



Πολυτεχνείο
Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

LOREN LARASHI

A.M. 2005050058

Εξεταστική επιτροπή: Τρύφων Δάρας (Επιβλέπων)

Διονύσια Κολοκοτσά

Παρασκευή Παναγιωτόπουλου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική εργασία διεξήχθη στο πλαίσιο του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Με την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας ολοκληρώνεται ένας κύκλος σπουδών, για την επιτυχή έκβαση του οποίου οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Τρύφωνα Δάρα, Επίκουρο Καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγησή του, καθώς και την εποικοδομητική συνεργασία που μου παρείχε.

Την παρούσα διπλωματική εργασία την αφιερώνω στους γονείς μου, για την υπομονή και την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου και ιδιαίτερα τους: Ευφροσύνη Τσουκλείδη, Σάλβα Κιρακοσιάν, Θεοδώρα Παρδάλη, Σοφία Δρακούλη και Ευσταθία Κουρνιώτη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της χρονικής διακύμανσης των ατμοσφαιρικών ρύπων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η διαχρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, όζοντος, αιρούμενων σωματιδίων και βενζολίου, για το χρονικό διάστημα 2012-2016. Για την πραγματοποίηση της έρευνας αξιοποιήθηκαν δεδομένα που προέρχονται από το δίκτυο σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που καλύπτουν όλη την περιοχή της Αθήνας που έχει εγκαταστήσει το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) του ΥΠΕΝ.

Από την επεξεργασία των δεδομένων τα συμπεράσματα που προέκυψαν αφορούσαν στις συγκεντρώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα οι οποίες επηρεάζονται από τη γεωγραφική θέση της περιοχής, τη χρονική περίοδο του έτους και τις γενικές δραστηριότητες της πόλης. Παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις στο κέντρο της Αθήνας κυρίως τους χειμερινούς μήνες, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται τους καλοκαιρινούς μήνες του έτους και σε περιοχές μακριά από την κίνηση της πόλης. Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων καταδεικνύει μια τάση βελτίωσης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Η πτωτική τάση για τους ρύπους οφείλεται στα μέτρα ασφαλείας που έχουν θεσπιστεί νομοθετικά για τη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Ατμοσφαιρική Ρύπανση	2
1.1 Ατμόσφαιρα	2
1.1.1 Κατακόρυφη δομή	3
1.2 Ατμοσφαιρικοί Ρύποι	7
1.2.1 Κατηγορίες ατμοσφαιρικών ρύπων	7
1.2.2 Μονάδες συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων	9
1.2.3 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων	10
1.3 Ατμοσφαιρικός κύκλος της ρύπανσης	14
1.3.1 Ευστάθεια ατμόσφαιρας	16
1.3.2 Τρόποι διασποράς ατμοσφαιρικών ρύπων	18
1.3.3 Μορφές και τροχιές θυσάνου	20
1.4 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης	25
1.5 Μέτρηση αέριων ρύπων	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Κύριοι Ατμοσφαιρικοί Ρύποι	28
2.1 Μονοξείδιο του άνθρακα	28
2.2 Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	29
2.3 Οξείδια του αζώτου (NO _x)	31
2.4 Όζον	33
2.5 Αιωρούμενα σωματίδια	36
2.6 Υδρογονάνθρακες	39
2.6.1 Βενζόλιο	40
2.6.2 Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	41
2.6.3 Πολυχλωριωμένα διφαινύλια	42

2.7	Βαρέα μέταλλα	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Νομοθετικό Πλαίσιο		45
3.1	Περιβαλλοντική πολιτική Ευρωπαϊκής Κοινότητας	45
3.2	Όρια ασφαλείας – ποιότητας ατμόσφαιρας	46
3.3	Θεσμικό πλαίσιο ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στην ΕΕ	47
3.4	Όρια ποιότητας ατμόσφαιρας	49
3.5	Αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης	51
3.6	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Η περιοχή της Αθήνας		56
4.1	Γενικές πληροφορίες	56
4.2	Γεωμορφολογία	57
4.3	Κλιματολογικά και Μετεωρολογικά στοιχεία	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Μεθοδολογία		61
5.1	Σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	61
5.2	Μετρούμενοι ρύποι	63
5.3	Βαθμονόμηση αυτόματων οργάνων	63
5.4	Γενική αξιολόγηση δεδομένων	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Αποτελέσματα		69
6.1	Διαχρονική εξέλιξη ατμοσφαιρικής ρύπανσης	69
6.2	Μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	78
6.3	Υπερβάσεις ορίων ποιότητας ατμόσφαιρας	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Συμπεράσματα		109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		113
Ελληνική Βιβλιογραφία		113
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία		116
Παράρτημα Ι: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης (2012-2016)		120
Παράρτημα ΙΙ: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης (2012-2016)		125

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, ιδιότητες και κυριότερες επιπτώσεις τους.	8
Πίνακας 2: Μέση σύσταση του ξηρού αέρα κάτω των 80 χλμ.	10
Πίνακας 3: Κατηγορίες ευστάθειας της ατμόσφαιρας κατά Pasquill	17
Πίνακας 4: Επιπτώσεις στην υγεία για διάφορα επίπεδα SO ₂	30
Πίνακας 5: Επιπτώσεις στην υγεία για διάφορα επίπεδα NO ₂	32
Πίνακας 6: Παραδείγματα ενώσεων ΠΑΥ	41
Πίνακας 7: Βαρέα μέταλλα, πηγές και επιδράσεις τους στην υγεία	44
Πίνακας 8: Οριακές τιμές ατμοσφαιρικές ρύπων και έτη ισχύος σύμφωνα με τις Οδηγίες της ΕΕ	50
Πίνακας 9: Τιμές ορίων για αιωρούμενα σωματίδια PM _{2,5}	50
Πίνακας 10: Τιμές στόχοι για μέταλλα και βενζο(α)πυρένιο	51
Πίνακας 11: Οριακές τιμές ατμοσφαιρικές ρύπων και έτη ισχύος σύμφωνα με τις Οδηγίες της ΕΕ	51
Πίνακας 12: Όρια επιβολής έκτακτων μέτρων	52
Πίνακας 13: Επίπεδα συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀	53
Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετρούμενοι ρύποι	62
Πίνακας 15: Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδοι μέτρησης	63
Πίνακας 16: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το διοξείδιο του θείου (SO ₂)	64
Πίνακας 17: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το μονοξείδιο του αζώτου (NO)	64
Πίνακας 18: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	65
Πίνακας 19: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	65
Πίνακας 20: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το όζον (O ₃)	66
Πίνακας 21: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για τα αιωρούμενα σωματίδια PM ₁₀	66
Πίνακας 22: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για τα αιωρούμενα σωματίδια PM _{2,5}	66

Πίνακας 23: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το βενζόλιο (C_6H_6)	67
Πίνακας 24: Ταξινόμηση σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	67
Πίνακας 25: Όρια συγκέντρωσης των ρύπων	68
Πίνακας 26: Διοξείδιο του θείου (SO_2) (τιμές σε ωριαία βάση σε $\mu g/m^3$)	88
Πίνακας 27: Μονοξείδιο του αζώτου (NO) (τιμές σε ωριαία βάση σε $\mu g/m^3$).....	88
Πίνακας 28: Διοξείδιο του αζώτου (NO_2) (τιμές σε ωριαία βάση σε $\mu g/m^3$)	89
Πίνακας 29: Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (τιμές σε ωριαία βάση σε mg/m^3)	89
Πίνακας 30: Όζον (O_3) (τιμές σε ωριαία βάση σε $\mu g/m^3$).....	90
Πίνακας 31: Αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2,5}$) (τιμές σε 24ωρη βάση σε $\mu g/m^3$)	90
Πίνακας 32: Αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2,5}$) (τιμές σε 24ωρη βάση σε $\mu g/m^3$)	91
Πίνακας 33: Βενζόλιο (C_6H_6) (τιμές σε ωριαία βάση σε $\mu g/m^3$)	91
Πίνακας 34: Υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής NO^2 ανά έτος	104
Πίνακας 35: Αριθμός υπερβάσεων (ωρών) του ορίου ενημέρωσης ανά σταθμό (2012-2016)	105
Πίνακας 36: Ημερομηνίες και διάρκεια υπέρβασης (ώρες) του ορίου συναγερμού ανά σταθμό (2012-2016)	106
Πίνακας 37: Αριθμός ημερών με υπέρβαση του στόχου προστασίας της υγείας.....	107
Πίνακας 38: Αριθμός υπερβάσεων (ημερών) του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (2012-2016)	107
Πίνακας 39: Υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής PM_{10} ανά έτος	108

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κατακόρυφη δομή (ζώνες) της ατμόσφαιρας καθ' ύψος και κατανομή της θερμοκρασίας	4
Εικόνα 2: Φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	11
Εικόνα 3: Κατανομή των ανθρωπογενών αέριων ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα	12
Εικόνα 4: Διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα από διαφορετικές πηγές	13
Εικόνα 5: Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων	19
Εικόνα 6: Διάφορες περιπτώσεις διασποράς ρύπων	20
Εικόνα 7: Ελλεικοειδής διασπορά.....	21
Εικόνα 8: Καπνισμός.....	22
Εικόνα 9: Κατακόρυφη κυκλική διασπορά.....	23
Εικόνα 10: Κωνική διασπορά	24
Εικόνα 11: Διασπορά υπέρ την αναστροφή	24
Εικόνα 12: Άποψη του πεδίου των Αθηνών από το δορυφόρο Landsat της NASA.....	58
Εικόνα 13: Χάρτης σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.....	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών SO ₂ (μg/m ³).....	70
Σχήμα 2: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO (μg/m ³)	71
Σχήμα 3: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO ₂ (μg/m ³)	72
Σχήμα 4: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών CO (mg/m ³).....	73
Σχήμα 5: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O ₃ (μg/m ³).....	74
Σχήμα 6: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM ₁₀ (μg/m ³).....	75
Σχήμα 7: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM _{2,5} (μg/m ³)	76
Σχήμα 8: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών C ₆ H ₆ (μg/m ³).....	77
Σχήμα 9: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών SO ₂ (μg/m ³)	80
Σχήμα 10: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών NO (μg/m ³).....	81
Σχήμα 11: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών NO ₂ (μg/m ³)	82
Σχήμα 12: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών CO (mg/m ³).....	83
Σχήμα 13: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών O ₃ (μg/m ³)	84
Σχήμα 14: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών PM ₁₀ (μg/m ³).....	85
Σχήμα 15: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών PM _{2,5} (μg/m ³)	86
Σχήμα 16: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών C ₆ H ₆ (μg/m ³)	87
Σχήμα 17: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών SO ₂ (2012-2016).....	92
Σχήμα 18: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών NO (2012-2016)	94
Σχήμα 19: Μέσες μηνιαίες τιμές NO ₂ (2012-2016).....	96
Σχήμα 20: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών CO (2012-2016).....	97
Σχήμα 21: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών O ₃ (2012-2016).....	99
Σχήμα 22: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών PM ₁₀ (2012-2016).....	101
Σχήμα 23: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών PM _{2,5} (2012-2016)	102
Σχήμα 24: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών C ₆ H ₆ (2012-2016).....	103

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, σε συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια που μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση της δομής, της σύστασης και των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας. Οι αλλαγές αυτές μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα, και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πιθανό να φτάσει σε επίπεδα που μπορεί να δημιουργήσουν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Σε αυτήν την περίπτωση έχει επικρατήσει ο όρος «νέφος», φαινόμενο το οποίο παρατηρείται κυρίως στις μεγαλουπόλεις (Μελάς, 2008), καθώς η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλει στη συσσώρευση ρύπων στην ατμόσφαιρα (Mavrakou et al., 2012), δηλαδή εκεί παρατηρείται συγκέντρωση περισσότερων ανθρωπογενών πηγών ρύπων, όπως για παράδειγμα βιομηχανίες, οχήματα, κεντρικές θερμάνσεις.

Το νέφος παρουσιάζεται με δύο μορφές: την αιθαλομίχλη (καπνομίχλη) ή νέφος τύπου Λονδίνου και το φωτοχημικό νέφος ή νέφος τύπου Λος Άντζελες. Νέφος αιθαλομίχλης παρουσιάζεται όταν στην ατμόσφαιρα υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία. Φωτοχημικό νέφος σχηματίζεται όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια σε ένταση και διάρκεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση συγκεκριμένων ενώσεων, όπως οξειδίων του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογονανθράκων, και δευτερογενών προϊόντων τους (ΥΠΕΝ, 2017). Στην Αττική, η καπνομίχλη παρατηρείται κυρίως τους χειμερινούς μήνες, ενώ το φωτοχημικό νέφος τους θερινούς.

Η εξέλιξη της αέριας ρύπανσης στο Λεκανοπέδιο της Αττικής παρακολουθείται με τη βοήθεια ενός δικτύου σταθμών που καλύπτει τις περισσότερες περιοχές της Αττικής. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) εκδίδει κάθε έτος μία έκθεση στην οποία περιγράφονται αναλυτικά οι συγκεντρώσεις των ρύπων προκειμένου να υπάρχει μια εικόνα για την επικινδυνότητα της ατμόσφαιρας στο Λεκανοπέδιο Αττικής αλλά και τη βελτίωση της ποιότητάς της διαχρονικά. Η γεωγραφική θέση κάθε σταθμού μέτρησης αλλά και οι πηγές ρύπων που βρίσκονται κοντά σε αυτόν καθορίζουν τον τύπο περιβάλλοντος στον

οποίο ανήκει. Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει μελέτη ανάλογα με τους τύπους περιβάλλοντος ούτως ώστε να εξεταστεί εάν αυτοί επηρεάζουν τα επίπεδα ρύπανσης, τη διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, αλλά και τη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων.

Στην παρούσα εργασία αναλύονται δεδομένα συγκέντρωσης αέριων ρύπων που καλύπτουν το χρονικό διάστημα 2012-2016. Για τους σκοπούς αυτούς αξιοποιούνται δεδομένα από σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που καλύπτουν όλη την περιοχή Αττικής και συνοπτικά χωρίζονται σε αυτούς που ανήκουν στην Αθήνα, κέντρο και περιφέρεια (δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που την ευθύνη λειτουργίας του έχει το ΥΠΕΝ).

Με βάση τις μετρήσεις μελετάται η διαχρονική εξέλιξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής, η μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων καθώς και οι μεταβολές στα επίπεδά τους κατά τη διάρκεια της ψυχρής και θερμής περιόδου. Στη συνέχεια βρίσκονται οι υπερβάσεις στις συγκεντρώσεις των ρύπων, με βάση τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που υπάρχουν από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) και τις οδηγίες της, ενώ εξάγονται συμπεράσματα για τη συχνότητα και την εποχή εμφάνισής τους, τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και τις μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξή τους. Τα επεισόδια κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το ρύπο με τον οποίο σχετίζονται, καθώς και τη χωρική και χρονική διασπορά τους. Επιπλέον, εξετάζονται ξεχωριστά οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων και ιδιαίτερα των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} που αποτελούν πρόβλημα για τα περισσότερα κράτη μέλη της Ε.Ε.

Η ανάλυση των δεδομένων σε κάθε περίπτωση γίνεται συνολικά για κάθε ρύπο αλλά κυρίως στοχεύει στην αποτύπωση των διαφορών που υπάρχουν μεταξύ των διαφορετικών τύπων περιβάλλοντος (κέντρο/περιφέρεια). Η κατηγοριοποίηση αυτή βοηθά στην εύρεση των περισσότερο επιβαρυνμένων περιοχών της Αττικής, είτε γεωγραφικά είτε όσον αφορά τον τύπο περιβάλλοντος, συμβάλλοντας στη δρομολόγηση των κατάλληλων ενεργειών για τον περιορισμό της ρύπανσης. Επιπλέον, επιχειρείται μια εκτίμηση για την πορεία κάθε ρύπου ξεχωριστά κατά τη διάρκεια των ετών 2012-2016, αποσκοπώντας στην απομόνωση των ρύπων που δεν παρουσιάζουν τάση μείωσης διαχρονικά και αποτελούν το μεγαλύτερο πρόβλημα για το Λεκανοπέδιο Αττικής, ούτως ώστε οι μελλοντικές έρευνες αλλά και οι ενέργειες για την προστασία του περιβάλλοντος να εστιάσουν κυρίως προς αυτούς.

Η συμβολή της παρούσας εργασίας στη μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας έγκειται στο γεγονός ότι αξιοποιεί δεδομένα που καλύπτουν μια αρκετά μεγάλη χρονική περίοδο (πέντε έτη), ότι αναλύει ταυτόχρονα πολλούς και διαφορετικούς ρύπους (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, όζον, αιωρούμενα σωματίδια, βενζόλιο), καθώς και ότι αποτελεί μια ξεχωριστή προσπάθεια κατηγοριοποίησης των αποτελεσμάτων με βάση τη γεωγραφική θέση των σταθμών μέτρησης και τον τύπο περιβάλλοντος στον οποίο ανήκουν.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ατμοσφαιρική Ρύπανση

1.1 Ατμόσφαιρα

Με τον όρο «ατμόσφαιρα» εννοείται το αεριώδες τμήμα που μπορεί να περιβάλλει ένα ουράνιο σώμα (πλανήτη) και ακολουθεί το σύνολο των κινήσεών του. Στην περίπτωση της γης, το αεριώδες αυτό περίβλημα συγκρατείται λόγω της βαρύτητάς της και φτάνει πρακτικά σε ύψος περίπου 3.500 χλμ. αποτελώντας το προστατευτικό σώμα το οποίο συντηρεί τη ζωή στη γη. Η ατμόσφαιρα αποτελεί την πηγή του οξυγόνου για την αναπνοή και του διοξειδίου του άνθρακα για την φωτοσύνθεση, ενώ προμηθεύει με άζωτο τους οργανισμούς για την σύνθεση των δομικών τους μορίων. Είναι βασικό τμήμα του υδρολογικού κύκλου μεταφέροντας νερό από τους ωκεανούς στα εδάφη και στους χερσαίους ταμιευτήρες νερού. Το νερό των ωκεανών εξατμίζεται από την επίδραση του ήλιου, συμπυκνώνεται στα σύννεφα και τελικά εναποτίθεται στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα μέσω των βροχών και του χιονιού (Ormrod, 1984).

Οι λειτουργίες που επιτελεί η ατμόσφαιρα και συνδέονται με τις αρνητικές επιπτώσεις της ρύπανσής της (φαινόμενο του θερμοκηπίου – τρύπα του όζοντος) είναι οι εξής:

- Απορροφά το μεγαλύτερο τμήμα της κοσμικής ακτινοβολίας, προστατεύοντας τους οργανισμούς από τις επιπτώσεις της.
- Απορροφά μεγάλο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο, επιτρέποντας να φτάσουν σημαντικές ποσότητες ακτινοβολίας στη γη.
- Απορροφά μεγάλο τμήμα της υπεριώδους ακτινοβολίας η οποία είναι καταστρεπτική για τους οργανισμούς.
- Επαναπορροφά μεγάλο ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης.
- Κρατάει σταθερή τη θερμοκρασία της γης.

Το όριο ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και το διάστημα δεν είναι αυστηρά καθορισμένο. Καθώς μεγαλώνει η απόστασή της από τη γη, η ατμόσφαιρα σταδιακά εξασθενεί και εξαφανίζεται σιγά-σιγά στο διάστημα. Το υψόμετρο των 120 χλμ. ορίζει το σημείο που τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα γίνονται αισθητά κατά τη διάρκεια της επανεισόδου στην ατμόσφαιρα. Η γραμμή Κάρμαν¹ στα 100 χλμ. λαμβάνεται επίσης συχνά ως το σύνορο μεταξύ της ατμόσφαιρας και του διαστήματος.

Το ατμοσφαιρικό στρώμα μέχρι τα 80-100 χλμ. ύψος ονομάζεται ομοιόσφαιρα, καθώς επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης και ο αέρας έχει σταθερό μοριακό βάρος. Πάνω από αυτό το όριο (τροπόπαυση) υπάρχει η ετερόσφαιρα. Η πυκνότητα εκεί είναι τόσο μικρή που τα μόρια και τα άτομα συγκρούονται λιγότερο συχνά με αποτέλεσμα τα αέρια να διασπρωματώνονται ανάλογα με το μοριακό τους βάρος. Επίσης, ουσίες που φυσιολογικά είναι αντιδραστικές (π.χ. τα ελεύθερα ριζικά) παρουσιάζουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ετερόσφαιρα. Μολονότι οι τελευταίες αραιότερες παρυφές της ατμόσφαιρας φτάνουν σε ύψος χιλιάδων χιλιομέτρων, το 99% της συνολικής της μάζας περιέχεται σε μία ζώνη από την επιφάνεια (ύψος 0) μέχρι του ύψους των 30 χλμ. (Κουϊμτζής και συν., 1998).

1.1.1 Κατακόρυφη δομή

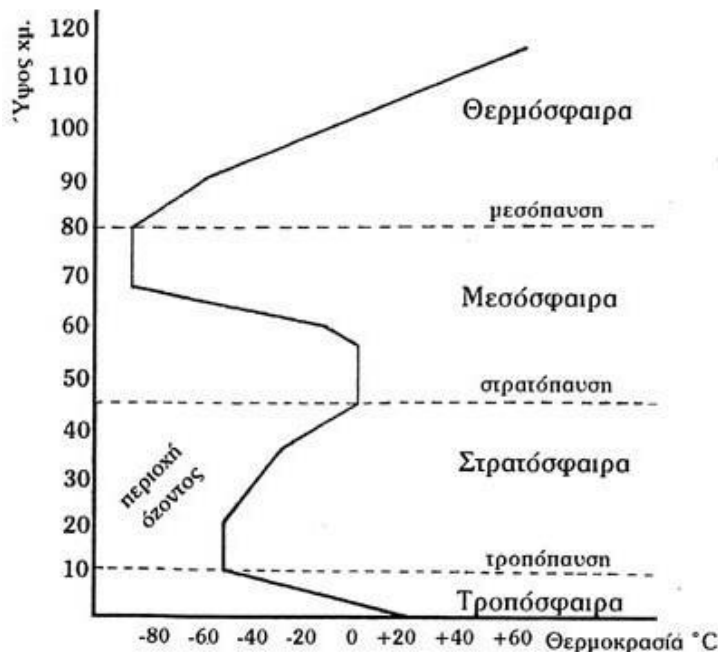
Η χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας μέχρι το ύψος των 80-100 χλμ. είναι σχεδόν αμετάβλητη. Ωστόσο με βάση την κατακόρυφη κατανομή (μεταβολή) της θερμοκρασίας διακρίνονται σε αυτή τα ακόλουθα στρώματα (Γεντετάκης, 2010):

- **Τροπόσφαιρα** (troposphere): από ύψος 0 μέχρι 9-18 χλμ. (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος) όπου και η τροπόπαυση.
- **Στρατόσφαιρα** (stratosphere): από την τροπόπαυση μέχρι τα 50 χλμ. όπου και η στρατόπαυση.
- **Μεσόσφαιρα** (mesosphere): από την στρατόπαυση μέχρι τα 80 χλμ. όπου και η μεσόπαυση.
- **Θερμόσφαιρα** (thermosphere): από την μεσόπαυση μέχρι τα 800 χλμ. όπου η θερμόπαυση.

¹ Γραμμή Κάρμαν ονομάζεται το σύνολο των σημείων με υψόμετρο 100km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ως συμβατικό όριο της γήινης ατμόσφαιρας, πέρα από το οποίο αρχίζει το διάστημα (Sanz Fernández de Córdoba, 2004).

- **Εξώσφαιρα** (exosphere): από την θερμόπαυση μέχρι τα 3500 χλμ.

Η διαστρωμάτωση της ατμόσφαιρας βασίζεται στο γεγονός πως το κάθε στρώμα απορροφά διαφορετικά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία, καθώς και η ποιότητα της ατμόσφαιρας μεταβάλλονται ανάλογα με το ύψος. Γενικά ο αέρας έχει προοδευτικά μικρότερη πυκνότητα καθώς κινούμαστε προς τα επάνω, από τα κατώτερα στα ανώτερα στρώματα (Γενετάκης, 2010).



Εικόνα 1: Κατακόρυφη δομή (ζώνες) της ατμόσφαιρας καθ' ύψος και κατανομή της θερμοκρασίας

Πηγή: www.env-edu.gr

Στην τροπόσφαιρα περιέχεται περίπου το 85% της μάζας της ατμόσφαιρας και το σύνολο σχεδόν των υδρατμών της, που αποτελεί και το βασικότερο αέριο του θερμοκηπίου. Η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς μειώνεται με την αύξηση του ύψους, επειδή μειώνεται και η θερμοκρασία. Αποτελεί την περιοχή στην οποία συμβαίνει σχεδόν το σύνολο των διεργασιών που ονομάζονται καιρικά φαινόμενα. Περιλαμβάνει από την επιφάνεια της γης η οποία θερμαίνεται από τον ήλιο και θερμαίνει και τον αέρα πάνω από αυτήν μέχρι το ύψος όπου ο αέρας σταματά να ψύχεται συναρτήσει του ύψους. Η περιοχή αυτή ονομάζεται παράλληλα και ισοθερμική ζώνη, καθώς η θερμοκρασία αέρος παραμένει σταθερή μετά του ύψους (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2005). Επίσης στην τροπόσφαιρα βρίσκονται όλα τα έμβια όντα και για το λόγο αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον

η μελέτη αυτού του τμήματος της ατμόσφαιρας. Η τροπόσφαιρα δεν θερμαίνεται τόσο από την απορρόφηση ακτινοβολίας, όσο με μεταφορά από τη θερμή επιφάνεια της γης.

Στην τροπόσφαιρα εκπέμπεται το σύνολο των αερίων ρύπων που προέρχονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Σε αυτό το κομμάτι της ατμόσφαιρας λαμβάνουν χώρα τα φαινόμενα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα οποία έχουν άμεσες επιπτώσεις τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στον ίδιο τον άνθρωπο. Ως απόρροια των παραπάνω, το ενδιαφέρον της μελέτης για την συμπεριφορά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντείνεται κυρίως στην στρατόσφαιρα.

Η στρατόσφαιρα ξεκινάει από την βάση της τροπόσφαιρας και μετά την περιοχή της τροπόπαυσης, που αποτελεί το όριο διαχωρισμού του ενός από το άλλο στρώμα. Παρουσιάζει έντονη στρωμάτωση, συνεπώς και φτωχή ανάμειξη, ενώ τα σωματίδια που εισάγονται σε αυτή έχουν μεγάλους χρόνους παραμονής. Η ανταλλαγή ενέργειας με ακτινοβολία στην περιοχή αυτή γίνεται σχεδόν σε συνθήκες ισορροπίας. Ο λόγος ύπαρξης της στρατόσφαιρας είναι το παραγόμενο όζον, μέσω των ιδιοτήτων του ως προς την αλληλεπίδραση με την ηλιακή ακτινοβολία.

Στο στρώμα της μεσόσφαιρας ο αέρας είναι πολύ λεπτός και η ατμοσφαιρική πίεση πολύ χαμηλή. Μολονότι τα μόρια αζώτου και οξυγόνου είναι τα ίδια συγκριτικά με αυτά που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, η πυκνότητα διαφέρει πολύ λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης, με αποτέλεσμα μια μεσοσφαιρική αναπνοή να περιέχει πολύ λιγότερα μόρια οξυγόνου από μια τροποσφαιρική. Η θερμοκρασία στην περιοχή αυτή είναι στους -90°C , αντιπροσωπεύοντας το ψυχρότερο τμήμα της ατμόσφαιρας.

Η θερμόσφαιρα αποτελεί το θερμό στρώμα πάνω από την μεσόσφαιρα όπου τα μόρια του οξυγόνου απορροφούν τις ενεργητικές ηλιακές ακτίνες θερμαίνοντας τον αέρα. Στην περιοχή αυτή η μικρού μήκους κύματος υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από το οξυγόνο με αποτέλεσμα τη θέρμανσή της. Τα μόρια έχουν υποστεί φωτόλυση λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα τα πολυατομικά μόρια να σπανίζουν και συνεπώς η περιοχή δεν χάνει θερμότητα υπό μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ενώ η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή, ένας άνθρωπος δεν θα ένιωθε ζέστη λόγω των ελαχίστων μορίων που βρίσκονται στην περιοχή, τα οποία δεν διευκολύνουν την μετάδοση της θερμότητας. Καθώς ο αέρας είναι πολύ αραιός, οι συγκρούσεις μεταξύ των μορίων είναι σπάνιες και δεν υπάρχει σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και θερμικής ακτινοβολίας.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει του ύψους γίνεται μέσα από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 1*, κατεβαίνοντας προς τα κάτω η θερμοκρασία μειώνεται μέχρι ένα σημείο καμπής (περίπου στα 80 χλμ.) το οποίο ονομάζεται μεσόπαυση, κάτω από το οποίο η θερμοκρασία αρχίζει πάλι να αυξάνεται μέχρι να φτάσει στο μέγιστο σημείο της, κάτω από το οποίο αρχίζει πάλι να μειώνεται. Το σημείο στο οποίο η θερμοκρασία φτάνει στο μέγιστο ονομάζεται στρατόπαυση (ύψος περίπου 50 χλμ.) και κάτω από το σημείο αυτό αρχίζει πάλι να μειώνεται. Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στη στρατόπαυση οφείλεται στο γεγονός ότι στην περιοχή αυτή το όζον απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία μέσου μήκους κύματος.

Ανάμεσα στην τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα βρίσκεται η τροπόπαυση. Κατεβαίνοντας από την τροπόπαυση προς την επιφάνεια του εδάφους, η θερμοκρασία αυξάνεται συνεχώς. Η τροπόπαυση διαφοροποιείται ανά περίοδο του χρόνου και είναι χαμηλότερη τον χειμώνα σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη και υψηλότερη το καλοκαίρι, ενώ στις περιοχές της κυριαρχούν δαιδαλώδεις άνεμοι της τάξης των 190 km/h εξαιτίας της ανάμειξής της με τον στρατοσφαιρικό αέρα. Στο ύψος των 20 χλμ. όπου παρατηρείται θερμοκρασιακή αναστροφή (εξαιτίας του όζοντος που παίζει σημαντικό ρόλο στην θέρμανση του αέρα στο ύψος αυτό), η στρατόσφαιρα μαζί με το κατώτερο ισοθερμικό στρώμα κρατά τα κάθετα ρεύματα της τροπόσφαιρας από την διάχυσή τους στην στρατόσφαιρα. Παρατηρείται ότι στην ισοθερμική ζώνη των 10-20 χλμ. της τροπόπαυσης, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή όπως και στην στρατόπαυση, ενώ πολύ έντονο είναι το γράφημα της θερμοκρασιακής αναστροφής μετά το ύψος των 20 χλμ. με το τέλος της τροπόπαυσης (Δημητρακόπουλος, 2005).

Στα κατώτερα της στρώματα η γήινη ατμόσφαιρα απαρτίζεται από (Λαζαρίδης, 2010):

- Μίγμα αερίων που σχηματίζουν τον ξερό αέρα
- Νερό σε μορφή αερίου ή υγρού
- Ορισμένα στερεά ή υγρά σωματίδια που δεν συγκαταλέγονται στον ορισμό της ατμόσφαιρας

1.2 Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Ως **ατμοσφαιρικός ρύπος** θεωρείται κάθε ουσία η οποία εισέρχεται στον αέρα του περιβάλλοντος είτε άμεσα είτε έμμεσα από τον άνθρωπο. Πρόκειται για ουσίες που βρίσκονται είτε σε στερεή είτε σε υγρή είτε σε αέρια μορφή, αποτελώντας απόρροια της ανθρώπινης δραστηριότητας ή αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασής της με το οικοσύστημα. Παράλληλα, είναι δυνατό να προκαλέσουν άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στην άνεση, στην ευεξία και στην υγεία του ανθρώπου, καθώς και όλων των έμβιων οργανισμών. Ένας ρυπαντής ρύπος που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα δεν είναι αναγκαία αντιληπτός, όπως επίσης οι επιδράσεις του δεν είναι απαραίτητο να έχουν άμεσα και βραχυπρόθεσμες επιδράσεις στον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα. Η παρουσία τέτοιου είδους ουσιών στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει την ατμοσφαιρική ρύπανση.

1.2.1 Κατηγορίες ατμοσφαιρικών ρύπων

Ανάμεσα στις εκατοντάδες ουσίες που έχουν αναγνωριστεί, οι κυριότεροι ρύποι που καθορίζουν τη ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι οι εξής:

- Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)
- Διοξείδιο του Θείου (SO₂)
- Οξείδια του Αζώτου (NO_x)
- Όζον (O₃)
- Αιωρούμενα Σωματίδια (PM)
- Υδρογονάνθρακες (HC) και τα παράγωγά τους
- Βαρέα μέταλλα

Οι παραπάνω ρύποι είναι οι λεγόμενοι **συμβατικοί ρύποι** (criteria pollutants) και είναι οι συνηθέστερα μετρούμενοι σε σχέση με τους οποίους γίνεται ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (ambient air quality, AAQ).

Οι υπόλοιποι **μη συμβατικοί ρύποι** (non-criteria pollutants) διακρίνονται από τη νομοθεσία σε δύο επιπλέον κατηγορίες, στους **βλαπτικούς αέριους ρύπους** HAPs (hazardous air pollutants) και στους **τοξικούς**. Η πρώτη κατηγορία σχετίζεται με διάφορα προβλήματα

υγείας όπως ερεθισμούς, ασφυξία κ.λπ., ενώ η δεύτερη αφορά τη φυσιολογική απόκριση (τοξικότητα) (Bradstreet, 1996). Οι δύο αυτές κατηγορίες ρύπων είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τις βιομηχανικές περιοχές, ενώ στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις τους είναι συνήθως τάξεις μεγέθους μικρότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών ρύπων (Οικονομόπουλος, 2000).

Πίνακας 1: Σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, ιδιότητες και κυριότερες επιπτώσεις τους

Αέριο	Σύμβολο	Ιδιότητες/Επιπτώσεις
Διοξείδιο του θείου	SO ₂	Άχρωμο, με χαρακτηριστική οσμή, διαλυτό στο νερό, σχηματίζει θειώδες οξύ H ₂ SO ₃ . Επιδρά στα φυτά, στις κατασκευές και στην υγεία.
Τριοξείδιο του θείου	SO ₃	Διαλυτό στο νερό σχηματίζοντας θεικό οξύ H ₂ SO ₄ . Ιδιαίτερα διαβρωτικό.
Υδρόθειο	H ₂ S	Οσμή χαλασμένου αυγού σε μικρές συγκεντρώσεις, άοσμο σε υψηλές συγκεντρώσεις. Ιδιαίτερα δηλητηριώδες.
Υποξείδιο του αζώτου	N ₂ O	Άχρωμο, προωθητικό στις φιάλες αεροζόλ/σπρέι. Σχετικά αδρανές, δεν παράγεται κατά την καύση.
Μονοξείδιο του αζώτου	NO	Άχρωμο. Παράγεται σε καύσεις με υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Οξειδώνεται σε NO ₂ .
Διοξείδιο του αζώτου	NO ₂	Καστανόχρωμο. Κύριο συστατικό στο σχηματισμό φωτοχημικού νέφους.
Μονοξείδιο του άνθρακα	CO	Άχρωμο, άοσμο, προϊόν ατελούς καύσης. Δηλητηριώδες.
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	Άχρωμο, άοσμο. Παράγεται κατά την τέλεια καύση. Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.
Όζον	O ₃	Ισχυρά δραστικό. Επιδρά σε φυτά, στις κατασκευές. Παράγεται κατά το σχηματισμό φωτοχημικού νέφους.
Υδρογονάνθρακες	HC	Ορισμένοι εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα και τη βιομηχανία, άλλοι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα.

Πηγή: Μπεργελές, 2010

Η πλειοψηφία των υλικών που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε σημαντικές ποσότητες είναι σχετικά απλά μόρια αναφορικά με τη χημική τους σύσταση, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO, NO₂ και N₂O), το υδρόθειο (H₂S), η αμμωνία (NH₃), το υδροχλώριο (HCl), το υδροφθόριο (HF) κ.λπ., καθώς επίσης διάφοροι διαλύτες και υδρογονάνθρακες που εξατμίζονται λόγω πτητικότητας, όπως αλκάνια, αλκένια και αρωματικοί υδρογονάνθρακες με σχετικά απλή δομή. Επιπροσθέτως με αυτά τα υλικά, η ατμόσφαιρα δέχεται και άλλες εκπομπές, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με την βιομηχανία και περιλαμβάνουν πιο πολύπλοκα

μόρια, όπως πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες, διοξίνες κ.λπ., τα οποία συχνά αναφέρονται ως τοξικά αέρια (air toxic ή hazardous materials).

Οι ρύποι αυτοί ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στους πρωτογενείς (primary pollutants) και στους δευτερογενείς (secondary pollutants). Οι πρωτογενείς ρύποι (SO_2 , NO, CO, HC, Pb, Cl_2 , F_2 , αιωρούμενα σωματίδια) εκπέμπονται απευθείας από μία αναγνωρισμένη πηγή, δηλαδή σχετίζονται άμεσα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανική δραστηριότητα, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση κατοικιών), ενώ οι δευτερογενείς (NO_2 , O_3 , PAN) προέρχονται από διάφορες χημικές μεταβολές στα μόρια των ρύπων μέσω φωτοχημικών, ομογενών αλλά και ετερογενών αντιδράσεων. Οι δευτερογενείς ρύποι διαδραματίζουν καταλυτικό ρόλο στο φαινόμενο του φωτοχημικού νέφους και της μειωμένης ορατότητας από αερολύματα, αλλά και για μια σειρά καταστροφών στη χλωρίδα, την πανίδα και τα υλικά (Γεντετάκης, 2010). Στην περίπτωση που είναι γνωστή η χημική διαδικασία παραγωγής ενός δευτερογενούς ρύπου, ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος ελέγχου του είναι η παρέμβαση ελέγχοντας τη δημιουργία του πρωτογενούς ρύπου από τον οποίο προέρχεται.

1.2.2 Μονάδες συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην ατμόσφαιρα μετρούνται συνήθως σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$, το οποίο ισοδυναμεί με τη μάζα του ρυπαντή σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα και καυσαερίων. Για την περίπτωση NO_x , (μίγματος κυρίως NO και NO_2) τα $\mu\text{g}/\text{m}^3$ εκφράζονται συμβατικά σαν ισοδύναμη συγκέντρωση NO_2 ($\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$). Μία άλλη μέτρηση συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων είναι τα ppm vol ή ppmv (όγκος ρυπαντή ανά 10^6 όγκου αέρα π.χ. ένα cm^3 αερίου ανά m^3 αερίου), δηλαδή πρόκειται περί ποσοστού όγκου.

Η μετατροπή από το ένα σύστημα μέτρησης στο άλλο έχει ως εξής: $1\text{ppmv} = 1\text{m}^3$ ρυπαντή / (10^6m^3 αέρα). 1m^3 ρυπαντή έχει μάζα $\rho \cdot 10^6\text{mg}$, όπου ρ η πυκνότητα του ρυπαντή σε kg/m^3 , στη θερμοκρασία T και πίεση P ($1\text{ppmv} = \rho\text{mg}/\text{m}^3$) (Μπεργελές, 2010).

Γενικά, οι συγκεντρώσεις και τα όρια έχουν καθιερωθεί και εκφράζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ) και την Ευρωπαϊκή Ένωση σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ από την Περιβαλλοντική Υπηρεσία των ΗΠΑ (US EPA) σε ppmv, εκτός από τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων που εκφράζονται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2) παρουσιάζεται η μέση σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας (ξηρός αέρας) από το έδαφος μέχρι το ύψος των 80 χλμ.

Πίνακας 2: Μέση σύσταση του ξηρού αέρα κάτω των 80 χλμ.

Αέριο	Ονομασία	Συγκέντρωση
Αζωτο	N ₂	78.08%
Οξυγόνο	O ₂	20.95%
Αργό	Ar	0.93%
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	330 ppm
Νέο	Ne	18 ppm
Ήλιο	He	5 ppm
Κρυπτό	Kr	1 ppm
Υδρογόνο	H ₂	0.5 ppm
Ξένο	Xe	0.1 ppm
Όζον	O ₃	0-12 ppm

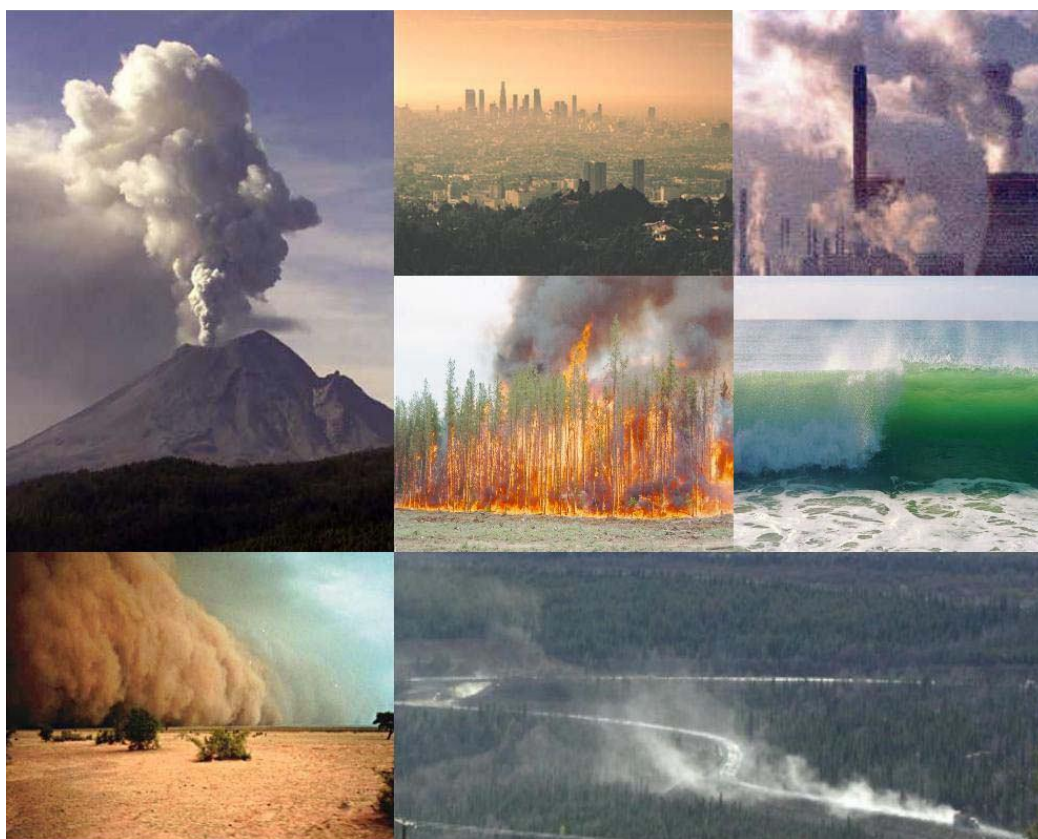
Πηγή: Μαλανδράκης, 2014

1.2.3 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

Το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές γίνεται αναφορά στις πηγές εκπομπών αέριων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρόλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Αυτό οφείλεται στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές που συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες), προκαλώντας την ένταση του φαινομένου της απόθεσης ρύπων στην ατμόσφαιρα με τις γνωστές συνέπειες. Οι φυσικές πηγές ρύπανσης, παρότι έχουν μεγάλη συμμετοχή στο φαινόμενο, εντούτοις η καλύτερη διασπορά τους προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αέριων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνουν την ισορροπία του οικοσυστήματος (Μελάς, 1997).

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές ρύπων είναι (Ζάνης, 2014; Μαλανδρή, 2014):

- Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο)
- Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα)
- Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα)
- Η βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο)
- Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια)
- Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες)

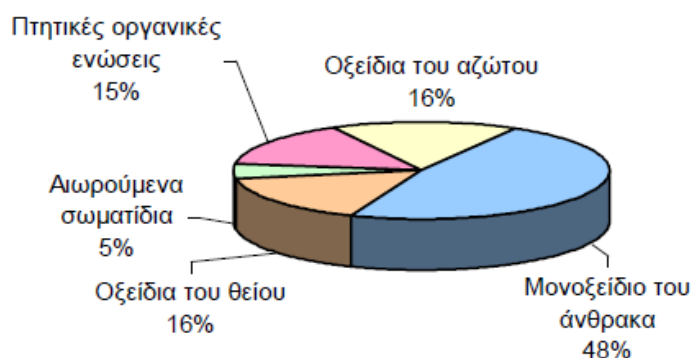


Εικόνα 2: Φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης είναι (Ζάνης, 2014; Μαλανδρή, 2014):

- Βιομηχανικές καύσεις (αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου κ.ά.)
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, βενζόλιο κ.ά.)
- Μεταφορές (μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, οξείδια αζώτου, βενζόλιο κ.ά.)
- Κεντρική θέρμανση (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου κ.ά.)
- Εναπόθεση και αποτέφρωση στερεών αποβλήτων (μονοξείδιο του άνθρακα).

Στην *Εικόνα 3* απεικονίζεται η κατανομή των πρωτογενών ρύπων που εκπέμπονται από ανθρωπογενείς πηγές στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 3: Κατανομή των ανθρωπογενών αέριων ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα

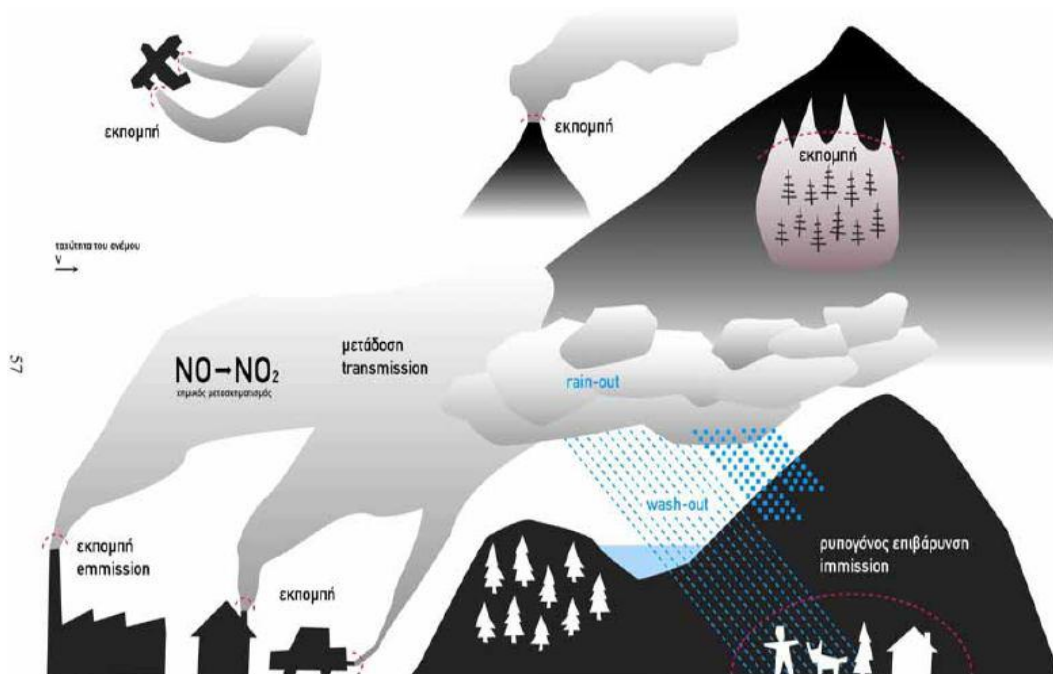
Πηγή: Ζάνης, 2014

Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δημιουργείται από διαδικασίες καύσης υλικών που ονομάζονται **καύσιμα**. Υπάρχουν στερεά καύσιμα (λιθάνθρακας, λιγνίτης, τύρφη, κοκ, μπριγκέτες, ξυλάνθρακες, ξύλα, απορρίμματα κ.ά.), υγρά καύσιμα (βενζίνη, πετρέλαιο, κηροζίνη κ.ά.) και αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο, υδρογόνο κ.ά.). Σχεδόν όλα τα συμβατικά καύσιμα αποτελούνται κυρίως από χημικές ενώσεις δύο στοιχείων, του άνθρακα και του υδρογόνου (υδρογονάνθρακες). Για την καύση του, ένα καύσιμο πρέπει να βρεθεί σε μία υψηλή θερμοκρασία απαραίτητη για την ανάφλεξή του, καθώς και να υπάρχει αρκετό οξυγόνο. Η ανάφλεξη ενός καυσίμου είναι πιο εύκολη όσο μεγαλύτερο είναι το μέρος υδρογόνου που περιέχει. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται αέρας για την καύση (περιέχει οξυγόνο σε αναλογία όγκου 21%). Κατά την καύση ενός καυσίμου εκτός από τη θερμότητα δημιουργείται και μία σειρά ρύπων (Μπινιάρης, 2004).

Οι ρύποι που προέρχονται από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου, καταλήγουν στην ατμόσφαιρα (Εικόνα 4) στην περίπτωση (Γρυδάκη, 2010):

- ενός βιομηχανικού λέβητα μέσω της καπνοδόχου,
- ενός οχήματος μέσω της εξάτμισης,
- ενός αεροπλάνου μέσω των ακροφυσίων,
- μιας ανοιχτής φωτιάς, π.χ. μιας πυρκαγιάς δάσους, απευθείας.

Στην περίπτωση μιας έκρηξης ηφαιστείου οι ρύποι καταλήγουν στην ατμόσφαιρα μέσω του κρατήρα, ενώ σε ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες μέσω των παραθύρων, των θυρών (πόρτες), ή των τεχνικών συστημάτων εξαερισμού των κτιρίων.



Εικόνα 4: Διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα από διαφορετικές πηγές

Πηγή: Μπινιάρης, 2004

Όταν η διάρκεια «ζωής» ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα είναι μερικές ημέρες, τότε η επίδρασή του στο περιβάλλον περιορίζεται κοντά στις περιοχές προελεύσεώς του. Όταν η διάρκεια «ζωής» είναι περισσότεροι μήνες, τότε η επίδρασή του περιορίζεται σε ένα ημισφαίριο ενώ, αν η διάρκεια «ζωής» είναι περισσότερα χρόνια, τότε ο ρύπος μεταφέρεται σε όλη την υδρόγειο. Έτσι εξηγούνται γεγονότα, όπως ο εντοπισμός εντομοκτόνων στην Ανταρκτική και τετραμεθυλομόλυβδος στους πάγους της Γροιλανδίας από τα καυσαέρια αυτοκινήτων, μολονότι δεν υπήρχε ποτέ εκπομπή τέτοιων ρύπων σε αυτές τις περιοχές.

1.3 Ατμοσφαιρικός κύκλος της ρύπανσης

Η μεταφορά και ο μετασχηματισμός των αερίων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα μιας ποικιλίας ατμοσφαιρικών μηχανισμών. Για την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων των ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτός ο κύκλος των ρύπων που περιλαμβάνει την μεταφορά και διασπορά τους, καθώς και οποιοδήποτε φυσικό ή χημικό μετασχηματισμό τους μεταξύ της πηγής και του αποδέκτη.

Με τον όρο *μεταφορά* εννοείται ο μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρεται η ρύπανση από μία πηγή σε ένα αποδέκτη. Το κύριο μέσο μεταφοράς ενός ρύπου από μια πηγή σε έναν αποδέκτη είναι ο άνεμος. Στην απλούστερη περίπτωση ως μία σημειακή πηγή μπορεί να θεωρηθεί μία καμινάδα κάποιας βιομηχανικής μονάδας που ρυπαίνει την ατμόσφαιρα. Ωστόσο κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, ο ρυπασμένος θύσανος που εκπέμπεται από την καμινάδα δεν παραμένει κυλινδρικού σχήματος της ίδιας διαμέτρου με την καμινάδα, αλλά εξαιτίας της τύρβης και των στροβίλων αναμειγνύεται στο χώρο με τον περιβάλλοντα αέρα και ο μηχανισμός αυτός χαρακτηρίζεται ως ατμοσφαιρική διάχυση. Με τη διάχυση, ο ρυπασμένος θύσανος που εκπέμπεται από την καμινάδα εξαπλώνεται καθώς μεταφέρεται με τον άνεμο, με συνέπεια τη μείωση της αρχικής πυκνότητας του καθώς απομακρύνεται από την πηγή και πλησιάζει τον αποδέκτη. Το σύνολο αυτών των διαδικασιών ονομάζεται *διασπορά*.

Αντίστοιχα με τον όρο μετασχηματισμό του ρύπου ορίζεται η *παραγωγή* (ή καταστροφή) ενός δεδομένου στοιχείου διαμέσου φυσικών (π.χ. ξηρή και υγρή εναπόθεση) και χημικών (π.χ. χημικές αντιδράσεις) διαδικασιών. Κατά το χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς λόγω αντιδράσεων είτε μεταξύ τους είτε με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα είναι ένα αποτελεσματικό εργαστήριο αντιδράσεων εντός του οποίου διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού καινούργιων ουσιών. Οι νέες ουσίες παράγονται από αέρια και υγρά τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους, καθώς και με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες που δεν είναι ρύποι. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χημικών μετασχηματισμών αποτελούν οι χημικές αντιδράσεις οξείδωσης, οι φωτοχημικές αντιδράσεις φωτόλυσης κάποιων στοιχείων, καθώς και οι ετερογενείς αντιδράσεις πάνω σε νεφροσταγονίδια και αιωρούμενα σωματίδια.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι ο κύκλος των ρύπων στην ατμόσφαιρα αποτελεί μία ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία, η οποία εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες που δρουν σε διαφορετικές κλίμακες χώρου και χρόνου όπως:

- τα μέσης και τοπικής κλίμακας συστήματα κυκλοφορίας που συνδέονται με τα συγκεκριμένα τοπογραφικά χαρακτηριστικά ενός τόπου (π.χ. αύρα κοιλάδας, θαλάσσια αύρα, κατακόρυφη μεταφορά λόγω θέρμανσης στους πρόποδες ορεινών όγκων),
- τη συνοπτική μετεωρολογική κατάσταση στην ατμόσφαιρα (π.χ. κυκλωνική ή αντικυκλωνική κατάσταση, μέτωπα, ταχύτητα του συνοπτικού ανέμου),
- τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας για την κατανόηση της μεταφοράς ρύπων σε παγκόσμια κλίμακα,
- το βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας και τη σχετιζόμενη ένταση των στροβίλων που καθορίζουν τη διάχυση των ρύπων στην ατμόσφαιρα,
- το χρόνο ζωής των ρύπων που εξαρτάται από το ρυθμό των φυσικών και χημικών μετασχηματισμών τους ή καταστροφής τους και,
- τη χωρική κατανομή και την ένταση των πηγών ρύπανσης.

Η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ονομάζεται **εναπόθεση** και αποτελεί μια φυσική διαδικασία απομάκρυνσης των ρύπων από την ατμόσφαιρα. Γενικά υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι εναπόθεσης (Ζάνης, 2014):

- **Υγρή εναπόθεση:** υφίσταται σε περίπτωση υετού οπότε μπορούν να συμβεί είτε σάρωση των ρύπων οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από την βροχή ή το χιόνι (απόπλυση) είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής.
- **Ξηρή εναπόθεση:** λαμβάνει χώρα στα μικρά σωματίδια και τις αέριες ενώσεις που ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και τα οποία κατακρατούνται όταν έρθουν σε επαφή από την υποκείμενη επιφάνεια.
- **Καθίζηση:** ονομάζεται η πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων.

Στις παραπάνω διεργασίες και στην εξέλιξή τους, σημαντικό ρόλο παίζουν η ευστάθεια της ατμόσφαιρας καθώς και ο τρόπος διασποράς των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας, η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα² της και οι θερμοκρασιακές αναστροφές παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στη διάχυση και διασπορά των αερίων ρύπων σε μια περιοχή. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τη μορφή και την τροχιά ενός θυσάνου μιας καμινάδας (σημειακή πηγή) ή μιας πυρκαγιάς (επίπεδη σημειακή πηγή) σε σχέση με τους παραπάνω παράγοντες είναι και η θερμοβαθμίδα του θυσάνου (Μουστρής, 2015).

1.3.1 Ευστάθεια ατμόσφαιρας

Στη μετεωρολογία με τον όρο **ευστάθεια** της ατμόσφαιρας νοούνται οι συνθήκες εκείνες κατά τις οποίες δεν παρατηρούνται φαινόμενα διέγερσης της κανονικής τιμής τόσο της βαροβαθμίδας³, όσο και της θερμοβαθμίδας, δηλαδή δεν παρατηρούνται μεταφορές αερίων μαζών. Επίσης ευσταθής λέγεται η ατμόσφαιρα όταν η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας είναι μικρότερη των 0.64°C/100m, γιατί η αναλογία αυτή αποκλείει τη δημιουργία ανοδικών ρευμάτων, δηλαδή κατακόρυφης μεταφοράς. Επομένως, όταν η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε κατάσταση ευστάθειας δεν παρατηρούνται ανοδικές κινήσεις του αέρα. Όταν υπάρχουν συνθήκες αστάθειας παρατηρούνται έντονες ανοδικές κινήσεις αερίων μαζών. Οι ανοδικές αυτές κινήσεις μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία υδρατμών, το σχηματισμό βροχής αλλά και άλλων μετεωρολογικών φαινομένων.

Στην ατμόσφαιρα ισχύει η υδροστατική εξίσωση, εκφραζόμενη από τη σχέση: $\frac{dp}{dz} = -gp$.

Εφόσον θεωρηθεί ότι δεν ισχύει η υδροστατική ισορροπία τότε το στοιχείο της ατμόσφαιρας θα έχει επιτάχυνση, το μέτρο της οποίας θα είναι: $\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$.

Με κατάλληλους μετασχηματισμούς και μαθηματικές πράξεις προκύπτει ο τύπος:

² Ως θερμοβαθμίδα ορίζεται η διαφορά θερμοκρασίας με αποτέλεσμα τη μετάδοση θερμότητας με μεταφορά. Μαθηματικά εκφράζεται ως η αρνητική παράγωγος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας ως προς το ύψος ($\gamma = -\partial T / \partial z$).

³ Βαροβαθμίδα ονομάζεται η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης (καθέτου διευθύνσεως επί των ισοβαρών) στη μονάδα της γεωγραφικής απόστασης, που είναι η μία μοίρα. Μαθηματικά εκφράζεται ως η παράγωγος της πίεσης ως προς την κάθετο προς τις ισοβαρείς διεύθυνση ($\partial p / \partial n$).

$$w = g \left(\frac{\gamma' - \gamma}{T'} \right) z$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, η κατακόρυφη επιτάχυνση ενός στοιχείου αέρα είναι συνάρτηση της θερμοβαθμίδας του (γ') καθώς και της θερμοβαθμίδας του περιβάλλοντος (γ).

Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:

- $\gamma' > \gamma$ (η επιτάχυνση είναι θετική και το στοιχείο επιταχύνεται προς τα επάνω)
- $\gamma' = \gamma$ (η επιτάχυνση είναι μηδέν)
- $\gamma' < \gamma$ (η επιτάχυνση είναι αρνητική και το στοιχείο επιταχύνεται προς τα κάτω)

Για τον καθορισμό της κατακόρυφης ευστάθειας ή αστάθειας της ατμόσφαιρας, απαιτούνται μετρήσεις της κατακόρυφης διανομής της θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται είτε παραδοσιακά με ραδιοβολίδες είτε με πιο σύγχρονα μέσα και τρόπους μέτρησης όπως η μέθοδος Lidar. Ωστόσο επειδή για προφανείς πρακτικούς λόγους η μέτρηση της κατακόρυφης διανομής της θερμοκρασίας σε οποιοδήποτε σημείο δεν είναι εφικτή, για τον καθορισμό της ευστάθειας ή αστάθειας της ατμόσφαιρας έχει προταθεί ο ακόλουθος πίνακας κατηγοριών ευστάθειας της ατμόσφαιρας (Πίνακας 3) κατά Pasquill (Μπεργελές, 2010; Pasquill, 1961).

Πίνακας 3: Κατηγορίες ευστάθειας της ατμόσφαιρας κατά Pasquill

Ημέρα				Νύχτα	
Ταχύτητα ανέμου ($m \cdot s^{-1}$)	Ισχυρή ηλιοφάνεια	Μέση ηλιοφάνεια	Ελαφρά ηλιοφάνεια	Ελαφριά ή χαμηλή νέφωση (<3/8)	Νέφωση (>4/8)
<2	A	A-B	B	F	G
2~3	A-B	B	C	E	F
3~4	B	B-C	C	D	E
4~6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

A: Πολύ ασταθής κατάσταση της ατμόσφαιρας
 B: Ασταθής κατάσταση της ατμόσφαιρας
 C: Λίγο ασταθής κατάσταση της ατμόσφαιρας
 D: Ουδέτερη κατάσταση της ατμόσφαιρας
 E: Λίγο ευσταθής κατάσταση της ατμόσφαιρας
 F: Ευσταθής κατάσταση της ατμόσφαιρας
 G: Πολύ ευσταθής κατάσταση της ατμόσφαιρας

Πηγή: Μπεργελές, 2010, Pasquill, 1961

Αναστροφή θερμοκρασίας

Η θερμοκρασιακή αναστροφή αποτελεί μια ακραία περίπτωση ευσταθούς ατμόσφαιρας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η θερμοκρασία στην τροπόσφαιρα μειώνεται με το ύψος. Στις περιπτώσεις που συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος για μικρές κατακόρυφες μεταβολές, παρουσιάζεται το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής. Επομένως, θερμοκρασιακές αναστροφές δημιουργούνται όταν η θερμοκρασία στην τροπόσφαιρα αυξάνει ή παραμένει σταθερή για μικρές σχετικά αυξήσεις του ύψους.

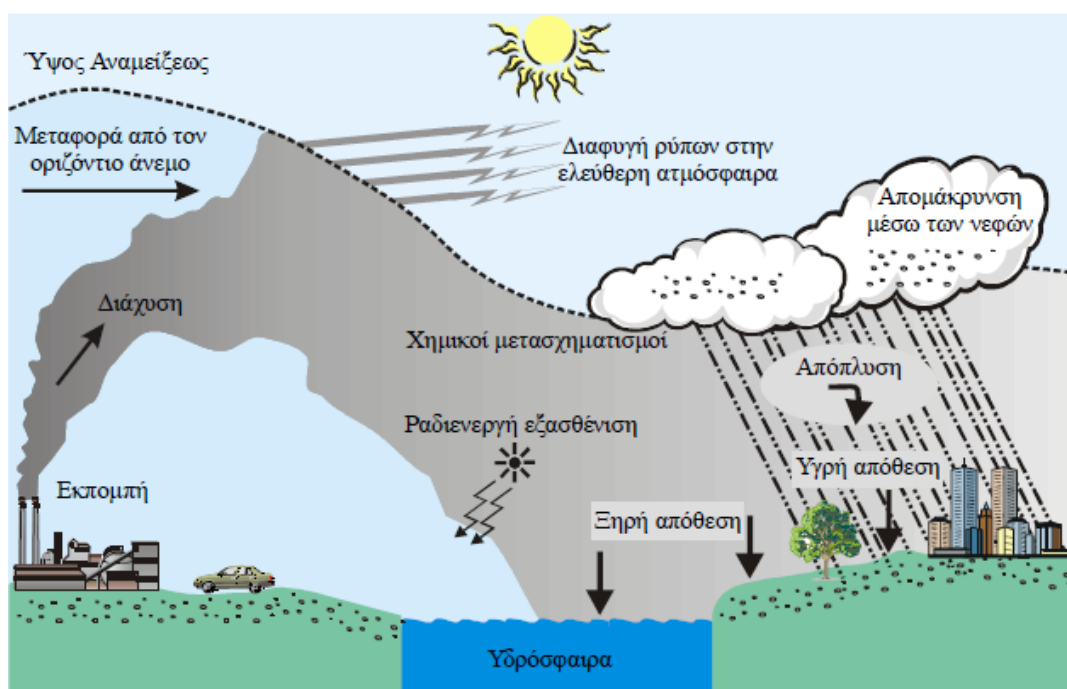
Κατά τη θερμοκρασιακή αναστροφή, η θερμοβαθμίδα του περιβάλλοντος είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη του στοιχείου αέρα, με αποτέλεσμα τη δυσκολότερη ανάπτυξη κατακόρυφης κίνησης. Η σταθερότητα που προκαλεί η αναστροφή έχει σαν αποτέλεσμα την παγίδευση του αέρα μεταξύ του εδάφους και του ύψους αναστροφής, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων. Οι αναστροφές προκαλούνται από διάφορα αίτια, με τα οποία και ταξινομούνται ανάλογα. Στις κατηγορίες αναστροφών συγκαταλέγονται οι αναστροφές ακτινοβολίας, η αληγής ή αντικυκλωνική αναστροφή, η αναστροφή θερμής μεταφοράς, η αναστροφή χιονοσκεπούς εδάφους, η αναστροφή ορογραφίας, καθώς και οι μετωπικές και δυναμικές αναστροφές (Σούφλα, 2013).

1.3.2 Τρόποι διασποράς ατμοσφαιρικών ρύπων

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η διασπορά των ρύπων επηρεάζει λιγότερο ή περισσότερο μια περιοχή, επιδρώντας αντίστοιχα στα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο. Οι διαδικασίες που συντελούν στην διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από μία καμινάδα απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5). Η διαφορά ανάμεσα στους τρόπους διασποράς των ρύπων οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θερμοβαθμίδα του θυσάνου και τη θερμοβαθμίδα του περιβάλλοντος.

Σε πρώτη φάση οι αέριοι ρύποι όταν αφήνουν την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα χώρο. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αρχική ορμή που έχουν τα καυσαέρια όταν φτάσουν στην κορυφή της καμινάδας, έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση του θυσάνου μέχρι ένα ορισμένο ύψος. Το ύψος αυτό είναι φυσικά υψηλότερο του φυσικού (κατασκευαστικού) ύψους της καμινάδας και ονομάζεται *ενεργό ύψος της καμινάδας*. Η διαφορά μεταξύ του φυσικού και του ενεργού ύψους της καμινάδας ονομάζεται αρχική ανύψωση του θυσάνου. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αρχική ανύψωση του θυσάνου έχει

μεγάλη σημασία στην ποιότητα του αέρα της περιοχής και στον τρόπο διασποράς των ρύπων που βρίσκονται εντός του θυσάνου, καθώς μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας με ένα παράγοντα 2 έως 10 φορές το κατασκευαστικό ύψος της καμινάδας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη συγκέντρωση εδάφους είναι χονδρικά αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του ενεργού ύψους εκπομπής, είναι φανερό ότι η ανύψωση του θυσάνου μπορεί, στη ακραία περίπτωση, να μειώσει τις συγκεντρώσεις εδάφους με ένα παράγοντα της τάξης του 100 (Ζάνης, 2014).



Εικόνα 5: Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων

Πηγή: Μελάς, 1997

Ο καπνός μεταφέρεται μακριά από την πηγή μέσω του μέσου οριζόντιου ανέμου. Η οριζόντια μεταφορά είναι ο πλέον σημαντικός μηχανισμός απομάκρυνσης και αραίωσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (άπνοια), οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου ρύπανσης σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας εκπομπών (τέτοιες συνθήκες εμφανίζονται συνήθως κοντά στο κέντρο αντικυκλωνικών συστημάτων). Σε περιπτώσεις επίσης όπου ο θύσανος ρύπανσης βρεθεί πάνω από το ύψος που συντελούνται ισχυρές στροβιλώδεις κινήσεις (π.χ. στην ελεύθερη τροπόσφαιρα πάνω από το οριακό στρώμα ανάμειξης) τότε ο ρυπασμένος αέρας μπορεί να ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων.

Ταυτόχρονα οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και τη διαπλάτυνση του θυσάνου λόγω διάχυσης, με τελικό αποτέλεσμα την αραίωση, της οποίας η κλίμακα και η ένταση εξαρτώνται από το βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται με αργό ρυθμό, ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η διάχυση πολύ έντονη. Η διάχυση των ρύπων γίνεται μέχρι ενός συγκεκριμένου ύψους από την επιφάνεια της γης, το οποίο ονομάζεται ύψος ανάμειξης. Το στρώμα το οποίο περιέχεται μεταξύ της επιφάνειας της γης και του ύψους ανάμειξης ονομάζεται στρώμα ανάμειξης.

Ένα μέρος της ρύπανσης είναι δυνατόν να διαφύγει από το στρώμα ανάμειξης στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Η απουσία αναταρακτικών κινήσεων στην ελεύθερη ατμόσφαιρα έχει σαν αποτέλεσμα η διάχυση και η κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων να γίνεται με πολύ βραδύτερους ρυθμούς. Από την άλλη, οι αντίστοιχοι ατμοσφαιρικοί μηχανισμοί είναι μεγαλύτερης χωρικής και χρονικής κλίμακας με αποτέλεσμα τα φαινόμενα να επηρεάζουν ευρύτερες περιοχές της γης.



Εικόνα 6: Διάφορες περιπτώσεις διασποράς ρύπων

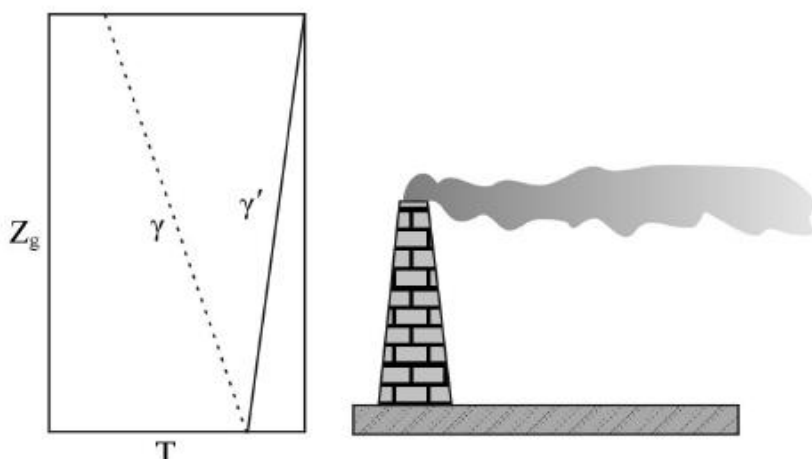
1.3.3 Μορφές και τροχιές θυσάνου

Για μια δεδομένη ταχύτητα του ανέμου, η μορφή και η τροχιά του θυσάνου σε σχέση με τη διαφορά ανάμεσα στην κατακόρυφη θερμοβαθμίδα του περιβάλλοντος και τη θερμοβαθμίδα του θυσάνου είναι διαφορετική ως εξής (Μουστρής, 2015):

Ελικοειδής διασπορά

Η ελικοειδής διασπορά (fanning) πήρε το όνομά της από το γεγονός ότι η μορφή του θυσάνου θυμίζει την μορφή που έχουν τα απόνερα έλικας πλοίου (Εικόνα 7). Η θερμοβαθμίδα του θυσάνου (γ) παριστάνεται με τη στικτή γραμμή, ενώ η θερμοβαθμίδα της ατμόσφαιρας (γ') με έντονη συνεχή. Στην περίπτωση αυτή ισχύει $\gamma' < \gamma$ και τις περισσότερες φορές παρατηρείται θερμοκρασιακή αναστροφή η βάση της οποίας ξεκινάει από πολύ χαμηλά και σχεδόν από την επιφάνεια του εδάφους, άρα οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα ευσταθείς. Για το λόγο αυτό τα στοιχεία του θυσάνου δεν έχουν τη δυνατότητα να μετατοπιστούν πολύ από το ύψος εκπομπής τους και συνεπώς, η κατακόρυφη διασπορά του είναι πολύ μικρή, ενώ η οριζόντια διασπορά παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.

Η ελικοειδής διασπορά εμφανίζεται κυρίως τη νύχτα, κάτω από συνθήκες ιδιαίτερης ευστάθειας, με ισχυρή θερμοκρασιακή αναστροφή, ενώ οι άνεμοι είναι ασθενείς και μεταβλητών διευθύνσεων. Η ισχυρή ευστάθεια δεν επιτρέπει την ανάπτυξη κατακόρυφης τύρβης και διάχυσης, ενώ οι μεταβλητές διευθύνσεις των ανέμων δημιουργούν τους «μαιάνδρους» του θυσάνου. Όταν ο άνεμος είναι σταθερής διεύθυνσης, η νυχτερινή οριζόντια διασπορά είναι μικρής έκτασης και ο θύσανος έχει σχήμα ταινιών, το μήκος των οποίων μπορεί να είναι πολύ μεγάλο δεδομένου ότι οι ρύποι παραμένουν συγκεντρωμένοι σε αυτές. Σε περιοχές με έντονες νυχτερινές αναστροφές ακτινοβολίας (χαμηλού ύψους), επιλέγονται καμινάδες με ύψος μεγαλύτερο του ύψους αναστροφής. Με τον τρόπο αυτό, οι εκπεμπόμενοι θύσανοι παραμένουν ψηλά χωρίς να επηρεάζουν το έδαφος, αλλά ενδέχεται να επηρεαστούν λόφοι ή κτίρια που βρίσκονται στην πορεία των επικρατούντων ανέμων.

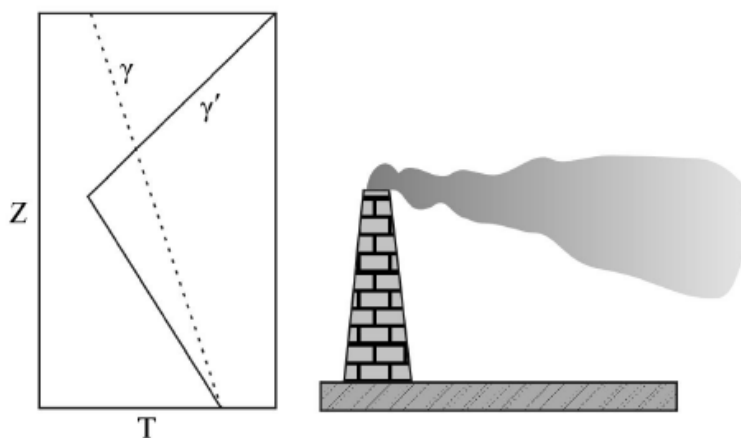


Εικόνα 7: Ελικοειδής διασπορά

Πηγή: Μουστρής, 2015

Καπνισμός

Ο καπνισμός (fumigation) εμφανίζεται όταν το ύψος αναστροφής είναι περίπου ίδιο με το ύψος εκπομπής των ρύπων. Για τη δημιουργία του, επικρατούν συνθήκες αστάθειας ($\gamma' > \gamma$) μεταξύ επιφάνειας εδάφους και ύψους αναστροφής, ενώ μετά το ύψος εκπομπής η αναστροφή σε συνδυασμό με το γεγονός ότι $\gamma' < \gamma$ δημιουργούν ευσταθείς συνθήκες (Εικόνα 8). Ο καπνισμός συναντάται λίγο μετά την ανατολή του ηλίου, οπότε η νυχτερινή αναστροφή εξουδετερώνεται λόγω θέρμανσης του εδάφους και τη θέση της παίρνει ένα ασταθές στρώμα το οποίο αναπτύσσεται μέχρι την κορυφή του θύσανου. Μόλις ο θύσανος εισέλθει στο ασταθές στρώμα, η τύρβη μεταφοράς προκαλεί την ανάμιξή του προς το έδαφος, ενώ η υπερκείμενη αναστροφή εμποδίζει την ανάμιξή του προς τα πάνω. Πρόκειται για ένα μεταβατικό φαινόμενο, το οποίο όμως έχει συχνά ως αποτέλεσμα τη μέγιστη συγκέντρωση ρύπων στο έδαφος για μικρό χρονικό διάστημα (περίπου μισή ώρα), καθώς σταδιακά το ύψος αναστροφής υπερβαίνει το ύψος εκπομπής (τότε οι ρύποι διαχέονται σε μεγαλύτερα ύψη, μειώνονται οι συγκεντρώσεις στο έδαφος και σταματάει ο καπνισμός). Ο καπνισμός είναι σταθερός και συνεχής στην περίπτωση όπου ο θύσανος που εκπέμπεται σε παράκτια περιοχή συναντά το οριακό στρώμα που αναπτύσσεται στη θερμότερη ξηρά, οπότε και διατηρείται για αρκετές ώρες λόγω της θαλάσσιας αύρας.

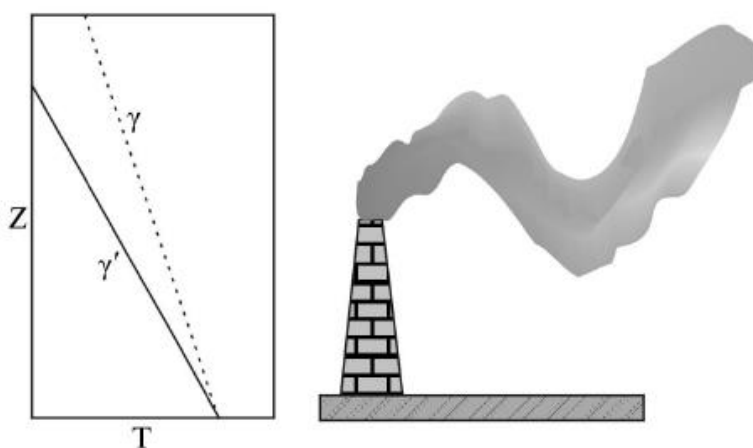


Εικόνα 8: Καπνισμός

Πηγή: Μουστρής, 2015

Κατακόρυφος κυκλική διασπορά

Η κατακόρυφος κυκλική διασπορά (looping) συμβαίνει κάτω από συνθήκες αστάθειας όταν υπάρχουν έντονα θερμικά φαινόμενα, συνήθως το μεσημέρι ή το απόγευμα (Εικόνα 9). Αυτές οι συνθήκες προκαλούν έντονη θερμική κυκλοφορία, υπό μορφή ανοδικών και καθοδικών κινήσεων σε όλη την έκταση του οριακού στρώματος. Οι κινήσεις αυτές συμπαρασύρουν τους ρύπους διαδοχικά προς τα πάνω και προς τα κάτω, με αποτέλεσμα την εμφάνιση του συγκεκριμένου σχήματος του θυσάνου. Στιγμιαία ή βραχυπρόθεσμα, ο μηχανισμός αυτός μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των ρύπων σε αποστάσεις αρκετά κοντά στην πηγή.

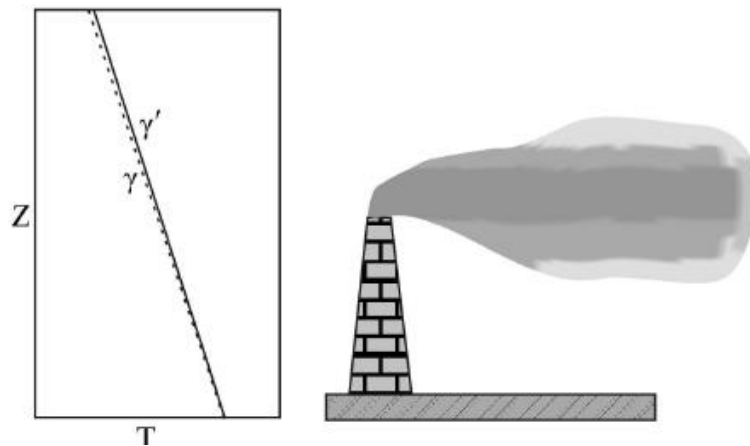


Εικόνα 9: Κατακόρυφη κυκλική διασπορά

Πηγή: Μουστρής, 2015

Κωνική διασπορά

Όπως δηλώνει και το όνομα του μηχανισμού, ο θύσανος έχει κωνική (coning) μορφή εκτεινόμενος τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη διάσταση ($\gamma' \approx \gamma$) (Εικόνα 10). Η κατάσταση αυτή παρατηρείται συνήθως όταν υπάρχουν σύννεφα, άνεμος και μια σχετικά ευσταθής ατμόσφαιρα. Τέτοιες καταστάσεις μπορούν να συμβούν καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, καθώς σχετίζονται συχνά με τη διέλευση μιας καταιγίδας που οφείλεται σε χαμηλό βαρομετρικό (κυκλώνας) ή με τη διέλευση ενός μετώπου.

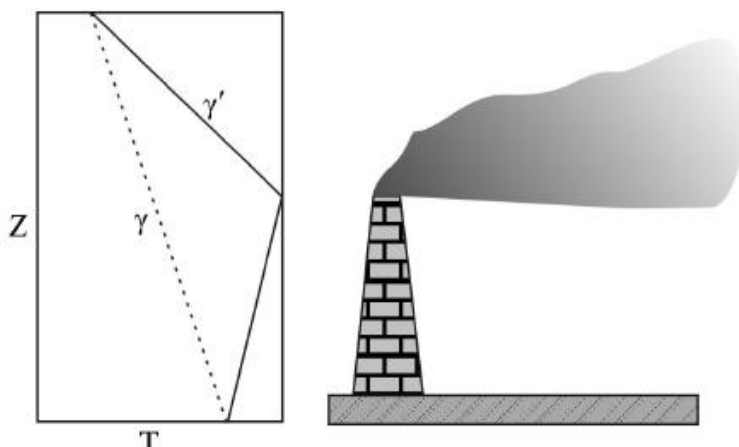


Εικόνα 10: Κωνική διασπορά

Πηγή: Μουστρής, 2015

Διασπορά υπέρ την αναστροφή (lofting)

Κατά τη διασπορά υπέρ την αναστροφή (lofting), ο θύσανος εμποδίζεται από την αναστροφή να κινηθεί προς τα κάτω, παραμένοντας πάνω από το ύψος της και το σταθερό οριακό στρώμα (Εικόνα 11). Μια τέτοια κατάσταση συμβαίνει χρονικά κυρίως κοντά στο ηλιοβασίλεμα, όπου παρατηρείται μετάβαση από ασταθείς σε ευσταθείς συνθήκες, κοντά στο έδαφος. Η ισχυρή επιφανειακή αναστροφή εμποδίζει τη διάχυση των ρύπων κάτω από το ύψος αναστροφής, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωσή τους σε ένα λεπτό στρώμα πάνω από την αναστροφή. Το πάχος του θυσάνου εξαρτάται από τις συνθήκες και την ένταση της τύρβης πάνω από τη βάση της αναστροφής. Ανάλογα με το ύψος εκπομπής αλλά και το ύψος αναστροφής, το φαινόμενο μπορεί να διατηρηθεί από μερικές ώρες έως και ολόκληρη τη νύχτα.



Εικόνα 11: Διασπορά υπέρ την αναστροφή

Πηγή: Μουστρής, 2015

1.4 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και της ποιότητας ζωής των ανθρώπων. Ανάλογα με το είδους του ρύπου που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα προκαλούνται και οι αντίστοιχες επιδράσεις. Οι κυριότερες από αυτές τις συνέπειες είναι συνοπτικά οι εξής (Σούφλα, 2013):

- Μείωση της ορατότητας (λόγω αυξημένης σκέδασης)
- Αύξηση της συχνότητας σχηματισμού ομίχλης
- Μείωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας
- Μεταβολή του μικροκλίματος
- Συνέπειες παγκοσμίου κλίμακας

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί φθορές και στα υλικά, καθώς μπορεί να προκαλέσει διάβρωση και καταστροφή ιστορικών αλλά και σύγχρονων μνημείων και κτιρίων. Κύριος υπεύθυνος για αυτές τις καταστροφές είναι η όξινη βροχή, η οποία δημιουργείται με τη διάλυση ενώσεων του θείου και του αζώτου στο νερό της βροχής, προκαλώντας με τον τρόπο αυτό την οξίνισή του (αύξηση του pH).

Επίσης, υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επηρεάσει άμεσα ή έμμεσα τις λειτουργίες ενός φυτού. Ανάλογα με το είδους του ρύπου μπορεί να προκληθεί μείωση της παραγωγικότητάς του, ελάττωση της φωτοσυνθετικής του ικανότητας και γενικότερα μεταβολή της ισορροπίας του. Οι επιπτώσεις στην πανίδα σχετίζονται με την άμεση προσβολή του οργανισμού των ζώων από τους ρύπους που εισπνέουν, αλλά και με την έμμεση ζημιογόνο επίδραση των ρύπων μέσω της τροφής που καταναλώνουν.

Πολύ σημαντικές είναι οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στην ανθρώπινη υγεία. Μολονότι οι μελέτες πάνω στο θέμα αυτό αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην πρόβλεψη, λόγω έλλειψης αντιπροσωπευτικού δείγματος και της συνεργούς δράσης πολλών ρυπαντών, μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα παραδείγματα (Ζάνης, 2014):

- Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει μείωση των αντανεκλαστικών, πονοκεφάλους, απώλεια αισθήσεων, ακόμη και θάνατο. Μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα.

- Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα επιφέρουν αυξημένη συχνότητα ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος και υψηλότερη θνησιμότητα.
- Το διοξείδιο του αζώτου σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικές ασθένειες στα παιδιά και δυσκολία στην αναπνοή στους ασθματικούς.
- Το όζον είναι εξαιρετικά τοξικό και η έκθεση του ατόμου σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ζάλη, εμετούς, ερεθισμό στην αναπνευστική οδό, διαταραχή της αναπνευστικής λειτουργίας, άσθμα, φλεγμονή στους πνεύμονες, πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού, ερεθισμό των ματιών κ.λπ.
- Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και το μέγεθός τους, μπορούν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα και να προκαλέσουν διάφορες ασθένειες καθώς και προβλήματα στην αναπνοή.
- Κάποιες ενώσεις υδρογονανθράκων έχουν καρκινογόνο δράση.
- Τα φωτοχημικά οξειδωτικά προκαλούν ερεθισμούς βλεννογόνων και επιτείνουν ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος.

Οι οποιεσδήποτε μελέτες έχουν γίνει πάνω στην επίδραση των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία αφορούν τις βραχυπρόθεσμες επιδράσεις τους. Αναφορικά με τη μακροπρόθεσμη επίδρασή τους, πιθανολογούνται αρνητικές συνέπειες στη δομή των κυττάρων και γενικότερα σε διάφορες γενετικές ιδιότητες.

1.5 Μέτρηση αέριων ρύπων

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων έχει δώσει τη δυνατότητα ανάπτυξης μιας μεγάλης ποικιλίας οργάνων και μεθόδων/τεχνικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να μετρηθεί αποτελεσματικά ένας μεγάλος αριθμός ρύπων και χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Οι μετρήσεις των ρύπων γίνονται είτε με δειγματοληπτικές μεθόδους και ανάλυση στο εργαστήριο είτε με συνεχείς μετρήσεις επιτόπου αλλά και με τη μέθοδο της τηλεπαρατήρησης (παρατήρηση από μακριά). Οι μέθοδοι αυτοί επιτρέπουν την χωροχρονική καταγραφή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας που μας περιβάλλει. Κατά τη μέτρηση των αερίων ρύπων λαμβάνονται υπόψη δύο (2) βασικοί στόχοι: (α) η ορθή ταυτοποίηση των ρύπων και (β) ο ποσοτικός τους προσδιορισμός

Οι τεχνικές που συνήθως εφαρμόζονται στην μελέτη και μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνουν (Ζάνης, 2014):

- Χρωματογραφία
- Φωτομετρία
- Υπέρυθρη και Υπεριώδης φασματοσκοπία
- Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης
- Φασματοσκοπία με ακτίνες X
- Φασματομετρία μάζας
- Ηλεκτροχημικές τεχνικές

Στο αστικό περιβάλλον η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα σύνθετο μείγμα από χιλιάδες χημικά στοιχεία και ενώσεις. Ωστόσο οι ρύποι που χρήζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την καταγραφή τους, με δεδομένη τη δυσκολία μιας πλήρους ανάλυσης του πολυσύνθετου μίγματος, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO₂), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το όζον (O₃) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Οι μετρήσεις των επικίνδυνων υδρογονανθράκων επιτελούνται σε συνεχή βάση, αφού οι υδρογονάνθρακες είναι γενικώς πολύ τοξικά αέρια και η συγκέντρωσή τους έχει άμεση σχέση με τη συγκέντρωση του όζοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κύριοι Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

2.1 Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άοσμο, άγευστο και άχρωμο αέριο που παράγεται από την ατελή καύση του άνθρακα και είναι πολύ τοξικό. Τα μόριά του αποτελούνται από ένα άτομο άνθρακα και ένα άτομο οξυγόνου το καθένα, σχηματίζοντας δύο ομοιοπολικούς και έναν ημιπολικό δεσμό μεταξύ τους. Το CO οξειδώνεται από την ελεύθερη ρίζα του OH σε CO₂ έχοντας χρόνο ζωής 2-4 μήνες και παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία του τροποσφαιρικού όζοντος.

Κυριότερες πηγές προέλευσης του CO είναι οι εξατμίσεις των μηχανών των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστά μέρη όπως χώροι στάθμευσης, ελλιπώς αεριζόμενες υπόγειες διαβάσεις, ή κατά μήκος των δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, καθώς και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση της καύσιμης ύλης (ΥΠΕΝ, 2017). Εκτός από τα μέσα μεταφοράς, άλλες ανθρωπογενείς πηγές του CO είναι η απόθεση στερεών αποβλήτων, η παραγωγή σιδήρου κ.λπ. Οι εκπομπές του CO από οχήματα και βιομηχανίες υπολογίζονται σε περίπου 200 εκατ. τόνους, εκ των οποίων το 70% αφορά τις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης). Ανάλογες ποσότητες CO παράγονται σε παγκόσμια κλίμακα από τις φωτιές δασών και την καύση βιομάζας (Βαλαβανίδης, 2007). Η σημαντικότερη φυσική πηγή του CO στην ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου.

Το CO μπορεί να επιδράσει έμμεσα στην ατμόσφαιρα, αφού μέσω των χημικών αντιδράσεων με άλλα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα συμβάλει στην αύξηση των συγκεντρώσεων του όζοντος και του μεθανίου που ανήκουν στην κατηγορία των θερμοκηπικών αερίων. Εκτός αυτού, ως παραπροϊόν της καύσης ανθρακούχων καυσίμων, παίζει σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη χημική βιομηχανία και μόλυνση της γήινης ατμόσφαιρας. Οι παγκόσμιες συγκεντρώσεις CO υποβάθρου κυμαίνονται μεταξύ 0.06 mg/m³ και 0.14 mg/m³. Σε ευρωπαϊκές πόλεις με κυκλοφοριακό φόρτο η οκτάωρη μέση συγκέντρωση CO είναι μικρότερη συνήθως από 20 mg/m³ με μικρές αυξήσεις που φτάνουν τα 60 mg/m³ (Λαζαρίδης,

2010). Οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων καυσίμων που καίγονται για τη θέρμανση των κτιρίων.

Η μεγαλύτερη έκθεση του ανθρώπου στο μονοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από τον καπνό του τσιγάρου. Το εισπνεόμενο CO αντιδρά με το σίδηρο στην αιμογλοβίνη και σχηματίζει την καρβοξυαιμογλοβίνη (COHb), η οποία μειώνει την ικανότητα του αίματος να οξυγονώνει βασικούς ιστούς του οργανισμού, δημιουργώντας προβλήματα στο καρδιαγγειακό και το νευρικό σύστημα. Χαμηλές συγκεντρώσεις του επηρεάζουν δυσμενώς άτομα με καρδιακά προβλήματα και μειώνουν τις σωματικές επιδόσεις νεαρών και υγιών ατόμων. Υψηλότερες συγκεντρώσεις προκαλούν συμπτώματα όπως πονοκεφάλους, ζαλάδες και κόπωση (YPIEN, 2017). Υγιή άτομα εκτεθειμένα σε υψηλά επίπεδα, μπορεί να υποστούν προσωρινή μείωση της πνευματικής τους διαύγειας καθώς και της όρασης τους (Newell et al., 1989).

2.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι ένα αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Στην ατμόσφαιρα το SO₂ αντιδρά για να σχηματίσει τριοξείδιο του θείου (SO₃) που εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη θειικού οξέος, φαινόμενο που απαντάται στο πρόβλημα ρύπανσης από όξινη βροχή. Άλλες σημαντικές ενώσεις του θείου στην ατμόσφαιρα είναι το καρβο-νυλοσουλφίδιο (OCS), ο διθειάνθρακας (CS₂), το διμεθυλοσουλφίδιο (CH₃)₂S, το υδρόθειο (H₂S) και τα θειικά άλατα. Πρόκειται για έναν αρκετά τοξικό ρύπο για το φυσικό περιβάλλον.

Φυσικές πηγές των θειούχων ενώσεων αποτελούν οι κοιλότητες συγκέντρωσης βιολογικής ύλης, η αναερόβια σήψη, η διάχυση σταγονιδίων από τη θάλασσα, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, και οι θερμές πηγές. Κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές προέλευσης του SO₂ είναι τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, οι βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι κεντρικές θερμάνσεις, οι χημικές βιομηχανίες, οι χαρτοβιομηχανίες, καθώς και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμο με ψηλή περιεκτικότητα σε θείο (YPIEN, 2017). Οι ανθρωπογενείς εκπομπές του SO₂ εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ποσοστό της ροής του θείου στην ατμόσφαιρα. Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο συνήθως σε ποσότητες 0-6% κ.β. υπό μορφή οργανικών μορίων που όταν καίγονται

παράγουν SO₂. Το επεξεργασμένο πετρέλαιο και βενζίνες περιέχουν λιγότερο από 0.05% θείο.

Οι εκπομπές του SO₂ έχουν μειωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες ως απόρροια της εγκατάστασης συστημάτων αποθείωσης στις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της μείωσης της περιεκτικότητας του θείου στα καύσιμα. Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις SO₂ στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής κυμαίνονται από 20-60 μg/m³ με μέσα ημερήσια επίπεδα να υπερβαίνουν τα 125 μg/m³. Σε αστικές περιοχές, όπου είναι ακόμα ευρέως χρησιμοποιούμενο το κάρβουνο για θέρμανση και ηλεκτρισμό, οι συγκεντρώσεις είναι 5-10 φορές μεγαλύτερες από αυτές τις τιμές (Λαζαρίδης, 2010).

Μακροχρόνια έκθεση στο SO₂ μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, ειδικά όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιρούμενων σωματιδίων, τροποποίηση του αμυντικού μηχανισμού των πνευμόνων και επιδείνωση τυχόν υπάρχουσών καρδιαγγειακών παθήσεων. Άτομα με καρδιαγγειακές, χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις καθώς και μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Η χρόνια έκθεση στο SO₂ προκαλεί στένωση στην τραχεία, παρόμοια με τη χρόνια βρογχίτιδα.

Βραχυχρόνια έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις SO₂ προκαλεί συστολή των αναπνευστικών αγγείων στους ασθματικούς ασθενείς και στις ευπαθείς κοινωνικές ομάδες, με αποτέλεσμα την αύξηση των ασθματικών επεισοδίων. Παράλληλα, τα αιωρούμενα σωματίδια και το SO₂ αντιδρούν προς σχηματισμό πιο επικίνδυνων όξινων θεικών σωματιδίων, τα οποία εισπνέονται βαθύτερα στους πνεύμονες και εγκαθίστανται εκεί. Εικοσιτετράωρες εκθέσεις σε αυξημένες συγκεντρώσεις SO₂ και αιωρούμενων σωματιδίων έχουν συσχετιστεί με αυξημένη θνησιμότητα, νοσηρότητα και μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων. Η ταυτόχρονη επίδραση των δύο ρύπων, των οποίων η παρουσία αποτελεί κανόνα σε αστικές κυρίως περιοχές, προκαλεί συνεργαστικά αποτελέσματα, δηλαδή το τελικό αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των μεμονωμένων αποτελεσμάτων της ξεχωριστής επίδρασης του SO₂ και των σωματιδίων (Οικονομόπουλος, 2000).

Πίνακας 4: Επιπτώσεις στην υγεία για διάφορα επίπεδα SO₂

Ενδεικτικές επιπτώσεις	Συγκέντρωση SO ₂
Αλλαγές στις λειτουργίες των πνευμόνων σε ασθματικούς	1-2 ppm
Αλλαγές στις λειτουργίες των πνευμόνων σε ασθματικούς με μέτρια άσκηση	0.6 - 0.75 ppm
Αλλαγές στις λειτουργίες των πνευμόνων σε ασθματικούς με μέτρια έως έντονη άσκηση	0.4 - 0.6 ppm

Το SO₂ εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου σε αστικές περιοχές με αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί βλάβες στις επιφάνειες των κτιρίων, ενώ η μετατροπή του σε θειικό οξύ και η εναπόθεσή του στο έδαφος μέσω της όξινης βροχής και των όξινων σωματιδίων καταστρέφει δασικές εκτάσεις, προκαλώντας την αύξηση της οξύτητας των λιμνών και των ποταμών με επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς (Βαλαβανίδης, 2007). Οι αέριες μάζες μπορούν να μεταφέρουν τα όξινα σωματίδια αρκετά χιλιόμετρα μακριά από τις πηγές εκπομπής τους, με αποτέλεσμα να πλήγονται περιοχές που βρίσκονται μακριά από τις πηγές ρύπανσης. Η εναπόθεση των όξινων θεικών σωματιδίων στο έδαφος αλλά και στα υδρόβια οικοσυστήματα μπορεί να προκαλέσει σοβαρές μεταβολές στο ισοζύγιο του εδάφους, να αλλάξει η σύσταση της ατμόσφαιρας, να μεταβληθεί τοπικά το κλίμα και να υπάρξουν αλλαγές στην ισορροπία της χλωρίδας και της πανίδας. Επίσης, το SO₂ είναι ο κύριος υπεύθυνος για τη διάβρωση του χάλυβα και άλλων μετάλλων, την υποβάθμιση του ψευδαργύρου και άλλων προστατευτικών επιστρωμάτων, τη φθορά οικοδομικών υλικών, καθώς επίσης και για την υποβάθμιση της ποιότητας του χαρτιού, των δερμάτινων ειδών και των έργων και μνημείων ιστορικού ενδιαφέροντος.

2.3 Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Τα πιο σημαντικά οξείδια του αζώτου που εμπλέκονται στη ρύπανση του αέρα είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Το NO είναι πρωτογενής ρύπος, ενώ το NO₂ κυρίως δευτερογενής ρύπος που προέρχεται από την αντίδραση του NO με το όζον. Συνήθως χρησιμοποιείται ο όρος NO_x για το άθροισμα των συγκεντρώσεων NO και NO₂ καθώς η αλληλομετατροπή μεταξύ τους γίνεται αρκετά γρήγορα. Το NO είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και μη τοξικό, ενώ το NO₂ είναι αέριο με κιτρινωπό-καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Το NO₂ σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα του στην όψη του ουρανού στις αστικές περιοχές (ΥΠΕΝ, 2017). Λόγω της υψηλής οξειδωτικής του κατάστασης είναι εξαιρετικά τοξικό και διαβρωτικό (Οικονομόπουλος, 2000). Τα οξείδια του αζώτου NO και NO₂ εμπλέκονται και ενεργοποιούν τον φωτοχημικό κύκλο αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και το σχηματισμό έτσι της φωτοχημικής ρύπανσης και παίζουν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο του

τροποσφαιρικού όζοντος. Άλλες σημαντικές ενώσεις του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι το υποξείδιο (N_2O), το νιτρικό οξύ (HNO_3), η αμμωνία (NH_3) και τα διάφορα νιτρικά (NO_3^-), νιτρώδη (NO_2^-) και αμμωνιακά άλατα (NH_4^+).

Οι κυριότερες πηγές NO_x είναι οι καύσεις ορυκτών καυσίμων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εργοστάσια, καθώς και τα μεταφορικά μέσα. Το NO παράγεται κατά τη διαδικασία της απονιτροποίησης, ενώ παράγεται και από τις καύσεις ορυκτών καυσίμων και βιομαζών και τις φωτοχημικές αντιδράσεις. Η κύρια πηγή NO_2 είναι η οξείδωση του NO , ενώ πηγές NO_2 εσωτερικών χώρων αποτελούν οι συσκευές που λειτουργούν με αέριο, οι θερμάστρες κηροζίνης, οι ξυλόσομπες και το τσιγάρο. Οι ποσότητες NO_2 που εκλύονται πρωτογενώς στην ατμόσφαιρα είναι περιορισμένες συγκριτικά με αυτές του NO . Το NO_2 θεωρείται πιο σημαντικός ρύπος αναφορικά με την επίδραση στον άνθρωπο. Οι εκπομπές του NO είναι μεγαλύτερες το χειμώνα όταν υπάρχει αυξημένη χρήση των καυσίμων για θέρμανση, ενώ το NO_2 είναι αυξημένο τις ζεστές ηλιόλουστες μέρες αφού η άφθονη ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με τη μετατροπή (φωτοχημική οξείδωση) του NO σε NO_2 (Οικονομόπουλος, 2000). Δεδομένου ότι αργά ή γρήγορα όλο το NO μεταβάλλεται στην ατμόσφαιρα σε NO_2 , η ποσότητα του αθροίσματος του NO και του NO_2 (NO_x) καθορίζεται σαν NO_2 . Οι φυσικές μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις υποβάθρου του NO_2 κυμαίνονται από $0.4-9.4 \mu g/m^3$. Σε αστικές περιοχές οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι μεταξύ 20 και $90 \mu g/m^3$, με μέγιστες ωριαίες τιμές που κυμαίνονται από $75-1.015 \mu g/m^3$ (Λαζαρίδης, 2010).

Το NO_2 είναι το πιο τοξικό οξείδιο του αζώτου, ερεθίζει τους πνεύμονες προκαλώντας βλάβη στα ευαίσθητα κύτταρα που τους περιβάλλουν. Σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά (Φούντη, 2004). Μελέτες σε ζώα έχουν δείξει πως η μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στη δομή των πνευμόνων και στη λειτουργία τους, προκαλώντας εμφύσημα και χρόνια βρογχίτιδα. Το μεγαλύτερο ποσοστό των λοιμώξεων που παρουσιάζονται λόγω του NO_2 οφείλονται τόσο στη μειωμένη ικανότητα των κυττάρων που έχουν υποστεί βλάβη να καθαρίσουν τα εισπνεόμενα βακτηρίδια από ιούς, όσο και σε βλάβη στα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος που καταπολεμούν τη λοίμωξη.

Πίνακας 5: Επιπτώσεις στην υγεία για διάφορα επίπεδα NO_2

Ενδεικτικές επιπτώσεις	Συγκέντρωση NO_2
Αύξηση της αντίστασης εναέριων οδών στην χρόνια βρογχίτιδα	1-6 ppm (έκθεση 3 λεπτών)

Συμπτώματα σε ασθματικούς (ρινική απαλλαγή, πονοκέφαλοι, ζαλάδες, δυσκολία στην αναπνοή)	0.5 ppm (έκθεση 2 ωρών)
Λοιμώξεις σε μικρά παιδιά	0.15-0.30 ppm (συχνή έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις)

Το Εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών μελετώντας 32 πόλεις σε όλη την Ευρώπη παρατήρησε μέσα από τις μετρήσεις ότι μια αύξηση του NO_2 κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ προκαλεί αύξηση 0.3% θνησιμότητας βραχυπρόθεσμα (την επόμενη μέρα). Η επίδρασή του είναι ακόμη πιο έντονη όταν σχετίζεται με καρδιαγγειακές παθήσεις και αναπνευστικά προβλήματα όπου παρατηρείται αύξηση 0.40% και 0.38% αντίστοιχα. Στην ίδια μελέτη τονίζεται ότι παρά τα μικρά ποσοστά, όταν υπάρχουν μεγάλες εκθέσεις στις συγκεντρώσεις αυτές για εκατομμύρια κατοίκους, τότε σε έκθεση έξι ημερών μπορούν να προκαλέσουν 22% περισσότερους καρδιαγγειακούς και 45% περισσότερους αναπνευστικούς θανάτους συγκριτικά με την έκθεση των δύο ημερών (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2005)

Οι εκπομπές NO_x εκτός από την υγεία του ανθρώπου επιβαρύνουν ιδιαίτερα και το περιβάλλον. Οι χειρότερες συνέπειες φαίνεται να οφείλονται στο νιτρικό οξύ, το τελευταίο προϊόν της χημικής αντίδρασης του NO_2 στον αέρα. Συγκεκριμένα το NO_2 σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες συμβάλλει στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους, δίνοντας το χαρακτηριστικό καφέ χρώμα και την έντονη οσμή του. Επίσης τα NO_x θεωρούνται από τους πιο σημαντικούς ρύπους καθώς καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος και συμμετέχουν στο σχηματισμό όξινης βροχής, ενώ συμβάλλουν και στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Με τη συνεργό δράση του όζοντος, της ζέστης και της ανομβρίας, η όξινη βροχή οδηγεί στη μείωση των δασικών εκτάσεων σε διάφορες περιοχές. Επιπλέον, τα αζωτούχα λιπάσματα και η ατμοσφαιρική εναπόθεση διαταράσσουν ευαίσθητα οικοσυστήματα όπως τις εκβολές των ποταμών με δυσμενείς συνέπειες για τους οργανισμούς που βρίσκονται εκεί.

2.4 Όζον

Το όζον (O_3) είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή. Συναντάται στα πλέον γνωστά προβλήματα ρύπανσης από την αστική έως την παγκόσμια κλίμακα όπως το φωτοχημικό νέφος, την αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος και μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, την τρύπα του όζοντος και την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πρόκειται για ένα αέριο στοιχείο που παράγεται στην στρατόσφαιρα (15-50

χλμ.) όπου και βρίσκεται περίπου το 90% του ολικού όζοντος της ατμόσφαιρας της γης. Το στρατοσφαιρικό όζον είναι το λεγόμενο «καλό» όζον, καθώς δρα ως φίλτρο στο υπεριώδες που προστατεύει από την επιβλαβή υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Η μείωση του όζοντος στην στρατόσφαιρα από τη χρήση ανθρωπογενών χημικών στοιχείων όπως οι χλωροφθοράνθρακες, αποτελεί τα τελευταία χρόνια ένα πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας το οποίο απασχολεί τόσο την επιστημονική κοινότητα όσο και την κοινή γνώμη και τις κυβερνήσεις των κρατών.

Το υπόλοιπο 10% του όζοντος βρίσκεται στο χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιρας, την τροπόσφαιρα (0-15 χλμ.). Χαμηλά στο έδαφος είναι ένας ρύπος που συνδέεται με επεισόδια φωτοχημικού νέφους σε αστικά κέντρα και γύρω από αυτά, όπου μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα στον άνθρωπο και τη φύση με την υπέρβαση κάποιων οριακών τιμών. Για το λόγο αυτό έχει επικρατήσει να αποκαλείται το τροποσφαιρικό όζον ως το «κακό» όζον. Είναι χαρακτηριστική η φράση για το όζον «good up high, bad nearby» που σημαίνει καλό εκεί ψηλά, κακό εδώ γύρω. Στην τροπόσφαιρα το όζον είναι δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρύπος που σχηματίζεται ως αποτέλεσμα αλυσίδας χημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών. Πηγές εκπομπής των ρύπων που συντελούν στη δημιουργία του όζοντος είναι τα οχήματα, τα εργοστάσια, οι χωματερές, χημικά διαλυτικά και πολλές άλλες μικρές πηγές όπως βενζινάδικα, αγροτικός εξοπλισμός κ.λπ. (ΥΠΕΝ, 2017).

Το τροποσφαιρικό όζον έχει πολλαπλή σημασία για την ατμόσφαιρα της γης. Αρχικά κατέχει κεντρικό ρόλο στη χημεία της τροπόσφαιρας καθώς αποτελεί τη βασική πηγή του πιο σημαντικού οξειδωτικού μέσου στην τροπόσφαιρα, της ρίζας του υδροξυλίου (OH). Το OH αποτελεί το ισχυρότερο «απορρυπαντικό» της ατμόσφαιρας που την καθαρίζει από μια σειρά οργανικών και ανόργανων ενώσεων που εκπέμπονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Υπό την έλλειψη της ρίζας του OH όλες αυτές οι ενώσεις θα είχαν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής και θα συσσωρεύονταν στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, δρώντας επικουρικά στο γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλείται από ενώσεις όπως το CO_2 , το μεθάνιο και οι υδρατμοί. Αυτό θα είχε σαν συνέπεια ότι μια σειρά από αέριες ενώσεις που δεν συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου θα συνέβαλλαν σε ακόμα μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο πλανήτη μας.

Κατά δεύτερο λόγο το τροποσφαιρικό όζον που βρίσκεται στα υψηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι από μόνο του ένα θερμοκηπικό αέριο που σημαίνει ότι δρα και αυτό

επικουρικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, απορροφώντας τη γήινη υπέρυθρη ακτινοβολία. Επισημαίνεται ότι η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος παγκοσμίως συνεισφέρει περίπου το 1/3 από την αύξηση του CO₂ στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου από το προβιομηχανικά χρόνια έως σήμερα. Εξάλλου το CO₂ είναι το βασικότερο αέριο που συνεισφέρει στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου συγκριτικά με τα προβιομηχανικά χρόνια. Το O₃ είναι επίσης ισχυρότατο οξειδωτικό μέσο π.χ. για το σχηματισμό της όξινης βροχής (οξειδώνει SO₂ προς H₂SO₄).

Οι ανεβασμένες συγκεντρώσεις του όζοντος σε περιοχές τεχνολογικά ανεπτυγμένες οφείλονται στις ανθρωπογενείς εκπομπές των NO_x και των υδρογονανθράκων (HCs). Οι συγκεντρώσεις του O₃ αντανακλούν μία αλληλεπίδραση των εκπομπών των NO_x, HCs, της μετεωρολογίας μεταφοράς και της ατμοσφαιρικής χημείας. Μετά την αύξηση των NO_x ακολουθεί αύξηση και του O₃ σαν αποτέλεσμα των φωτοχημικών αντιδράσεων που μείνουν τα επίπεδα των πρωτογενών ρύπων. Αυτές οι συγκεντρώσεις των NO_x αυξάνονται και διατηρούνται για ένα διάστημα 1-4 ωρών και στη συνέχεια ακολουθεί μείωση ως αποτέλεσμα της διασποράς, του μετασχηματισμού του NO₂ σε HNO₃ και της αφαίρεσης από επιφάνειες. Κατά τις νυχτερινές ώρες η παραγωγή του όζοντος σταματά.

Εκτός από τις ανθρωπογενείς εκπομπές των πρόδρομων ενώσεων, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος είναι η φωτοχημική δραστηριότητα. Σε επίπεδο ημερήσιας διακύμανσης η μέγιστη συγκέντρωση O₃ σημειώνεται νωρίς το απόγευμα, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης είναι μέγιστη κατά τις μεσημβρινές ώρες (πρόκειται για μία δυναμική κατάσταση που απαιτεί κάποιο χρόνο για τη συσσώρευση της μεσημβρινής δραστηριότητας). Η ελάχιστη παρατηρείται νωρίς το πρωί, μετά από τις νυκτερινές ώρες, οπότε η ηλιακή δραστηριότητα είναι ανύπαρκτη και η μεταφορά από μεγαλύτερα ύψη διακόπτεται λόγω της νυκτερινής θερμοκρασιακής αναστροφής. Σε επίπεδο εποχιακής διακύμανσης, μεγάλες συγκεντρώσεις παρατηρούνται την άνοιξη και το καλοκαίρι και μικρότερες το χειμώνα (Οικονομόπουλος, 2000).

Οι συγκεντρώσεις υποβάθρου του όζοντος κυμαίνονται από 40-70 μg/m³, αλλά μπορεί να ανέλθουν σε επίπεδα 120-140 μg/m³ για μία ώρα. Στην Ευρώπη η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση όζοντος μπορεί να υπερβεί τα 300 μg/m³ σε αγροτικές περιοχές και τα 350 μg/m³ σε αστικές περιοχές (Λαζαρίδης, 2010).

Σε μεγάλες συγκεντρώσεις επιδρά αρνητικά στους ιστούς των πνευμόνων και δημιουργεί προβλήματα σε άτομα με άσθμα και ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος. Ακόμα και

σε υγρή άτομα, η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις (>140 ppbv) μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στην αναπνευστική οδό, διαταραχή της αναπνευστικής λειτουργίας, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό, πόνο στο στήθος, βήχα, άσθμα, φλεγμονή στους πνεύμονες, πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού και ερεθισμό των οφθαλμών (ΥΠΕΝ, 2017).

Το όζον έχει επίσης αρνητικές επιπτώσεις στις αγροτικές καλλιέργειες, δασική και άλλη βλάστηση καθώς είναι φυτο-τοξικό στοιχείο που σημαίνει ότι όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις γίνεται επικίνδυνο για φυτά και δάση, επηρεάζοντας την ικανότητα τους να παράγουν και να αποθηκεύουν τροφή κάνοντας τα πιο ευάλωτα στις αρρώστιες, τα έντομα και τις άσχημες καιρικές συνθήκες. Ως οξειδωτικό μέσο επιδρά και σε διάφορα οργανικά υλικά όπως οργανικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στην ζωγραφική, στις εξωτερικές ζωγραφισμένες διακοσμήσεις κτιρίων, ή για βαφή υφασμάτων, το φυσικό καουτσούκ, τα συνθετικά ελαστικά υλικά από κυτταρίνη όπως το χαρτί, διάφορα εκθέματα των μουσείων φυσικής ιστορίας όπως φτερά, δέρμα ζώων, πάπυρο. Συνεπώς η ρύπανση του όζοντος συνδέεται άρρηκτα και με προβλήματα υποβιβασμού της πολιτισμικής μας κληρονομιάς.

2.5 Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως αεροζόλ. Ικανά σε υψηλά επίπεδα να μεταβάλουν το μπλε χρώμα του ουρανού, λόγω σκέδασης, σε λευκό ή γκρίζο. Προερχόμενα από ερήμους (Σαχάρα, Σαχελιανή ζώνη) είναι καφεκόκκινης απόχρωσης (ΥΠΕΝ, 2017). Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι το μέγεθος, η χημική σύσταση και η φάση στην οποία βρίσκονται (υγρή/αέρια). Οι κυριότερες πηγές εκπομπής τους είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, τα αυτοκίνητα, οι πυρκαγιές, τα καψαλίσματα χωραφιών και άλλες γεωργικές δραστηριότητες, οι κατασκευές, η επαναιώρηση σκόνης λόγω ισχυρών ανέμων κ.λπ.

Με βάση την προέλευση τους και τους μηχανισμούς σχηματισμού, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να ταξινομηθούν είτε σαν πρωτογενή είτε σαν δευτερογενή. Πρωτογενή ονομάζονται τα σωματίδια όπου παράγονται μέσα στην πηγή και εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Προέρχονται από φυσικές πηγές όπως είναι τα ηφαίστεια, η θάλασσα, η σκόνη από απογυμνωμένο έδαφος και η γύρη. Οι φυσικές εκπομπές υπερβαίνουν τις ανθρωπογενείς

και επηρεάζουν τις ολικές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε παγκόσμια κλίμακα (Λαζαρίδης, 2008). Οι κύριες πηγές των πρωτογενών σωματιδίων από ανθρωπογενείς εκπομπές είναι οι βιομηχανικές δραστηριότητες και οι εκπομπές εξωτερικής καύσης όπως παραγωγή τσιμέντου, γύψου, χυτήρια μεταλλεύματος, αυτοκίνητα (κυρίως πετρελαιοκίνητα οχήματα και δίκυκλα), πυρκαγιές, καύση βιομάζας, αγροτικές δραστηριότητες, κατασκευές. Η συμμετοχή του αυτοκινήτου οφείλεται στην καύση του καυσίμου, στη φθορά των ελαστικών και στην επαναιώρηση (ΥΠΕΝ, 2017). Η χημική σύσταση των σωματιδίων περιλαμβάνει ενώσεις μολύβδου, άνθρακα και θείου.

Δευτερογενή ονομάζονται τα σωματίδια που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων των αερίων. Μπορούν να παραχθούν από μεγάλη ποικιλία χημικών και φυσικών μετασχηματισμών στην ατμόσφαιρα, εκ των οποίων ένας από τους πιο σπουδαίους είναι η συμπύκνωση των προϊόντων αντίδρασης που έχουν χαμηλή θερμοκρασία και παράγονται φωτοχημικά. Περισσότερο από το 50% των ολικών ατμοσφαιρικών αεροζόλ έχει εκτιμηθεί ότι είναι δευτερογενή σωματίδια που παράγονται από αέριες εκπομπές των φυσικών πηγών (θαλασσινό αλάτι, ηφαίστεια, βιολογικές αποσυνθέσεις) (Οικονομόπουλος, 2000). Τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να διαχωριστούν σε ανόργανα (αμμώνιο, νιτρικά και θειικά έχοντας ως πρόδρομες ουσίες την αμμωνία, τα αζωτοξείδια και τα οξείδια του θείου) και οργανικά (έχοντας ως πρόδρομους τους πτητικούς υδρογονάνθρακες). Με μια σειρά αντιδράσεων μπορούν να παραχθούν οργανικές ουσίες που είτε συσσωματώνονται και παράγουν νέα σωματίδια είτε συμπυκνώνονται πάνω σε υπάρχοντα σωματίδια. Η παραγωγή όζοντος σχετίζεται με παραγωγή δευτερογενών σωματιδίων (ΥΠΕΝ, 2017).

Η χημική σύσταση των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων είναι συνάρτηση της περιοχής (αστική, υπαίθρια, θαλάσσια) από την οποία έχουν προέλθει. Για παράδειγμα, περιβάλλοντα επηρεαζόμενα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες χαρακτηρίζονται από αυξημένες συγκεντρώσεις θεικών και νιτρικών αεροζόλ, ιόντων αμμωνίου και οργανικών ενώσεων. Ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται ενδεικτικός παράγοντας ρύπανσης αστικής προελεύσεως. Επίσης, αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων χλωριούχου νατρίου (NaCl) δηλώνει προέλευση από θαλάσσιες και παραθαλάσσιες περιοχές (Λαζαρίδης, 2008).

Ο χρόνος ζωής των σωματιδίων είναι αντιστρόφως ανάλογος με το μέγεθός τους. Τα μεγάλα σωματίδια έχουν χρόνο ζωής μερικές ώρες, ενώ τα μικρά σωματίδια μερικές ημέρες. Το μέγεθος ενός ομογενούς δείγματος αιωρούμενων σωματιδίων περιγράφεται μόνο από τη διάμετρό του (Λαζαρίδης, 2010). Το μέγεθός τους συνήθως εκφράζεται με την ισοδύναμη

αεροδυναμική διάμετρο που αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο πυκνότητας 1g/m^3 και ίδιας ταχύτητας καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο.

Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε σωματίδια από $50\mu\text{m}$ μέχρι $0.1\mu\text{m}$. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο $>10\mu\text{m}$, τα οποία δεν μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα σωματίδια αυτά συνήθως μένουν στην ρινική ή τη στοματική κοιλότητα μέσω των αμυντικών μηχανισμών του οργανισμού. Σωματίδια τέτοιας διαμέτρου ονομάζονται χονδρόκοκκα σωματίδια (coarse particles). Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν σωματίδια με διάμετρο $<10\mu\text{m}$ και στην βιβλιογραφία αναφέρονται ως PM_{10} (fine particles). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα $\text{PM}_{2.5}$, σωματίδια με διάμετρο $<2.5\mu\text{m}$, τα οποία διακρίνονται σε αυτά με διάμετρο $<0.1\mu\text{m}$ (ultrafine particles) και αυτά με διάμετρο $>0.1\mu\text{m}$.

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα, στους πνεύμονες και στην καρδιά. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι ομάδες πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Querol et al., 2004). Οι επιδράσεις στην υγεία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος των σωματιδίων και τη σύστασή τους. Όσο μικρότερα σε μέγεθος είναι τα σωματίδια τόσο πιο επικίνδυνα, καθώς αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησής τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων (Dongarrà et al, 2010). Τέτοια προβληματικά για τους πνεύμονες είναι τα σωματίδια με διάμετρο $0.1\text{-}1\mu\text{m}$. Η επικινδυνότητά τους εξαρτάται επίσης από τη χημική τους σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν επίσης φθορές στα υλικά και συμβάλλουν στη μείωση της ορατότητας (ιδιαίτερα τα $\text{PM}_{2.5}$). Επηρεάζουν τις ηλεκτρικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας συνεισφέροντας στη δημιουργία νεφών ως πυρήνας συμπύκνωσης και επιδρούν στο κλίμα μεταβάλλοντας το ισοζύγιο ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (ΥΠΕΝ, 2017).

Το σύνολο των εκπομπών σωματιδίων υπολογίζεται σε 60 εκατ. τόνους, εκ των οποίων το 23% οφείλονται στις χώρες που ανήκουν στον ΟΟΣΑ. Η πορώδης επιφάνεια των σωματιδίων έχει την ικανότητα προσρόφησης και άλλων βαρέων μετάλλων τα οποία συσσωματώνονται μαζί τους, όπως επίσης και άλλες καρκινογόνες ουσίες και αρωματικοί υδρογονάνθρακες, με αποτέλεσμα την πρόκληση ασθενειών και κακοήθων νεοπλασιών του αναπνευστικού. Οι επιδημιολογικές έρευνες των τελευταίων δεκαετιών δείχνουν αυξημένη νοσηρότητα και

θνησιμότητα σε αστικές περιοχές λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων εισπνεόμενων σωματιδίων, σκιαγραφώντας σωματίδια PM_{10} (European Union, 2007; Βαλαβανίδης, 2007). Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} σε αστικές περιοχές στην Ευρώπη το χειμώνα έχουν μέσες τιμές μικρότερες των $20-30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στη Δυτική Ευρώπη τα επίπεδα είναι υψηλότερα ($40-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) με μόνο μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών (Λαζαρίδης, 2010).

Η Ελλάδα βρίσκεται σταθερά στις πρώτες θέσεις των χωρών με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αιρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Μεταξύ των ευρωπαϊκών πόλεων με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σωματιδίων, στις πρώτες 20 θέσεις βρίσκονται 6 ελληνικές πόλεις: η Θεσσαλονίκη (1^η), η Αθήνα (3^η), η Λάρισα (5^η), η Πάτρα (7^η), ο Βόλος (13^η) και το Ηράκλειο της Κρήτης (20^η).

2.6 Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα οργανικών ενώσεων που αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο (C_xH_y). Αντιδρούν με άλλες ενώσεις όπως οξυγόνο, άζωτο, χλώριο και θείο για να σχηματίσουν μία ποικιλία παραγώγων. Οι πιο απλοί περιέχουν 1-4 άτομα άνθρακα και είναι αέρια, 5-6 άτομα άνθρακα και είναι υγρά, ενώ από 7 άτομα και πάνω είναι στερεά. Από αυτές τις ενώσεις οι πιο σημαντικές είναι τα αέρια και από τις υπόλοιπες οι πιο πτητικές.

Οι υδρογονάνθρακες θεωρούνται σημαντικοί πρωτογενείς ρύποι της ατμόσφαιρας, καθώς συμβάλουν στο σχηματισμό των φωτοχημικών οξειδωτικών (τοξικές και οξειδωτικές χημικές ενώσεις που δημιουργούνται κατά το φωτοχημικό νέφος). Αυτοί που θεωρούνται σημαντικοί σαν ρύποι είναι οι αέριοι και οι πτητικοί υδρογονάνθρακες (Volatile Organic Compounds, VOCs), ενώ οι περισσότερες μετρήσεις συγκεντρώσεων αφορούν τους συνολικούς εκτός μεθανίου υδρογονάνθρακες (Non-Methane Volatile Organic Compounds, NMVOCs).

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες υδρογονανθράκων: οι παραφίνες, οι ολεφίνες και οι αρωματικοί. Οι παραφίνες (χημικά σταθεροί) έχουν περιορισμένο ρόλο στην ατμοσφαιρική φωτοχημεία. Οι ολεφίνες (ακόρεστοι) είναι οι κύριοι υδρογονάνθρακες που παίρνουν μέρος στο σχηματισμό του όζοντος και άλλων φωτοχημικών ρύπων στις αστικές περιοχές. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες περιλαμβάνουν μια σειρά ενώσεων που βασίζονται στο δακτύλιο του βενζολίου. Σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα περιέχονται ενώσεις παραφινικές

(προπάνιο, βουτάνιο), ολεφινικές (ακετυλένιο, προπαδιένιο), αρωματικές (βενζόλιο), καθώς και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (βενζο(α)πυρένιο).

Ιδιαίτερης σημασίας παράγωγα υδρογονανθράκων για τις ρυπασμένες πόλεις είναι οι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι ως πρωτογενείς ρύποι συμμετέχουν σε φωτοχημικές αντιδράσεις αλλά και παράγονται από αυτές (Οικονομόπουλος, 2000). Οι οξυ-υδρογονάνθρακες βρίσκονται στα καυσαέρια και αποτελούνται από μία ποικιλία από αλδεύδες, κετόνες, οξέα, αλκοόλες, αιθέρες, εστέρες και φαινόλες. Από τους οξυγονομένους υδρογονάνθρακες δύο κατηγορίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ατμοσφαιρική ρύπανση, οι αλδεΐδες και οι κετόνες. Στο κλάσμα των αλδεύδων κυριαρχεί η φορμαλδεΐδη (Ζάνης, 2014).

2.6.1 Βενζόλιο

Το βενζόλιο (C_6H_6) είναι χημική ένωση σε υγρή μορφή που αποτελείται από άνθρακα και υδρογόνο με χαρακτηριστική οσμή. Στην ατμόσφαιρα βρίσκεται σε μορφή ατμών επειδή το σημείο ζέσεως του είναι χαμηλό (ΥΠΕΝ, 2017). Ο υγρός αυτός πτητικός υδρογονάνθρακας (VOC) αποτελεί τη βασική δομή της οικογένειας των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (ΠΑΥ).

Πρόκειται για την πιο επικίνδυνη τοξική πτητική οργανική ένωση στην ατμόσφαιρα, η οποία αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης. Το βενζόλιο εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η κύρια πηγή είναι τα βενζινοκίνητα οχήματα, ενώ άλλες πηγές είναι η βιομηχανία (διυλιστήρια, χημική βιομηχανία), η διακίνηση καυσίμων (πρατήρια βενζίνης και αυτοκίνητα διανομής της) και η οικιακή θέρμανση (ΥΠΕΝ, 2017). Η μέση συγκέντρωση βενζολίου σε αστικές περιοχές κυμαίνεται μεταξύ $5-20 \mu g/m^3$, ενώ σε περιοχές μακριά από αστικά κέντρα η συγκέντρωση είναι κοντά στο $1 \mu g/m^3$ (Λαζαρίδης, 2010).

Το βενζόλιο προκαλεί ασθένειες του αίματος και έχει χαρακτηριστεί ως καρκινογόνος ένωση. Εισπνοή μεγάλων ποσοτήτων ατμών του για σύντομο χρονικό διάστημα προκαλεί ζάλη, ταχυκαρδία, πονοκέφαλο, εμετό και σπασμούς. Ως αυτούσια ένωση μπορεί να προκαλέσει χρόνιες παθήσεις όπως καρκίνο, αταξία στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ζημιές στη λειτουργία του ήπατος και των νεφρών, ανωμαλίες στην αναπαραγωγή και προβληματικές γεννήσεις (Ζάνης, 2014). Παρατεταμένη έκθεση σε βενζόλιο συνδέεται με αυξημένη θνησιμότητα από λευχαιμία (Λαζαρίδης, 2008).

2.6.2 Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) είναι μια κατηγορία πολύ σταθερών οργανικών μορίων και περιλαμβάνουν μία σειρά ενώσεων που βασίζονται στο δαχτύλιο του βενζολίου (αποτελούνται από τρεις ή περισσότερους συμπυκνωμένους βενζολικούς δαχτύλιους). Ως επί το πλείστον είναι χημικές ενώσεις άχρωμες ή με ασπροκίτρινους ή κιτρινοπράσινους σχηματισμούς και βρίσκονται στην ατμόσφαιρα κυρίως υπό μορφή σωματιδίων ή ατμών. Συγκεκριμένα εξαιτίας του υψηλού τους μοριακού βάρους, της χαμηλής τάσης ατμών και της τάσης τους να προσκολλώνται σε επιφάνειες σωματιδίων, βρίσκονται προσροφημένοι στα σωματίδια σκόνης και αιθάλης ή ως συσσωματώματα με αυτά, ενώ επειδή ανήκουν στην κατηγορία των ημιπτητικών οργανικών ενώσεων μπορούν εύκολα να εξατμισθούν και ένα μικρό ποσοστό τους μεταβαίνει στην αέρια φάση (Λαζαρίδης, 2008).

Πίνακας 6: Παραδείγματα ενώσεων ΠΑΥ

Ονομασία	Συντομογραφία
Φλορουένιο	Fl
Φαινανθρένιο	Phe
Ανθρακένιο	An
Πυρένιο	Py
Φλορουανθένιο	Flu
Βενζο(α)ανθρακένιο	BaA
Χρυσένιο	Chr
Βενζο(α)πυρένιο	Bap
Ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο	IP

Οι ΠΑΥ εκπέμπονται από φυσικές και ανθρωπογενείς εκπομπές. Στις φυσικές πηγές (βιολογικές, γεωλογικές διεργασίες) περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές και η ηφαιστειακή δραστηριότητα (ΥΠΕΝ, 2017). Οι ανθρωπογενείς εκπομπές αντιπροσωπεύουν παγκοσμίως ένα μικρό ποσοστό του συνόλου (<5%), παρ' όλα αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικές για αστικές περιοχές (Ζάνης, 2014). Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται η βιομηχανία (παραγωγής κωκ, αλουμινίου και επεξεργασίας ξύλου), η θέρμανση στις οικίες όταν χρησιμοποιούνται ξύλα και κάρβουνο, καθώς και τα οχήματα -κυρίως αυτά που

χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο (ΥΠΕΝ, 2017). Μετά το 1968 ο έλεγχος των καυσαερίων μείωσε κατά 85% τις εκπομπές των υδρογονανθράκων (Οικονομόπουλος, 2000).

Η χαρακτηριστικότερη ένωση της κατηγορίας των ΠΑΥ είναι το βενζο(α)πυρένιο (B(a)P). Οι πρόσφατες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις του σε ευρωπαϊκές αστικές περιοχές κυμαίνονται από 1-10 ng/m³ (Ζάνης, 2014). Οι μέγιστες τιμές τους στις πόλεις συνδέονται με τις ώρες αυξημένης κυκλοφορίας αυτοκινήτων. Γενικά οι ΠΑΥ έχουν αποκτήσει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες εξαιτίας της ικανότητας τους να προκαλούν καρκινογένεσεις και μεταλλάξεις στα κύτταρα (Nielsen et al, 1996).

Ορισμένοι από τους ΠΑΥ και κυρίως το βενζο(α)πυρένιο έχουν χαρακτηριστεί ως καρκινογόνες ενώσεις (ΥΠΕΝ, 2017). Επίσης οι υδρογονάνθρακες είναι από τις κύριες ενώσεις που συμμετέχουν στη δημιουργία δευτερογενών ρύπων, όπως το τροποσφαιρικό όζον και συμβάλλουν στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, καθώς και στη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος (UNEP, 2009).

2.6.3 Πολυχλωριωμένα διφαινύλια

Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια, (PCBs) γνωστά και ως «κλοφέν», αποτελούν μια κατηγορία χλωριωμένων (αλογονωμένων) υδρογονανθράκων που αποτελούνται από ένα διφαινύλιο στο οποίο άτομα χλωρίου μπορούν να υποκαταστήσουν άτομα υδρογόνου. Συνολικά υπάρχουν 209 διαφορετικά μέλη (ισομερή - congeners).

Τα PCBs είχαν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών μέχρι την απαγόρευσή τους στις ΗΠΑ το 1979 (Ross, 2004) και στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 1985. Μερικές από τις εφαρμογές αυτές ήταν η χρήση τους ως διηλεκτρικά υγρά σε πυκνωτές και μετασχηματιστές, σαν πρόσθετα χρωμάτων, μελανιών και πλαστικών.

Τα PCBs έχουν την τάση να μεταφέρονται και να παραμένουν στο έδαφος, τα ιζήματα και το νερό και λιγότερο στην ατμόσφαιρα. Επειδή όμως η αποικοδόμηση τους γίνεται με αργό ρυθμό, PCBs μπορούν να εντοπιστούν ακόμα και σήμερα στην ατμόσφαιρα περιοχών όπως η Δυτική Ευρώπη και οι ΗΠΑ. Παρά το γεγονός ότι η παραγωγή τους έχει σταματήσει σήμερα, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια εξακολουθούν να ρυπαίνουν το περιβάλλον καθώς βρίσκονται σε πολλά προϊόντα που παρασκευάστηκαν κατά το παρελθόν και είναι ακόμα σε χρήση.

Οι μέσες συγκεντρώσεις στον αέρα περιβάλλοντος ανέρχονται σε 3 ng/m^3 σε αστικές περιοχές. Αυτή η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα συνεισφέρει ελάχιστα στην άμεση έκθεση του ανθρώπου, συνεισφέρει όμως σημαντικά στη συγκέντρωση στην τροφική αλυσίδα (Λαζαρίδης, 2010).

Τα PCBs μπορεί να έχουν βραχείες ή χρόνιες επιδράσεις στον άνθρωπο. Έκθεση σε ατμούς από πολυχλωριωμένα διφαινύλια προκαλεί ερεθισμούς στα μάτια, τη μύτη και το λαιμό, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις των ατμών αυτών επιδρούν και στο συκώτι. Μακροπρόθεσμα αναφέρεται ότι προκαλούν καρκίνο, ενώ προκαλούν και μείωση του IQ και δυσλειτουργία διαφόρων οργάνων του σώματος (Ross, 2004).

2.7 Βαρέα μέταλλα

Βαρέα ονομάζονται τα μέταλλα εκείνα που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση των 4.5 γραμμαρίων ανά κυβικό εκατοστό. Είναι τοξικά και βρίσκονται στην ατμόσφαιρα κυρίως στα σωματίδια είτε υπό στοιχειακή μορφή είτε υπό μορφή ενώσεων (οξειδίων, θεικών ή θειούχων). Τα πιο επικίνδυνα βαρέα μέταλλα, τα οποία ακόμα και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις δρουν βλαβερά για τους οργανισμούς, είναι ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg), το αρσενικό (As) και το νικέλιο (Ni). Θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους για το περιβάλλον, καθώς σε αντίθεση με τις οργανικές τοξικές ουσίες δεν αποικοδομούνται αλλά παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και συσσωρεύονται (Οικονομόπουλος, 2000).

Τα βαρέα μέταλλα εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια καύσης, εξάτμισης ή εξάχνωσης των υλικών και είναι αποτέλεσμα δραστηριοτήτων όπως η καύση των φυσικών καυσίμων από σταθερές πηγές και μεταφορικά μέσα, οι βιομηχανικές διαδικασίες εξαγωγής μετάλλων και η αποτέφρωση των απορριμμάτων.

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι πηγές των βαρέων μετάλλων, συμπεριλαμβάνοντας και τις φυσικές πηγές, καθώς και τις επιδράσεις τους στην υγεία. Τα μέταλλα αυτά επιδρούν στην υγεία κυρίως μέσω της τροφικής αλυσίδας εάν έχει μολυνθεί και λιγότερο με την εισπνοή.

Πίνακας 7: Βαρέα μέταλλα, πηγές και επιδράσεις τους στην υγεία

Ουσία	Πηγές		Επιπτώσεις στην υγεία
	Φυσικές	Ανθρωπογενείς	
Pb	Αποσάθρωση βράχων, ηφαιστειακή δραστηριότητα, πυρκαγιές δασών κ.α.	Διεργασίες παραγωγής του, βιομηχανία, απόρριψη στο περιβάλλον προϊόντων που περιέχουν μόλυβδο (π.χ. μπαταρίες αυτοκινήτων), καύση υγρών καυσίμων και ξύλων, σωλήνες μεταφοράς νερού, βαφές	Παρεμπόδιση της δημιουργίας αίματος υπέρταση, βλάβες στον εγκέφαλο και τα νεφρά, θάνατος.
Cd	Ορυκτά που περιέχουν θειούχες ενώσεις του ψευδαργύρου, μόλυβδου και χαλκού, βλάστηση, πυρκαγιές δασών, ηφαιίστεια	Βιομηχανίες παραγωγής λιπασμάτων, παραγωγικές διαδικασίες παραγωγής μόλυβδου, ψευδαργύρου, χαλκού, σιδήρου ή χάλυβα (με τη μορφή θειούχων ή θεικών αλάτων), καύση καυσίμων (υπό τη μορφή οξειδίων ή υπό στοιχειακή μορφή), καύση απορριμμάτων (υπό τη μορφή χλωριούχων αλάτων)	Γαστρεντερικές διαταραχές, επίδραση στα νεφρά, διαταραχές αναπνευστικού, καρκινογόνο.
Hg	Ορυκτά (υπό τη μορφή θειούχων αλάτων)	Βιομηχανία, καύση ορυκτών καυσίμων, εξόρυξη μεταλλευμάτων, καύση στερεών απορριμμάτων, χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων	Δερματίτιδα, βλάβες στο συκώτι, στα νεφρά και στον εγκέφαλο, γενετικές και χρωμοσωματικές ανωμαλίες.
As	Ορεινές περιοχές της Ευρώπης (με τη μορφή θειούχων ενώσεων), ηφαιστειακή δραστηριότητα (με μορφή θειούχων αλάτων ή οξειδίων)	Χυτήρια αρσενικού, καύση καυσίμων (υπό μορφή οξειδίων), γεωργική βιομηχανία	Δερματίτιδα, γαστρεντερίτιδα, αύξηση της αρτηριακής πίεσης, επίδραση κυρίως στο ανώτερο αναπνευστικό και στο καρδιαγγειακό σύστημα, καρκινογόνο.
Ni	Μετεωρίτες, γήινος πυρήνας και επιφάνεια της γης (σε μορφή θειούχων αλάτων ή οξειδίων)	Καύση καυσίμων, μεταλλουργικές εργασίες παραγωγής νικελίου ή χάλυβα (ως θειικό άλας ή υπό τη μορφή οξειδίων), βιομηχανία (χρησιμοποιείται ευρέως ως καταλύτης)	Δερματικές παθήσεις, αλλεργική δράση, άσθμα, βρογχίτιδα, υψηλότερη πιθανότητα ανάπτυξης καρκίνου.

Πηγή: Γροδάκη, 2010

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Νομοθετικό Πλαίσιο

3.1 Περιβαλλοντική πολιτική Ευρωπαϊκής Κοινότητας

Η περιβαλλοντική πολιτική αποτελεί στις μέρες μας μία από τις τρεις σημαντικότερες πολιτικές που απασχολούν όλα τα κράτη (κοινωνική συνοχή, ανάπτυξη, περιβάλλον). Το περιβάλλον σήμερα έχει γίνει ισότιμο με τις άλλες δύο σημαντικές πολιτικές, ενώ η ανάπτυξη χαρακτηρίζεται πλέον ως αειφόρος ή βιώσιμη γιατί οφείλει να διατηρεί το περιβάλλον, τη φύση και τις φυσικές πηγές για τις επόμενες γενιές. Όλα τα παραπάνω δείχνουν τη σημασία του θέματος του περιβάλλοντος στην πολιτική.

Από τα μέσα της δεκαετίας του '70, η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) βασίζεται σε προγράμματα δράσης τα οποία ορίζουν στόχους προτεραιότητας προς επίτευξη σε διάστημα κάποιων ετών. Το τρέχον πρόγραμμα, το οποίο είναι και το έβδομο, υιοθετήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της ΕΕ το Νοέμβριο του 2013 και καλύπτει το διάστημα έως και το 2020. Μέσω αυτού του Προγράμματος Δράσης για το Περιβάλλον (ΠΔΠ), προσδιορίζονται τρεις (3) τομείς προτεραιότητας, στους οποίους απαιτείται περισσότερη δράση για: (α) την προστασία της φύσης και την ενίσχυση της οικολογικής ανθεκτικότητας, (β) την ενδυνάμωση της ανάπτυξης χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών και αποδοτικής χρήσης των πόρων και (γ) τη μείωση των απειλών προς την ανθρώπινη υγεία και ευημερία που συνδέονται με τη ρύπανση, τις χημικές ουσίες και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Αφορά μία κοινή στρατηγική η οποία θα πρέπει να καθοδηγήσει τις μελλοντικές ενέργειες των θεσμών της ΕΕ και των κρατών μελών, που ευθύνονται από κοινού για την υλοποίησή της και την επίτευξη των στόχων προτεραιότητας.

Η ΕΕ έχει αναλάβει δράση σε πολλά επίπεδα για τη μείωση της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση μέσω της νομοθεσίας, της συνεργασίας με κλάδους που είναι υπεύθυνοι για την ατμοσφαιρική ρύπανση, μέσω των εθνικών και περιφερειακών αρχών και των μη κυβερνητικών οργανώσεων, καθώς και μέσω της έρευνας. Οι πολιτικές της έχουν σκοπό τη μείωση της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση μέσω της μείωσης των εκπομπών και της θέσπισης ορίων και τιμών στόχων για την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Οι κοινοτικές δραστηριότητες για την προστασία της ατμόσφαιρας καλύπτουν ευρύ φάσμα προβλημάτων όπως τον περιορισμό της εξάντλησης του στρατοσφαιρικού όζοντος, τον έλεγχο της οξίνισης, του τροποσφαιρικού όζοντος και άλλων ρύπων, καθώς και την αλλαγή του κλίματος. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι οποίοι εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από ευρύ φάσμα πηγών, μπορούν να υποδιαιρεθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες: (α) εκπομπές από κινητές πηγές (βιομηχανία μεταφορών), (β) εκπομπές από ακίνητες πηγές (επιχειρήσεις, κατοικίες, αγροτικές εκμεταλλεύσεις και χωματερές) και (γ) εκπομπές που προκαλούνται από την παραγωγή ενέργειας. Η ΕΕ έχει λάβει σημαντικά μέτρα την τελευταία δεκαετία, τα οποία έχουν οδηγήσει σε μείωση της έκλυσης στην ατμόσφαιρα αρκετών ρύπων.

Σύμφωνα με έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environment Agency – EEA), η μεγάλη αύξηση στη χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας συνέβαλε στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά 10% περίπου το 2015. Ειδικότερα, όπως αναφέρεται στην έκθεση, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αυξήθηκε το 2014 σε 16% της συνολικής κατανάλωσης στην Ευρώπη, έναντι 15% το 2013, ενώ αντιπροσώπευσε το 77% της νέας παραγωγικής δυναμικότητας στην ήπειρο. Η Ελλάδα, η Βρετανία, η Ισπανία και η Ιταλία, είναι οι χώρες της ΕΕ με τις καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ τις χειρότερες επιδόσεις κατέγραψαν η Γερμανία και η Πολωνία.

3.2 Όρια ασφαλείας – ποιότητας ατμόσφαιρας

Ως οριακή τιμή της συγκέντρωσης ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα ορίζεται αυτή η συγκέντρωση, που αν δεν ξεπεραστεί, δεν έχει επιπτώσεις στον άνθρωπο. Η σύγχρονη επιστήμη με τους διάφορους κλάδους της όπως την τοξικολογία, τη βιολογία, την επιδημιολογία κ.λπ., μπορεί να καθορίσει τα ασφαλή όρια (κατώφλια-thresholds) της έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού χωρίς επιβλαβείς συνέπειες. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιες ουσίες για τις οποίες δεν υπάρχει αναγνωρισμένο κατώτατο όριο, κάτω από το οποίο δεν θεωρούνται επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία (Brunekreef & Holgate, 2002).

Σήμερα έχει παρατηρηθεί τεράστια επιστημονική έρευνα για όλες τις κατηγορίες ουσιών. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) συνεργάζεται με πολλούς επιστήμονες έχοντας ως στόχο να θέσει κάποια όρια ασφαλείας για τον άνθρωπο, τα όρια-στόχους (guidelines), μέσω της νομοθεσίας για τις διάφορες ουσίες που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Ωστόσο και αυτά δεν είναι οριστικά, λόγω του ότι η επιστήμη συνεχώς εξελίσσεται ανακαλύπτοντας καινούργια στοιχεία.

3.3 Θεσμικό πλαίσιο ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στην ΕΕ

Λόγω των σοβαρών επιπτώσεων των ρύπων στο περιβάλλον και τον άνθρωπο, έχουν θεσμοθετηθεί κάποια ανώτατα όρια, τα οποία καθορίζονται σύμφωνα με τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί από την ΕΕ. Με στόχο τη βελτίωση του περιβάλλοντος της Ευρώπης συστάθηκε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, με κύρια αρμοδιότητα την παροχή αξιόπιστων και συγκρίσιμων πληροφοριών για το περιβάλλον στους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων και μέτρων πρόληψης, αλλά και στους πολίτες. Τα όρια που έχουν τεθεί από την ΕΕ αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας, όσο και σε αυτή των οικοσυστημάτων. Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους: μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου, όζον, βενζόλιο, μόλυβδος, και αιωρούμενα σωματίδια.

Μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί πολλές νομοθεσίες στην ΕΕ για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Το 1996 εκδόθηκε η βασική οδηγία πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Οδηγία 1996/62/EK) για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000). Η οδηγία αυτή όρισε τις βασικές αρχές μιας κοινής στρατηγικής για τη θέσπιση στόχων αναφορικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα με σκοπό τη μείωση ή την πρόληψη των επιβλαβών επιπτώσεων για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία και έθεσε γενικές διατάξεις, προβλέποντας και τη θεσμοθέτηση νέων θυγατρικών οδηγιών για τις επιμέρους ουσίες.

Με τις γενικές διατάξεις της Οδηγίας 1996/62/EK προβλέπονται τα εξής σημαντικά:

- Η Ένωση οφείλει να παρακολουθεί συνεχώς την επιστημονική έρευνα και ανάλογα με τα νέα δεδομένα να αναθεωρεί τα όρια
- Οφείλει να γίνεται έλεγχος των πηγών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Επιβάλλεται να καταρτιστούν προγράμματα για τη μείωση της ρύπανσης και όχι απλά για μετρήσεις
- Επιβάλλεται να δημοσιοποιούνται όλες οι μετρήσεις αλλά και τα προγράμματα για τη μείωση της ρύπανσης

Μετά τη θεσμοθέτηση της οδηγίας εκπονήθηκαν τέσσερις θυγατρικές οδηγίες, οι οποίες αφορούν συγκεκριμένους ρύπους:

- Οδηγία 1999/30/EK για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος (ΠΥΣ 34/30.5.2002, ΦΕΚ125/A/ 5-6-02)
- Οδηγία 2000/69/EK για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 9238/332, ΦΕΚ 405B/27.2.05)
- Οδηγία 2002/3/EK σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334B/21.9.05)
- 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 920B/8.6.07)

Το 2001 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το πρόγραμμα «Καθαρός αέρας για την Ευρώπη» (Clean Air for Europe - CAFE). Πρόκειται για ένα μεγάλο πρόγραμμα που συγκροτήθηκε στο πλαίσιο του βου Προγράμματος Δράσης για το Περιβάλλον (ΠΔΠ), παρέχοντας μακροπρόθεσμες, στρατηγικές και ολοκληρωμένες συμβουλευτικές υπηρεσίες πολιτικής αναφορικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Το Σεπτέμβριο του 2005 εγκρίθηκαν μια θεματική στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση και μια πρόταση οδηγίας για το πρόγραμμα CAFE (European Commission, 2005). Η θεματική στρατηγική έθεσε οικονομικούς στόχους και μέτρα για την ευρωπαϊκή πολιτική για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα έως το 2020. Οι στόχοι που προτάθηκαν ήταν η μείωση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ κατά 75% και του τροποσφαιρικού όζοντος κατά 60% έως το 2020, καθώς και η μείωση της απειλής για το φυσικό περιβάλλον τόσο από την οξίνιση όσο και από τον ευτροφισμό κατά 55%, κάτι που είναι τεχνικώς εφικτό μέχρι το 2020. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου κατά 82%, των οξειδίων του αζώτου κατά 60%, των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ) κατά 51%, της αμμωνίας κατά 27% και των πρωτογενών $PM_{2.5}$ κατά 59% συγκριτικά με τα επίπεδα εκπομπών του 2000.

Το Μάιο του 2008 εγκρίθηκε η νέα Οδηγία 2008/50/EK για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11), η οποία συσσωματώνει τις προηγούμενες οδηγίες αλλά και την απόφαση 97/101/EK που αφορά την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα. Σε αυτή τη νέα ενιαία οδηγία ενσωματώνεται όλη σχεδόν η ισχύουσα νομοθεσία (με εξαίρεση την οδηγία 2004/107/EK), χωρίς να επέρχονται αλλαγές στους ισχύοντες στόχους για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Θεσπίζει νέους στόχους σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα για τα $PM_{2.5}$ (λεπτά σωματίδια) και προβλέπει τη δυνατότητα μη συνυπολογισμού των φυσικών πηγών ρύπανσης κατά την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τις οριακές τιμές.

Στις 28 Αυγούστου του 2015 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε την Οδηγία 2015/1480/EK (ΚΥΑ 174505/607, ΦΕΚ 1311Β/13.4.17) για την τροποποίηση ορισμένων παραρτημάτων των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2004/107/EK και 2008/50/EK, οι οποίες ορίζουν τους κανόνες σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

3.4 Όρια ποιότητας ατμόσφαιρας

Με βάση τις παραπάνω οδηγίες, θεσπίστηκαν νέα όρια για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, με έτος εφαρμογής το 2005 ή το 2010, ανάλογα το ρύπο. Για κάθε ρύπο ορίστηκε μια οριακή τιμή καθώς και το έτος έναρξης ισχύος της, ενώ παράλληλα δόθηκε και ένα περιθώριο ανοχής, το οποίο αθροίστηκε στην οριακή τιμή, δίνοντας έτσι την ενδεικτική οριακή τιμή, η οποία ίσχυσε στο μεσοδιάστημα έως την θέση σε ισχύ της οριακής τιμής. Το περιθώριο ανοχής κάθε χρόνο μειώθηκε, προκειμένου να μηδενιστεί στην ημερομηνία ισχύος του νέου ορίου (ΕΑΡΘ, 2009). Επιπροσθέτως, τα κράτη-μέλη οφείλουν να εκπονούν και να υλοποιούν σχέδια δράσης με στόχο τη σωστή και έγκυρη προετοιμασία τους αναφορικά με την επίτευξη και τη μετέπειτα τήρηση των ορίων για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα όρια που έχουν τεθεί από την ΕΕ, καθώς και το έτος ισχύος τους.

Πίνακας 8: Οριακές τιμές ατμοσφαιρικές ρύπων και έτη ισχύος σύμφωνα με τις Οδηγίες της ΕΕ

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία							
			2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	10 mg/m ³ Μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή	1/1/2005	16 mg/m ³	14 mg/m ³	12 mg/m ³	10 mg/m ³				
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	350 μg/m ³ Μέση ωριαία τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 24 φορές / έτος	1/1/2005	440 μg/m ³	410 μg/m ³	380 μg/m ³	350 μg/m ³				
	125 μg/m ³ Μέση ημερήσια τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 3 φορές / έτος	1/1/2005	125 μg/m ³	125 μg/m ³	125 μg/m ³	125 μg/m ³				
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	200 μg/m ³ Μέση ωριαία τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 18 φορές / έτος	1/1/2010	280 μg/m ³	270 μg/m ³	260 μg/m ³	250 μg/m ³	240 μg/m ³	230 μg/m ³	220 μg/m ³	210 μg/m ³
	40 μg/m ³ μέση ετήσια τιμή	1/1/2010	56 μg/m ³	54 μg/m ³	52 μg/m ³	50 μg/m ³	48 μg/m ³	46 μg/m ³	44 μg/m ³	42 μg/m ³
Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀)	50 μg/m ³ μέση ημερήσια τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές / έτος	1/1/2005	65 μg/m ³	60 μg/m ³	55 μg/m ³	50 μg/m ³				
	40 μg/m ³ μέση ετήσια τιμή	1/1/2005	44,8 μg/m ³	43,2 μg/m ³	41,6 μg/m ³	40 μg/m ³				
Όζον (O ₃)	120 μg/m ³ Μέγιστη ημερήσια μέση 8ωρη τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 25 φορές ανά έτος για διάστημα 3 ετών	1/1/2010	120 μg/m ³	120 μg/m ³	120 μg/m ³	120 μg/m ³	120 μg/m ³	120 μg/m ³	120 μg/m ³	120 μg/m ³
Βενζόλιο C ₆ H ₆	5 μg/m ³ Μέση ετήσια τιμή	1/1/2010	10 μg/m ³	10 μg/m ³	10 μg/m ³	10 μg/m ³	9 μg/m ³	8 μg/m ³	7 μg/m ³	6 μg/m ³
Μόλυβδος (Pb)	0,5 μg/m ³ μέση ετήσια τιμή	1/1/2005	0,8 μg/m ³	0,7 μg/m ³	0,6 μg/m ³	0,5 μg/m ³				

Για τα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm (PM_{2,5}) έχει θεσπιστεί οριακή τιμή στην Ευρώπη τα 25 μg/m³, σύμφωνα με την οδηγία 2008/50/EK (Πίνακας 9).

Πίνακας 9: Τιμές ορίων για αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5}

	Οριακή τιμή
Μέση ετήσια τιμή	25μg/m ³

Για το βενζο(α)πυρένιο και τα μέταλλα αρσενικό, κάδμιο και νικέλιο, ισχύουν από το 2013 οι ακόλουθες ετήσιες οριακές τιμές, σύμφωνα με την οδηγία 2004/107/EK (Πίνακας 10).

Πίνακας 10: Τιμές στόχοι για μέταλλα και βενζο(α)πυρένιο

	Οριακή τιμή για			
	αρσενικό	κάδμιο	νικέλιο	βενζο(α)πυρένιο
Μέση ετήσια τιμή	6 ng/m ³	5 ng/m ³	20 ng/m ³	1 ng/m ³

Για το όζον εκτός του ορίου της ημερήσιας μέσης οκτάωρης τιμής (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), τιμή η οποία δε θα πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 25 φορές το χρόνο για διάστημα 3 ετών, έχουν θεσμοθετηθεί και δύο άλλα όρια, το όριο ενημέρωσης και το όριο συναγερμού (Πίνακας 11). Συγκεκριμένα όταν η μέση ωριαία τιμή φτάσει τα 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ επιβάλλεται άμεση πληροφόρηση του κόσμου, ενώ στα 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ απαιτείται η λήψη έκτακτων μέτρων.

Πίνακας 11: Οριακές τιμές ατμοσφαιρικές ρύπων και έτη ισχύος σύμφωνα με τις Οδηγίες της ΕΕ

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

3.5 Αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία της Ελλάδας, με την Κ.Υ.Α 11824/1993 θεσμοθετείται σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τίθενται «όρια εκτάκτων μέτρων», για τον περιορισμό της ρύπανσης σε περιπτώσεις που αναμένεται αύξηση των τιμών ρύπανσης, κυρίως λόγω εξαιρετικά δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών. Τα μέτρα λαμβάνονται όταν οι μετρούμενες τιμές προσεγγίσουν ή υπερβούν τα όρια εκτάκτων μέτρων (συναγερμού) και ταυτόχρονα υπάρχει πρόβλεψη για συνθήκες που ευνοούν τη διατήρηση ή αύξηση των τιμών ρύπανσης για τις επόμενες ή την επόμενη ημέρα. (ΥΠΠΕΝ, 2017). Οι αρμόδιες αρχές εκπονούν σχέδια δράσης, που επιτρέπουν τη βραχυπρόθεσμη λήψη μέτρων με τα οποία θα μειωθεί είτε το ύψος της συγκέντρωσης των ρύπων είτε η διάρκεια υπέρβασης των ορίων. Αυτό προϋποθέτει και μέτρα ελέγχου αλλά και δυνατότητα εφαρμογής μέτρων αναστολής δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της κυκλοφορίας αυτοκινήτων.

Τα αρχικά όρια για τη λήψη εκτάκτων μέτρων, που αναφέρονται στην εν λόγω ΚΥΑ, τροποποιήθηκαν για τους ρύπους NO₂, SO₂ και O₃ με την εφαρμογή των Οδηγιών 1999/30/ΕΚ (ενσωμάτωση στο Εθνικό Δίκαιο με την Π.Υ.Σ. 34/30.5.2002) και 2002/3/ΕΚ (ΚΥΑ ΗΠ

38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05). Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/69/ΕΚ (ενσωμάτωση στο Εθνικό Δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 9238/332/2004) δεν προβλέπεται όριο συναγερμού για το CO, ενώ με το άρθρο 13 της ΚΥΑ 9238/332/2004, οι διατάξεις της ΚΥΑ 11824/1993 για τη λήψη εκτάκτων μέτρων που αναφέρονται στο CO καταργούνται.

Τα όρια λήψης εκτάκτων μέτρων που ισχύουν σήμερα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 12).

Πίνακας 12: Όρια επιβολής έκτακτων μέτρων

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ	ΟΔΗΓΙΑ
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	1 ώρα	400 µg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες	1999/30/ΕΚ
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	1 ώρα	500 µg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες	1999/30/ΕΚ
Όζον (O ₃)	1 ώρα	240 µg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες	2002/3/ΕΚ

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	Στάδιο Προειδοποίησης (ΚΥΑ 11824/93)	Α΄ Βαθμίδα μέτρων (ΚΥΑ11824/93)	Β΄ Βαθμίδα μέτρων (ΚΥΑ11824/93)
Καπνός	24 ώρες	250 µg/m ³	300 µg/m ³	400 µg/m ³

Δεδομένου ότι η κοινοτική νομοθεσία δεν διαθέτει όρια ενημέρωσης πληθυσμού και συναγερμού για τα PM₁₀ και για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια, εκδόθηκε η ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272Β/23.12.13), η οποία θεσμοθετεί επίπεδα συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, καθορίζει μέτρα ενημέρωσης και προστασίας του πληθυσμού καθώς και μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, τη βιομηχανία-βιοτεχνία και την κυκλοφορία οχημάτων ανάλογα με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων (ΥΠΕΝ, 2017).

Πίνακας 13: Επίπεδα συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ
Αιωρούμενα Σωματίδια ΑΣ ₁₀	24 ώρες	51-75 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού
		76-100 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό
		101-150 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό, μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία
		>150 µg/m³ συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό, μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία

3.6 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία, η λειτουργία δικτύου σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί υποχρέωση της χώρας. Για το σκοπό αυτό, στο πλαίσιο του επιχειρησιακού προγράμματος «Περιβάλλον» το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) ως Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) υλοποίησε μια σειρά δράσεων και έργων με κύριους στόχους (Χρονόπουλος, 2005):

- Την επέκταση του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον Ελλαδικό χώρο
- Την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης ρύπων που δεν μετρούνταν στο παρελθόν
- Την αναβάθμιση των διαδικασιών επεξεργασίας-ανάλυσης και διάδοσης της σχετικής πληροφορίας προς τους αρμόδιους εθνικούς και διεθνείς φορείς (ΕΕ, ΕΕΑ), όπως επίσης και προς το κοινό

Το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) ξεκίνησε να λειτουργεί στα τέλη του 2000. Στην παρούσα φάση (2017), αποτελείται από 34 σταθμούς, εκ των οποίων οι 15 είναι εγκατεστημένοι και λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, 7 στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και 12 στην υπόλοιπη χώρα.

Τα τελευταία χρόνια, εκτός από τους «συμβατικούς» ρύπους (οξείδια του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, όζον, μαύρος καπνός), έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν μετρητικές διατάξεις της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀,

PM_{2,5}), καθώς και πτητικών οργανικών ενώσεων (βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο, ξυλόλια).

Την ευθύνη για τη λειτουργία του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας έχει το Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, το οποίο ανήκει στη Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας Ατμόσφαιρας (ΚΑΠΑ) του ΥΠΕΝ. Για τους υπόλοιπους σταθμούς του ΕΔΠΑΡ, υπεύθυνες είναι οι αντίστοιχες Περιφερειακές διοικήσεις της χώρας.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η περιοχή της Αθήνας

4.1 Γενικές πληροφορίες

Το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας βρίσκεται στο κέντρο του Λεκανοπεδίου της Αττικής, σε γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 58'$ βόρεια και γεωγραφικό πλάτος $23^{\circ} 46'$ ανατολικά. Περιλαμβάνει την περιοχή της Αθήνας, του Πειραιά και των προαστίων τους, με συνολικό πληθυσμό 3.181.872 κατοίκων, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Καταλαμβάνει έκταση 412 χλμ^2 και περιλαμβάνει συνολικά 40 Δήμους, κατανεμημένους σε πέντε Περιφερειακές Ενότητες (ΠΕ): Πειραιώς, Κεντρικού Τομέα Αθηνών, Βορείου Τομέα Αθηνών, Δυτικού Τομέα Αθηνών και Νοτίου Τομέα Αθηνών, που αποτελεί το κύριο μέρος του πολεοδομικού συγκροτήματος.

Η Αθήνα και ο Πειραιάς αποτελούν τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Αττικής. Ωστόσο υπάρχουν διάσπαρτες μικρότερες πόλεις στην Αττική με σημαντικούς πληθυσμούς, όπως η Ελευσίνα (περίπου 25.000 κάτοικοι) στο Θριάσιο Πεδίο, τα Μέγαρα (περίπου 25.000 κάτοικοι) και η Λούτσα (περίπου 21.000 κάτοικοι) στην Ανατολική Αττική, οι οποίες διατηρούν στενές οικονομικές σχέσεις με τις δύο μεγάλες πόλεις. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία, η Ευρύτερη Αστική Περιοχή της Αθήνας, η οποία ουσιαστικά συμπίπτει με την Περιφέρεια Αττικής, είναι η 7η πολυπληθέστερη στην ΕΕ (η Αθήνα είναι η 4^η πολυπληθέστερη πρωτεύουσα της ΕΕ), με τον πληθυσμό της να εκτιμάται το 2011 στους 3.812.330 κατοίκους.

Η μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας καλύπτει $2.928,717 \text{ χλμ}^2$ στην Περιφέρεια Αττικής και περιλαμβάνει ένα σύνολο 58 Δήμων, οι οποίοι είναι οργανωμένοι σε 7 Περιφερειακές Ενότητες (οι πέντε του πολεοδομικού συγκροτήματος των Αθηνών μαζί με την Ανατολική και τη Δυτική Αττική), με συνολικό πληθυσμό 3.753.783 κατοίκων. Εκτός των δύο μητροπολιτικών κέντρων της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας (Αθήνα και Πειραιά), υπάρχουν επίσης μερικά διαδημοτικά κέντρα εξυπηρέτησης συγκεκριμένων περιοχών όπως το Μαρούσι για τα βόρεια προάστια, η Κηφισιά για τα μακρινά βόρεια προάστια, η Γλυφάδα για τα νότια προάστια και το Περιστέρι για τα δυτικά προάστια της πόλης.

4.2 Γεωμορφολογία

Το πολεοδομικό συγκρότημα καλύπτει το Λεκανοπέδιο Αττικής, το οποίο περιβάλλεται από τα τέσσερα ορεινούς όγκους: το όρος Αιγάλεω στα βορειοδυτικά (468m), την Πάρνηθα στα βόρεια (1453m), την Πεντέλη στα βορειοανατολικά (1109m) και τον Υμηττό στα ανατολικά (1026m) (Grivas et al., 2008). Δίπλα από το όρος Αιγάλεω βρίσκεται το Θριάσιο Πεδίο, το οποίο σχηματίζει μια προέκταση της κεντρικής πεδιάδας προς τα δυτικά, ενώ από το νότο περιβάλλεται από το Σαρωνικό κόλπο.

Οι ταχύτητες ανέμου που κυριαρχούν στο λεκανοπέδιο είναι γενικά χαμηλές, μικρότερες των 3m/s, λόγω της τοπολογίας της περιοχής, ενώ σπάνια συναντώνται ταχύτητες ανέμου που ξεπερνούν τα 8m/s (Grivas et al., 2008). Οι βόρειοι άνεμοι είναι συνήθως ισχυροί και παρατηρούνται όταν επικρατεί η ροή της συνοπτικής κλίμακας έναντι της τοπικής (π.χ. όταν υπάρχει ισχυρή βαροβαθμίδα πάνω από το Αιγαίο ή τον Ελλαδικό χώρο), ενώ οι νοτιοανατολικοί άνεμοι επικρατούν όταν η θαλάσσια αύρα είναι σημαντικότερη από τη ροή της συνοπτικής κλίμακας. Επίσης, μπορεί να είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης ενός βαρομετρικού χαμηλού πάνω από το Ιόνιο ή την κεντρική Μεσόγειο, γεγονός που συμβαίνει κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Το χαμηλό έχει ως αποτέλεσμα την ευστάθεια της κατώτερης ατμόσφαιρας, δυσχεραίνοντας τη διασπορά των αέριων ρύπων στο λεκανοπέδιο Αττικής.

Τα ανοίγματα που υπάρχουν μεταξύ των όρων της Πεντέλης και της Πάρνηθας καθώς και του Υμηττού και της Πεντέλης βοηθούν στην απομάκρυνση των ρύπων από το λεκανοπέδιο Αττικής. Αντιθέτως, από το άνοιγμα που υπάρχει ανάμεσα στο όρος Αιγάλεω και την Πάρνηθα επιτρέπεται η μεταφορά αέριων μαζών από το Θριάσιο Πεδίο, οι οποίες λόγω της βιομηχανικής δραστηριότητας που συντελείται σε αυτή την περιοχή έχουν συχνά υψηλές συγκεντρώσεις στους διάφορους ρύπους.

Σε γενικές γραμμές μπορεί να υποστηριχθεί ότι η διασπορά των ρύπων στο λεκανοπέδιο Αττικής γίνεται με δυσκολία, διότι τα όρη που το οριοθετούν εμποδίζουν τη διαφυγή των ρυπασμένων αέριων μαζών από το κέντρο της Αθήνας. Η μεταφορά των αέριων μαζών μακριά δεν ευνοείται επίσης όταν παρατηρείται το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας. Η Αθήνα είναι χτισμένη γύρω από αρκετούς λόφους όπως τον Λυκαβηττό, καθώς και άλλους διάσπαρτους λόφους που παρεμβάλλονται εντός του λεκανοπεδίου όπως τα Τουρκοβούνια και η Πνύκα, διαμορφώνοντας το γεωγραφικό ανάγλυφο της πόλης. Η γεωμορφολογία της

Αθήνας θεωρείται ως μια από τις πιο ιδιαίτερες παγκοσμίως, λόγω των βουνών της, που δημιουργούν συχνά το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής, δυσχεραίνοντας την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και τη διάχυση των ρύπων, αφού όλοι αυτοί οι ορεινοί όγκοι λειτουργούν ως ένα τεράστιο θερμοκήπιο. Αντίστοιχα γεωγραφικά χαρακτηριστικά έχουν το Λος Άντζελες και η Πόλη του Μεξικού, αντιμετωπίζοντας παρόμοια προβλήματα γεωμορφολογικής αναστροφής. Εξάλλου, στο Λος Άντζελες καταγράφηκε για πρώτη φορά το φαινόμενο του φωτοχημικού νέφους, τη δεκαετία του 1970.



Εικόνα 12: Αποψη του πεδίου των Αθηνών από το δορυφόρο Landsat της NASA

Πηγή: Wikipedia

Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο Αττικής αποτελούν η βιομηχανική ζώνη στα νοτιοδυτικά του Θριάσιου πεδίου, ο αερολιμένας στα ανατολικά, το λιμάνι του Πειραιά, καθώς και η ρύπανση που οφείλεται στην κυκλοφορία των οχημάτων και στην κεντρική θέρμανση των κτιρίων κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Στη βιομηχανική ζώνη λειτουργούν μεταξύ άλλων δύο διυλιστήρια πετρελαίου, δύο ναυπηγεία, εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου και ένα χαλυβουργείο (Grivas et al., 2008). Η κυκλοφορία είναι αυξημένη στο κέντρο της πόλης με τα οχήματα να ξεπερνούν τα 2 εκατομμύρια (Grivas et al., 2012), προκαλώντας αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων που σχετίζονται με την κίνηση των οχημάτων στις περιοχές αυτές. Παρά το γεγονός ότι η χρήση του φυσικού αερίου έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πετρέλαιο για την κεντρική θέρμανση (Grivas et al., 2008).

4.3 Κλιματολογικά και Μετεωρολογικά στοιχεία

Η Αθήνα έχει ένα υποτροπικό μεσογειακό κλίμα (κλιματική ταξινόμηση Κέππεν) και δέχεται την ελάχιστη απαιτούμενη βροχόπτωση, αποφεύγοντας την κατά Κέππεν κατάταξη στο ημίξηρο κλίμα. Το μεσογειακό κλίμα παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα δύο άλλα κύρια κλίματα της Ευρώπης: το Ωκεάνιο (της δυτικής - Ατλαντικής- Ευρώπης) και το Ηπειρωτικό (της ανατολικής Ευρώπης). Πρόκειται στην ουσία για ένα μεταβατικό κλίμα, το οποίο σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζεται από κρύους, υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Διακρίνεται σε μεσογειακό παράκτιο και σε μεσογειακό ενδοχώρας.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό του Αθηναϊκού κλίματος είναι η εναλλαγή παρατεταμένων ζεστών και ξηρών καλοκαιριών και ήπιων, υγρών χειμώνων. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι περίπου 17° C τους χειμερινούς μήνες και 26° C τους θερινούς. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ισχυρή με 8.3 MJ/m² και 23 MJ/m² αντίστοιχα για τις δύο εποχές. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος αποτελούν τους ξηρότερους μήνες, με σπάνιες καταιγίδες (μία ή δύο φορές το μήνα). Οι χειμώνες είναι ήπιοι και βροχεροί, με μέση θερμοκρασία Ιανουαρίου 8.9°C στη Νέα Φιλαδέλφεια και 10.3°C στο Ελληνικό. Σπάνια εμφανίζονται χιονοθύελλες, αλλά όταν συμβούν ενδέχεται να προκαλέσουν αποδιοργάνωση. Οι χιονοπτώσεις είναι συχνότερες στα βόρεια προάστια της πόλης. Τα μέσα ημερήσια υψηλά του Ιουλίου (1988-2017) έχουν μετρηθεί στους 34.8°C στο μετεωρολογικό σταθμό της Νέας Φιλαδέλφειας (ΕΛΣΤΑΤ, 2017), όμως άλλα μέρη της πόλης μπορεί να είναι ακόμη πιο ζεστά, ιδιαίτερα οι δυτικές περιοχές της, απόρροια τόσο της εκβιομηχάνισης όσο και ορισμένων φυσικών παραγόντων, ήδη γνωστών από τα μέσα του 19ου αιώνα (Μαυρογιάννης, 1981). Την περίοδο αυτή, οι θερμοκρασίες ξεπερνούν συχνά τους 38°C κατά τους γνωστούς καύσωνες στην πόλη.

Η ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα είναι χαρακτηριστικά χαμηλότερη συγκριτικά με άλλα μέρη της χώρας, κυρίως της δυτικής Ελλάδας. Με μέση ετήσια βροχόπτωση 416.8 χλ., βροχές εμφανίζονται ανάμεσα στους μήνες Οκτώβριο και Απρίλιο. Αντίστοιχα, τα Ιωάννινα δέχονται γύρω στα 1.300 χλ. το χρόνο και το Αγρίνιο περίπου 800 χλ. Η πόλη της Αθήνας επηρεάζεται από το φαινόμενο της αστικής θερμνησίδας σε μερικές περιοχές, που προκαλείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, αυξάνοντας τις θερμοκρασίες τους σε σχέση με τις γύρω αδόμητες περιοχές και επιφέροντας αρνητικές συνέπειες στην κατανάλωση ενέργειας, τις δαπάνες για δροσιά και την υγεία. Η αστική θερμνησίδα της πόλης έχει επίσης βρεθεί ότι ευθύνεται εν μέρει για τις μεταβολές των κλιματολογικών θερμοκρασιακών

χρονοσειρών συγκεκριμένων μετεωρολογικών σταθμών της Αθήνας, εξαιτίας της επίδρασής της στις θερμοκρασίες και τις τάσεις τους, που καταγράφονται από αυτούς (meteo-news).

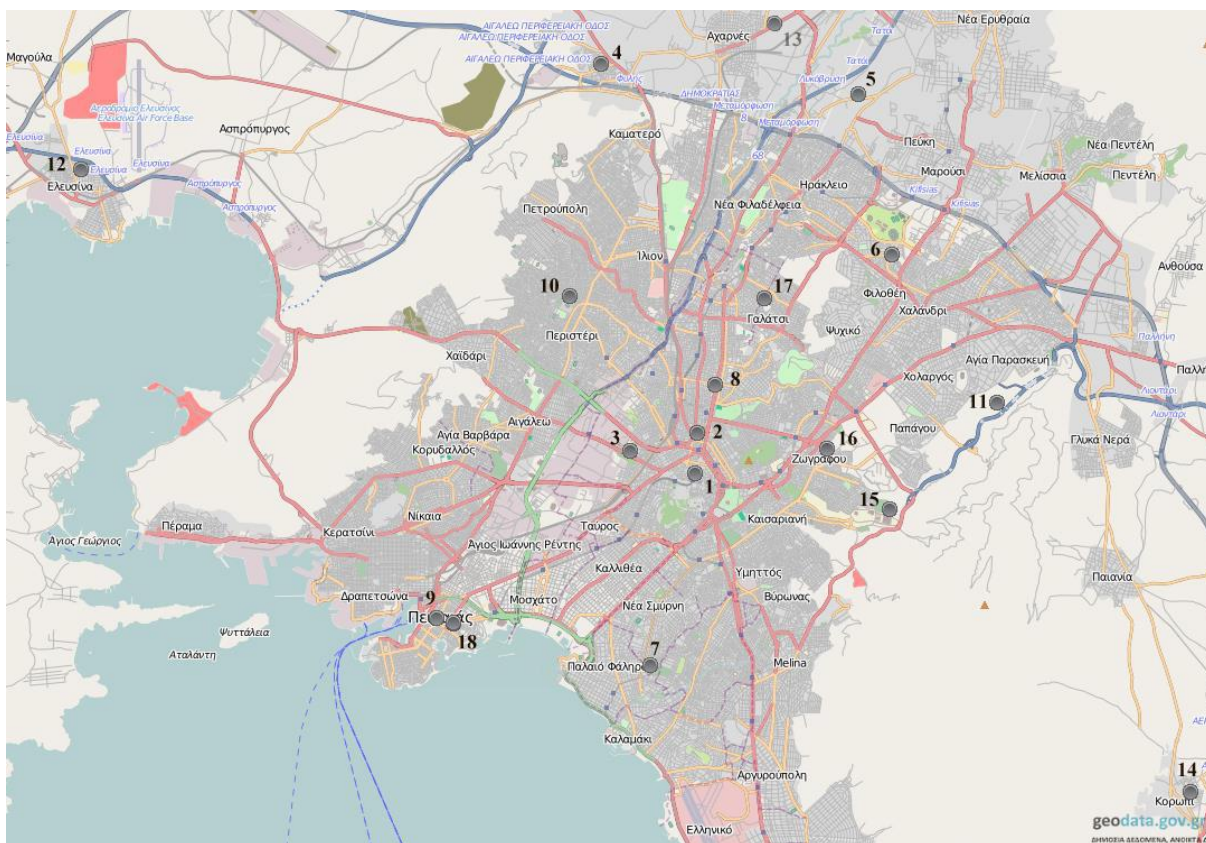
Αξίζει να σημειωθεί ότι Αθήνα κατέχει το ρεκόρ του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού της υψηλότερης καταγεγραμμένης θερμοκρασίας στην Ευρώπη με 48°C (στα προάστια της πόλης Ελευσίνα και Τατόι) στις 10 Ιουλίου 1977.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μεθοδολογία

5.1 Σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Το 2016, η Δ/ση ΚΑΠΑ (Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας), λειτούργησε 14 σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, καθώς και 1 σταθμό στην Αλίαρτο Βοιωτίας για τις ανάγκες του Προγράμματος Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης (EMEP).



Εικόνα 13: Χάρτης σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας

Πηγή: ΥΠΕΝ, 2017

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, που την ευθύνη λειτουργίας τους έχει το ΥΠΕΝ, καθώς και οι ρύποι που μετρούνται σε κάθε έναν από αυτούς.

Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετρούμενοι ρύποι

Σταθμός				Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι						
Θέση			Υψόμετρο (a.m.s.l.)		SO ₂	NOx	CO	O ₃	ΑΕ ₁₀	ΑΕ _{2,5}	C ₆ H ₆
Όνομα	Γεωγρ. μήκος	Γεωγρ. πλάτος									
Αθηνάς [1]	23° 43' 36'',63	37° 58' 41'',53	100	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓			
Αριστοτέλους [2]	23° 43' 39'',46	37° 59' 16'',90	95	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓			✓	✓	
Γεωπονική [3]	23° 42' 24'',44	37° 59' 01'',05	40	Περισστικός-Βιομηχανικός		✓	✓	✓			
Λιόσια [4]	23° 41' 52'',23	38° 04' 36'',53	165	Περισστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓		
Λυκόβρυση* [5]	23° 47' 19'',71	38° 04' 04'',35	234	Περισστικός		✓		✓	✓	✓	
Μαρούσι [6]	23° 47' 14'',49	38° 01' 51'',02	170	Αστικός-Κυκλοφορίας		✓	✓	✓	✓		
Νέα Σμύρνη [7]	23° 42' 46'',83	37° 55' 55'',18	50	Αστικός-Υποβάθρου		✓	✓	✓	✓		✓
Πατησίων [8]	23° 43' 58'',97	37° 59' 58'',05	105	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓			✓
Πειραιάς I** [9]	23° 38' 42'',81	37° 56' 40'',75	4	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Περιστερί [10]	23° 41' 18'',08	38° 01' 14'',91	80	Αστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓		
Αγ. Παρασκευή [11]	23° 49' 09'',90	37° 59' 42'',39	290	Περισστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓	✓	
Ελευσίνα [12]	23° 32' 18'',41	38° 03' 04'',86	20	Περισστικός-Βιομηχανικός	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Θρακομακεδόνες [13]	23° 45' 29'',46	38° 08' 36'',68	550	Περισστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓	✓	
Κορωπί [14]	23° 52' 44'',48	37° 54' 04'',70	140	Περισστικός-Υποβάθρου	✓	✓		✓	✓		
Οινόφυτα	23° 38' 20'',09	38° 18' 22'',39	100	Περισστικός-Βιομηχανικός	✓	✓		✓	✓		
Αλιάρτος	23° 06' 36'',96	38° 22' 30'',89	110	Υποβάθρου	✓	✓		✓	✓	✓	
Παλαιότεροι σταθμοί											
Ζωγράφου [15]	23° 47' 12'',22	37° 58' 10'',57	245	Περισστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓		
Γουδή [16]	23° 46' 02'',75	37° 59' 02'',92	155	Αστικός-Κυκλοφορίας		✓			✓	✓	
Γαλάτσι [17]	23° 44' 53'',54	38° 01' 13'',03	154	Περισστικός-Υποβάθρου	✓	✓		✓			
Πειραιάς II [18]	23° 39' 09'',67	37° 56' 31'',09	25	Αστικός-Υποβάθρου	✓	✓		✓			

*Από τον Απρίλιο του 2011 ο σταθμός λειτουργεί σε νέα θέση ** Από το Σεπτέμβριο του 2012 ο σταθμός λειτουργεί σε νέα θέση

Πηγή: ΥΠΕΝ, 2017

5.2 Μετρούμενοι ρύποι

Οι μετρούμενοι ρύποι στους σταθμούς της Αθήνας καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται στον Πίνακα 15:

Πίνακας 15: Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδοι μέτρησης

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO, NO ₂)	Χημειοφωταύγεια
Όζον (O ₃)	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ ₁₀ - ΑΣ _{2,5})	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
Βενζόλιο (C ₆ H ₆)	Αέρια χρωματογραφία (GC)
Βαρέα μέταλλα	Ατομική απορρόφηση

Πηγή: ΥΠΕΝ, 2017

Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή 24ωρη βάση, ενώ ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού. Οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης υπολογίζονται μέσω ενός μικροεπεξεργαστή που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και συνδέεται με τους αυτόματους αναλυτές. Η διαρκής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής επιτυγχάνεται με την μεταβίβαση των τιμών αυτών στον κεντρικό υπολογιστή της υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής.

Οι παραπάνω ρύποι υπολογίζονται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα), εξαιρουμένου του μονοξειδίου του άνθρακα που μετράται σε mg/m^3 .

5.3 Βαθμονόμηση αυτόματων οργάνων

Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των οργάνων και τη ρύθμισή τους, ενώ βασίζεται στη διαβίβαση μέσω του οργάνου αερίου, με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου. Η παρασκευή του πρότυπου αερίου, πραγματοποιείται με διάταξη δυναμικής αραίωσης, η οποία συνδέεται με μία πηγή «καθαρού» αέρα (δηλαδή αέρα απαλλαγμένο από τους κύριους ρύπους) αλλά και έναν κύλινδρο (φιάλη) που περιέχει μίγμα του εν λόγω αερίου με άζωτο σε γνωστή πρότυπη συγκέντρωση. Ο «καθαρός αέρας» παράγεται διαβιβάζοντας αέρα μέσω ειδικών φίλτρων συγκράτησης των ρύπων. Μεταβάλλοντας την παροχή του «καθαρού» αέρα και του αερίου της φιάλης καθίσταται εφικτή η επίτευξη μιγμάτων αερίων που περιέχουν τον αντίστοιχο ρύπο σε γνωστές συγκεντρώσεις (ΥΠΕΝ, 2017).

Η βαθμονόμηση των αναλυτών όζοντος πραγματοποιείται με μεταφερόμενο πρότυπο Β' βαθμίδας στους σταθμούς με τη μέθοδο της σύγκρισης. Η βαθμονόμηση των αναλυτών αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται στην απορρόφηση της β-ακτινοβολίας από πρότυπα δείγματα γνωστής συγκέντρωσης. Οι διαδικασίες της βαθμονόμησης γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ή μετά τη συντήρηση ή επισκευή ενός αναλυτή (ΥΠΕΝ, 2017).

5.4 Γενική αξιολόγηση δεδομένων

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται αναλυτικά η ετήσια πληρότητα για κάθε ρύπο και κάθε σταθμό. Το κριτήριο με το οποίο λήφθηκαν υπόψη οι μέσες ετήσιες τιμές είναι η ύπαρξη μετρήσεων για τουλάχιστον εννέα (9) μήνες του έτους, δηλαδή για το 75% των παρατηρήσεων (Grivas et al., 2010).

Πίνακας 16: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το διοξείδιο του θείου (SO₂)

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς (ΑΘΗ)	✓	✓	✓	✓	✓
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)				✓	✓
Πατησίων (ΠΑΤ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	✓	✓	✓	✓	✓
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	✓	✓	✓	✓	✓
Κορωπί (ΚΟΡ)				✓	

Πίνακας 17: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το μονοξείδιο του αζώτου (NO)

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς (ΑΘΗ)	✓	✓	✓	✓	✓
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	✓	✓	✓	✓	✓
Γεωπονική (ΓΕΩ)	✓	✓	✓	✓	✓
Λιόσια (ΛΙΟ)	✓	✓	✓	✓	✓
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	✓	✓	✓	✓	✓
Μαρούσι (ΜΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πατησίων (ΠΑΤ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	✓	✓	✓	✓	✓

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Περιστέρι (ΠΕΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	✓	✓	✓	✓	✓
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	✓	✓	✓	✓	✓
Κορωπί (ΚΟΡ)	✓	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 18: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς (ΑΘΗ)	✓	✓	✓	✓	✓
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	✓	✓	✓	✓	✓
Γεωπονική (ΓΕΩ)	✓	✓	✓	✓	✓
Λιόσια (ΛΙΟ)	✓	✓	✓	✓	✓
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	✓	✓	✓	✓	✓
Μαρούσι (ΜΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πατησίων (ΠΑΤ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	✓	✓	✓	✓	✓
Περιστέρι (ΠΕΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	✓	✓	✓	✓	✓
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	✓	✓	✓	✓	✓
Κορωπί (ΚΟΡ)	✓	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 19: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς (ΑΘΗ)	✓	✓	✓	✓	✓
Γεωπονική (ΓΕΩ)	✓	✓	✓	✓	✓
Μαρούσι (ΜΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πατησίων (ΠΑΤ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	✓	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 20: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το όζον (O₃)

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς (ΑΘΗ)	✓	✓	✓	✓	✓
Γεωπονική (ΓΕΩ)	✓	✓	✓	✓	✓
Λιόσια (ΛΙΟ)	✓	✓	✓	✓	✓
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	✓	✓	✓	✓	✓
Μαρούσι (ΜΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πατησίων (ΠΑΤ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	✓	✓	✓	✓	✓
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	✓	✓	✓	✓	✓
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	✓	✓	✓	✓	✓
Κορωπί (ΚΟΡ)	✓	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 21: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	✓	✓	✓	✓	✓
Λιόσια (ΛΙΟ)				✓	✓
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	✓	✓	✓	✓	✓
Μαρούσι (ΜΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)				✓	✓
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	✓	✓	✓	✓	✓
Περιστέρι (ΠΕΡ)				✓	✓
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	✓	✓	✓		✓
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	✓	✓		✓	✓
Κορωπί (ΚΟΡ)	✓			✓	✓

Πίνακας 22: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5}

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)				✓	✓
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	✓	✓	✓	✓	✓

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)			✓	✓	✓
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	✓	✓	✓	✓	✓
Ελευσίνα (ΕΛΕ)				✓	✓
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)				✓	✓

Πίνακας 23: Πληρότητα ετήσιων μετρήσεων για το βενζόλιο (C₆H₆)

Σταθμός	2012	2013	2014	2015	2016
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)				✓	✓
Πατησίων (ΠΑΤ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)				✓	✓
Ελευσίνα (ΕΛΕ)				✓	✓

Οι σταθμοί κατηγοριοποιήθηκαν σε σταθμούς Κέντρου και Περιφέρειας, με βάση τη γεωγραφική τους θέση αλλά και την εκτίμηση των πηγών ρύπανσης που τους επηρεάζουν. Στον Πίνακα 24 παρουσιάζεται αναλυτικά η κατηγορία του κάθε σταθμού.

Πίνακας 24: Ταξινόμηση σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Σταθμός	Χαρακτηρισμός
Αθηνάς (ΑΘΗ)	Κέντρο
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	Κέντρο
Γεωπονική (ΓΕΩ)	Κέντρο
Λιόσια (ΛΙΟ)	Περιφέρεια
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	Περιφέρεια
Μαρούσι (ΜΑΡ)	Περιφέρεια
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	Κέντρο
Πατησίων (ΠΑΤ)	Κέντρο
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	Κέντρο
Περιστέρι (ΠΕΡ)	Κέντρο
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	Περιφέρεια
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	Περιφέρεια
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	Περιφέρεια
Κορωπί (ΚΟΡ)	Περιφέρεια

Για την εύρεση των ημερών με υπερβάσεις χρησιμοποιήθηκαν τα όρια τιμών με βάση τις οδηγίες της Ευρωπαϊκή Ένωσης. Στον Πίνακα 25 παρουσιάζονται οι οριακές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 25: Όρια συγκέντρωσης των ρύπων

Ρύπος	Οριακή τιμή	Χαρακτηρισμός
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	350 μg/m ³	Μέση ωριαία τιμή
	125 μg/m ³	Μέση ημερήσια τιμή
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	200 μg/m ³	Μέση ωριαία τιμή
	40 μg/m ³	Μέση ετήσια τιμή
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	10 mg/m ³	Μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή
Όζον (O ₃)	180 μg/m ³	Μέση ωριαία τιμή (όριο ενημέρωσης)
	240 μg/m ³	Μέση ωριαία τιμή (όριο συναγερμού)
	120 μg/m ³	Μέγιστη ημερήσια μέση 8ωρη τιμή
Αιωρούμενα σωματίδια PM ₁₀	50 μg/m ³	Μέση ημερήσια τιμή
	40 μg/m ³	Μέση ετήσια τιμή
Αιωρούμενα σωματίδια PM _{2,5}	25 μg/m ³	Μέση ετήσια τιμή
Βενζόλιο (C ₆ H ₆)	5 μg/m ³	Μέση ετήσια τιμή

Υπερβάσεις θεωρήθηκε ότι υπάρχουν όταν η καταγεγραμμένη τιμή ήταν μεγαλύτερη από το όριο, δηλαδή τιμές που ήταν ίσες με τις οριακές δε θεωρήθηκαν ως υπερβάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Αποτελέσματα

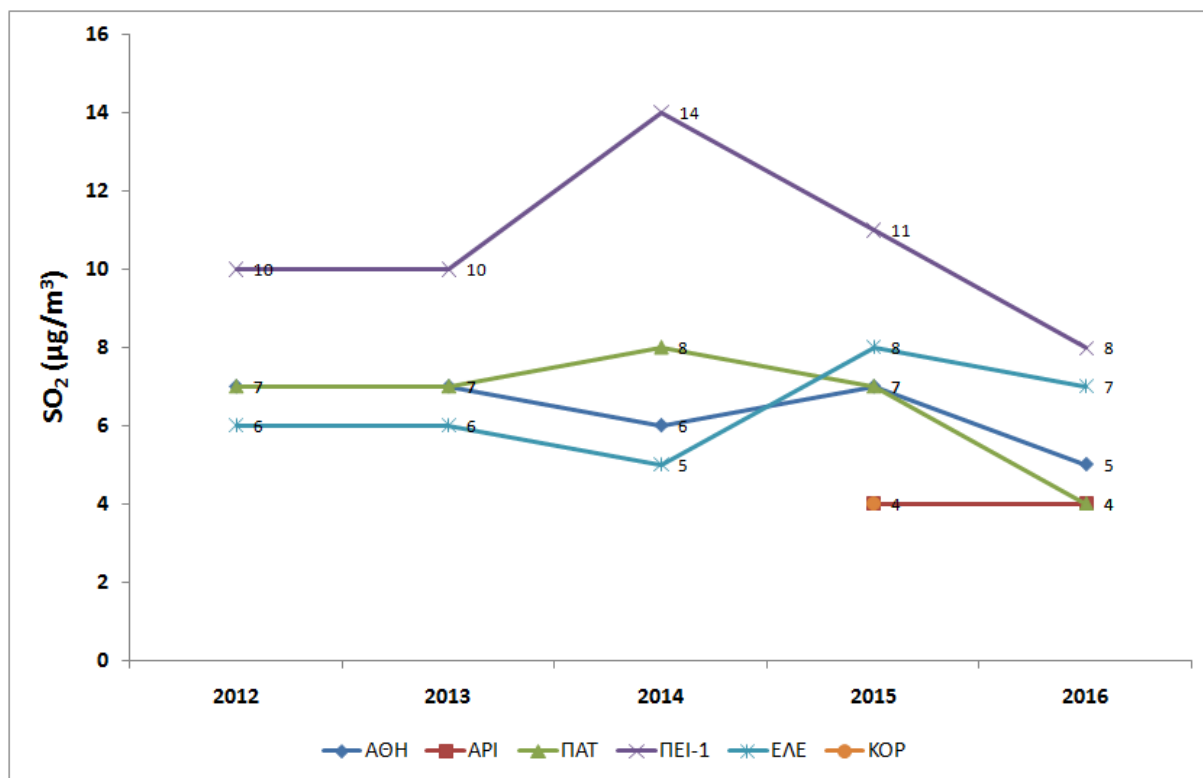
6.1 Διαχρονική εξέλιξη ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των μέσων ετήσιων τιμών των συγκεντρώσεων για όλους τους μετρούμενους ρύπους και τους σταθμούς της Αθήνας για το χρονικό διάστημα 2012-2016.

Η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων δείχνει ότι υπάρχουν στις διάφορες θέσεις κάποιες αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης από έτος σε έτος, αλλά ως γενική εικόνα παρατηρείται μια τάση μείωσης ή σταθεροποίησης, ανάλογα με το ρύπο. Η γενική τάση μπορεί να αιτιολογηθεί από μια σειρά βελτιώσεων και τεχνολογικών αναβαθμίσεων στα μέσα μεταφοράς και στον βιομηχανικό τομέα. Συγκεκριμένα η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί, κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση του στόλου των Ι.Χ. αυτοκινήτων και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (ΚΕΚ), στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές, στη χρήση 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.λπ.

Οι αναλυτικοί πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, παρουσιάζονται στο *Παράρτημα Ι*.

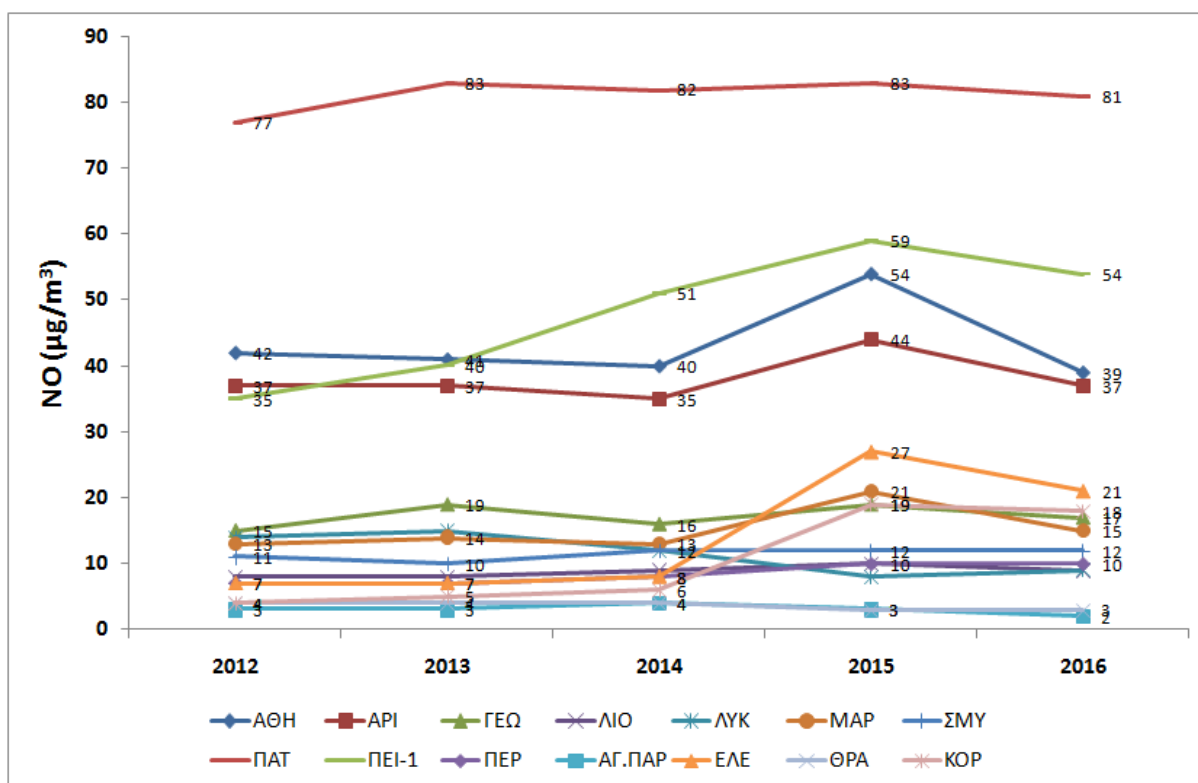
Για το διοξείδιο του θείου παρατηρείται τάση μείωσης των τιμών, γεγονός που σχετίζεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη.



Σχήμα 1: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Το διοξείδιο του θείου κυμαίνεται σε πολύ χαμηλές τιμές γενικά στο λεκανοπέδιο Αττικής, ίσως λόγω του ότι δεν πρόκειται για περιοχή με βαριά βιομηχανία. Οι μέσες ετήσιες τιμές δεν ξεπερνούν τα $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στους σταθμούς μέτρησης. Ελάχιστο παρατηρείται το 2015 στους σταθμούς Αριστοτέλους και Κορωπί ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και το 2016 στο σταθμό Αριστοτέλους ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης (ΑΘΗ, ΑΡΙ, ΠΑΤ, ΠΕΙ-1) δεν διαφέρουν σημαντικά από την περιφέρεια (ΕΛΕ, ΚΟΡ), με τους σταθμούς Αθηνάς, Αριστοτέλους και Πατησίων να εμφανίζουν παρόμοιες τιμές. Οι σταθμοί Πειραιά και Ελευσίνας παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ενώ στους σταθμούς Αριστοτέλους και Πατησίων οι τιμές είναι χαμηλότερες.

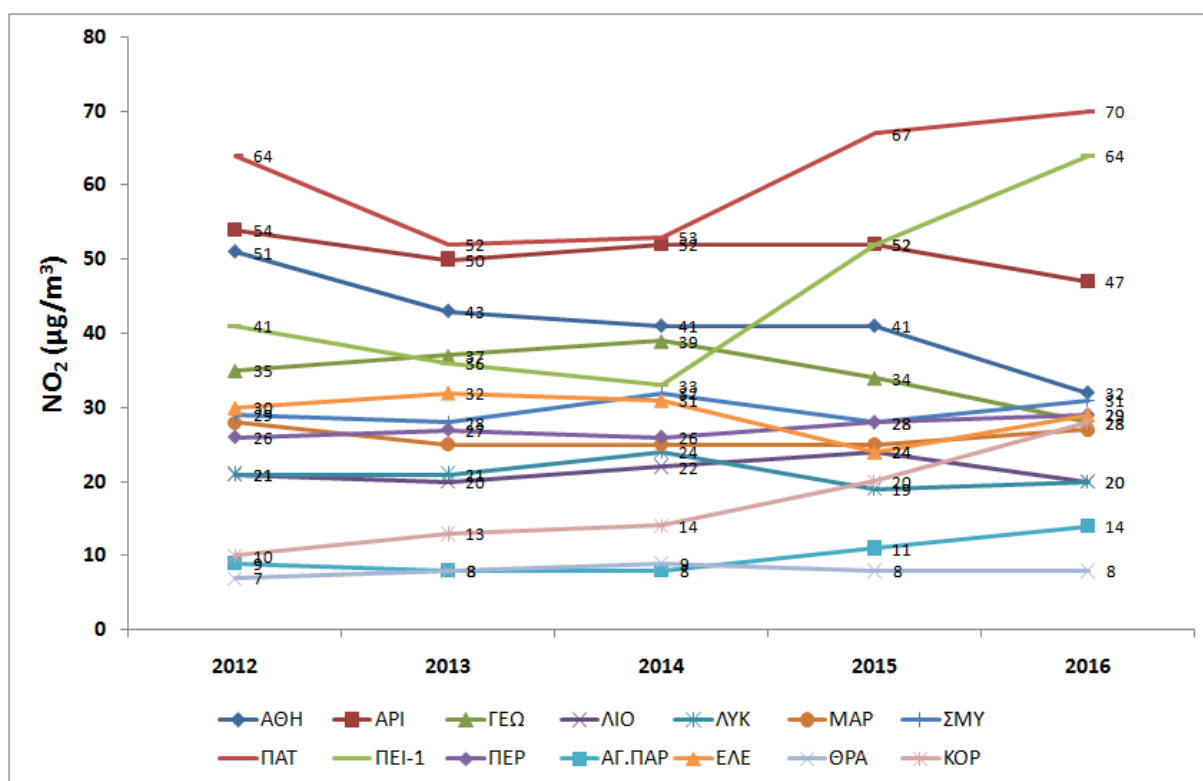
Για το μονοξείδιο του αζώτου παρατηρείται μικρή τάση μείωσης των τιμών ή σταθεροποίηση, με εμφανής τη διαφορά των συγκεντρώσεων στο κέντρο της πόλης (ΑΘΗ, ΑΡΙ, ΠΑΤ, ΠΕΙ-1) σε σχέση με την περιφέρεια (ΛΙΟ, ΛΥΚ, ΑΓ.ΠΑΡ, ΘΡΑ). Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες στα προάστια, απόρροια των αυξημένων δραστηριοτήτων στο κέντρο συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές. Ο σταθμός Πατησίων παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ($77-83 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ ο σταθμός Αγ. Παρασκευή τις μικρότερες ($<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Σχήμα 2: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αύξηση των συγκεντρώσεων στους σταθμούς Αθηνάς, Αριστοτέλους, Μαρούσι, Ελευσίνα και Κορωπί το 2015, με τις τιμές του ρύπου να μειώνονται το 2016. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι το NO είναι πρωτογενής ρύπος, οπότε επηρεάζεται εντονότερα από τοπικές πηγές, με συνέπεια να είναι πιο ευμετάβλητος και να παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση.

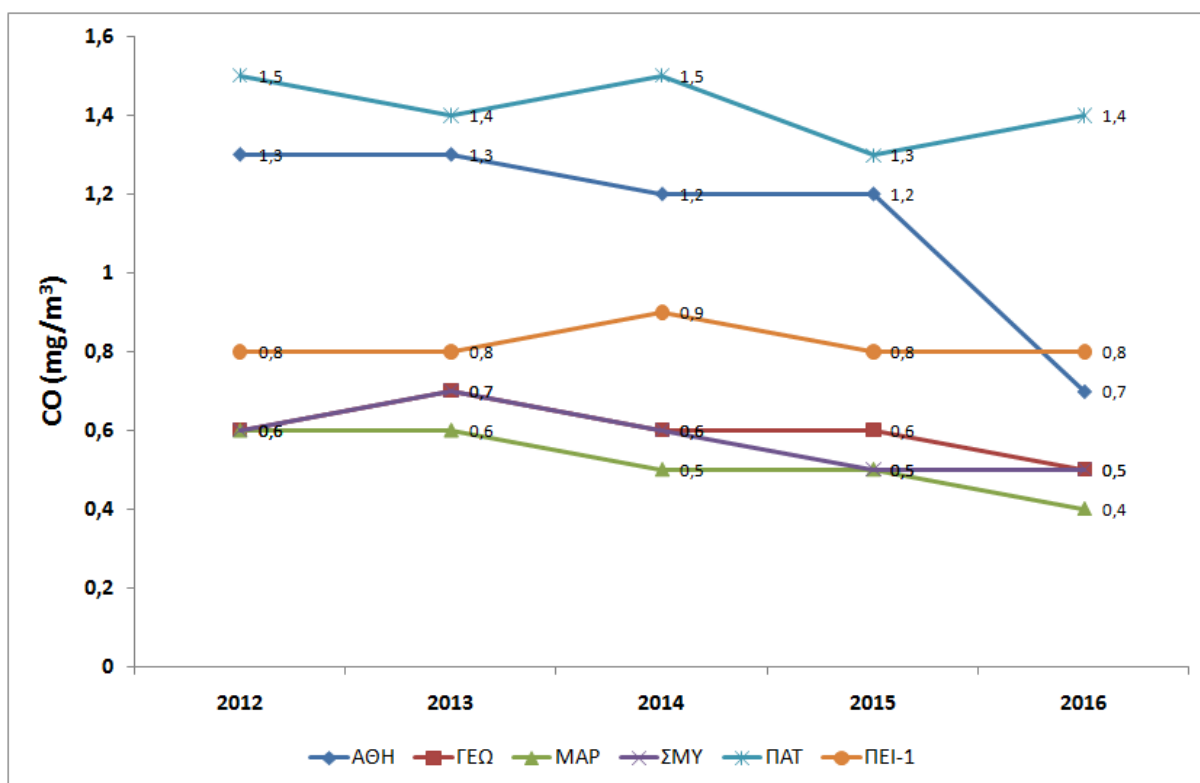
Για το διοξείδιο του αζώτου παρατηρείται τάση μείωσης των τιμών το διάστημα 2012-2014 στις περισσότερες θέσεις μέτρησης, ενώ τα δύο τελευταία χρόνια υπάρχει μικρή τάση αύξησης των τιμών στους περισσότερους σταθμούς. Αυτή η τάση φαίνεται κυρίως στο σταθμό Πειραιά όσο και στο σταθμό Πατησίων. Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης (ΑΘΗ, ΑΡΙ, ΓΕΩ, ΣΜΥ, ΠΑΤ, ΠΕΙ-1, ΠΕΡ) είναι σαφώς μεγαλύτερες σε σχέση με την περιφέρεια (ΛΙΟ, ΛΥΚ, ΜΑΡ, ΑΓ.ΠΑΡ, ΘΡΑ). Οι σταθμοί Πατησίων και Πειραιά παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ενώ ο σταθμός Θρακομακεδόνες τις μικρότερες.



Σχήμα 3: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO₂ (μg/m³)

Σύμφωνα με τα όρια ποιότητας του αέρα η μέση ετήσια τιμή του NO₂ δεν πρέπει να ξεπερνά τα 40 μg/m³. Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν αυτό το όριο σε τρεις σταθμούς στο κέντρο (Αριστοτέλους, Πατησίων, Πειραιάς), ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί βρίσκονται αρκετά κάτω από το όριο στις άλλες περιοχές.

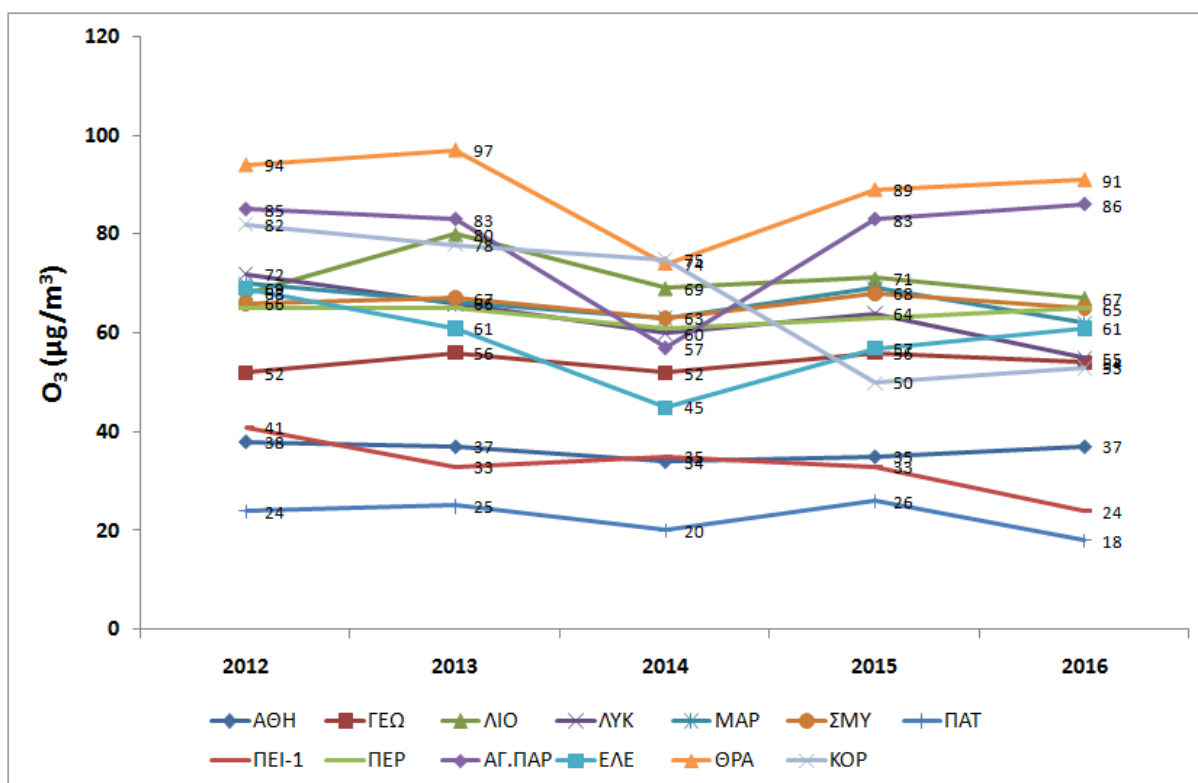
Για το **μονοξείδιο του άνθρακα** παρατηρείται γενικά πτωτική τάση των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, με τάσεις σταθεροποίησης σε κάποιες θέσεις μέτρησης από το 2014 και μετά, ενώ οι τιμές δεν ξεπερνούν τα $1,5 \text{ mg/m}^3$ σε καμία περίπτωση. Η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων δείχνει ότι, παρόλο που υπάρχουν σε διάφορες θέσεις αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών από χρόνο σε χρόνο, παρατηρείται πτωτική τάση, γεγονός που οφείλεται σε μέτρα ελέγχου εκπομπής αέριων ρύπων με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 4: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών CO (mg/m^3)

Είναι εμφανής η διαφορά των συγκεντρώσεων στο κέντρο της πόλης (ΑΟΗ, ΓΕΩ, ΣΜΥ, ΠΑΤ, ΑΡΙ, ΠΑΤ, ΠΕΙ-1) σε σχέση με την περιφέρεια (ΜΑΡ), με τις συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης να εμφανίζονται υψηλότερες από τον σταθμό στα προάστια, λόγω της αυξημένης δραστηριότητας στο κέντρο αλλά και της κακής κυκλοφορίας αέρα, που συνεπάγεται τη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων. Ο σταθμός Πατησίων παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ($1,3\text{-}1,5 \text{ mg/m}^3$) ενώ ο σταθμός Μαρούσι τις μικρότερες ($0,4\text{-}0,6 \text{ mg/m}^3$).

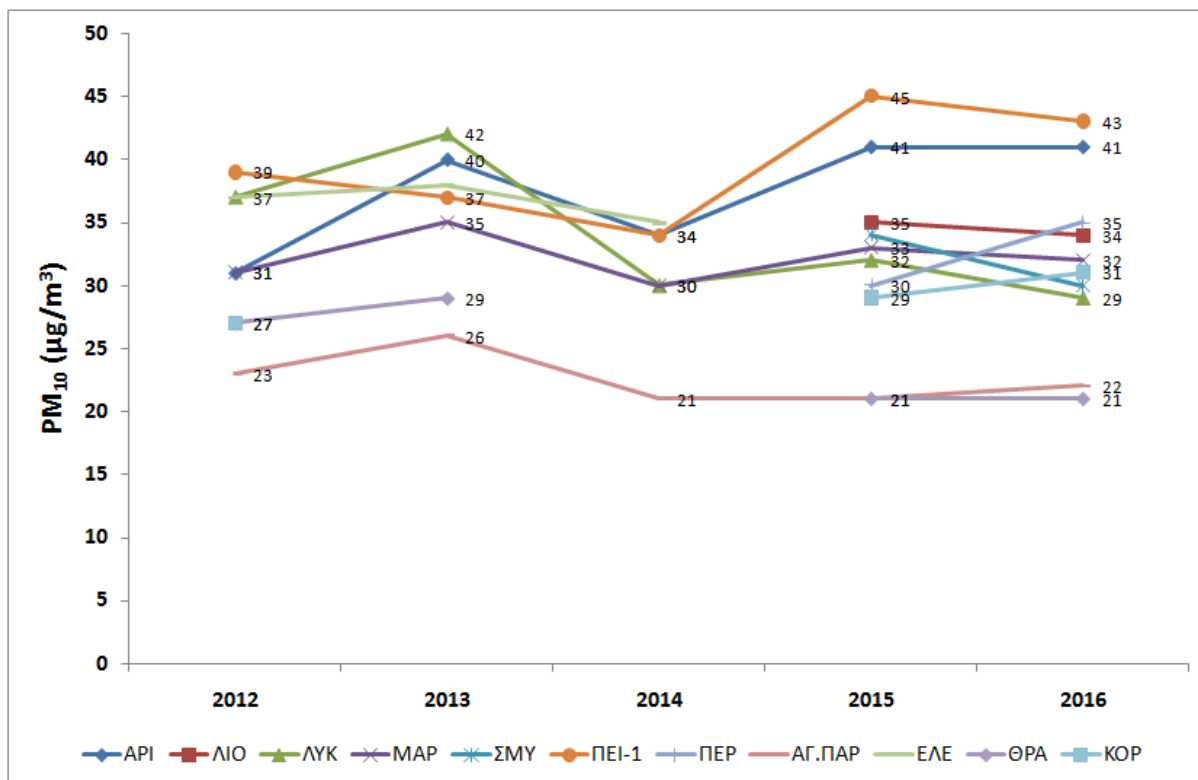
Για το **όζον** παρατηρείται γενικώς μια τάση σταθεροποίησης των τιμών τα τελευταία χρόνια με έντονη διακύμανση από έτος σε έτος σε κάποιους σταθμούς, λόγω της φύσης του ρύπου. Το όζον παρουσιάζει σαφώς χαμηλότερες τιμές στο κέντρο της πόλης (ΑΘΗ, ΓΕΩ, ΠΑΤ, ΠΑΤ, ΠΕΙ-1) σε σχέση με την περιφέρεια (ΛΙΟ, ΛΥΚ, ΜΑΡ, ΑΓ.ΠΑΡ, ΘΡΑ). Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω του φωτοχημικού κύκλου, καθώς στα προάστια υπάρχουν λιγότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου λόγω μειωμένης κυκλοφορίας οχημάτων, οι οποίες ευνοούν το σχηματισμό του όζοντος στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 5: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O_3 ($\mu g/m^3$)

Στους Θρακομακεδόνες ($74-97 \mu g/m^3$) και Αγ. Παρασκευή ($57-86 \mu g/m^3$) παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ενώ οι σταθμοί Πατησίων ($18-26 \mu g/m^3$) και Πειραιά ($24-41 \mu g/m^3$) τις μικρότερες. Οι μέσες ετήσιες τιμές του όζοντος στους περισσότερους σταθμούς είναι πάνω από $40 \mu g/m^3$, με εξαίρεση τις τιμές συγκέντρωσης στους σταθμούς Αθηνάς, Πατησίων και Πειραιά.

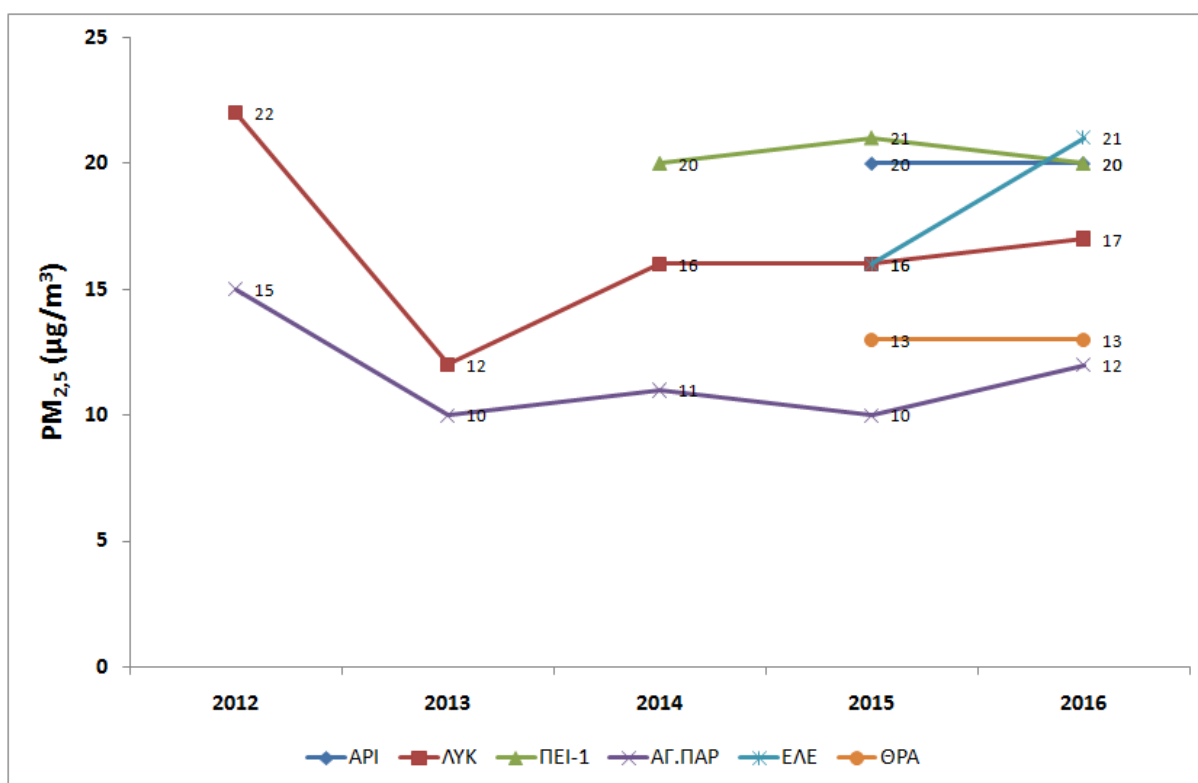
Για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} παρατηρείται γενικά μικρή μείωση στις τιμές ρύπανσης ή σταθεροποίηση κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, με κάποιες αυξομειώσεις σε κάποια έτη. Στο κέντρο της πόλης (ΑΡΙ, ΠΕΙ-1, ΠΕΡ) παρατηρούνται γενικά μεγαλύτερες τιμές ($31-45 \mu g/m^3$), χωρίς να φαίνεται να υπάρχει κάποια μείωση διαχρονικά.



Σχήμα 6: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} ($\mu g/m^3$)

Το όριο ποιότητας του αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια είναι $40 \mu g/m^3$. Οι συγκεντρώσεις των PM_{10} στο κέντρο της πόλης (ΣΜΥ, ΠΕΡ) και σε όλους τους σταθμούς της περιφέρειας (ΛΙΟ, ΛΥΚ, ΜΑΡ, ΑΓ.ΠΑΡ, ΕΛΕ, ΘΡΑ, ΚΟΡ) είναι σε κάθε περίπτωση κάτω από αυτό το όριο. Οι σταθμοί Αριστοτέλους και Πειραιά παρουσιάζουν σχεδόν παρόμοιες τιμές και τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ($31-45 \mu g/m^3$), ξεπερνώντας την τελευταία διετία (2015-2016) το όριο των $40 \mu g/m^3$. Οι σταθμοί Θρακομακεδόνες και Αγ. Παρασκευή έχουν τις μικρότερες συγκεντρώσεις ($21-29 \mu g/m^3$). Σημειώνεται πως οι μετρήσεις για τους σταθμούς Λιόσια, Νέα Σμύρνη, Περιστέρι, Ελευσίνα, Θρακομακεδόνες και Κορωπί ήταν ελλιπείς.

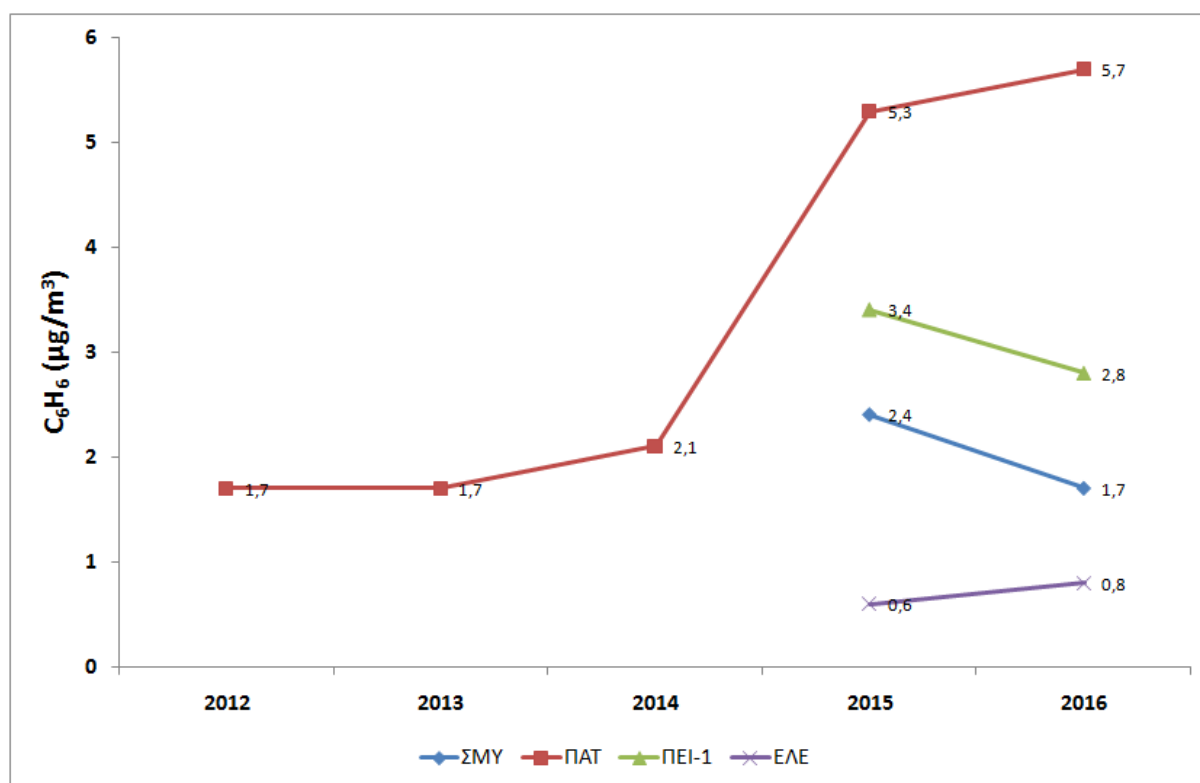
Για τα **αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$** παρατηρείται επίσης μικρή τάση μείωσης των τιμών ή σταθεροποίηση, με κάποιες αυξομειώσεις σε κάποια έτη. Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης (ΑΡΙ, ΠΕΙ-1) είναι υψηλότερες σε σχέση με την περιφέρεια (ΛΥΚ, ΑΓ.ΠΑΡ, ΘΡΑ), με εξαίρεση τον σταθμό Ελευσίνα στα προάστια ο οποίος παρουσιάζει και τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το 2016 (21 $\mu g/m^3$). Αντιθέτως, οι σταθμοί Θρακομακεδόνες και Αγ. Παρασκευή εμφανίζουν τις μικρότερες συγκεντρώσεις (10-15 $\mu g/m^3$).



Σχήμα 7: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)

Η διαχρονική εξέλιξη του ρύπου αφορά μόνο στους σταθμούς Λυκόβρυση και Αγ. Παρασκευή, καθώς οι μετρήσεις για τους υπόλοιπους σταθμούς (Αριστοτέλους, Πειραιάς, Ελευσίνα, Θρακομακεδόνες) ήταν ελλιπείς για το διάστημα 2012-2014. Τα όρια ποιότητας του αέρα είναι 25 $\mu g/m^3$ για τα $PM_{2.5}$, στόχος που φαίνεται να επιτυγχάνεται κατά την τελευταία πενταετία.

Για το **βενζόλιο** παρατηρείται μια τάση σταθεροποίησης των συγκεντρώσεων το χρονικό διάστημα 2012-2014, ενώ από το έτος 2015 και μετά παρατηρήθηκε αύξηση της τιμής συγκέντρωσης στο κέντρο της πόλης (ΠΑΤ) ξεπερνώντας το ετήσιο όριο των 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης (ΣΜΥ, ΠΑΤ, ΠΕΙ-1) είναι υψηλότερες σε σχέση με την περιφέρεια (ΕΛΕ). Ο σταθμός Πατησίων παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ενώ ο σταθμός Ελευσίνα τις μικρότερες.



Σχήμα 8: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών C_6H_6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σημειώνεται πως οι μετρήσεις για το διάστημα 2012-2016 αφορούν μόνο το σταθμό Πατησίων, ο οποίος είναι γενικά επιβαρυσμένος οπότε δεν είναι αντιπροσωπευτικές για όλο το λεκανοπέδιο Αττικής.

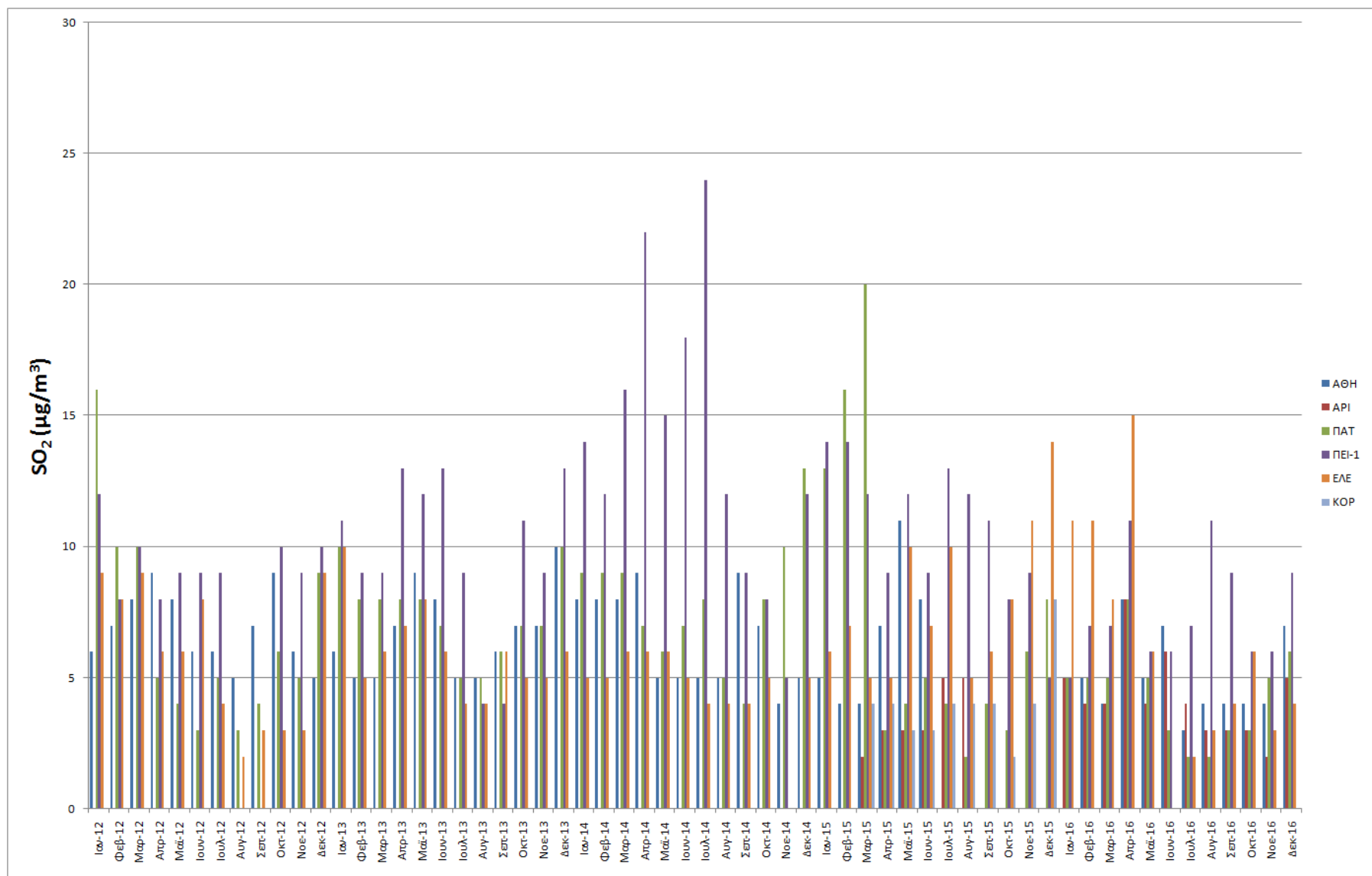
6.2 Μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων για όλους τους σταθμούς της Αθήνας κατά το χρονικό διάστημα 2012-2016.

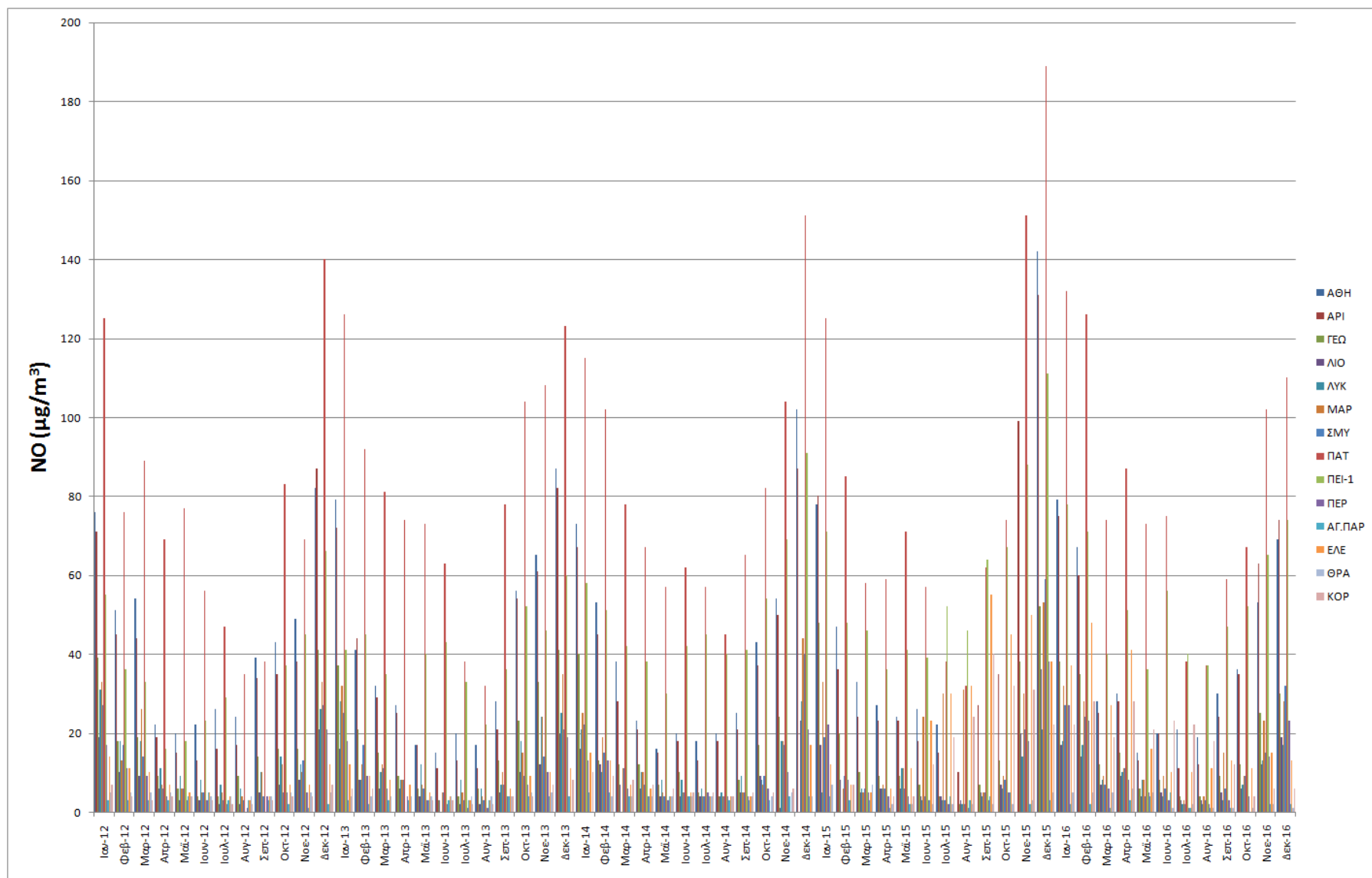
Η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων δείχνει ότι οι πρωτογενείς ρύποι (SO_2 , NO , CO) παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές τους μήνες του χειμώνα (Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο). Αυτό οφείλεται κυρίως στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης για το διοξείδιο του θείου (SO_2), ενώ για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) στη μεγαλύτερη κυκλοφορία στους δρόμους της πόλης που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες αλλά και τις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή) που ελκύουν περισσότερους ρύπους. Επιπλέον το χειμώνα η ατμόσφαιρα είναι σταθερότερη από το καλοκαίρι, με συνέπεια τον εγκλωβισμό των ρύπων στο κέντρο της πόλης και τη μη απομάκρυνσή τους, ενώ την ίδια περίοδο οι μεγαλύτερες ανάγκες για θέρμανση κυρίως από εναλλακτικές πηγές έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών. Το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) δεν παρουσιάζει σαφή μηνιαία μεταβολή, ενώ ο δευτερογενής ρύπος όζον (O_3) εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο) οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια σε διάρκεια και ένταση των μηνών αυτών, δεδομένου ότι ο σχηματισμός αυτού του ρύπου γίνεται μέσω φωτοχημικών διεργασιών στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία. Οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) δεν παρουσιάζουν σαφή μηνιαία μεταβολή, καθώς οι εκπομπές μεγάλου ποσοστού προέρχονται κυρίως από φυσικές πηγές (μεταφορά σκόνης από ξηρές περιοχές εντός και εκτός χώρας, θαλάσσια αερολύματα κ.ά.). Ωστόσο, παρατηρείται απότομη αύξηση στις τιμές τους από το Δεκέμβριο του 2012 και μετά, κατά τη χειμερινή περίοδο, λόγω της έναρξης χρήσης βιομάζας ως θερμαντικού μέσου και την απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας σωματιδίων. Το βενζόλιο εμφανίζει τις μέγιστες συγκεντρώσεις του το χειμώνα όπως συμβαίνει και με τους υπόλοιπους ρύπους που σχετίζονται με την κυκλοφορία.

Οι αναλυτικοί πίνακες με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, παρουσιάζονται στο *Παράρτημα II*. Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των συγκεντρώσεων

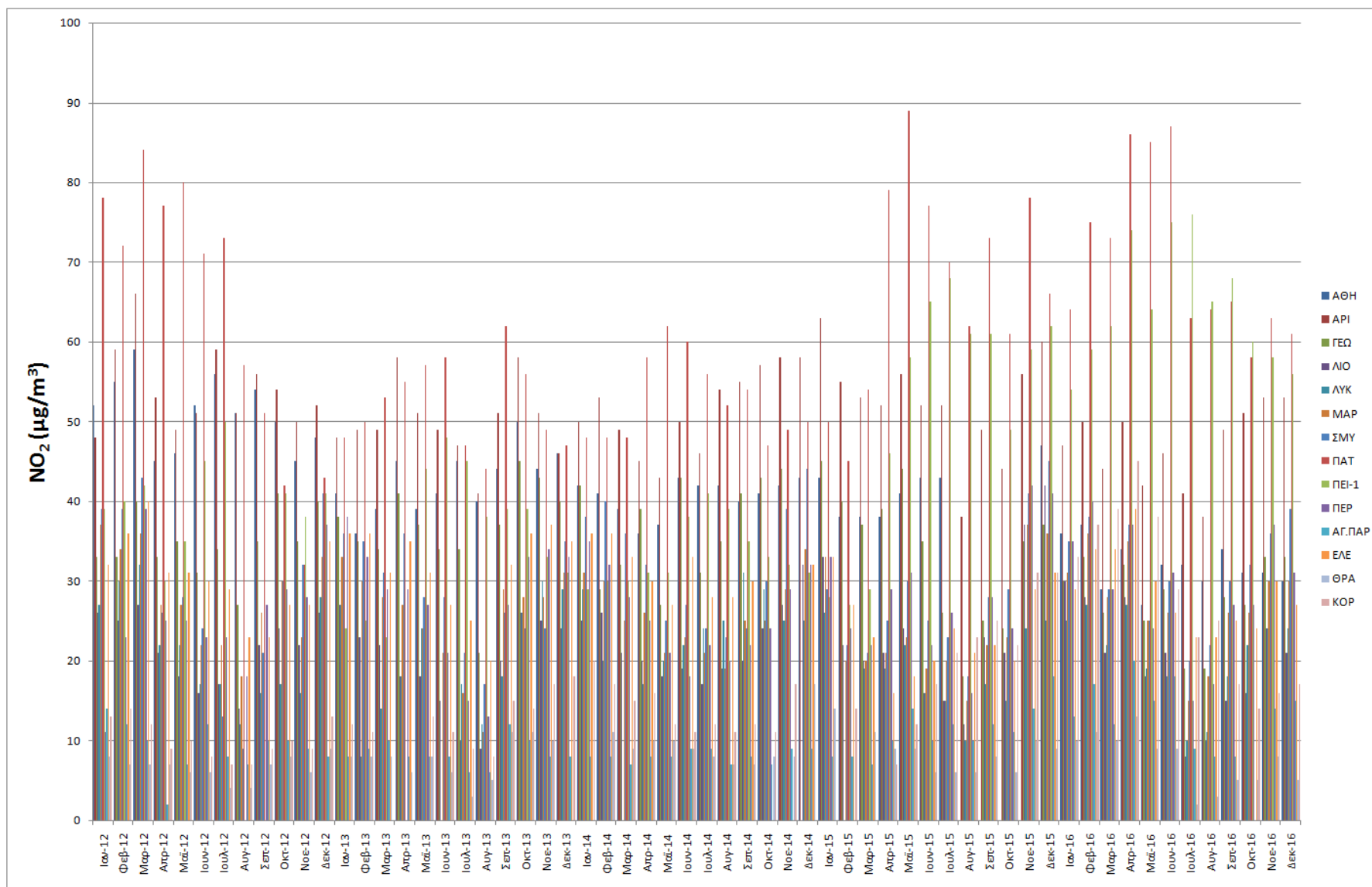
όλων των μετρούμενων ρύπων για κάθε σταθμό, κατά το χρονικό διάστημα Ιαν-2012 έως Δεκ-2016.



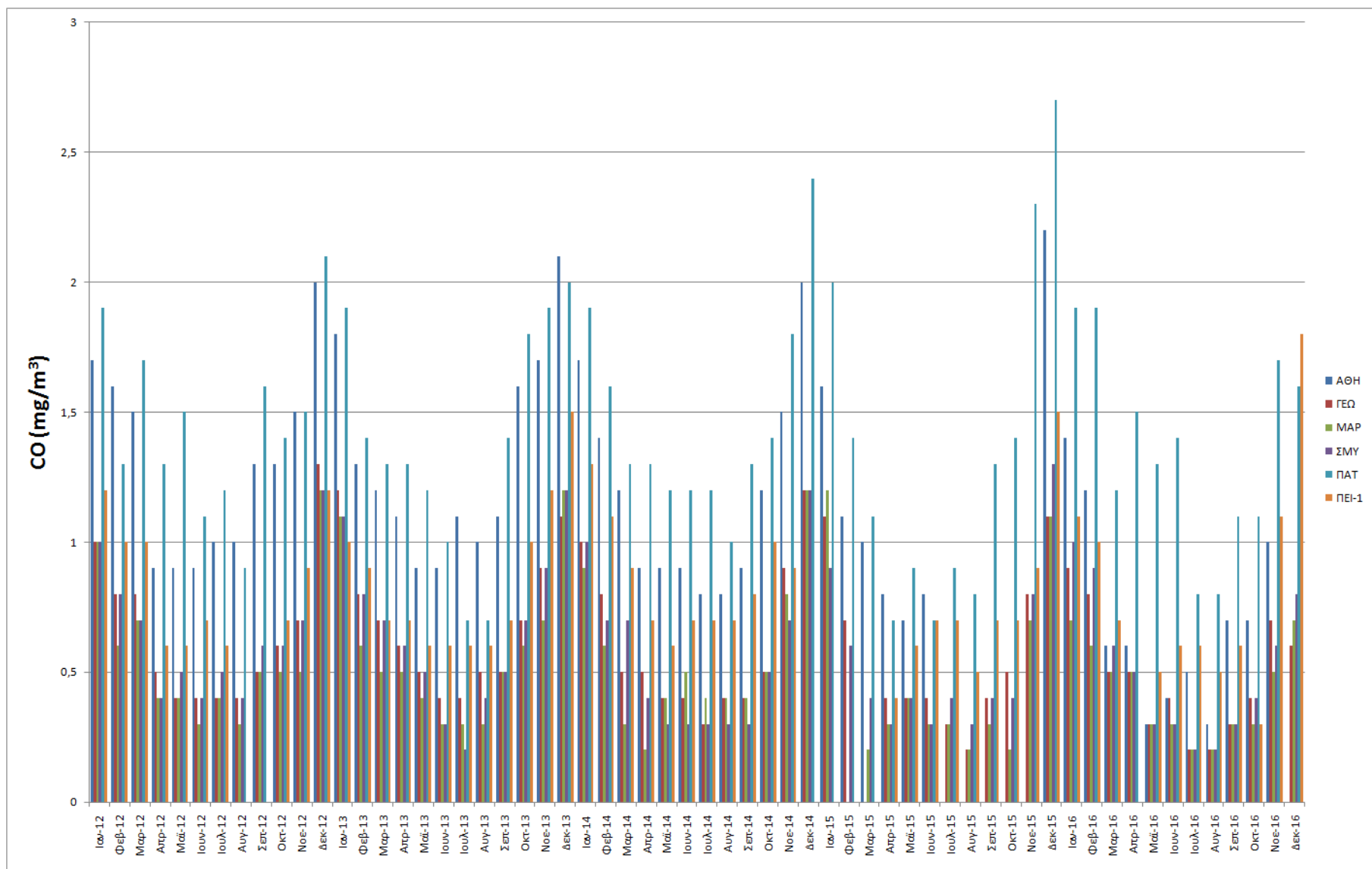
Σχήμα 9: Διαχρονική μεταβολή μέσω μηνιαίων τιμών SO₂ (μg/m³)



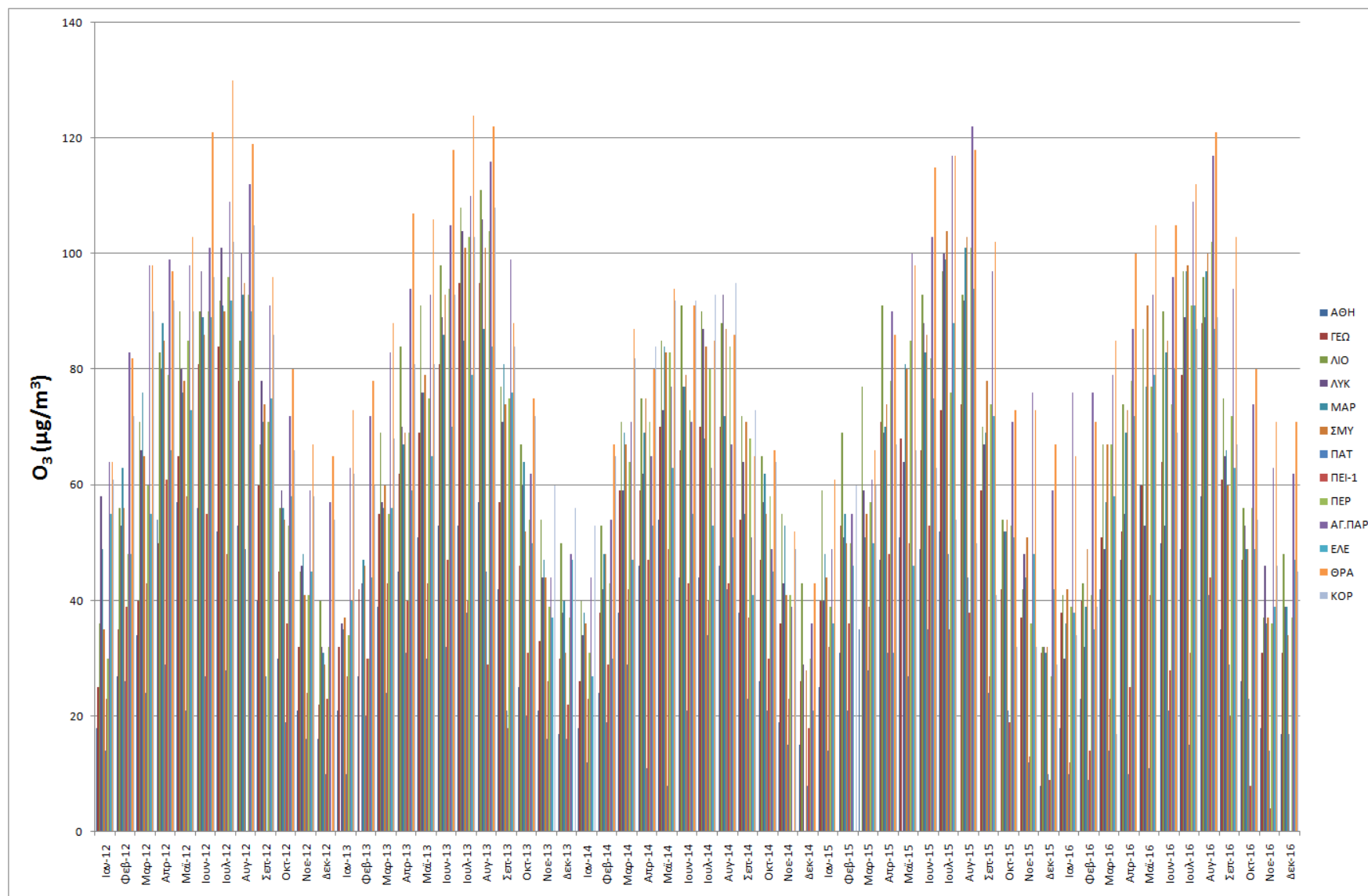
Σχήμα 10: Διαχρονική μεταβολή μέσω μηνιαίων τιμών NO (μg/m³)



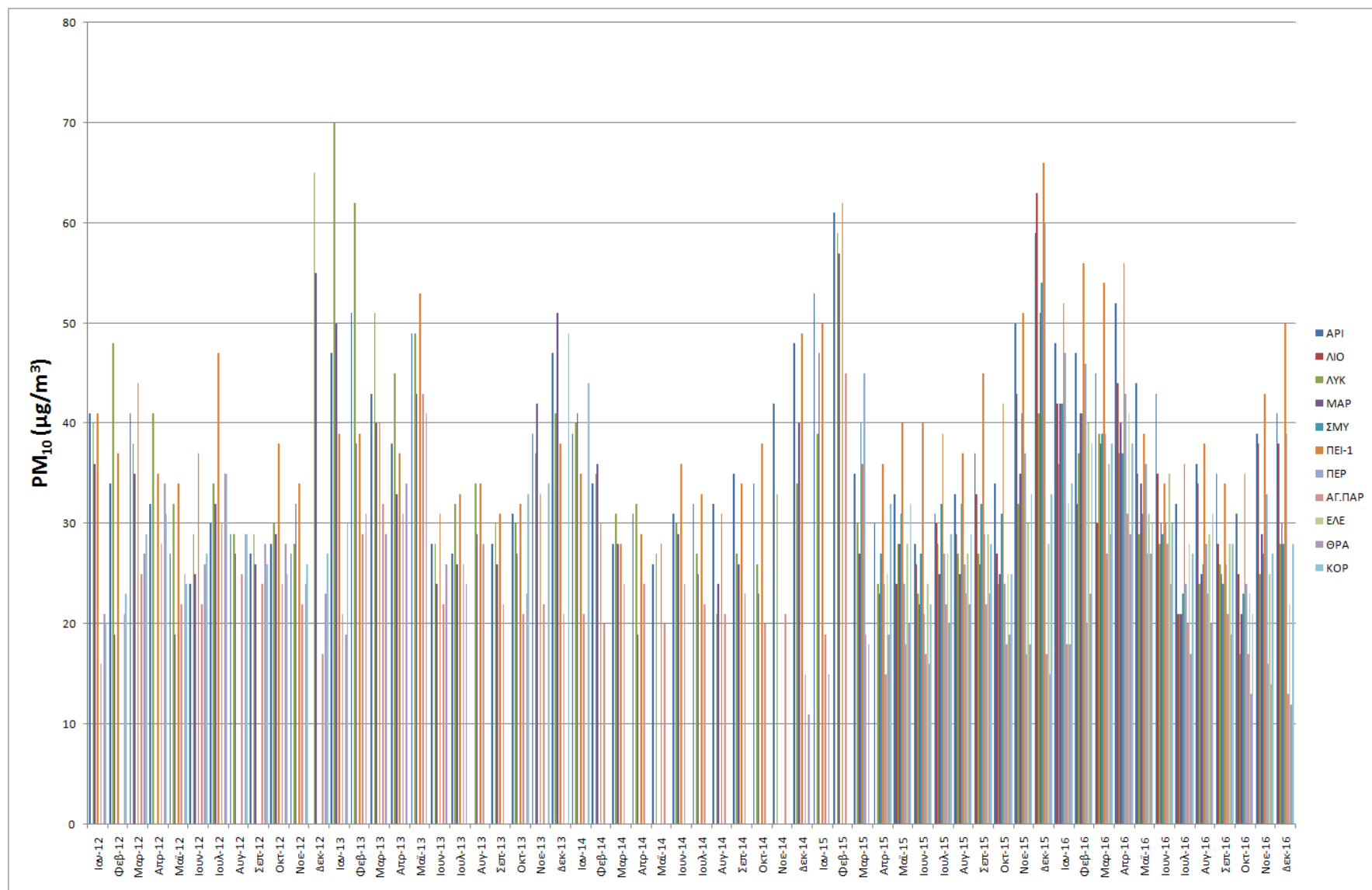
Σχήμα 11: Διαχρονική μεταβολή μέσω μηνιαίων τιμών NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



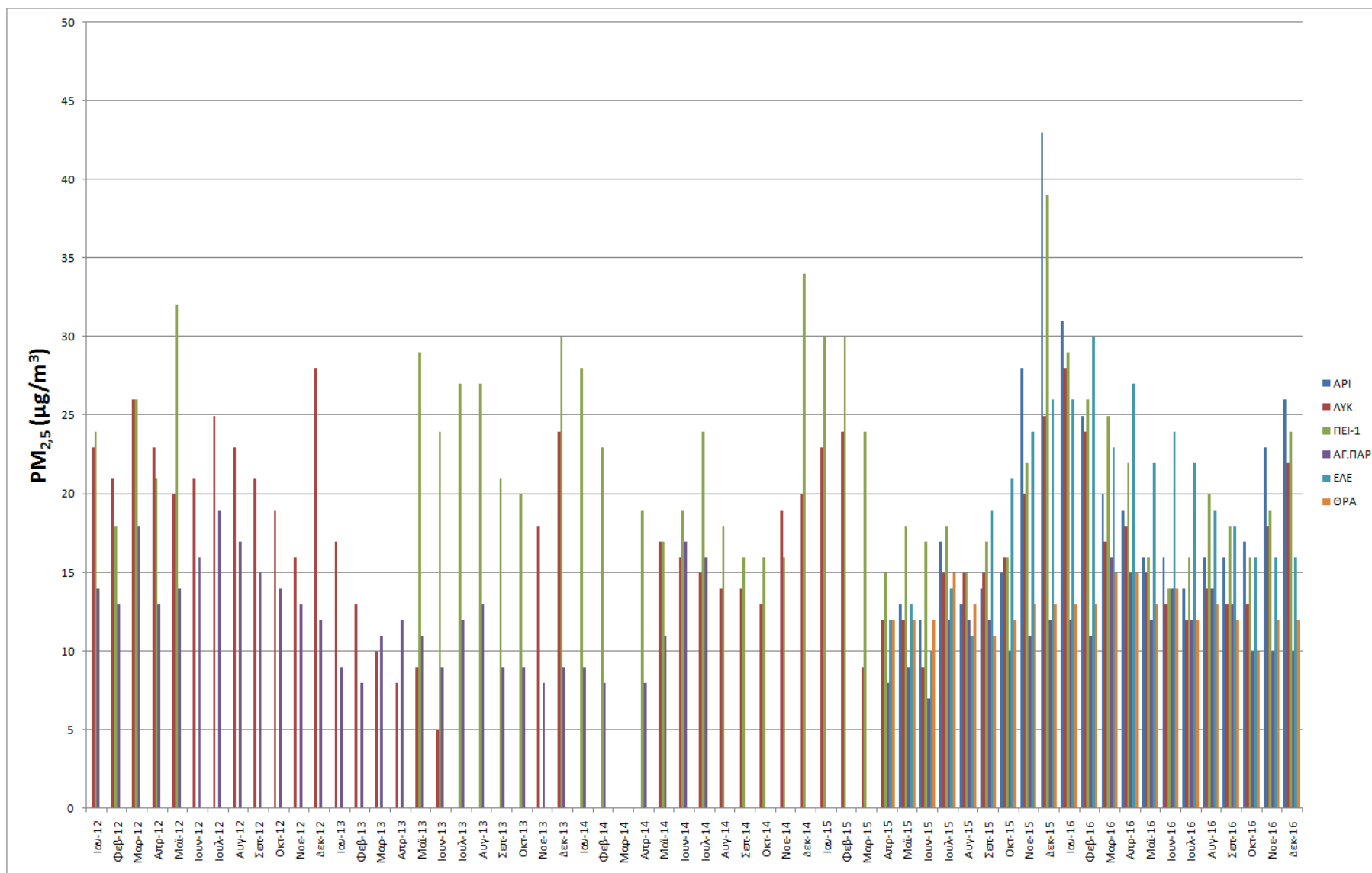
Σχήμα 12: Διαχρονική μεταβολή μέσω μηνιαίων τιμών CO (mg/m³)



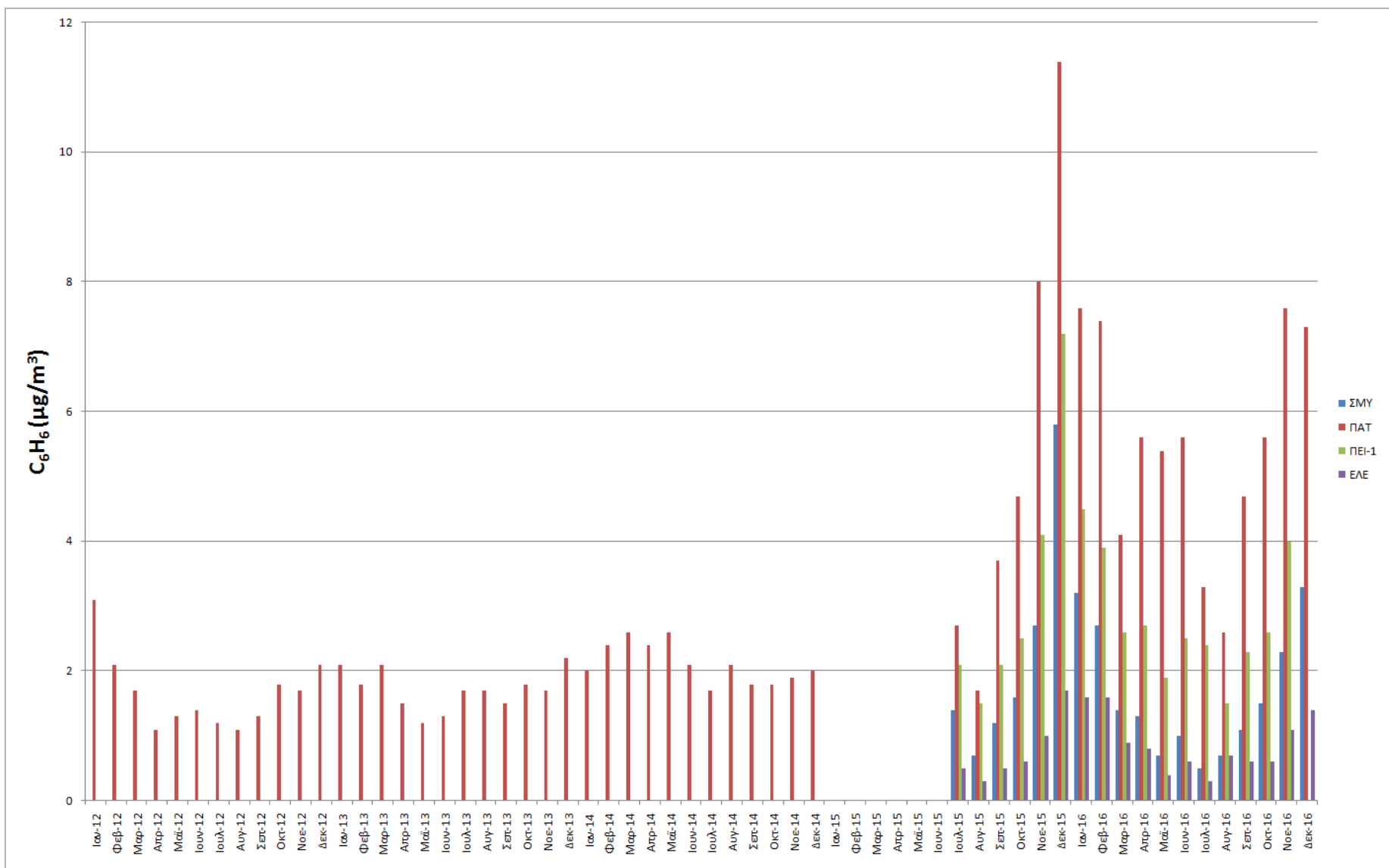
Σχήμα 13: Διαχρονική μεταβολή μέσω μηνιαίων τιμών O₃ (μg/m³)



Σχήμα 14: Διαχρονική μεταβολή μέσω μηνιαίων τιμών PM_{10} ($\mu g/m^3$)



Σχήμα 15: Διαχρονική μεταβολή μέσω μηνιαίων τιμών $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)



Σχήμα 16: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών C_6H_6 ($\mu g/m^3$)

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις των μετρούμενων ρύπων σε όλους τους σταθμούς για τα έτη 2012 έως και 2016.

Πίνακας 26: Διοξείδιο του θείου (SO₂) (τιμές σε ωριαία βάση σε μg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Αθηνάς (ΑΘΗ)	133	17/04/16
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	142	17/04/16
Πατησίων (ΠΑΤ)	87	19/01/12
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	206	06/06/13
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	372	01/02/15
Κορωπί (ΚΟΡ)	22	22/12/15

Πίνακας 27: Μονοξείδιο του αζώτου (NO) (τιμές σε ωριαία βάση σε μg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Αθηνάς (ΑΘΗ)	621	22/12/15
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	724	22/12/15
Γεωπονική (ΓΕΩ)	644	17/01/12
Λιόσια (ΛΙΟ)	504	29/12/15
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	285	10/01/13
Μαρούσι (ΜΑΡ)	471	10/01/14
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	556	22/12/12
Πατησίων (ΠΑΤ)	840	22/12/15
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	580	11/01/16
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	61	02/02/12
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	281	15/04/15
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	50	26/01/15
Κορωπί (ΚΟΡ)	365	24/06/15

Πίνακας 28: Διοξείδιο του αζώτου (NO₂) (τιμές σε ωριαία βάση σε μg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Αθηνάς (ΑΘΗ)	162	23/08/14
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	174	24/12/15
Γεωπονική (ΓΕΩ)	185	25/09/12
Λιόσια (ΛΙΟ)	131	22/12/15
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	127	24/12/14
Μαρούσι (ΜΑΡ)	201	24/12/15
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	176	24/12/14
Πατησίων (ΠΑΤ)	297	14/07/16
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	188	19/06/16
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	103	14/12/15 22/12/15
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	123	22/03/12
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	129	24/12/14
Κορωπί (ΚΟΡ)	98	24/06/15

Πίνακας 29: Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (τιμές σε ωριαία βάση σε mg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Αθηνάς (ΑΘΗ)	10,2	24/07/13
Γεωπονική (ΓΕΩ)	7,1	12/01/13
Μαρούσι (ΜΑΡ)	8,0	05/12/13
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	8,9	10/01/13
Πατησίων (ΠΑΤ)	11,1	22/12/15
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	8,5	05/12/13

Πίνακας 30: Όζον (O₃) (τιμές σε ωριαία βάση σε μg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Αθηνάς (ΑΘΗ)	186	05/07/12
Γεωπονική (ΓΕΩ)	223	05/07/12
Λιόσια (ΛΙΟ)	251	18/06/16
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	291	16/07/12
Μαρούσι (ΜΑΡ)	257	18/06/16
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	208	23/08/16
Πατησίων (ΠΑΤ)	123	17/08/12
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	171	14/07/12
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	254	18/06/16
Ελευσίνια (ΕΛΕ)	215	13/07/12
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	343	16/07/12
Κορωπί (ΚΟΡ)	169	12/07/12 27/08/12

Πίνακας 31: Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2,5}) (τιμές σε 24ωρη βάση σε μg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	645	01/02/15
Λιόσια (ΛΙΟ)	528	21/05/16
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	643	01/02/15
Μαρούσι (ΜΑΡ)	636	01/02/15
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	732	23/03/16
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	646	01/02/15
Περιστέρι (ΠΕΡ)	802	23/03/16
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	601	01/02/15
Ελευσίνια (ΕΛΕ)	684	23/03/16
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	622	01/02/15
Κορωπί (ΚΟΡ)	806	23/03/16

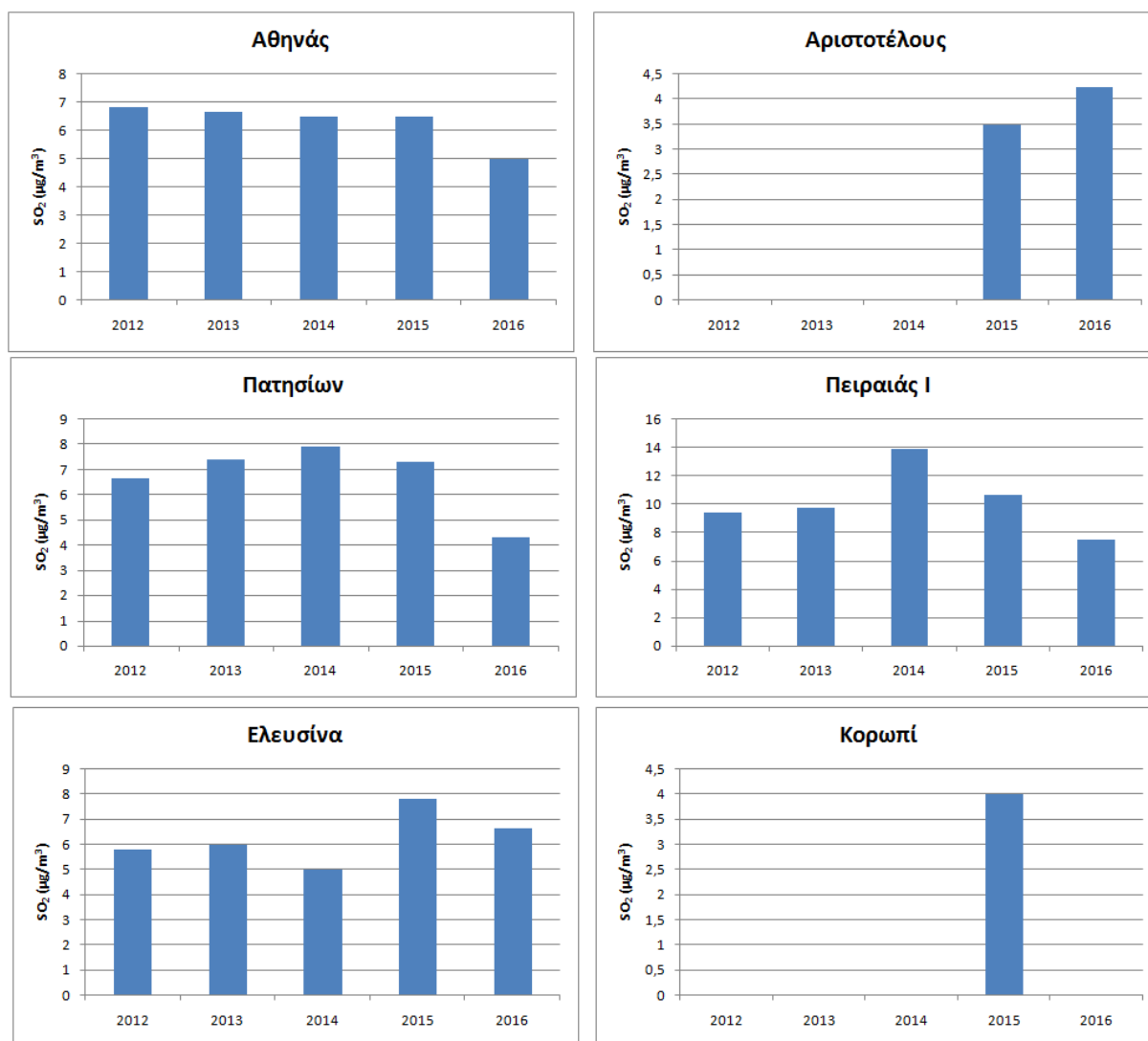
Πίνακας 32: Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2,5}) (τιμές σε 24ωρη βάση σε μg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	217	23/03/16
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	199	01/02/15
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	232	11/12/16
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	208	23/03/16
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	356	08/04/16
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	240	23/03/16

Πίνακας 33: Βενζόλιο (C₆H₆) (τιμές σε ωριαία βάση σε μg/m³)

Σταθμός	Μέγιστη τιμή	Ημερομηνία
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	35,6	10/12/16
Πατησίων (ΠΑΤ)	51,8	22/12/15
Πειραιάς (ΠΕΙ-1)	24,2	23/12/15
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	24,1	07/12/15

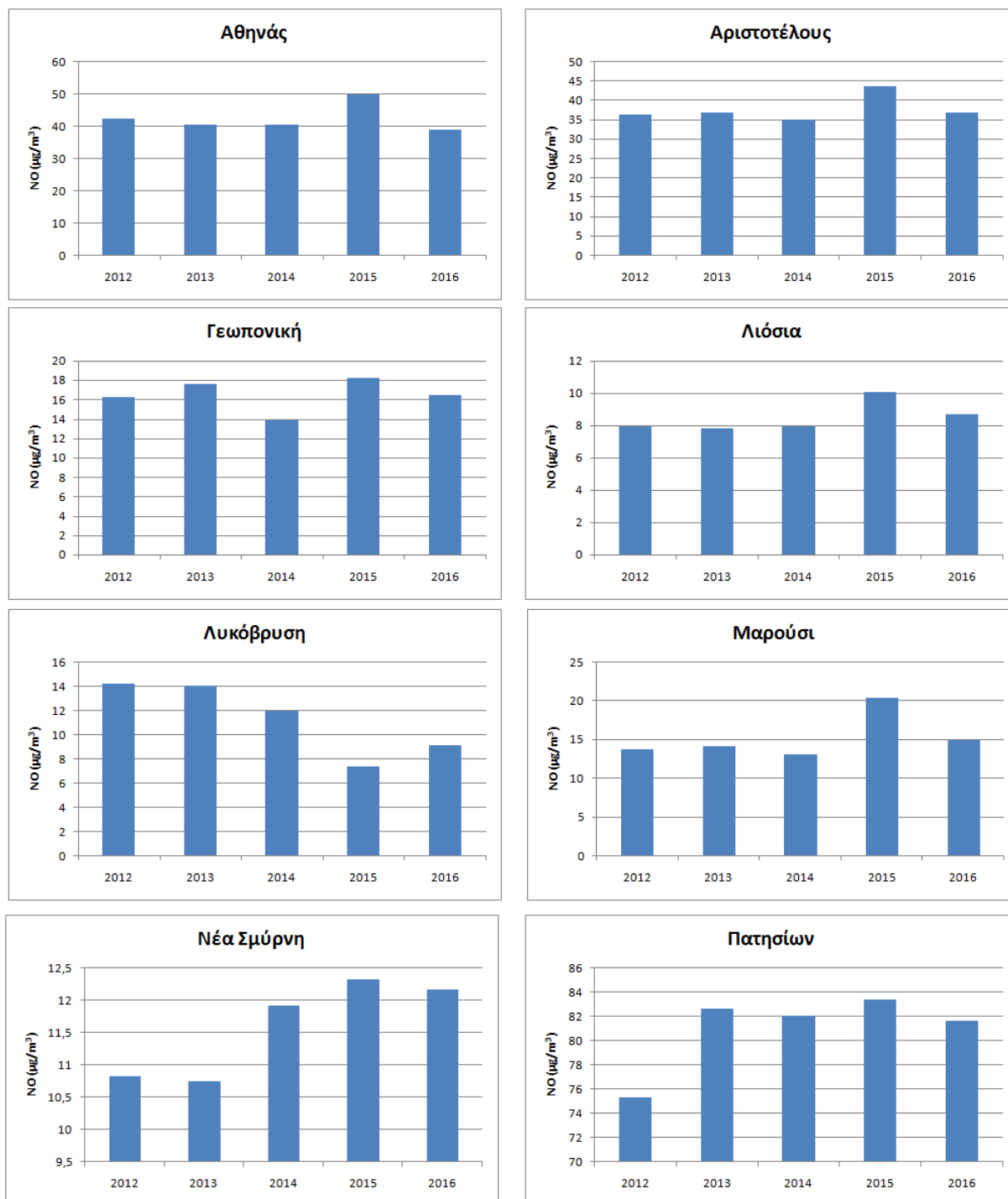
Στο Σχήμα 17 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.

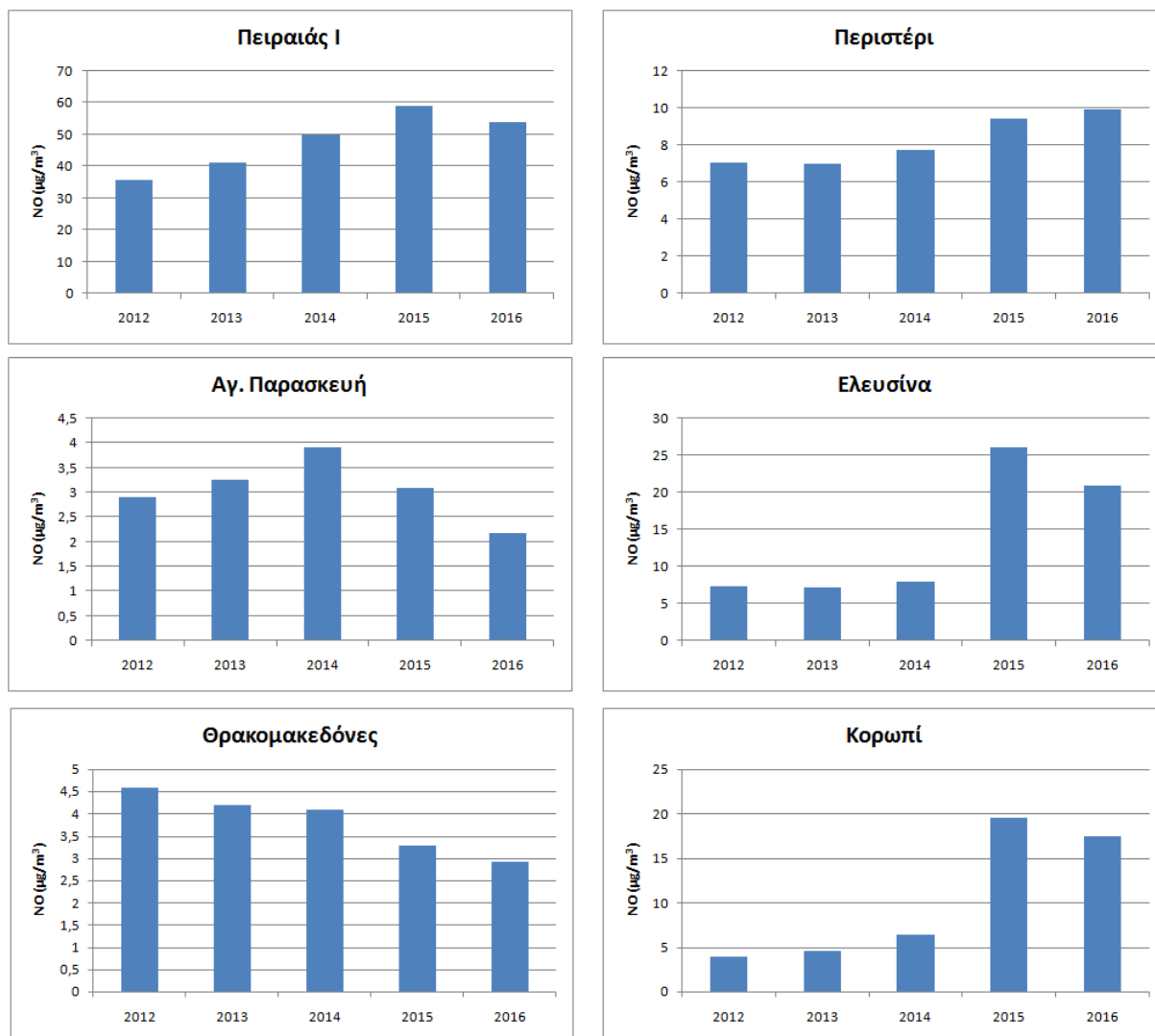


Σχήμα 17: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών SO₂ (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Πειραιά το έτος 2014 (13,92 μg/m³), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Αριστοτέλους το έτος 2015 (3,5 μg/m³). Το 2016 εμφανίζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 σε όλους τους σταθμούς, με εξαίρεση τον σταθμό Αριστοτέλους.

Στο Σχήμα 18 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων του **μονοξειδίου του αζώτου** όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.

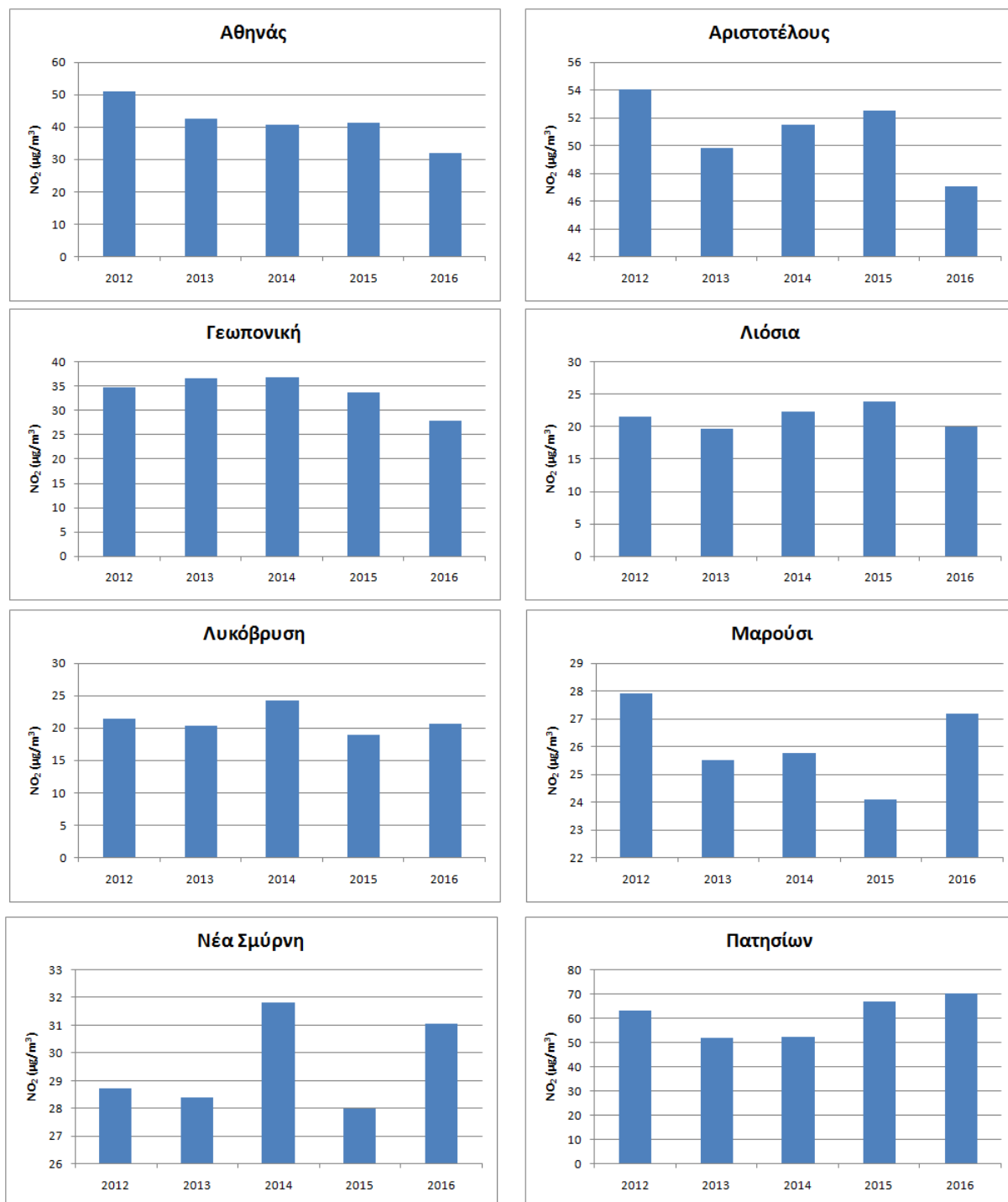


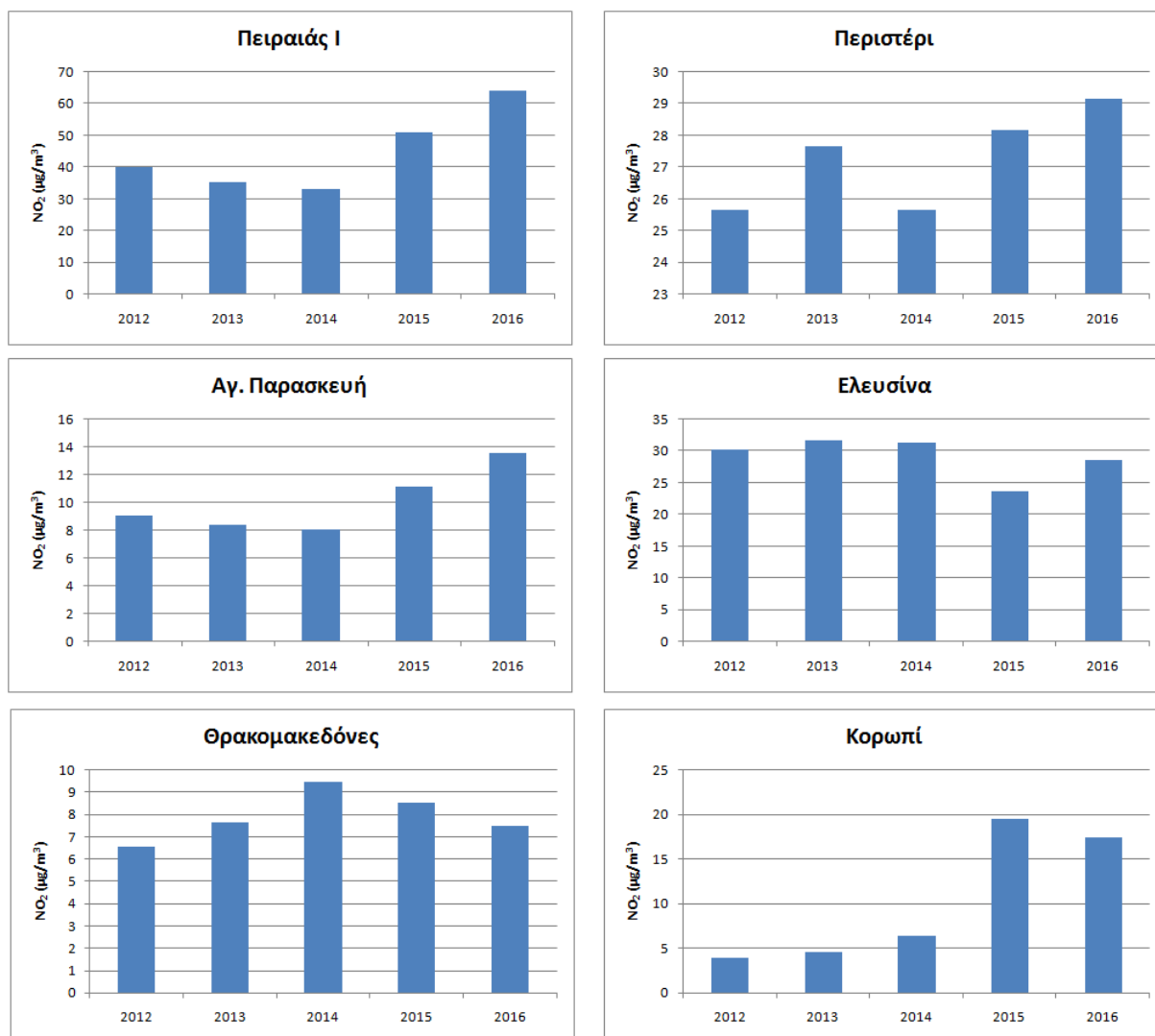


Σχήμα 18: Ετήσια διακύμανση μέσω μηνιαίων τιμών NO (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Πατήσια το έτος 2015 ($83,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Αγ. Παρασκευή το έτος 2016 ($2,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Το 2016 εμφανίζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 σε όλους τους σταθμούς, με εξαίρεση τους σταθμούς Λυκόβρυση και Περιστέρι.

Στο Σχήμα 19 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.

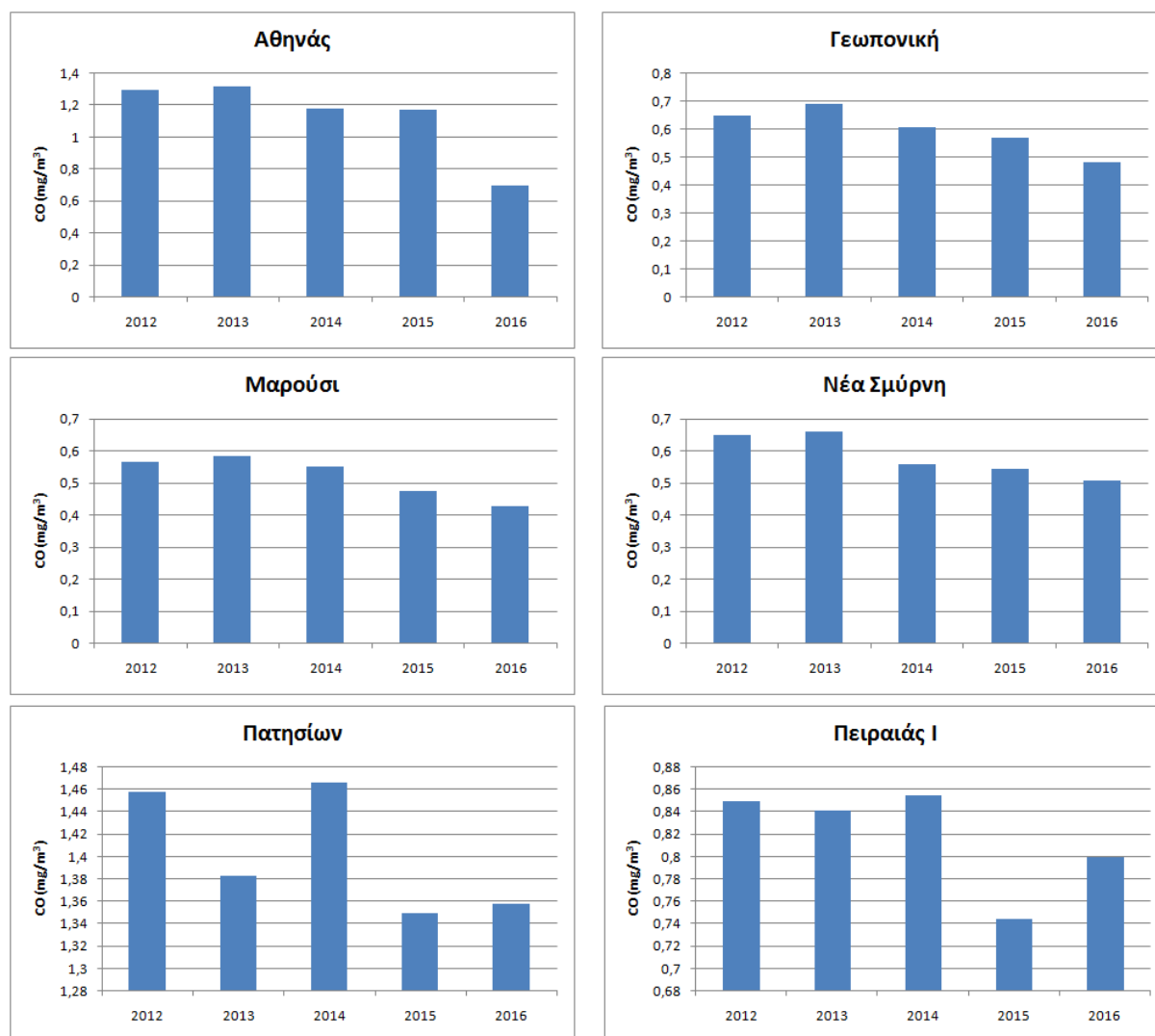




Σχήμα 19: Μέσες μηνιαίες τιμές NO₂ (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Πατήσια το έτος 2016 (70,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Θρακομακεδόνες το έτος 2012 (6,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Το 2016 εμφανίζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 στις περισσότερες θέσεις μέτρησης, με εξαίρεση τους σταθμούς Αθηνάς, Αριστοτέλους, Γεωπονική, Λιόσια και Θρακομακεδόνες.

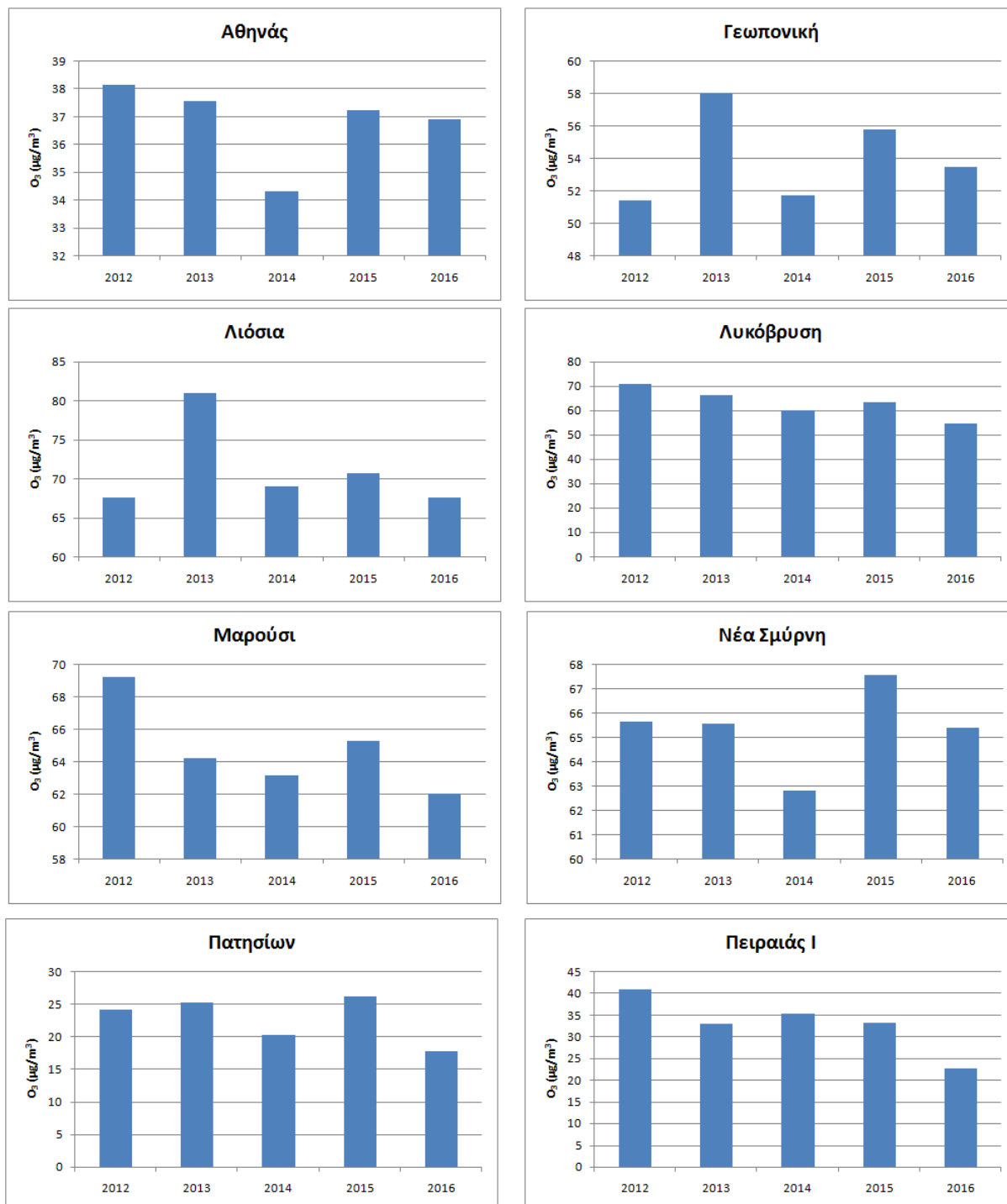
Στο Σχήμα 20 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων του **μονοξειδίου του άνθρακα** όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.

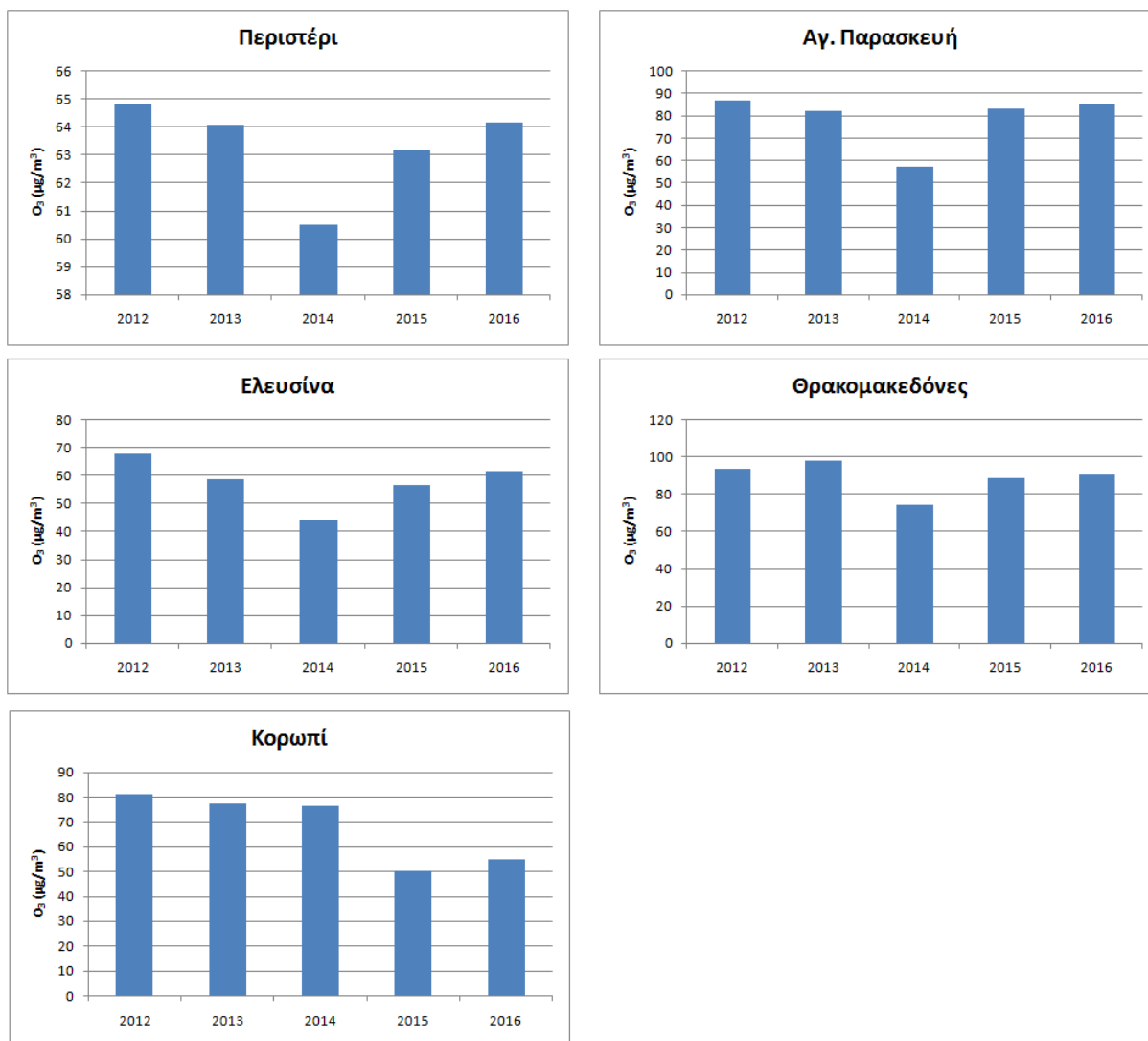


Σχήμα 20: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών CO (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Πατήσια το έτος 2014 ($1,47 \text{ mg/m}^3$), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Μαρούσι το έτος 2016 ($0,43 \text{ mg/m}^3$). Το 2016 εμφανίζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 σε όλους τους σταθμούς, με εξαίρεση τους σταθμούς Πατησίων και Πειραιά.

Στο Σχήμα 21 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων του **όζοντος** όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.

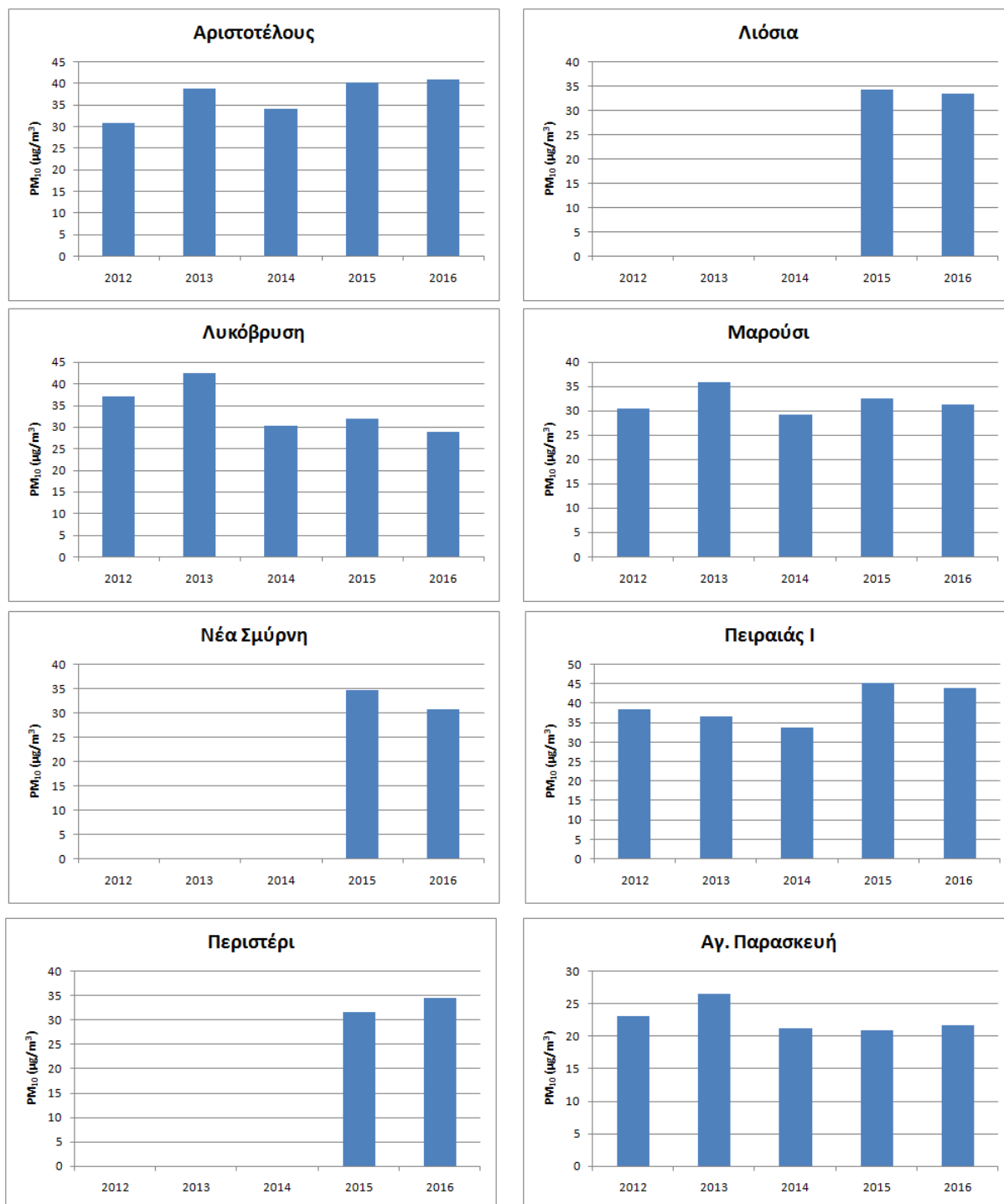


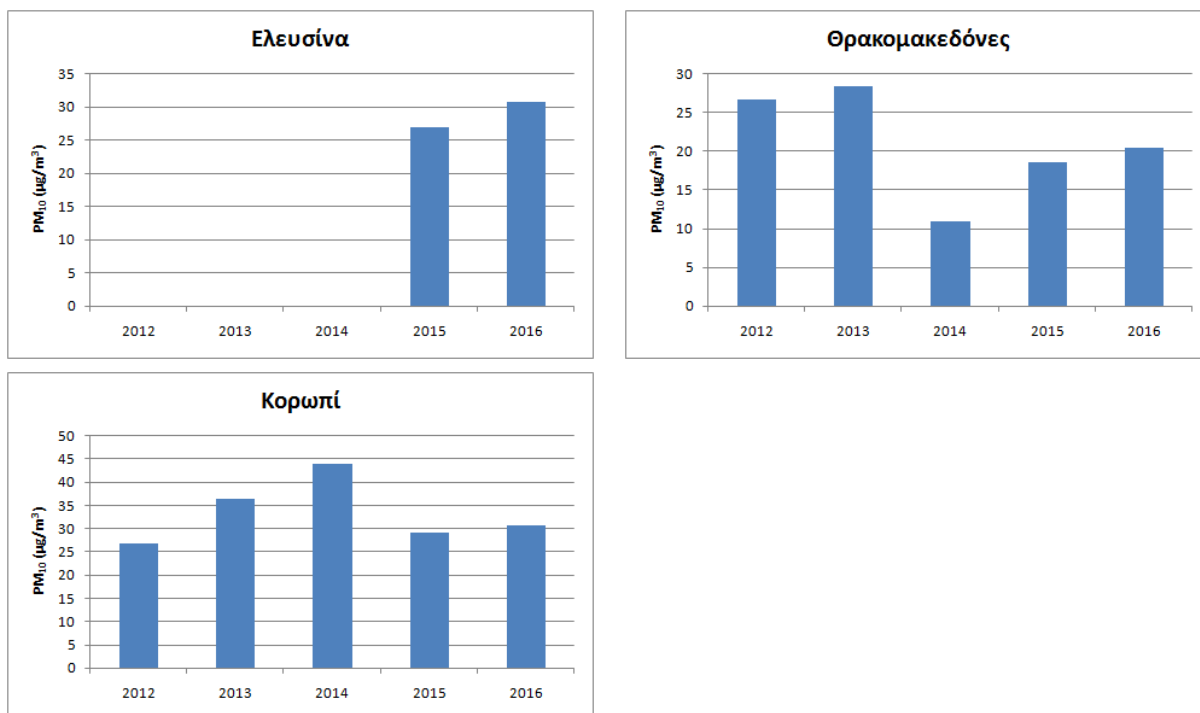


Σχήμα 21: Ετήσια διακύμανση μέσω μηνιαίων τιμών O_3 (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Θρακομακεδόνες το έτος 2013 ($97,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Πατησίων το έτος 2016 ($17,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Το 2016 εμφανίζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 σε όλους τους σταθμούς, με εξαίρεση τους σταθμούς Πειραιά, Αγ. Παρασκευή, Ελευσίνα, Θρακομακεδόνες και Κορωπί.

Στο Σχήμα 22 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.

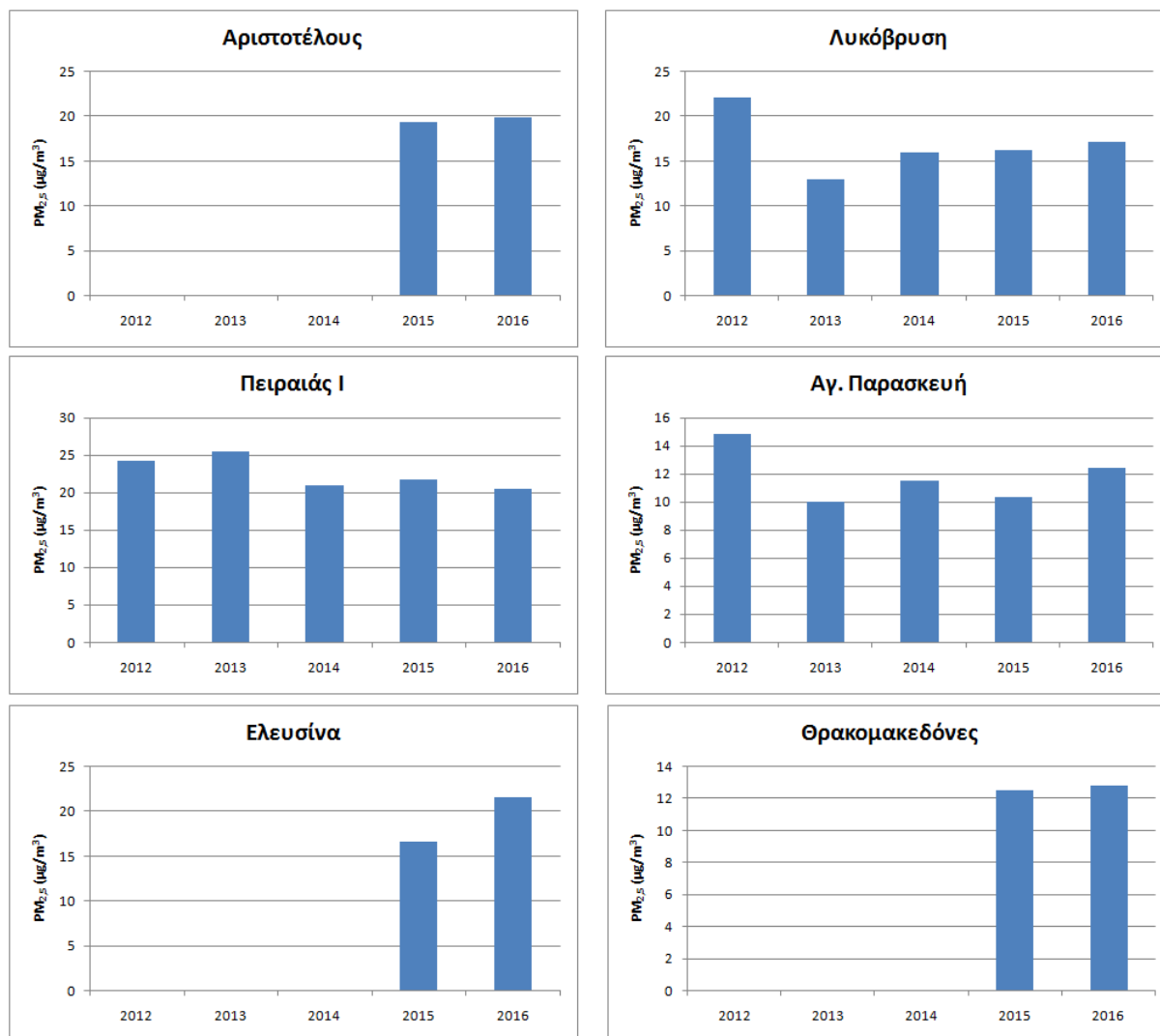




Σχήμα 22: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών PM₁₀ (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Πειραιά το έτος 2015 (45,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Θρακομακεδόνες το έτος 2014 (11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Το 2016 εμφανίζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 στους περισσότερους σταθμούς, με εξαίρεση τους σταθμούς Λιόσια, Λυκόβρυση, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη και Πειραιά.

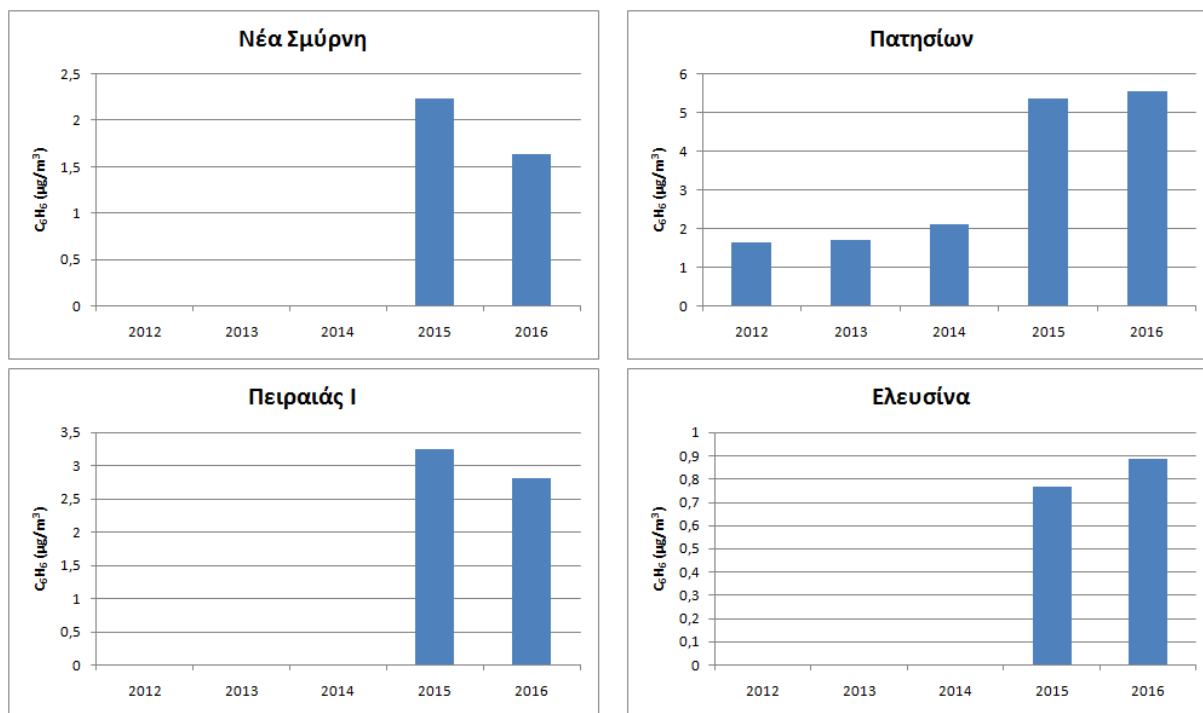
Στο Σχήμα 23 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων **αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$** όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.



Σχήμα 23: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών $PM_{2,5}$ (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Πειραιά το έτος 2013 ($25,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Αγ. Παρασκευή το έτος 2013 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Το 2016 εμφανίζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 σε όλους τους σταθμούς, με εξαίρεση τον σταθμό Πειραιά.

Στο Σχήμα 24 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις με τις διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων του **βενζολίου** όπως μετρήθηκαν από τον κάθε σταθμό της Αθήνας ξεχωριστά.



Σχήμα 24: Ετήσια διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών C₆H₆ (2012-2016)

Το μέγιστο των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς εμφανίζεται στην περιοχή Πατήσια το έτος 2016 (5,57 µg/m³), ενώ το ελάχιστο των συγκεντρώσεων όλων των σταθμών καταγράφεται στο σταθμό Ελευσίνα το έτος 2015 (0,77 µg/m³). Το 2016 εμφανίζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2015 στους σταθμούς Νέα Σμύρνη και Πειραιά, ενώ στους άλλους δύο σταθμούς (Πατησίων και Ελευσίνα) καταγράφηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις.

6.3 Υπερβάσεις ορίων ποιότητας ατμόσφαιρας

Οι υπερβάσεις αφορούν τους ρύπους για τους οποίους υπάρχουν όρια συγκέντρωσης σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για κάθε σταθμό και ρύπο καταγράφηκαν οι υπερβάσεις σε κάθε θέση μέτρησης για το διάστημα 2012-2016.

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

- *Υπερβάσεις του ορίου μέσης ωριαίας τιμής (350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις σε κανένα σταθμό μέτρησης.*
- *Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις σε κανένα σταθμό μέτρησης.*

Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

- *Υπερβάσεις του ορίου μέσης ωριαίας τιμής (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις σε κανένα σταθμό μέτρησης.*
- *Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): Παρατηρήθηκαν υπερβάσεις της ετήσιας οριακής τιμής σε κάποιες θέσεις μέτρησης (σταθμοί κυκλοφορίας) στο κέντρο.*

Πίνακας 34: Υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής NO₂ ανά έτος

Σταθμοί	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς (ΑΘΗ)	✓	✓	✓	✓	
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πατησίων (ΠΑΤ)	✓	✓	✓	✓	✓
Πειραιάς Ι (ΠΕΙ-1)	✓			✓	✓

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

- *Υπερβάσεις του ορίου μέγιστης ημερήσιας οκτάωρης τιμής (10 mg/m^3): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις σε κανένα σταθμό μέτρησης.*

Όζον (O₃)

- Υπερβάσεις του ορίου ενημέρωσης (μέση ωριαία τιμή 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): Παρατηρήθηκαν συνολικά 446 υπερβάσεις (ώρες) του ορίου ενημέρωσης κατά τα έτη 2012-2016. Από αυτές οι 358 καταγράφηκαν στους περιφερειακούς σταθμούς (ΛΙΟ, ΛΥΚ, ΜΑΡ, ΑΓ.ΠΑΡ, ΕΛΕ, ΘΡΑ), ενώ οι υπόλοιπες 88 στο κέντρο της πόλης (ΑΘΗ, ΓΕΩ, ΣΜΥ, ΠΕΡ).

Πίνακας 35: Αριθμός υπερβάσεων (ωρών) του ορίου ενημέρωσης ανά σταθμό (2012-2016)

Σταθμοί	Αριθμός ωρών				
	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς (ΑΘΗ)	1	-	-	-	1
Γεωπονική (ΓΕΩ)	9	6	-	-	1
Λιόσια (ΛΙΟ)	7	7	6	6	23
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	16	9	12	15	6
Μαρούσι (ΜΑΡ)	8	1	-	25	22
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	6	7	-	19	8
Περιστέρι (ΠΕΡ)	7	5	-	12	6
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	10	5	-	24	14
Ελευσίνα (ΕΛΕ)	4	-	-	2	8
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	32	19	2	51	24
Σύνολο	100	59	20	154	113

- Υπερβάσεις του ορίου συναγερμού (μέση ωριαία τιμή 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): Παρατηρήθηκαν συνολικά 34 υπερβάσεις (ώρες) του ορίου συναγερμού κατά τα έτη 2012-2016. Όλες οι υπερβάσεις καταγράφηκαν στους περιφερειακούς σταθμούς μέτρησης. Σημειώνεται ότι για τη λήψη εκτάκτων μέτρων θα πρέπει να καταγραφεί υπέρβαση του ορίου συναγερμού για τρεις συνεχόμενες ώρες.

Πίνακας 36: Ημερομηνίες και διάρκεια υπέρβασης (ώρες) του ορίου συναγερμού ανά σταθμό (2012-2016)

Σταθμοί	Ημερομηνία υπέρβασης	Διάρκεια υπέρβασης (ώρες)
Λιόσια (ΛΙΟ)	18/06/16	1
	19/06/16	1
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	16/07/12	4
	30/07/15	1
Μαρούσι (ΜΑΡ)	30/07/15	1
	31/07/15	1
	18/06/16	4
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)	16/07/12	1
	04/09/15	1
	18/06/16	2
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	16/07/12	5
	27/07/15	1
	28/07/15	1
	17/06/16	2
	18/06/16	5
	14/07/16	3
Σύνολο		34

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι σημειώθηκε υπέρβαση του ορίου συναγερμού για περισσότερες από τρεις (3) συνεχόμενες ώρες στις 16/07/12 στους σταθμούς Λυκόβρυση και Θρακομακεδόνες και στις 18/06/16 στους σταθμούς Μαρούσι και Θρακομακεδόνες. Δεν σημειώθηκε υπέρβαση του ορίου συναγερμού σε καμία θέση μέτρησης τα έτη 2013 και 2014, ενώ το 2015 δεν σημειώθηκε υπέρβαση του ορίου συναγερμού για περισσότερες από τρεις συνεχόμενες ώρες.

- *Υπερβάσεις της τιμής-στόχου για την προστασία της ανθρώπινης υγείας (μέγιστη ημερήσια μέση δωρη τιμή 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ως μέση τιμή 3 συνεχών ετών): Παρατηρήθηκαν συνολικά 1042 υπερβάσεις (ημέρες) του στόχου για την προστασία της υγείας κατά τα έτη 2012-2016.*

Από αυτές οι 791 καταγράφηκαν στους περιφερειακούς σταθμούς (ΛΙΟ, ΛΥΚ, ΜΑΡ, ΑΓ. ΠΑΡ, ΕΛΕ, ΘΡΑ, ΚΟΡ), ενώ οι υπόλοιπες 251 στο κέντρο της πόλης (ΣΜΥ, ΠΕΡ).

Πίνακας 37: Αριθμός ημερών με υπέρβαση του στόχου προστασίας της υγείας

Σταθμοί	Αριθμός ημερών (2012-2014)	Αριθμός ημερών (2013-2015)	Αριθμός ημερών (2014-2016)
Λιόσια (ΛΙΟ)	46	46	36
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	61	48	31
Μαρούσι (ΜΑΡ)	-	-	36
Νέα Σμύρνη (ΣΜΥ)	44	49	55
Περιστέρι (ΠΕΡ)	31	37	35
Αγ. Παρασκευή (ΑΓ.ΠΑΡ)*	48	82	82
Ελευσίνα (ΕΛΕ)*	-	-	26
Θρακομακεδόνες (ΘΡΑ)	80	74	66
Κορωπί (ΚΟΡ)	29	-	-
Σύνολο		-	-

* εκτός του έτους 2014

Αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀)

- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$): Παρατηρήθηκαν συνολικά 670 υπερβάσεις (ημέρες) του ορίου που αφορά στη μέση ημερήσια τιμή. Από αυτές οι 516 καταγράφηκαν στο κέντρο της πόλης (ΑΡΙ, ΠΕΙ-1, ΠΕΡ), ενώ οι υπόλοιπες 154 στους περιφερειακούς σταθμούς (ΛΥΚ, ΜΑΡ).

Πίνακας 38: Αριθμός υπερβάσεων (ημερών) του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (2012-2016)

Σταθμοί	Αριθμός ημερών				
	2012	2013	2014	2015	2016
Αριστοτέλους (ΑΡΙ)	-	48	45	67	72
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)	40	70	-	-	-
Μαρούσι (ΜΑΡ)	-	44	-	-	-
Πειραιάς Ι (ΠΕΙ-1)	38	39	-	89	70
Περιστέρι (ΠΕΡ)	-	-	-	-	48
Σύνολο	78	201	45	156	190

- *Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$):* Παρατηρήθηκαν υπερβάσεις της ετήσιας οριακής τιμής σε τρεις σταθμούς (API, ΛΥΚ, ΠΕΙ-1) οφειλόμενες όμως σε φυσική συνεισφορά μεταφοράς σκόνης από απομακρυσμένες ξηρές περιοχές (π.χ. Σαχάρα).

Πίνακας 39: Υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής PM_{10} ανά έτος

Σταθμοί	2012	2013	2014	2015	2016
Αριστοτέλους (API)				✓	✓
Λυκόβρυση (ΛΥΚ)		✓			
Πειραιάς I (ΠΕΙ-1)	✓			✓	✓

Αιωρούμενα σωματίδια ($\text{PM}_{2,5}$)

- *Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$):* Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις σε κανένα σταθμό μέτρησης.

Βενζόλιο (C_6H_6)

- *Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$):* Παρατηρήθηκε υπέρβαση της ετήσιας οριακής τιμής σε ένα σταθμό μέτρησης (Πατησίων) όπου καταγράφηκε μέση ετήσια τιμή $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2015 (με μικρή όμως πληρότητα μετρήσεων) και $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2016.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα

Η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, όπως και οι περισσότερες μητροπολιτικές περιοχές του κόσμου, έχει προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν αποτέλεσμα της υψηλής πυκνότητας πληθυσμού και της συσσώρευσης σημαντικών οικονομικών δραστηριοτήτων στην περιοχή, ενώ η έντονη ηλιοφάνεια συμβάλλει στα υψηλά επίπεδα φωτοχημικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης επιδεινώνονται συχνά από παράγοντες που ευνοούν τη συσσώρευση ατμοσφαιρικών ρύπων στην πόλη, όπως η τοπογραφία του λεκανοπεδίου (λεκάνη που περιβάλλεται από ορεινούς όγκους), τα φαράγγια στενών και βαθιών οδών και οι δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες όπως οι θερμοκρασιακές αναστροφές, οι χαμηλές ταχύτητες ανέμου, η θερμοκρασία, οι εκτεταμένες περίοδοι ξηρότητας κ.λπ.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων καταδεικνύουν μια τάση βελτίωσης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στο Λεκανοπέδιο Αττικής, όπως παρατηρείται από τη διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων. Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας καταδεικνύει μια γενική μείωση των συγκεντρώσεων ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, κυρίως των πρωτογενών ρύπων όπως του διοξειδίου του θείου (SO_2) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα αναφορικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας στο Λεκανοπέδιο οφείλεται στη συγκέντρωση του όζοντος (O_3). Για τον ρύπο αυτό παρατηρείται γενικώς μια τάση σταθεροποίησης των τιμών τα τελευταία χρόνια με έντονη διακύμανση από έτος σε έτος σε κάποιους σταθμούς, λόγω της φύσης του ρύπου. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις συναντώνται στα προάστια της Αθήνας, ενώ οι σταθμοί που βρίσκονται στο κέντρο της πόλης δεν αντιμετωπίζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα, απόρροια της υψηλής παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου (NO) που δρα ως καταβόθρα του όζοντος. Οι συγκεντρώσεις και οι υπερβάσεις του όζοντος είναι σαφώς μεγαλύτερες κατά τους θερινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο), γεγονός αναμενόμενο αφού το όζον σχηματίζεται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα επεισόδια επηρεάζουν όλη την Αττική, περισσότερο

όμως τους περιφερειακούς σταθμούς μέτρησης. Οι υπερβάσεις αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο στη γεωγραφική θέση της χώρας (μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες, συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό του όζοντος) και παρουσιάζονται σε όλες τις νότιες χώρες της Ε.Ε. Η τοπογραφία και το χαμηλό ανάμειξης - ύψος στρώματος σε συνδυασμό με νοτιοδυτικούς ντόπιους ανέμους χαμηλής ταχύτητας (αύρα της θάλασσας) στην Αθήνα, συχνά προκαλούν συσσώρευση όζοντος στα βόρεια και βορειοανατολικά προάστια, ειδικά κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών απογευματινών ωρών. Κατά τη διάρκεια του έτους παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές της συγκέντρωσης του O_3 , οι οποίες οφείλονται στη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας αναλόγως της εποχής.

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) εμφανίζει τάση μείωσης των τιμών συγκέντρωσής του, γεγονός που σχετίζεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη. Γενικά το SO_2 δεν παρουσιάζει μεγάλες συγκεντρώσεις, καθώς βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε όλο το Λεκανοπέδιο Αττικής. Η συγκέντρωσή του είναι πολύ χαμηλότερη από το ημερήσιο όριο των $125 \mu g/m^3$, ενώ η μέση ετήσια συγκέντρωση είναι κάτω από $15 \mu g/m^3$ σε όλους τους σταθμούς. Ο ρύπος αυτός που παλαιότερα αποτελούσε έντονο πρόβλημα, φαίνεται να έχει καταπολεμηθεί καθώς επεισόδια και υπερβάσεις δεν υπάρχουν για αυτό το ρύπο σε καμία θέση μέτρησης την τελευταία πενταετία. Το SO_2 μεγιστοποιείται κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο) με τις συγκεντρώσεις του να παρουσιάζουν μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις την περίοδο αυτή. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι σημαντική πηγή του διοξειδίου του θείου είναι οι κεντρικές θερμάνσεις οι οποίες όταν δε χρησιμοποιούνται αφήνουν μια συγκέντρωση υποβάθρου του SO_2 κοινή για όλους τους σταθμούς.

Για το μονοξείδιο του αζώτου (NO) παρατηρείται μικρή τάση μείωσης των τιμών ή σταθεροποίηση, με εμφανής τη διαφορά των συγκεντρώσεων στο κέντρο της πόλης σε σχέση με την περιφέρεια. Αντίστοιχα, το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) εμφανίζει τάση μείωσης των τιμών το διάστημα 2012-2014 στις περισσότερες θέσεις μέτρησης, ενώ τα δύο τελευταία χρόνια παρατηρείται μικρή τάση αύξησης των τιμών στους περισσότερους σταθμούς. Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες στα προάστια, απόρροια των αυξημένων δραστηριοτήτων στο κέντρο συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές. Η μέση ετήσια τιμή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου για τους περισσότερους σταθμούς βρίσκεται κάτω από το όριο των $40 \mu g/m^3$ όπως έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αντιθέτως, οι σταθμοί αστικοί κυκλοφορίας (Αριστοτέλους, Πατησίων, Πειραιάς)

ξεπερνούν το όριο. Το NO₂ παρουσιάζει υπερβάσεις του ορίου της μέσης ετήσιας τιμής σε κάποιες θέσεις μέτρησης (σταθμοί κυκλοφορίας) στο κέντρο της Αθήνας, ενώ δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις με βάση το ωριαίο όριο των 200 µg/m³ (μέση ωριαία τιμή). Πιο επιβαρυνμένος είναι ο σταθμός Πατησίων λόγω της έντονης κυκλοφορίας οχημάτων. Τα οξείδια του αζώτου είναι ρύποι που οφείλονται στην κυκλοφορία των οχημάτων και παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα κοντά στην πηγή εκπομπής τους. Το NO₂ δεν παρουσιάζει σαφή μηνιαία μεταβολή, ενώ ο πρωτογενής ρύπος NO εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) απαντάται σε μικρές συγκεντρώσεις στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Οι μέσες ετήσιες τιμές του βρίσκονται κάτω από τα 1,5 mg/m³ ενώ πιο επιβαρυνμένοι είναι οι σταθμοί στο κέντρο της πόλης (κυρίως Πατησίων και Αθηνάς) διότι εκεί υπάρχει μεγαλύτερη κυκλοφορία οχημάτων. Οι μέγιστες τιμές CO συμπίπτουν με τις μέγιστες τιμές κυκλοφορίας. Η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων δείχνει ότι, παρόλο που υπάρχουν σε διάφορες θέσεις αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών από χρόνο σε χρόνο, παρατηρείται πτωτική τάση, γεγονός που οφείλεται σε μέτρα ελέγχου εκπομπής αέριων ρύπων με την πάροδο του χρόνου. Δεν σημειώθηκαν υπερβάσεις της οριακής τιμής σε κανένα σταθμό μέτρησης.

Για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀, PM_{2,5}) παρατηρείται γενικά μικρή μείωση στις τιμές ρύπανσης ή σταθεροποίηση κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, με κάποιες αυξομειώσεις σε κάποια έτη. Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο της πόλης είναι υψηλότερες σε σχέση με την περιφέρεια. Οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM₁₀ πέφτουν κάτω από το ετήσιο όριο των 40 µg/m³ στους περιφερειακούς σταθμούς μέτρησης, παρουσιάζοντας υπέρβαση της μέσης ετήσιας οριακής τιμής σε κάποιους σταθμούς οφειλόμενη όμως σε φυσική συνεισφορά. Τα PM₁₀ είναι από τους ρύπους που αποτελούν πρόβλημα για τα περισσότερα κράτη-μέλη της Ε.Ε. Οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM_{2,5} πέφτουν κάτω από το ετήσιο όριο των 25 µg/m³ σε όλες τις θέσεις μέτρησης, χωρίς να παρουσιάζουν υπέρβαση της οριακής τιμής κατά την τελευταία πενταετία. Ωστόσο, οι υπερβάσεις των μέσων ημερήσιων ορίων συγκέντρωσης είναι συχνές και για τους δύο ρύπους. Τα επεισόδια των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ σημειώνονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και σε όλο το Λεκανοπέδιο Αττικής. Επιπλέον, τα επεισόδια που εκτείνονται χωρικά συνήθως έχουν διάρκεια μερικές ημέρες, εμφανίζοντας ταυτόχρονα πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Τα PM₁₀ εμφανίζουν υπερβάσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ η ατμόσφαιρα είναι περισσότερο επιβαρυνμένη αναφορικά με τα PM_{2,5} κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Οι υπερβάσεις

του ορίου που αφορά στη μέση ημερήσια τιμή για τα PM_{10} είναι περισσότερες στους σταθμούς στο κέντρο της πόλης. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν συγκέντρωση περίπου σταθερή όλο το έτος, χωρίς να παρουσιάζουν κάποια εποχικότητα, καθώς οι εκπομπές μεγάλου ποσοστού προέρχονται κυρίως από φυσικές πηγές (μεταφορά σκόνης από ξηρές περιοχές εντός και εκτός χώρας, θαλάσσια αερολύματα κ.ά.). Ωστόσο, παρατηρείται απότομη αύξηση στις τιμές τους από το Δεκέμβριο του 2012 και μετά, κατά τη χειμερινή περίοδο, λόγω της έναρξης χρήσης βιομάζας ως θερμαντικού μέσου και την απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας σωματιδίων.

Για το βενζόλιο παρατηρείται μια τάση σταθεροποίησης των συγκεντρώσεων το χρονικό διάστημα 2012-2014, ενώ από το έτος 2015 και μετά παρατηρήθηκε αύξηση της τιμής συγκέντρωσης στην περιοχή Πατήσια, ξεπερνώντας το ετήσιο όριο των $5 \mu g/m^3$. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις του βενζολίου εμφανίζονται το χειμώνα, όπως συμβαίνει και με τους υπόλοιπους ρύπους που σχετίζονται με την κυκλοφορία.

Η ποιότητα της ατμόσφαιρας στην Αττική αποτελεί ένα ζήτημα που σαφώς επηρεάζει τη ζωή ενός μεγάλου πληθυσμού, επιβάλλοντας την παρακολούθησή της. Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η συνεχής λήψη δεδομένων, αφενός μεν για τους ρύπους και αφετέρου δε μετεωρολογικά προκειμένου να είναι εφικτή η μετέπειτα αξιολόγησή τους. Επιπλέον, θα ήταν επιθυμητός ο εξοπλισμός των υπαρχόντων σταθμών μέτρησης με επιπλέον πειραματικό εξοπλισμό προκειμένου να είναι εφικτή η μέτρηση όλων των ρύπων σε κάθε σταθμό για να υπάρχει μια περισσότερο ολοκληρωμένη εικόνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βαλαβανίδης, Α. (2007). *Οικοτοξικολογία και περιβαλλοντική τοξικολογία*. Εκδόσεις Τμήματος Χημείας Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα.

Γεντετάκης, Ι. (2010). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες*. 2^η έκδοση, Αθήνα: Κλειδάριθμος.

Γρυδάκη, Ν. (2010). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση Αστικών Περιοχών στην Ευρώπη: Παρούσα Κατάσταση και Μελλοντική Πρόγνωση*. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.

Δημητρακόπουλος, Π. (2005). *Ποσοτική Ανάλυση Οικοσυστημάτων*. Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

ΕΑΡΘ (2009). *Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα - Έκθεση 2008*. ΥΠΕΧΩΔΕ, Γεν. Δ/νση Περιβάλλοντος – Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Απρίλιος 2009.

ΕΛΣΤΑΤ (2017). *Πίνακας Αποτελεσμάτων Μόνιμου Πληθυσμού Απογραφής 2011*. Ελληνική Στατιστική Αρχή.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2015). *Οδηγία (ΕΕ) 2015/1480 της Επιτροπής της 28ης Αυγούστου 2015 για την τροποποίηση ορισμένων παραρτημάτων των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2004/107/ΕΚ και 2008/50/ΕΚ, οι οποίες ορίζουν τους κανόνες σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα*. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ζάνης, Π. (2014). *Σημειώσεις για την Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη.

Ζουριδάκης, Χ. (2016). *Μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην πόλη της Λάρισας την περίοδο 2001-2013*. Πτυχιακή εργασία, ΑΕΙ Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Πειραιάς.

- Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Κ. (1998). *Χημεία Περιβάλλοντος*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Λαζαρίδης, Μ. (2008). *Ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Λαζαρίδης, Μ. (2010). *Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2η έκδοση, Θεσσαλονίκη.
- Μαλανδρής, Α. (2014). *Η τάση του όζοντος στη Θεσσαλονίκη*. Πτυχιακή εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, Θεσσαλονίκη.
- Μαυρογιάννης, Κ. (1981). *Παρατηρήσεις επί του κλίματος των Αθηνών και της ενεργείας αυτού επί της ζωϊκής οικονομίας*. Αθήνα
- Μελάς, Δ. (1997). *Σημειώσεις για Ατμοσφαιρική Ρύπανση*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
- Μελάς, Δ. (2008). *Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Α.Π.Θ.
- Μουστρής, Κ., Π. (2015). *Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων*. Σημειώσεις μαθήματος, Ενότητα #8: Η Ατμόσφαιρα της Γης – Το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα, ΑΕΙ Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.
- Μπεργελές, Γ. (2010). *Πηγές, Διασπορά και Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μπινιάρης, Σ. (2004). *Το Περιβάλλον – Ρύπανση και Προστασία*. Μελέτη.
- Οικονομόπουλος, Α. (2000). *Σημειώσεις Μαθήματος Ρύπανση και Έλεγχος Ρύπανσης Αέρα*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σούφλα, Ε. (2013). *Μελέτη των Ατμοσφαιρικών Ρύπων στην πόλη της Πάτρα με τη μέθοδο της Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες*. Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πάτρα.
- ΥΠΕΚΑ (2013). *Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2012*. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Μάιος 2013.

ΥΠΕΚΑ (2014). *Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2013*. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Μάιος 2014.

ΥΠΑΠΕΝ (2015). *Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2014*. Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Γεν. Δ/ση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Δ/ση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, Ιούλιος 2015.

ΥΠΕΝ (2016). *Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2015*. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Γεν. Δ/ση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Δ/ση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, Σεπτέμβριος 2016.

ΥΠΕΝ (2017). *Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2016*. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Γεν. Δ/ση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Δ/ση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, Ιούνιος 2017.

ΥΠΕΧΩΔΕ (2005). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση στην Αθήνα*. Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση ΕΑΡΘ, Έκθεση 2004, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας.

Φούντη Μ. (2004). *Εκπομπές και διαχείριση ρύπων*. ΕΜΠ.

Χρονόπουλος, Γ. (2005). *Παρακολούθηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος – Διαχρονική εξέλιξη της ρύπανσης*. ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ/ση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Bradstreet, J.,W. (1996). *Measurement of hazardous air pollutants*. Hazardous Air Pollutants, pp.161-217.

Brunekreef, B., Holgate, S., T. (2002). *Air pollution and health*. Lancet, 360, pp.1233-1242.

Dongarrà, S., Manno, E., Varrica, D., Lombardo, M., Vultaggio, M. (2010). *Study on ambient concentrations of PM₁₀, PM_{10-2.5}, PM_{2.5} and gaseous pollutants. Trace elements and chemical speciation of atmospheric particulates.*, Atmospheric Environment, 44, 5244-5257.

European Commission (2005). *Thematic Strategy on air pollution*. COM (2005) 446.

European Union (2007). *State of European Cities Report*. 2007/EU, Regional Policy.

European Union (1996). *Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management (Air Quality Framework Directive)*. Official Journal L296, 21/11/1996, pp. 55-63.

European Union (1997). *Council Decision of 27 January 1997 establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the Member States (Exchange of Information (97/101/EC))*. Official Journal L 035, 05/02/1997, pp. 14-22.

European Union (1999). *Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for Sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air (first Daughter Directive (99/30/EC))*. Official Journal L 163, 29/06/1999, pp. 41–60.

European Union (2000). *Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air (second Daughter Directive (2000/69/EC))*. Official Journal L 313, 13/12/2000, pp. 12–21.

European Union (2001). *Decision 97/101/EC establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the MemberStates (2001/752/EC)*. Official Journal L 282, 26/10/2001, pp. 69–76.

European Union (2002). *Directive 2002/3/EC of the European Parliament and the Council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air (third Daughter Directive (2002/3/EC))*. Official Journal L 67, 9/03/2002, pp. 14–30.

European Union (2004). *Directive 2004/107/EC of the European Parliament and the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air (fourth Daughter Directive (2004/107/EC))*. Official Journal L 23, 26/01/2005, pp. 3–16.

European Union (2008). *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe*. Official Journal L 152, 11/06/2008, pp. 1–44.

Grivas, G., Cheristanidis, S., Chaloulakou, A. (2012). *Elemental and organic carbon in the urban environment of Athens. Seasonal and diurnal variations and estimates of secondary organic carbon*. Science of the Total Environment, 414, 535–545.

Grivas, G., Chaloulakou, A., Kassomenos, P. (2008). *An overview of the PM₁₀ pollution problem, in the Metropolitan Area of Athens, Greece. Assessment of controlling factors and potential impact of long range transport*. Science of the Total Environment, 389, 165–177.

Mavrakou, T., Philippopoulos, K., Deligiorgi, D. (2012). *The impact of sea breeze under different synoptic patterns on air pollution within Athens basin*. Science of the Total Environment, 433, 31–43.

Newell, R.,E., Reichle, H., G., Seiler, W. (1989). *Carbon monoxide and the burning earth*. Scientific American, 262: 82–88.

Nielsen, T., Jørgensen, H.,E., Larsen, C., J., Poulsen, M. (1996). *City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects*. Science of The Total Environment, 189–190, pp.41–49.

Ormrod, D., P. (1984). *Impact of trace element pollution on plants*. In: Treshow M, ed. Air Pollution and Plant Life. Wiley: Chichester, pp. 291–319.

Pasquill, F. (1961). *The estimation of the dispersion of windborne material*. The Meteorological Magazine, 90, 1063, pp. 33–49.

Querol, X., Alastuey, A., Viana, M.M., Rodriguez, S., Artiñano B., Salvador P., Garcia do Santos, S., Fernandez Patier, R., Ruiz, C.R., de la Rosa, J., Sanchez de la Campa, A., Menendez, M., Gil, J.I. (2004) *Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in Spain*. Aerosol Science, 35, 1151–1172.

Ross, G. (2004). *The public health implications of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 59, pp.275–291.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

**Παράρτημα Ι: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών
ατμοσφαιρικής ρύπανσης (2012-2016)**

Μέσες ετήσιες τιμές SO₂ (ωριαίες τιμές, µg/m³)

	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς	7	7	6	7	5
Αριστοτέλους				4	4
Πατησίων	7	7	8	7	4
Πειραιάς Ι	10	10	14	11	8
Ελευσίνα	6	6	5	8	7
Κορωπί				4	
Αλιάρτος	2	1,5	1,5	2,5	3

Μέσες ετήσιες τιμές NO (ωριαίες τιμές, µg/m³)

	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς	42	41	40	54	39
Αριστοτέλους	37	37	35	44	37
Γεωπονική	15	19	16	19	17
Λιόσια	8	8	9	10	9
Λυκόβρυση	14	15	12	8	9
Μαρούσι	13	14	13	21	15
Νέα Σμύρνη	11	10	12	12	12
Πατησίων	77	83	82	83	81
Πειραιάς Ι	35	40	51	59	54
Περιστέρι	7	7	8	10	10
Αγ. Παρασκευή	3	3	4	3	2
Ελευσίνα	7	7	8	27	21
Θρακομακεδόνες	4	4	4	3	3
Κορωπί	4	5	6	19	18

Μέσες ετήσιες τιμές NO₂ (ωριαίες τιμές, µg/m³)

	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς	51	43	41	41	32
Αριστοτέλους	54	50	52	52	47
Γεωπονική	35	37	39	34	28
Λιόσια	21	20	22	24	20
Λυκόβρυση	21	21	24	19	20
Μαρούσι	28	25	25	25	27
Νέα Σµύρνη	29	28	32	28	31
Πατησίων	64	52	53	67	70
Πειραιάς Ι	41	36	33	52	64
Περιστέρη	26	27	26	28	29
Αγ. Παρασκευή	9	8	8	11	14
Ελευσίνα	30	32	31	24	29
Θρακομακεδόνες	7	8	9	8	8
Κορωπί	10	13	14	20	28
Αλίκιο	2,7	3	5,5	3,7	4

Μέσες ετήσιες τιμές CO (ωριαίες τιμές, mg/m³)

	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς	1,3	1,3	1,2	1,2	0,7
Γεωπονική	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5
Μαρούσι	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
Νέα Σµύρνη	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5
Πατησίων	1,5	1,4	1,5	1,3	1,4
Πειραιάς Ι	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8

Μέσες ετήσιες τιμές O_3 (ωριαίες τιμές, $\mu g/m^3$)

	2012	2013	2014	2015	2016
Αθηνάς	38	37	34	35	37
Γεωπονική	52	56	52	56	54
Λιόσια	68	80	69	71	67
Λυκόβρυση	72	66	60	64	55
Μαρούσι	70	66	63	69	62
Νέα Σμύρνη	66	67	63	68	65
Πατησίων	24	25	20	26	18
Πειραιάς I	41	33	35	33	24
Περιστέρι	65	65	61	63	65
Αγ. Παρασκευή	85	83	57	83	86
Ελευσίνα	69	61	45	57	61
Θρακομακεδόνες	94	97	74	89	91
Κορωπί	82	78	75	50	53
Αλιάρτος	52	44	54	56	68

Μέσες ετήσιες τιμές PM_{10} (24ωρες τιμές, $\mu g/m^3$)

	2012	2013	2014	2015	2016
Αριστοτέλους	31	40	34	41	41
Λιόσια				35	34
Λυκόβρυση	37	42	30	32	29
Μαρούσι	31	35	30	33	32
Νέα Σμύρνη				34	30
Πειραιάς I	39	37	34	45	43
Περιστέρι				30	35
Αγ. Παρασκευή	23	26	21	21	22
Ελευσίνα	37	38	35		31
Θρακομακεδόνες	27	29		21	21
Κορωπί	27			29	31

Αλίαρτος				32	34
-----------------	--	--	--	----	----

Μέσες ετήσιες τιμές $PM_{2,5}$ (24ωρες τιμές, $\mu g/m^3$)

	2012	2013	2014	2015	2016
Αριστοτέλους				20	20
Λυκόβρυση	22	12	16	16	17
Πειραιάς I			20	21	20
Αγ. Παρασκευή	15	10	11	10	12
Ελευσίνα				16	21
Θρακομακεδόνες				13	13
Αλίαρτος				15	16

Μέσες ετήσιες τιμές C_6H_6 (ωριαίες τιμές, $\mu g/m^3$)

	2012	2013	2014	2015	2016
Νέα Σμύρνη				2,4	1,7
Πατησίων	1,7	1,7	2,1	5,3	5,7
Πειραιάς I				3,4	2,8
Ελευσίνα				0,6	0,8

Παράρτημα II: Διαχρονική μεταβολή μέσων μηνιαίων τιμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης (2012-2016)

Μέσες μηνιαίες τιμές SO₂ (μg/m³)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	6	6	8	5		7	5	8	4	5	8	5	8	4	4	9	7	9	7	8	8	9	5	11	5	6	8	5	8	7
Αριστοτέλους					5					4				2	4				3	8				3	4				3	6
Πατησίων	16	10	9	13	5	10	8	9	16	5	10	8	9	20	5	5	8	7	3	8	4	8	6	4	5	3	7	7	5	3
Πειραιάς Ι	12	11	14	14	5	8	9	12	14	7	10	9	16	12	7	8	13	22	9	11	9	12	15	12	6	9	13	18	9	6
Περιστέρη	9	6	6			7	4	6			7	4	6			4	4	4			5	5	6			5	4	5		
Ελευσίνα	9	10	5	6	11	8	5	5	7	11	9	6	6	5	8	6	7	6	5	15	6	8	6	10	6	8	6	5	7	
Κορωπί														4					4					3					3	
Αλιάρτος	1,5	1			3	1	1			1,5	1,5	1		2	1,5	1,5	1		1	2	2	1		1,5	2	3,5	1		2	2
	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	6	5	5		3	5	5	5		4	7	6	9		4	9	7	7		4	6	7	4		4	5	10	5		7
Αριστοτέλους				5	4				5	3					3					3					2					5
Πατησίων	5	5	8	4	2	3	5	5	2	2	4	6	4	4	3	6	7	8	3	3	5	7	10	6	5	9	10	13	8	6
Πειραιάς Ι	9	9	24	13	7		4	12	12	11		4	9	11	9	10	11	8	8	6	9	9	5	9	6	10	13	12	5	9
Περιστέρη	5	3	6			3	3	5			4	5	3			4	4	4			3	4	4			6	7	7		
Ελευσίνα	4	4	4	10	2	2	4	4	5	3	3	6	4	6	4	3	5	5	8	6	3	5		11	3	9	6	5	14	4
Κορωπί				4					4					4					2					4					8	
Αλιάρτος	1,5	1		1	3,5	3	3		4	5	3,5	3		5	5	3	1,5		3	2	1	1		2,5	2	1	1		3	5

Μέσες μηνιαίες τιμές NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	76	79	73	78	79	51	41	53	47	67	54	32	38	33	28	22	27	23	27	30	20	17	16	24	15	22	15	20	26	20
Αριστοτέλους	71	72	67	80	75	45	44	45	36	60	44	29	28	24	25	19	25	21	23	28	15	17	15	23	13	13	11	18	18	20
Γεωπονική	39	37	40	48	38	18	21	13	20	35	19	15	12	10	12	9	9	12	9	15	6	6	7	9	6	4	3	10	7	8
Λιόσια	19	16	16	17	17	10	8	12	8	14	9	6	7	5	7	6	6	6	6	9	3	4	4	6	4	3	3	4	4	5
Λυκόβρυση	31	28	21	5	18	18	8	10		17	18	10		6	8	11	8	10	6	10	9	12	8	11	8	8		8	3	4
Μαρούσι	33	32	25	33	32	13	12	19	6	28	26	12	11	5	9	7	8	10	7	11	6	7	5	11	8	5	5	5	24	9
Νέα Σμύρνη	27	25	22	19	27	17	17	15	9	24	14	11	11	6	7	6	8	7	6	11	6	6	4	6	4	5	5	5	4	6
Πατησίων	125	126	115	125	132	76	92	102	85	126	89	81	78	58	74	69	74	67	59	87	77	73	57	71	73	56	63	62	57	75
Πειραιάς Ι	55	41	58	71	78	36	45	51	48	71	33	35	42	46	40	16		38	36	51	18	40	30	41	36	23	43	42	39	56
Περιστέρι	17	18	13	22	27	11	9	13	8	23	9	6	6	5	6	4	4	4	4	8	3	3	3	4	5	3	2	4	3	3
Αγ. Παρασκευή	3	3	5	4	2	3	2	5	3	2	3	3	4	3	1	3	3	4	1	3	4	3	4	2	4	5	3	4	3	5
Ελευσίνα	14	12	15	12	37	11	9	13	7	48	10	8	7	5	27	7	7	6	6	41	5	5	4	11	16	5	4	5	23	10
Θρακομακεδόνες	5	4		7	5	5	4	4		5	5	4	4	7	5	5	4	4	2	6	4	4	4	2	5	4	4	4	2	1
Κορωπί	7	6	10		22	4	6	9	7	28	3		8		19	4		7	4	28	4	3	6	4	21	3	3	5	12	23

Μέσες μηνιαίες τιμές NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	26	20	18	22	21	24	17	20		19	39	28	25		30	43	56	43		36	49	65	54		53	82	87	102	142	69
Αριστοτέλους	16	13	13	15	11	17	11	18	10	12	34	21	21	27	24	35	54	37	35	35	38	61	50	99	63	87	82	87	131	74
Γεωπονική	4	4	5	4	4	9	6	4	2	4	14	13	8	7	9	16	23	17	13	12	16	33	24	38	25	41	41		52	30
Λιόσια	2	2	4	4	3	2	2	4	3	3	5	5	5	5	5	7	10	9	7	6	8	12	1	20	12	21	20	23	36	19
Λυκόβρυση	7	8	6	3	2	6	6	5	2	2	10	7	9	4	3	14	18	8	6	7	12	24	18	14	13	26	25	28	21	17
Μαρούσι	5	5	4	30	3	4	4	4	31	4	10	10	5	5	15	12	15	7	9	9	10	24	18	30	23	33	35	44	53	28
Νέα Σμύρνη	3	3	4	3	2	3	3	4	2	3	4	7	5	5	6	5	9	9	8	9	13	14	17	21	15	27	21	40	59	32
Πατησίων	47	38	57	38	38	35	32	45	32	37	38	78	65	62	59	83	104	82	74	67	69	108	104	151	102	140	123	151	189	110
Πειραιάς Ι	29	33	45	52	40		22	40	46	37		36	41	64	47	37	52	54	67	52	45	46	69	88	65	66	60	91	111	74
Περιστέρι	2	1	5	2	1	1	1	4	1	2	4	4	4	3	3	5	7	6	5	4	5	10	10	18	14	21	19	21	38	23
Αγ. Παρασκευή	3	3	4	4	1	3	3	3	3	1	3	4	3	4	1	2	4	3	5		1	4	4	2	2	2	4	4	3	2
Ελευσίνα	4	3	4	30	10	3	3	4	32	11	4	6	4	55	13	7	9		45	11	7	10		50	15	12	11	17	38	13
Θρακομακεδόνες	4	4	4	2	2	4	4	4	2	1	4	4	4	2	1	5	5	4	2	1	5	5	5	3	2	5		4	5	1
Κορωπί	2	2	5	19	22	2	2	4	24	18	3	4	5	40	12	4	4	5	32	4	4	7	6	31	6	7	8		22	6

Μέσες μηνιαίες τιμές NO₂ (μg/m³)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	52	41	42	43	36	55	36	41	38	37	59	39	39	38	29	45	45	36	38	34	46	39	37	41	27	52	41	43	43	32
Αριστοτέλους	48	48	50	63	47	59	49	53	55	50	66	49	49	53	44	53	58	45	52	50	49	51	43	56	42	51	49	50	52	46
Γεωπονική	33	38	42	45	30	33	35	29	40	33	40	34	32	37	26	33	41	39	39	32	35	37	27	44	25	31	34	43	35	29
Λιόσια	26	27	25	33	30	25	23	26	22	28	27	22	21	20	21	21	18	20	21	28	18	18	18	24	18	16	15	19	16	21
Λυκόβρυση	27	27	29	26	25	30	8	20		27	32	14		19	22	22	18	17	19	27	22	24	20	22	19	17		22	16	18
Μαρούσι	37	33	31	33	31	34	30	30	20	36	36	28	25	20	28	27	27	26	21	35	27	24	21	23	25	22	21	23	19	26
Νέα Σμύρνη	39	36	38	29	35	39	35	40	22	38	43	31	36	21	29	26	36	32	25	37	28	28	25	30	25	24	28	27	25	30
Πατησίων	78	48	48	50	64	72	50	48	45	75	84	53	48	54	73	77	55	58	79	86	80	57	62	89	85	71	58	60	77	87
Πειραιάς Ι	39	24	29	28	54	40	25	30	27	59	42	23	30	29	62	30		31	46	74	35	44	31	58	64	45	48	38	65	75
Περιστέρι	11	38	35	33	35	23	33	32	24	40	39	29	28	22	29	25	29	25	29	37	25	27	21	31	24	23	21	18	22	31
Αγ. Παρασκευή	14	8	8	8	13	12	9	8	8	17	10	10	7	7	12	2	8	8	10	20	7	8	8	14	15	12	8	9	10	18
Ελευσίνα	32	36	36	33	29	36	36	36	27	34	40	31	33	23	34	31	35	30	16	39	31	31	27	18	30	30	27	33	20	26
Θρακομακεδόνες	8	8		14	10	7	8	11		11	7	8	9	11	10	7	6	10	9	13	6	8	10	9	9	6	6	9	6	9
Κορωπί	13	12	20		33	14	11	17	14	37	12		15		39	9		16	7	45	10	13	12	12	38	8	11	11	17	29
Αλιάρτος	3,3	3,6			4,3	2,1	3			4	2,7	2,4		1,8	2,7	1,8	1,8		1,8	3,6	1,5	1,2		3	2,7	1,8	1,2		2,4	6,1

Μέσες μηνιαίες τιμές NO₂ (μg/m³)

	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	56	45	42	43	32	51	40	42		30	54	44	40		34	50	50	41		31	45	44	42		31	48	46	43	47	30
Αριστοτέλους	59	47	46	52	41	51	41	54	38	38	56	51	55	49	49	54	58	57	44	51	50	51	58	56	53	52	46	58	60	53
Γεωπονική	34	34	31	26	19	27	21	35	18	19	35	37	41	25	28	41	45	43	24	27	35	43	44	35	33	40	40		37	33
Λιόσια	17	10	17	15	8	14	9	19	12	10	22	20	20	23	15	24	26	24	21	16	22	25	27	37	24	26	24	32	42	21
Λυκόβρυση	17	17	24	15	10	12	12	25	10	11	16	18	31	17	18	17	26	29	15	22	16	30	25	24	24	28	29	25	25	24
Μαρούσι	22	16	21	20	15	18	11	19	15	18	26	29	25	22	26	30	28	25	23	26	23	28	29	37	30	33	31	34	36	30
Νέα Σμύρνη	13	21	24	23	20	9	17	23	18	22	21	26	24	28	30	30	24	30	29	32	32	24	39	41	36	41	35	44	45	39
Πατησίων	73	47	56	70	63	57	44	52	62	64	51	62	54	73	65	42	56	47	61	58	32	49	49	78	63	43	47	50	66	61
Πειραιάς Ι	50	45	41	68	76		38	39	61	65		39	35	61	68	41	39	33	49	60	38	33	32	59	58	41	31	31	62	56
Περιστέρι	23	15	22	26	15	18	13	20	16	17	27	27	22	28	27	29	33	24	24	27	28	34	29	42	37	37	33	32	41	31
Αγ. Παρασκευή	8	6	9	12	9	7	6	7	10	8	10	12	8	12	8	10	10	7	11		9	8	9	14	14	8	8	9	18	15
Ελευσίνα	29	25	28	24	23	23	20	28	21	23	23	32	30	22	25	27	36		20	24	27	37		29	30	35	35	32	31	27
Θρακομακεδόνες	4	3	8	6	2	4	5	7	6	3	7	11	7	8	5	8	11	8	6	5	6	10	8	10	8	9		17	9	5
Κορωπί	7	9	12	21	23	7	8	11	23	25	9	15	12	25	17	10	14	11	22	14	9	17	17	31	16	13	18		31	17
Αλιάρτος	1,8	1,8		3,3	4	2,4	2,7		4,3	4	2,7	3		4,3	3,2	2,7	3,9		3	4,6	3,3	3,9		5,5	4	4	6,4		6,1	5,2

Μέσες μηνιαίες τιμές CO (μg/m³)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	1,7	1,8	1,7	1,6	1,4	1,6	1,3	1,4	1,1	1,2	1,5	1,2	1,2	1,0	0,6	0,9	1,1	0,9	0,8	0,6	0,9	0,9	0,9	0,7	0,3	0,9	0,9	0,9	0,8	0,4
Γεωπονική	1,0	1,2	1,0	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5		0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Μαρούσι	1,0	1,1	0,9	1,2	0,7	0,6	0,6	0,6		0,6	0,7	0,5	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5	0,2	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3
Νέα Σμύρνη	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9	0,7	0,7	0,7	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Πατησίων	1,9	1,9	1,9	2,0	1,9	1,3	1,4	1,6	1,4	1,9	1,7	1,3	1,3	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	0,7	1,5	1,5	1,2	1,2	0,9	1,3	1,1	1,0	1,2	0,7	1,4
Πειραιάς Ι	1,2	1,0	1,3		1,1	1,0	0,9	1,1		1,0	1,0	0,7	0,9		0,7	0,6	0,7	0,7	0,4		0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6
Περιστέρι	0,9	1,1	0,7			0,5	0,7	0,2			0,5	0,6	0,2			0,4	0,5	0,2			0,4	0,4	0,2			0,3	0,3	0,4		
	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	1,0	1,1	0,8		0,5	1,0	1,0	0,8		0,3	1,3	1,1	0,9		0,7	1,3	1,6	1,2		0,7	1,5	1,7	1,5		1,0	2,0	2,1	2,0	2,2	
Γεωπονική	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	1,3	1,1	1,2	1,1	0,6
Μαρούσι	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,5	0,6	0,5	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5	1,2	1,2	1,2	1,1	0,7
Νέα Σμύρνη	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,6	0,5	0,3	0,4	0,3	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4	0,7	0,9	0,7	0,8	0,6	1,2	1,2	1,2	1,3	0,8
Πατησίων	1,2	0,7	1,2	0,9	0,8	0,9	0,7	1,0	0,8	0,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,1	1,4	1,8	1,4	1,4	1,1	1,5	1,9	1,8	2,3	1,7	2,1	2,0	2,4	2,7	1,6
Πειραιάς Ι	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6		0,6	0,7	0,5	0,5		0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	1,0	1,0	0,7	0,3	0,9	1,2	0,9	0,9	1,1	1,2	1,5		1,5	1,8

Περιστέρι	0,3	0,3	0,3			0,3	0,3	0,3			0,4	0,4	0,4			0,5	0,6	0,4			0,6	0,8	0,7			1,2	1,1	1,0		
------------------	-----	-----	-----	--	--	-----	-----	-----	--	--	-----	-----	-----	--	--	-----	-----	-----	--	--	-----	-----	-----	--	--	-----	-----	-----	--	--

Μέσες μηνιαίες τιμές O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	18	21	18	25	18	27	27	24	31	23	34	39	38	35	42	54	45	46	47	47	57	51	54	51	60	56	53	44	49	50
Γεωπονική	25	32	26	40	38	35	42	38	53	40	40	55	59		51	50	62	59	71	52	65	69	70	68	60	81	81	66	66	64
Λιόσια	36		40	59	41	56		53	69	43	71	69	71	77	67	83	84	75	91	74	90	91	85		87	90	98	91	93	90
Λυκόβρυση	58	36	34	40	30	53	43	42	51	32	66	57	59	59	49	80	70	62	69	55	80	76	73	64	53	97	89	77	88	53
Μαρούσι	49	35	38	48	36	63	47	48	55	39	76	56	69	51	57	88	67	69	70	69	76	76	84	81	77	89	86	77	83	83
Νέα Σμύρνη	35	37	36	44	42	56	46	48	50	49	65	60	67	55	67	85	69	75	74	73	78	79	83	80	91	86	93	79	86	85
Πατησίων	14	10	12	14	10	26	20	19	21	9	24	24	29	28	14	29	31	11	31	10	21	30	8	27	11	27	32	21	35	21
Πειραιάς Ι	23	27	23	32	12	39	30	29	36	14	43	43	42	39	23	61	40	47	48	25	58	43	49	50	41	55	47	43	53	28
Περιστέρι	30	34	31	39	39	48	30	43	50	41	60	55	64	57	67	79	69	71	78	78	85	75	83	85	77	90	94	73	82	74
Αγ. Παρασκευή	64	63	44	49	76	83	72	54	55	76	98	83	71	61	79	99	94	65	90	87	98	93	77	100	93	101	105	71	103	96
Ελευσίνα	55	40	27	36	38	48	44	30	46	35	55	56	47	50	58	66	59	53	31	72	73	65	63	46	79	89	70	55	75	80
Θρακομακεδόνες	64	73		61	65	82	78	67		71	98	88	87	66	85	97	107	80	86	100	103	106	94	98	105	121	118	91	115	105
Κορωπί	61	62	53		34	72	60	65	60	39	90	68	82	60	17	92	81	84	67		90	81	92	66		96	93	92	63	69
Αλιάρτος	34	34		41	28	47	42		47	75	53	50		42	71	66	48		68	75	65	46		73	74	76	46		71	80

Μέσες μηνιαίες τιμές O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αθηνάς	52	53	44	52	49	53	57	46		58	40	42	38		35	30	25	26		26	21	21	19		18	16	17	15	8	17
Γεωπονική	84	95	70	73	79	78	95	70	74	88	60	57	54	59	61	45	46	47	42	47	32	33	36	37	31	22	30	26	31	31
Λιόσια	92	108	90	97	97	85	111	88	93	96	67	77	72	70	75	56	67	65	54	56	45	54	55	42	37	40	50	43	32	48
Λυκόβρυση	101	104	87	100	89	100	106	93	92	89	78	71	64	67	65	59	60	57	52	53	46	44	43	48	46	32	38	29	32	39
Μαρούσι	91	85	68	99	97	93	87	72	101	97	71	81	55	69	66	56	64	62	52	49	48	47	53	44	36	31	40		31	39
Νέα Σμύρνη	90	101	84	104	98	95	101	87	103	100	74	74	71	78	60	54	52	55	54	49	41	44	41	51	37	29	31	28	32	34
Πατησίων	28	38	34	48	15	49	45	42	44	41	27	21	23	24	29	19	20	21	21	23	16	16	15	12	14	10	16	8	10	17
Πειραιάς Ι	48	40	40	35	31		29	43	38	44		18	37	27	20	36	31	30	19	8	24	26	23	13	4	23	22	18	9	
Περιστέρι	96	103	80	76	91	93	104	84	101	102	71	75	68	74	72	53	54	58	53	56	41	39	41	36	36	32	37	30	27	37
Αγ. Παρασκευή	109	110	63	117	109	112	116	67	122	117	91	99	51	97	94	72	62	49	71	74	59	44	39	76	63	57	48	36	59	62
Ελευσίνα	92	79	53	88	91	90	84	51	94	87	75	76	41	72	63	58	50	45	51	49	45	37		48	39		47	21	42	47
Θρακομακεδόνες	130	124	85	117	112	119	122	86	118	121	96	88	65	102	103	80	75	66	73	80	67		52	73	71	65		43	67	71
Κορωπί	102	103	93	54	87	105	108	95	50	89	86	84	73	41	67	66	72	64	32	54	58	60	49	32	46	54	56		29	45
Αλιάρτος	74	53		77	87	71	71		80	90	48	54		68	73	32	34		51	57	28	28		43	48	27	20		20	45

Μέσες μηνιαίες τιμές PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αριστοτέλους	41	47	39	53	48	34	51	34	61	47	41	43	28	35	45	32	38	31	30	52	27	49	26	33	44	24	28	31	28	43
Λιόσια					42					32					30					44				24	35				26	35
Λυκόβρυση	40	70	40	39	36	48	62	35	59	37	38	51	31	30	39	41	45	32	24	37	32	49	27	28	29	29	28	30	23	28
Μαρούσι	36	50	41	47	42	19	38	36	57	41	35	40	28	27	38		33	19	23	40	19	43		28	34	25	24	29	22	30
Νέα Σμύρνη					42					41				40	39				27	37				31	31				27	29
Πειραιάς Ι	41	39	35	50	52	37	39	30	62	56	44	40	28	36	54	35	37	29	36	56	34	53	28	40	39	37	31	36	40	34
Περιστέρι					47					46				45	39				24	43				24	36				21	30
Αγ. Παρασκευή	16	21	21	19	18		29	20	45	20	25	32	24	19	27	28	31	24	15	31	22	43	20	18	27	22	22	24	17	28
Ελευσίνα					32					40					36				25	41				28	31				24	35
Θρακομακεδόνες	21	19		15	18	21	31			23	27	29		18	29	34	34		19	29	25	41		20	27	26	26		16	24
Κορωπί	20	30	44		34	23				38	29				38	31			32	38	24			32	30	27			22	30
Αλίαρτος					44					36				32	36				28	38				29	27				23	24

Μέσες μηνιαίες τιμές PM_{10} ($\mu g/m^3$)

	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αριστοτέλους	30	27	32	31	32	29		32	33	36	27	28	35	37	35	28	31	34	34	31	27	39	42	50	39		47	48	59	41
Λιόσια				30	21				29	34				33	28				27	25				43	38				63	38
Λυκόβρυση	34	32	27	28	21	29	34	21	27	24	29	30	27	27	26	30	30	26	24	17	28	37	33	32	25	65	41	34	41	28
Μαρούσι	32	26	25	25	21	27	29	24	25	25	26	26	26	26	25	29	27	23	25	21	32	42		35	29	55	51	40	51	30
Νέα Σμύρνη				32	23				32	26				32	24				31	23				41	27				54	28
Πειραιάς Ι	47	33	33	39	36		34	31	37	38		31	34	45	34	38	32	38	42	35	34	33		51	43		38	49	66	50
Περιστέρι				27	24				26	28				29	26				24	24				37	33				60	39
Αγ. Παρασκευή	30	26	22	22	20	25	28	21	23	23	24	22	23	22	21	24	21	20	18	17	22	22	21	17	16	17	21	15	17	13
Ελευσίνα				27	28				27	29				29	28				25	23				30	25				28	22
Θρακομακεδόνες	35	24		20	17	29			22	20	28			23	19	28	23		19	13	24			18	14	23		11	15	12
Κορωπί	35			29	27	29			29	31	26			28	28	25	33		25	21	26	34		33	27	27	49		33	28
Αλιάρτος				32	37				34	35				40	33				26	23				41	31				49	46

Μέσες μηνιαίες τιμές $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	1 2	13	14	15	16
Αριστοτέλους					31					25					20					19				13	16				12	16
Λυκόβρυση	23	17		23	28	21	13		24	24	26	10		9	17	23	8		12	18	20	9	17	12	15	2 1	5	16	9	13
Πειραιάς Ι	24		28	30	29	18		23	30	26	26			24	25	21		19	15	22	32	29	17	18	16		24	19	17	14
Αγ. Παρασκευή	14	9	9		12	13	8	8		11	18	11			16	13	12	8	8	15	14	11	11	9	12	1 6	9	17	7	14
Ελευσίνα					26					30					23				12	27				13	22				10	24
Θρακομακεδόνες					13					13					15				12	15				12	13				12	14
Αλιάρτος					33					19				20	15				9	12				9	11				9	10
	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Αριστοτέλους				17	14				13	16				14	16				15	17				28	23				43	26
Λυκόβρυση	25		15	15	12	23		14	15	14	21		14	15	13	19		13	16	13	16	18	19	20	18	28	24	20	25	22
Πειραιάς Ι		27	24	18	16		27	18	15	20		21	16	17	18		20	16	16	16			16	22	19		30	34	39	24
Αγ. Παρασκευή	19	12	16	12	12	17	13		12	14	15	9		12	13	14	9		10	10	13	8		11	10	12	9		12	10
Ελευσίνα				14	22				11	19				19	18				21	16				24	16				26	16

Θρακομακεδόνες				15	12				13	13				11	12				12	10				13	12				13	12
Αλίαρτος				14	13				13	13				12	12				13	10				25	18				38	27

Μέσες μηνιαίες τιμές C₆H₆ (μg/m³)

	ΙΑΝ					ΦΕΒ					ΜΑΡ					ΑΠΡ					ΜΑΙ					ΙΟΥΝ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Νέα Σμύρνη					3,2					2,7					1,4					1,3					0,7					1,0
Πατησίων	3,1	2,1	2,0		7,6	2,1	1,8	2,4		7,4	1,7	2,1	2,6		4,1	1,1	1,5	2,4		5,6	1,3	1,2	2,6		5,4	1,4	1,3	2,1		5,6
Πειραιάς Ι					4,5					3,9					2,6					2,7					1,9					2,5
Ελευσίνα					1,6					1,6					0,9					0,8					0,4					0,6
	ΙΟΥΛ					ΑΥΓ					ΣΕΠ					ΟΚΤ					ΝΟΕ					ΔΕΚ				
	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16	12	13	14	15	16
Νέα Σμύρνη				1,4	0,5				0,7	0,7				1,2	1,1				1,6	1,5				2,7	2,3				5,8	3,3
Πατησίων	1,2	1,7	1,7	2,7	3,3	1,1	1,7	2,1	1,7	2,6	1,3	1,5	1,8	3,7	4,7	1,8	1,8	1,8	4,7	5,6	1,7	1,7	1,9	8,0	7,6	2,1	2,2	2,0	11,4	7,3
Πειραιάς Ι				2,1	2,4				1,5	1,5				2,1	2,3				2,5	2,6				4,1	4,0				7,2	
Ελευσίνα				0,5	0,3				0,3	0,7				0,5	0,6				0,6	0,6				1,0	1,1				1,7	1,4