203/g1220302.html> [προσβάσιμο στις 5 Απριλίου 2014]



27. Αιωρούμενα σωματίδια [online] Διαθέσιμο από: [Digilib.lib.unipi.gr](http://Digilib.lib.unipi.gr) [προσβάσιμο στις 19 Ιανουαρίου 2014]
28. Μέτρα για την βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας [online]. Διαθέσιμο από: [www.solon.org.gr](http://www.solon.org.gr) [προσβάσιμο στις 20 Νοεμβρίου 2014]
29. Βιβλιογραφία Ρύπων Πόλης [online] Διαθέσιμο από: <http://www.greenpeace.org/greece/Global/greece/report/2008/9/airlab.pdf> [προσβάσιμο στις 3 Φεβρουαρίου 2014]
30. Παγκόσμιος χάρτης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [online]. Διαθέσιμο από: [http://anekshgha.blogspot.gr/2013/09/blog-post\\_8929.html](http://anekshgha.blogspot.gr/2013/09/blog-post_8929.html) [προσβάσιμο στις 6 Ιουνίου 2014]
31. Αιθαλομίχλη στην Ελλάδα [online]. Διαθέσιμο από: <http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=1231269615> [προσβάσιμο στις 6 Ιουνίου 2014]
32. Euro V.htm [online]. Διαθέσιμο από: <file:///F:/Euro%20V.htm> [προσβάσιμο στις 5 Δεκεμβρίου 2014]
33. Βιοκαύσιμα [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.autotriti.gr/data/magazine/viewthema/38859\\_26367.asp](http://www.autotriti.gr/data/magazine/viewthema/38859_26367.asp) [προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2014]
34. Βιοκαύσιμα [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.autotriti.gr/data/magazine/viewthema/38859\\_26373.asp](http://www.autotriti.gr/data/magazine/viewthema/38859_26373.asp) [προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2014]
35. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/metafores/katharotera\\_oximata.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/katharotera_oximata.htm) [προσβάσιμο στις 4 Μαρτίου 2014]
36. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/metafores/katharotera\\_oximata\\_fysikou\\_aeriou.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/katharotera_oximata_fysikou_aeriou.htm) [προσβάσιμο στις 4 Μαρτίου 2014]
37. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/metafores/katharotera\\_oximata\\_biodiesel.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/katharotera_oximata_biodiesel.htm) [προσβάσιμο στις 4 Μαρτίου 2014]
38. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/metafores/katharotera\\_oximata\\_bioethanoli.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/katharotera_oximata_bioethanoli.htm) [προσβάσιμο στις 4 Μαρτίου 2014]
39. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/metafores/katharotera\\_oximata\\_hybridika\\_oximata.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/katharotera_oximata_hybridika_oximata.htm) [προσβάσιμο στις 4 Μαρτίου 2014]

40. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/metafores/katharotera\\_oximata\\_kypselon\\_kaysimou.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/katharotera_oximata_kypselon_kaysimou.htm) [προσβάσιμο στις 4 Μαρτίου 2014]
41. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.cres.gr/energy\\_saving/metafores/katharotera\\_oximata\\_ydrogen.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/katharotera_oximata_ydrogen.htm) [προσβάσιμο στις 4 Μαρτίου 2014]
42. Φαινόμενο του θερμοκηπίου [online]. Διαθέσιμο από: [https://www.google.gr/search?q=εικονες+φαινομενο+θερμοκηπιου&rlz=1C1KMZB\\_enGR566GR567&espn=210&es\\_sm=93&tbn=isch&imgil=eYMT1IXkRHZ6xM%253A%253Bhttps%253A%252F%252Fencrypted-tbn3.gstatic.com%252Fimages%253Fq%253Dtbn%253AAND9GcRoJqHen\\_G2DFfhKAZx\\_A1gXJNW-tOhk9WTvRs2kPRoZMYXiBq0d%253B410%253A](https://www.google.gr/search?q=εικονες+φαινομενο+θερμοκηπιου&rlz=1C1KMZB_enGR566GR567&espn=210&es_sm=93&tbn=isch&imgil=eYMT1IXkRHZ6xM%253A%253Bhttps%253A%252F%252Fencrypted-tbn3.gstatic.com%252Fimages%253Fq%253Dtbn%253AAND9GcRoJqHen_G2DFfhKAZx_A1gXJNW-tOhk9WTvRs2kPRoZMYXiBq0d%253B410%253A) [προσβάσιμο στις 6 Ιουνίου 2014]
43. Ευρωπαϊκή Πολιτική, 2012. *Ευρωπαϊκός Χάρτης Πορείας προς μια οικονομία χαμηλού άνθρακα μέχρι το 2050* [online]. Διαθέσιμο από: [http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446&language=el-GR&SkinSrc=%5BG%5DSkins%2F\\_default%2FNo+Skin&ContainerSrc=%5BG%5DContainers%2F\\_default%2FNo+Container&dnnprintmode=true](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446&language=el-GR&SkinSrc=%5BG%5DSkins%2F_default%2FNo+Skin&ContainerSrc=%5BG%5DContainers%2F_default%2FNo+Container&dnnprintmode=true) [προσβάσιμο στις 5 Απριλίου 2014].
44. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2013. Κλιματική αλλαγή - ευρωπαϊκή πολιτική [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446> [προσβάσιμο στις 02 Ιουνίου 2014].
45. Alan Buis and Steve Cole. 2011. NASA Leads Study of Unprecedented Arctic Ozone Loss. [online] Διαθέσιμό από: <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/arctic20111002.html>, [προσβάσιμο στις 03/06/2014.]