



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΔΕΙΚΤΕΣ

Η εργασία αυτή υποβάλλεται για την μερική κάλυψη των απαιτήσεων με στόχο την
απόκτηση του διπλώματος

«Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων»

με ειδίκευση στα «Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας του
Περιβάλλοντος (Περιβάλλον)»

από

ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΙΩΑΝΝΑ Κ. ΛΑΡΙΣΣΗ

Εισηγητής : Καθ. Ιωάννης Κ. Ζιώμας

ΜΠΣ : Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων, ειδίκευση Συστήματα
Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας του Περιβάλλοντος (Περιβάλλον), 2012.

A.M.:ΜΠΣ/0807

ΔΗΛΩΣΗ

Η διπλωματική εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου, «Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων», με ειδίκευση στα «Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας του Περιβάλλοντος (Περιβάλλον)»

Η δηλούσα

Ιωάννα Κ. Λαρίσση ,

ΜΠΣ/0807

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων» με ειδίκευση στα «Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας του Περιβάλλοντος (Περιβάλλον)», που συνδιοργανώνεται από τη Σχολή Χημικών Μηχανικώς του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Η υπόδειξη του θέματος έγινε από τον Καθηγητή κ. Ι. Ζιώμα που ήταν και ο επιβλέπων Καθηγητής και προς τον οποίο θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου για την άριστη καθοδήγηση, την πολύτιμη ηθική και επιστημονική του συμπαράσταση σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου. Η συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειάς μου αλλά και γενικότερα στην επιστημονική μου κατάρτιση, υπήρξε καθοριστική. Είναι πραγματικά μεγάλη μου τιμή η συνεργασία μαζί του.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους αυτούς που βοήθησαν στην εκπλήρωση ενός ονείρου μου. Συγκεκριμένα ευχαριστώ τους κ.κ. Α. Αντωνίου, Κ. Μουστρή και Αθ. Γ. Παλιατσό, Καθηγητές του ΤΕΙ Πειραιά. Τους ευχαριστώ γιατί ήταν αυτοί που με παρότρυναν να κάνω την προσπάθεια αυτή. Τους ευχαριστώ για την συνεργασία μας στο ΤΕΙ Πειραιά τα τελευταία χρόνια. Θεωρώ τον εαυτό μου πολύ τυχερό που συνεργάζομαι μαζί τους.

Στους γονείς μου για ότι μέχρι σήμερα έχουν κάνει κι έχουν προσφέρει σε εμένα. Η συμπαράστασή τους ήταν ουσιαστική στην εκπλήρωση και αυτού του στόχου μου, όπως και κάθε άλλη φορά στο παρελθόν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (ΕΠΑ), στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-2009. Η περίοδος μελέτης χωρίστηκε σε επιμέρους περιόδους, ανάλογα με τους κατά περίπτωση ρύπους αιχμής. Πιο συγκεκριμένα:

- Για τη χρονική περίοδο 1971-1983, μελετάται η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος υπολογίζοντας τις τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) με βάση τα δεδομένα του δικτύου μετρήσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας έξι αυτών σταθμών που λειτούργησαν από το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών πραγματοποιώντας συστηματικές μετρήσεις διοξειδίου του θείου και καπνού.
- Για την περίοδο 1984-2000 μελετάται η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην ΕΠΑ υπολογίζοντας τις τιμές του PSI από τα στοιχεία του δικτύου του Τμήματος Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΔΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ, που αποτελείτο από δέκα αυτόματους σταθμούς για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων του CO, του SO₂, του NO₂, του καπνού και του επιφανειακού όζοντος στην ΕΠΑ.
- Για την περίοδο 2001-2009 μελετάται η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην ΕΠΑ υπολογίζοντας τις τιμές των δεικτών AQI, ERPI και DAQx από τα στοιχεία του δικτύου του Τμήματος Ποιότητας Ατμόσφαιρας ΔΕΑΡΘ του ΥΠΕΧΩΔΕ, νυν ΥΠΕΚΑ, που αποτελείτο από δώδεκα αυτόματους σταθμούς για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων

σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μ m (PM₁₀), του CO, του SO₂, των NO₂ και του επιφανειακού όζοντος στην ΕΠΑ.

Αξιίζει να αναφερθεί ότι για τη χρονική περίοδο 2001-2009, οπότε και χρησιμοποιήθηκε τόσο ο δείκτης DAQx όσο και ο δείκτης ERPI, διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την απεικόνιση των τιμών μέσω των δεικτών ενδεχομένως να είναι πλησιέστερα προς τις Κοινοτικές απαιτήσεις όπως έχει αναφερθεί και στη διεθνή βιβλιογραφία.

Τέλος, για κάθε μια από τις προαναφερθείσες χρονικές περιόδους μελετήθηκε η χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της ΕΠΑ, για κάθε εποχή του έτους, μέσω του κεντρικού μήνα της κάθε εποχής. Επίσης, μελετήθηκε η χωρική κατανομή των μέσης ετήσιας ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της περιοχής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ.....	II
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	III
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	VI
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	XI
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	XV
1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	32
1.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	36
2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	39
2.1 ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ	42
2.2 ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ.....	44
2.2.1 Διοξείδιο του θείου.....	44
2.2.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	47
2.2.3 Οξείδια του αζώτου (NO _x).....	49
2.2.4 Όζον (O ₃).....	50
2.2.5 Αιωρούμενα Σωματίδια.....	52
2.3 ΠΗΓΕΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ	55
2.3.1 Φυσικές πηγές	55
2.3.2 Ανθρωπογενείς πηγές	55
2.3.3 Φυσικές Διεργασίες Σχηματισμού Σωματιδίων.....	56
2.3.4 Χημικές Διεργασίες Σχηματισμού Σωματιδίων	57
2.4 ΘΕΣΜΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	58
2.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	59

2.6 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	61
2.7. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	65
2.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	67
2.8.1 Επιπτώσεις στην Ανθρώπινη Υγεία.....	68
2.8.2 Επιπτώσεις στη Χλωρίδα	71
2.8.3 Επιπτώσεις στα Ζώα.....	76
2.8.4 Επιπτώσεις στα Υλικά.....	77
2.9 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	79
2.10 ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	82
3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	85
3.1 ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	86
3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ	92
3.3 ΤΟΠΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	97
3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΤΟΥ BRISTOL	99
3.5 ΙΝΔΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	100
3.6 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΤΟΥ HONG-KONG	102
3.7 ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ	105
3.8 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΤΟΠΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (EUROPEAN REGIONAL POLLUTION INDEX-ERPI)	106
4. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	109
4.1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1971-1983	109
4.1.1. Ποιότητα ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης της Αθήνας.....	110
4.1.2. Ποιότητα ατμόσφαιρας σε κεντρικό σημείο βιοτεχνικής – ελαφρά βιομηχανικής θέσης της περιοχής του Ελαιώνα	112

4.1.3. Σύγκριση των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας των υπό μελέτη περιοχών	114
4.1.4. Μέση ετήσια πορεία της ποιότητας της ατμόσφαιρας των υπό μελέτη περιοχών	116
4.2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1984-2000	118
4.2.1. Ποιότητα ατμόσφαιρας σε σταθμούς «αστικών-κυκλοφορίας», στο κέντρο της πόλης της Αθήνας	122
α. Σταθμός «Αθηνάς» (ΑΘΗ)	122
β. Σταθμός «Αριστοτέλους» (ΑΡΙ)	124
γ. Σταθμός «Πατησίων» (ΠΑΤ)	126
4.2.2. Ποιότητα ατμόσφαιρας σε σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (ΕΠΑ)	128
4.2.2.1. Σταθμοί «υποβάθρου»	128
α. Αστικός σταθμός «Μαρούσι» (ΜΑΡ)	128
β. Αστικός σταθμός «Ν. Σμύρνη» (ΣΜΥ)	130
γ. Αστικός σταθμός «Περιστέρι» (ΠΕΡ)	132
δ. Περιαστικός σταθμός «Λιόσια» (ΛΙΟ)	134
4.2.2.2. Σταθμοί «περιαστικούς»	136
α. Σταθμός «Γεωπονική» (ΓΕΩ) σε κεντρικό σημείο της βιοτεχνικής – ελαφρά βιομηχανικής θέσης της περιοχής του Ελαιώνα	136
4.2.3. Μελέτη των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας και της συνεισφοράς των ρύπων στη διαμόρφωσή της στις υπό μελέτη περιοχές	138
α. Σταθμός «Πατησίων»	138
β. Σταθμός «Γεωπονική»	140
γ. Σταθμός «Ν. Σμύρνη»	141

δ. Σταθμός «Πειραιάς».....	143
ε. Σταθμός «Λιόσια».....	144
στ. Σταθμός «Αθηνάς».....	146
ζ. Σταθμός «Αριστοτέλους».....	148
θ. Σταθμός «Περιστέρη».....	151
ι. Σταθμός «Μαρούσι».....	152
4.3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2001-2009.....	154
4.3.1. Ποιότητα ατμόσφαιρας με χρήση του δείκτη ERPI.....	155
α. Σταθμός «Αγ. Παρασκευή» (ΑΓΠ).....	155
β. Σταθμός «Αθηνάς» (ΑΘΗ).....	157
γ. Σταθμός «Αριστοτέλους» (ΑΡΙ).....	159
δ. Σταθμός «Γεωπονική» (ΓΕΩ).....	160
ε. Σταθμός «Λιόσια» (ΛΙΟ).....	162
στ. Σταθμός «Λυκόβρυση» (ΛΥΚ).....	164
ζ. Σταθμός «Μαρούσι» (ΜΑΡ).....	166
η. Σταθμός «Πατησίων» (ΠΑΤ).....	168
θ. Σταθμός «Περιστέρη» (ΠΕΡ).....	171
ι. Σταθμός «Πειραιάς» (ΠΕΙΡ).....	173
ια. Σταθμός «Ν. Σμύρνη» (ΣΜΥ).....	175
ιβ. Σταθμός «Θρακομακεδόνες» (ΘΡΑ).....	176
4.3.2. Ποιότητα ατμόσφαιρας με χρήση του δείκτη DAQx.....	178
α. Σταθμός «Αγ. Παρασκευή» (ΑΓΠ).....	178
β. Σταθμός «Αριστοτέλους» (ΑΡΙ).....	180
γ. Σταθμός «Αθηνάς» (ΑΘΗ).....	182
δ. Σταθμός «Γεωπονική» (ΓΕΩ).....	184

ε. Σταθμός «Λιόσια» (ΛΙΟ).....	186
στ. Σταθμός «Λυκόβρυση» (ΛΥΚ).....	188
ζ. Σταθμός «Μαρούσι» (ΜΑΡ).....	190
η. Σταθμός «Πατησίων» (ΠΑΤ)	192
θ. Σταθμός «Περιστέρη» (ΠΕΡ)	194
ι. Σταθμός «Πειραιάς» (ΠΕΙΡ)	196
ια. Σταθμός «Ν. Σμύρνη» (ΣΜΥ).....	198
ιβ. Σταθμός «Θρακομακεδόνες» (ΘΡΑ)	200
5. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ	
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑ.....	202
5.1 ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1971-1983	202
5.2 ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1984-2000	208
5.3 ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2001-2009	214
5.3.1 Με χρησιμοποίηση του δείκτη DAQx	214
5.3.2 Με χρησιμοποίηση του δείκτη ERPI.....	220
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	226
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	229
ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	229
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	236
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	238

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. 1. Μέση σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας από το έδαφος μέχρι και το ύψος των 100km.	33
Πίνακας 2.1. Όρια λήψης εκτάκτων μέτρων για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας (Υ.Π.Ε.Κ.Α. 2011).	60
Πίνακας 2.2. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (σε εκατομμύρια τόνους) από τις χώρες της Ε.Ε. για τη χρονική περίοδο 1980-2000 (ΕΙΑ 2003).	83
Πίνακας 3. 1. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη PSI (Boudel et al. 1994).	86
Πίνακας 3. 2. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boudel et al., 1994).	87
Πίνακας 3. 3. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boudel et al. 1994).	89
Πίνακας 3. 4. Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του αέρα με πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής (Boudel et al., 1994).	90
Πίνακας 3. 5. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM ₁₀	90
Πίνακας 3. 6. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου.	91
Πίνακας 3. 7. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα.	91
Πίνακας 3. 8. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το όζον.	91

Πίνακας 3. 9. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου.....	92
Πίνακας 3. 10. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI (Franceschini et al. 2005).	93
Πίνακας 3. 11. Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (U.S. EPA 1999).....	94
Πίνακας 3. 12. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM ₁₀	95
Πίνακας 3. 13. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM _{2.5}	95
Πίνακας 3. 14. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου.	96
Πίνακας 3. 15. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα.	96
Πίνακας 3. 16. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.....	96
Πίνακας 3. 17. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.	97
Πίνακας 3. 18. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου.	97
Πίνακας 3. 19. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη RPI (NSW Department of Environment and Conservation, Sydney, 2006).	99
Πίνακας 3. 20. Τιμές του δείκτη BAPI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Bristol City Council Air Quality 2006).	100

Πίνακας 3. 21. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη BAPI με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ και PM ₁₀ (Bristol City Council Air Quality 2006).	100
Πίνακας 3. 22. Ταξινόμηση τιμών των επιμέρους δεικτών του δείκτη IND-AQI, με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των λαμβανομένων υπόψη ατμοσφαιρικών ρύπων (Basis for Indian Air Quality Index, IND-AQI. Available at: http://home.iitk.ac.in).....	101
Πίνακας 3. 23. Τιμές του δείκτη IND-AQI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα (Basis for Indian Air Quality Index, IND-AQI. Available at: http://home.iitk.ac.in)...	102
Πίνακας 3. 24. Κατηγορίες τιμών του δείκτη API και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Hong-Kong Medical Association. Available at: http://www.info.gov.hk).	103
Πίνακας 3. 25. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη API με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων που τις διαμορφώνουν (Hong-Kong Medical Association. Available at: http://www.info.gov.hk).	104
Πίνακας 3. 26. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη DAQx και της ποιότητας της ατμόσφαιρας με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ και PM ₁₀ (Mayer et al. 2002a, 2002b).....	106
Πίνακας 3. 27. Οριακές τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων που διαμορφώνουν τις τιμές του δείκτη ERPI.....	107
Πίνακας 3. 28. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη ERPI και της ποιότητας της ατμόσφαιρας, με βάση τις τιμές των δεικτών ERPI και DAQx (Μουστρής 2009).....	108
Πίνακας 4.1. Πληροφοριακά στοιχεία των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ κατά την περίοδο 1984-2000.	119
Πίνακας 4.2 Διαχρονική εξέλιξη λειτουργίας των σταθμών καταγραφής των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου στην ΕΠΑ, κατά την περίοδο 1984-2000.....	120

Πίνακας 4.3 Διαχρονική εξέλιξη λειτουργίας των σταθμών καταγραφής των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα στην ΕΠΑ, κατά την περίοδο 1984-2000.	120
Πίνακας 4.4 Διαχρονική εξέλιξη λειτουργίας των σταθμών καταγραφής των συγκεντρώσεων του όζοντος στην ΕΠΑ, κατά την περίοδο 1984-2000.	120
Πίνακας 4.5 Πληροφοριακά στοιχεία των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ κατά την περίοδο 2001-2009.	154

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. 1 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος μέχρι 100 km και οι περιοχές που καθορίζονται από αυτήν (Reid 2000).....	35
Σχήμα 2.1. Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων (Μελάς κ. ά. 2000).	61
Σχήμα 2.2. Η κατακόρυφη ανάπτυξη του θυσάνου για διαφορετικές συνθήκες ευστάθειας στην ατμόσφαιρα. Η ευστάθεια ορίζεται από την θερμοβαθμίδα (την μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος) η οποία φαίνεται στα αριστερά του σχήματος (Μελάς κ. ά. 2000).	62
Σχήμα 4.1. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 4.34 ($b = 4.34$).....	110
Σχήμα 4.2. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 3.86 ($b = -3.86$).	111
Σχήμα 4.3. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης).....	111
Σχήμα 4.4. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1972-	

1983, στην περιοχή του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.18 (b=2.18).....	112
Σχήμα 4.5. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1972-1983, του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.13 (b=-2.13).	113
Σχήμα 4.6. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1972-1983, του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής.....	114
Σχήμα 4.7. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης).....	115
Σχήμα 4.8. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1972-1983, στην περιοχή του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής.....	116
Σχήμα 4.9. Μέση ετήσια πορεία της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης).....	117
Σχήμα 4.10. Μέση ετήσια πορεία της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1972-1983, στην περιοχή του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής.....	117
Σχήμα 4.11. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων καταναλώσεων βενζίνης απλής και super (σύμβολο κύκλος) και αμόλυβδης (σύμβολο αστερίσκος) στην ελληνική επικράτεια, στη διάρκεια της περιόδου 1987-2000.....	121
Σχήμα 4.12. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1988-	

2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.24% (b = 2.24).....	122
Σχήμα 4.13. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1988-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 1.28% (b = -1.28).....	123
Σχήμα 4.14. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1988-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 0.68% (b = -0.68).....	123
Σχήμα 4.15. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «πολύ ανθυγιεινή», για την περίοδο 1988-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ).	124
Σχήμα 4.16. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1994-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΡΙ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 3.73% (b = 3.73).....	125
Σχήμα 4.17. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1994-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΡΙ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 3.41% (b = -3.41).....	125
Σχήμα 4.18. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1994-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΡΙ).	126

Σχήμα 4.19. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 1.35% ($b = 1.35$).....	126
Σχήμα 4.20. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ). Ετήσιος ρυθμός υποβιβασμού της ποιότητας 2.12% ($b = 2.12$).....	127
Σχήμα 4.21. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.6% ($b = -2.6$).....	127
Σχήμα 4.22. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «πολύ ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ).....	128
Σχήμα 4.23. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΜΑΡ. Ετήσιος ρυθμός μεταβολής (υποβιβασμού) της ποιότητας 0.48% ($b = -0.48$).....	129
Σχήμα 4.24. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΜΑΡ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 0.79% ($b = 0.79$).....	130

Σχήμα 4.25. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΜΑΡ.....	130
Σχήμα 4.26. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΣΜΥ. Ετήσιος ρυθμός υποβιβασμού της ποιότητας 1.86% (b = -1.86).	131
Σχήμα 4.27. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΣΜΥ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 1.89% (b = 1.89).....	131
Σχήμα 4.28. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΣΜΥ.	132
Σχήμα 4.29. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΠΕΡ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.43% (b = 2.43).....	133
Σχήμα 4.30. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΠΕΡ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.33% (b = -2.33).	133
Σχήμα 4.31. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-	

1999, στην περιοχή του περιβαλλοντικού σταθμού ΛΙΟ. Ετήσιος ρυθμός μεταβολής (υποβιβασμού) της ποιότητας 1.15% ($b = -1.15$).....	134
Σχήμα 4.32. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του περιβαλλοντικού σταθμού ΛΙΟ. Ετήσιος ρυθμός μεταβολής (βελτίωσης) της ποιότητας 0.27% ($b = -0.27$).	135
Σχήμα 4.33. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του περιβαλλοντικού σταθμού ΛΙΟ.....	135
Σχήμα 4.34. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού ΓΕΩ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 0.97% ($b = -0.97$).	136
Σχήμα 4.35. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, του σταθμού ΓΕΩ. Ετήσιος ρυθμός υποβιβασμού της ποιότητας 1.1% ($b = 1.1$).	137
Σχήμα 4.36. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, του σταθμού της ΓΕΩ.....	137
Σχήμα 4.37. Εξέλιξη του ποσοστού εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Πατησίων».....	138
Σχήμα 4.38. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Πατησίων», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.....	139

Σχήμα 4.39. Εξέλιξη του ποσοστού εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Γεωπονική».....	140
Σχήμα 4.40. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Γεωπονική», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.....	141
Σχήμα 4.41. Εξέλιξη του ποσοστού εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Ν. Σμύρνη».	142
Σχήμα 4.42. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Ν. Σμύρνη», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.....	142
Σχήμα 4.43. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Πειραιάς».	143
Σχήμα 4. 44. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Πειραιάς», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.....	144
Σχήμα 4.45. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-1999, στην περιοχή του σταθμού «Λιόσια».....	145
Σχήμα 4.46. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Λιόσια», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-1999.....	145
Σχήμα 4.47. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1988-2000, στην περιοχή του σταθμού «Αθηνάς».....	146

Σχήμα 4.48. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Αθηνάς», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1988-2000.	147
Σχήμα 4.49. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1994-2000, στην περιοχή του σταθμού «Αριστοτέλους».....	148
Σχήμα 4.50. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Αριστοτέλους», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1994-2000.	149
Σχήμα 4.51. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1994-2000, στην περιοχή του σταθμού «Λυκόβρυση».....	150
Σχήμα 4.52. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Λυκόβρυση», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1994-2000.	150
Σχήμα 4.53. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1990-2000, στην περιοχή του σταθμού «Περιστέρι».	151
Σχήμα 4.54. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Περιστέρι», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.	152
Σχήμα 4.55. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1990-2000, στην περιοχή του σταθμού «Μαρούσι».	153
Σχήμα 4.56. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Μαρούσι», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.	153

Σχήμα 4. 57. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΓΠ.	156
Σχήμα 4.58. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΑΓΠ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	156
Σχήμα 4. 59. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΘΗ.	158
Σχήμα 4. 60. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΑΘΗ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	158
Σχήμα 4. 61. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΡΙ.	159
Σχήμα 4. 62. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΑΡΙ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	160
Σχήμα 4. 63. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΓΕΩ.	161
Σχήμα 4. 64. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΓΕΩ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	162

Σχήμα 4. 65. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΛΙΟ.....	163
Σχήμα 4. 66. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΛΙΟ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	164
Σχήμα 4. 67. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΛΥΚ.	165
Σχήμα 4. 68. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΛΥΚ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	165
Σχήμα 4. 69. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΜΑΡ.	167
Σχήμα 4. 70. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΜΑΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	168
Σχήμα 4. 71. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΑΤ.....	169
Σχήμα 4. 72. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΠΑΤ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	170

Σχήμα 4. 73. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΡ.....	171
Σχήμα 4. 74. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΠΕΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	172
Σχήμα 4. 75. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΙΡ.....	173
Σχήμα 4. 76. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΠΕΙΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	174
Σχήμα 4. 77. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΣΜΥ.....	175
Σχήμα 4. 78. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΣΜΥ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	176
Σχήμα 4. 79. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΘΡΑ.....	177
Σχήμα 4. 80. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΘΡΑ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	177

Σχήμα 4. 81. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΓΠΙ.	179
Σχήμα 4. 82. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΑΓΠΙ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	180
Σχήμα 4. 83. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΡΙ.	181
Σχήμα 4. 84. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΑΡΙ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	181
Σχήμα 4. 85. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΘΗ.	183
Σχήμα 4. 86. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΑΘΗ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.....	183
Σχήμα 4. 87. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΓΕΩ.	184
Σχήμα 4. 88. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΓΕΩ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	185

Σχήμα 4. 89. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΛΙΟ.....	186
Σχήμα 4. 90. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΛΙΟ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	187
Σχήμα 4. 91. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΛΥΚ.	188
Σχήμα 4. 92. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΛΥΚ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	189
Σχήμα 4. 93. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΜΑΡ.	190
Σχήμα 4. 94. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΜΑΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.....	191
Σχήμα 4. 95. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΑΤ.....	192
Σχήμα 4. 96. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΠΑΤ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	193

Σχήμα 4. 97. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΡ.....	194
Σχήμα 4. 98. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΠΕΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	195
Σχήμα 4. 99. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΙΡ.....	196
Σχήμα 4. 100. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΠΕΙΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.....	197
Σχήμα 4. 101. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΣΜΥ.....	198
Σχήμα 4. 102. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΣΜΥ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	199
Σχήμα 4. 103. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΘΡΑ.....	200
Σχήμα 4. 104. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΘΡΑ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.	201

Σχήμα 5. 1. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ	202
Σχήμα 5. 2. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ	203
Σχήμα 5. 3. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.....	204
Σχήμα 5. 4. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ	204
Σχήμα 5. 5. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για τη μέση ετήσια τιμή της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ	205
Σχήμα 5. 6. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO ₂ , για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.....	206
Σχήμα 5. 7. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO ₂ , για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.....	206
Σχήμα 5. 8. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO ₂ , για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.....	207
Σχήμα 5. 9. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO ₂ , για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ	207
Σχήμα 5. 10. Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του SO ₂ , της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ	208
Σχήμα 5. 11. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.....	209
Σχήμα 5. 12. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.....	210

Σχήμα 5. 13. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.....	211
Σχήμα 5. 14. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.....	212
Σχήμα 5. 15. Χωρική κατανομή των μέσης ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.....	213
Σχήμα 5. 16. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx. .	215
Σχήμα 5. 17. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.....	216
Σχήμα 5. 18. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.....	217
Σχήμα 5. 19. Χωρική κατανομή των ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx. .	218
Σχήμα 5. 20. Χωρική κατανομή των μέσης ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τη χρονική περίοδο 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.....	219
Σχήμα 5. 21. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI. ..	220
Σχήμα 5. 22. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI.	221
Σχήμα 5. 23. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI.	222
Σχήμα 5. 24. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI....	223

Σχήμα 5. 25. Χωρική κατανομή των μέσης ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τη χρονική περίοδο 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI. 224

1. Περιγραφή Ατμόσφαιρας

Ατμόσφαιρα είναι το αέριο περίβλημα της γης που έχει μέσο πάχος 100 km και συγκρατείται με τη δύναμη της βαρύτητας. Είναι η πηγή του οξυγόνου (O_2) που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των ανθρώπων και των ζώων, του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης και του αζώτου (N_2) το οποίο με την επίδραση βακτηριδίων ή με την τεχνολογία του ανθρώπου δίνει κατάλληλες ενώσεις του αζώτου που είναι απαραίτητες για τη ζωή. Επίσης η ατμόσφαιρα είναι ο αποδέκτης των τεράστιων ποσοτήτων χημικών ουσιών που εκλύονται από τη Γη, τόσο από φυσικές, όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η ατμόσφαιρα μπορεί να χαρακτηριστεί σαν προστατευτικός μανδύας της Γης διότι, αφενός μεν χρησιμεύει σαν χώρος ψύξης του κύκλου του ύδατος της Γης συμπυκνώνοντας τους υδρατμούς που προέρχονται από την εξάτμιση των θαλάσσιων υδάτων και αποδίδοντάς τους ξανά σαν νερό στη Γη. Αφετέρου δε, απορροφώντας ορισμένες περιοχές του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, προστατεύει τη ζωή στη Γη. Τέλος, λόγω της απορρόφησης της ενέργειας που εκπέμπει η Γη με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, δρα σαν ρυθμιστικός παράγοντας της θερμότητας για τη Γη.

Ένας πρώτος διαχωρισμός της ατμόσφαιρας γίνεται με βάση τη μεταβολή ή όχι της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζεται η ατμόσφαιρα σε δύο μεγάλες περιοχές, την ομοιόσφαιρα και την ετερόσφαιρα και η διαχωριστική τους περιοχή βρίσκεται περίπου στο ύψος των 100 km. Η σύσταση της ομοιόσφαιρας φαίνεται στον Πίνακα 1.

Τα συστατικά της ομοιόσφαιρας κατατάσσονται σε τρία επίπεδα συγκέντρωσης: τα κύρια συστατικά με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 1%, τα δευτερεύοντα συστατικά

με συγκεντρώσεις από 0.01% μέχρι 1% και τα ιχνοσυστατικά με συγκεντρώσεις μικρότερες του 0.01%.

Πίνακας 1. 1. Μέση σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας από το έδαφος μέχρι και το ύψος των 100km.

Αέριο	Όγκος (%) ξηρού αέρα
Αζωτο (N ₂)	78.08
Οξυγόνο (O ₂)	20.95
Αργό (Ar)	0.93
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0.03
Νέο (Ne)	0.0018
Ήλιο (He)	0.0005
Κρυπτό (Kr)	0.0001
Υδρογόνο (H ₂)	0.0005
Όζον (O ₃)	0.00006
Υδρατμοί (H ₂ O)	0-0.04

Στην ετερόσφαιρα η διάχυση και η μοριακή διάσπαση των ατμοσφαιρικών αερίων έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αυξανόμενου του ύψους, το μέσο μοριακό βάρος του αέρα να ελαττώνεται.

Εκτός όμως από τη μεταβολή της σύστασης της ατμόσφαιρας με το ύψος, ο διαχωρισμός της σε περιοχές με κοινά ή σχεδόν κοινά χαρακτηριστικά μπορεί να γίνει και με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με το ύψος. Με αυτό το διαχωρισμό η ομοιόσφαιρα μπορεί, σε πρώτη προσέγγιση, να χωρισθεί σε τρεις βασικές

περιοχές, την τροπόσφαιρα, τη στρατόσφαιρα, τη μεσόσφαιρα και τη βάση της θερμόσφαιρας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Η περιοχή πάνω από την τροπόσφαιρα και μέχρι το ύψος περίπου των 100 km ονομάζεται μέση ατμόσφαιρα. Η ετερόσφαιρα μπορεί να χωρισθεί στην κυρίως θερμόσφαιρα και στην εξώσφαιρα. Πιο αναλυτικά, αυτές οι επιμέρους ατμοσφαιρικές περιοχές, με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος, είναι:

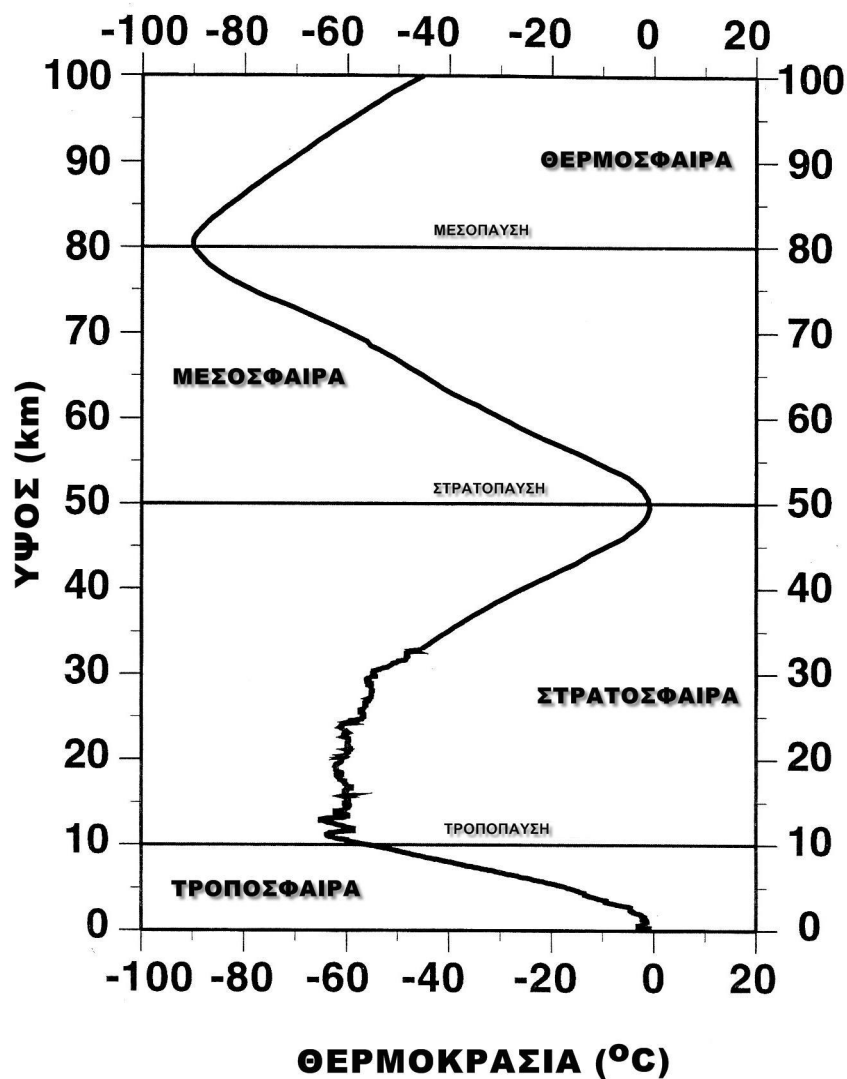
Τροπόσφαιρα: Είναι η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας και εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των 12 ± 4 km, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Στην περιοχή αυτή γίνονται όλες σχεδόν οι μετεωρολογικές διεργασίες και αποτελεί το χώρο συλλογής και εξάπλωσης των διαφόρων ρυπαντικών ουσιών. Χαρακτηρίζεται από την ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος η οποία κατά μέσο όρο είναι ίση με 6.5 °C/km. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας με το ύψος ονομάζεται θερμοβαθμίδα. Η άνω οριακή περιοχή της τροπόσφαιρας ονομάζεται τροπόπαυση.

Στρατόσφαιρα: Πάνω από την τροπόπαυση η θερμοκρασία για λίγα χιλιόμετρα παραμένει σχεδόν σταθερή με το ύψος και μετά αυξάνει συνέχεια μέχρι περίπου τα 50km, όπου η περιοχή είναι σχεδόν ισόθερμη και ονομάζεται στρατόπαυση. Η αύξηση της θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας με το ύψος οφείλεται βασικά στην απορρόφηση μεγάλου μέρους της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το όζον (O_3) και αυτή η διεργασία αποτελεί τη βασική πηγή θέρμανσης της στρατόσφαιρας.

Μεσόσφαιρα: Χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος και εκτείνεται μέχρι περίπου τα 80 km, όπου βρίσκεται η περιοχή της μεσόπαυσης. Η μεσόπαυση είναι η πιο ψυχρή περιοχή της ατμόσφαιρας.

Θερμόσφαιρα: Η θερμόσφαιρα εκτείνεται πάνω από τη μεσόπαυση και μέχρι περίπου το ύψος των 400 km όπου βρίσκεται η περιοχή της θερμόπαυσης. Χαρακτηρίζεται από μονότονη αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος, η οποία φθάνει στους 1000 °K στο

ανώτερο όριο της περιοχής αυτής. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην απορρόφηση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας και στην εν συνεχεία διάσπαση και ιονισμό των αερίων.



Σχήμα 1. 1 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος μέχρι 100 km και οι περιοχές που καθορίζονται από αυτήν (Reid 2000).

Εξώσφαιρα: Το όριο όπου παύει η αύξηση της θερμοκρασίας είναι η περιοχή της θερμόπαυσης και από εκεί και πάνω η ατμόσφαιρα είναι ισόθερμη και ονομάζεται εξώσφαιρα. Η βάση της, εξαρτώμενη από την ηλιακή δραστηριότητα, βρίσκεται στα ύψη μεταξύ των 400 και 500 km.

1. 1 Σχηματισμός της Ατμόσφαιρας

Η πρωταρχική ατμόσφαιρα της Γης πρωτοεμφανίστηκε, κατά πάσα πιθανότητα, λίγο αργότερα από τη δημιουργία της Γης, όταν άρχισε να δημιουργείται σαν λεπτή μορφή κρούστας ο στερεός φλοιός της, δηλαδή πριν από 4 έως 6 δισεκατομμύρια χρόνια. Η δε σύσταση της ήταν πολύ διαφορετική από τη σημερινή. Κατά την περίοδο αυτή άρχισαν να εκλύονται από το διάπυρο μίγμα από το οποίο αποτελούνταν μέχρι τότε η Γη, αέρια, όπως CO₂ και N₂, και υδρατμοί που υπήρχαν διαλυμένοι σε αυτό. Παρόμοια σύσταση έχουν σήμερα τα αέρια που προέρχονται από τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Στο αρχικό στάδιο της δημιουργίας της η Γη ήταν μια διάπυρη σφαιροειδής μάζα με επιφανειακή θερμοκρασία 8000 °C, που περιβαλλόταν από μια πυκνή και θερμή μάζα αερίων. Τα αέρια αυτά ήταν το υδρογόνο και το ήλιο, καθώς επίσης και ενώσεις του υδρογόνου, όπως το μεθάνιο και η αμμωνία. Λόγω της μεγάλης τους θερμοκρασίας και της μικρής μοριακής τους μάζας, τα αέρια αυτά διέφυγαν, σε μεγάλο ποσοστό, στο Διάστημα.

Καθώς η Γη ψυχόταν, σχηματίστηκε ένας στερεός φλοιός και τα αέρια που ήταν διαλυμένα στην πυρακτωμένη μάζα άρχισαν να εκλύονται από την επιφάνειά της. Έτσι σχηματίστηκε μια δεύτερη ατμόσφαιρα από αέρια που και σήμερα εκλύονται από τα ηφαίστεια, κυρίως υδρατμούς (περίπου 85%), διοξείδιο του άνθρακα (περίπου 10%) και άζωτο.

Καθώς η Γη συνέχιζε να ψύχεται, σχηματίστηκαν σύννεφα και υπήρξαν ραγδαίες βροχοπτώσεις για χιλιάδες χρόνια, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ποταμών, λιμνών και θαλασσών. Το γεγονός αυτό ελάττωσε τη συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, ενώ μεγάλο ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα μεταφέρθηκε στην επιφάνεια της Γης, παραμένοντας σε διάλυση στις υδάτινες μάζες, όπου σε μεγάλο

ποσοστό δεσμεύθηκε σε ανθρακικά ιζήματα. Έτσι, το χημικά αδρανές άζωτο έγινε το κυρίαρχο αέριο στην ατμόσφαιρα.

Όσον αφορά το οξυγόνο, αρχικά δημιουργήθηκε από τη φωτοδιάσπαση μορίων νερού από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία στα αρχικά στάδια της δημιουργίας του ηλιακού συστήματος ήταν πολλές φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή. Το συγχρόνως παραγόμενο υδρογόνο, λόγω του μικρού μοριακού του βάρους, ανήλθε στις ανώτερες περιοχές της ατμόσφαιρας και σε μεγάλο ποσοστό διέφυγε στο Διάστημα. Το οξυγόνο παρέμενε στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας συνεχώς τη συγκέντρωσή του, ώστε αυτή πριν από 2 έως 3 δισεκατομμύρια χρόνια να είναι ικανή να επιτρέψει την ανάπτυξη των πρώτων φυτικών μορφών.

Στη συνέχεια αυτές, μέσω της φωτοσύνθεσης, αύξησαν τη συγκέντρωση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα ικανά να συντηρήσουν ανώτερες φυτικές μορφές, οι οποίες συνέτειναν στην περαιτέρω αύξηση του οξυγόνου.

Τα ευγενή αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα είναι προϊόντα ραδιενεργών διασπάσεων. Ενώ τα υπόλοιπα αέρια προέρχονται από ηφαιστειακές εκλύσεις, βιολογικές διεργασίες και φωτοχημικές αντιδράσεις.

Η ατμόσφαιρα απέκτησε τη σημερινή της χημική σύσταση πριν από δύο περίπου δισεκατομμύρια χρόνια. Κατά την τελευταία αυτή περίοδο η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας πρέπει να έχει παρουσιάσει ασήμαντες μόνο μεταβολές.

Αρχικά η πολύ υψηλή θερμοκρασία του στερεού φλοιού της Γης, ο οποίος βρισκόταν σε διάπυρη σχεδόν κατάσταση, προκαλούσε εξάτμιση της βροχής πολύ πριν φτάσει στο έδαφος. Τα τελευταία 40000 χρόνια η θερμοκρασία της επιφάνειας του στερεού φλοιού είχε υποχωρήσει αρκετά, ώστε η βροχή να φτάνει στο έδαφος. Η βροχή αυτή διέλυσε και απομάκρυνε προς το έδαφος το μεγαλύτερο τμήμα του CO₂ της ατμόσφαιρας, σχηματίζοντας μεγάλες μάζες ανθρακικών βράχων.

Η δημιουργία του O_2 πραγματοποιήθηκε αργότερα. Κατά μία θεωρία προήλθε από τη διάσπαση σε άτομα υδρογόνου και οξυγόνου των υδρατμών, οι οποίοι είχαν μεταφερθεί από ανοδικά ρεύματα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, λόγω της επίδρασης των υπεριωδών ακτινών του Ήλιου. Το υδρογόνο διαχύθηκε προς την εξώτερη στοιβάδα της ατμόσφαιρας και διέφυγε προς τον αστρικό χώρο, ενώ τα άτομα του οξυγόνου συνενώθηκαν και δημιούργησαν το μοριακό οξυγόνο. Ένα τμήμα του οξυγόνου που υπάρχει σήμερα στην ατμόσφαιρα εικάζεται ότι προήλθε και από τη φωτοσύνθεση των φυτών (<http://www.physics4u.gr/faq/atmosphera.html>).

2. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση χαρακτηρίζεται κάθε ανεπιθύμητη αλλαγή των φυσικών, χημικών, ραδιολογικών ή βιολογικών χαρακτήρων του αέρα, που προκαλείται κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και μπορεί να έχει δυσμενή επίδραση, πρωτίστως στη υγεία και ευεξία του ανθρώπου, αλλά και οικονομικές συνέπειες ή να θίξει τις πολιτιστικές αξίες και γενικότερα να επηρεάσει τη φυσική ισορροπία. Σύμφωνα με κάποιον άλλον ορισμό, ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται, η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, σε συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν 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 μπορεί να φτάσει σε επίπεδα που μπορεί να δημιουργήσουν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης.

Επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης, μπορεί να προκύψουν είτε από μια απροσδόκητη αύξηση των εκπομπών, είτε από την εμφάνιση ιδιαίτερα δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, είτε από το συνδυασμό των δύο παραπάνω. Όταν επικρατούν υψηλά επίπεδα ρύπανσης έχει επικρατήσει να λέγεται ότι έχουμε «νέφος αιθαλομίχλης». Η βιομηχανική αιθαλομίχλη προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανάλωση καυσίμων ορυκτών υλών, ειδικά άνθρακα και πετρελαίου, σε στάσιμες πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια. Τα βασικά συστατικά της βιομηχανικής αιθαλομίχλης είναι τα οξειδία του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Συνδυάζεται συνήθως με υψηλή σχετική υγρασία και συχνά ονομάζεται και «νέφος αιθαλομίχλης». Αντίθετα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε πολλές πόλεις προκαλείται από εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων τα οποία με την παρουσία του ηλιακού φωτός αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας το

«νέφος φωτοχημικής αιθαλομίχλης». Αν και υπάρχει συμβολή από στάσιμες πηγές, η φωτοχημική αιθαλομίχλη συνδέεται κυρίως με εκπομπές από τροχοφόρα.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να γίνει μια αναφορά στα δύο σημαντικότερα επεισόδια που προκλήθηκαν στο Λονδίνο και στο Λος Άντζελες και που από αυτές τις πόλεις πήραν τα ονόματά τους οι δύο κατηγορίες των αιθαλομιχλών. Η πιο απλή μορφή νέφους είναι η αναγωγική αιθαλομίχλη ή αιθαλομίχλη του Λονδίνου (Boubel et al. 1994), που συνέβη το 1952 και στοίχισε τη ζωή σε 4000 ανθρώπους. Οι θάνατοι οφείλονταν σε ένα δηλητηριώδες μείγμα σωματιδίων καπνού και διοξειδίου του θείου, απόρροια της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας και της καύσης του άνθρακα και του πετρελαίου, το οποίο τότε περιείχε υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Το φωτοχημικό νέφος (Boubel et al. 1994) είναι ένα μείγμα πρωτογενών και δευτερογενών ατμοσφαιρικών ρύπων, που σχηματίζονται όταν μέρος των πρωτογενών ρύπων, κυρίως οξειδία του αζώτου και υδρογονάνθρακες, που προέρχονται από τα κινούμενα οχήματα, αλλά και διάφορες άλλες φυσικές ή ανθρωπογενείς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Το τελικό μείγμα αποτελείται από 100 χημικές ενώσεις, κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι η οξειδωτική τους δράση. Κυρίαρχος αέριος ρύπος του φωτοχημικού νέφους είναι το όζον, που έχει καθιερωθεί διεθνώς να χρησιμοποιείται και σαν μέτρο έντασης της φωτοχημικής ρύπανσης. Έχει ονομασθεί και αιθαλομίχλη της ευημερίας, λόγω της καύσης της βενζίνης για την κίνηση των οχημάτων ως βασική του αιτία. Το όνομα με το οποίο καθιερώθηκε, όμως, είναι οξειδωτική αιθαλομίχλη ή αιθαλομίχλη τύπου Λος-Άντζελες, επειδή εμφανίστηκε εκεί για πρώτη φορά το 1940. Είναι μια πόλη με αρκετά εκατομμύρια ανθρώπους και οχήματα, με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, με ηλιόλουστο κλίμα, χαμηλής έντασης ανέμους και περιβάλλεται από βουνά και θάλασσα, όπως και η Αθήνα, με τη διαφορά του πληθυσμού.

Το κλίμα της Ελλάδας είναι μεσογειακού τύπου με υγρούς και ήπιους χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Επίσης, το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από έλλειψη βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο του έτους και οι περισσότερες βροχές εμφανίζονται τον Οκτώβριο και κατά τους χειμερινούς μήνες. Η ημερήσια διάρκεια της ηλιοφάνειας εμφανίζει ελάχιστο τον Ιανουάριο και μέγιστο τον Ιούλιο. Έτσι, η έντονη ηλιοφάνεια και η υψηλή θερμοκρασία, αποτελούν ιδανικές συνθήκες για την παραγωγή φωτοχημικών ρύπων. Επίσης, η παρουσία ορεινών όγκων, σε συνδυασμό με την γειτνίαση της θάλασσας, οδηγούν σε ανάπτυξη τοπικών παλινδρομικών συστημάτων κυκλοφορίας του αέρα, περίπτωση που απαντάται στα περισσότερα μεγάλα αστικά κέντρα, δυσχεραίνει σημαντικά την δυνατότητα καθαρισμού της ατμόσφαιρας, με τους μηχανισμούς διάχυσης και μεταφοράς. Σημαντικότερο ρόλο στην διαμόρφωση των επιπέδων ρύπανσης διαδραματίζει επίσης η ένταση του πνέοντος ανέμου και η εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών.

Οι πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τόσες πολλές όσοι και οι άνθρωποι πάνω στην Γη και ακόμα περισσότερες. Στην πραγματικότητα, κάθε άνθρωπος πάνω στην Γη είναι εν δυνάμει μια πηγή ρύπανσης, μέσω των καθημερινών του δραστηριοτήτων. Οι πηγές αυτές διαχωρίζονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

Ως φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης ορίζονται εκείνες που δεν προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες κι αν ο διαχωρισμός αυτός δεν είναι πάντα εύκολος, μας βοηθάει σημαντικά.

Ωστόσο, όμως, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης απαιτεί ιδιαίτερα προσεκτική μελέτη, ανάλυση και καταγραφή. Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Παρόλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίσθηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην

ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες).

Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αερίων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως γνωρίζουμε όλοι έχει σημαντικότερες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις
- Ερεθισμοί των οφθαλμών και του δέρματος
- Πονοκέφαλοι, ίλιγγοι και ζαλάδες
- Νευρολογικές διαταραχές, δυσφορία
- Συνεισφορά στην ανάπτυξη ασθενειών, όπως το άσθμα, η βρογχίτιδα, το εμφύσημα και διάφορες μορφές καρκίνου.

Αρκετές ομάδες πληθυσμού είναι πιο ευάλωτες στην ατμοσφαιρική ρύπανση, κάποιες δεν κινδυνεύουν άμεσα ακόμη κι από σχετικά χαμηλά επίπεδα ρύπανσης. Οι πιο ευάλωτες ομάδες πληθυσμού είναι :

- Παιδιά της προεφηβικής ηλικίας
- Άτομα με άσθμα ή καρδιαγγειακές παθήσεις
- Άτομα που πάσχουν ήδη από ασθένειες του αναπνευστικού
- Ηλικιωμένοι
- Έγκυες και έμβρυα

2.1 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

1. Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
2. Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).

3. Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
4. Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
5. Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
6. Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες).

Ανθρωπογενείς πηγές: Η ανθρωπογενής ρύπανση διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

1. Στην εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση την οποία υφίσταται το σύνολο του πληθυσμού).
2. Στη ρύπανση του εργασιακού περιβάλλοντος την οποία υφίστανται συγκεκριμένες ομάδες ή κατηγορίες εργαζομένων).
3. Στην προσωπική ρύπανση με κύριο εκπρόσωπο το κάπνισμα, τη χρήση διαφόρων σπρέι.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- Οι βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασίες).
- Ο τομέας παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.
- Ο τομέας των μεταφορών.
- Η λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης.

Βιομηχανικές πηγές: Η εξάρτηση του σύγχρονου ανθρώπου από τη βιομηχανία για την παραγωγή των αναγκαίων προϊόντων διαβίωσης, έχει ως αποτέλεσμα την κατάταξη της βιομηχανίας σε έναν από τους κυριότερους παράγοντες ανθρωπογενούς ρύπανσης. Ένα μεγάλο ποσοστό της βιομηχανικής ρύπανσης προέρχεται από την επεξεργασία πρώτων υλών (ορυκτών, ξυλείας, αργού πετρελαίου), για παραγωγή τόσο ενέργειας, όσο και προϊόντων.

Η βιομηχανική ρύπανση προκαλείται επίσης και από μεταποιητικές βιομηχανίες που μετασχηματίζουν προϊόντα σε άλλα πιο αναβαθμισμένα (π.χ. παραγωγή χάλυβα από σίδηρο, μορφοποίηση αλουμινίου). Οι βιομηχανικές πηγές είναι στατικές, και κάθε μια από αυτές εκλύει σχετικά σταθερή ποσότητα και ποιότητα (με την έννοια της γνωστής σύστασης) ρύπων. Μια βιομηχανία για παράδειγμα θα βρίσκεται στην ίδια

θέση και αέριο στην οποία βρίσκεται σήμερα, εκλύοντας την ίδια ποσότητα των ίδιων ειδών ρύπων, εκτός εάν πραγματοποιηθεί κάποια βασική τροποποίηση στην παραγωγική διαδικασία.

2.2 Οι βασικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι

2.2.1 Διοξείδιο του θείου

Η φόρτιση της ατμόσφαιρας, σε αστικές κυρίως περιοχές, με αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου το καθιέρωσαν σαν δείκτη συνολικού φόρτου της αέριας ρύπανσης μιας περιοχής και η μέτρησή του είναι επιβεβλημένη για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα των αστικών περιοχών. Σχηματίζεται βασικά, από ανθρώπινες δραστηριότητες που αφορούν κυρίως την καύση στερεών και υγρών καυσίμων που περιέχουν θείο, αλλά και από ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες που είναι της τάξης των $200 \cdot 10^6$ τόνων/έτος. Υπολογίζεται ότι το έτος 2000 η παραγωγή αυτή θα ξεπεράσει τους $300 \cdot 10^6$ τόνους/έτος που είναι η ανά έτος εκλυόμενη ποσότητα SO_2 από τη φύση (ηφαίστεια και οξείδωση του H_2S).

Η αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου είναι αποτέλεσμα του γρήγορου ρυθμού βιομηχανικής ανάπτυξης που παρατηρήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμια κλίμακα. Η κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων πετρελαίου με μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο και η καύση του άνθρακα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο τύπος αυτός της ρύπανσης είναι γνωστός με το όνομα αιθαλομίχλη (smog) και το πιο πιθανό είναι η ονομασία αυτή να προήλθε από το Λονδίνο, για να περιγράψει το μίγμα της βιομηχανικής αιθάλης (κάπνας) και της φυσικής ομίχλης (SMO-ke + fo-G). Ο κυριότερος ρύπος στα επεισόδια αυτά είναι το SO_2 .

Οι μακροχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από SO₂, στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι σημαντικές. Το SO₂ προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα και ιδιαίτερα των ατόμων εκείνων που έχουν αναπνευστικά προ-βλήματα και υποφέρουν ιδιαίτερα όταν βρεθούν σε περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις SO₂. Η επίδραση της συγκέντρωσης του SO₂ στον άνθρωπο εμφανίζεται με τα εξής συμπτώματα: αντιληπτή η οσμή του ([SO₂]=3-5 ppm), ερεθισμός του φάρυγγα ([SO₂]=8-12 ppm), ερεθισμός οφθαλμών, βήχας ([SO₂]= 20 ppm), μέγιστη διάρκεια παραμονής 30' ([SO₂]= 50-100 ppm) και τέλος επικίνδυνη έστω και βραχεία έκθεση ([SO₂]= 400-5000 ppm) (Βασιλικιώτης 1989).

Έτσι αναφέρονται περιπτώσεις που οι μετεωρολογικές συνθήκες (χαμηλές θερμοκρασιακές αναστροφές με μικρό ύψος ανάμιξης των αέριων ρύπων, μεγάλη σχετική υγρασία και χαμηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες ανέμου) ευνόησαν την εμφάνιση των γκριζόμαυρων νεφών αιθαλομίχλης που απλώνονται πάνω από αστικά κέντρα με ολέθρια αποτελέσματα. Η πιο παλιά σοβαρή περίπτωση είναι αυτή που σημειώθηκε στην κοιλάδα Meuse River Valley του Βελγίου στις 1-5/12/1930, όπου λόγω δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασιακής αναστροφής) σημειώθηκε "παγίδευση" ρύπων από την καύση ανθράκων και προκλήθηκε ο θάνατος 63 ατόμων επιπλέον και πολλών ζώων. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε στις 26-31/10/1948 στη Donora της Πενσυλβανίας (ΗΠΑ) όπου το 40% του πληθυσμού της περιοχής είχε αναπνευστικά προβλήματα και προκλήθηκε ο θάνατος 20 ατόμων επιπλέον. Στις 24/11/1950 στην Poca Rica του Μεξικού σημειώθηκε επεισόδιο αιθαλομίχλης, με επιπτώσεις το θάνατο 22 ατόμων επιπλέον και την εισαγωγή σε νοσοκομεία 320 ατόμων από διάφορες ηλικίες με αναπνευστικά προβλήματα. Το χειρότερο όμως από όλα τα επεισόδια παρατηρήθηκε κατά τη χρονική περίοδο 5-9/12/1952 στο Λονδίνο, στη διάρκεια δε των 5 αυτών ημερών η κατάσταση ήταν

τραγική από την άποψη της συσσώρευσης αερολυμάτων, με επακόλουθο να σημειωθούν 4000 επιπλέον θάνατοι το μήνα εκείνο. Οι περισσότεροι από τους νεκρούς ήταν βρέφη ή υπερήλικες και είχαν αναπνευστικά προβλήματα. Ακολούθησαν και άλλα τέτοια επεισόδια τόσο στο Λονδίνο (12/1962, επιπλέον θάνατοι), όσο και στη Νέα Υόρκη (11/1953 και 30/6/1966 με 200 και 168 επιπλέον θανάτους αντίστοιχα) (Boubel et al. 1994).

Τα φυτά είναι και αυτά θύματα της ρύπανσης από το SO₂, διότι το απορροφούν απ' ευθείας οι φυτικές επιφάνειες. Σε περιοχές στις οποίες η μέση συγκέντρωση του SO₂ ξεπερνά τα 0.021 ppm (= 55 μg/m³), είναι δυνατόν να εμφανισθούν συμπτώματα υπανάπτυξης ή ακόμη και νέκρωσης σε ορισμένα φυτά. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η μηλιά, η αχλαδιά και το πεύκο, όταν στις περιοχές που βρίσκονται η συγκέντρωση του SO₂ φθάσει τα 0.5 ppm (= 1310 μg/m³) και παραμείνει στην τιμή αυτή για 5-6 ώρες, τότε αρχίζουν να εμφανίζονται τα πρώτα συμπτώματα δηλητηρίασής τους.

Η επίδραση του SO₂ σε διάφορα υλικά έχει δυσμενή αποτελέσματα, όπως: την αύξηση του χρόνου ξήρανσης των ελαιοχρωμάτων κατά 50-100%, την αύξηση της διάβρωσης των μετάλλων (σίδηρος, χάλυβας, ψευδάργυρος), τη μείωση της ανθεκτικότητας και τον αποχρωματισμό υλικών όπως το μαλλί, το βαμβάκι, το χαρτί και το δέρμα και τέλος την αύξηση της διάβρωσης οικοδομικών υλικών.

Η οξείδωση του SO₂ και των NO_x έχει για συνέπεια τη μετατροπή τους σε θεικό οξύ και νιτρικό οξύ αντίστοιχα τα οποία πέφτουν με τη βροχή (όξινη βροχή). Η όξινη βροχή είναι μία από τις πιο σημαντικές οικολογικές επιπτώσεις του SO₂ και είναι υπεύθυνη, στις αστικές περιοχές, για την καταστροφή των μαρμάρινων και λοιπών μνημείων καθώς και των κτιρίων. Το πρόβλημα αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας, που είναι μία χώρα με τόσο πλούσια κληρονομιά σε τέτοια μνημεία. Στις αγροτικές περιοχές, η όξινη βροχή προκαλεί τη μεταβολή της τιμής του pH των λιμνών και

ποταμών (δηλαδή το κάνει πιο όξινο) με επιπτώσεις, τη μείωση του πληθυσμού των ψαριών και των μικροοργανισμών που ζουν στις λίμνες και τα ποτάμια. Η όξινη βροχή αλλοιώνει την ποιοτική σύσταση των εδαφών και προκαλεί καταστροφές στα δάση (π.χ. το 50% των δασών της πρώην Δ. Γερμανίας έχουν υποστεί βλάβες) και τις αγροτικές καλλιέργειες, επιβραδύνει δε την ανάπτυξη των φυτών ελαττώνοντας το ρυθμό αποσύνθεσης και διανταλλαγής θρεπτικών συστατικών μεταξύ εδάφους και φυτών.

Το SO₂ εκτός από την τροπόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει μεταβολές και στη στρατόσφαιρα, άρα και στο κλίμα της Γης. Οι αυξημένες ποσότητες του SO₂ που φθάνουν στη στρατόσφαιρα προέρχονται, είτε από εκρήξεις ηφαιστειών, είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και προκαλούν την αύξηση του στρώματος των σωματιδίων της στρατόσφαιρας, με συνέπεια την αύξηση του ποσοστού της απορροφούμενης ακτινοβολίας στην στρατόσφαιρα. Σαν αποτέλεσμα έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας και μείωση της ολικής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι κατά την έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo (12-16/6/1991), στο νησί Λουσόν των Φιλιππίνων, η συνολικά εκτοξευθείσα ποσότητα διοξειδίου του θείου έφτασε τους 18 εκατομμύρια τόνους και ανήλθε μέχρι τη στρατόσφαιρα.

2.2.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Αέριο, άοσμο, άχρωμο και διαλύεται ελάχιστα στο νερό, εκπέμπεται από τις εξατμίσεις των μηχανών των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων και πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση της καύσιμης ύλης.. Είναι αναφλέξιμο και καίγεται με μπλε φλόγα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις (>100 ppm) μπορεί να αποβεί και θανατηφόρο.

Η πιο σημαντική πηγή του είναι η ατελής καύση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων γενικότερα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 80% περίπου του παγκόσμια

παραγόμενου μονοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από τα αυτοκίνητα. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται και ως ο κατεξοχήν κυκλοφοριακός ρύπος. Η μείωση των συγκεντρώσεών του οφείλεται στη μείωση του μέσου όρου ηλικίας των κυκλοφορούντων αυτοκινήτων, με την εφαρμογή του μέτρου απόσυρσης της περιόδου 1990-1993 και στην παράλληλη σταδιακή αύξηση του ποσοστού των καταλυτικών αυτοκινήτων, στο σύνολο του στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων. Άλλες πηγές εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα είναι τα ηφαίστεια, οι πυρκαγιές στα δάση, και διάφορες βακτηριακές δράσεις.

Η τοξική του δράση οφείλεται στη μεγάλη χημική συγγένεια που έχει με την αιμογλοβίνη, τη χημική ουσία στα ερυθρά αιμοσφαίρια που μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες στα κύτταρα του σώματος και CO₂ από τα κύτταρα στους πνεύμονες. Υψηλές συγκεντρώσεις του, μπορούν να βρεθούν σε κλειστά μέρη όπως χώροι στάθμευσης, ελλιπώς αεριζόμενες υπόγειες διαβάσεις, ή κατά μήκος των δρόμων σε περιόδους κυκλοφοριακής αιχμής.

Το μονοξείδιο του άνθρακα σε αρρύπαντη ατμόσφαιρα βρίσκεται σε μικρές συγκεντρώσεις της τάξης του 0.1 ppm (= 0.1145 mgr/m³), ενώ αντίθετα σε ρυπασμένες περιοχές, όπως σε στενές και χωρίς καλό αερισμό λεωφόρους, οι συγκεντρώσεις του μπορούν να ξεπεράσουν τα 50 ppm (= 62 mgr/m³).

Η αύξηση του μονοξειδίου του άνθρακα στο αίμα επηρεάζει διάφορα ανθρώπινα όργανα και πρωταρχικά αυτό στο οποίο η έλλειψη οξυγόνου έχει άμεσες συνέπειες, τον εγκέφαλο. Τα αποτελέσματα είναι η μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου. Είναι φανερό ότι τις συνέπειες αυτές υφίστανται οι οδηγοί αυτοκινήτων που το επάγγελμα τους υποχρεώνει να κινούνται σε πολυσύχναστους δρόμους. Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ώστε ο χρόνος παραμονής τους να είναι κατά το δυνατόν μικρότερος.

Συνεχής έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα έχει ως αποτέλεσμα ξαφνική απώλεια της συνειδήσεως χωρίς αναπνευστικές διαταραχές, που συνεχιζόμενη προκαλεί το θάνατο. Θάνατοι από μονοξείδιο του άνθρακα συνέβαιναν συχνά στο παρελθόν όταν ο κόσμος χρησιμοποιούσε μαγκάλια για θέρμανση, διότι λόγω έλλειψης αρκετής ποσότητας αέρα (O_2) δεν γίνονταν τέλεια καύση με αποτέλεσμα παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα το οποίο επέφερε το θάνατο.

Η επίδραση των επιπέδων της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στον αναπνεόμενο από τον άνθρωπο αέρα, σε κλειστό χώρο παραμονής, εμφανίζεται με τα εξής συμπτώματα: πρώτα συμπτώματα στη συμπεριφορά ($[CO]<10$ ppm(*)), προσβολή του κεντρικού νευρικού συστήματος, διαταραχές στην όραση και τις κινήσεις ($[CO]=10-30$ ppm), καρδιακές και πνευμονικές διαταραχές ($[CO]=31-60$ ppm) και τέλος Πονοκέφαλος, κόπωση, κώμα, αδυναμία αναπνοής, θάνατος ($[CO]=61-3000$ ppm) (Βασιλικιώτης 1981).

2.2.3 Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Με τον όρο οξείδια του αζώτου εννοούνται το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) που εμφανίζονται στον αέρα.

Το άζωτο (N_2), που αποτελεί το 78% του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξείδια του αζώτου κατά την καύση σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσης (π.χ. αυτοκίνητα) και όλους τους κλιβάνους που καίγονται ορυκτά καύσιμα. Η κύρια ένωση του αζώτου που περιέχεται στα καύσιμα των αυτοκινήτων είναι το μονοξείδιο του αζώτου. Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που σχηματίζεται. Όμως διεργασία καύσης σε υψηλή θερμοκρασία σημαίνει καλό ενεργειακό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.

Προσπάθεια μείωσης των θερμοκρασιών καύσης οδηγεί σε μικρότερη παραγωγή NO_x, χειροτερεύει όμως το βαθμό απόδοσης και αυξάνει την ενεργειακή κατανάλωση.

Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα το διοξείδιο έχει δριμεία μωροδιά και κόκκινο-κίτρινο-καστανό χρώμα. Μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μειώνει τη φωτεινότητα και δημιουργεί τη φωτοχημική αιθαλομίχλη.

Η χρήση καυσίμων κυρίως σε αυτοκίνητα αλλά και σε βιομηχανικούς καυστήρες ή σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής παράγει μονοξείδιο του αζώτου. Αυτό με διάφορες χημικές αντιδράσεις που ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου.

Έκθεση μικρής διάρκειας (π.χ. για λιγότερο από 3 ώρες) σε τρέχοντα επίπεδα διοξειδίου του αζώτου, πιθανόν να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες της αναπνευστικής ανταπόκρισης και αύξηση των ποσοστών εμφάνισης αναπνευστικών νόσων, όπως το παιδικό άσθμα (5-12 ετών). Παρατεταμένη έκθεση προκαλεί ευαισθησία του αναπνευστικού συστήματος και δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές, μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων.

Τα οξείδια του αζώτου συμμετέχουν στην εμφάνιση ποικιλίας αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, όπως οι σημαντικές αλλαγές στη σύσταση ορισμένων ειδών βλάστησης υδροβιοτόπων και χερσαίων εκτάσεων, η εμφάνιση της όξινης βροχής, η οξίνιση και ο ευτροφισμός γλυκών υδάτων, η μειωμένη ορατότητα, η αύξηση επιπέδων τοξινών διαφόρων ειδών ψαριών και άλλων υδρόβιων ζώων.

2.2.4 Όζον (O₃)

Αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική οσμή, είναι ασταθές, ισχυρά οξειδωτικό και ισχυρό τοξικό. Είναι λίγο διαλυτό στο νερό και όπως είναι ασταθές και διασπάται εύκολα, δεν

αφήνει υπολείμματα.

Αποτελεί το κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους στην επιφάνεια της γης και είναι μια αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου (O_2) και σχηματίζεται κατά διοχέτευση ξηρού οξυγόνου ή αέρα διαμέσου ηλεκτρικών εκκενώσεων με τάση 5000 - 20000 Volt.

Υπάρχει το στρατοσφαιρικό όζον το οποίο μας προστατεύει από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες του ήλιου, οι οποίες είναι βλαβερές για τους ζωντανούς οργανισμούς και το επιφανειακό (ή τροποσφαιρικό) όζον που δημιουργείται από πρωτογενείς ρύπους όπως οξείδια του αζώτου (NO_x), υδρογονάνθρακες των αυτοκινήτων και της βιομηχανίας, με την συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το όζον σχηματίζεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα αλυσίδας χημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), και οξειδίων του αζώτου υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών. Πηγές των ρύπων που συντελούν στη δημιουργία του όζοντος είναι τα οχήματα, τα εργοστάσια, οι χωματερές, τα χημικά διαλυτικά και πολλές άλλες μικρές πηγές όπως τα βενζινάδικα κι ο αγροτικός εξοπλισμός.

Το επιφανειακό όζον σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί σημαντικά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον όπου ζούμε. Έκθεση μικρής χρονικής διάρκειας (1-3 ωρών) και παρατεταμένης διάρκειας (6-8 ωρών) σε περιβάλλον όζοντος έχει συνδεθεί με μεγάλο αριθμό σοβαρών επιπτώσεων στην υγεία, όπως επείγοντα περιστατικά με αναπνευστικά προβλήματα. Επαναλαμβανόμενη έκθεση σε όζον προκαλεί στους ανθρώπους πόνους στο στήθος, επίμονο βήχα, επιδείνωση προϋπαρχόντων αναπνευστικών νοσημάτων όπως το άσθμα, σοβαρές φλεγμονές των πνευμόνων, ακόμη και μη αναστρέψιμες βλάβες αυτών, που τελικά οδηγούν σε πρόωρη γήρανση και/ή σε χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες. Παιδιά τα οποία παίζουν στην ύπαιθρο και άτομα που εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν δηλαδή οι

συγκεντρώσεις του όζοντος είναι στα υψηλότερα επίπεδα, κινδυνεύουν άμεσα από την εκδήλωση τέτοιων συμπτωμάτων.

Το επιφανειακό όζον είναι ένας ατμοσφαιρικός ρύπος που βρίσκεται παντού και θεωρείται υπεύθυνος για τον τραυματισμό των φύλλων, για τις μειώσεις της συγκομιδής και της παραγωγής σπόρου, και την ανικανότητα αύξησης των δασικών δέντρων (Chevone and Linzon 1988, Krupa and Manning 1988, Pye 1988, Velissariou et al. 1992, Fuhrer et al. 1997, Lefohn et al. 1997, Jackson et al. 2000, Fumagalli et al. 2001, Saitanis et al. 2001, Paliatsos et al. 2006, Πρώϊας κ. ά. 2009).

Επιδρά στα οικοσυστήματα, οδηγώντας στην υποβάθμιση των αγροτικών εδαφών, στην μείωση της παραγωγικότητας λαχανικών με ταυτόχρονη αύξηση των ασθενειών των φυτών, στην εμφάνιση εντόμων, και γενικά συντελεί στην εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. βαρυχειμωνιά). Καταστρέφει το φύλλωμα των δέντρων κι έτσι την αισθητική των δασών και των πάρκων.

2.2.5 Αιωρούμενα Σωματίδια

Ως αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0.0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα, ώστε καθίστανται ορατά σαν καπνός, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που δύνανται να ανιχνευθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Ορισμένα σωματίδια διαφεύγουν απευθείας από τις πηγές τους, όπως οι καπνοδόχοι και τα αυτοκίνητα. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, αέρια όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds - VOCs) αντιδρούν με διάφορες ενώσεις του

αέρα και δημιουργούν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Η φύση τους και η χημική σύστασή τους ποικίλλει, και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε καθαρή ατμόσφαιρα είναι της τάξης των $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Τα αιωρούμενα σωματίδια βέβαια δεν είναι ένας ενιαίος ρύπος, αλλά μάλλον είναι ένα μίγμα πολλών ρύπων. Μέτρο της προσροφητικής ικανότητας των σωματιδίων αποτελεί η ειδική επιφάνειά τους, η οποία αυξάνει όσο μειώνεται η διάμετρος των σωματιδίων. Αυτό συγκλίνει και με τις τελευταία δημοσιευμένες έρευνες σύμφωνα με τις οποίες τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία σωματίδια είναι αυτά με την μικρότερη διάμετρο.

Γενικά, διακρίνουμε τρεις κατηγορίες αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίες διαφέρουν ως προς την προέλευση, τη χημική τους σύσταση και την επικινδυνότητά τους: τα PM_{10} (εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια) και $\text{PM}_{2.5}$ (αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια). Τα τελευταία περιλαμβάνουν σωματίδια που μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα και να αποτεθούν στους τερματικούς βρόγχους και τις πνευμονικές κυψελίδες.

Αρχικά, οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων αναφερόταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP), δίχως να γίνεται διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Η προσέγγιση αυτή ωστόσο, εξελίχθηκε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την ανακάλυψη των διαφορετικών επιπτώσεων των σωματιδίων ανάλογα με τη διάμετρό τους.

Το πρωταρχικό μέτρο TSP αντικαταστάθηκε με το PM_{10} , το οποίο αναφέρεται μόνο σε αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου $10 \mu\text{m}$ ή και μικρότερης.

Μελέτες που αφορούν στην μεταφορά και τον μετασχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων προτείνουν τον παρακάτω διαχωρισμό:

- Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2.5 μm και 10 μm , χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα σωματίδια ($\text{PM}_{10-2.5}$). Τα χονδρόκοκκα σωματίδια έχουν διάφορες πηγές προέλευσης, όπως από τη σκόνη μεταφερόμενη με τον άνεμο, από οχήματα τα οποία κινούνται σε άστρωτους δρόμους, από μηχανήματα βιομηχανιών συμπίεσης, λιωσίματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, αλέσματος, κ.ά. Σχηματίζονται υπό την επίδραση, κυρίως, μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Σωματίδια σκόνης ή χώματος προέρχονται από την κίνηση του ανέμου, ή από άλλες μηχανικές δράσεις της περιοχής.
- Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm (<2.5 μm) αναφέρονται ως λεπτόκοκκα σωματίδια ($\text{PM}_{2.5}$). Αποδίδονται στα σχηματιζόμενα από την αέρια φάση σωματίδια, με διαδοχικές συσσωρεύσεις, συμπύκνωση, μεταφορά ή καύση, και αρχικά έχουν διάμετρο περίπου 0.05 μm . Τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να συσσωρεύονται περαιτέρω, σχηματίζοντας τα χαρακτηριζόμενα ως συσσωρευμένα σωματίδια, διαμέτρου γύρω στα 0.5 μm και τα οποία είναι σχετικά σταθερά στον αέρα. Τα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια που συνενώνονται, υπό φυσιολογικές βεβαίως ατμοσφαιρικές συνθήκες, προς συσσωρευμένα, δεν μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος χονδρόκοκκων σωματιδίων. Τα $\text{PM}_{2.5}$ προκύπτουν από πολλές, διαφορετικές πηγές, όπως από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, από διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και από οικιακές εστίες φωτιάς, τζάκια, φούρνοι κ.ά., κι έτσι η σύστασή τους ποικίλλει. Δημιουργούνται επίσης από αέρια πυρανάφλεξης, τα οποία μετατρέπονται με χημικό τρόπο σε σωματίδια.

- Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.1 μm είναι πολύ μικρά συγκρινόμενα με το μήκος κύματος του ορατού φάσματος και συμπεριφέρονται όπως τα άλλα μόρια.
- Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μm είναι πολύ μεγάλα σε σύγκριση με το μήκος κύματος του ορατού φάσματος, κι εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με τα μικροσκοπικά αντικείμενα, δηλαδή διαχέουν ή διακόπτουν το φως.

2.3 Πηγές των ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι κυριότερες πηγές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα διαχωρίζονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

2.3.1 Φυσικές πηγές

1. Επιφάνεια ωκεανών. Σταγονίδια που περιέχουν διάφορα άλατα από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας.
2. Επιφάνεια εδαφών : σκόνη.
3. Ηφαιστειακές εκρήξεις.
4. Βιογενής ύλη.
5. Καύση βιογενούς ύλης : αιθάλη.
6. Προϊόντα φυσικής μετατροπής αερίου σε σωματίδιο.
7. Η γύρη των λουλουδιών.

2.3.2 Ανθρωπογενείς πηγές

1. Εκπομπές πρωτογενούς σωματιδιακής ύλης από ανθρώπινες δραστηριότητες.
2. Δευτερογενή αερολύματα, τα οποία είναι προϊόντα αέριων ανθρωπογενών εκπομπών από καύσεις ορυκτών καυσίμων.
3. Βιομηχανικές δραστηριότητες – Κατασκευαστικά έργα.
4. Δημιουργία τους στον αέρα από μετασχηματισμό αερίων μέσω χημικών αντιδράσεων.

Τα ντιζελοκίνητα οχήματα εκπέμπουν σχεδόν το διπλάσιο αριθμό σωματιδίων από τα βενζινοκίνητα, με μέγεθος κοντά στο 0.1 μ, τα οποία είναι κυρίως υδρογονάνθρακες και σωματίδια αιθάλης, ουσιαστικά σωματίδια ελεύθερου άνθρακα και εμπεριέχουν θείο σε

αναλογία με τη συγκέντρωσή του στο καύσιμο. Επίσης κατά την κυκλοφορία των οχημάτων σημειώνεται επαναιώρηση των σωματιδίων που είχαν επικαθίσει στο έδαφος και επαναφορά τους στην ατμόσφαιρα.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των σπιτιών παράγει ανάλογα αιωρούμενα σωματίδια. Το ξύλο, το κάρβουνο, το κωκ και το πετρέλαιο είναι οι πρώτες ύλες με τη μεγαλύτερη συνεισφορά. Η ιστορική αιθαλομίχλη του Λονδίνου το 1952, με μεγάλο αριθμό θυμάτων, οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στη χρήση των στερεών καυσίμων. Το φυσικό αέριο και η θέρμανση από απομακρυσμένη πηγή είναι πιο φιλικές μέθοδοι προς το περιβάλλον.

Η βιομηχανία και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας, στο ευρύ φάσμα ρύπων που συνεισφέρουν στην αστική και όχι μόνο ατμόσφαιρα, συμπεριλαμβάνουν και τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τα εργοστάσια τσιμέντου και η βιομηχανία γυαλιού είναι ενδεικτικά μερικά παραδείγματα. Υπάρχει και άλλη μια κατηγορία σωματιδίων, τα δευτερογενή, τα οποία διαφοροποιούνται από τα παραπάνω (πρωτογενή) ως προς τον τρόπο δημιουργίας τους. Τα δευτερογενή σωματίδια είναι αποτέλεσμα της πυρήνωσης και συμπύκνωσης των υπέρκορων ατμών. Αρχικά έχουν μικρό μέγεθος (0.005 – 0.5 μm) και στη συνέχεια συσσωματώνονται προς μεγαλύτερα σωματίδια (0.1 – 2.5 μm), μέγεθος αρκετά επικίνδυνο για τον ανθρώπινο οργανισμό.

2.3.3 Φυσικές Διεργασίες Σχηματισμού Σωματιδίων

Τα αιωρούμενα ανόργανα σωματίδια της σκόνης προέρχονται κυρίως από μηχανισμούς θραύσης μεγαλύτερων σωματιδίων, φυσικής και χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και από την επίδραση των ανέμων στην επιφάνεια της Γης. Τα θαλάσσια αερολύματα προκύπτουν με την επενέργεια των ανέμων στην επιφάνεια της θάλασσας.

Επί πλέον, μεγάλο φάσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων περιλαμβάνουν τη θραύση υλικών, η οποία συνεπάγεται απελευθέρωση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Η εντατική αγροτική δραστηριότητα αποτελεί μια έμμεση πηγή εκπομπής σωματιδίων από τα εδάφη, τα οποία γίνονται πιο ευαίσθητα στην αιολική διάβρωση.

2.3.4 Χημικές Διεργασίες Σχηματισμού Σωματιδίων

Οι περισσότερες χημικές διεργασίες σχηματισμού σωματιδίων προέρχονται κυρίως από διεργασίες καύσης. Σε αυτές περιλαμβάνονται σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, οικιακές, βιομηχανικές καύσεις, ηφαιστειακές εκπομπές. Αυτά τα σωματίδια, τα οποία μπορούν να είναι εμπλουτισμένα με τοξικά συστατικά, αποτελούν απειλή για την υγεία, διότι μπορούν να μεταφερθούν στις πνευμονικές κυψελίδες.

Η ύπαρξη σωματιδιακής ύλης στην ατμόσφαιρα είναι ένα δυναμικό φαινόμενο με συνεχείς εκπομπές από πηγές μικροσωματιδίων, δημιουργία συσσωματωμάτων στον αέρα από συμπύκνωση ατμών επάνω τους, με χημικές αντιδράσεις μεταξύ αυτών των αερίων και ατμών ή μικροσταγονιδίων και τέλος με απομάκρυνσή τους από τον αέρα με συναθροίσεις, που γίνονται λόγω τυχαίων συγκρούσεων. Έτσι, όταν δύο σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους στον αέρα, τείνουν να συγκολληθούν, εξαιτίας ελκτικών δυνάμεων, δημιουργώντας σταδιακά, όλο και μεγαλύτερα σωματίδια τα οποία τελικά επικάθονται, λόγω βαρύτητας στη Γη. Επίσης, μερικά σωματίδια εγκαταλείπουν τον αέρα, αφού συγκρουστούν με τις στερεές επιφάνειες των φυτών, των προσόψεων των κτιρίων και του εδάφους. Αυτός ο μηχανισμός αυτοκάθαρσης της ατμόσφαιρας λέγεται «ξηρή εναπόθεση», είναι αργός και αφορά κυρίως τα μεγάλου μεγέθους σωματίδια. Ο δεύτερος μηχανισμός αυτοκάθαρσης, που έχει το πλεονέκτημα να είναι πιο γρήγορος και αποτελεσματικός, είναι ο μηχανισμός της υγρής εναπόθεσης, μιας διαδικασίας

«σάρωσης» της ατμόσφαιρας, κατά την οποία τα σωματίδια παρασύρονται από τις σταγόνες της βροχής, τις νιφάδες του χιονιού, το χαλάζι ή την ομίχλη. Πάντως, σε κάθε περίπτωση η κινητική συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ένας σύνθετος μηχανισμός πολλών σταδίων, που περιλαμβάνει: το δυναμικό εκπομπής, τη γένεση, εκπομπή, αιώρηση, μεταφορά, εναπόθεση και όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν την επαναιώρηση.

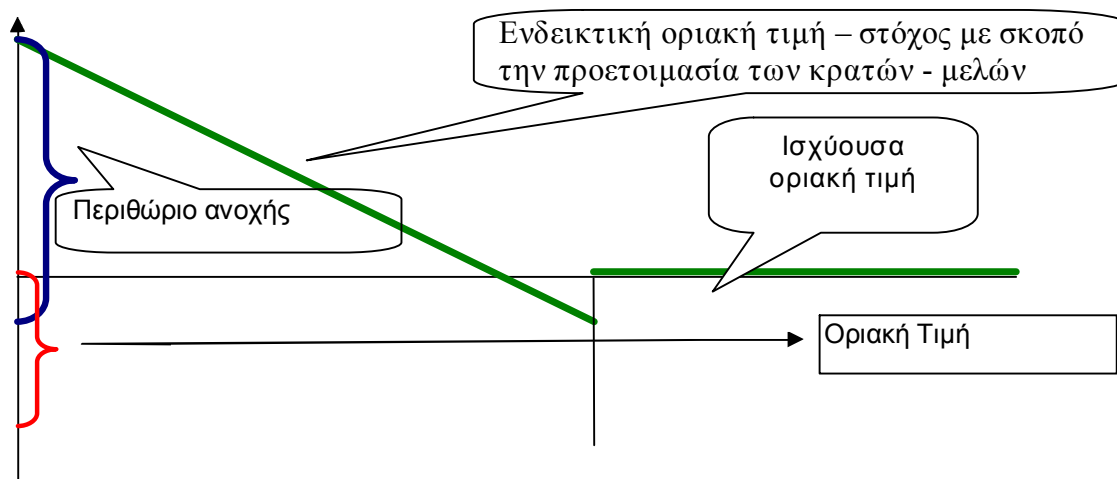
2.4 Θεσμικά πλαίσια ποιότητας της ατμόσφαιρας

Στην χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας, για τους ρύπους διοξείδιο του θείου, καπνό, διοξείδιο του αζώτου, μόλυβδο και όζον σύμφωνα με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί στην Ε.Ε. Τα όρια αυτά δίνονται στα αντίστοιχα Παραρτήματα των ετήσιων εκθέσεων του πρώην Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και νυν Υ.Π.Ε.Κ.Α., για την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην Αθήνα. Στα ίδια Παραρτήματα δίνονται οι μακροχρόνιοι στόχοι που προτείνονται από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (ΠΟΥ). Επίσης, με μία σειρά από νέες οδηγίες σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση, θεσπίστηκαν από την Ε.Ε., πέραν των άλλων, νέα όρια για τους διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Τα όρια αυτά αναφέρονται στην προστασία τόσο της ανθρώπινης υγείας, όσο και των οικοσυστημάτων.

Στην παρούσα φάση, έχουν εκδοθεί:

- Η οδηγία – πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση (οδηγία 1996/62/ΕΚ) για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000 (ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000)).

- Η πρώτη «θυγατρική» της οδηγία (οδηγία 1999/30/ΕΚ) για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος (ΦΕΚ 125/Β/ 5-6-02).
- Η δεύτερη «θυγατρική» της οδηγία (οδηγία 2000/69/ΕΚ) για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος.
- Η Τρίτη «θυγατρική» της οδηγία (οδηγία 2002/3/ΕΚ) σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα.
- Με βάση τις παραπάνω οδηγίες, θεσπίζονται νέα όρια για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, που έχουν ως έτος εφαρμογής το 2005 ή το 2010, ανάλογα τον ρύπο.



Σχήμα 8. Επεξήγηση της εφαρμογής της τιμής στόχου και οριακής τιμής με βάση τις οδηγίες της Ε.Ε. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 2006).

2.5 Αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης

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 κυρίως λόγω εξαιρετικά δυσμενών

μετεωρολογικών συνθηκών, αναμένεται αύξηση των τιμών συγκέντρωσης αέριων ρύπων.

Τα μέτρα λαμβάνονται όταν οι μετρούμενες τιμές υπερβούν ή προσεγγίσουν τα όρια εκτάκτων μέτρων (συναγερμού) και ταυτόχρονα υπάρχει πρόβλεψη για συνθήκες που ευνοούν τη διατήρηση ή αύξηση των συγκεντρώσεων για τις επόμενες ή την επόμενη ημέρα.

Τα αρχικά όρια για τη λήψη εκτάκτων μέτρων, που αναφέρονται στην παραπάνω 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).

Για το CO, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/69/ΕΚ (ενσωμάτωση στο Εθνικό Δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 9238/332/2004) δεν προβλέπεται όριο συναγερμού. 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.

Για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀) δεν προβλέπεται από την κείμενη νομοθεσία τόσο την ευρωπαϊκή όσο και την ελληνική όριο συναγερμού.

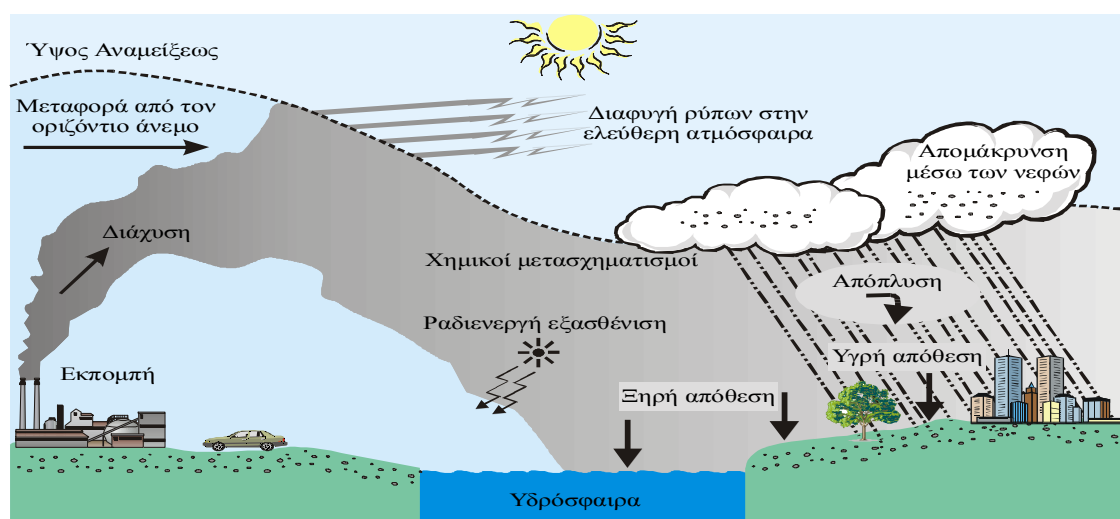
Τα επικαιροποιημένα όρια λήψης εκτάκτων μέτρων που ισχύουν σήμερα (Υ.Π.Ε.Κ.Α. 2011) για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Όρια λήψης εκτάκτων μέτρων για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας (Υ.Π.Ε.Κ.Α. 2011).

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	1 ώρα	Όριο συναγερμού: 400 μg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	1 ώρα	Όριο συναγερμού: 500 μg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Όζον (O ₃)	1 ώρα	Όριο συναγερμού: 240 μg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες

2.6 Ατμοσφαιρικός κύκλος ρύπανσης

Μια ποικιλία ατμοσφαιρικών μηχανισμών είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και το μετασχηματισμό των αέριων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Το Σχήμα 2.1 δείχνει σχηματικά τις διαδικασίες οι οποίες συντελούν στη διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από μια καμινάδα. Επίσης στο Σχήμα 2.2 εμφανίζονται μορφές κατακόρυφης ανάπτυξης του θυσάνου για διαφορετικές συνθήκες ευστάθειας στην ατμόσφαιρα.

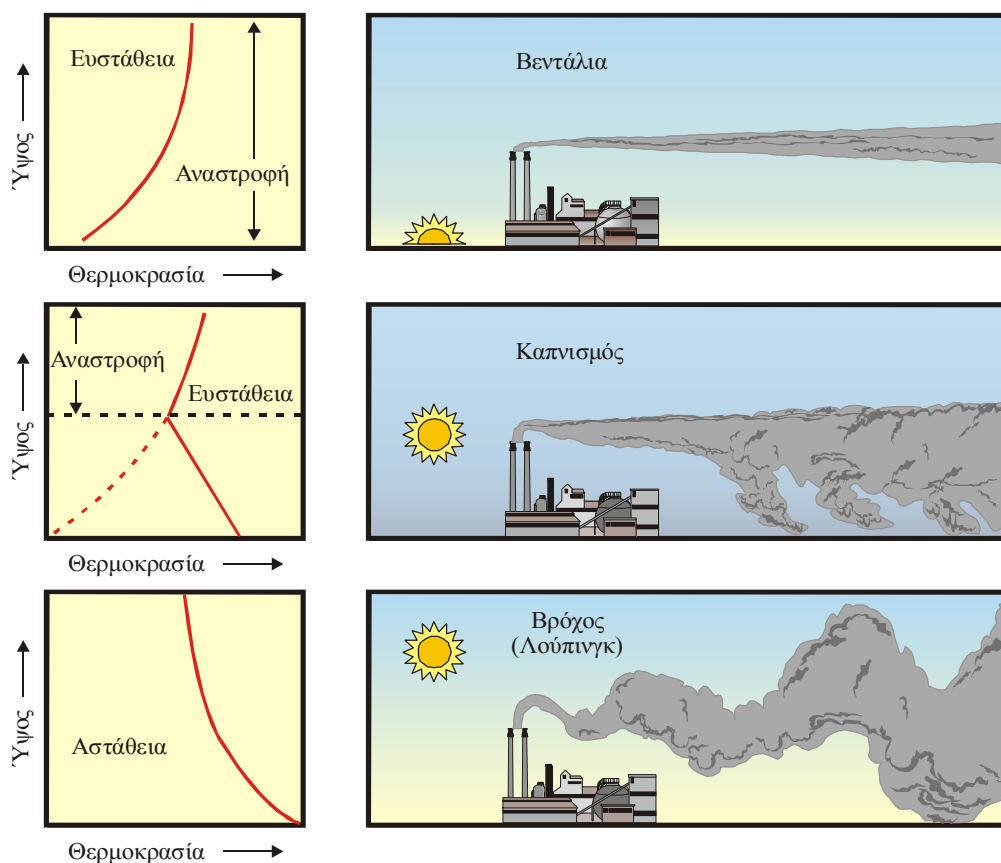


Σχήμα 2.1. Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων (Μελάς κ. ά. 2000).

Οι αέριοι ρύποι όταν εξέρχονται από την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα αέρα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αρχική ορμή που έχουν τα καυσαέρια όταν φθάνουν στην κορυφή της καμινάδας έχει σαν αποτέλεσμα ο θύσανος να ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Το ύψος αυτό είναι βέβαια υψηλότερο του φυσικού (κατασκευαστικού) ύψους της καμινάδας και ονομάζεται ενεργό ύψος της καμινάδας. Η διαφορά ανάμεσα στο φυσικό και στο ενεργό ύψος της καμινάδας ονομάζεται αρχική ανύψωση του θυσάνου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η αρχική ανύψωση του θυσάνου έχει πολύ μεγάλη σημασία στην ποιότητα του αέρα της περιοχής γιατί μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος

της καμινάδας με ένα παράγοντα, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται μεταξύ του διπλάσιου έως και δεκαπλάσιου του κατασκευαστικού ύψους 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, στην ακραία περίπτωση, να μειώσει τις συγκεντρώσεις εδάφους με ένα παράγοντα της τάξης του 100.



Σχήμα 2.2. Η κατακόρυφη ανάπτυξη του θυσάνου για διαφορετικές συνθήκες ευστάθειας στην ατμόσφαιρα. Η ευστάθεια ορίζεται από την θερμοβαθμίδα (την μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος) η οποία φαίνεται στα αριστερά του σχήματος (Μελάς κ. ά. 2000).

Ο καπνός μεταφέρεται μακριά από την πηγή από το μέσο οριζόντιο άνεμο. Η οριζόντια μεταφορά αποτελεί τον πλέον σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραιώσης 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 με μεγάλη πυκνότητα εκπομπών. Τέτοιες συνθήκες εμφανίζονται συνήθως κοντά στο κέντρο αντικυκλωνικών συστημάτων.

Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και τη διαπλάτυνση του θυσάνου, με τελικό αποτέλεσμα την αραιώση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση. Η κλίμακα και η ένταση της αραιώσης εξαρτώνται από το βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται αργά, ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η διάχυση πολύ έντονη. Η διάχυση των ρύπων γίνεται μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος από την επιφάνεια της γης το οποίο ονομάζεται ύψος ανάμειξης. Το στρώμα το οποίο περιέχεται ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και το ύψος ανάμειξης, ονομάζεται στρώμα ανάμειξης.

Η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ονομάζεται απόθεση. Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης, την καθίζηση, την ξηρή απόθεση και την υγρή απόθεση. Ειδικότερα:

Καθίζηση ονομάζεται η πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων.

Ξηρή απόθεση υφίστανται τα μικρά σωματίδια και οι αέριες ενώσεις που ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και κατακρατούνται, όταν έρθουν σε επαφή, από την υποκείμενη επιφάνεια.

Υγρή απόθεση λαμβάνει χώρα σε περίπτωση υετού οπότε μπορεί να συμβεί κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ρύπων οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από τη 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.

Σε κάθε περίπτωση είναι πολύ σημαντικό, όταν μελετάμε τους αέριους ρύπους και τις επιπτώσεις τους, να ξεχωρίσουμε από τη μια την αέρια ρύπανση και τις επιπτώσεις της και από την άλλη την αποτιθέμενη ρύπανση με τις αντίστοιχες επιπτώσεις. Ο λόγος για τον οποίο είναι τόσο σημαντικός αυτός ο διαχωρισμός είναι ότι η κλίμακα των δύο φαινομένων είναι πολύ διαφορετική. Οι απευθείας επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι περισσότερο τοπικό πρόβλημα και οι επιδράσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες στις περιοχές κοντά στην πηγή της ρύπανσης. Από την άλλη πλευρά, η επίδραση της απόθεσης εξαπλώνεται σε πολλές εκατοντάδες ή χιλιάδες χιλιόμετρα.

Κατά τη διάρκεια 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 μέσα στο οποίο διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού καινούργιων ουσιών. Οι καινούργιες ουσίες παράγονται από αέρια και υγρά τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους και με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες οι οποίες δεν είναι ρύποι. Σε πολλές περιπτώσεις όμως στα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων περιλαμβάνονται, όπως ήδη έχει αναφερθεί, και νέοι ρύποι οι οποίοι ονομάζονται δευτερογενείς σε αντιδιαστολή με αυτούς που εκπέμπονται από τις πηγές οι οποίοι ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι.

Ένα μέρος της ρύπανσης διαφεύγει 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 μεριά, οι αντίστοιχοι ατμοσφαιρικοί μηχανισμοί είναι μεγαλύτερης χωρικής και χρονικής κλίμακας με αποτέλεσμα τα φαινόμενα να επηρεάζουν ευρύτερες περιοχές της Γης.

2.7. Παράγοντες που επιδρούν στη ρύπανση

Σαν εκπομπή αναφέρεται το ποσό της ρύπανσης που διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα από την έξοδο μιας πηγής όπως π.χ. από την καμινάδα ενός εργοστασίου. Η εκπομπή εκφράζεται σε μονάδες παροχής, συνήθως τόνοι ανά ημέρα ή kg/h. Σαν συγκέντρωση αναφέρεται το ποσό της ρύπανσης που δέχεται κάποιος αποδέκτης. Η συγκέντρωση εκφράζεται είτε με μονάδες πυκνότητας (μάζα ρυπαίνουσας ουσίας σε δεδομένο όγκο αέρα), είτε με μονάδες αραιώσης (όγκος ρυπαίνουσας ουσίας σε δεδομένο όγκο αέρα).

Οι συνηθέστερες μονάδες συγκέντρωσης είναι το $\mu\text{gr}/\text{m}^3$, το ppm (Particles per million - Μέρη στο εκατομμύριο) και το ppb (Particles per billion - Μέρη στο δισεκατομμύριο).

Ισχύει δε ότι $1 \text{ ppm} = 1 \cdot 10^3 \text{ ppb}$.

Αν και, κατά κανόνα, ισχυρές εκπομπές σημαίνουν και ισχυρές συγκεντρώσεις, η σύνδεση των δύο αυτών μεγεθών παρουσιάζει αρκετές ιδιομορφίες και η διάκρισή τους είναι αναγκαία. Μία συγκεκριμένη εκπομπή δημιουργεί συγκεντρώσεις στα διάφορα σημεία του χώρου που είναι διαφορετικές μεταξύ τους τόσο σε ένταση όσο, πολλές φορές, και σε ποιότητα. Έτσι, ενώ οι εκπομπές αντιπροσωπεύουν μόνο το διαθέσιμο δυναμικό της ρύπανσης, αντίθετα οι συγκεντρώσεις αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά ποσά ρύπανσης που δέχονται οι αποδέκτες και, από την άποψη αυτή, αποτελούν το σωστότερο κριτήριο για την αξιολόγηση των προβλημάτων. Γενικά, οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρότερες από τις εκπομπές γεγονός που οφείλεται βασικά στη διασπορά των ρύπων από τη στιγμή που θα διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα μέχρι τη στιγμή που θα φθάσουν στους αποδέκτες. Τα φαινόμενα της διασποράς επηρεάζονται από ένα μεγάλο πλήθος φυσικών, χημικών και τεχνικών παραγόντων. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι:

- Η φύση της ρυπαίνουσας ουσίας: Είναι αυτή που καθορίζει ουσιαστικά την ικανότητα της να διαχέεται, να παραμένει χημικά σταθερή και να αφομοιώνεται από την ατμόσφαιρα ή το έδαφος.
- Η θέση και τα λειτουργικά στοιχεία της πηγής: Η θέση της πηγής σε σχέση με τους αποδέκτες της ρύπανσης αποτελεί μια σοβαρή παράμετρο στη σχέση εκπομπή-συγκέντρωση. Γενικά, μεγάλη οριζόντια απόσταση από την πηγή σημαίνει μεγαλύτερη διασπορά και αραίωση της ρυπαίνουσας ουσίας, άρα μικρότερες συγκεντρώσεις ρύπανσης στους αποδέκτες. Το ίδιο ισχύει όταν μεταξύ πηγής και αποδέκτη υπάρχει μεγάλη υψομετρική διαφορά, όμως στην περίπτωση αυτή είναι μεγαλύτερη η οριζόντια απόσταση που μπορεί να μεταφερθεί ο ρύπος από την πηγή.
- Οι μετεωρολογικές συνθήκες: Από τις μετεωρολογικές συνθήκες ο παράγοντας εκείνος που επιδρά περισσότερο από όλους στη διασπορά των ρύπων είναι η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου. Η συγκέντρωση που δημιουργείται σε ένα σημείο του χώρου από μια δεδομένη πηγή ρύπανσης είναι αντιστρόφως ανάλογη της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου. Από τους άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες, η μεν βροχή συντελεί στην κατακρήμνιση, η δε υγρασία στην απορρόφηση πολλών αερίων και στερεών ρύπων. Τέλος, ενώ η θερμοκρασία έχει μικρή, σχετικά με τις άλλες μετεωρολογικές συνιστώσες, επίδραση στη διασπορά των ρύπων, αντίθετα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στα μεγέθη των αστικών εκπομπών μια και με αυτή συνδέεται άμεσα η διάρκεια λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.
- Η τοπογραφία της περιοχής: Η τοπογραφία της περιοχής όπου βρίσκονται οι πηγές και οι αποδέκτες καθορίζει τις ειδικές τοπικές συνθήκες κίνησης του αέρα και παρεμβαίνει στη φυσική διασπορά της ρύπανσης θετικά ή αρνητικά. Σε ευρύτερη γεωγραφική κλίμακα, μία περιοχή που περιορίζεται από βουνά ή μία περιοχή με διάσπαρτους λόφους και ψηλά κτίρια αποτελεί γενικά πεδίο συσσώρευσης ρύπων. Αντίθετα, μία

περιοχή ανοικτή και ελεύθερη ευνοεί τη διασπορά τους. Πάντως και στις δύο περιπτώσεις παίζουν μεγάλο ρόλο τόσο η θέση που έχουν μέσα στην περιοχή οι πηγές και οι αποδέκτες, όσο και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

- Η ύπαρξη άλλων ρύπων: Η ταυτόχρονη ύπαρξη ρύπων με διαφορετική σύσταση δημιουργεί νέους ρύπους με ιδιότητες διασποράς, τις περισσότερες φορές, διαφορετικές από τις ιδιότητες των αρχικών συστατικών. Στην περίπτωση ενός αερίου ρύπου, η συνύπαρξη του με άλλους ρύπους οδηγεί σε χημικές αντιδράσεις που, κατά κανόνα, δίνουν σαν προϊόντα αέρια ή σωματίδια με μεγαλύτερο βάρος. Τα βαρύτερα αυτά προϊόντα παρουσιάζουν μικρότερη ακτίνα διασποράς σε σχέση με τους αρχικούς ρύπους αλλά μεγαλύτερες ενδιάμεσες συγκεντρώσεις.

- Η θέση του αποδέκτη: Η θέση του αποδέκτη αξιολογείται σε σχέση με τη θέση των πηγών ρύπανσης, την τοπογραφία καθώς και τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου.

2.8 Επιπτώσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας δέχεται, στις μέρες μας, τρομακτική επιβάρυνση από μολυσματικούς παράγοντες με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Καθένας μας θα πρέπει να δώσει απάντηση στο ερώτημα «ποιες είναι άραγε οι προοπτικές αυτού του πλανήτη;».

Ποιες είναι αυτές οι προοπτικές κάτω από την επίδραση της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου και της τρύπας του όζοντος; Δεκάδες βιβλία και ακόμη περισσότερα επιστημονικά άρθρα έχουν γραφτεί σχετικά με το θέμα της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πολύ μεγάλης έκτασης και πολύ-παραμετρικό (Γεντεκάκης 2003).

2.8.1 Επιπτώσεις στην Ανθρώπινη Υγεία

Είναι γνωστό ότι η υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που διαμορφώνουν την ποιότητα ζωής στις σύγχρονες πόλεις και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπινου οργανισμού. Μέρος των ατμοσφαιρικών ρύπων, κυρίως μέσω της αναπνευστικής οδού, εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλώντας σοβαρά νοσήματα. Από επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν ως τώρα έχει προκύψει όχι μόνο συσχέτιση μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και εξάρσεων χρόνιων πνευμονικών νόσων αλλά και αύξηση των θανάτων από καρδιαγγειακές παθήσεις, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένα άτομα και άτομα με υποκείμενες καρδιοπνευμονικές παθήσεις (Glantz 1993, Seaton et al. 1995). Η σχέση της καρδιαγγειακής θνησιμότητας και νοσηρότητας με την ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και τις κλιματολογικές μεταβολές έχει αποτελέσει ιδιαίτερο θέμα συζήτησης στην επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια (Katsouyanni et al. 1988, Glantz 1993, Seaton et al. 1995, Hajat et al. 2002, Panagiotakos et al. 2004, Bartzokas et al. 2004, Paliatsos et al. 200a). Τα τελευταία χρόνια οι οδηγίες της ΠΟΥ και η ευαισθητοποίηση τόσο των κυβερνήσεων όσο και άλλων αρμόδιων φορέων δείχνουν να καταβάλουν ιδιαίτερες προσπάθειες για τον περιορισμό του προβλήματος της ρύπανσης της ατμόσφαιρας στις περισσότερες Ευρωπαϊκές πόλεις. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο στις Η.Π.Α. συμβαίνουν 350000 αιφνίδιοι καρδιακοί θάνατοι από τους οποίους 60000 περίπου σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση (Glantz 1993). Στις δεκαετίες 1940 και 1950 ο άνθρακας αποτελούσε το κύριο καύσιμο για ενεργειακή, βιομηχανική και οικιακή χρήση και οι μεγαλουπόλεις επηρεάζονταν, ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες, από το νέφος το οποίο σε συνδυασμό και με τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας παγιδευόταν κοντά στο έδαφος. Το νέφος αυτό, που ονομάστηκε «νέφος αιθαλομίχλης», θεωρήθηκε υπεύθυνο για την μεγάλη αύξηση αναπνευστικών και

καρδιαγγειακών θανάτων στο Λονδίνο το 1952 (Boubel et al. 1994). Από τότε καταδείχθηκε μια σχέση ιδίως μεταξύ SO₂ και αιωρούμενων σωματιδίων με την αύξηση της καρδιοπνευμονικής νοσηρότητας και θνησιμότητας.

Θα μπορούσε να πει κανείς ότι από τις μέχρι τώρα μελέτες (Glantz 1993, Seaton et al. 1995, Hajat et al. 2002) αλλά και από τα ελληνικά δεδομένα, φαίνεται ότι η εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων και οι έντονες διακυμάνσεις των κλιματικών παραμέτρων (Paliatsos and Nastos 1990a, Seaton et al. 1995, Bartzokas et al. 2004, Paliatsos et al. 2006b) σχετίζονται με την αυξημένη νοσηρότητα, από διάφορα αίτια. Ειδικότερα, τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ένα μείγμα στερεών και υγρών σωματιδίων που ποικίλουν σε μέγεθος, σύνθεση και προέλευση. Επειδή μόνο τα πολύ μικρά σωματίδια μπορούν με την εισπνοή να φτάσουν μέχρι τα τελικά τμήματα του αναπνευστικού δένδρου, ο όρος εισπνεόμενα σωματίδια εξ ορισμού περιλαμβάνει σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm. Είναι γνωστό ότι αυτά τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθός τους, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθμα ή, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση (Τριανταφύλλου κ. ά. 2006).

Πιο συγκεκριμένα σε σύγχρονη εκδήλωση με αφορμή την 30η Σεπτεμβρίου Παγκόσμια Ημέρας Καρδιάς διατυπώθηκε ότι ο μολυσμένος από μικροσωματίδια ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να ενεργοποιήσει βιολογικούς μηχανισμούς όπως θρόμβωση, αρρυθμίες, αθηροσκλήρυνση κ. ά. που είναι ικανοί να «υποκινήσουν» ένα καρδιαγγειακό επεισόδιο. Μελέτες καταδεικνύουν ότι η μακροχρόνια αύξηση (τουλάχιστον για ένα έτος), των μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρα της πόλης κατά 10 μg/m³, αυξάνει τη

συνολική θνησιμότητας σε ποσοστό 4%, την καρδιοαναπνευστική θνησιμότητα (6%) και τη θνησιμότητα από καρκίνο του πνεύμονα (8%). Μάλιστα υπολογίζεται ότι το προσδόκιμο επιβίωσης στους κατοίκους μολυσμένων πόλεων είναι κατά 2-3 χρόνια μικρότερο έναντι των ατόμων που ζουν σε καθαρό περιβάλλον (Καθημερινή 2007).

Στη Γερμανία, ο κύριος ηγέτορας της επιστήμης της Βιομετεωρολογίας ήταν ο αείμνηστος Helmut Landsberg, Καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Maryland και πατέρας της σύγχρονης Κλιματολογίας, κατέγραψε σε καταλόγους πολλές ασθένειες και το συσχετισμό τους με τον καιρό, στο βιβλίο ορόσημο «Καιρός και Υγεία, Εισαγωγή στη Βιομετεωρολογία» (Landsberg 1969).

Κάποιοι από τους συσχετισμούς καιρού και υγείας περιλαμβάνουν:

Στάσιμες αέριες μάζες Υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να προκαλέσουν αύξηση των ασθενειών και των θανάτων. Χαμηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να αποβούν επιζήμια για την υγεία. Πολλές πρόσφατες ιατρικές και επιστημονικές μελέτες έχουν αποδείξει τη σχέση ανάμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την αύξηση των αναπνευστικών παθήσεων και των καρδιακών νόσων. Ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος για τους ηλικιωμένους, τα μικρά παιδιά και για τα άτομα που ήδη υποφέρουν από ορισμένες χρόνιες νόσους, όπως το εμφύσημα.

Στάσιμες αέριες μάζες επικρατούν όταν και όπου ο αέρας παγιδεύεται εξαιτίας μειωμένου εξαερισμού που προκαλούν η συνεχής ηλιακή ακτινοβολία, οι ασθενείς άνεμοι και η παρουσία αναστροφών. Όταν οι στάσιμες αέριες μάζες επικρατούν σε μια περιοχή για μεγάλο χρονικό διάστημα δημιουργείται μόλυνση και κατά συνέπεια κατώτερη ποιότητα αέρα.

Πόνοι και Άλγη Τα άτομα που είναι ευαίσθητα στις καιρικές μεταβολές εξαιτίας ορισμένων παθήσεων, όπως είναι η αρθρίτιδα και οι ρευματισμοί, μπορεί να

παρουσιάσουν επιδείνωση της κατάστασή τους κάτω από ορισμένες καιρικές συνθήκες. Ο πολύ υγρός και ψυχρός καιρός, η απότομη πτώση της βαρομετρικής πίεσης και οι θυελλώδεις άνεμοι είναι φαινόμενα που επηρεάζουν περισσότερο την υγεία.

Αναπνευστικές δυσκολίες Τα άτομα που είναι ευαίσθητα στις καιρικές μεταβολές εξαιτίας ορισμένων χρόνιων αναπνευστικών παθήσεων, όπως είναι το εμφύσημα και το βρογχικό άσθμα μπορεί να επηρεαστούν ιδιαίτερα με την επικράτηση ορισμένων καιρικών συνθηκών. Εκτός από την ατμοσφαιρική ρύπανση, το απότομο ψύχος με πτωτικές θερμοκρασίες, πολύ χαμηλότερες από τις κανονικές, οι δυνατοί και θυελλώδεις άνεμοι και οι ολοένα αυξανόμενες πιέσεις είναι παράγοντες που επιδεινώνουν τις αναπνευστικές δυσκολίες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πρώτα σημάδια απότομου ψύχους φαίνεται πως ευνοούν πάρα πολύ την εκδήλωση ασθενειών, καθώς τότε έχουμε τη μεγαλύτερη αύξηση εισαγωγών στα νοσοκομεία.

2.8.2 Επιπτώσεις στη Χλωρίδα

Βλάβες στα φυτά και στη βλάστηση προκαλούνται από ένα πλήθος παραγόντων, ένας εκ των οποίων είναι η αέρια ρύπανση. Ξηρασία, υπερβολική υγρασία, ζέστη και κρύο, χαλάζι, ζούφια, ζώα, αρρώστιες, φτωχό έδαφος, είναι μερικές από τις αιτίες πρόκλησης βλάβης ή και ζημίας.

Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα, όπως το είδος του φυτού, η ηλικία, το ισοζύγιο των θρεπτικών, οι συνθήκες εδάφους, η θερμοκρασία, η υγρασία και το ηλιακό φως. Σε πολύ χαμηλά επίπεδα έκθεσης δεν υπάρχει καμιά ιδιαίτερη επίδραση, σε λίγο μεγαλύτερα επίπεδα έκθεσης μπορεί να υπάρξει ακόμη και θρεπτική αξία, όπως για παράδειγμα το διοξείδιο του θείου να προσφέρεται ως πηγή θείου για το φυτό, ενώ

σε αυξανόμενη έκθεση παρουσιάζονται διάφορες βλάβες, έως την τελική καταστροφή του φυτού.

Οι αέριοι ρύποι εισχωρούν στο σύστημα του φυτού άμεσα ή έμμεσα. Ο άμεσος τρόπος είναι ανάλογος με την ανθρώπινη εισπνοή. Με τη διάχυση του αέρα μέσα και έξω από το φύλλο, οι αέριοι ρύποι έχουν ένα άμεσο μονοπάτι να εισέλθουν στο κυτταρικό σύστημα της δομής του φύλλου. Συμβαίνει επίσης άμεση απόθεση σωματιδιακής ύλης στις εξωτερικές επιφάνειες των φύλλων, εμποδίζοντας την κανονική αναπνοή και τους μηχανισμούς φωτοσύνθεσης.

Ο έμμεσος τρόπος με τον οποίο οι αέριοι ρύποι εισχωρούν στο εσωτερικό του φυτού, είναι μέσω του ριζικού συστήματος. Η απόθεση των αερίων ρύπων στο έδαφος και στα επιφανειακά νερά μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην περιεκτικότητα των θρεπτικών ουσιών του εδάφους στη γειτονιά του φυτού. Αυτή η αλλαγή των εδαφικών συνθηκών οδηγεί σε άμεσες και έμμεσες επιδράσεις των αερίων ρύπων στη βλάστηση και στα φυτά.

Εκτιμήσεις θεωρούν ότι λιγότερο από το 5% των απωλειών στη σοδειά οφείλεται στην αέρια ρύπανση. Η επίδραση της αέριας ρύπανσης διαφέρει από γεωγραφική περιοχή σε γεωγραφική περιοχή και από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Η αποτυχία της προσδοκώμενης συγκομιδής μπορεί να οφείλεται σε μια τοπική πηγή που εκπέμπει αέριους ρύπους ή σε μια πιο εκτεταμένη και συχνή έκθεση σε αντίξοα επίπεδα ρύπανσης.

Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στα φυτά ταξινομούνται σε ορατά συμπτώματα και μη ορατές ή ανεπαίσθητες επιπτώσεις. Ορατά συμπτώματα είναι οι αποκλίσεις από την κανονική υγιή εμφάνιση των φύλλων. Στα πλατύφυλλα φυτά, ένα υγιές φύλλο έχει καλό χρώμα, με κανονική δομή κυττάρων στα διάφορα στρώματα. Αποκλίσεις από την υγιή εμφάνιση περιλαμβάνουν κατάρρευση των ιστών και διάφορες διαβαθμίσεις

απώλειας χρώματος. Άλλες μορφές ορατής βλάβης σχετίζονται με διάφορες αλλαγές στη φυσιολογία. Η αέρια ρύπανση μπορεί να προκαλέσει πρόωρη γήρανση ή πτώση του φύλλου. Ο μίσχος του φύλλου μπορεί να επιμηκυνθεί ή να παραμορφωθεί. Διακοσμητικά και οπωροφόρα δένδρα μπορούν επίσης να παρουσιάσουν ορατές βλάβες στα άνθη και στους καρπούς, γεγονός το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της παραγωγής.

Οι μη ορατές ή ανεπαίσθητες επιπτώσεις των αερίων ρύπων έχουν να κάνουν με τη μείωση της ανάπτυξης του φυτού και την αλλαγή των φυσιολογικών και βιοχημικών διεργασιών, όπως επίσης και με αλλαγές στον κύκλο αναπαραγωγής. Ελάττωση της παραγωγής μπορεί να συμβεί και χωρίς την παρουσία ορατών συμπτωμάτων. Αυτός ο τύπος βλάβης συχνά σχετίζεται με χαμηλού επιπέδου, μακροχρόνια έκθεση σε αέρια ρύπανση.

Οι κυριότεροι τοξικοί ρύποι για τα φυτά είναι: το όζον (η δράση του είναι επιβλαβής στα γεωργικά φυτά και ιδιαίτερα στα κηπευτικά και στον καπνό, δημιουργεί λευκές κηλίδες στα φύλλα, οι βελόνες των κωνοφόρων γίνονται καφέ και σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις νεκρώνονται). Το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του αζώτου (τα όξινα σωματίδια) πέφτοντας με τη βροχή στο έδαφος των δασών για δεκαετίες έχουν προκαλέσει ανισορροπία στο έδαφος το οποίο σαν επακόλουθο προκαλεί σοβαρές ανεπάρκειες σε συγκεκριμένα ιχνοστοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Τα δέντρα έτσι γίνονται αδύναμα στα έντομα και στην ξηρασία. Μεγάλο μέρος των δασών στη βόρεια και κεντρική Ευρώπη δείχνει σημάδια φθοράς εξαιτίας της όξινης βροχής. Οι φθοριούχες ενώσεις (προσβάλλουν κυρίως το περίγραμμα των μεγάλων φύλλων, όπως της αμπέλου και των μονοκοτυλήδων και δίνουν στα φύλλα τους σταχτί ή ανοικτό πράσινο χρώμα, επίσης πολύ ευαίσθητα σ' αυτές είναι τα οπωροφόρα δέντρα -βερικοκιά, δαμασκηνιά κ.ά.- και τα άνθη -γλαδιόλα, τουλίπα κ.ά.). Οι πτητικές

οργανικές ενώσεις (VOCs) (υψηλές συγκεντρώσεις αιθυλενίου μαραίνουν τα σέπαλα, προκαλούν δυσμορφίες στα φύλλα, αποβολή των ανθέων, αποτυχία στο να ανοίξουν τα φύλλα κανονικά, αποκοπή των φύλλων).

Γενικά τα αποτελέσματα κυμαίνονται από μικρή ελάττωση της παραγωγής έως εκτεταμένη ορατή βλάβη, ανάλογη του επιπέδου και της διάρκειας έκθεσης. Ορατά σημάδια στα φυτά και στις σοδειές, όπως μαρούλι, καπνός, ορχιδέες, που προκλήθηκαν από την αέρια ρύπανση, μεταφράζονται σε άμεση οικονομική απώλεια, άρα ζημία. Σε αντίθεση, ορατά σημάδια στα φύλλα αμπέλου, πατάτας ή καλαμποκιού δεν αποτελούν καθοριστική ζημία αν δεν υπάρχει απώλεια στην παραγωγή. Ανάλογα δηλαδή με την περίπτωση καθορίζεται κατά πόσο έχει προκληθεί ζημία από την αέρια ρύπανση.

Μελέτες επιπτώσεων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες έδειξαν ότι καλλιέργειες εκτιθέμενες σε φιλτραρισμένο (μέσω ενεργού άνθρακα) και αφιλτράριστο περιβαλλοντικό αέρα παρουσίασαν διαφορετική παραγωγή, ενώ δεν υπήρχαν ορατά συμπτώματα. Ελάττωση της συνολικής βιομάζας μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικές απώλειες για βρώσιμες σοδειές ή άχυρα.

Φυσιολογικές και βιοχημικές αλλαγές έχουν παρατηρηθεί σε φυτά που εκτέθηκαν σε αέριους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων αλλαγών στη φωτοσύνθεση, στην απόκριση των στοματίων και στη λειτουργία του μεταβολισμού. Τέτοιες μελέτες έκθεσης έχουν διεξαχθεί κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Η κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα βοηθά στον καθορισμό των αιτιών ελάττωσης της παραγωγής. Εργαστηριακές μελέτες έχουν επίσης ερευνήσει την αλληλεπίδραση των αερίων ρύπων και του αναπαραγωγικού κύκλου ορισμένων φυτών. Ανεπαίσθητες αλλαγές στην αναπαραγωγή ορισμένων ευαίσθητων ειδών καθιστούν αυτά ανίκανα να επιβιώσουν και να ευδοκιμήσουν σε δεδομένο οικοσύστημα.

Είναι γνωστό ότι το κρίσιμο επίπεδο ατμοσφαιρικών ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι η συγκέντρωση επάνω από την οποία τα δυσμενή αποτελέσματα εμφανίζονται στους ευαίσθητους δέκτες, όπως οι εγκαταστάσεις και τα οικοσυστήματα. Το επιφανειακό όζον είναι ο σημαντικότερος ατμοσφαιρικός ρύπος στην Ευρώπη έχοντας επιπτώσεις στη βλάστηση και τα δασικά οικοσυστήματα και η αύξηση της συγκέντρωσής του στις τελευταίες δεκαετίες είναι σημαντική. Τα τρέχοντα ευρωπαϊκά κρίσιμα επίπεδα όζοντος για την προστασία των συγκομιδών, για τη φυσική και την ημιφυσική βλάστηση και τα δασικά δέντρα είναι βασισμένα στις σχέσεις έκθεσης-επιπτώσεων που χρησιμοποιούν το δείκτη έκθεσης AOT40. Σε σχετική μελέτη (Paliatsos et al. 2006b), για την εξαετή περίοδο 1996-2001, γίνεται ανάλυση των ωριαίων συγκεντρώσεων επιφανειακού όζοντος που μετρείται στον αγροτικό σταθμό Αλιάρτου, 90 km ΒΔ της Αθήνας. Στη μελέτη αυτή παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικές με τη σχέση μεταξύ των επιπέδων του δείκτη έκθεσης AOT40 και των μειώσεων στις συγκομιδές της γεωργικής και φυτοκομικής παραγωγής, στην αγροτική περιοχή Αλιάρτου κατά την διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου.

Επίσης, από την ίδια μελέτη προέκυψε ότι τα περιβαλλοντικά επίπεδα συγκέντρωσης όζοντος παραμένουν υψηλά σε αυτήν τη μεσογειακή αγροτική περιοχή και το κατώτατο όριο όζοντος (33 ppb, εικοσιτετράωρη μέση τιμή) της οδηγίας της Ε.Ε. για τις ζημιές στη βλάστηση, ξεπερνιέται συστηματικά για τουλάχιστον 6 μήνες του έτους (Απρίλιος - Σεπτέμβριος), κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Υπάρχει μεγάλος αριθμός στοιχείων που δείχνει ότι οι τιμές του δείκτη AOT40 έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στη συγκομιδή, όπως και στις φυτοκομικές συγκομιδές που ποτίζονται κανονικά. Σε καλλιέργειες υπό συνθήκες ποτίσματος, οι διαφοροποιήσεις των τιμών του δείκτη AOT40 μπορούν να συνδεθούν με τη διακύμανση των ποσοστών του ρυθμού παραγωγής ως εξής 65.5% του βαμβακιού, 27.9% της ντομάτας, και 4.6% του

καρπουζιού. Εντούτοις, επιπτώσεις του δείκτη AOT40 στην παραγωγή του σίτου και του τριφυλλιού εμφανίζονται αυξημένες στη υπό μελέτη περιοχή, υπό τους μεσογειακούς όρους (χωρίς άρδευση), αλλά είναι χαμηλότερες από εκείνες που οφείλονται στη βροχόπτωση, κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Φεβρουάριος-Απρίλιος).

2.8.3 Επιπτώσεις στα Ζώα

Οι υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τους υδάτινους πόρους (τα υδάτινα οικοσυστήματα δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας). Αυτό αποτελεί κυρίως πρόβλημα σε περιοχές όπου οι αντιδράσεις με αλκαλικό έδαφος δεν μπορούν να εξουδετερώσουν τις όξινες εισροές. Σωματίδια φυσικού αλκαλικού εδάφους όταν σαρώνονται από τον αέρα εξουδετερώνουν τα οξέα (π.χ. η Κίνα και οι Δυτικές ΗΠΑ θα είχαν πολύ μεγαλύτερο πρόβλημα όξινης βροχής αν δεν είχαν αερομεταφερόμενη αλκαλική σκόνη).

Μελέτες δείχνουν ότι εκατοντάδες λίμνες τόσο στην Β. Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ και στον Καναδά είναι τόσο όξινες ώστε όλος ο πληθυσμός των ψαριών να έχει αισθητά επηρεαστεί. Σε μια προσπάθεια να μειωθεί η τιμή του pH ρίχνουν ανθρακικό ασβέστιο μέσα στις λίμνες. Σε διάφορες άλλες περιοχές, η οξίνιση πολλών λιμνών και υδάτινων ρευμάτων έχει προκαλέσει την εξόντωση κάποιων ειδών μεταξύ των πληθυσμών των ψαριών, μεταξύ των οποίων και κάποιων ενδημικών.

Επίσης τα βαρέα μέταλλα που αποτίθενται ή εισέρχονται στα φυτά και στα νερά ήταν και εξακολουθούν να είναι πολύ τοξικά για τα ζώα και τα ψάρια. Το αρσενικό, ο μόλυβδος, το μολυβδαίνιο και ο υδράργυρος είναι οι κυριότεροι υπαίτιοι ρύποι υπαίτιοι για τοξικές επιπτώσεις στα ζώα. Αέρια και σωματιδιακά φθορίδια προκαλούν βλάβες και απώλειες σε διάφορα ζώα – κτηνοτροφικά και άγρια - καθώς επίσης και στα ψάρια.

Η φθορίωση των ζώων παρατηρείται σε βιομηχανικές περιοχές που εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες φθοριδίων. Τα ζώα προσλαμβάνουν τόσο τα φθορίδια που περιέχονται στον αέρα, όσο και αυτά που υπάρχουν στα άχυρα και στα χόρτα. Η φθορίωση εκδηλώνεται με ανωμαλίες στη διάπλαση των οστών και των οδόντων και μερικές φορές επέρχεται ο θάνατος.

Στις αγελάδες παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής του γάλακτος. Έχει επίσης παρατηρηθεί έντονη θνησιμότητα των μελισσών που βρίσκονται πλησίον βιομηχανιών αλουμινίου. Οι μεταξοσκώληκες είναι επίσης πολύ ευαίσθητοι στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτοψίες σε ζώα μετά τα επεισόδια αιθαλομίχλης στην κοιλάδα Meuse, στη Donora και στο Λονδίνο έδωσαν αποδείξεις για την πρόκληση πνευμονικών οιδημάτων (Boubel et al. 1994). Ωστόσο η εισπνοή τοξικών ρύπων δεν είναι το σοβαρότερο πρόβλημα όσο η κατανάλωση ρυπασμένων τροφών. Επιπρόσθετα τα μικρά χορτοφάγα ζώα που καταναλώνουν φυτά στα οποία είτε έχουν αποθεθεί ρύποι είτε αυτοί έχουν εισέλθει σ' αυτά, όταν γίνονται τροφή άλλων ζώων μεταφέρουν το πρόβλημα στους υπόλοιπους κρίκους της τροφικής αλυσίδας.

2.8.4 Επιπτώσεις στα Υλικά



Η ατμοσφαιρική ρύπανση συντελεί στην καταστροφή των υλικών με διάφορους τρόπους. Με διάβρωση λόγω τριβής, με ακαθαρσία (στερεά σωματίδια, ιδίως καπνός) που επικάθεται στα υλικά, μειώνοντας το αισθητικό κάλλος μνημείων και κτιρίων, καθώς και με διάβρωση από όξινες ουσίες και άλλα

οξειδωτικά. Η όξινη απόθεση διαβρώνει τα οικοδομήματα σε πολλές πόλεις στον

κόσμο, για παράδειγμα στην Αθήνα και τη Ρώμη όπου η οξύτητα των βροχοπτώσεων έχει αρχίσει να παραμορφώνει ανεκτίμητα εξωτερικά μνημεία. Υλικά στα οποία η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει επιπτώσεις είναι:

Τα μέταλλα: Βασική επίπτωση των αέριων ρύπων στα μέταλλα είναι η διάβρωση της επιφάνειας, με αποτέλεσμα απώλεια μάζας καθώς και αλλαγή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των μετάλλων.

Τα δομικά υλικά και το μάρμαρο: Πολλά κτίρια στις παλιές και μεγάλες πόλεις είναι εκτεθειμένα σε υψηλές συγκεντρώσεις καπνού, SO_2 και CO_2 για πολλές δεκαετίες. Οι επιφάνειες τους έχουν λερωθεί και είναι εκτεθειμένα και στις χημικές δράσεις των όξινων αποθέσεων. Το διοξείδιο του θείου και η υγρασία αντιδρούν με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και σχηματίζουν θειικό ασβέστιο (CaSO_4) και γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) τα οποία είναι διαλυτά στο νερό, με αποτέλεσμα να προκαλείται φθορά τόσο στα δομικά υλικά, όσο και στο κονίαμα που τα συνδέει.

Τα υφάσματα και οι βαφές τους: Βασική επίπτωση των αέριων ρύπων είναι το σπάσιμο της ύφανσης εξ αιτίας της απώλειας της ελαστικότητάς τους και ο αποχρωματισμός τους.

Το δέρμα, το χαρτί και τα χρώματα: Το διοξείδιο του θείου επιδρά στη σύνθεσή τους προκαλώντας σημαντικές φθορές. Μεγάλο πρόβλημα παρουσιάζεται στις βιβλιοθήκες πόλεων, παγκοσμίως λόγω της καταστροφής των δερμάτινων καλυμμάτων των βιβλίων. Η κυτταρίνη του χαρτιού επίσης επηρεάζεται από το διοξείδιο του θείου. Το υδρόθειο αντιδρά με τις χρωστικές ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και αμαυρώνει τις λευκές και ανοιχτόχρωμες βαφές.

Το καουτσούκ: Το επιφανειακό όζον προκαλεί ρωγμές στα προϊόντα φτιαγμένα από καουτσούκ καθώς σπάει το διπλό δεσμό του άνθρακα του ισοπρενίου από το οποίο συντίθεται το πολυμερές του καουτσούκ. Το φαινόμενο ξεκινά από την επιφάνεια και

προχωρά σε βάθος ανάλογα με τα επίπεδα συγκέντρωσης όζοντος που εκτίθεται το υλικό. Η επίπτωση αυτή προκαλεί ταχύτερη ελάττωση του χρόνου ζωής των ελαστικών των τροχοφόρων.

2.9 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων

Δυσμενείς, άμεσες και μακροχρόνιες, είναι οι επιδράσεις στην υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση και κυρίως από τα αιωρούμενα σωματίδια.

Οι μελέτες αποδεικνύουν πως οι επιδράσεις αυτές οφείλονται κυρίως στα μικρότερα σωματίδια (με διάμετρο μικρότερη από 2.5μm), τα οποία εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες. Οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων από την οδική κυκλοφορία ανήκουν κατά βάση σε αυτήν την κατηγορία, συνεπώς κρίνεται απαραίτητη η λήψη μέτρων περιορισμού τους και η διαμόρφωση στρατηγικών αντιρρύπανσης.

Αναμφίβολα υπάρχουν επιπτώσεις στην υγεία, κυρίως στο κυκλοφορικό και στην καρκινογένεση. Έχει αποδειχθεί, από δύο μεγάλες μελέτες τουλάχιστον, ότι η μικροσωματιδιακή ρύπανση προκαλεί καρκίνο του πνεύμονα. Παράλληλα, υπάρχουν δεκάδες μελετών που αποδεικνύουν ότι οι ρύποι αυτοί προκαλούν καρδιαγγειακά προβλήματα, κυρίως υπέρταση και στεφανιαία νόσο, αλλά και εγκεφαλικά επεισόδια, διότι τα σωματίδια είναι στοιχεία τα οποία, από την αναπνοή, διεισδύουν βαθιά και περνούν στο αίμα.

Η μικροσωματιδιακή ρύπανση είναι μεγαλύτερη σε χαμηλό ύψος για λόγους που έχουν να κάνουν με τη βαρύτητα των σωματιδίων, αλλά και με την ανάδυσή τους από το έδαφος - επίπεδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισπνέονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τα μικρά παιδιά, τα οποία αναπνέουν χαμηλότερα. Για το λόγο αυτόν, οι μετρητές των ρύπων που σήμερα τοποθετούνται σε ύψος πάνω από δύο μέτρα, θα πρέπει να τοποθετηθούν πιο χαμηλά, για να υπάρχει ανάλογη μέτρηση.

Έχει αποδειχθεί πως στα παιδιά, οι αλλεργικές προσβολές, οι βρογχίτιδες, οι πνευμονίες και οι καθυστερήσεις στην ανάπτυξη των αναπνευστικών οδών διευκολύνονται από το PM_{10} . Στους ενήλικες αυξάνουν οι χρόνιες βρογχίτιδες, το άσθμα, οι όγκοι των πνευμόνων και τα καρδιακά νοσήματα. Στις δύο-τρεις μέρες που ακολουθούν τις υψηλές συγκεντρώσεις λεπτών σωματιδίων, μεγαλώνει ο βαθμός των ατόμων που καταλήγουν στις πρώτες βοήθειες. Μάλιστα η έκθεση για μεγάλο χρονικό διάστημα στα αιωρούμενα σωματίδια συνδέεται με μείωση της διάρκειας ζωής κατά δύο-τρία χρόνια (WHO 2006). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως μετά τα πολύ ανησυχητικά συμπεράσματα που έχουν προκύψει από επιδημιολογικές μελέτες διεθνώς, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization - WHO) έχει κατατάξει τα αιωρούμενα σωματίδια στην κορυφή της λίστας των επικίνδυνων αέριων ρύπων των αστικών περιοχών (WHO 2006).

Αναφορές που πηγάζουν από αρκετές πρόσφατες μελέτες, διαπιστώνουν συσχέτιση του παιδικού άσθματος και των ατμοσφαιρικών ρύπων (White et al. 1994, Thurston et al. 1994, Jaffe et al. 2003, Wilson et al. 2005, Paliatsos et al. 2006b, Nastos et al. 2007, Nastos et al. 2010, Samoli et al. 2011) διότι τα αιωρούμενα σωματίδια (στερεά ή υγρά) με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των $10\mu m$ (PM_{10}) έχουν τη δυνατότητα να εισχωρούν βαθιά μέσα στο αναπνευστικό σύστημα και να προκαλέσουν εξάρσεις άσθματος.

Οι Dockery and Pope (1994) σε σχετική μελέτη αναφέρουν αύξηση κατά 3.4% των επισκέψεων στα εξωτερικά ιατρεία νοσοκομείων για επείγοντα περιστατικά και αύξηση κατά 1.9% των εισαγωγών στα νοσοκομεία, ατόμων με ασθματικά συμπτώματα, που προκαλούνται από αύξηση των επιπέδων συγκέντρωσης των PM_{10} κατά $10\mu g/m^3$. Τέλος, έχει βρεθεί ότι η ημερήσια καταγραφή έκτακτων περιστατικών σχετιζόταν σε μεγάλο βαθμό με την έκθεση σε αυξημένα επίπεδα συγκέντρωσης των PM_{10} την

προηγούμενη ημέρα (Schwartz et al. 1993), ή τις προηγούμενες τρεις ημέρες (Galán et al. 2003).

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, οι οποίες ταξινομούνται σε βραχυχρόνιες (π.χ. ερεθισμός ματιών, αναπνευστικά προβλήματα, άσθμα) και σε μακροχρόνιες (π.χ. καρκίνοι, Αλτσχάιμερ). Βέβαια, σε ότι αφορά τις μακροχρόνιες επιδράσεις, έχουν γίνει λίγες επιδημιολογικές μελέτες. Από αυτές φαίνεται ότι η μακροχρόνια έκθεση στη σωματιδιακή ατμοσφαιρική ρύπανση οδηγεί σε αυξημένη θνησιμότητα και μετρήσιμη μείωση του προσδόκιμου επιβίωσης.

Μάλιστα, τα μικρότερα σωματίδια ($PM_{2.5}$ ή PM_1) εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες και θεωρούνται πιο επικίνδυνα για την υγεία. Παρόλο που αντιπροσωπεύουν σχετικά μικρή αναλογία ως προς τη μάζα των σωματιδίων, αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του αριθμού τους. Το μέγεθος των επιδράσεων μεταβάλλεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των πόλεων ή των περιοχών τις οποίες αφορούν. Έτσι, τα σωματίδια έχουν μεγαλύτερες επιδράσεις όταν προέρχονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τα οχήματα και στις θερμότερες περιοχές. Η σημασία τους έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι περιέχουν άλλους ρύπους, όπως βαρέα μέταλλα και οργανικές ενώσεις, που έχουν τοξική δράση και τους οποίους μεταφέρουν στους πνεύμονες. Επίσης, τα σωματίδια, όταν εναποτίθενται στα φύλλα των φυτών, εμποδίζουν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν και μείωση της ορατότητας στην ατμόσφαιρα μέσω δύο μηχανισμών. Με απευθείας ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας και με τη δημιουργία πιο φωτεινών νεφών. Τα σωματίδια δρουν ως πυρήνες συγκέντρωσης των υδρατμών, δημιουργώντας τα σύννεφα και τελικά τη βροχή, ο μεγάλος αριθμός τους όμως συνεισφέρει στη λαμπρότητα του νέφους, αυξάνεται η ανακλαστική ικανότητα

του και συνεπώς μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία που καταφτάνει στην επιφάνεια της γης, επηρεάζοντας έτσι το συνολικό ισοζύγιο της ενέργειας.

2.10 Αέριοι Ρύποι στην Ελλάδα

Η συμμετοχή της Ελλάδας στην εξέλιξη του φαινομένου του θερμοκηπίου, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1980-2000, σε παγκόσμια κλίμακα εκτιμάται ότι κυμαίνεται στο 0.4%. Σε επίπεδο χωρών Ε.Ε., η συμμετοχή της ενώ το έτος 1980 ήταν 1.6%, το έτος 2000 ανήλθε στο 3%. Ο Πίνακας 2.2 εμφανίζει, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των χωρών της Ε.Ε. στο χρονικό διάστημα 1980-2000, καθώς και τις συνολικές εκπομπές του σε παγκόσμια κλίμακα. Παρόλα αυτά στη Διάσκεψη του Κιότο για το Περιβάλλον και τις Κλιματικές Αλλαγές (1-11/12/1997), η Ελλάδα καλυπτόμενη από τη στάση της Ε.Ε. διεκδίκησε και πέτυχε να έχει δικαίωμα αύξησης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 25% (Ενέργεια 1998).

Από τα μέσα της δεκαετίας του '70, δεκαετία κατά την οποία το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισε να παίρνει ανησυχητικές διαστάσεις, οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων έχουν παρουσιάσει μέχρι σήμερα αρκετές διακυμάνσεις τόσο στα μεγάλα αστικά κέντρα όσο και σε άλλες περιοχές. Διάφοροι ερευνητές έχουν ασχοληθεί την τελευταία 30ετία με τη μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης των αερίων ρύπων, τόσο στην περιοχή της Αθήνας (Kambezidis et al. 1986, 1988, 1995, Mantis et al. 1992, Paliatsos and Amanatidis 1994, Paliatsos 1997, 1998, Paliatsos et al. 1994, 1996, 2000, 2002, Viras et Siskos 1992, 1996, Ziomas et al. 1995), όσο και της Θεσσαλονίκης (Ziomas et al. 1989, Petrakakis et al. 1992, Πετρακάκης κ.ά., 2000, Kelessis, 2001) καθώς και άλλων περιοχών με προβλήματα υποβάθμισης του ατμοσφαιρικού τους περιβάλλοντος. Τα τελευταία χρόνια, εκτός από τα μεγάλα αστικά κέντρα, πολλές περιοχές της χώρας ταλαιπωρούνται από προβλήματα

ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχονται από τη συνύπαρξη κατοικημένων περιοχών και βιοτεχνικών δραστηριοτήτων. Τέτοια προβλήματα, σύμφωνα με σχετική βιβλιογραφία, εμφανίζονται στην περιοχή της Πτολεμαΐδας-Κοζάνης (Λάλας κ.ά. 1987, Ζερεφός κ.ά. 1991, Μπεργελές 1992, Triantafyllou et al. 1999, 2002, Triantafyllou 2000, 2001, 2003), στη Μεγαλόπολη Αρκαδίας (Γρηγορίου 2003), στο Βόλο (Dalezios et al. 1995, Papamanolis 2001), στην Πάτρα (Danalatos and Glavas 2002) και αλλού.

Πίνακας 2.2. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (σε εκατομμύρια τόνους) από τις χώρες της Ε.Ε. για τη χρονική περίοδο 1980-2000 (ΕΙΑ 2003).

Χώρα	1980	1985	1990	1995	2000
Αυστρία	57.8	55.7	55.7	58.6	66.2
Βέλγιο	137.3	117.9	124.3	130.0	143.0
Βρετανία	616.6	590.3	600.1	559.6	556.0
Γαλλία	498.8	398.1	374.0	369.2	400.8
Δανία	67.4	64.9	56.1	68.9	58.6
Γερμανία	1067.8	1026.3	995.1	875.4	828.4
Ελλάδα	55.2	63.1	81.6	84.3	101.2
Ισπανία	217.2	219.9	226.6	245.4	307.3
Ιρλανδία	22.6	20.5	25.9	31.3	39.8
Ιταλία	378.8	376.1	415.3	434.4	443.5
Λουξεμβούργο	11.8	9.9	10.7	8.8	8.9
Ολλανδία	197.9	186.6	211.4	223.2	228.5
Πορτογαλία	24.0	31.7	44.4	49.6	62.9
Σουηδία	88.3	64.1	54.5	64.1	53.5
Φιλανδία	57.5	48.4	53.5	44.6	49.8
Ε.Ε.	3499.3	3273.5	3329.2	3247.4	3348.4
Παγκόσμια	18652.4	19676.7	21741.1	22316.4	23727.6

Τα τελευταία χρόνια, εκτός από τα μεγάλα αστικά κέντρα, πολλές περιοχές της χώρας ταλαιπωρούνται από προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχονται από τη συνύπαρξη κατοικημένων περιοχών και βιοτεχνικών δραστηριοτήτων. Τέτοια προβλήματα σύμφωνα με σχετική έκθεση (ΥΠΕΧΩΔΕ 1995), εμφανίζονται και σε πολλές άλλες ελληνικές περιοχές όπως για παράδειγμα στη Βοιωτία, στην Εύβοια, στα Δωδεκάνησα, στις Κυκλάδες, στη Μαγνησία, στη Φλώρινα και αλλού λόγω λειτουργίας τοπικών βιομηχανικών μονάδων, μονάδων παραγωγής ενέργειας και τέλος λόγω εκμετάλλευσης μεταλλείων και ορυχείων.

Η μελέτη των τάσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων στην Ελλάδα βασίζεται σε καταγραφές συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων, όσον αφορά το διοξείδιο του θείου και τον καπνό, για την χρονική περίοδο 1970 μέχρι και σήμερα, ενώ για τους φωτοχημικούς ρύπους για χρονική περίοδο που οριοθετείται μετά τα μέσα της δεκαετίας του '80 μέχρι και σήμερα.

3. Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε ρυπασμένες περιοχές. Λόγω της ανομοιομορφίας των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων, σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν εισαχθεί διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες, των οποίων η χρήση καθιστά δυνατή την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας μιας περιοχής. Ένας περιβαλλοντικός δείκτης είναι μια αριθμητική ή περιγραφική κατηγοριοποίηση μεγάλου αριθμού περιβαλλοντικών παραμέτρων, με αντικειμενικό σκοπό την παροχή δυνατότητας για εξαγωγή πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους σχετιζόμενους με την αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και να βοηθήσουν στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα γιατί μπορούν να αποδώσουν πιο πρακτικά και πιο ολοκληρωμένα την καθημερινή εικόνα της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή, σε αντίθεση με ενδεχόμενη χρησιμοποίηση των τιμών συγκέντρωσης αέριων ρύπων για τον προσδιορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Επίσης, οι περιβαλλοντικοί δείκτες παρέχουν τη δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας παράλληλα δίκτυο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληροφοριών και επιστημονικής τους ανάλυσης (Canter 1997, Thom and Ott 1976, Tunstall 1979, Washington 1984).

Το πρόβλημα που παρατηρείται με τη χρήση των περιβαλλοντικών Δεικτών Ποιότητας της Ατμόσφαιρας (ΔΠΑ) είναι η υποκειμενικότητά τους, δηλαδή το γεγονός ότι σε κάθε χώρα ή περιοχή έχουν δημιουργηθεί, κατά καιρούς, διαφορετικοί δείκτες που έχουν προσαρμοστεί στις εκάστοτε ανάγκες της περιοχής. Συγκεκριμένα, υπάρχουν χώρες που έχουν δημιουργήσει δικούς τους ΔΠΑ με βάση τα εθνικά τους όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι δείκτες αυτοί έχουν παραπλήσιους ή και διαφορετικούς αλγόριθμους υπολογισμού των τιμών τους. Έτσι, δημιουργείται ένα πρόβλημα όταν κάποιος θελήσει

να συγκρίνει τις τιμές διαφορετικών ΔΠΑ για τη διαπίστωση των επιπέδων ποιότητας του αέρα που καθορίζονται, με βάση τις τιμές τους.

Πιο αναλυτικά, οι ΔΠΑ που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή, είναι:

3.1 Πρότυπος Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Ένας περιβαλλοντικός δείκτης, κατάλληλος για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής, είναι ο πρότυπος δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Pollution Standards Index - PSI) (Ott and Thom 1976, Ott and Hunt 1976, Thom and Ott 1976). Ο δείκτης αυτός έχει προταθεί από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, U.S.E.P.A.), περίπου στα μέσα της δεκαετίας του '70, εξαιτίας της δραματικής αύξησης του αριθμού των ανθρώπων που εκδήλωναν συμπτώματα αναπνευστικών προβλημάτων (Cheng et al. 2007). Αντικειμενικός σκοπός της εισαγωγής αυτού του δείκτη ήταν η τυποποίηση των εκθέσεων, οι οποίες αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο δείκτης PSI είναι ένας σύνθετος δείκτης, η τιμή του οποίου υπολογίζεται από τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP). Ο δείκτης PSI μετατρέπει τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 500. Στον Πίνακα 3.1 δίνονται οι κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που έχουν δημιουργηθεί με βάση την τιμή του δείκτη (Boudel et al. 1994).

Πίνακας 3. 1. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη PSI (Boudel et al. 1994).

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

Υπάρχουν έξι επιμέρους δείκτες που καθορίζουν την τιμή του δείκτη PSI, με βάση τη σχέση

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6) \quad (1)$$

όπου I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης οι τιμές του οποίου καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, του I_2 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, του I_3 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου, του I_4 από τις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, του I_5 από τις συγκεντρώσεις του όζοντος και τέλος του I_6 από το γινόμενο των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου. Οι τιμές κάθε επιμέρους δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 500, όπου η τιμή 500 αντιστοιχεί σε γεγονότα πολύ επιβλαβή για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ρύπων που τις διαμορφώνουν, εμφανίζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 3. 2. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boubel et al., 1994).

I	TSP 24 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	SO ₂ 24 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	TSP* SO ₂ $(\mu\text{gr}/\text{m}^3)^2$	CO 8 hr mgr/m^3	O ₃ 1 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	NO ₂ 1 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
0	0	0	-	0	0	-
50	75	80	-	5	118	-
100	260	365	-	10	235	-
200	375	800	65000	17	400	1130
300	625	1600	261000	34	800	2260
400	875	2100	393000	46	1000	3000
500	1000	2620	490000	57.5	1200	3750

Είναι γνωστό ότι τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM₁₀) έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθος, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια προσβάλλουν το αναπνευστικό σύστημα στο οποίο εισέρχονται με την αναπνοή. Στο αναπνευστικό σύστημα εισέρχονται σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm , που

αποτελούν το εισπνεύσιμο κλάσμα των σωματιδίων. Μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθμα ή, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση.

Λόγω των δυσμενών επιπτώσεων που προκαλούνται στην υγεία από την εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 10 μm, η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) έλαβε υπόψη το συγκεκριμένο ρύπο στη διαμόρφωση των τιμών του περιβαλλοντικού δείκτη PSI, δημιουργώντας σχετικό επιμέρους δείκτη οι τιμές του οποίου διαμορφώνονται από τις τιμές του PM₁₀, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3.

Υπάρχουν πέντε επιμέρους δείκτες, ένας για κάθε ρύπο. Η ημερήσια τιμή του δείκτη PSI είναι η μέγιστη τιμή αυτών των πέντε επιμέρους δεικτών, με βάση τη σχέση:

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5) \quad (2)$$

όπου I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm (PM₁₀), I_2 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου, I_3 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα, I_4 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος και I_5 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου. Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν, δίνονται στον Πίνακα 3.2.

Ο υπολογισμός των τιμών του επιμέρους δείκτη I_1 γίνεται από τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 3.3). Από τις τιμές της 2^{ης} στήλης του Πίνακα 3.2 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_1 εκφράζεται από μια

συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

Πίνακας 3. 3. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boudel et al. 1994).

I_i	PM ₁₀ μg/m ³ (24 hr)	SO ₂ μg/m ³ (24 hr)	CO mg/m ³ (8 hr)	O ₃ μg/m ³ (1 hr)	NO ₂ μg/m ³ (1 hr)
0	0	0	0	0	***
50	50	80	5	118	***
100	150	365	10	235	***
200	380	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	>500	>2100	>46	>1000	>3000

Με βάση την κατά τμήματα παρατηρούμενη γραμμικότητα, καθορίζεται η συνάρτηση υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη I_i που αντιστοιχεί στις 24ωρες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με τη βοήθεια κατάλληλης μεθόδου παρεμβολής (παρεμβολή με συναρτήσεις splines), που είναι :

$$I_i = \frac{I_{i+1} - I_i}{C_{i+1} - C_i} (C - C_i) + I_i \quad (3)$$

όπου I_i με $i=0(1)6$ είναι οι τιμές του επιμέρους δείκτη I_i και C_i με $i=0(1)6$ είναι οι αντίστοιχες 24ωρες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, που εμφανίζονται στον Πίνακα 3.2.

Η κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (Πίνακας 3.4) συνδέεται με άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και κυρίως σε ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού, όπως νήπια, ηλικιωμένοι, άνθρωποι με αναπνευστικά και καρδιολογικά προβλήματα κλπ. Στον Πίνακα 3.4 εμφανίζονται, σε σχέση με την τιμή του δείκτη PSI, οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής.

Από τις τιμές του Πίνακα 3.3 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_i εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Πίνακας 3. 4. Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του αέρα με πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής (Boubel et al., 1994).

PSI	Κατηγορία ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-50	Καλή	Καμία επίπτωση για το σύνολο του πληθυσμού
51-100	Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού
101-200	Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων και μειωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα υγείας. Εκτεταμένα συμπτώματα στην υγεία του πληθυσμού
>300	Επικίνδυνη	Πρώιμη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών με σημαντική αύξηση της επιδείνωσης των συμπτωμάτων και μείωση της αντοχής στην υγεία του ανθρώπου. Σε περιπτώσεις όπου PSI>400, ενδέχεται να προκληθούν πρόωροι θάνατοι από ασθένειες και κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα.

Στους Πίνακες 3.5-3.9 δίνονται οι συναρτήσεις υπολογισμού που ισχύουν τμηματικά μεταξύ των διαδοχικών ζευγών των σημείων του Πίνακα 3.3 για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά.

Πίνακας 3. 5. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀.

PM ₁₀ (24h) (μg/m ³)	I ₁	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-50	0-50	[PM ₁₀]
51-150	51-100	0.495*[PM ₁₀]+25.758
151-380	101-200	0.432*[PM ₁₀]+35.720
381-420	201-300	2.538*[PM ₁₀]-750
421-500	301-400	1.253*[PM ₁₀]-226.582
501-625	401-500	[PM ₁₀]-100

Πίνακας 3. 6. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου.

SO ₂ (24h) (μg/m ³)	I ₂	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-80	0-50	0.625*[SO ₂]
81-365	51-100	0.173*[SO ₂]+37.025
366-800	101-200	0.228*[SO ₂]+17.512
801-1600	201-300	0.124*[SO ₂]+101.752
1601-2100	301-400	0.198*[SO ₂]-16.333
2101-2620	401-500	0.191*[SO ₂]-16.633

Πίνακας 3. 7. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα.

CO (8h) (mg/m ³)	I ₃	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-5	0-50	10*[CO]
5.1-10	51-100	10*[CO]
10.1-17	101-200	14.348*[CO]-43.913
17.1-34	201-300	5.858*[CO]+100.828
34.1-46	301-400	8.319*[CO]+17.311
46.1-57.5	401-500	8.684*[CO]+0.658

Πίνακας 3. 8. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το όζον.

O ₃ (1h) (μg/m ³)	I ₄	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-118	0-50	0.424*[O ₃]
119-235	51-100	0.422*[O ₃]+0.733
236-400	101-200	0.604*[O ₃]-41.463
401-800	201-300	0.248*[O ₃]+101.504
801-100	301-400	0.497*[O ₃]-97.487
1001-1200	401-500	0.497*[O ₃]-96.983

Πίνακας 3. 9. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου.

NO ₂ (1h) (μg/m ³)	I ₆	Συναρτήσεις υπολογισμού
-	0-50	-
-	51-100	-
-	101-200	-
1130-2260	201-300	0.088*[NO ₂]+101
2261-3000	301-400	0.134*[NO ₂]-1.849
3001-3750	401-500	0.132*[NO ₂]+4.339

3.2 Δείκτης Ποιότητας Αέρα

Ο πρότυπος δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης PSI αναθεωρήθηκε και μετασηματίστηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA) το 1999 και μετονομάστηκε σε Δείκτη Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI). Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση την παρακάτω εξίσωση (U.S. EPA 1999):

$$I_i = \frac{I_{\text{άνω}} - I_{\text{κάτω}}}{C_{\text{άνω}} - C_{\text{κάτω}}} * (C_{\text{στιγ.}} - C_{\text{κάτω}}) + I_{\text{κάτω}} \quad (4)$$

όπου:

$I_{\text{άνω}}$: η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{\text{άνω}}$ (Πίνακας 3.10),

$I_{\text{κάτω}}$: η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{\text{κάτω}}$ (Πίνακας 3.10),

$C_{\text{στιγ.}}$: η τιμή συγκέντρωσης του ρύπου τη στιγμή που υπολογίζεται ο δείκτης και με βάση τα εθνικά όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πίνακας 3.10),

$C_{\text{άνω}}$: η ανώτερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 3.10),

$C_{\text{κάτω}}$: η μικρότερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 3.10),

Στον Πίνακα 3.10 (Franceschini et al. 2005) δίνονται οι τιμές συγκέντρωσης με τα άνω και κάτω όριά τους, για κάθε ρύπο χωριστά καθώς επίσης και οι αντίστοιχες ανώτερες και κατώτερες τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI. Αφού υπολογιστούν οι επιμέρους δείκτες, για κάθε ρύπο χωριστά, ως ημερήσια τιμή του δείκτη AQI θεωρείται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές.

Πίνακας 3. 10. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI (Franceschini et al. 2005).

Τιμή AQI	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
PM ₁₀ µg/m ³ (24 hr)	0-54	55-154	155-254	255-354	355-424	425-604
PM _{2.5} µg/m ³ (24 hr)	0-15.4	15.5-40.4	40.5-65.4	65.5-150.4	150.5-250.4	250.5-500.4
SO ₂ ppm (24 hr)	0-0.034	0.035-0.144	0.145-0.225	0.225-0.304	0.305-0.604	0.605-1.004
CO mg/m ³ (8 hr)	0-4.4	4.5-9.4	9.5-12.4	12.5-15.4	15.5-30.4	30.5-50.4
O ₃ ppm (8 hr)	0-0.064	0.065-0.084	0.085-0.104	0.105-0.124	0.125-0.374	(*)
O ₃ ppm (1 hr)	-	-	0.125-0.164	0.165-0.204	0.205-0.404	0.405-0.604
NO ₂ ppm (1 hr)	-	-	-	-	0.65-1.24	1.25-2.04

(*): σε περιπτώσεις που οι μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος είναι μεγαλύτερες των 0.374 ppm, τότε ο AQI πρέπει να υπολογίζεται από τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

Υπάρχουν επτά επιμέρους δείκτες. Η ημερήσια τιμή του δείκτη AQI είναι η μέγιστη τιμή αυτών των επτά επιμέρους δεικτών, με βάση τη σχέση:

$$AQI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7) \quad (5)$$

όπου I₁ είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10µm (PM₁₀), I₂ είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2.5µm (PM_{2.5}), I₃ ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του

διοξειδίου του θείου, I_4 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα, I_5 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος, I_6 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος και I_7 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου. Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν, δίνονται στον Πίνακα 3.10.

Ο σκοπός του δείκτη AQI είναι στο να βοηθήσει στην κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων στη δημόσια υγεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, σε τοπικό επίπεδο. Για το σκοπό αυτό χωρίζεται σε έξι διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που με τη σειρά τους αντιπροσωπεύονται από έξι διαφορετικά χρώματα, όπως εμφανίζονται και στον Πίνακα 3.11. Σε κάθε κατηγορία τιμών του δείκτη AQI αντιστοιχούν και κάποιες πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού (U.S. EPA 1999).

Πίνακας 3. 11. Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (U.S. EPA 1999).

Τιμές δείκτη AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-50	Καλή	Καμία επίπτωση για το σύνολο του πληθυσμού
51-100	Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού
101-150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
151-200	Ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των πιο ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού
301-500	Επικίνδυνα ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου του πληθυσμού με ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων

Από τις τιμές του Πίνακα 3.10 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_1 εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης του εκάστοτε ατμοσφαιρικού ρύπου. Στους Πίνακες 3.12-3.18 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις πρώτου βαθμού που ισχύουν τμηματικά μεταξύ των διαδοχικών ζευγών των σημείων του Πίνακα 3.10 για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά. Ειδικότερα:

Πίνακας 3. 12. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} .

PM_{10} (24 hr) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	I_1	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-54	0-50	$0.926*[PM_{10}]$
55-154	51-100	$0.495*[PM_{10}]+23.778$
155-254	101-150	$0.495*[PM_{10}]+24.283$
255-354	151-200	$0.495*[PM_{10}]+24.788$
355-424	201-300	$1.435*[PM_{10}]-308.348$
425-604	301-500	$1.112*[PM_{10}]-171.486$

Πίνακας 3. 13. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$.

$PM_{2.5}$ (24 hr) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	I_2	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-15.4	0-50	$3.247*[PM_{2.5}]$
15.5-40.4	51-100	$1.969*[PM_{2.5}]+20.498$
40.5-65.4	101-150	$1.968*[PM_{2.5}]+21.301$
65.5-150.4	151-200	$0.577*[PM_{2.5}]+113.197$
150.5-250.4	201-300	$0.991*[PM_{2.5}]+51.856$
250.5-500.4	301-500	$0.796*[PM_{2.5}]+101.522$

Πίνακας 3. 14. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου.

SO ₂ (24 hr) (ppm)	I ₃	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-0.034	0-50	1470.588*[SO ₂]
0.035-0.144	51-100	449.541*[SO ₂]+35.266
0.145-0.224	101-150	620.253*[SO ₂]+11.063
0.225-0.304	151-200	620.253*[SO ₂]+11.443
0.305-0.604	201-300	331.104*[SO ₂]+100.013
0.605-1.004	301-500	498.747*[SO ₂]-0.742

Πίνακας 3. 15. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα.

CO (8 hr) (mg/m ³)	I ₄	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-4.4	0-50	11.346*[CO]
4.5-9.4	51-100	10*[CO]+6
9.5-12.4	101-150	16.897*[CO]-59.517
12.5-15.4	151-200	16.897*[CO]-60.207
15.5-30.4	201-300	6.644*[CO]+98.013
30.5-50.4	301-500	10*[CO]-4

Πίνακας 3. 16. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για μέσες δωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

O ₃ (8 hr) (ppm)	I ₅	Συναρτήσεις υπολογισμού
0-0.064	0-50	781.250*[O ₃]
0.065-0.084	51-100	2578.947*[O ₃]-116.632
0.085-0.104	101-150	2578.947*[O ₃]-118.211
0.105-0.124	151-200	2578.947*[O ₃]-119.789
0.125-0.374	201-300	397.590*[O ₃]+151.301
(*)	301-500	-

Πίνακας 3. 17. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

O ₃ (1 hr) (ppm)	I ₆	Συναρτήσεις υπολογισμού
-	-	-
-	-	-
0.125-0.164	101-150	1256.410*[O ₃]-56.051
0.165-0.204	151-200	1256.410*[O ₃]-56.308
0.205-0.404	201-300	497.487*[O ₃]+99.015
0.405-0.604	301-500	1000*[O ₃]-104

Πίνακας 3. 18. Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου.

NO ₂ (1 hr) (ppm)	I ₇	Συναρτήσεις υπολογισμού
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
0.65-1.24	201-300	167.797*[NO ₂]+91.932
1.25-2.04	301-500	251.899*[NO ₂]-16.456

3.3 Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης

Στο Sydney της Αυστραλίας η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα παρακολουθείται από τη δεκαετία του 1960 (NSW Environment Protection Authority 1998, NSW Department of Health 2006, NSW Department of Environment and Conservation 2006). Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, καθημερινά εκδίδονται ημερήσια δελτία ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με έμφαση κυρίως στους ρύπους όζον και στερεά αιωρούμενα μικροσωματίδια. Το 1993, ακολουθώντας μια γενικότερη αναθεώρηση των αναγκών παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, η κυβέρνηση της Νέας Νότιας Ουαλίας (New South Wales- NSW) αναβάθμισε το δίκτυό της καλύπτοντας τρεις νέες περιοχές (lower Hunter, Illawarra και Western area of Sydney) της πόλης του

Sydney. Ως άμεση συνέπεια της επέκτασης του δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, ήταν η δυνατότητα καταγραφής αναλυτικότερων τιμών συγκεντρώσεων που κάλυπταν, χωρικά, μεγαλύτερη περιοχή της πόλης. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα δημιουργίας του Τοπικού Δείκτη Ρύπανσης (Regional Pollution Index - RPI), τιμές του οποίου υπολογίζονται και δίνονται στο κοινό για το ανατολικό, βόρειο και νότιο Sydney. Ο δείκτης RPI υπολογίζεται δύο φορές την ημέρα. Η πρωινή αναφορά καλύπτει την περίοδο από τις 15:00 το απόγευμα της προηγούμενης ημέρας, μέχρι τις 06:00 το πρωί της ημέρας που γίνεται η πρωινή αναφορά. Η δεύτερη αναφορά της τιμή του δείκτη καλύπτει χρονικά την περίοδο από τις 06:00 πμ, μέχρι τις 15:00 μμ της ίδιας ημέρας. Στην πόλη του Sydney της Αυστραλίας οι ημερήσιες αναφορές των τιμών του δείκτη RPI βασίζονται στις μετρήσεις των συγκεντρώσεων του όζοντος και του διοξειδίου του αζώτου. Ο δείκτης RPI, για κάθε ρύπο ξεχωριστά, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$RPI = \frac{\text{ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ}}{\text{ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΟΥ}} \times 50 \quad (6)$$

Για κάθε περιοχή της πόλης, η μεγαλύτερη τιμή που προκύπτει για το δείκτη RPI, με βάση τις τιμές του δείκτη που υπολογίζονται για κάθε ρύπο χωριστά, είναι η τιμή του δείκτη για την περιοχή αυτή.

Ο δείκτης RPI μπορεί να κατηγοριοποιηθεί (Πίνακας 3.19) με βάση τις τιμές του ως χαμηλός, μέτριος και υψηλός, που σημαίνει αντίστοιχα καλή, μέτρια και κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

Αναλυτικότερα, όταν ο δείκτης παίρνει τιμές μικρότερες του 25, σημαίνει πρακτικά ότι κανένας από τους μετρούμενους ρύπους δεν εμφανίζει τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από το 50% της οριακής τους τιμής.

Πίνακας 3. 19. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη RPI (NSW Department of Environment and Conservation, Sydney, 2006).

Τιμή δείκτη	Χαρακτηρισμός δείκτη	Χαρακτηρισμός ποιότητας της ατμόσφαιρας
$0 \leq RPI < 25$	Χαμηλός	Καλή
$25 \leq RPI < 50$	Μέτριος	Μέτρια
$RPI \geq 50$	Υψηλός	Κακή

Όταν ο δείκτης παίρνει τιμές μεταξύ του 25 και του 50, σημαίνει ότι ένας τουλάχιστον από τους μετρούμενους ρύπους έχει συγκέντρωση μεταξύ του 50% με 100% της οριακής του τιμής. Τέλος, αν ο δείκτης έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση του 50, αυτό πρακτικά σημαίνει πως ένας τουλάχιστον από τους υπό παρακολούθηση ατμοσφαιρικούς ρύπους, εμφανίζει τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες του 100% της οριακής του τιμής, δηλαδή έχουμε επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

3.4 Δείκτης Ρύπανσης του Αέρα του Bristol

Ο δήμος του Bristol στη Μεγάλη Βρετανία, χρησιμοποιεί ένα δείκτη ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα της πόλης του Bristol, τον Bristol Air Pollution Index (BAPI), που βασίστηκε σε ένα πλήθος μελετών πάνω στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία (Bristol City Council Air Quality 2006). Στον Πίνακα 3.20 δίνονται οι τιμές του δείκτη BAPI καθώς επίσης ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με τις αντίστοιχες πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Ο δείκτης BAPI υπολογίζεται βάσει των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων NO_2 , SO_2 , CO , O_3 και PM_{10} .

Συγκεκριμένα, τιμή του δείκτη υπολογίζεται για κάθε έναν από τους πέντε εξεταζόμενους ρύπους και ως ημερήσια τιμή του δείκτη BAPI θεωρείται η μεγαλύτερη από τις πέντε τιμές του, που υπολογίστηκαν στο σύνολο των εξεταζόμενων ρύπων.

Στον Πίνακα 3.21 δίνονται τα επιμέρους όρια συγκέντρωσης κάθε εξεταζόμενου ρύπου με την αντίστοιχη τιμή του δείκτη BAPI.

Πίνακας 3. 20. Τιμές του δείκτη BAPI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Bristol City Council Air Quality 2006).

Τιμές δείκτη	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
1-3	Καλή	Καμία ενόχληση δεν παρατηρείται ακόμα και σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού
4-6	Μέτρια	Λίγες ενοχλήσεις σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού χωρίς την ανάγκη λήψης μέτρων
7-9	Κακή	Σοβαρά προβλήματα σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού. Ανάγκη λήψης μέτρων για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
10	Πολύ κακή	Επικίνδυνα συμπτώματα για την υγεία του πληθυσμού. Ανάγκη επιβολής άμεσων μέτρων για την προστασία της υγείας του πληθυσμού

Πίνακας 3. 21. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη BAPI με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀ (Bristol City Council Air Quality 2006).

Τιμή δείκτη	Κατηγορία ποιότητας αέρα	PM ₁₀ (24 hr) μg/m ³	SO ₂ Μέση τιμή (15 min) μg/m ³	CO (8 hr) mg/m ³	O ₃ (8 hr) μg/m ³	NO ₂ (1 hr) μg/m ³
1	Καλή	0-16	0-88	0-3.8	0-32	0-95
2	Καλή	17-32	89-176	3.9-7.6	33-66	96-190
3	Καλή	33-49	177-265	7.7-11.5	67-99	191-286
4	Μέτρια	50-57	266-354	11.6-13.4	100-126	287-381
5	Μέτρια	58-66	355-442	13.5-15.4	127-152	382-476
6	Μέτρια	67-74	443-531	15.5-17.3	153-179	477-572
7	Κακή	75-82	532-708	17.4-19.2	180-239	573-635
8	Κακή	83-91	709-886	19.3-21.2	240-299	636-700
9	Κακή	92-99	887-1063	21.3-23.1	300-359	701-763
10	Πολύ κακή	>99	>1063	>23.1	>359	>763

3.5 Ινδικός Δείκτης Ποιότητας του Αέρα

Η κυβέρνηση της Ινδίας, στο Νέο Δελχί, στην προσπάθειά της να αποτυπώσει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, χρηματοδότησε ένα πρόγραμμα που εκπονήθηκε από το Κέντρο Ελέγχου Ρύπανσης της πόλης. Έτσι δημιουργήθηκε ο Ινδικός δείκτης

ποιότητας του αέρα (Indian Air Quality Index, IND-AQI). Ο δείκτης αυτός βασίζεται στην ίδια περίπου λογική με τον Αμερικανικό δείκτη ποιότητας του αέρα AQI, που έχει ήδη αναφερθεί (Basis for Indian Air Quality Index, IND-AQI. Available at: <http://home.iitk.ac.in>). Οι τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων που παρακολουθούνται και καταγράφονται από το Εθνικό Πρόγραμμα Παρακολούθησης της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα της Ινδίας, αφορούν τους ρύπους NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀.

Πίνακας 3. 22. Ταξινόμηση τιμών των επιμέρους δεικτών του δείκτη IND-AQI, με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των λαμβανομένων υπόψη ατμοσφαιρικών ρύπων (Basis for Indian Air Quality Index, IND-AQI. Available at: <http://home.iitk.ac.in>).

Τιμή επιμέρους δείκτη	PM ₁₀ (24 hr) μg/m ³	SO ₂ (24 hr) μg/m ³	CO (8 hr) mg/m ³	O ₃ (8 hr) μg/m ³	NO ₂ (1 hr) μg/m ³
0-100	0-100	0-80	0-2	0-157	0-80
101-200	101-150	81-367	2.1-12.0	158-196	81-180
201-300	151-350	368-786	12.1-17.0	197-235	181-564
301-400	351-420	787-1572	17.1-35.0	236-784 (μέση ωριαία τιμή)	565-1272
401-500	>420	>1572	>35.0	>784 (μέση ωριαία τιμή)	>1272

Για τον προσδιορισμό της ημερήσιας τιμής του δείκτη, είναι απαραίτητη η καταγραφή της συγκέντρωσης τουλάχιστον τριών από τους πέντε υπό μελέτη ρύπους. Για κάθε ρύπο υπολογίζεται ένας επιμέρους δείκτης με βάση τα όρια που έχουν οριστεί για τις τιμές συγκέντρωσής του (Πίνακας 3.22). Ως ημερήσια τιμή του δείκτη IND-AQI θεωρείται η μεγαλύτερη τιμή από αυτές των επιμέρους δεικτών. Στον Πίνακα 3.22 εμφανίζονται τόσο οι τιμές των επιμέρους δεικτών, όσο και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί στην Ινδία, ένα Εθνικό Δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, κυρίως με τη χρήση και τη βοήθεια του διαδικτύου. Δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης φτάνουν σε μια κεντρική μονάδα από διαφορετικές περιοχές της χώρας και υπολογίζεται ο δείκτης IND-AQI για κάθε περιοχή χωριστά. Ο επισκέπτης του διαδικτυακού αυτού τόπου, μπορεί να έχει πληροφορίες ταυτόχρονα για διαφορετικές περιοχές καθώς επίσης και για ιστορικά στοιχεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το κοινό, μπορεί να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες αυτές, εκτός του διαδικτύου, και από άλλες πηγές πληροφόρησης όπως η τηλεόραση, οι εφημερίδες και το ραδιόφωνο.

Πίνακας 3. 23. Τιμές του δείκτη IND-AQI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα (Basis for Indian Air Quality Index, IND-AQI. Available at: <http://home.iitk.ac.in>).

Τιμές δείκτη IND-AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0-100	Καλή
101-200	Μέτρια
201-300	Φτωχή
301-400	Πολύ φτωχή
401-500	Επικίνδυνη

Ο δείκτης IND-AQI είναι, κατά βάση, δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζεται με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Στον Πίνακα 3.23 εμφανίζονται κατά κατηγορία οι τιμές του δείκτη IND-AQI καθώς επίσης και η κατηγορία της ποιότητας του αέρα, με βάση τις τιμές αυτές.

3.6 Δείκτης Ρύπανσης του Αέρα του Hong-Kong

Ξεκινώντας από τον Ιούνιο του 1995, το Τμήμα Προστασίας του Περιβάλλοντος στο Hong-Kong ανέπτυξε και χρησιμοποίησε ένα δείκτη ποιότητας του αέρα, γνωστό ως δείκτη ρύπανσης του αέρα στο Hong-Kong (Hong-Kong Air Pollution Index-API). Σκοπός της χρήσης αυτού του δείκτη ήταν η παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με την ταυτόχρονη ενημέρωση τόσο της πολιτείας

για τη λήψη μέτρων, όσο και του πληθυσμού (Hong-Kong Medical Association. Available at: <http://www.info.gov.hk>). Ο δείκτης αυτός παίρνει τιμές από 0 έως και 500 και ο υπολογισμός του βασίζεται στις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και εισπνεόμενα αιωρούμενα σωματίδια γνωστά ως RSP (Respirable Suspended Particulates). Στον Πίνακα 3.24 που ακολουθεί δίνονται οι κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη API καθώς επίσης και οι πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

Πίνακας 3. 24. Κατηγορίες τιμών του δείκτη API και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Hong-Kong Medical Association. Available at: <http://www.info.gov.hk>).

Τιμές δείκτη API	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-25	Καλή	Κανένα πρόβλημα για τη δημόσια υγεία
26-50	Μέτρια	Χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στο σύνολο του πληθυσμού
51-100	Κακή	Ελάχιστοι άνθρωποι εμφανίζουν προβλήματα και ιδιαίτερα αυτοί που είναι εκτεθειμένοι σε τέτοια ποιότητα αέρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα
101-200	Πολύ κακή	Άνθρωποι με καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα θα παρουσιάζουν επιδείνωση της υγείας τους. Συμπτώματα δυσφορίας θα εμφανίσουν ακόμα και άνθρωποι χωρίς προβλήματα υγείας στο παρελθόν.
201-500	Επικίνδυνη	Άνθρωποι με καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα θα παρουσιάζουν σοβαρή επιδείνωση της υγείας τους. Συμπτώματα έντονης δυσφορίας θα εμφανίσουν ακόμα και άνθρωποι χωρίς προβλήματα υγείας στο παρελθόν.

Στον Πίνακα 3.25 παρουσιάζονται οι επιμέρους τιμές του δείκτη API και τα αντίστοιχα όρια των τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν.

Πίνακας 3. 25. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη API με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων που τις διαμορφώνουν (Hong-Kong Medical Association. Available at: <http://www.info.gov.hk>).

Τιμές επιμέρους δείκτη	RSP (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO (8 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O ₃ (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	28	40	200	40	75	2500	7500	60
50	55	80	400	80	150	5000	15000	120
100	180	350	800	150	300	10000	30000	240
200	350	800	1600	280	1130	17000	60000	400
300	420	1600	2400	565	2260	34000	90000	800
400	500	2100	3200	750	3000	46000	120000	1000
500	600	2620	4000	940	3750	57000	150000	1200

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των επιπτώσεών της στη δημόσια υγεία αλλά και στην οικονομία είναι ένα σοβαρό πρόβλημα τόσο για τις ανεπτυγμένες, όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου. Στα πλαίσια των προσπαθειών για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της λήψης μέτρων, όπου αυτό κριθεί αναγκαίο, έχουν προταθεί πολλοί δείκτες που περιγράφουν αφενός μεν την ποιότητα του αέρα, αφετέρου δε τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων, όπως ήδη έχει πιο πάνω αναφερθεί. Στην παγκόσμια βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλοι τέτοιοι δείκτες, όπως ο δείκτης Atmo (Atmo-Index) που δημιουργήθηκε και χρησιμοποιείται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος στη Γαλλία (Cheng et al. 2007, Ministere de l'ecologie et du developpement durable 2004) ο δείκτης IQA που χρησιμοποιείται σε μερικές περιοχές της βόρειας Ιταλίας και έχει εμπνευστεί από τον Αμερικανικό δείκτη ποιότητας του αέρα γνωστό ως Air Quality Index-AQI (Cheng et al. 2007, Ministero

dell' ambiente e della tutela del territorio 2002, Regional Law 43/2000 Turin, Italy 2000).

3.7 Ημερήσιος Δείκτης Ποιότητας Αέρα

Ένας σχετικά νέος δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αναφέρεται σε ημερήσια βάση, πρόσφατα αναπτύχθηκε και εξετάστηκε από το Ινστιτούτο Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου του Freiburg Γερμανίας, σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Έρευνας και Πληροφόρησης Επικίνδυνων Ουσιών της ίδιας πόλης (Mayer et al. 2002a, 2002b). Συνηθίζεται η αναφορά στον δείκτη αυτό με τα αρχικά DAQx (Daily Air Quality index). Οι τιμές του δείκτη αυτού υπολογίζονται με βάση τους ρύπους NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀. Ο δείκτης DAQx υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$DAQx = \left[\left(\frac{DAQx_{\text{άνω}} - DAQx_{\text{κάτω}}}{C_{\text{άνω}} - C_{\text{κάτω}}} \right) \times (C_{\text{στιγ.}} - C_{\text{κάτω}}) \right] + DAQx_{\text{κάτω}} \quad (7)$$

όπου :

$C_{\text{στιγ.}}$: η μέγιστη ημερήσια ωριαία τιμή συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού ρύπου (NO₂, SO₂ και O₃ σε μg/m³), η μεγαλύτερη ημερήσια μέση τιμή συγκέντρωσης κυλιόμενου δωρου για το CO σε mg/m³ και η μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των PM₁₀ σε μg/m³.

$C_{\text{άνω}}$: το άνω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 3.26)

$C_{\text{κάτω}}$: το κάτω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 3.26)

$DAQx_{\text{άνω}}$: η τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{\text{άνω}}$ (Πίνακας 3.26)

$DAQx_{\text{κάτω}}$: η τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{\text{κάτω}}$ (Πίνακας 3.26)

Πίνακας 3. 26. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη DAQx και της ποιότητας της ατμόσφαιρας με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀ (Mayer et al. 2002a, 2002b).

SO ₂ (μg/m ³) (1 hr)	CO (mg/m ³) (8 hr)	NO ₂ (μg/m ³) (1 hr)	O ₃ (μg/m ³) (1 hr)	PM ₁₀ (μg/m ³) (24 hr)	Γιμή DAQx	Γάξη DAQx	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0-24	0.0-0.9	0-24	0-32	0.0-9.9	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
25-49	1.0-1.9	25-49	33-64	10.0-19.9	1.5-2.4	2	Καλή
50-119	2.0-3.9	50-99	65-119	20.0-34.9	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
120-349	4.0-9.9	100-199	120-179	35.0-49.9	3.5-4.4	4	Επαρκής
350-999	10.0-29.9	200-499	180-239	50.0-99.9	4.5-5.4	5	Κακή
≥1000	≥30.0	≥500	≥240	≥100	≥5.5	6	Πολύ κακή

Για κάθε ρύπο, υπολογίζεται η ημερήσια τιμή του δείκτη. Τέλος, ως ημερήσια τιμή του δείκτη DAQx αναφέρεται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές που έχουν προκύψει για κάθε ρύπο χωριστά.

3.8 Ευρωπαϊκός Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (European Regional Pollution Index-ERPI)

Ο Μουστρής (2009) βασιζόμενος στον Τοπικό Δείκτη Ρύπανση (RPI) δημιούργησε μια παραλλαγή του την οποία ονόμασε ως Ευρωπαϊκό Τοπικό Δείκτη Ρύπανσης (European Regional Pollution Index-ERPI). Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Κάθε ώρα της ημέρας υπολογίζεται για κάθε ατμοσφαιρικό ρύπο χωριστά η τιμή του δείκτη ERPI, σύμφωνα με τη σχέση:

$$ERPI = \frac{\text{ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ}}{\text{ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΟΥ}} \times 50 \quad (8)$$

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται σε ωριαία βάση για τους ρύπους NO₂ και SO₂. Για το CO και το O₃ ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται πάλι ανά ώρα αλλά με βάση τη μέση τιμή του κυλιόμενου οκταώρου, που αντιστοιχεί στην ώρα αυτή για την οποία υπολογίζεται η τιμή του δείκτη. Τέλος, για τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο

μικρότερη των 10 μm (PM₁₀) γίνεται με βάση τη μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσή τους. Στον Πίνακα 3.27 δίνονται οι οριακές τιμές συγκέντρωσης που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ERPI, όπως αυτές έχουν καθοριστεί από την Οδηγία Πλαίσιο 96/62/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των θυγατρικών της οδηγιών που ακολούθησαν.

Πίνακας 3. 27. Οριακές τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων που διαμορφώνουν τις τιμές του δείκτη ERPI.

Ατμοσφαιρικός Ρύπος	Οριακή Τιμή Συγκέντρωσης
NO ₂	Ωριαία τιμή: 200 μg/m ³
SO ₂	Ωριαία τιμή: 350 μg/m ³
CO	Μέγιστη μέση τιμή οκταώρου: 10 mg/m ³
O ₃	Μέγιστη μέση τιμή οκταώρου: 120 μg/m ³
PM ₁₀	Μέση ημερήσια τιμή : 50 μg/m ³

Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι, σε ωριαία βάση, στη διάρκεια του 24-ώρου να υπολογίζονται οι τιμές τεσσάρων επιμέρους δεικτών. Ειδικότερα, του I_{NO2} για το NO₂, του I_{CO} για το CO, του I_{SO2} για το SO₂ και του I_{O3} για το O₃. Οπότε η μεγαλύτερη από αυτές τις τιμές των επιμέρους δεικτών, αποτελεί την ωριαία τιμή του δείκτη ERPI, όσον αφορά τους ρύπους NO₂, CO, SO₂ και O₃ (σχέση (9)).

$$I_i = \max \{I_{NO_2}, I_{CO}, I_{SO_2}, I_{O_3}\}, i=1(1)24 \quad (9)$$

Στη διάρκεια ενός 24-ώρου υπολογίζονται 24 τιμές I_i. Στο τέλος της ημέρας υπολογίζεται και η τιμή του επιμέρους δείκτη, I_{PM}, με βάση τη μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των PM₁₀ (υποδείκτης). Η τελική ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI, για μια συγκεκριμένη περιοχή, εκφράζεται από τη σχέση (10).

$$ERPI = \max(\max \{I_1, I_2, \dots, I_{24}\}, I_{PM}) \quad (10)$$

Πίνακας 3. 28. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη ERPI και της ποιότητας της ατμόσφαιρας, με βάση τις τιμές των δεικτών ERPI και DAQx (Μουστρής 2009).

Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Ταξινόμηση ποιότητας αέρα	Τιμή ERPI
0.5 - 1.5	1	Πολύ καλή	0 – 2
1.5 - 2.5	2	Καλή	2 – 21
2.5 - 3.5	3	Ικανοποιητική	21 – 40
3.5 - 4.5	4	Επαρκής	40 – 60
4.5 - 5.5	5	Κακή	60 – 79
≥ 5.5	6	Πολύ κακή	≥ 79

4. Ποιότητα της ατμόσφαιρας

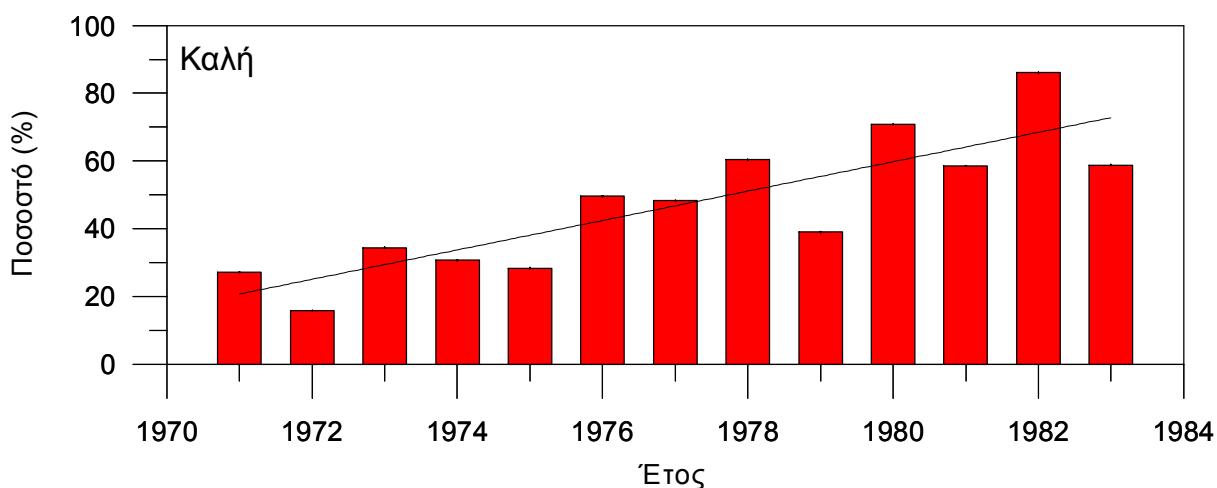
4.1. Ποιότητα ατμόσφαιρας στη διάρκεια της περιόδου 1971-1983

Στην Αθήνα, κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1969-1983, λειτούργησε ένα πρώτο δίκτυο μετρήσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας. Το δίκτυο των σταθμών αυτών λειτούργησε από το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΜΙΕΑΑ) πραγματοποιώντας συστηματικές μετρήσεις καπνού και διοξειδίου του θείου (SO₂). Το κέντρο του συγκεκριμένου δικτύου λειτούργησε στο Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, και αποτελείται από έξι σταθμούς. Στις αρχές τη δεκαετίας του '70 άρχισαν να εμφανίζονται επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέονται με την παρουσία του "νέφους" της Αθήνας. Τα επεισόδια αυτά, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές συγκεντρώσεων καπνού και SO₂ σε ημέρες που επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες στην ΕΠΑ (Τσελεπιδάκι κ.ά. 1983, Katsoulis 1988, Παλιατσός 1999). Οι συγκεκριμένοι ρύποι προέρχονται κυρίως από τις κεντρικές θερμάνσεις και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα. Το «νέφος» αυτό, λόγω της παρόμοιας σύστασής του με το νέφος του Λονδίνου της δεκαετίας του '50, πήρε την ονομασία «νέφος αιθαλομίχλης», ή «νέφος τύπου Λονδίνου». Διάφοροι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης των αερίων ρύπων αυτού του δικτύου (Kambezidis et al. 1986, 1988, 1995, Paliatsos 1997, Tselepidaki et al. 1991).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας του αέρα, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1969-1983, σε αντιπροσωπευτικές θέσεις του δικτύου του ΜΙΕΑΑ, με ιδιαίτερη έμφαση: (1) στην περιοχή του σταθμού "Πανεπιστημιακή Λέσχη", που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης της Αθήνας και (2) στην περιοχή του σταθμού "Γεωπονική Σχολή", που βρίσκεται σε κεντρικό σημείο βιοτεχνικής – ελαφρά βιομηχανικής θέσης της περιοχής του Ελαιώνα.

Στην διπλωματική αυτή εργασία γίνεται προσπάθεια για μια πρώτη παρουσίαση της ποιότητας της ατμόσφαιρας μιας αστικής περιοχής της Αθήνας, με χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, διότι στη διάρκεια αυτής της περιόδου δεν καταγράφονταν άλλοι ρύποι που να λαμβάνονται υπόψη στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, για τη χρονική περίοδο 1971-1983, υπολογίζονται οι τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) για δύο αντιπροσωπευτικές θέσεις της Ευρύτερης Περιοχής της Αθήνας (ΕΠΑ) και συγκρίνονται με τα όρια πίνακα αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας από τη διεθνή βιβλιογραφία. Επίσης, μελετάται η διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών του PSI στις υπό μελέτη θέσεις, ανά κατηγορία ποιότητας της ατμόσφαιρας.

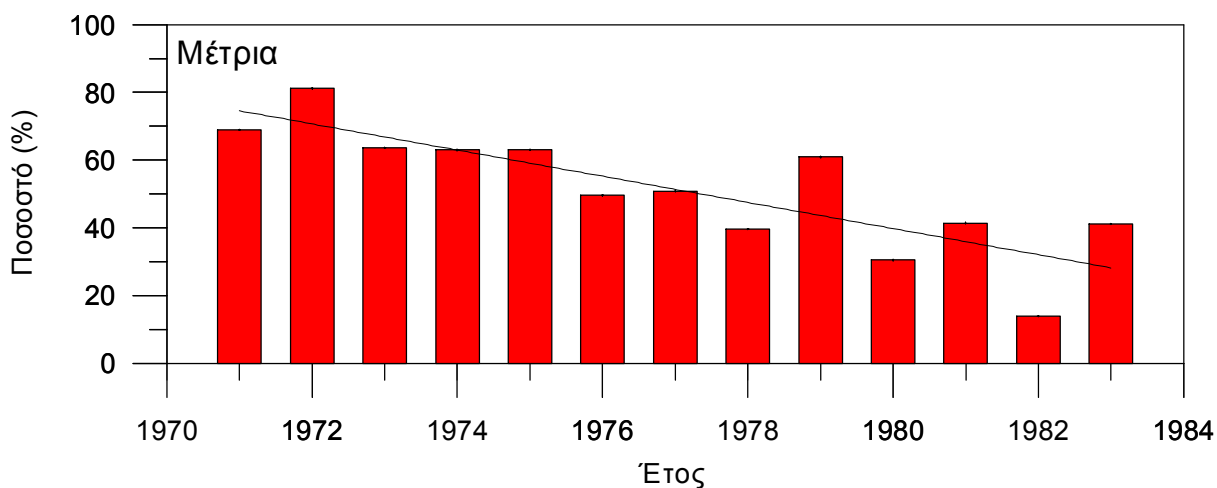
4.1.1. Ποιότητα ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης της Αθήνας



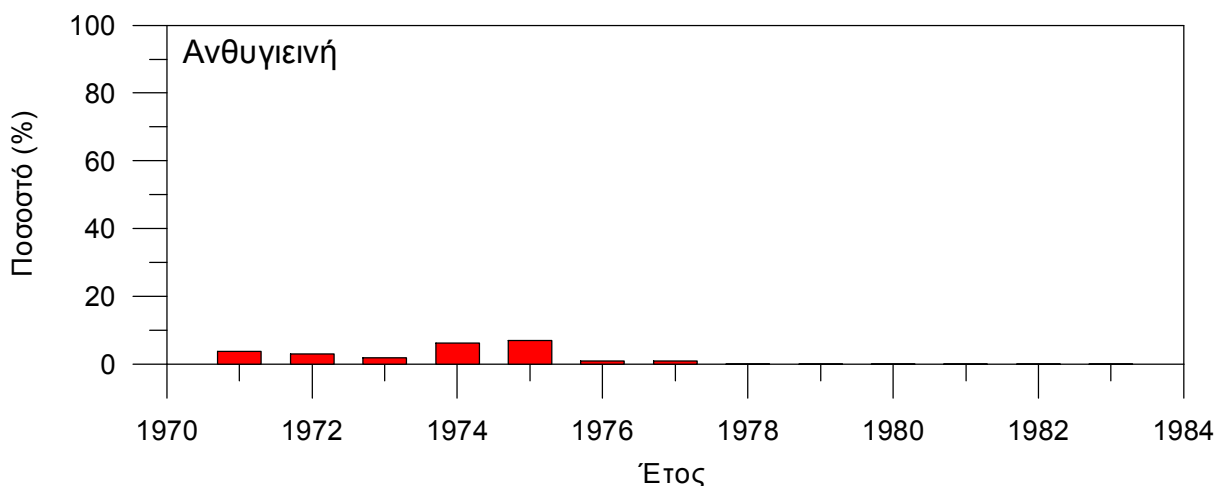
Σχήμα 4.1. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 4.34 ($b = 4.34$).

Από το Σχήμα 4.1 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-1983, ο ετήσιος ρυθμός βελτίωσης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» είναι 4.34% ($b = 4.34$). Στην ίδια χρονική περίοδο, τα ετήσια

ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια» (Σχήμα 4.2), εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό μείωσης κατά 3.86%. Το τελευταίο ουσιαστικά σημαίνει ετήσιο ρυθμό βελτίωσης κατά 3.86%.



Σχήμα 4.2. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 3.86 ($b = -3.86$).



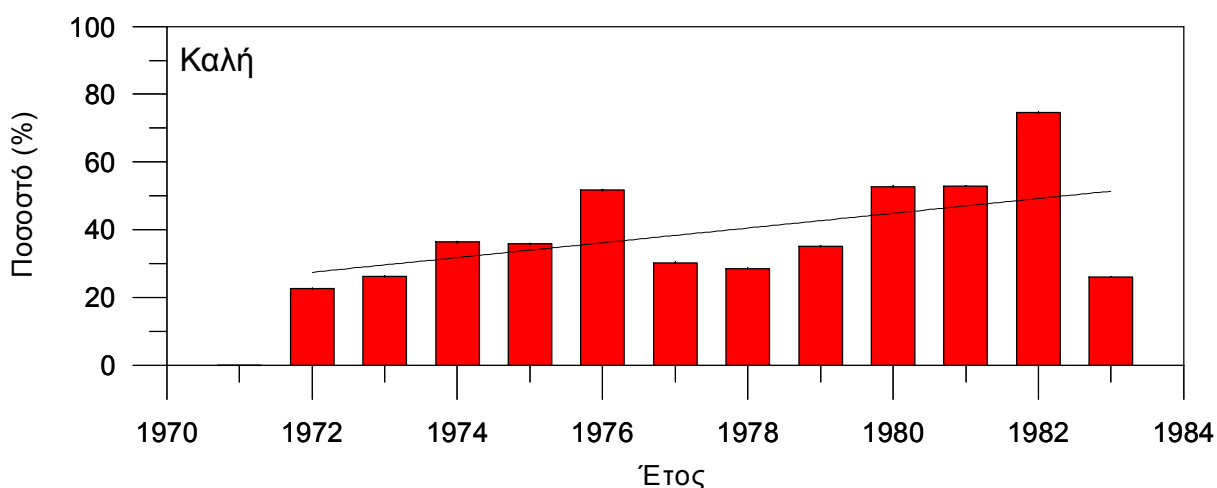
Σχήμα 4.3. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης).

Τέλος, από το Σχήμα 4.3 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-1977, το ετήσιο ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας

«ανθυγιεινή» μηδενίζεται, άρα έχουμε ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

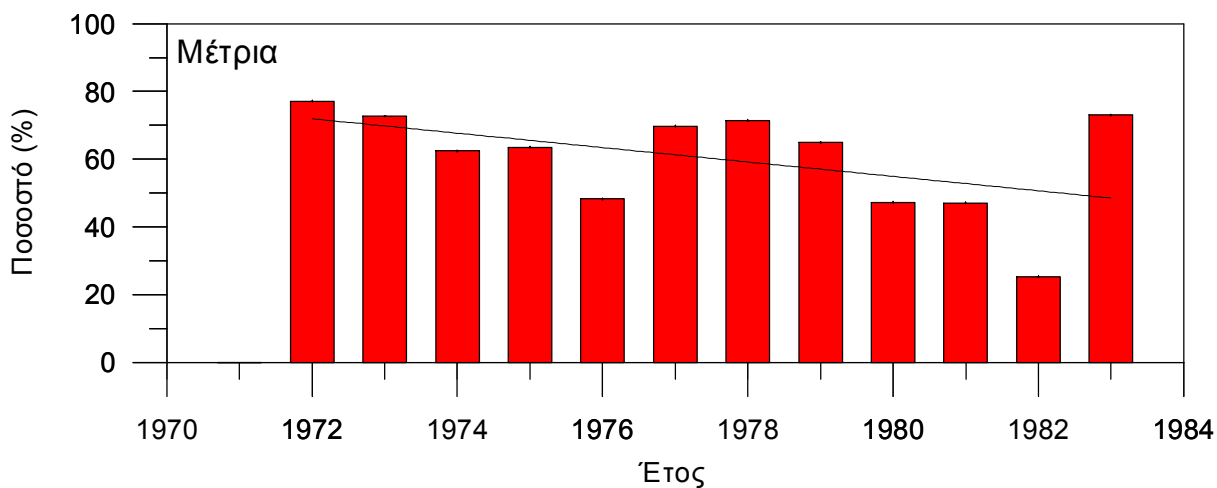
4.1.2. Ποιότητα ατμόσφαιρας σε κεντρικό σημείο βιοτεχνικής – ελαφρά βιομηχανικής θέσης της περιοχής του Ελαιώνα

Από το Σχήμα 4.4 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1972-1983, ο ετήσιος ρυθμός βελτίωσης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» είναι 2.18% ($b = 2.18$). Στην ίδια χρονική περίοδο, τα ετήσια ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια» (Σχήμα 4.5), εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό μείωσης κατά 2.13%. Το τελευταίο ουσιαστικά σημαίνει ετήσιο ρυθμό βελτίωσης κατά 2.13%.



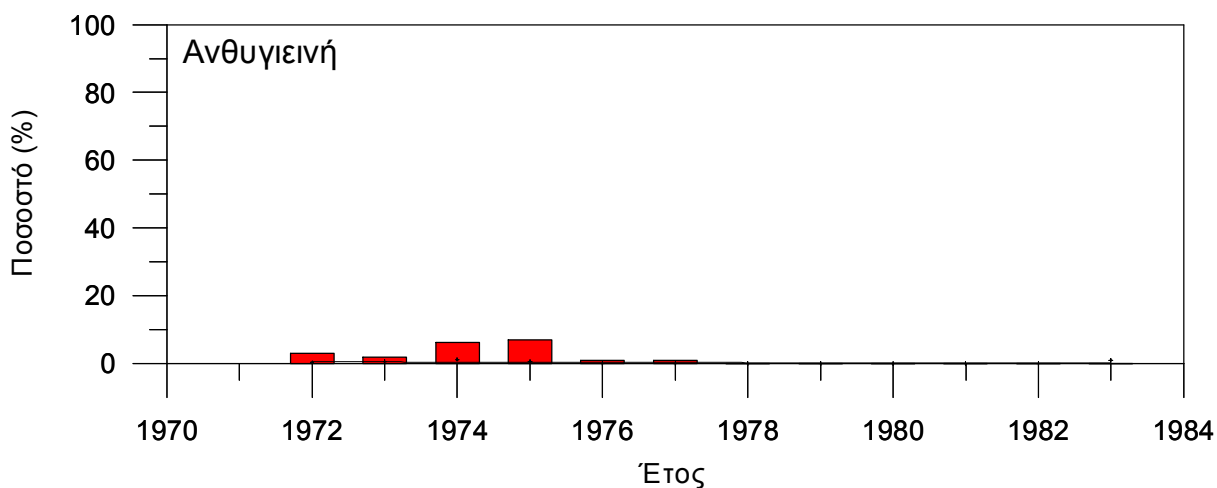
Σχήμα 4.4. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1972-1983, στην περιοχή του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.18 ($b=2.18$).

Τέλος, από το Σχήμα 4.6 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1972-1975, το ετήσιο ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή» μηδενίζεται, άρα έχουμε ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 4.5. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1972-1983, του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.13 ($b=-2.13$).

Από τη σύγκριση των αριθμητικών αποτελεσμάτων των ετήσιων ρυθμών μεταβολής των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» και «μέτρια», διαπιστώνονται διαφοροποιήσεις. Οι διαφοροποιήσεις αυτές μπορούν να αποδοθούν στο διαφορετικό χαρακτήρα των δύο υπό μελέτη θέσεων. Ειδικότερα, ο σταθμός “Πανεπιστημιακή Λέσχη”, βρίσκεται στο κέντρο της αστικής περιοχής της πόλης της Αθήνας, ενώ ο σταθμός “Γεωπονική Σχολή”, βρίσκεται σε κεντρικό σημείο της βιοτεχνικής – ελαφρά βιομηχανικής περιοχής του Ελαιώνα. Συνεπώς, ο διαφορετικός χαρακτήρα της κάθε θέσης, είχε επίπτωση στα επίπεδα των καταγραφέντων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου. Οι διαφοροποιήσεις στα επίπεδα συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρύπου ήταν αποτέλεσμα των μέτρων που λήφθηκαν από την Ελληνική Πολιτεία για τη βελτίωση της ποιότητας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 9/1976-12/1982 (ΠΕΡΠΑ 1989, Παλιατσός 1999).



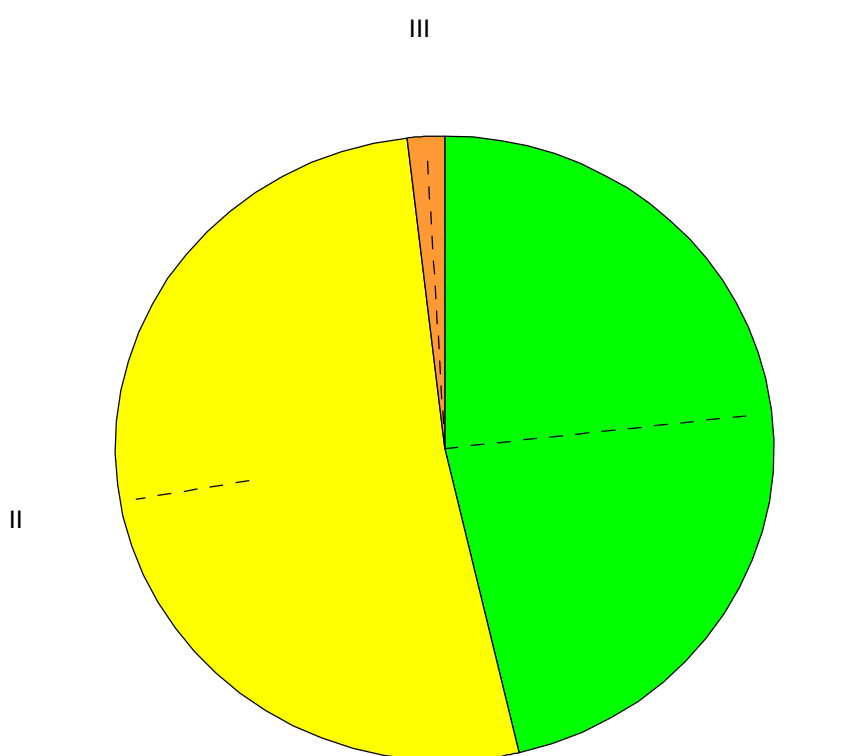
Σχήμα 4.6. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1972-1983, του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής.

4.1.3. Σύγκριση των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας των υπό μελέτη περιοχών

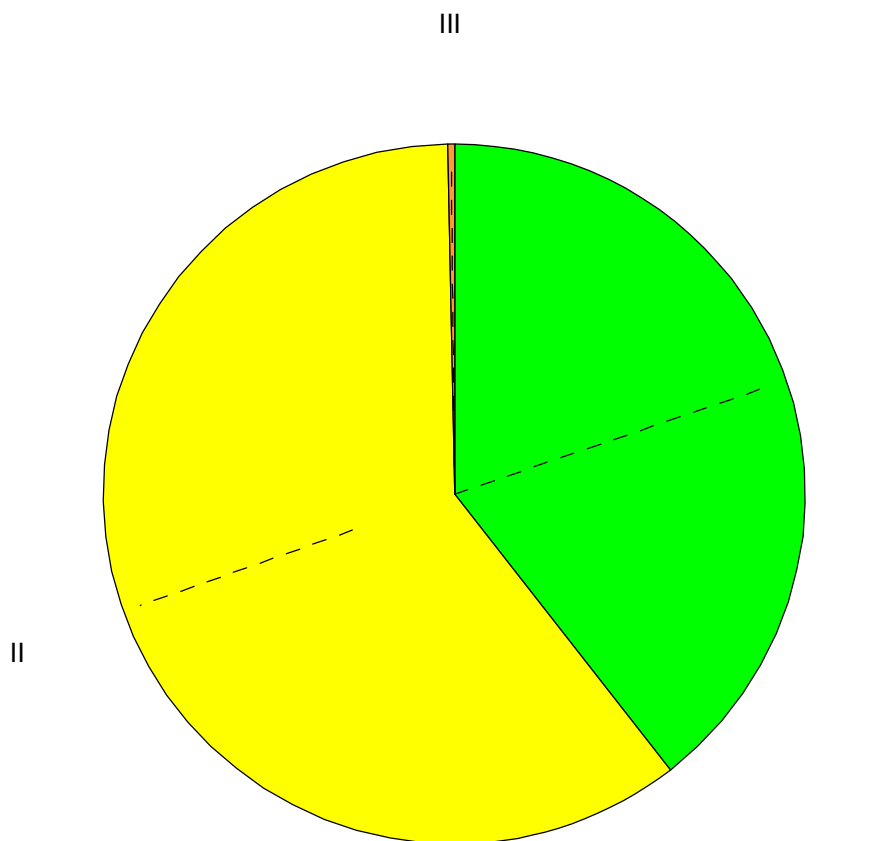
Από τα Σχήματα 4.7 και 4.8 διαπιστώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, τόσο στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας, όσο και σε κεντρικό σημείο της βιοτεχνικής – ελαφρά βιομηχανικής θέσης της περιοχής του Ελαιώνα, η ποιότητα της ατμόσφαιρας κυμάνθηκε από «καλή» (I), «μέτρια» (II) και έφτασε μέχρι και την κατηγορία «ανθυγιεινή» (III).

Στη διάρκεια της χρονικής περιόδου λειτουργίας του σταθμού της Πανεπιστημιακής Λέσχης, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (I) ανήλθε στο 46.4%, ενώ στο σταθμό της Γεωπονικής Σχολής ανήλθε στο 39.3%. Στην ίδια χρονική περίοδο, στο σταθμό της Πανεπιστημιακής Λέσχης το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (II) ανήλθε στο 51.8%, ενώ στο σταθμό της Γεωπονικής Σχολής ανήλθε στο 60.4%. Η υπεροχή της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια» (II) στο σταθμό της Γεωπονικής Σχολής μπορεί να αποδοθεί τόσο στον χαρακτήρα του σταθμού, όσο και στο χρονοδιάγραμμα υλοποίησης των μέτρων που λήφθηκαν από την Ελληνική Πολιτεία για τη βελτίωση της ποιότητας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων (ΠΕΡΠΑ 1989, Παλιατσός 1999).

Τέλος, στο σύνολο των ημερών λειτουργίας του σταθμού της Πανεπιστημιακής Λέσχης, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (III) ανήλθε στο 1.8%, ενώ στο σταθμό της Γεωπονικής Σχολής ανήλθε μόλις στο 0.3%. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι, στη διάρκεια λειτουργίας των δύο υπό μελέτη σταθμών, η ημερήσια συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου ξεπέρασε τα $365\mu\text{g}/\text{m}^3$ για 83 και 13 ημέρες αντίστοιχα, στους σταθμούς της Πανεπιστημιακής Λέσχης και της Γεωπονικής Σχολής.



Σχήμα 4.7. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης).



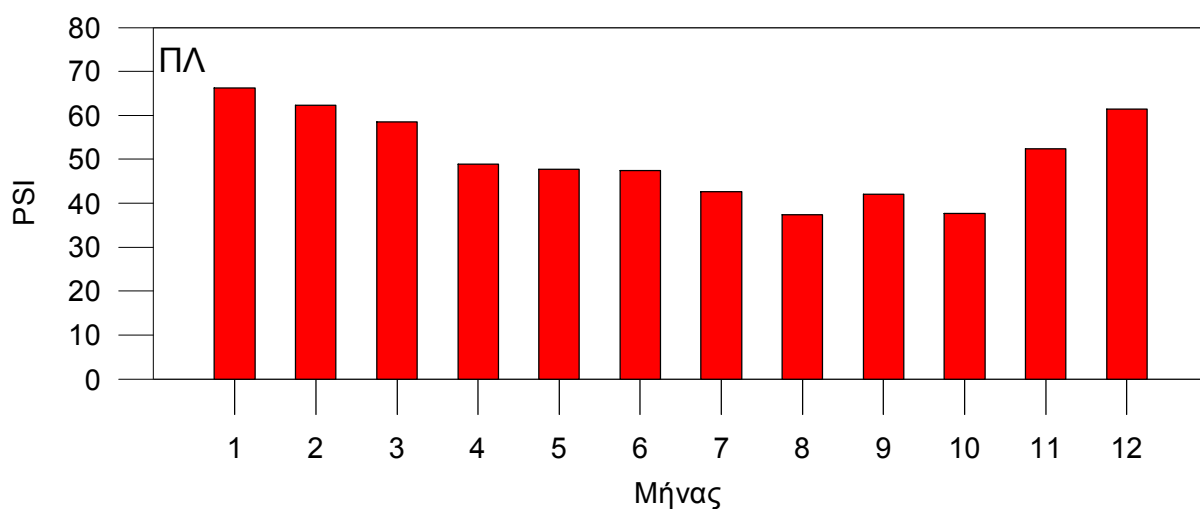
Σχήμα 4.8. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1972-1983, στην περιοχή του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής.

4.1.4. Μέση ετήσια πορεία της ποιότητας της ατμόσφαιρας των υπό μελέτη περιοχών

Στα Σχήματα 4.9 και 4.10 απεικονίζεται η μέση ετήσια πορεία της ποιότητας της ατμόσφαιρας στους δύο υπό μελέτη σταθμούς και για την περίοδο λειτουργίας του κάθε σταθμού. Από τη σύγκριση αυτών των δύο σχημάτων, διαπιστώνονται τα εξής:

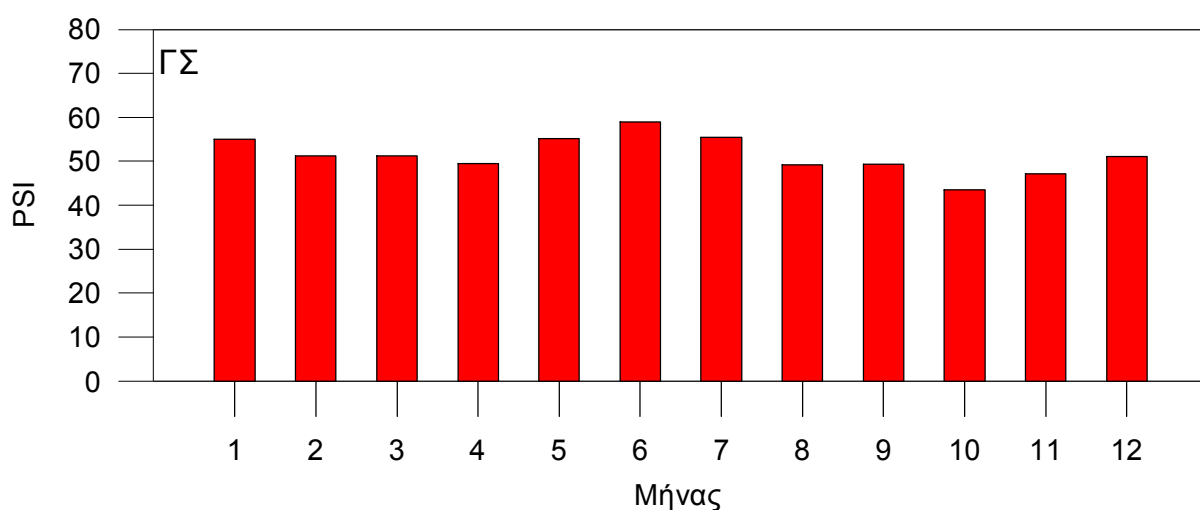
Στο σταθμό της Πανεπιστημιακής Λέσχης η μέση ετήσια πορεία ποιότητας της ατμόσφαιρας (Σχήμα 4.9), χαρακτηρίζεται από ελάχιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους και από μέγιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Η εμφανιζόμενη μορφή της ετήσιας πορείας μπορεί να αιτιολογηθεί εξ αιτίας του γεγονότος ότι η συγκέντρωση του «υπεύθυνου» ρύπου (διοξείδιο του θείου), στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, συνδέονταν πρωτίστως πολύ

στενά με τη λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης και δευτερευόντως με την κυκλοφορία.



Σχήμα 4.9. Μέση ετήσια πορεία της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός Πανεπιστημιακής Λέσχης).

Στο σταθμό της Γεωπονικής Σχολής η μέση ετήσια πορεία ποιότητας της ατμόσφαιρας (Σχήμα 4.10), χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Το πρωτεύον μέγιστο εμφανίζεται στην περίοδο του θέρους (Ιούνιος) και το δευτερεύον μέγιστο εμφανίζεται στην περίοδο του χειμώνα (Ιανουάριος).



Σχήμα 4.10. Μέση ετήσια πορεία της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1972-1983, στην περιοχή του σταθμού της Γεωπονικής Σχολής.

Η εμφανιζόμενη μορφή της ετήσιας πορείας μπορεί να αιτιολογηθεί εξ αιτίας του γεγονότος ότι οι συγκεντρώσεις του «υπεύθυνου» ρύπου (διοξείδιο του θείου), συνδέονταν πρωτίστως πολύ στενά με τη λειτουργία των βιοτεχνικών και βιομηχανικών μονάδων που ήταν εγκατεστημένες στην περιοχή, στη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, δευτερευόντως δε με την κυκλοφορία και τη λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης. Το μεγαλύτερο ετήσιο εύρος μεταβολής (μέγιστο-ελάχιστο) εμφανίζει η μέση ετήσια πορεία του σταθμού ΠΛ (Σχήμα 4.9). Αντίθετα, το μικρότερο ετήσιο εύρος εμφανίζει η ετήσια πορεία του σταθμού ΓΣ (Σχήμα 4.10), ενός σταθμού που βρίσκεται σε βιοτεχνική και ελαφρά βιομηχανική περιοχή στην οποία οι πηγές έχουν σχεδόν σταθερή λειτουργία σ' ολόκληρη τη διάρκεια του έτους.

4.2. Ποιότητα ατμόσφαιρας στη διάρκεια της περιόδου 1984-2000

Όπως έχει προαναφερθεί, το πρώτο οργανωμένο δίκτυο μετρήσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ) λειτούργησε κατά την περίοδο 1973-1979 στα πλαίσια του Προγράμματος Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (UNDP) με τη συνεργασία του Υπουργείου Κοινωνικών Υπηρεσιών. Οι ρύποι που καταγράφηκαν συστηματικά κατά τη διάρκεια λειτουργίας αυτού του δικτύου ήταν ο καπνός και το SO₂, οι οποίοι και θεωρούνταν ουσιαστικά οι κύριοι υπεύθυνοι για το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αντίθετα, η καταγραφή των υπολοίπων ρύπων ήταν περιορισμένη τόσο σε έκταση όσο και σε διάρκεια. Από τα μέσα του 1983 εγκαταστάθηκε από τον τότε φορέα ΠΕΡΠΑ (Πρόγραμμα Ελέγχου Ρύπανσης Περιοχής Αθήνας), πρώην πλέον, και νυν Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΔΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ, δίκτυο δέκα (10) αυτόματων σταθμών για την παρακολούθηση όλων των ρύπων στην

ΕΠΑ (Πίνακας 4.1). Το δίκτυο αυτό ουσιαστικά αποτελεί συνέχεια του προηγούμενου δικτύου.

Πίνακας 4.1. Πληροφοριακά στοιχεία των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ κατά την περίοδο 1984-2000.

Όνομα	SO ₂	CO	O ₃	Χαρακτηρισμός
Αθηνάς	1988-2000	1988-2000	1990-2000	Αστικός-Κυκλοφορίας
Αριστοτέλους	1994-2000	1994-1999	-	Αστικός-Κυκλοφορίας
Γεωπονική	1984-2000	1984-2000	1987-2000	Περιαστικός-Βιομηχανικός
Λιόσια	1984-2000	-	1987-2000	Περιαστικός-Υποβάθρου
Λυκόβρυση	-	-	1994-2000	Περιαστικός
Μαρούσι	1989-2000	1990-2000	1990-2000	Αστικός-Κυκλοφορίας
Νέα Σμύρνη	1984-2000	1984-2000	1987-2000	Αστικός-Υποβάθρου
Πατησίων	1984-2000	1984-2000	1987-2000	Αστικός-Κυκλοφορίας
Πειραιάς	1984-2000	1985-2000	1988-2000	Αστικός-Κυκλοφορίας
Περιστερί	1990-2000	1990-2000	1990-2000	Αστικός-Υποβάθρου

Στην διπλωματική αυτή εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια για παρουσίαση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της ΕΠΑ, με χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, του διοξειδίου του θείου και του όζοντος. Συγκεκριμένα, για τη χρονική περίοδο 1984-2000, υπολογίζονται οι ημερήσιες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) για όλες τις θέσεις καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ (Πίνακας 4.1) και συγκρίνονται με τα όρια πινάκα αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας από τη διεθνή βιβλιογραφία. Επίσης, μελετάται η διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης στις υπό μελέτη θέσεις, ανά κατηγορία ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Πίνακας 4.2 Διαχρονική εξέλιξη λειτουργίας των σταθμών καταγραφής των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου στην ΕΠΑ, κατά την περίοδο 1984-2000.

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Αθηνάς																	
Αριστοτέλους																	
Γεωπονική																	
Λιόσια																	
Λυκόβρυση																	
Μαρούσι																	
Νέα Σμύρνη																	
Πατησίων																	
Πειραιάς																	
Περιστέρι																	

Πίνακας 4.3 Διαχρονική εξέλιξη λειτουργίας των σταθμών καταγραφής των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα στην ΕΠΑ, κατά την περίοδο 1984-2000.

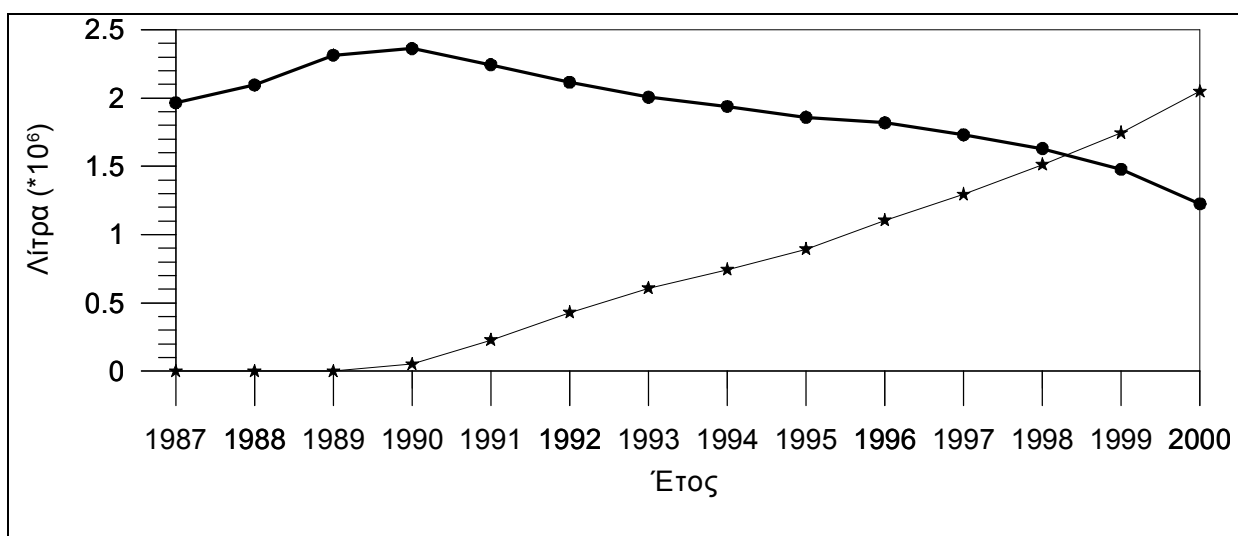
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Αθηνάς																	
Αριστοτέλους																	
Γεωπονική																	
Λιόσια																	
Λυκόβρυση																	
Μαρούσι																	
Νέα Σμύρνη																	
Πατησίων																	
Πειραιάς																	
Περιστέρι																	

Πίνακας 4.4 Διαχρονική εξέλιξη λειτουργίας των σταθμών καταγραφής των συγκεντρώσεων του όζοντος στην ΕΠΑ, κατά την περίοδο 1984-2000.

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Αθηνάς																	
Αριστοτέλους																	
Γεωπονική																	
Λιόσια																	
Λυκόβρυση																	
Μαρούσι																	
Νέα Σμύρνη																	
Πατησίων																	
Πειραιάς																	
Περιστέρι																	

Από τη μελέτη των διαχρονικών μεταβολών των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, διαπιστώνεται ότι, παρ' όλο που υπάρχουν στις διάφορες θέσεις, αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων

τιμών συγκέντρωσης από χρόνο σε χρόνο, η τάση εξέλιξης είναι γενικά πτωτική ή τάση σταθεροποίησης, ανάλογα με τον ρύπο. Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί, κύρια στην ποιοτική αναβάθμιση του στόλου των ιδιωτικών και δημόσιας χρήσης αυτοκινήτων, στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (ΚΕΚ), στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές, στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές κ.λπ. Η πτωτική τάση σε ορισμένους ρύπους, έχει ιδιαίτερη σημασία δεδομένου ότι διαχρονικά υπάρχει αύξηση των ρυπογόνων δραστηριοτήτων στην υπό μελέτη περιοχή.



Σχήμα 4.11. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων καταναλώσεων βενζίνης απλής και super (σύμβολο κύκλος) και αμόλυβδης (σύμβολο αστερίσκος) στην ελληνική επικράτεια, στη διάρκεια της περιόδου 1987-2000.

Ειδικά για κάθε ρύπο που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό των τιμών του δείκτη PSI, παρατηρήθηκαν τα εξής:

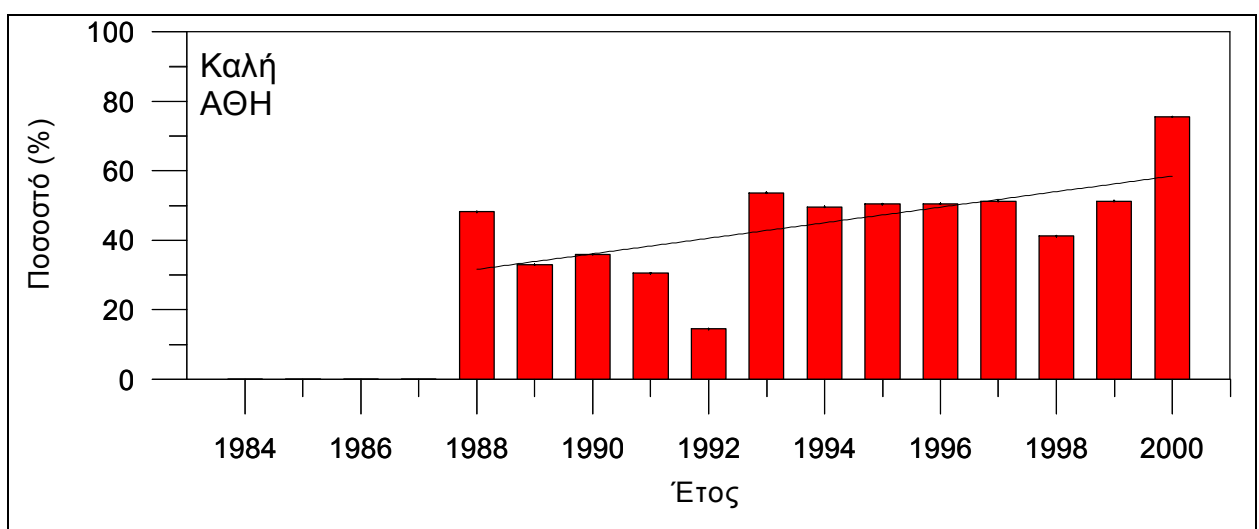
- Για το διοξείδιο του θείου, υπάρχει σημαντική τάση μείωσης των τιμών που συνδέεται με τη προοδευτική μείωση της περιεκτικότητας του πετρελαίου σε θείο.
- Για το όζον υπάρχει γενικώς μια τάση σταθεροποίησης των τιμών.

- Για το μονοξείδιο του άνθρακα, παρουσιάζεται γενικά τάση μείωσης ή σταθεροποίησης των τιμών σε μικρό αριθμό σταθμών. Αυτό συνδέεται με την ποιοτική αναβάθμιση του στόλου των ιδιωτικής χρήσης αυτοκινήτων (αντικατάσταση των παλαιάς τεχνολογίας οχημάτων με οχήματα καταλυτικής τεχνολογίας). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την κατανάλωση καυσίμων (Σχήμα 4.11)

Ειδικά για κάθε σταθμό που λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό των τιμών του δείκτη PSI, παρατηρήθηκαν τα εξής:

4.2.1. Ποιότητα ατμόσφαιρας σε σταθμούς «αστικούς-κυκλοφορίας», στο κέντρο της πόλης της Αθήνας

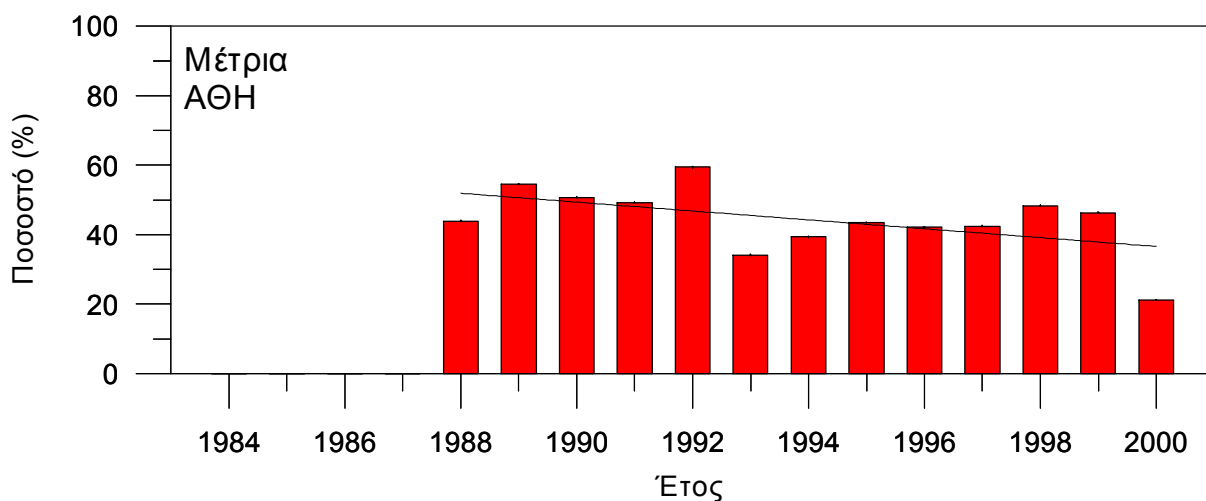
α. Σταθμός «Αθηνάς» (ΑΘΗ)



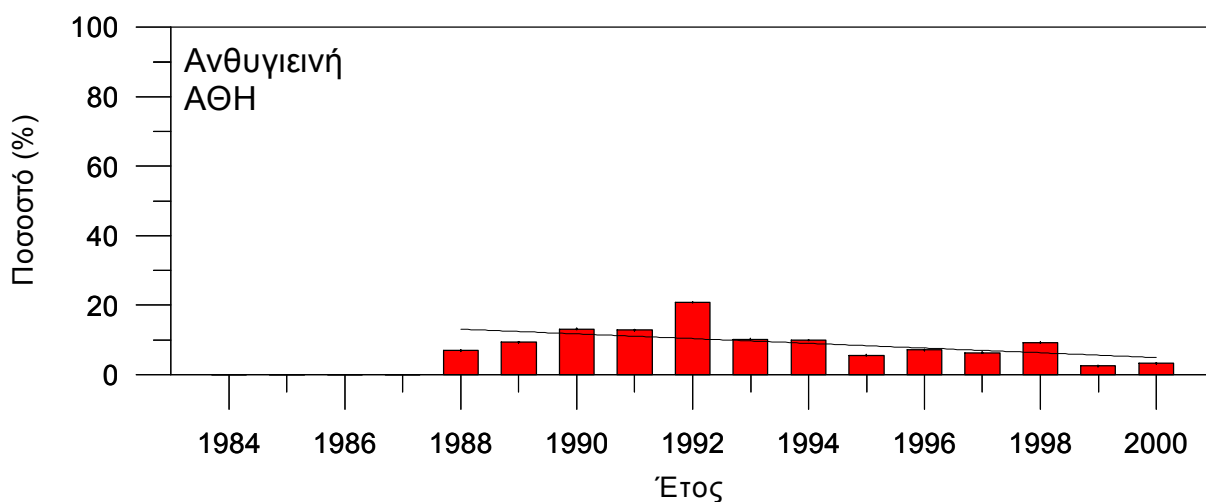
Σχήμα 4.12. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1988-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.24% ($b = 2.24$).

Από το Σχήμα 4.12 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1988-2000, ο ετήσιος ρυθμός βελτίωσης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της

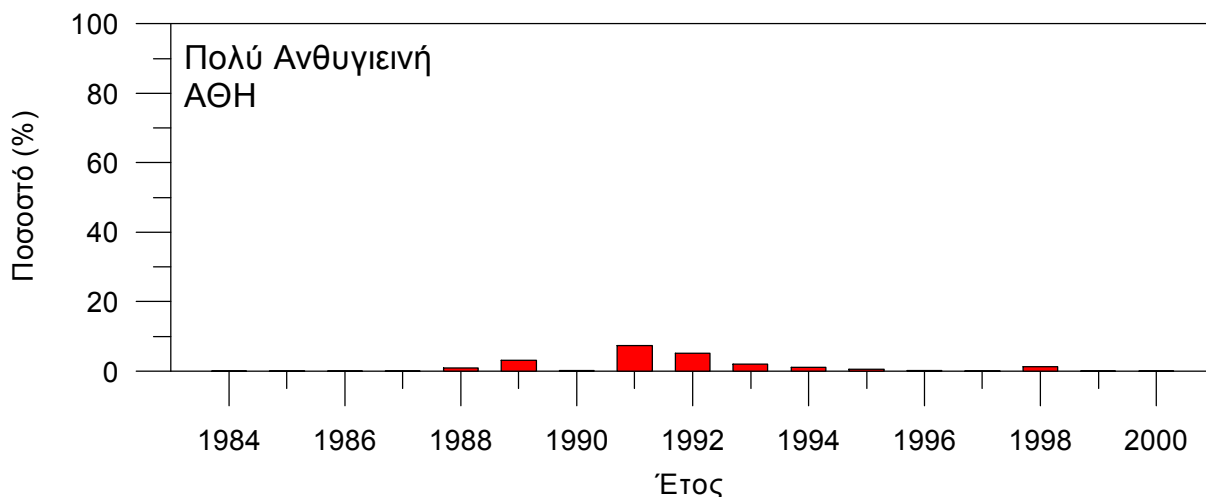
ατμόσφαιρας «καλή» είναι 2.24%. Στην ίδια χρονική περίοδο, τα ετήσια ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια» (Σχήμα 4.13), εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό μείωσης κατά 1.28%. Το τελευταίο ουσιαστικά σημαίνει ετήσιο ρυθμό βελτίωσης κατά 1.28%.



Σχήμα 4.13. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1988-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 1.28% ($b = -1.28$).



Σχήμα 4.14. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1988-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 0.68% ($b = -0.68$).



Σχήμα 4.15. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «πολύ ανθυγιεινή», για την περίοδο 1988-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΘΗ).

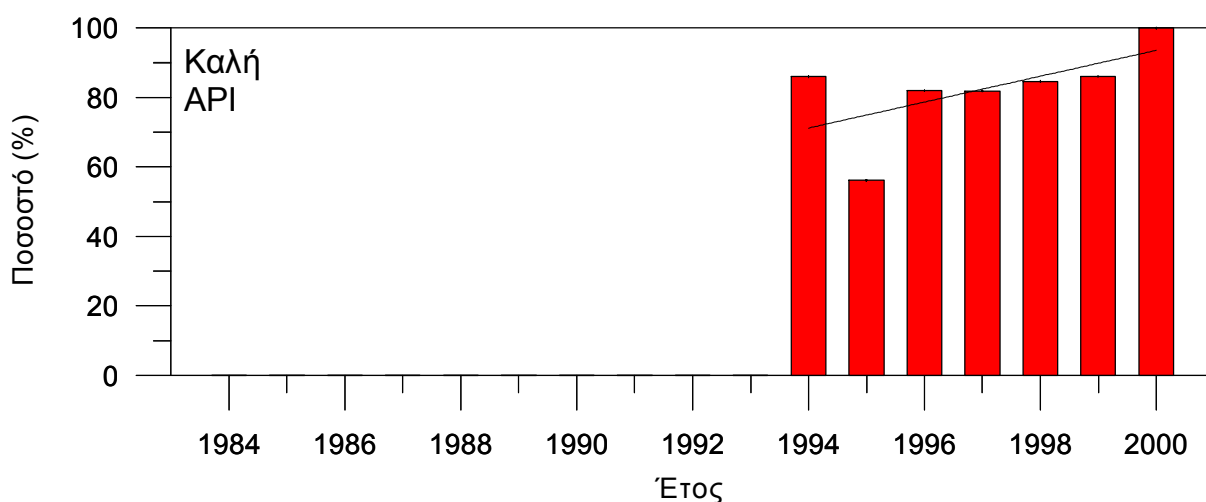
Από το Σχήμα 4.14 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια λειτουργίας του συγκεκριμένου σταθμού (1988-2000), το ετήσιο ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας «ανθυγιεινή» μειώνεται κατά 0.68% ετησίως, άρα έχουμε ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 4.15 που εμφανίζει τη διαχρονική εξέλιξη, μέσα στην ίδια χρονική περίοδο, των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «πολύ ανθυγιεινή» της οποίας το ποσοστό μηδενίζεται το έτος 1998.

β. Σταθμός «Αριστοτέλους» (ΑΡΙ)

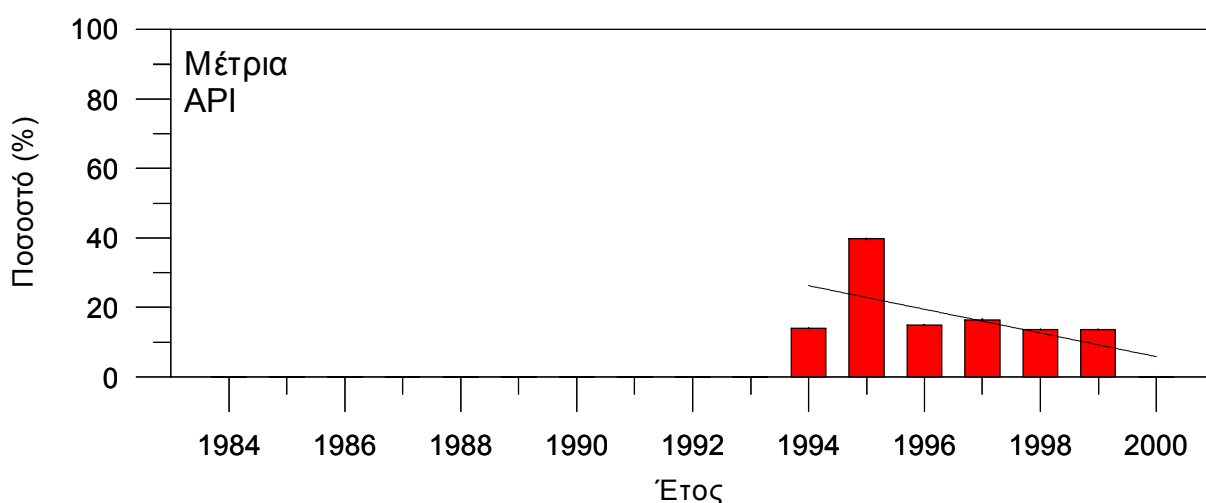
Από το Σχήμα 4.16 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1994-2000, ο ετήσιος ρυθμός βελτίωσης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» είναι 3.73%. Στην ίδια χρονική περίοδο, τα ετήσια ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «μέτρια» (Σχήμα 4.17), εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό μείωσης κατά 3.41%, αποτέλεσμα που υποδηλώνει ουσιαστικά ετήσιο ρυθμό βελτίωσης κατά 3.41%.

Επίσης, από το Σχήμα 4.18 διαπιστώνεται βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή του συγκεκριμένου σταθμού, όσον αφορά τα ετήσια

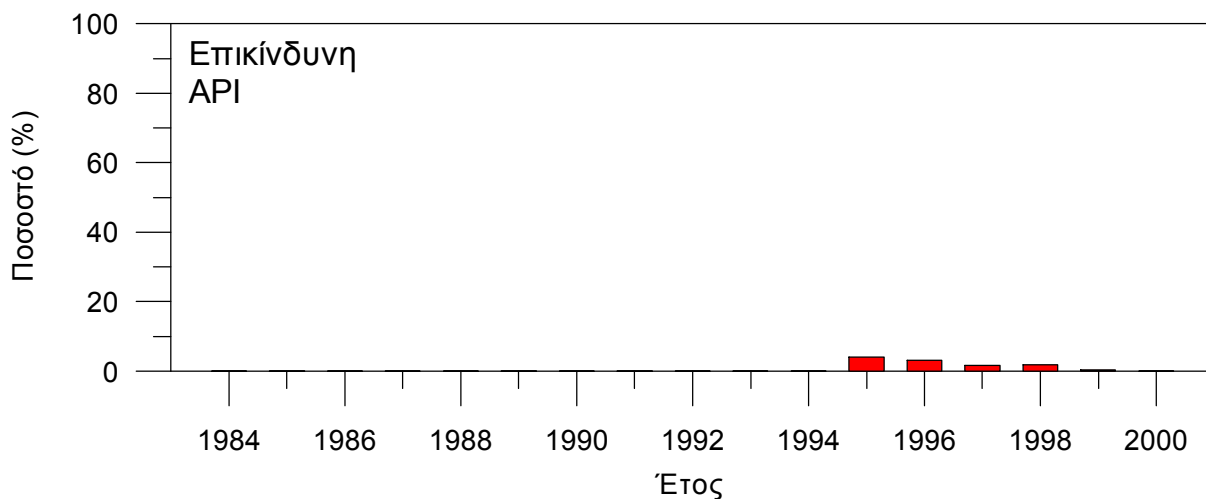
ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «ανθυγιεινή», μιας και μετά το έτος 1999 το ποσοστό μηδενίζεται.



Σχήμα 4.16. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1994-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός API). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 3.73% ($b = 3.73$).

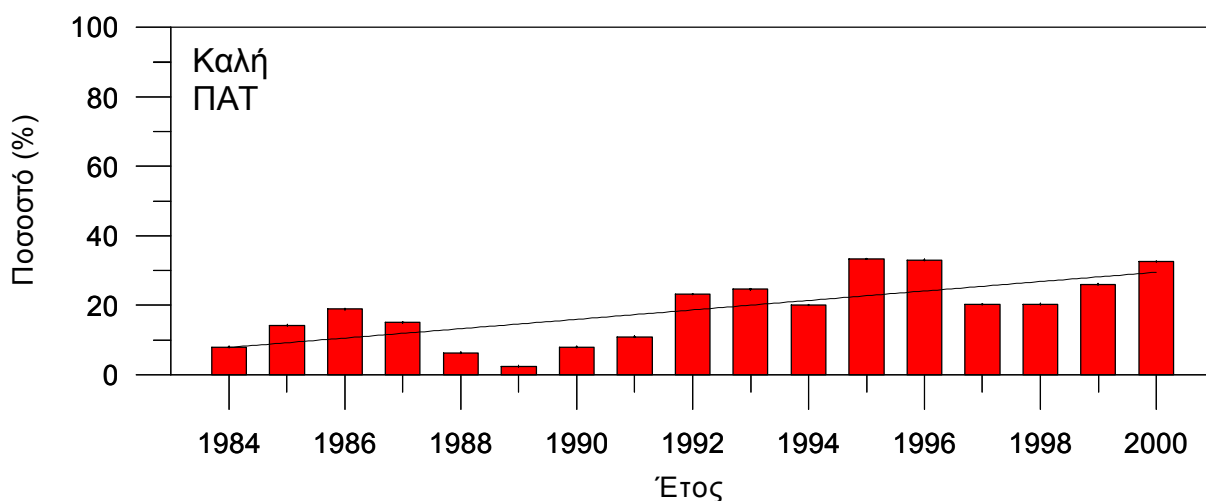


Σχήμα 4.17. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1994-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός API). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 3.41% ($b = -3.41$).



Σχήμα 4.18. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1994-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΑΡΙ).

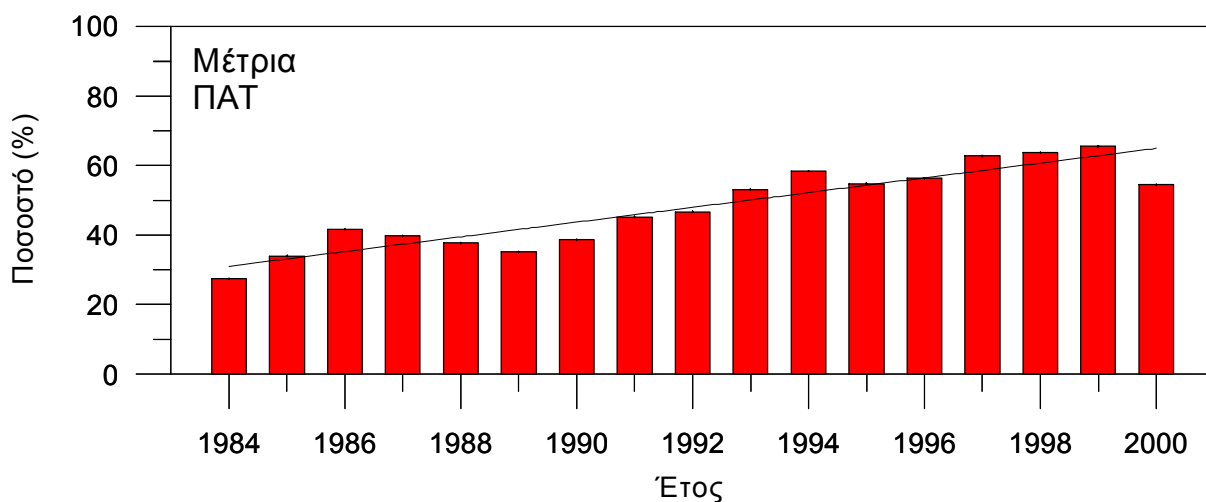
γ. Σταθμός «Πατησίων» (ΠΑΤ)



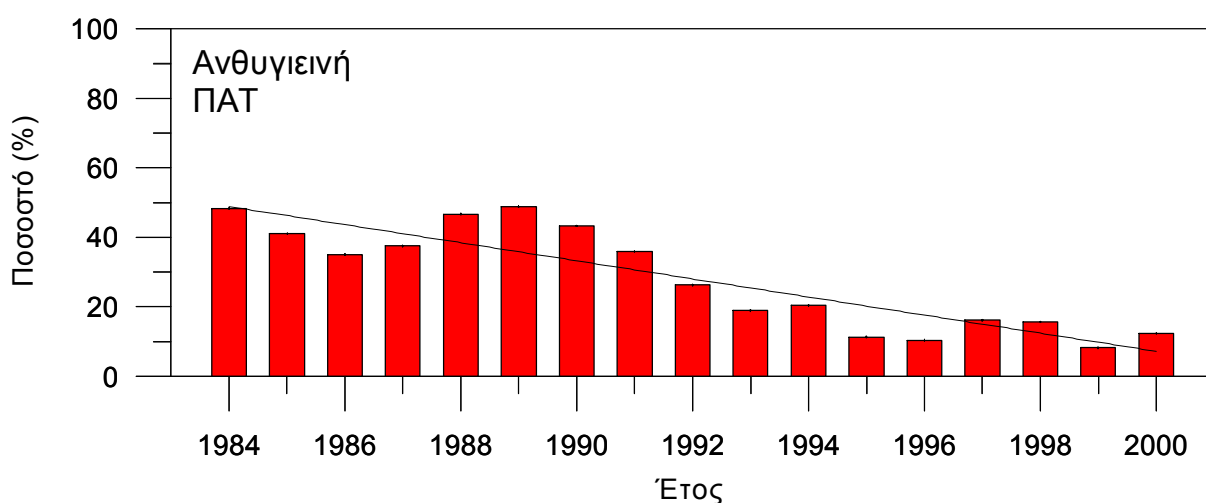
Σχήμα 4.19. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 1.35% ($b = 1.35$).

Σχετικά με το σταθμό «Πατησίων», από το Σχήμα 4.19 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, ο ετήσιος ρυθμός εμφάνισης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» είναι 1.35%, ενώ της κατηγορίας

ποιότητας «μέτρια» (Σχήμα 4.20) είναι 2.12%. Άρα, και στις δύο αυτές περιπτώσεις διαπιστώνεται βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή του σταθμού αυτού.



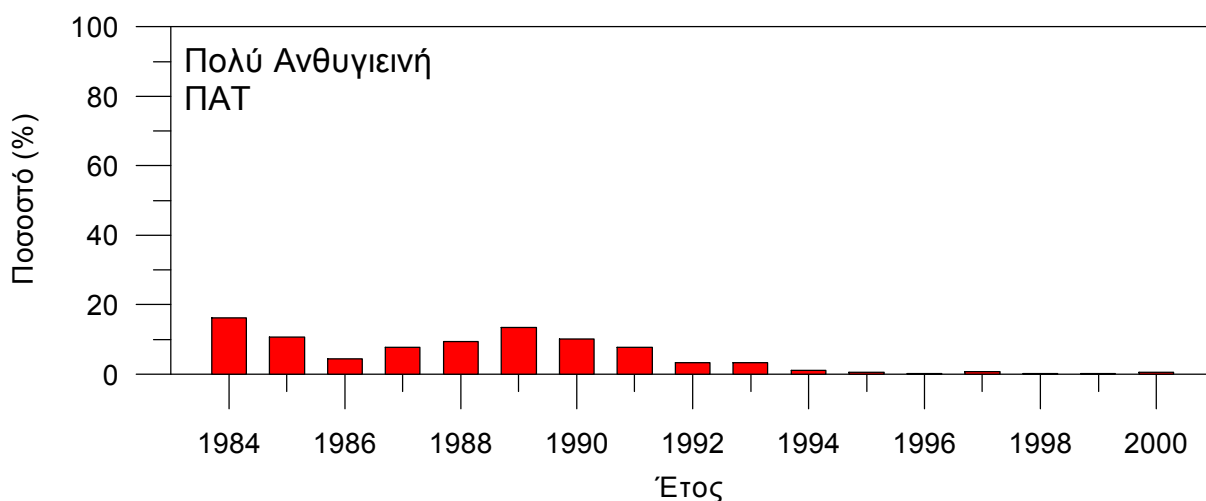
Σχήμα 4.20. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ). Ετήσιος ρυθμός υποβιβασμού της ποιότητας 2.12% ($b = 2.12$).



Σχήμα 4.21. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ). Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.6% ($b = -2.6$).

Από το Σχήμα 4.21 παρατηρείται ότι, στη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου, τα ετήσια ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «ανθυγιεινή» μειώνονται κατά 2.6% ετησίως, άρα διαπιστώνεται βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από το γεγονός της προοδευτικής μείωσης μέχρι μηδενισμού των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «πολύ ανθυγιεινή» (Σχήμα 4.22).

Άρα, στην περιοχή του σταθμού «Πατησίων» διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, παρατηρείται ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.

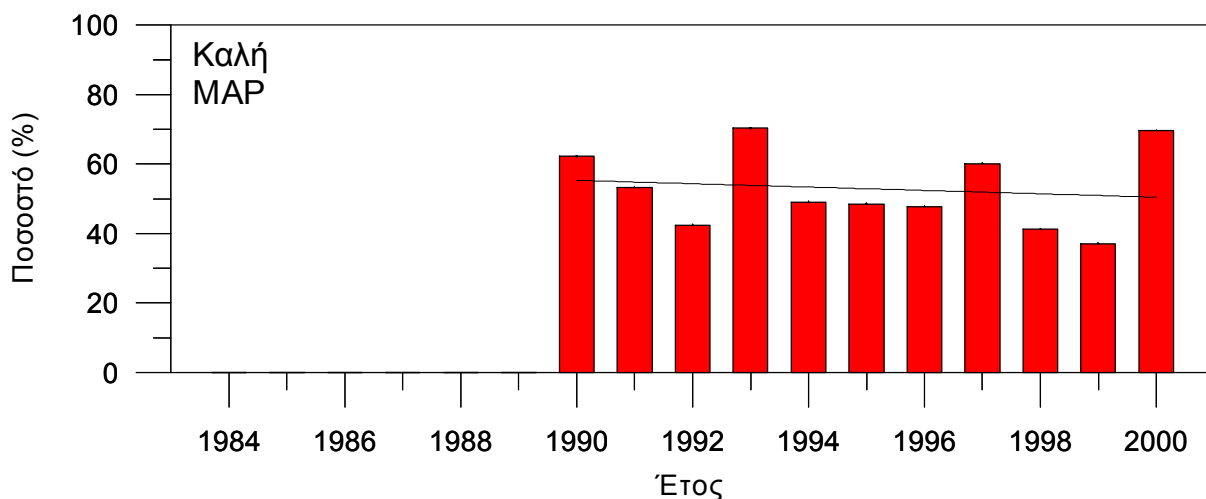


Σχήμα 4.22. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «πολύ ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (σταθμός ΠΑΤ).

4.2.2. Ποιότητα ατμόσφαιρας σε σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (ΕΠΑ)

4.2.2.1. Σταθμοί «υποβάθρου»

α. Αστικός σταθμός «Μαρούσι» (ΜΑΡ)

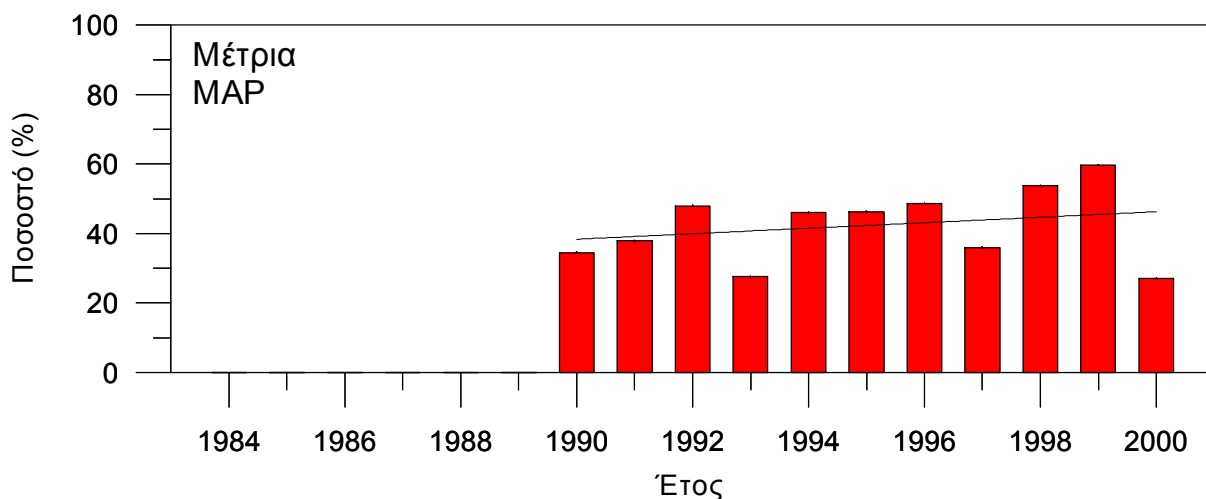


Σχήμα 4.23. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού MAP. Ετήσιος ρυθμός μεταβολής (υποβιβασμού) της ποιότητας 0.48% ($b = -0.48$).

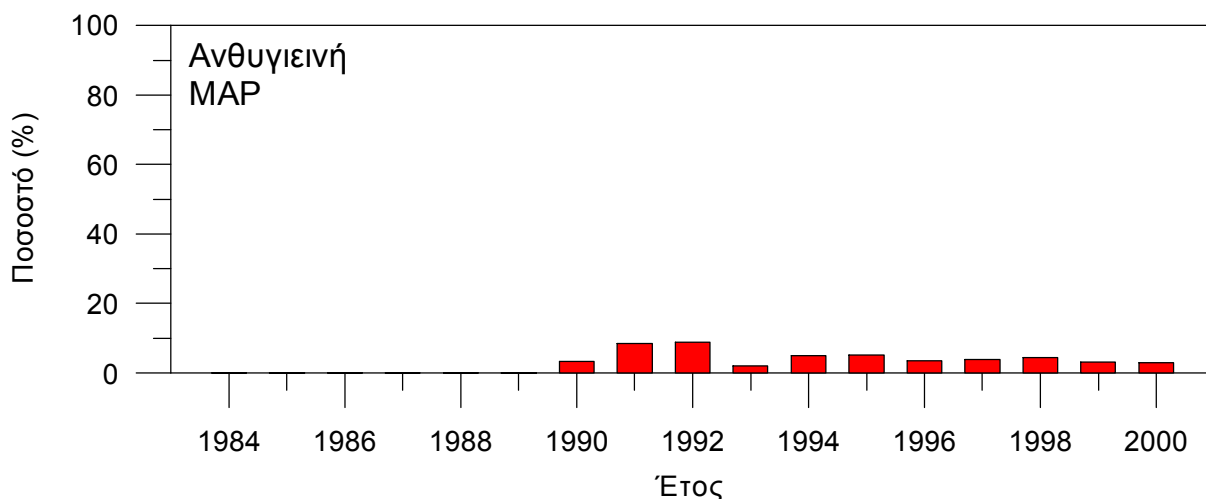
Από το Σχήμα 4.23 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1990-2000, ο ρυθμός μεταβολής των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζεται πτωτικός με ετήσια μείωση 0.48%, ενώ στην ίδια χρονική περίοδο, τα ετήσια ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «μέτρια» (Σχήμα 4.24), εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό αύξησης 0.79%.

Τα δύο αυτά αποτελέσματα ουσιαστικά σημαίνουν μικρή σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή του σταθμού «Μαρούσι».

Το παραπάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνεται και ενισχύεται και από τη διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «ανθυγιεινή» (Σχήμα 4.25) η οποία εμφανίζει πτωτική συμπεριφορά με πολύ μικρά ποσοστά εμφάνισης. Άρα, ουσιαστικά παρατηρείται μικρή σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή του σταθμού «Μαρούσι» στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου.



Σχήμα 4.24. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού MAP. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 0.79% ($b = 0.79$).

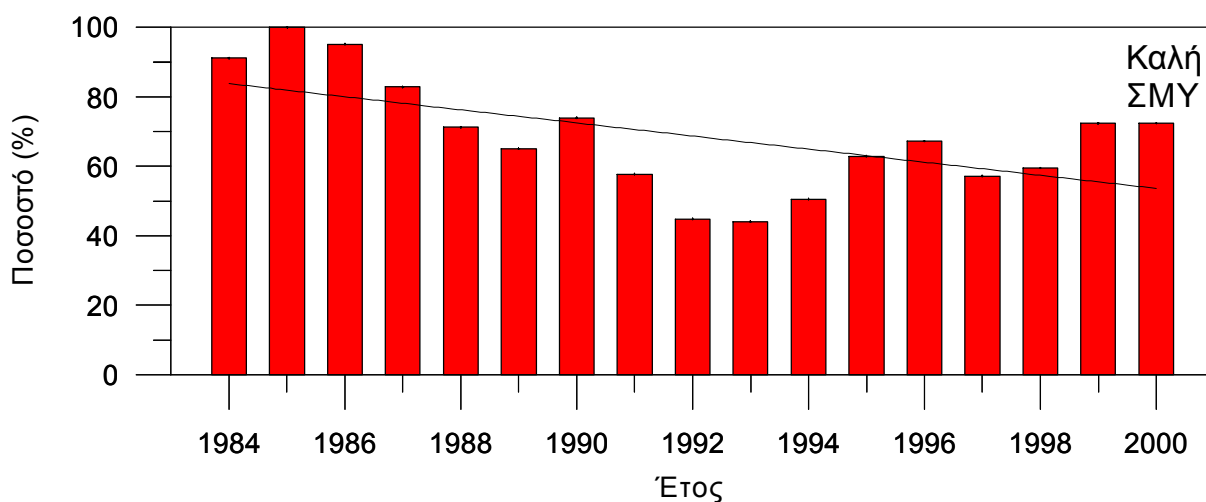


Σχήμα 4.25. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού MAP.

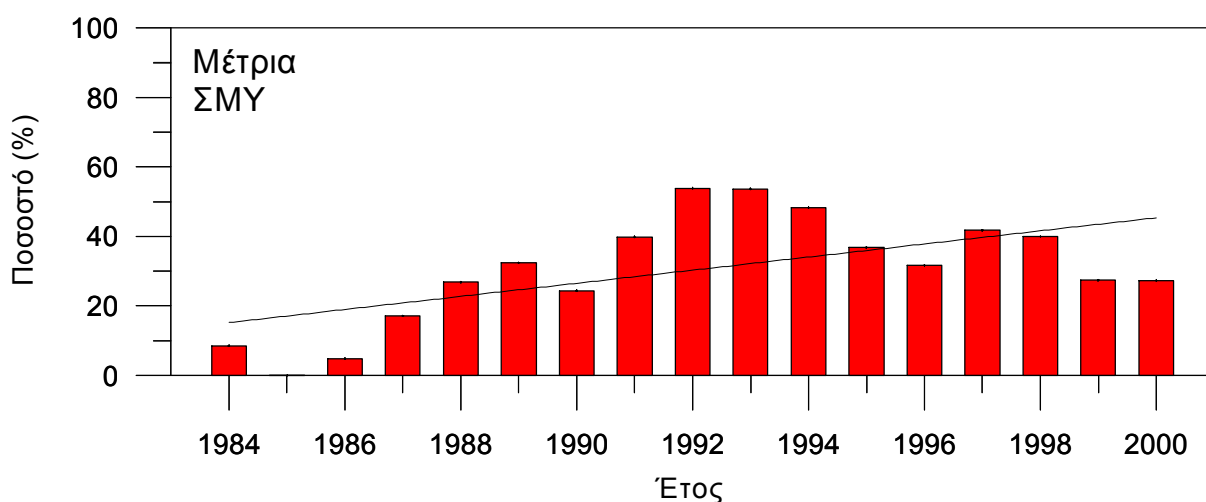
β. Αστικός σταθμός «Ν. Σμύρνη» (ΣΜΥ)

Από το Σχήμα 4.26 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, οι ετήσιες τιμές των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή»

εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό μείωσης ίσο με 1.86%, άρα υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, όσον αφορά την συγκεκριμένη κατηγορία ποιότητας.

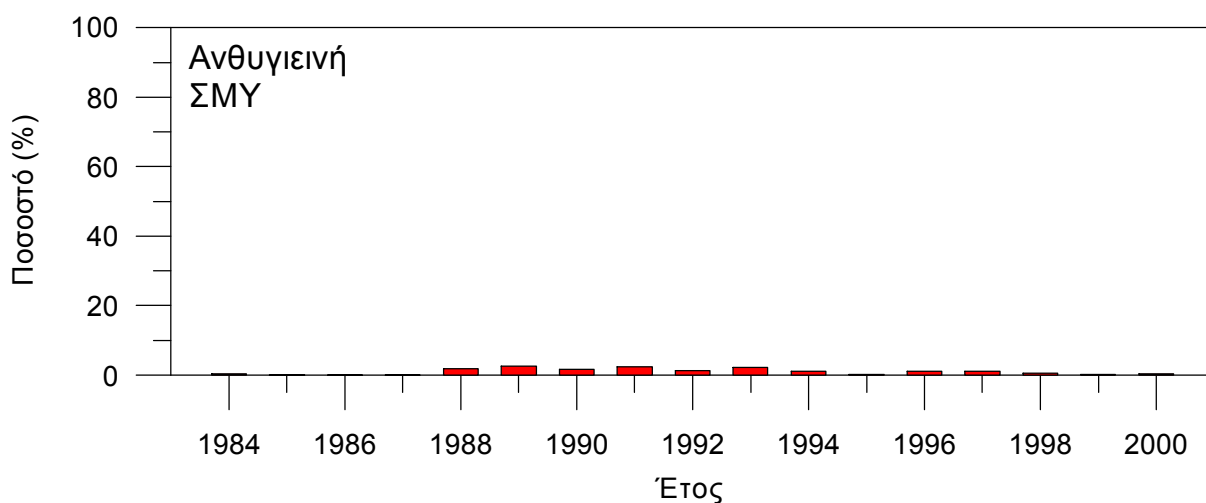


Σχήμα 4.26. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΣΜΥ. Ετήσιος ρυθμός υποβιβασμού της ποιότητας 1.86% ($b = -1.86$).



Σχήμα 4.27. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΣΜΥ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 1.89% ($b = 1.89$).

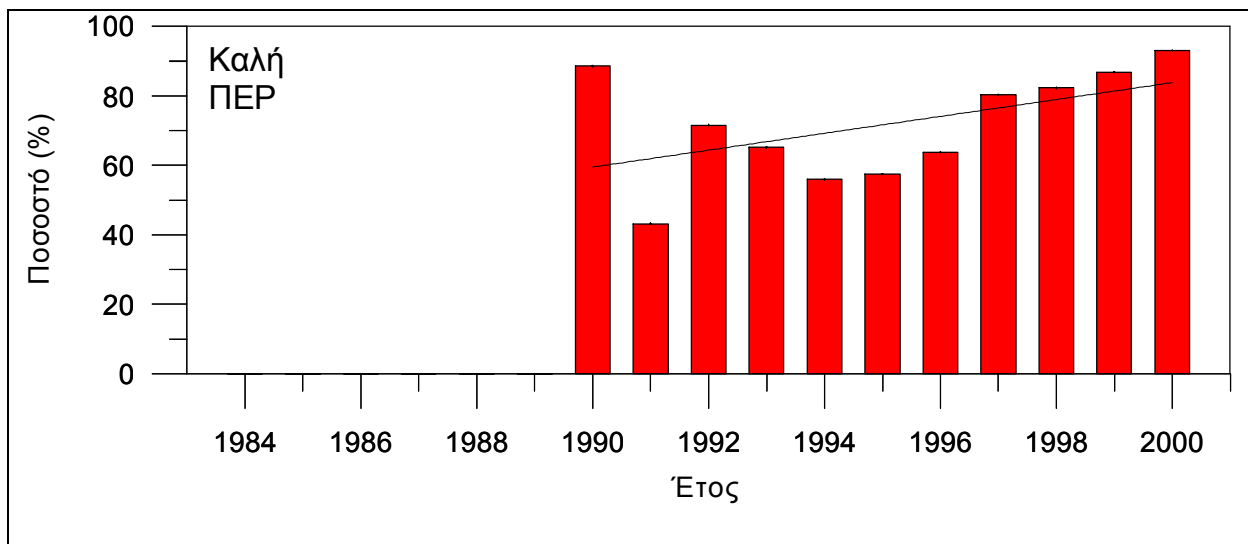
Αντίθετα, στην ίδια χρονική περίοδο, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «μέτρια» (Σχήμα 4.27), εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό αύξησης ίσο με 1.89%. Το γεγονός αυτό ουσιαστικά σημαίνει ετήσιο ρυθμό βελτίωσης κατά 1.89%. Το τελευταίο σε συνδυασμό και με τη διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «ανθυγιεινή» (Σχήμα 4.28), που πρακτικά μηδενίζονται, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι: στην περιοχή του σταθμού «Ν. Σμύρνη» παρατηρείται σχετική υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, στη διάρκεια της 17-ετούς εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.



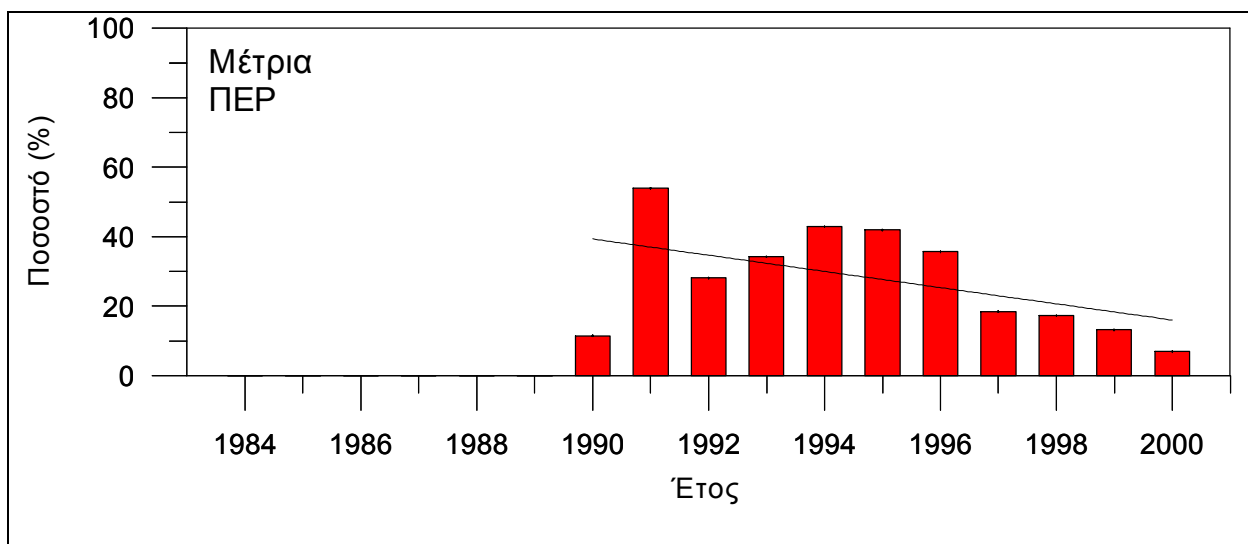
Σχήμα 4.28. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΣΜΥ.

γ. Αστικός σταθμός «Περιστέρι» (ΠΕΡ)

Από το Σχήμα 4.29 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1990-2000, ο ετήσιος ρυθμός βελτίωσης των τιμών των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» είναι 2.43%.



Σχήμα 4.29. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΠΕΡ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.43% ($b = 2.43$).

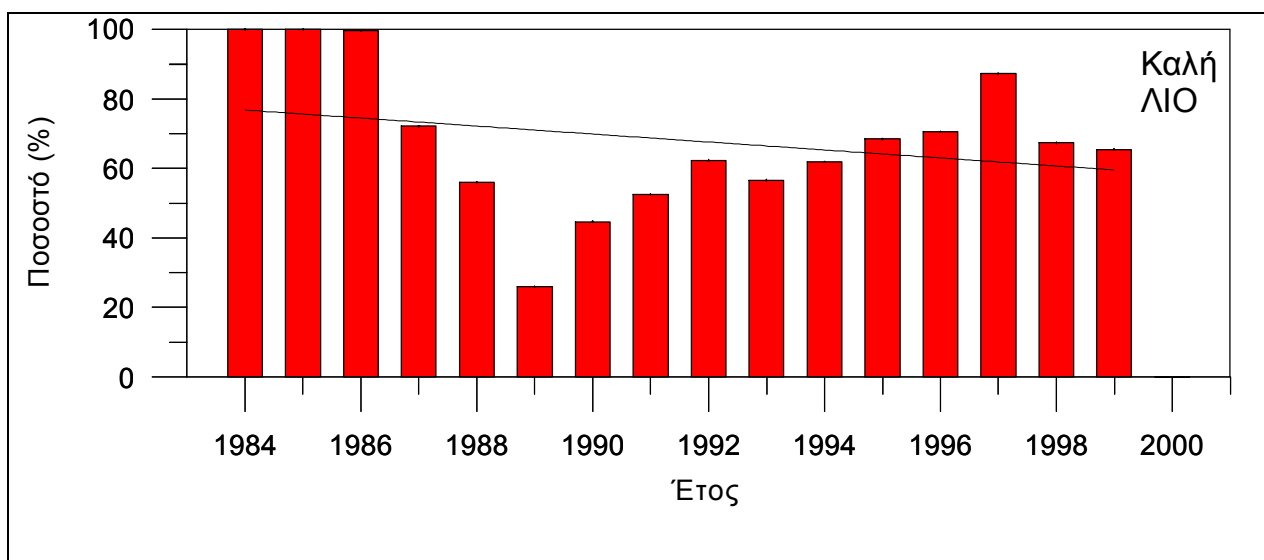


Σχήμα 4.30. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1990-2000, στην περιοχή του αστικού σταθμού ΠΕΡ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 2.33% ($b = -2.33$).

Στην ίδια χρονική περίοδο, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «μέτρια» (Σχήμα 4.30), εμφανίζουν ετήσιο ρυθμό μείωσης κατά 3.86%.

Τα αποτελέσματα οδηγούν στην εξής διαπίστωση: στην περιοχή του αστικού σταθμού «Περιστέρι» παρατηρείται ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, στη διάρκεια της 11-ετούς εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.

δ. Περιαστικός σταθμός «Λιόσια» (ΛΙΟ)

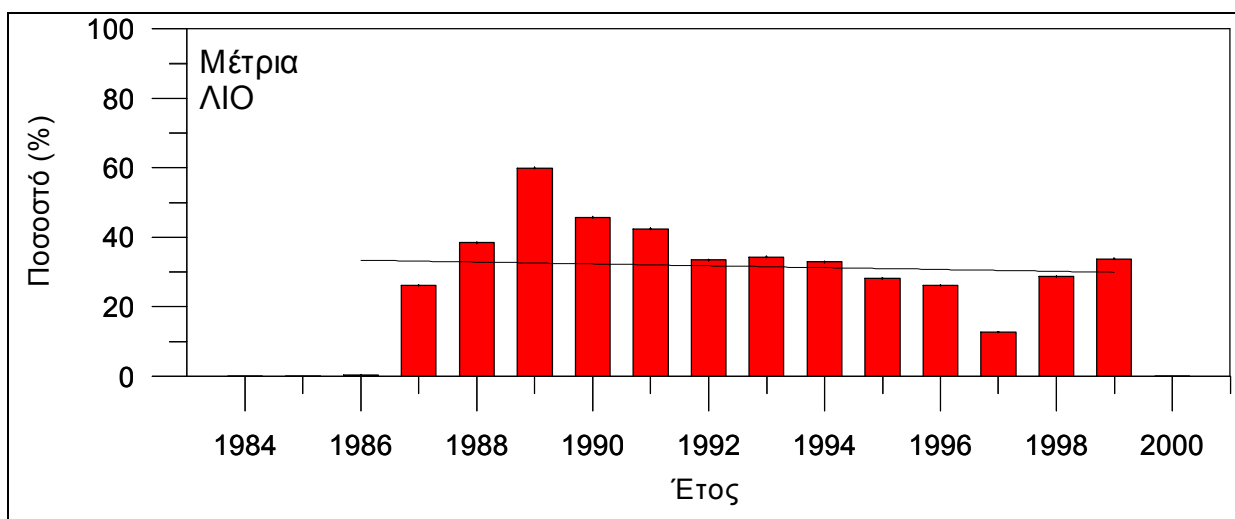


Σχήμα 4.31. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-1999, στην περιοχή του περιαστικού σταθμού ΛΙΟ. Ετήσιος ρυθμός μεταβολής (υποβιβασμού) της ποιότητας 1.15% ($b = -1.15$).

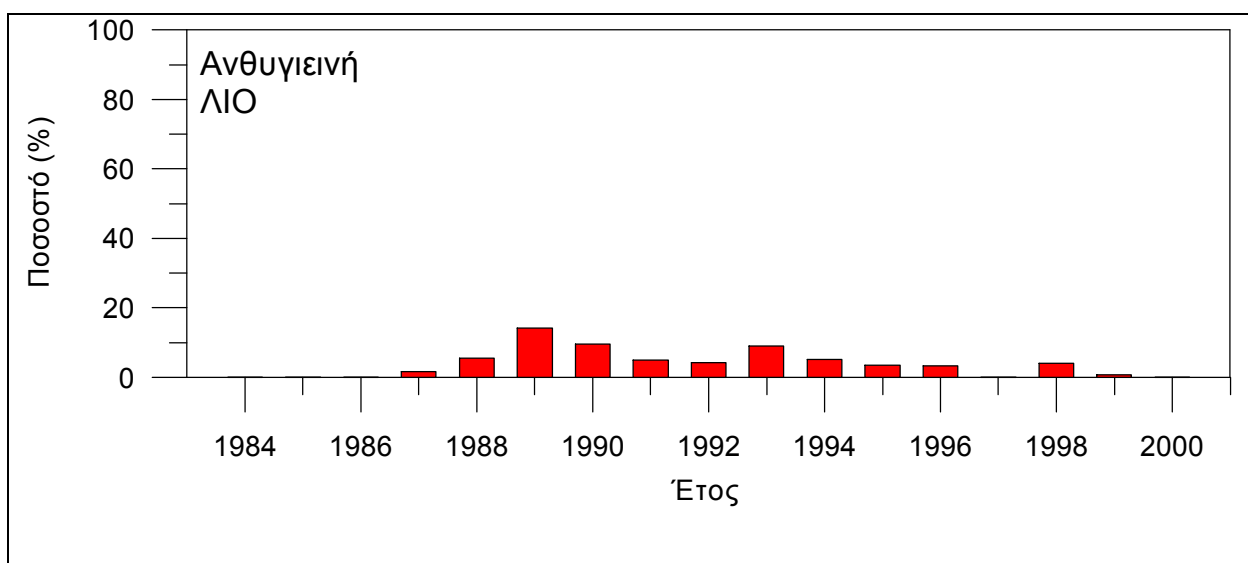
Από το Σχήμα 4.31 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-1999, στον περιαστικό σταθμό «Λιόσια» οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν πτωτική τάση και ο ετήσιος ρυθμός μείωσης είναι 1.15%.

Στην ίδια χρονική περίοδο, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «μέτρια» (Σχήμα 4.32), εμφανίζουν επίσης πτωτική τάση αλλά με μικρότερο ετήσιο ρυθμό μείωσης που είναι 0.27%. Η διαπίστωση αυτή σε συνδυασμό με το γεγονός ότι σε συνδυασμό και με τη διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών των

ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «ανθυγιεινή» (Σχήμα 4.33), που σχεδόν μηδενίζονται, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι: στην περιοχή του σταθμού «Λιόσια» παρατηρείται σχετική βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, στη διάρκεια της 17-ετούς εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.



Σχήμα 4.32. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του περιαστικού σταθμού ΛΙΟ. Ετήσιος ρυθμός μεταβολής (βελτίωσης) της ποιότητας 0.27% ($b = -0.27$).



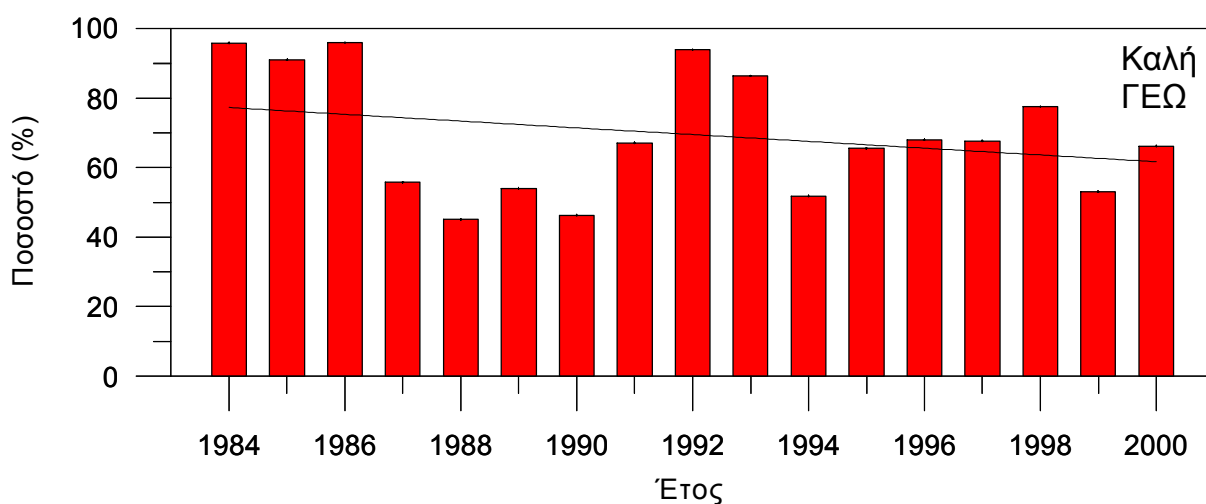
Σχήμα 4.33. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του περιαστικού σταθμού ΛΙΟ.

4.2.2.2. Σταθμοί «περιαστικοί»

α. Σταθμός «Γεωπονική» (ΓΕΩ) σε κεντρικό σημείο της βιοτεχνικής – ελαφρά βιομηχανικής θέσης της περιοχής του Ελαιώνα

Από το Σχήμα 4.34 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν ελαφρά πτωτική τάση, με ετήσιο ρυθμό μείωσης 0.97%.

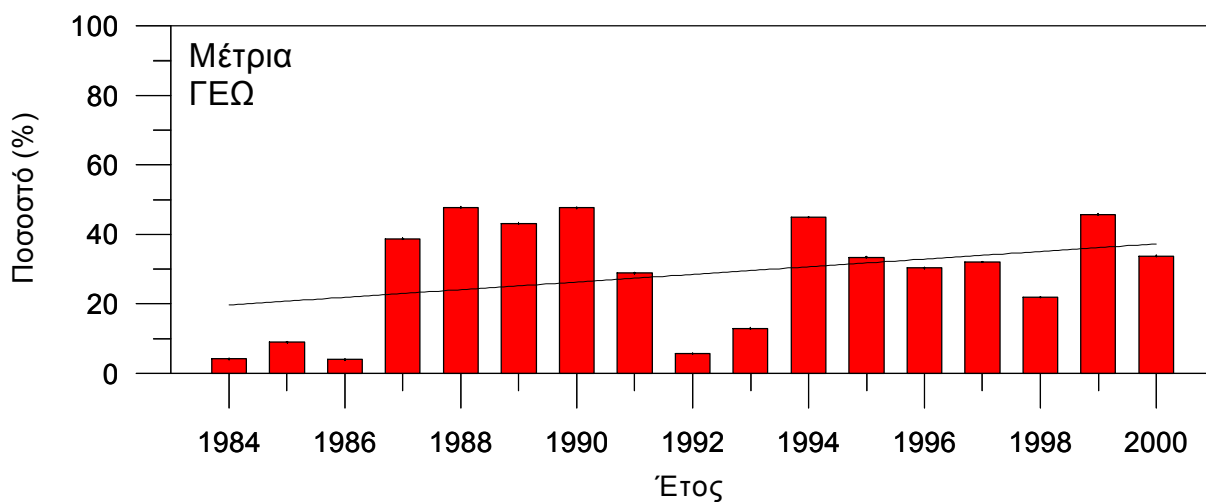
Στην ίδια χρονική περίοδο, οι ετήσιες τιμές των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «μέτρια» (Σχήμα 4.35), εμφανίζουν ελαφρά ανοδική τάση, με ετήσιο ρυθμό αύξησης 1.1%.



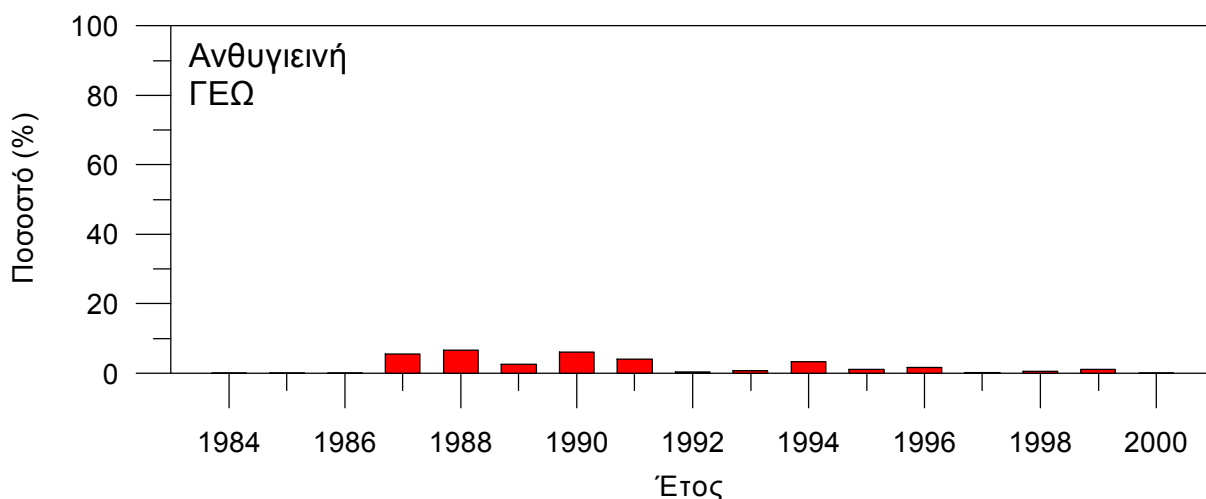
Σχήμα 4.34. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή», για την περίοδο 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού ΓΕΩ. Ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ποιότητας 0.97% ($b = -0.97$).

Από τη σύγκριση των αριθμητικών αποτελεσμάτων των ετήσιων ρυθμών μεταβολής των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών ποιότητας «καλή» και «μέτρια», διαπιστώνεται μικρός σχετικά υποβιβασμός της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στο συγκεκριμένο σταθμό. Το συμπέρασμα αυτό ενδεχομένως να καθίσταται λιγότερο

ισχυρό σε συνδυασμό και με τη διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «ανθυγιεινή» (Σχήμα 4.36), που πρακτικά μηδενίζονται στο τέλος της 17-ετούς εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.



Σχήμα 4.35. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «μέτρια», για την περίοδο 1984-2000, του σταθμού ΓΕΩ. Ετήσιος ρυθμός υποβιβασμού της ποιότητας 1.1% ($b= 1.1$).



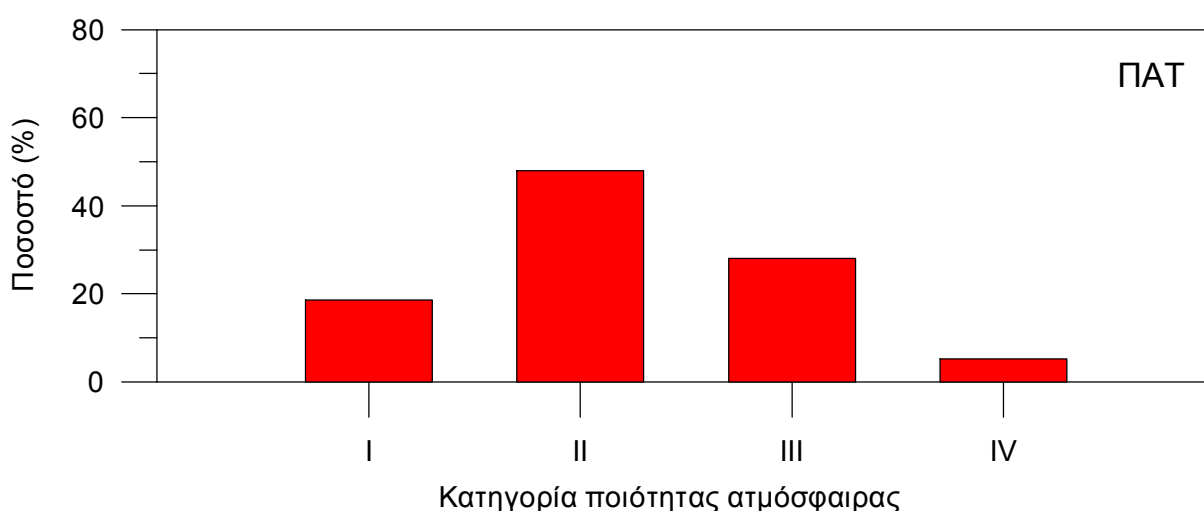
Σχήμα 4.36. Διαχρονική εξέλιξη και παρατηρούμενη τάση των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή», για την περίοδο 1984-2000, του σταθμού της ΓΕΩ.

4.2.3. Μελέτη των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας και της συνεισφοράς των ρύπων στη διαμόρφωσή της στις υπό μελέτη περιοχές

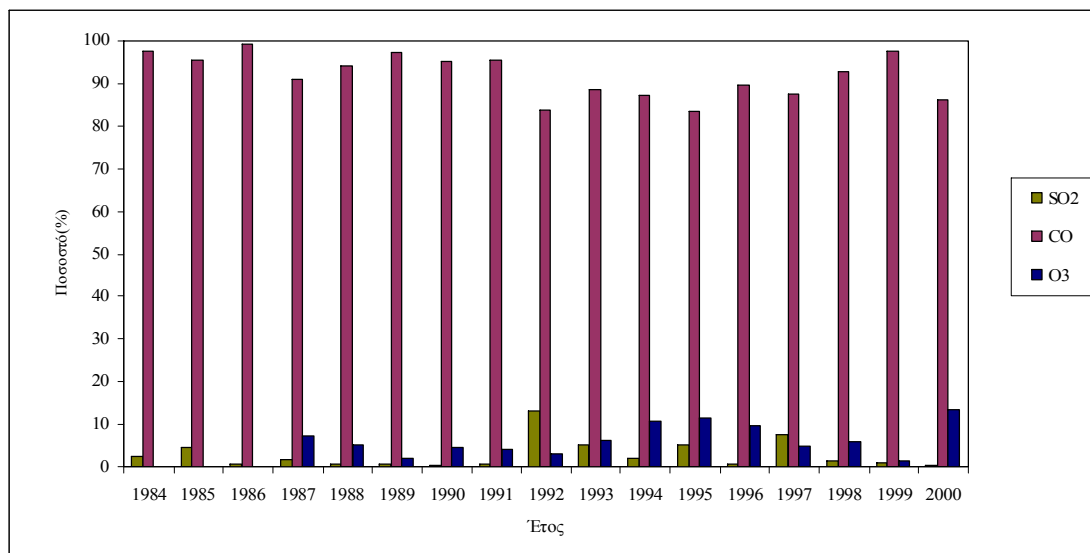
Στην παράγραφο αυτή επιχειρείται η παρουσίαση αφενός μεν των ποσοστών εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας, αφετέρου δε η συνεισφορά των συγκεντρώσεων των ρύπων που εμπλέκονται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, για τη χρονική περίοδο 1984-2000. Το δεύτερο επιτυγχάνεται με τη μελέτη του ποσοστού «ευθύνης» των ρύπων, SO₂-CO-O₃, που συμμετείχαν στον υπολογισμό των ημερήσιων τιμών του υπολογιζόμενου δείκτη, στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

α. Σταθμός «Πατησίων»

Από το Σχήμα 4.37 διαπιστώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, στην περιοχή του σταθμού «Πατησίων» (αστικός με έντονη κυκλοφορία), η ποιότητα της ατμόσφαιρας κυμάνθηκε από «καλή – I» μέχρι και «πολύ ανθυγιεινή – IV».



Σχήμα 4.37. Εξέλιξη του ποσοστού εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Πατησίων».



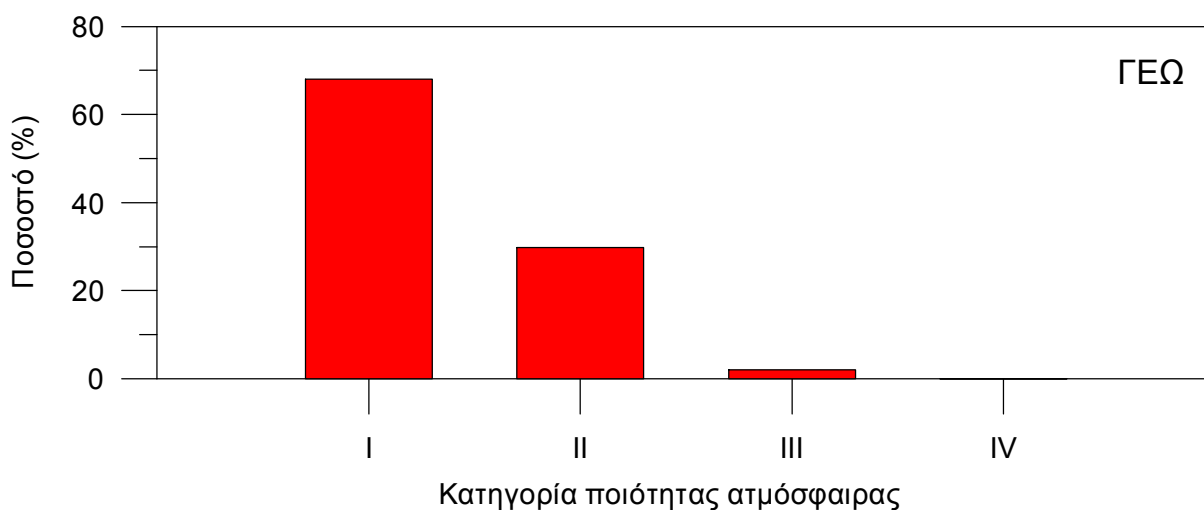
Σχήμα 4.38. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Πατησίων», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.

Στην περίπτωση αυτού του σταθμού, αξιοπρόσεκτη είναι η υπεροχή των κατηγοριών (II) (48%) και (III) (28%). Τέλος, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας «πολύ ανθυγιεινή – IV» στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου ήταν 5.3%. Τα υψηλά ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών (II), (III) και (IV) μπορούν να αποδοθούν τόσο στον χαρακτηρισμό του συγκεκριμένου σταθμού, όσο και στη «συνεισφορά» των ρύπων που διαμορφώνουν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI (Σχήμα 4.38).

Από το Σχήμα 4.38 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της 17-ετούς χρονικής περιόδου 1984-2000, το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της ΕΠΑ, διότι αυτός καθορίζει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI στο σταθμό «Πατησίων» με μέσο ποσοστό της τάξης του 92%, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην έντονη κυκλοφορία των αυτοκινήτων που χαρακτηρίζει την περιοχή του συγκεκριμένου σταθμού, δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος σταθμός

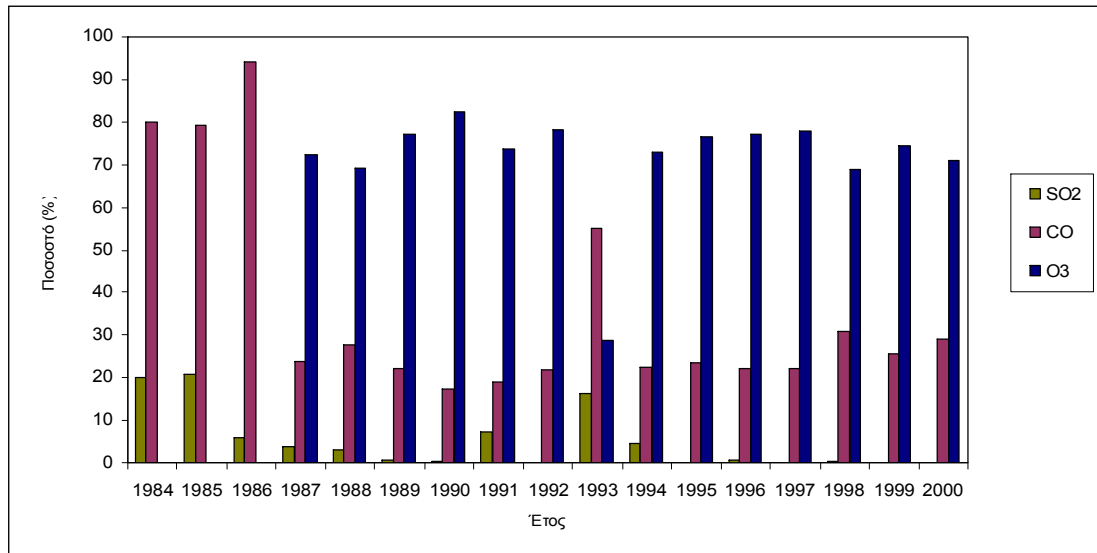
(Πίνακας 4.1) χαρακτηρίζεται σαν αστικός σταθμός με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο (Viras et al. 1996).

β. Σταθμός «Γεωπονική»



Σχήμα 4.39. Εξέλιξη του ποσοστού εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Γεωπονική».

Στην ίδια χρονική περίοδο, στο σταθμό «Γεωπονική» το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (I) ανήλθε στο 68%, ενώ της (II) στο 30%. Η υπεροχή της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» (I) στο συγκεκριμένο σταθμό μπορεί να αποδοθεί τόσο στον χαρακτήρα του σταθμού, όσο και στη διαχρονική συνεισφορά των ρύπων που καθόριζαν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI. Τέλος, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου τα ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών III και IV, ήταν 2.1% και 0.05%, αντιστοίχως.



Σχήμα 4.40. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Γεωπονική», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.

Από το Σχήμα 4.40 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας σε κεντρικό σημείο της περιοχής του Ελαιώνα -στο σταθμό «Γεωπονική»- στη διάρκεια της 3-ετίας 1984-1986 και σε μέσο ποσοστό της τάξης του 84%. Στο υπόλοιπο διάστημα (1987-2000) της υπό μελέτη περιόδου το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση, σε μέσο ποσοστό της τάξης του 71%. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στον χαρακτήρα του συγκεκριμένου σταθμού (Πίνακας 4.2.1).

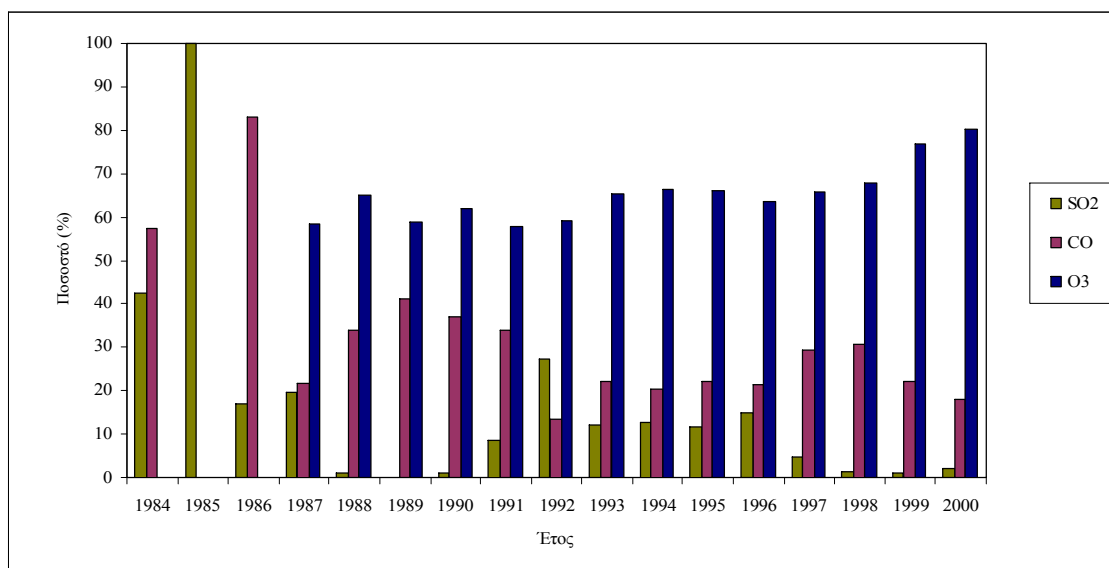
γ. Σταθμός «Ν. Σμύρνη»

Στην ίδια χρονική περίοδο, στο σταθμό «Ν. Σμύρνη» το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (I) ανήλθε στο 68%, της (II) στο 31% και της (III) στο 4.4%. Και στην περίπτωση του σταθμού αυτού, η υπεροχή της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας

«καλή» (I) μπορεί να αποδοθεί τόσο στον χαρακτήρα του σταθμού, όσο και στη διαχρονική συνεισφορά των ρύπων που καθόριζαν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI.



Σχήμα 4.41. Εξέλιξη του ποσοστού εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Ν. Σμύρνη».

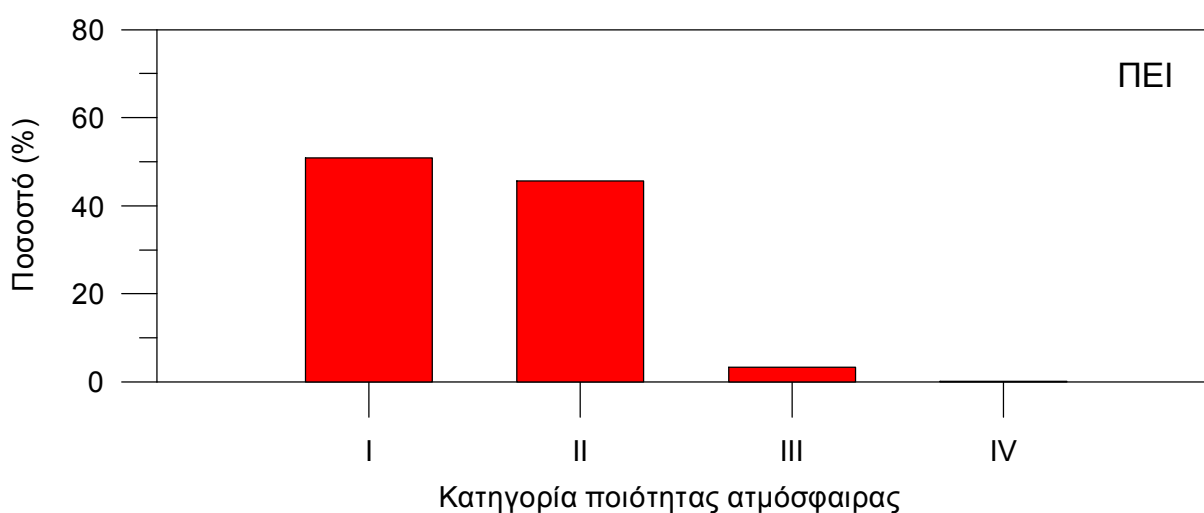


Σχήμα 4.42. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Ν. Σμύρνη», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.

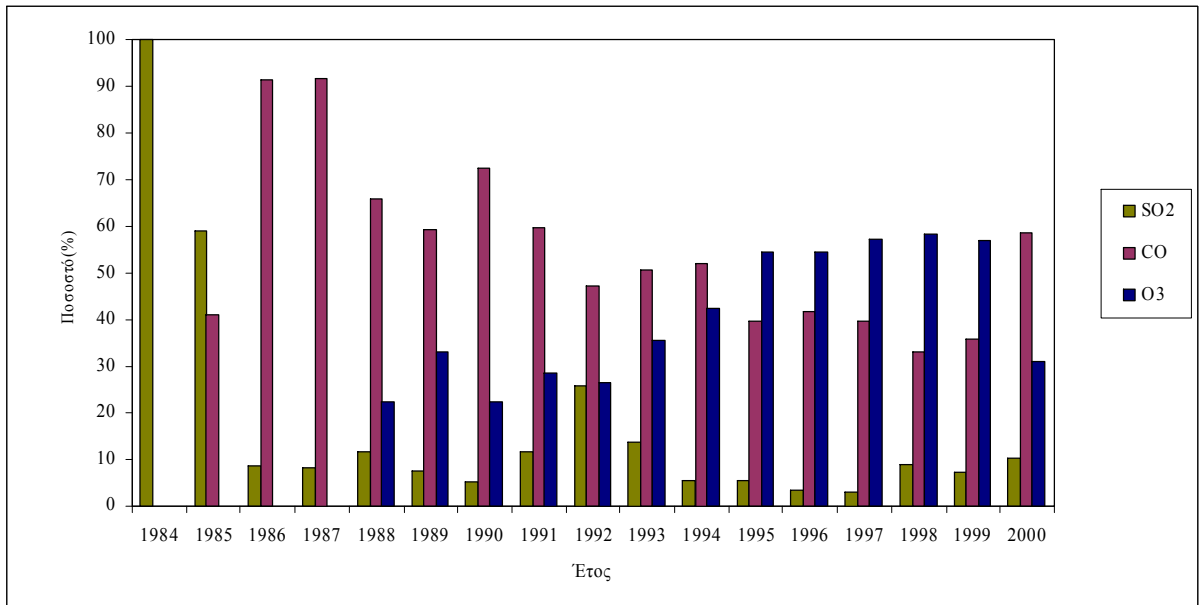
Από το Σχήμα 4.42 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο σταθμό «Ν. Σμύρνη» σε μέσο ποσοστό της τάξης του 32%. Όμως, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1987-2000 το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση, σε μέσο ποσοστό της τάξης του 65%. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στον χαρακτήρα του συγκεκριμένου σταθμού (Πίνακας 4.2.1).

δ. Σταθμός «Πειραιάς»

Στο σύνολο των ημερών λειτουργίας του σταθμού «Πειραιάς», το ποσοστό εμφάνισης των κατηγοριών ποιότητας (I) και (II) ήταν 51% και 46%, αντίστοιχα. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην 17-ετή περίοδο λειτουργίας του σταθμού καταγράφηκαν 7 ημέρες που η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος έφτασε στην κατηγορία (IV) («ανθυγιεινή»).



Σχήμα 4.43. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην περιοχή του σταθμού «Πειραιάς».

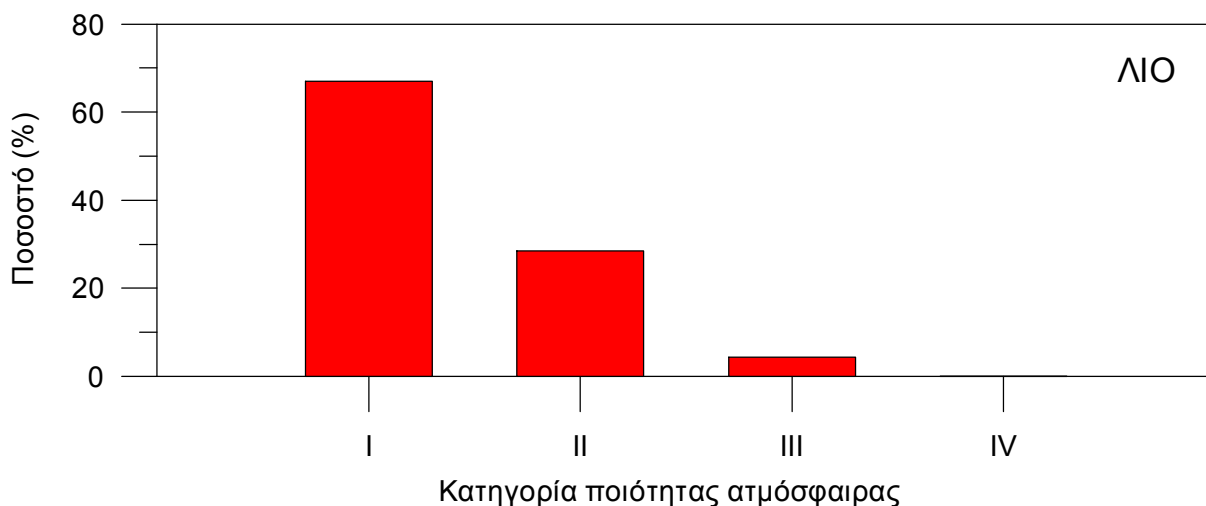


Σχήμα 4. 44. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Πειραιάς», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.

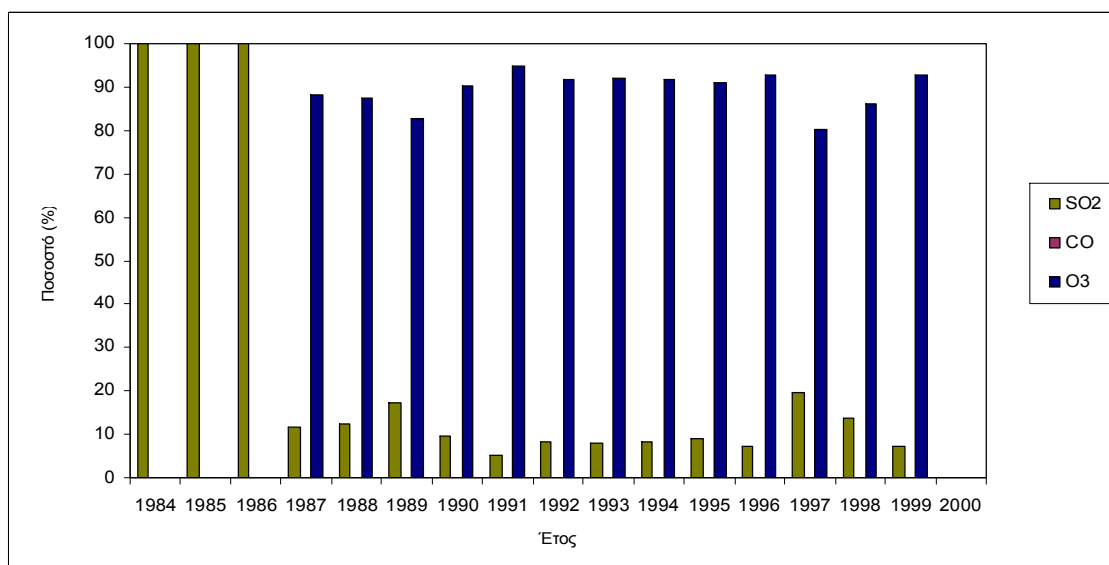
Από το Σχήμα 4.44 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1986-2000, το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο σταθμό «Πειραιάς» σε μέσο ποσοστό της τάξης του 55%. Όμως, στη διάρκεια της ίδιας περίπου χρονικής περιόδου (1987-2000) και το επιφανειακό όζον συνεισέφερε αρκετά στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση, σε μέσο ποσοστό της τάξης του 40%. Τέλος, η συνεισφορά του διοξειδίου του θείου στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση υπήρξε ουσιαστική μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-1985, διότι στη διάρκεια αυτής της περιόδου ήταν ο μόνος καταγραφόμενος ρύπος στο συγκεκριμένο σταθμό (Πίνακας 4.2.2).

ε. Σταθμός «Λιόσια».

Στο σταθμό αυτό (Σχήμα 4.45), κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (I) έφτασε στο 67%, της (II) στο 29% και της (III) στο 4%. Η υπεροχή της κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» (I) μπορεί να αποδοθεί τόσο στον χαρακτήρα του σταθμού (περιαστικός – υποβάθρου), όσο και στη διαχρονική συνεισφορά των ρύπων που καθόριζαν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI.



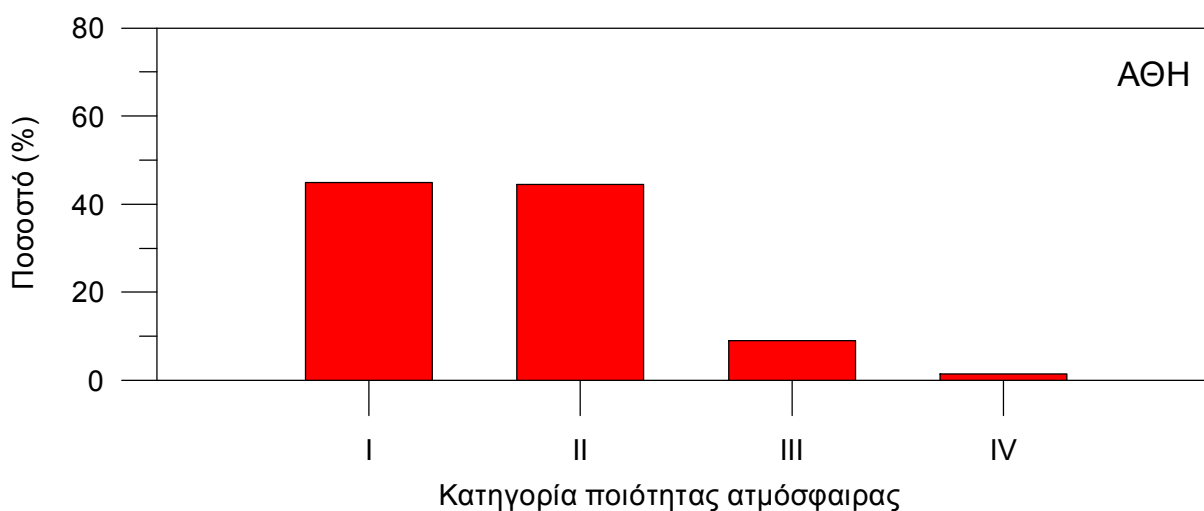
Σχήμα 4.45. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-1999, στην περιοχή του σταθμού «Λιόσια».



Σχήμα 4.46. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Λιόσια», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-1999.

Από το Σχήμα 4.46 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1984-1986, το διοξείδιο του θείου ήταν ο αποκλειστικά υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο σταθμό «Λιόσια» και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ήταν ο μόνος ρύπος που καταγραφόταν στη διάρκεια αυτής της περιόδου (Πίνακας 4.2.2). Όμως, από το έτος 1987 οπότε άρχισε η καταγραφή των συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος (Πίνακας 4.2.4) και στη συνέχεια της περιόδου μελέτης ο συγκεκριμένος ρύπος ουσιαστικά συνεισέφερε στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση, σε μέσο ποσοστό της τάξης του 89%. Τέλος, στο ίδιο χρονικό διάστημα η συνεισφορά του διοξειδίου του θείου στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση περιορίστηκε σε ένα μέσο ποσοστό της τάξης του 11%.

στ. Σταθμός «Αθηνάς»

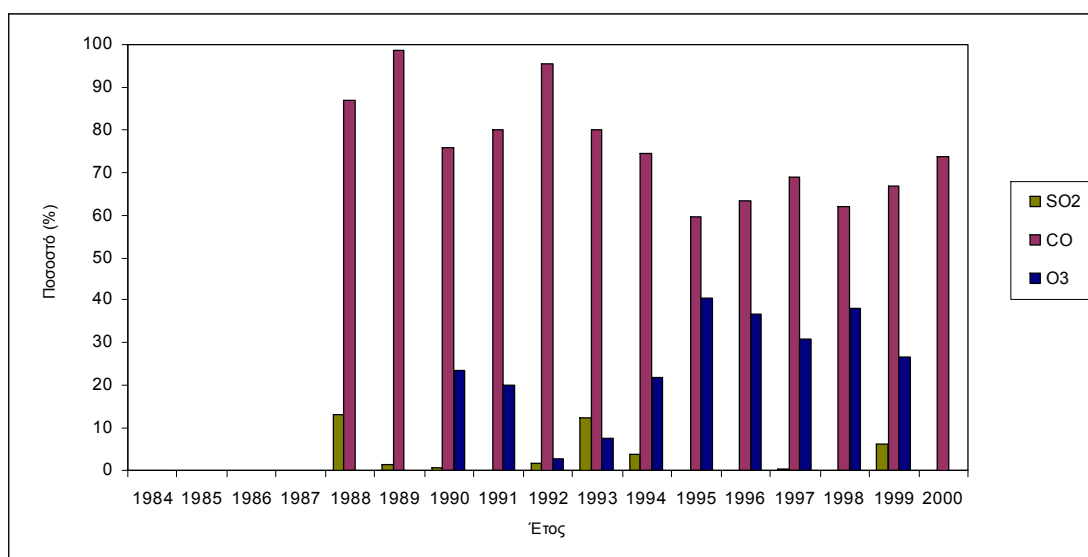


Σχήμα 4.47. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1988-2000, στην περιοχή του σταθμού «Αθηνάς».

Από το Σχήμα 4.47 διαπιστώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, στην περιοχή του σταθμού «Αθηνάς» (αστικός με έντονη κυκλοφορία), η ποιότητα της ατμόσφαιρας κυμάνθηκε από «καλή – I» μέχρι και «πολύ ανθυγιεινή – IV». Στην

περίπτωση αυτού του σταθμού είναι αξιοπρόσεκτη η ισομεγέθης υπεροχή των κατηγοριών (I) και (II) (45%). Επίσης, το ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών (III) και (IV) στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου ήταν αρκετά υψηλά και μπορούν να αποδοθούν τόσο στον χαρακτηρισμό του συγκεκριμένου σταθμού, όσο και στη «συνεισφορά» των ρύπων που διαμορφώνουν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI (Σχήμα 4.48).

Από το Σχήμα 4.48 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της λειτουργίας του συγκεκριμένου σταθμού, το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή, διότι αυτός καθορίζει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI στο σταθμό «Αθηνάς» σε μέσο ποσοστό της τάξης του 74%. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην έντονη κυκλοφορία των αυτοκινήτων που χαρακτηρίζει την περιοχή του συγκεκριμένου σταθμού, δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος σταθμός (Πίνακας 4.2.1) χαρακτηρίζεται σαν αστικός σταθμός με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο (Viras et al. 1996).

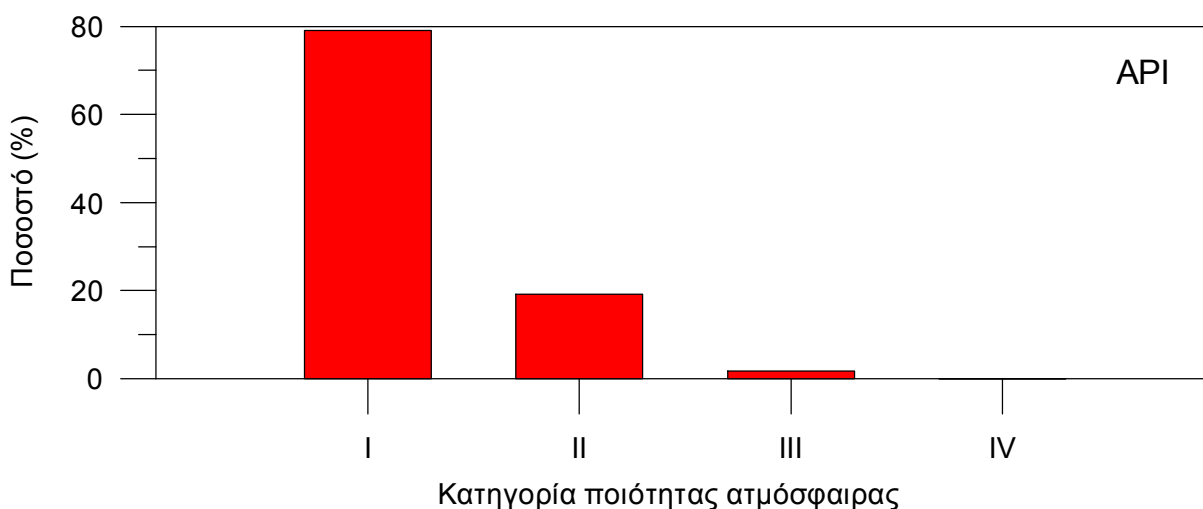


Σχήμα 4.48. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Αθηνάς», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1988-2000.

Όμως, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1990-1999 και το επιφανειακό όζον συνεισέφερε σχετικά στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση, σε μέσο ποσοστό της τάξης του 23%. Τέλος, η συνεισφορά του διοξειδίου του θείου στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση υπήρξε πολύ μικρή.

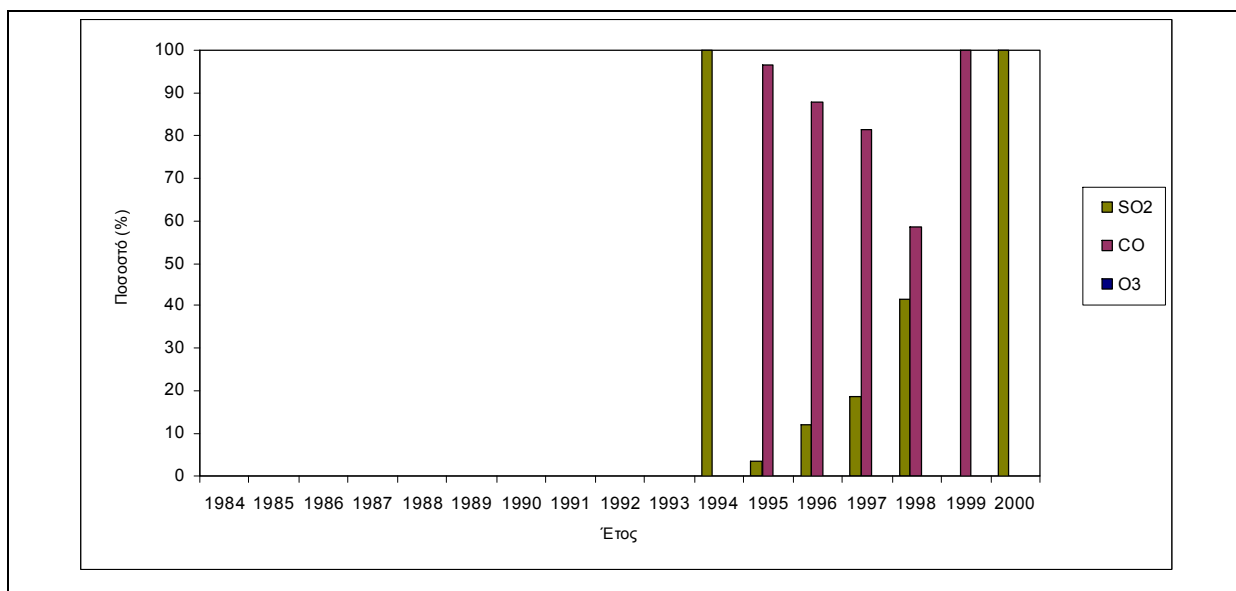
ζ. Σταθμός «Αριστοτέλους»

Από το Σχήμα 4.49 διαπιστώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, στην περιοχή του σταθμού «Αριστοτέλους», που χαρακτηρίζεται σαν αστικός με έντονη κυκλοφορία, η ποιότητα της ατμόσφαιρας κυμάνθηκε από «καλή – I» μέχρι και «ανθυγιεινή – III». Στην περίπτωση αυτού του σταθμού είναι αξιοπρόσεκτη η υπεροχή της κατηγορίας (I) (80%).



Σχήμα 4.49. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1994-2000, στην περιοχή του σταθμού «Αριστοτέλους».

Επίσης, το ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών (II) και (III) στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου ήταν αρκετά χαμηλά και μπορούν να αποδοθούν τόσο στον χαρακτηρισμό του συγκεκριμένου σταθμού, όσο και στη «συνεισφορά» των ρύπων που διαμορφώνουν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI (Σχήμα 4.50).



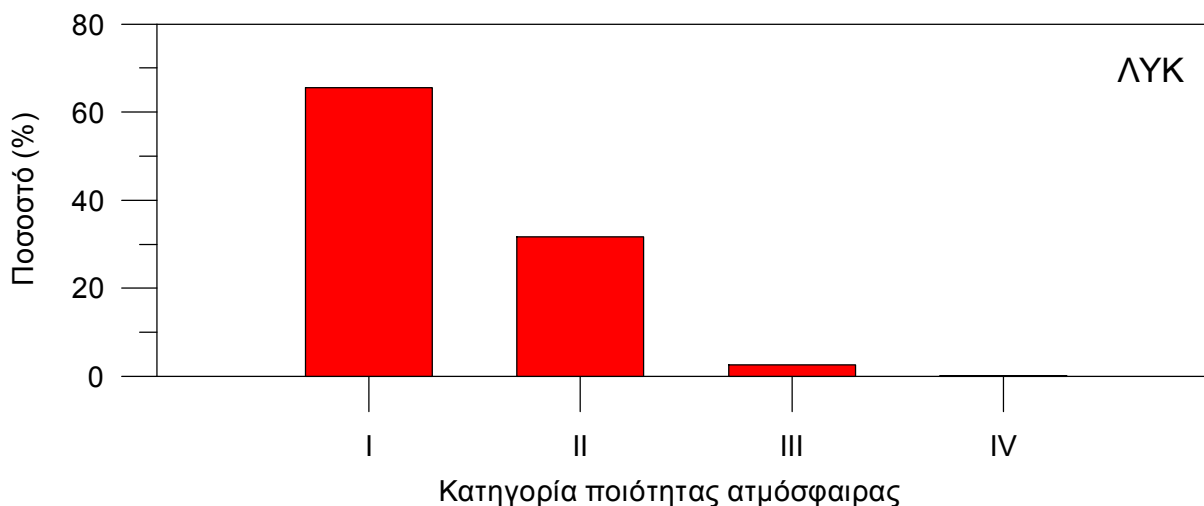
Σχήμα 4.50. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Αριστοτέλους», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1994-2000.

Από το Σχήμα 4.50 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της λειτουργίας του συγκεκριμένου σταθμού, το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή μόνο στη διάρκεια καταγραφής του συγκεκριμένου ρύπου (1995-1999), διότι αυτός καθορίζει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI στο σταθμό συγκεκριμένο σταθμό. Τα έτη 1994 και 2000, κατά τα οποία ο μόνος καταγραφόμενος ρύπος ήταν το διοξείδιο του θείου (Πίνακας 4.2.2), με αποτέλεσμα να είναι ο ρύπος που διαμορφώνει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη στο συγκεκριμένο σταθμό στη διάρκεια των δύο αυτών ετών.

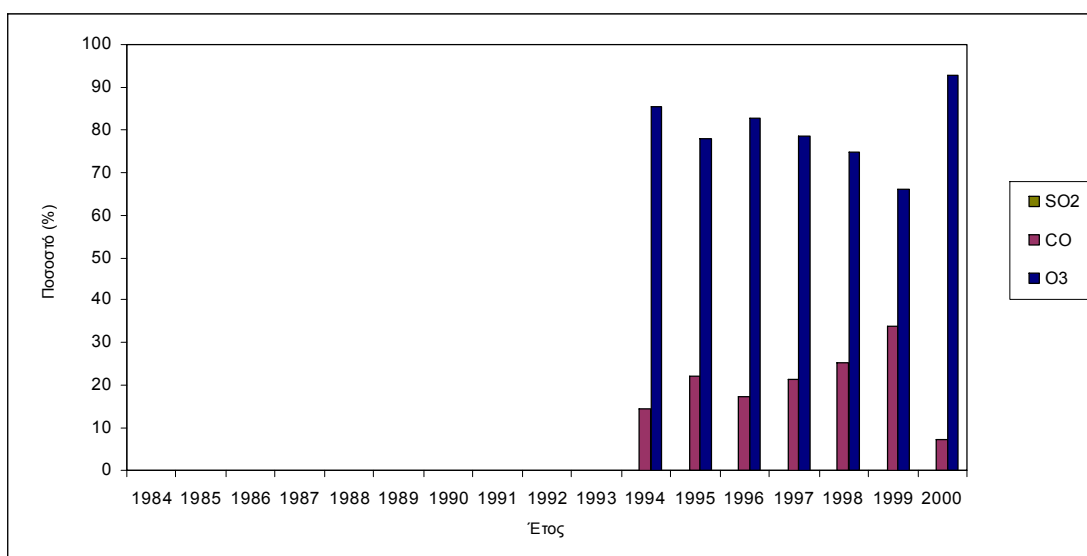
η. Σταθμός «Λυκόβρυση»

Από το Σχήμα 4.51 διαπιστώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, στην περιοχή του σταθμού «Λυκόβρυση» (Περιαστικός), η ποιότητα της ατμόσφαιρας κυμάνθηκε από «καλή» (I) μέχρι και «πολύ ανθυγιεινή» (IV). Και στην περίπτωση

αυτού του σταθμού είναι αξιοπρόσεκτη η υπεροχή της κατηγορίας (I). Επίσης, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (II) στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου ήταν σχετικά υψηλό και μπορούν να αποδοθούν τόσο στον χαρακτηρισμό του συγκεκριμένου σταθμού, όσο και στη «συνεισφορά» των ρύπων που διαμορφώνουν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI (Σχήμα 4.52).



Σχήμα 4.51. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1994-2000, στην περιοχή του σταθμού «Λυκόβρυση».

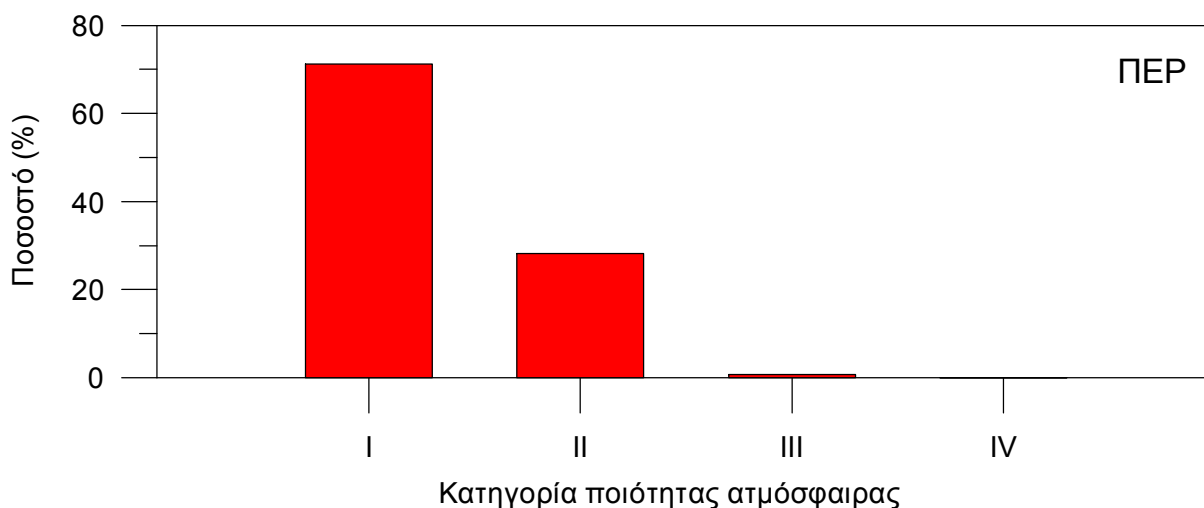


Σχήμα 4.52. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Λυκόβρυση», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1994-2000.

Από το Σχήμα 4.52 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της λειτουργίας (1994-2000) του συγκεκριμένου σταθμού, το όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή, διότι αυτός καθορίζει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI στο σταθμό «Λυκόβρυση» σε μέσο ποσοστό της τάξης του 85%.

θ. Σταθμός «Περιστέρι»

Στο σταθμό αυτό (Σχήμα 4.53), κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (I) έφτασε στο 65%, της (II) στο 30%, ενώ της κατηγορίας (III) έφτασε μόλις στο 2%. Η υπεροχή της κατηγορίας (I) μπορεί να αποδοθεί τόσο στον χαρακτήρα του συγκεκριμένου σταθμού (αστικός-υποβάθρου), όσο και στη διαχρονική συνεισφορά των ρύπων που καθόριζαν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI.

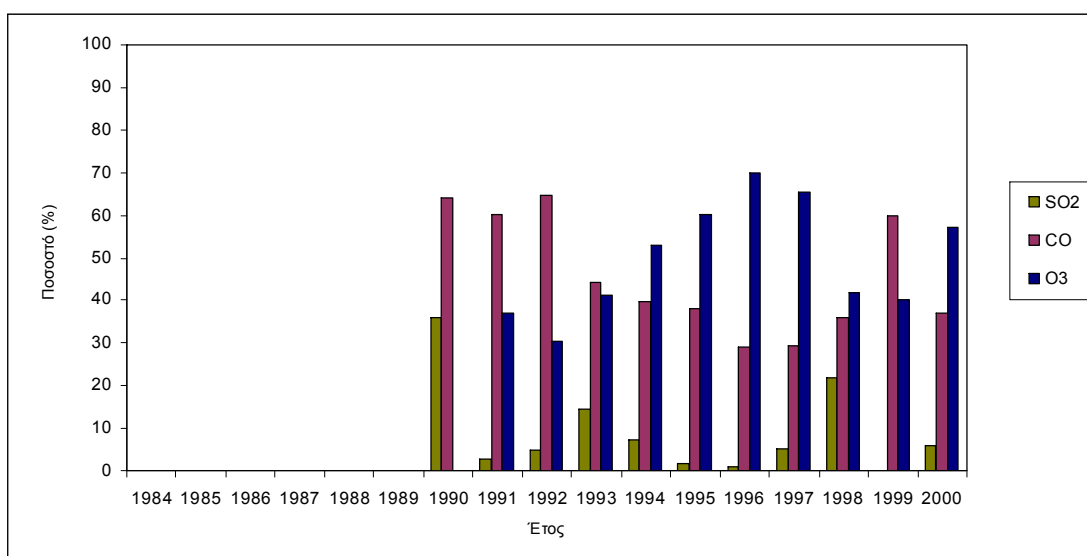


Σχήμα 4.53. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1990-2000, στην περιοχή του σταθμού «Περιστέρι».

Από το Σχήμα 4.54 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της λειτουργίας του συγκεκριμένου σταθμού, το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή για το

χρονικό διάστημα από το 1990-1992 καθώς και το έτος 1999. Όμως, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1994-1998 και το έτος 2000 το επιφανειακό όζον συνεισέφερε σχετικά στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση. Η συνεισφορά του διοξειδίου του θείου στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση υπήρξε πολύ μικρή.

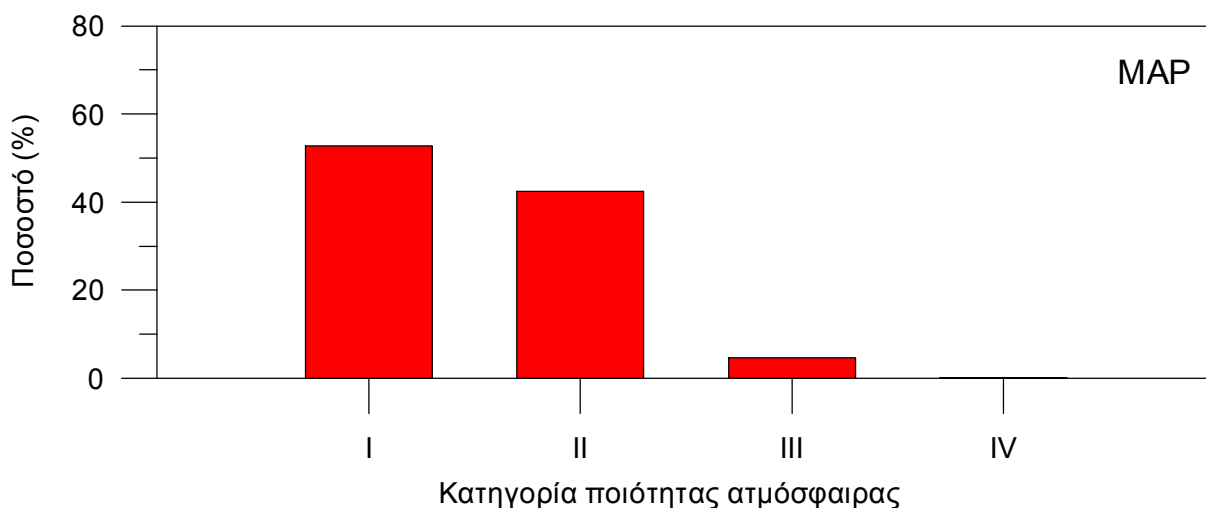
Γενικά, από το Σχήμα 4.54 διαπιστώνεται μια αυξητική τάση της συμμετοχής του επιφανειακού όζοντος στη διαμόρφωση του δείκτη PSI έναντι του CO που παρουσιάζει μια ελαφριά πτωτική πορεία συμμετοχής στη διαμόρφωση των τιμών του δείκτη.



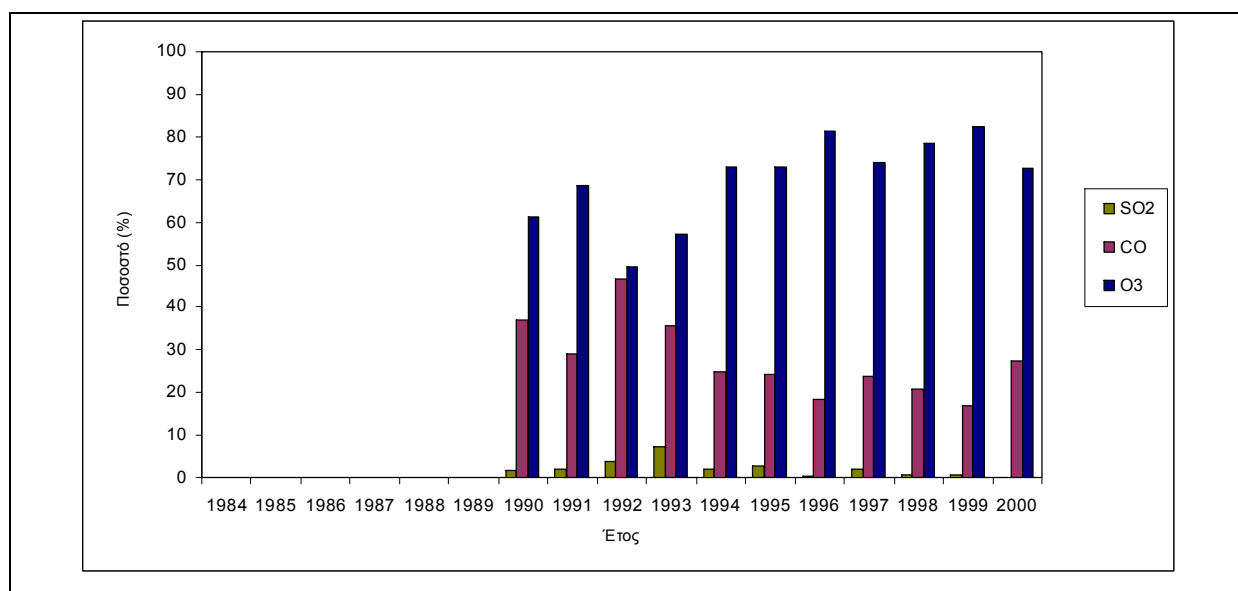
Σχήμα 4.54. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Περιστέρι», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.

ι. Σταθμός «Μαρούσι»

Στο σταθμό αυτό (Σχήμα 4.55), κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας (I) έφτασε στο 65%, της (II) στο 40%, της (III) στο 3.5% και της (IV) σε πολύ χαμηλό ποσοστό. Η υπεροχή της κατηγορίας (I) μπορεί να αποδοθεί τόσο στον χαρακτήρα του σταθμού αυτού (αστικός-κυκλοφορίας), όσο και στη διαχρονική συνεισφορά των ρύπων που καθόριζαν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI.



Σχήμα 4.55. Εξέλιξη της κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1990-2000, στην περιοχή του σταθμού «Μαρούσι».



Σχήμα 4.56. Διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του PSI στο σταθμό «Μαρούσι», κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000.

Από το Σχήμα 4.56 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της λειτουργίας του συγκεκριμένου σταθμού, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή, διότι αυτός καθορίζει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI στο σταθμό «Μαρούσι» σε μέσο ποσοστό της τάξης του 75%. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην χαμηλή κυκλοφορία των

αυτοκινήτων που χαρακτηρίζει την περιοχή του συγκεκριμένου σταθμού, δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος σταθμός (Πίνακας 4.2.1) χαρακτηρίζεται σαν σταθμός «αστικός-κυκλοφορίας». Σχετικά σημαντική υπήρξε και η συνεισφορά του μονοξειδίου του άνθρακα, η οποία όμως μειώνεται με την πάροδο των ετών. Τέλος, η συνεισφορά του διοξειδίου του θείου στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση υπήρξε πολύ μικρή.

4.3. Ποιότητα ατμόσφαιρας στη διάρκεια της περιόδου 2001-2009

Το δίκτυο μετρήσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ που λειτουργεί από τα μέσα του 1983 από το Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΔΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ, αποτελείτο από το έτος 2001 από ένα δίκτυο δώδεκα (12) αυτόματων σταθμών για την παρακολούθηση όλων των ρύπων στην ΕΠΑ (Πίνακας 4.3.1). Το δίκτυο αυτό ουσιαστικά αποτελεί συνέχεια του προηγούμενου δικτύου.

Πίνακας 4.5 Πληροφοριακά στοιχεία των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ κατά την περίοδο 2001-2009.

Σταθμός	Χαρακτηρισμός	SO ₂	NO _x	CO	O ₃	PM ₁₀
Αθηνάς	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	
Αριστοτέλους	Αστικός-Κυκλοφορίας		v			v
Γεωπονική	Περιαστικός-Βιομηχανικός	v	v	v	v	
Λιόσια	Περιαστικός-Υποβάθρου	v	v		v	
Λυκόβρυση	Περιαστικός		v		v	v
Μαρούσι	Αστικός-Κυκλοφορίας		v	v	v	v
Νέα Σμύρνη	Αστικός-Υποβάθρου	v	v	v	v	
Πατησίων	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	
Πειραιάς	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	v
Περιστέρι	Αστικός-Υποβάθρου	v	v	v	v	
Αγ. Παρασκευή	Περιαστικός-Υποβάθρου		v		v	v
Θρακομακεδόνες	Περιαστικός-Υποβάθρου		v		v	v

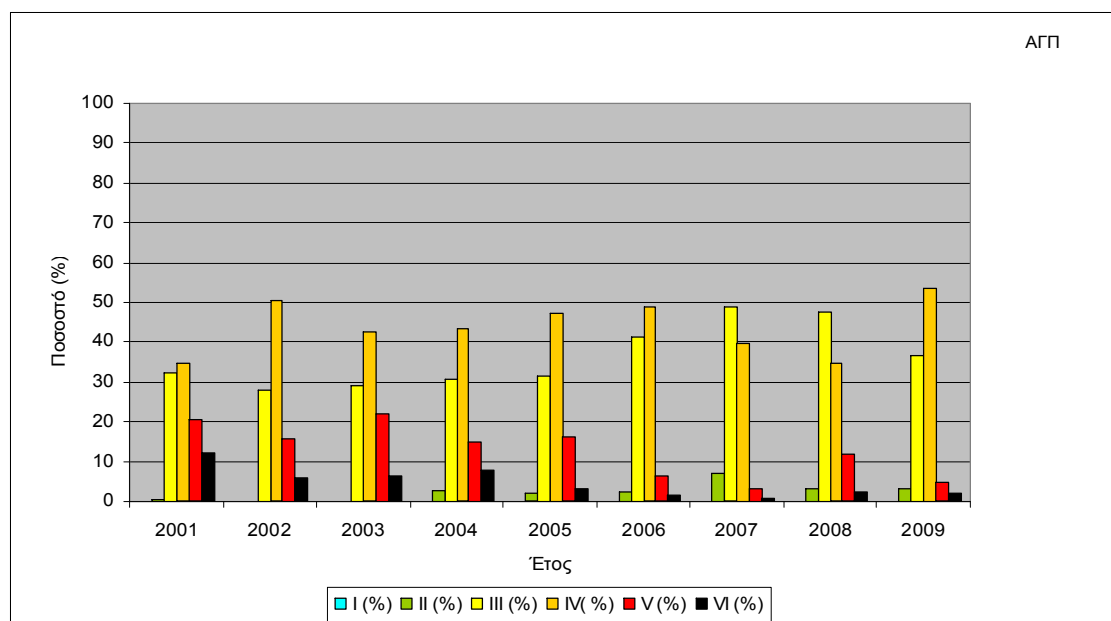
Σ' αυτή τη χρονική περίοδο, στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια για παρουσίαση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της ΕΠΑ, με χρήση περιβαλλοντικών δεικτών οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους όσο το δυνατόν περισσότερους από τους ρύπους που καταγράφονται στους σταθμούς του δικτύου της ΔΕΑΡΘ. Με αντικειμενικό σκοπό την όσο το δυνατόν πληρέστερη απεικόνιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή μελέτης, ΕΠΑ, χρησιμοποιούνται οι περιβαλλοντικοί δείκτες ERPI (πργρ. 3.9) και DAQx (πργρ. 3.8). Για τον υπολογισμό των τιμών τους χρησιμοποιούνται οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μ m (PM₁₀), του μονοξειδίου του άνθρακα, του διοξειδίου του θείου, του διοξειδίου του αζώτου και του επιφανειακού όζοντος. Συγκεκριμένα, για τη χρονική περίοδο 2001-2009, υπολογίζονται οι ημερήσιες τιμές των προαναφερθέντων δεικτών για όλες τις θέσεις καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ (Πίνακας 4.3.1) και συγκρίνονται με τα όρια πίνακα αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας του κάθε δείκτη από τη διεθνή βιβλιογραφία. Επίσης, μελετάται η διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης στις υπό μελέτη θέσεις, ανά κατηγορία ποιότητας της ατμόσφαιρας.

4.3.1. Ποιότητα ατμόσφαιρας με χρήση του δείκτη ERPI

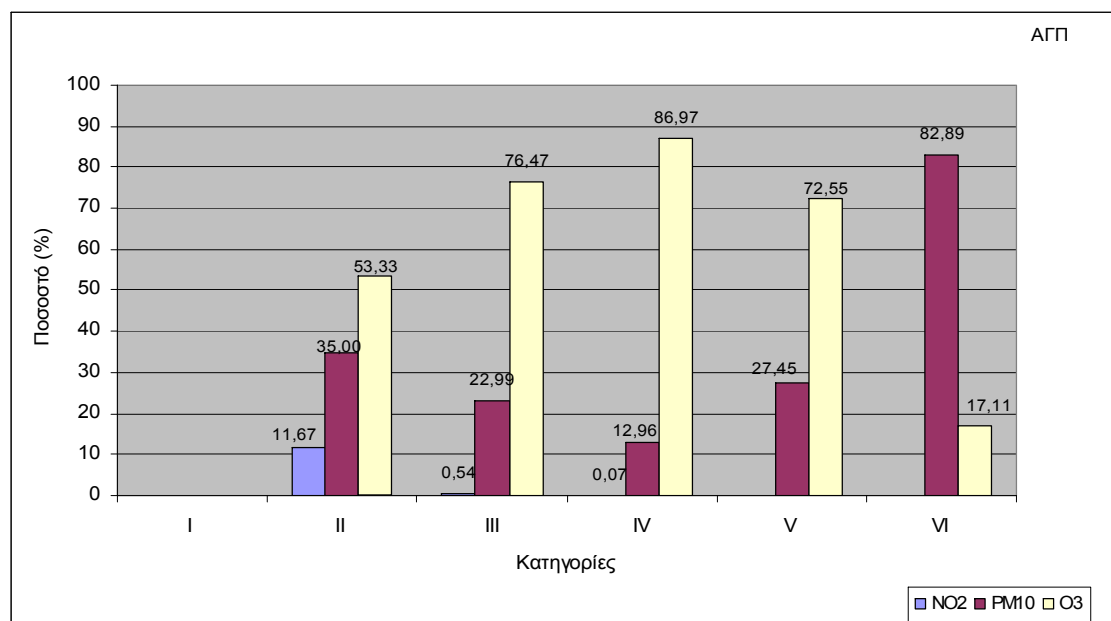
α. Σταθμός «Αγ. Παρασκευή» (ΑΓΠ)

Από το Σχήμα 4.57 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, τα ετήσια ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν μικρή συχνότητα εμφάνισης στη διάρκεια της περιόδου 2004-2009. Οι κατηγορίες ποιότητας «ικανοποιητική» και «επαρκής», σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά με μικρή μάλλον ανοδική τάση. Τέλος, όπως παρατηρείται από το Σχήμα 4.57 ότι οι κατηγορίες ποιότητας «κακή» και «πολύ κακή»

εμφανίζουν σαφή καθοδική τάση, γεγονός που σημαίνει μικρή βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής.



Σχήμα 4. 57. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΓΠ.



Σχήμα 4.58. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΑΓΠ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Από το Σχήμα 4.58 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της 9-ετούς περιόδου μελέτης του συγκεκριμένου σταθμού, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «καλή» μέχρι και «πολύ κακή», ενώ τα PM_{10} ενοχοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά (82%) για την στην περιοχή της κατηγορίας ποιότητας «πολύ κακή».

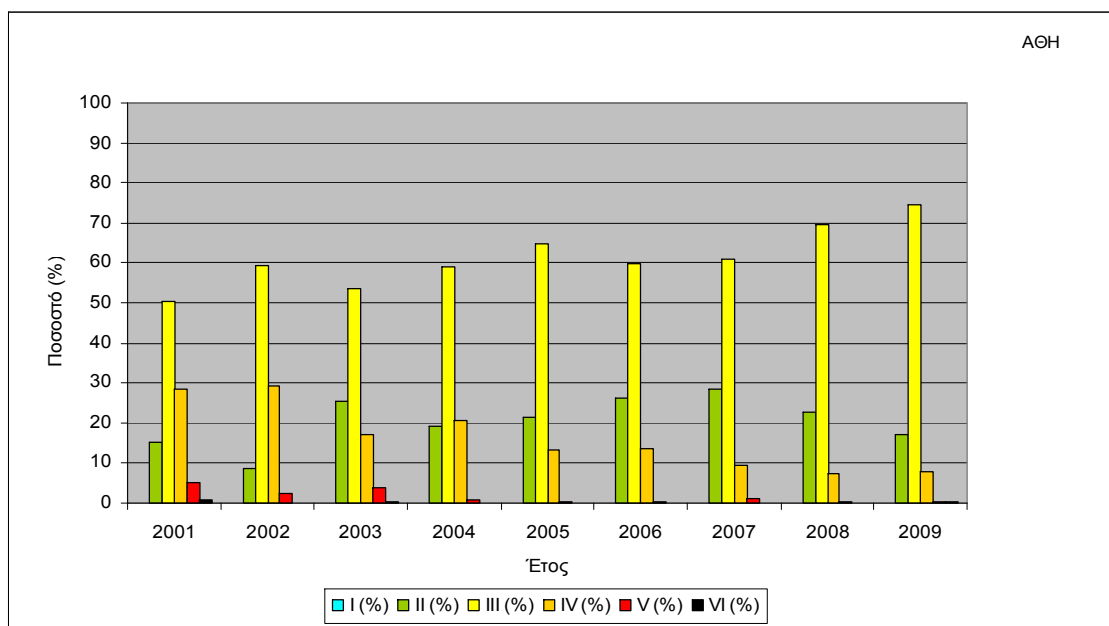
Τέλος, η συνεισφορά του διοξειδίου του αζώτου στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση υπήρξε πολύ μικρή (~12%) και στην περίπτωση της κατηγορίας ποιότητας «καλή».

β. Σταθμός «Αθηνάς» (ΑΘΗ)

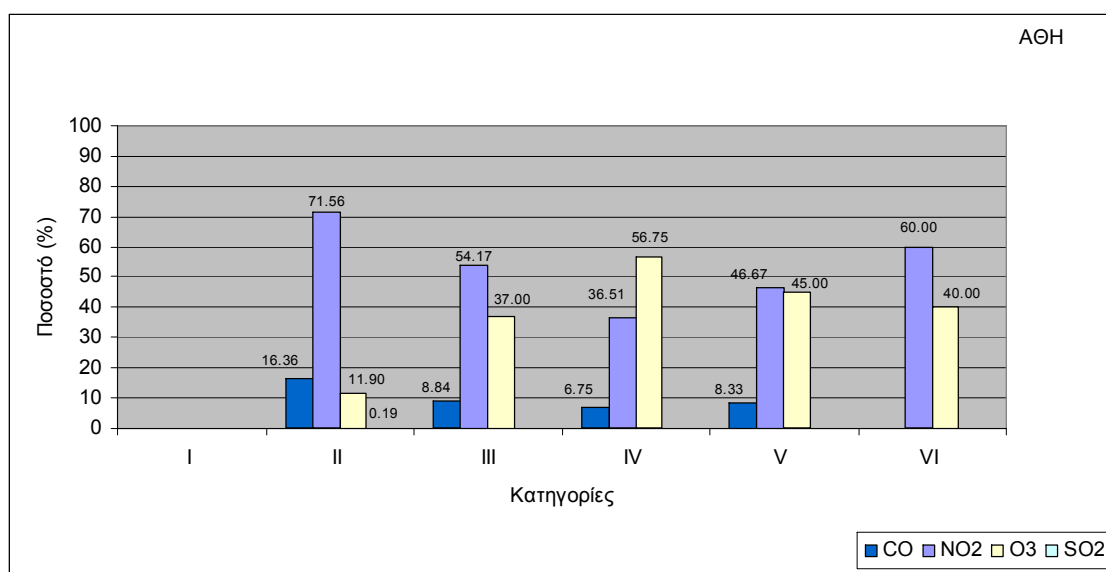
Από το Σχήμα 4.59 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν μικρή ανοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου 2004-2009. Επίσης, η κατηγορία «ικανοποιητική» εμφανίζει σαφή ανοδική τάση σε αντίθεση με την κατηγορία «επαρκής» που διαχρονικά μειώνει το ποσοστό εμφάνισής της. Επιπρόσθετα, τα ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών «κακή» και «πολύ κακή» είναι μικρά και πρακτικά μηδενίζονται. Σαν συνέπεια όλων αυτών μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι στο συγκεκριμένο σταθμό, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, σταδιακά, η ποιότητα της ατμόσφαιρας βελτιώνεται.

Από το Σχήμα 4.60 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της 9-ετούς περιόδου μελέτης του συγκεκριμένου σταθμού, το διοξείδιο του αζώτου ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «καλή» μέχρι και «πολύ κακή», ενώ το διοξείδιο του θείου ενοχοποιείται με μικρότερα ποσοστά συνεισφοράς στη διαμόρφωση του επιπέδου των τιμών των ίδιων κατηγοριών. Τέλος, η συνεισφορά του μονοξειδίου του άνθρακα περιορίζεται στη

διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση για τις κατηγορίες «καλή» μέχρι και «κακή» με μικρά ποσοστά συμμετοχής που κυμάνθηκαν μεταξύ του ~16% και του ~7%).



Σχήμα 4. 59. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΘΗ.



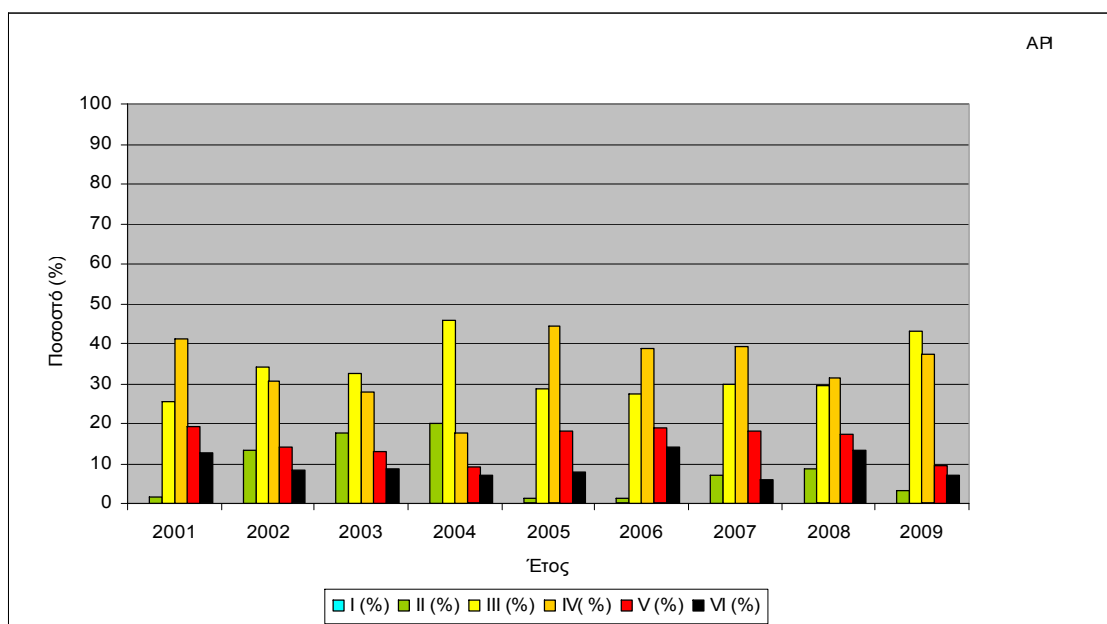
Σχήμα 4. 60. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΑΘΗ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

γ. Σταθμός «Αριστοτέλους» (API)

Από το Σχήμα 4.61 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή», στις περιόδους 2001-2003 και 2004-2009 εμφανίζουν αντίστοιχα, ανοδική και καθοδική τάση.

Αντίθετα, τόσο η κατηγορία «ικανοποιητική», όσο και κατηγορία «επαρκής» εμφανίζουν σαφή ανοδική σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετίας.

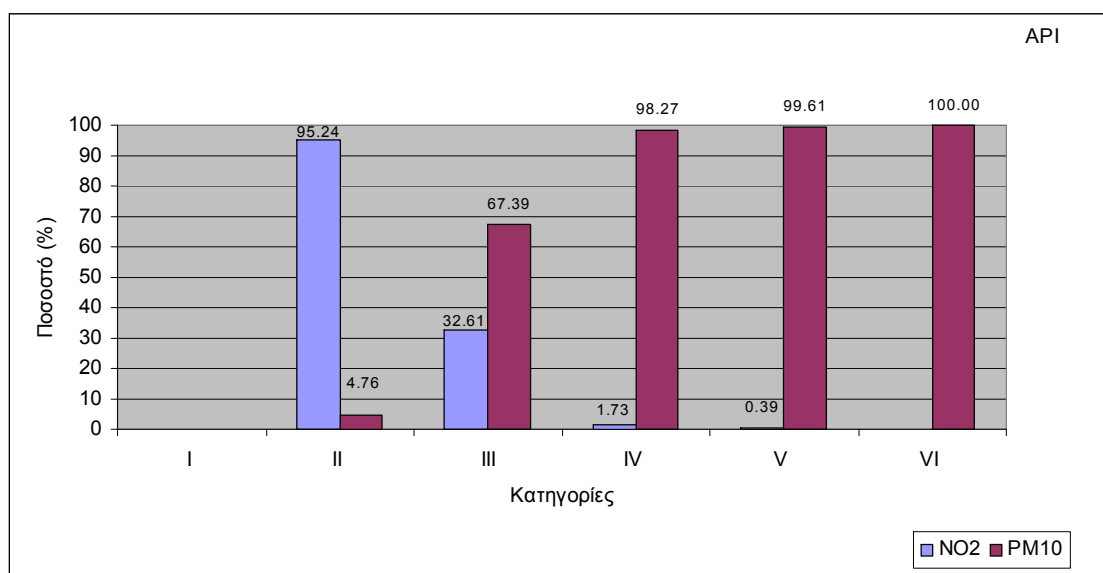
Όμως, τα ποσοστά εμφάνισης της τόσο της κατηγορίας «κακή», όσο και της κατηγορίας «πολύ κακή» εμφανίζουν πολύ μικρή καθοδική τάση, έως και τάση σταθεροποίησης. Οπότε, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι στο συγκεκριμένο σταθμό, η ποιότητα της ατμόσφαιρας εμφανίζεται μάλλον σταθερή-υποβαθμισμένη.



Σχήμα 4. 61. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού API.

Από το Σχήμα 4.62 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, τα PM₁₀ ήταν ο αποκλειστικά υπεύθυνος ρύπος για τον

καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «ικανοποιητική» μέχρι και «πολύ κακή». Επίσης, η συνεισφορά του διοξειδίου του αζώτου στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας για την κατηγορία «ικανοποιητική» είναι της τάξης του 95%, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, ενώ η συνεισφορά του στη διαμόρφωση των τιμών της κατηγορίας «επαρκής», περιορίζεται ~33% στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

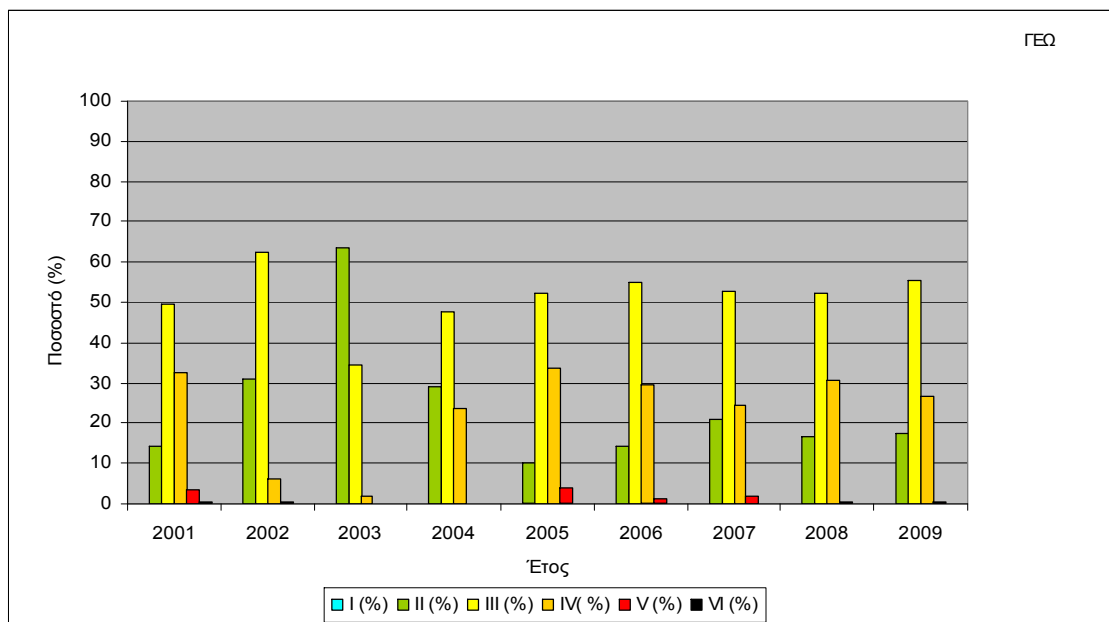


Σχήμα 4. 62. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό API, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

δ. Σταθμός «Γεωπονική» (ΓΕΩ)

Από το Σχήμα 4.63 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως και στο σταθμό API (Αριστοτέλους) οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή», στις περιόδους 2001-2003 και 2004-2009 εμφανίζουν αντίστοιχα, ανοδική και καθοδική τάση. Επίσης, η κατηγορία «ικανοποιητική» εμφανίζει μικρή ανοδική τάση, ενώ τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν σταδιακή μείωση.

Τέλος, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας «κακή», σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, είναι χαμηλά και εμφανίζουν τάση μείωσης με πρακτικό μηδενισμό της εμφάνισης της συγκεκριμένης κατηγορίας. Τα ευρήματα αυτά, ενδεχομένως, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τείνει προς σταθεροποίηση, έως και μικρή βελτίωση, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιοχή.

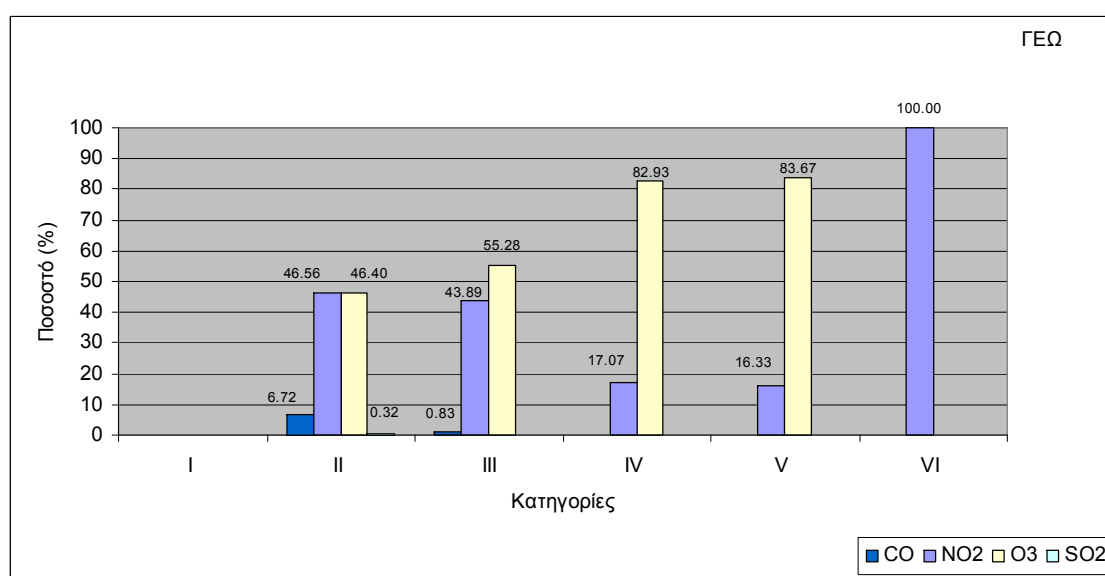


Σχήμα 4. 63. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΓΕΩ.

Από το Σχήμα 4.64 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «ικανοποιητική» έως και «κακή», ενώ είναι στα ίδια επίπεδο «υπευθυνότητας» με το διοξείδιο του αζώτου στην περίπτωση της κατηγορίας «καλή». Επίσης, η συνεισφορά του μονοξειδίου του άνθρακα περιορίζεται στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση για τις κατηγορίες «καλή» και «ικανοποιητική» με μικρά ποσοστά συμμετοχής που κυμάνθηκαν μεταξύ του ~7% και του ~1%, αντίστοιχα. Η συνεισφορά του διοξειδίου

του θείου στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «καλή» έως «κακή», στη συγκεκριμένη θέση ήταν σταδιακά μειούμενη.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι, στη συγκεκριμένη θέση, το διοξείδιο του θείου είναι ο αποκλειστικός υπεύθυνος ρύπος για τον έστω και μικρό αριθμό περιπτώσεων εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «πολύ κακή», γεγονός που συνδέεται με τη θέση και τον χαρακτηρισμό (περιαστικός-βιομηχανικός) του συγκεκριμένου σταθμού.

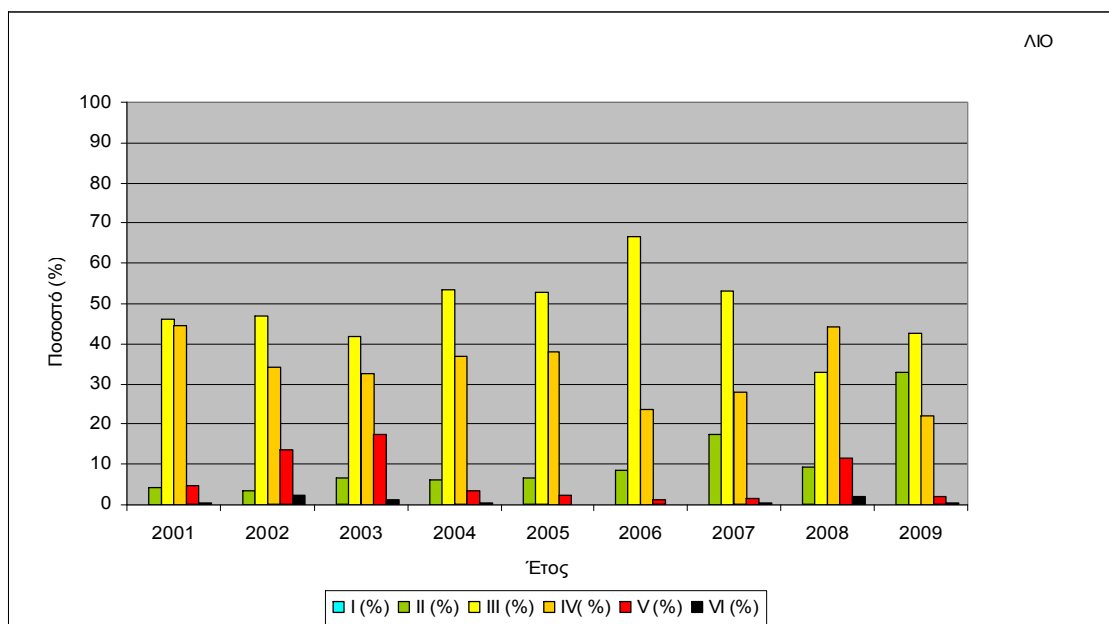


Σχήμα 4. 64. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΓΕΩ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

ε. Σταθμός «Λιόσια» (ΛΙΟ)

Από το Σχήμα 4.65 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν ανοδική τάση. Επίσης, η κατηγορία «ικανοποιητική» εμφανίζει ανοδική τάση μέχρι και το έτος 2006, ενώ στη συνέχεια τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας αυτής σταδιακά μειώνονται. Όσο για τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν σταδιακή μείωση. Τα ποσοστά εμφάνισης της

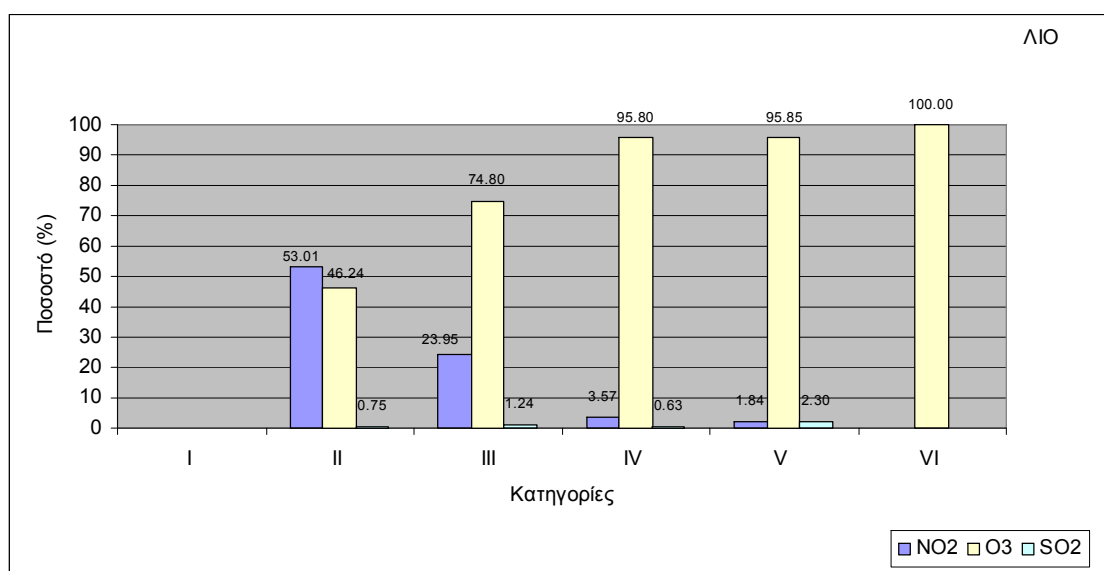
κατηγορίας «κακή», σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, είναι χαμηλά με μεταβαλλόμενα ποσοστά εμφάνισης που παρόλα αυτά στο σύνολο της υπό μελέτης περιόδου παρουσιάζεται τάση μείωσης των ποσοστών εμφάνισης της συγκεκριμένης κατηγορίας. Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τείνει προς μικρή βελτίωση, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιφερειακή θέση, που χαρακτηρίζεται και θέση υποβάθρου.



Σχήμα 4. 65. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΛΙΟ.

Από το Σχήμα 4.66 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» έως και «πολύ κακή», ενώ τα ποσοστά «υπευθυνότητας» του συγκεκριμένου ρύπου διαμορφώνονται κατά τη σειρά εμφάνισης των κατηγοριών «επαρκής»-«κακή»-«πολύ κακή» ως εξής 96%-96%-100%. Επίσης, η συνεισφορά του διοξειδίου του αζώτου ουσιαστικά περιορίζεται στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση για τις κατηγορίες «καλή»

και «ικανοποιητική» με ποσοστά συμμετοχής 53% και 24%, αντίστοιχα. Η συνεισφορά του διοξειδίου του θείου στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «καλή» έως «κακή», έφτασε μέχρι και ~2% συγκεκριμένη θέση.

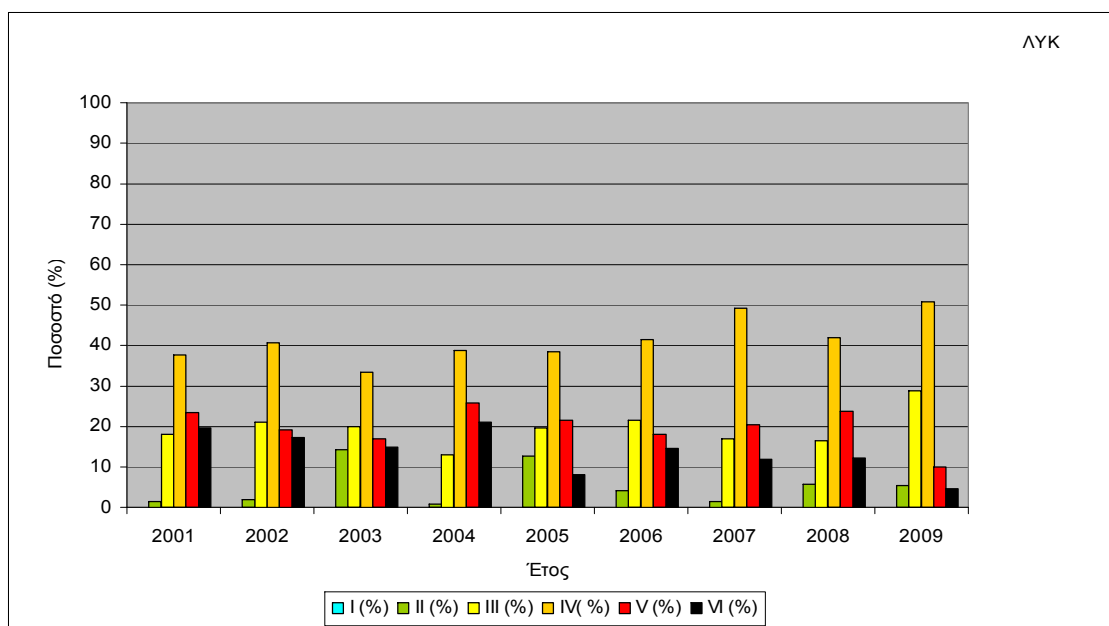


Σχήμα 4. 66. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΛΙΟ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

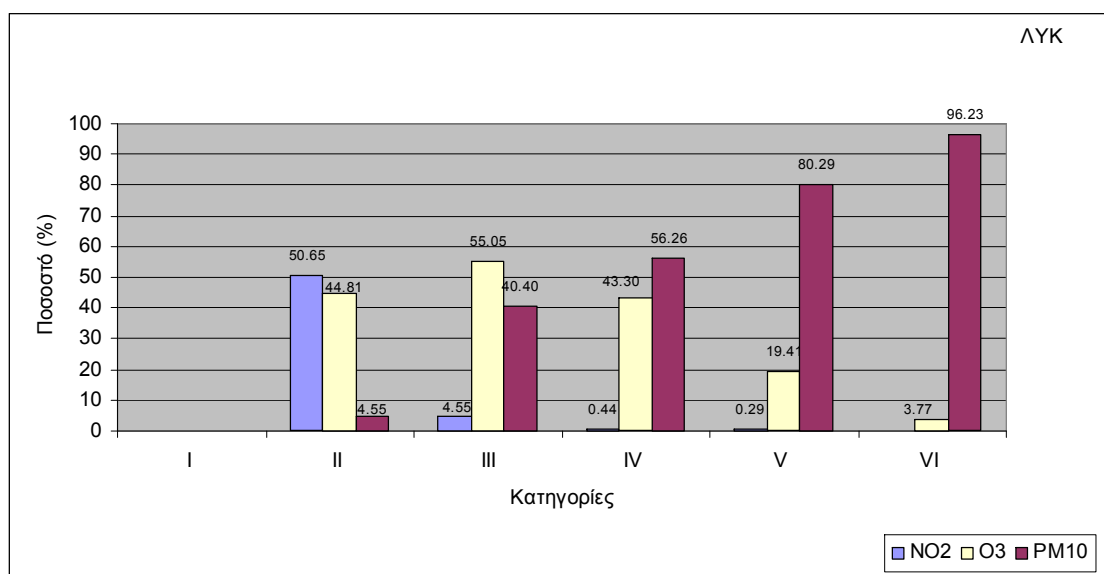
στ. Σταθμός «Λυκόβρυση» (ΛΥΚ)

Από το Σχήμα 4.67 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν πολύ μικρή ανοδική τάση. Επίσης, η κατηγορία «ικανοποιητική» εμφανίζει ανοδική τάση σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς περιόδου. Όσο για τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν ανοδική τάση. Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «κακή» και «πολύ κακή», σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης είναι μεταβαλλόμενη. Παρόλα αυτά στο σύνολο της υπό μελέτης περιόδου παρουσιάζεται τάση μείωσης των ποσοστών εμφάνισης των συγκεκριμένων

κατηγοριών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής.



Σχήμα 4. 67. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού LYK.



Σχήμα 4. 68. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό LYK, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιαστική θέση, τείνει προς μικρή βελτίωση.

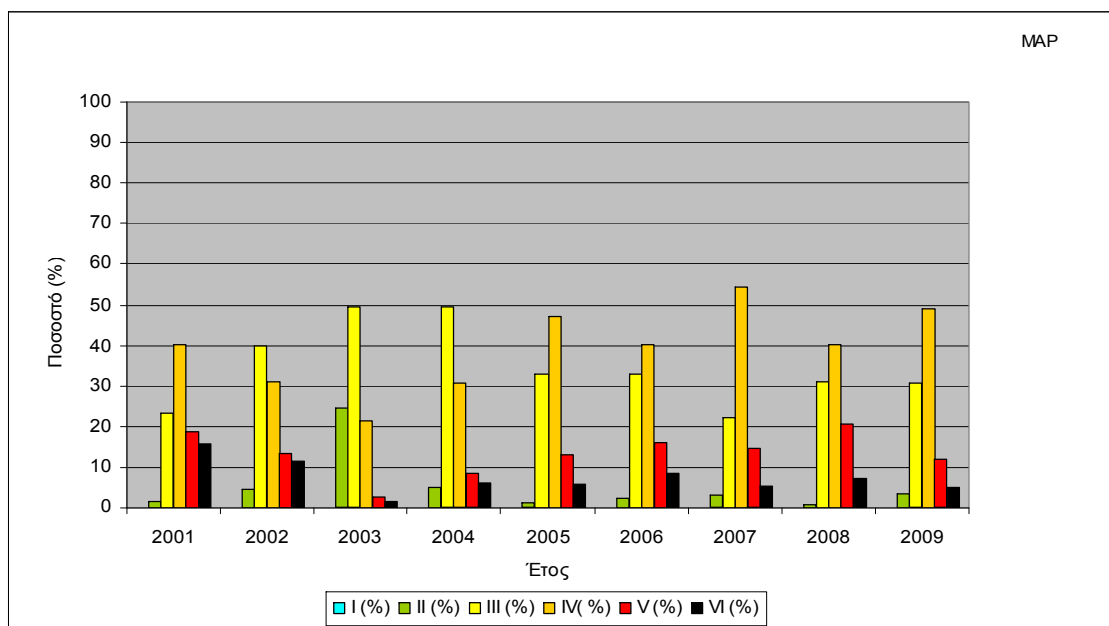
Από το Σχήμα 4.68 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για την κατηγορία ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» σε ποσοστό «υπευθυνότητας» ~51%. Η καθοριστική συνεισφορά του επιφανειακού όζοντος ουσιαστικά περιορίζεται στη διαμόρφωση των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση για την κατηγορία «ικανοποιητική» με ποσοστό συμμετοχής 55%, ενώ στις υπόλοιπες κατηγορίες ήταν 43%, 19% και ~4%. Τέλος, η συνεισφορά των PM₁₀ στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «καλή» έως «πολύ κακή», εξελίχθηκε από ~5% σε 96%. Ειδικότερα, είναι ο αποκλειστικά υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη περιαστική θέση, για τις κατηγορίες «επαρκής», «κακή» και «πολύ κακή».

ζ. Σταθμός «Μαρούσι» (MAP)

Από το Σχήμα 4.69 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν ανοδική τάση κατά την 3-ετία 2001-2003, ενώ στο υπόλοιπο της υπό μελέτη περιόδου η εξέλιξή τους είναι καθοδική. Παρόμοια είναι η συμπεριφορά της διαχρονικής εξέλιξης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «ικανοποιητική» που εμφανίζει ανοδική τάση στη διάρκεια της 4-ετίας 2001-2004, ενώ στο υπόλοιπο της υπό μελέτη περιόδου η εξέλιξή τους είναι καθοδική. Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν ανοδική τάση. Τέλος,

η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «κακή» και «πολύ κακή», σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης είναι μεταβαλλόμενη. Παρόλα αυτά στο σύνολο της υπό μελέτης περιόδου παρουσιάζεται τάση μείωσης των ποσοστών εμφάνισης των συγκεκριμένων κατηγοριών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής.

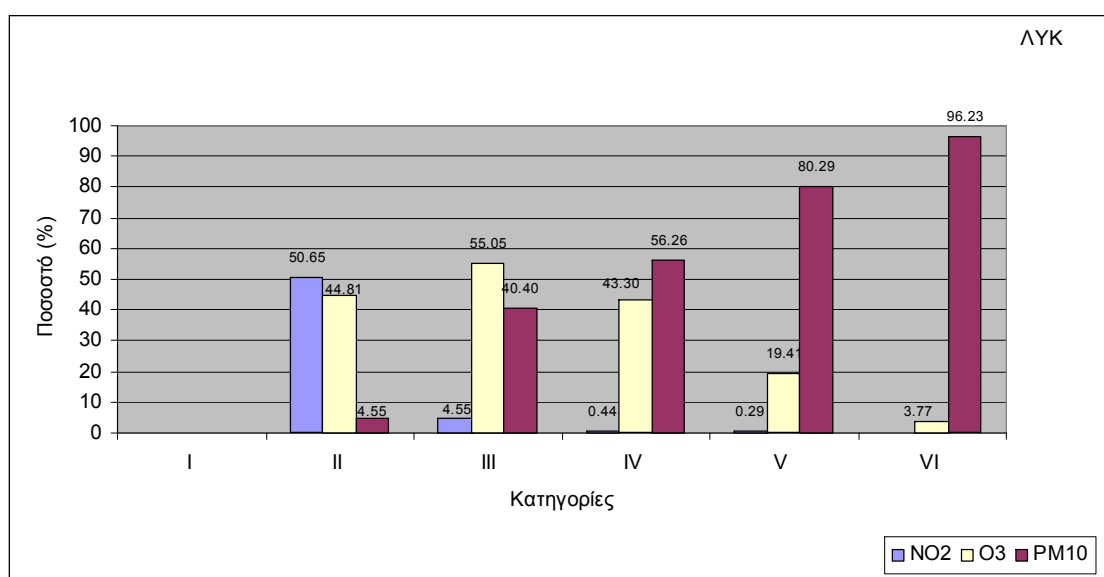
Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση που χαρακτηρίζεται από κυκλοφορία, είναι μάλλον σταθεροποιημένη στην κατηγορία «επαρκής», με πολύ μικρή τάση βελτίωσης.



Σχήμα 4. 69. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού MAP.

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική που χαρακτηρίζεται από κυκλοφορία. Αυτό αιτιολογεί και το γεγονός του σχετικά καθοριστικού ρόλου των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα (Σχήμα 4.70) στον καθορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες

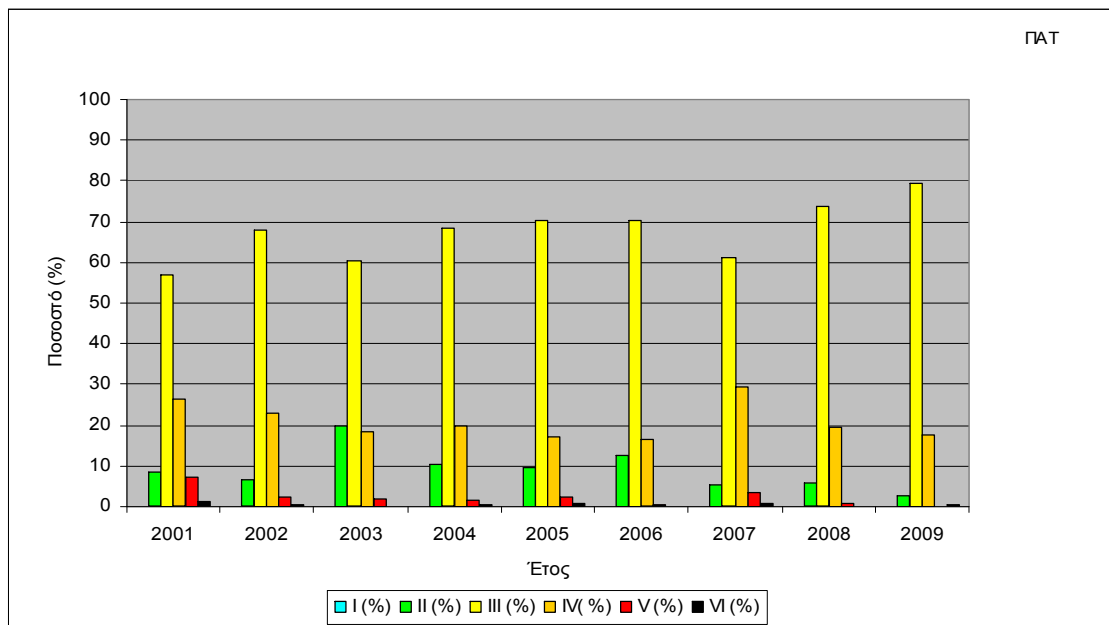
«καλή» (~32%), ενώ για την κατηγορία «ικανοποιητική» περιορίζεται μόλις στο ~2%. Από το Σχήμα 4.70 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή»-«ικανοποιητική»-«επαρκής» με ποσοστό «υπευθυνότητας» ~56% - ~61% - ~53%, αντίστοιχα. Τέλος, απόλυτα καθοριστική είναι η συνεισφορά των PM₁₀ στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «κακή» και «πολύ κακή», που ήταν 74% και 99%, αντίστοιχα.



Σχήμα 4. 70. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό MAP, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

η. Σταθμός «Πατησίων» (ΠΑΤ)

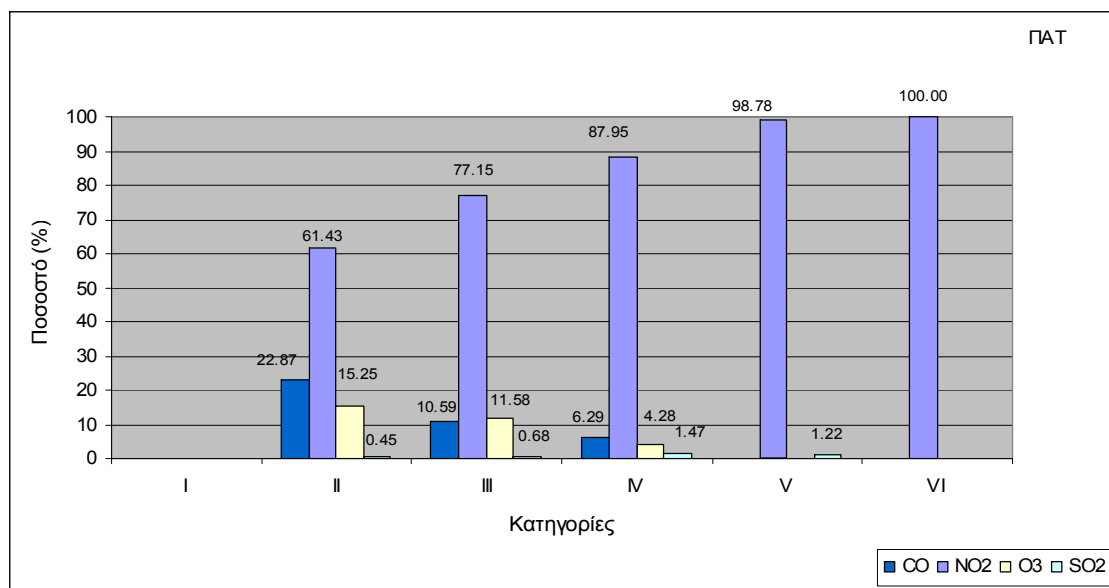
Από το Σχήμα 4.71 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν ανοδική τάση κατά την 3-ετία 2001-2003, ενώ στο υπόλοιπο της υπό μελέτη περιόδου η εξέλιξή τους είναι καθοδική.



Σχήμα 4. 71. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΑΤ.

Παρόμοια είναι η συμπεριφορά της διαχρονικής εξέλιξης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «ικανοποιητική» που εμφανίζει ανοδική τάση σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς περιόδου. Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν μάλλον σταθεροποιητική τάση. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «κακή» και «πολύ κακή», σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης είναι καθοδική. Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση που χαρακτηρίζεται από κυκλοφορία, εμφανίζει τάση βελτίωσης η οποία ενδεχομένως να μην αποδίδει την πραγματική εικόνα της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής. Αυτή η διαφοροποίηση, σε σύγκριση με την εικόνα της άμεσα γειτονικής θέσης καταγραφής API, που έχει τον ίδιο ακριβώς χαρακτηρισμό (αστικός με έντονη κυκλοφορία), συνδέεται άμεσα με τη μη καταγραφή των PM_{10} στη συγκεκριμένη θέση.

Αποτέλεσμα της μη καταγραφής τους είναι η εμφανιζόμενη εικόνα «πλασματικής βελτίωσης».

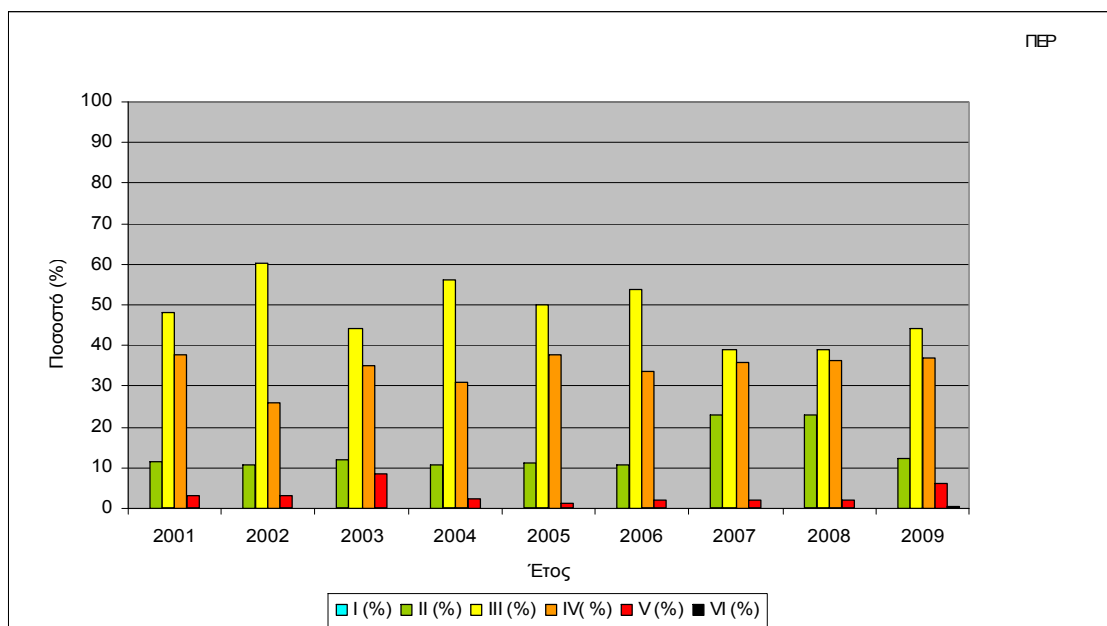


Σχήμα 4. 72. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΠΑΤ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

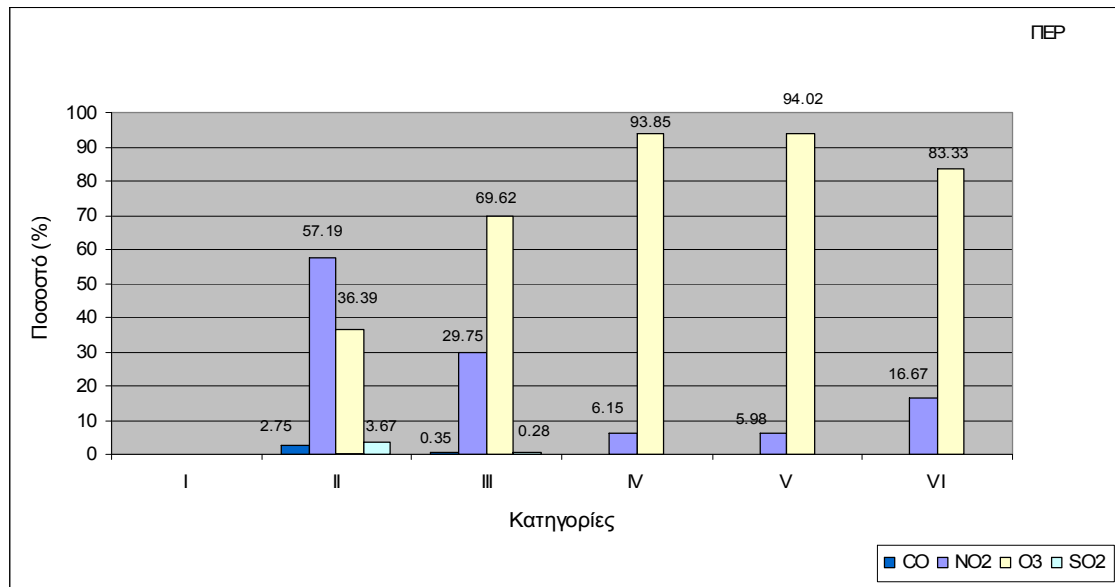
Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική που χαρακτηρίζεται από κυκλοφορία. Αυτό αιτιολογεί και το γεγονός του ρόλου των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα (Σχήμα 4.72) στον καθορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «καλή» (~23%), «ικανοποιητική» (~11%) ενώ για την κατηγορία «επαρκής» περιορίζεται μόλις στο ~6%. Από το Σχήμα 4.72 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου είναι ο απόλυτα καθοριστικός ρύπος στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής, λόγω του χαρακτηρισμού της (αστική-κυκλοφορίας). Τέλος, το επιφανειακό όζον δεν είναι υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής λόγω του χαρακτηρισμού της.

θ. Σταθμός «Περιστέρι» (ΠΕΡ)

Από το Σχήμα 4.73 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν ανοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «ικανοποιητική» εμφανίζεται με καθοδική τάση σχεδόν σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς περιόδου. Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν μάλλον σταθεροποιητική τάση. Τέλος, ίδια συμπεριφορά εμφανίζει η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «κακή», ενώ η κατηγορία «πολύ κακή» εμφανίζεται στο τέλος της περιόδου μελέτης. Τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση υποβάθρου, κυμαίνεται μεταξύ «ικανοποιητικής» και «επαρκούς».



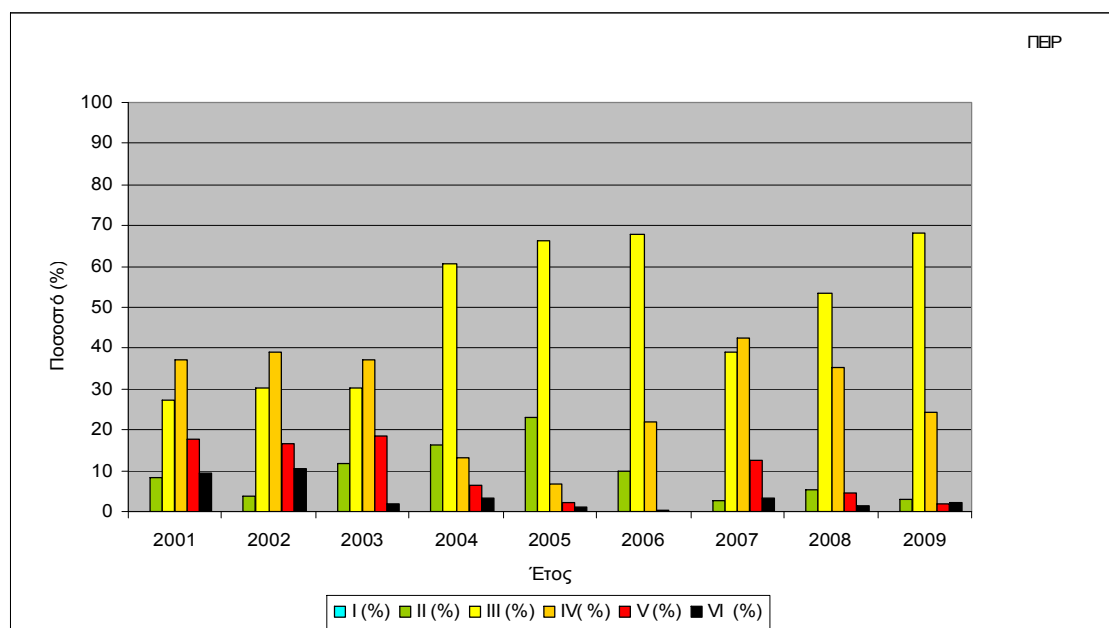
Σχήμα 4. 73. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΡ.



Σχήμα 4. 74. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΠΕΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική και χαρακτηρίζεται σαν θέση υποβάθρου. Από το Σχήμα 4.74 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου είναι ο καθοριστικός ρύπος στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής, για την κατηγορία ποιότητας «καλή» και μάλιστα με ποσοστό 57%. Τέλος, το επιφανειακό όζον είναι ο απόλυτα υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «ικανοποιητική» έως και «πολύ κακή». Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής, λόγω του χαρακτηρισμού της αστική-υποβάθρου, το ποσοστό εμφάνισης της κατηγορίας «πολύ κακή» είναι πολύ μικρό και μάλιστα εμφανίζεται στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους 2009 (Σχήμα 4.73).

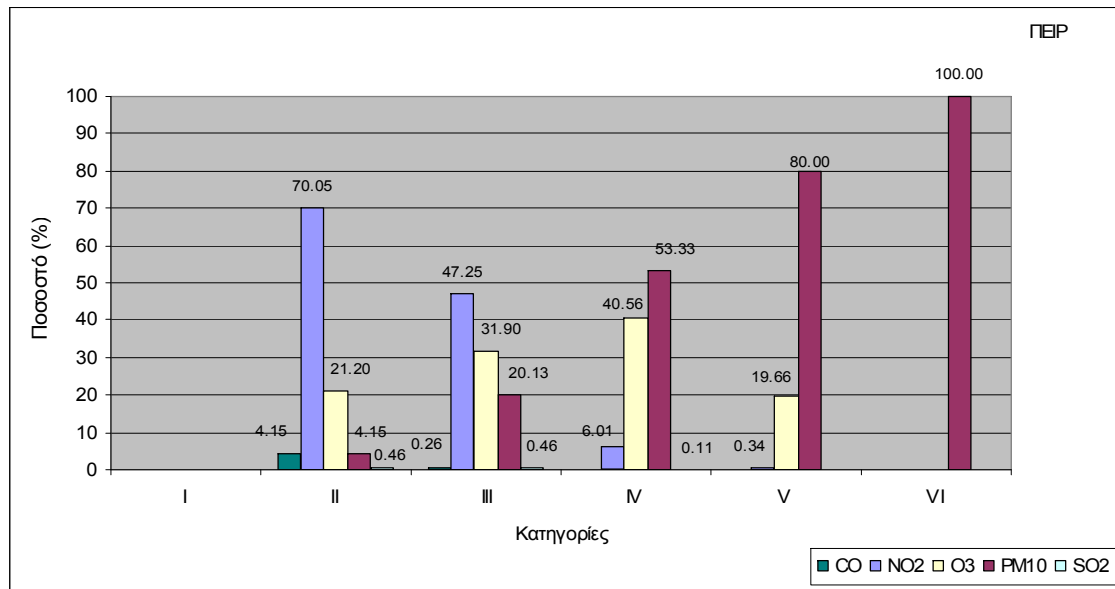
ι. Σταθμός «Πειραιάς» (ΠΕΙΡ)



Σχήμα 4. 75. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΙΡ.

Τέλος, ίδια συμπεριφορά εμφανίζει η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «κακή», ενώ η κατηγορία «πολύ κακή» εμφανίζεται στο τέλος της περιόδου μελέτης. Οι παραπάνω διαπιστώσεις, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση που χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία, κυμαίνεται μεταξύ «ικανοποιητικής» και «επαρκούς».

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική και χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία. Από το Σχήμα 4.76 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου είναι ο καθοριστικός ρύπος στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής, για τις κατηγορίες ποιότητας «καλή» και «ικανοποιητική» μάλιστα με ποσοστό υπευθυνότητας 70% και 47%, αντίστοιχα.

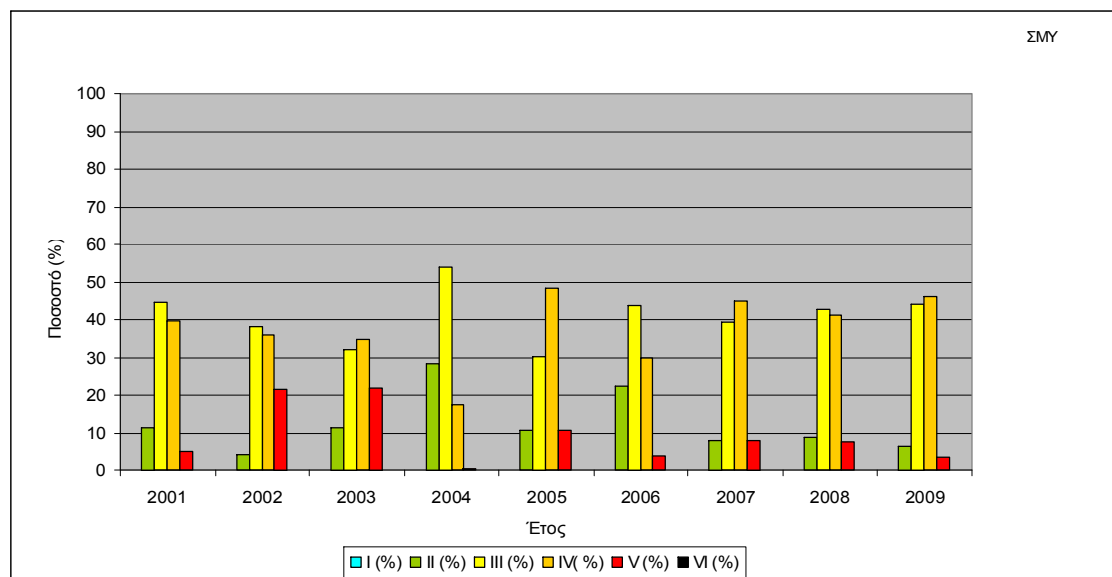


Σχήμα 4. 76. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΠΕΙΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Το επιφανειακό όζον, λόγω του χαρακτηρισμού της θέσης καταγραφής –αστική με έντονη κυκλοφορία- δεν είναι ο απόλυτα υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για καμιά κατηγορία ποιότητας του ατμοσφαιρικού της περιβάλλοντος. Τέλος, απόλυτα καθοριστική είναι η συνεισφορά των PM_{10} στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «επαρκής» έως και «πολύ κακή», που ήταν 53%, 80% και 100%, τα οποία προέρχονται αφενός μεν στην κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων στην περιοχή του λιμανιού, αφετέρου δε στη δραστηριότητα του λιμανιού (αφίξεις και αναχωρήσεις πλοίων οι καμινάδες των οποίων εκλύουν σωματίδια λόγω του χρησιμοποιούμενου καυσίμου).

ια. Σταθμός «Ν. Σμύρνη» (ΣΜΥ)

Από το Σχήμα 4.77 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν μικρή ανοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης τόσο της κατηγορίας «ικανοποιητική», όσο και της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν ανοδική τάση στην υπό μελέτη 9-ετή περίοδο. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «κακή», ενώ στην 3-ετία 2001-2003 εμφανίζεται ανοδική, στη συνέχεια και μέχρι το τέλος της περιόδου μελέτης εμφανίζει καθοδική συμπεριφορά. Οι παραπάνω διαπιστώσεις, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση υποβάθρου, κυμαίνεται μεταξύ «ικανοποιητικής» και «επαρκούς» με αισθητή τάση βελτίωσης.

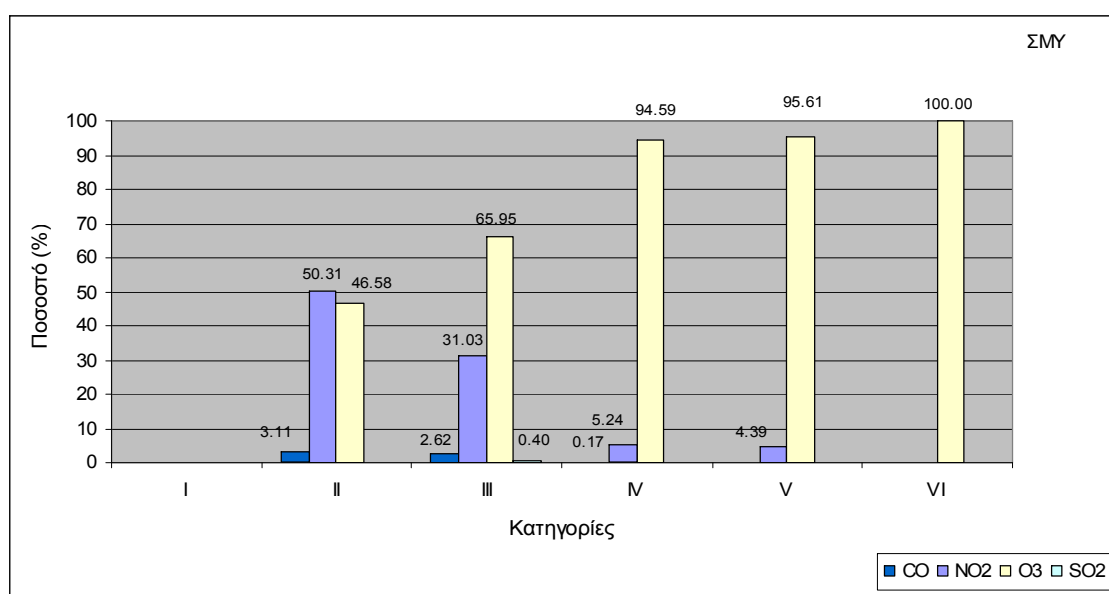


Σχήμα 4. 77. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΣΜΥ.

Η συγκεκριμένη θέση καταγραφής χαρακτηρίζεται ως αστική-υποβάθρου. Από το Σχήμα 4.78 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο

σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου είναι ο καθοριστικός ρύπος στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής, για την κατηγορία ποιότητας «καλή» και μάλιστα με ποσοστό υπευθυνότητας 50%.

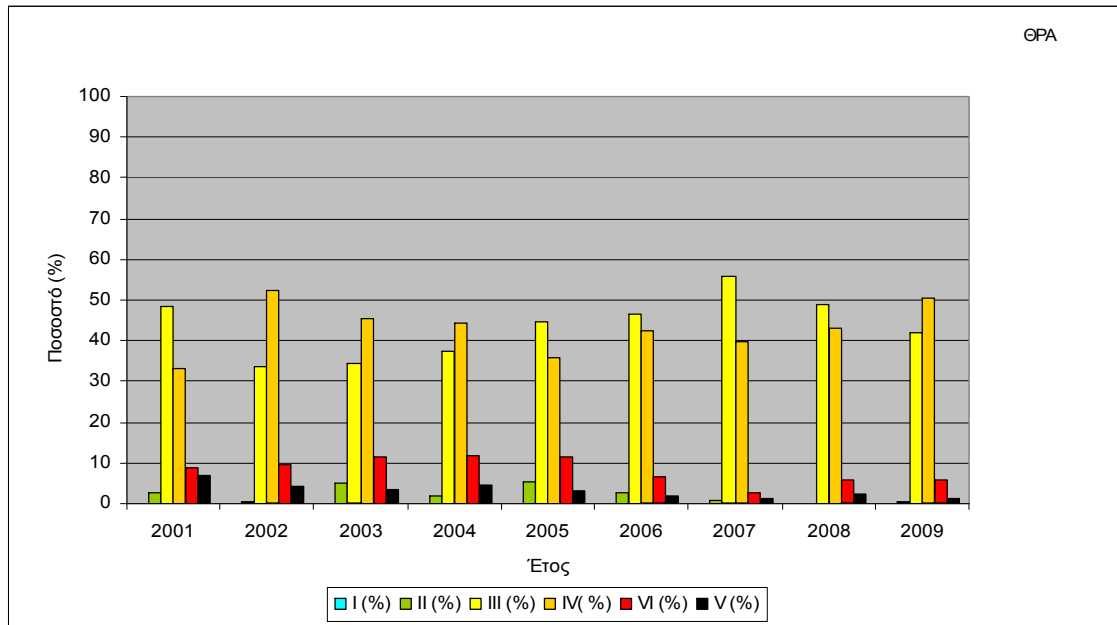
Το επιφανειακό όζον, είναι ο απόλυτα υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας «ικανοποιητική» έως και «πολύ κακή». Η απόλυτα καθοριστική συνεισφορά του κυμαίνεται μεταξύ του 66% και του 100%.



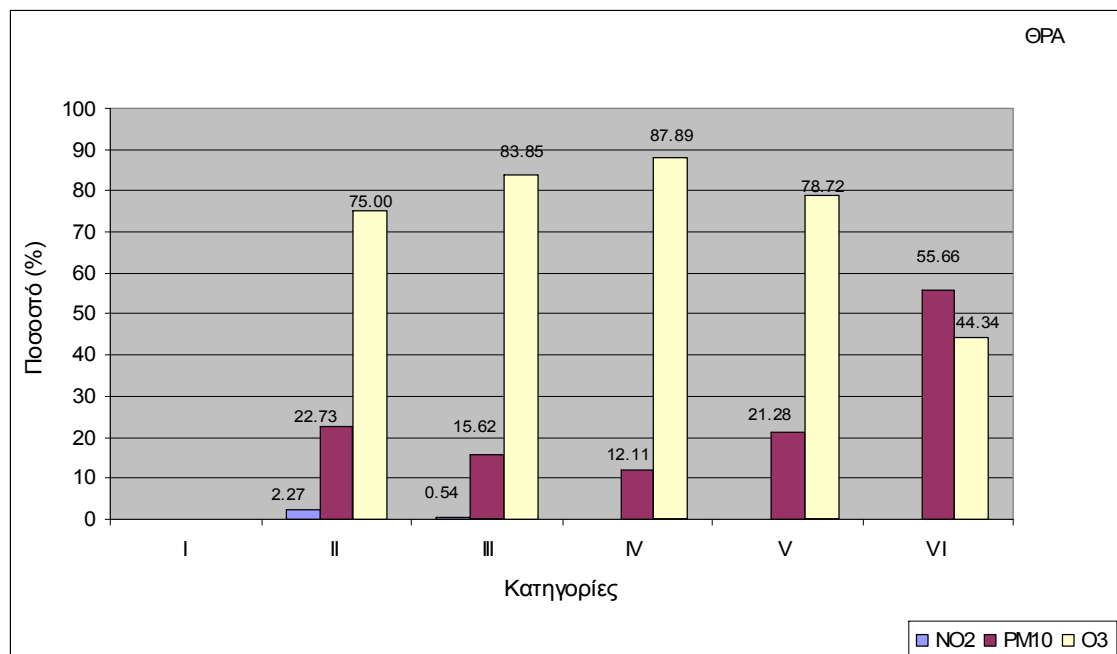
Σχήμα 4. 78. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΣΜΥ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

ιβ. Σταθμός «Θρακομακεδόνες» (ΘΡΑ)

Από το Σχήμα 4.79 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» εμφανίζουν μικρή καθοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης τόσο της κατηγορίας «ικανοποιητική», όσο και της κατηγορίας «επαρκής» εμφανίζουν ανοδική τάση στην υπό μελέτη 9-ετή περίοδο.



Σχήμα 4. 79. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη ERPI, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΘΠΑ.



Σχήμα 4. 80. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του ERPI στο σταθμό ΘΠΑ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «κακή», ενώ στην 4-ετία 2001-2004 εμφανίζεται ανοδική, στη συνέχεια και μέχρι το τέλος της περιόδου μελέτης εμφανίζει ελαφρά καθοδική συμπεριφορά. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «πολύ κακή», στη διάρκεια της περιόδου μελέτης εμφανίζει μικρή καθοδική συμπεριφορά. Οι διαπιστώσεις αυτές, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιαστική θέση υποβάθρου, κυμαίνεται μεταξύ «ικανοποιητικής» και «επαρκούς» με τάση στασιμότητας.

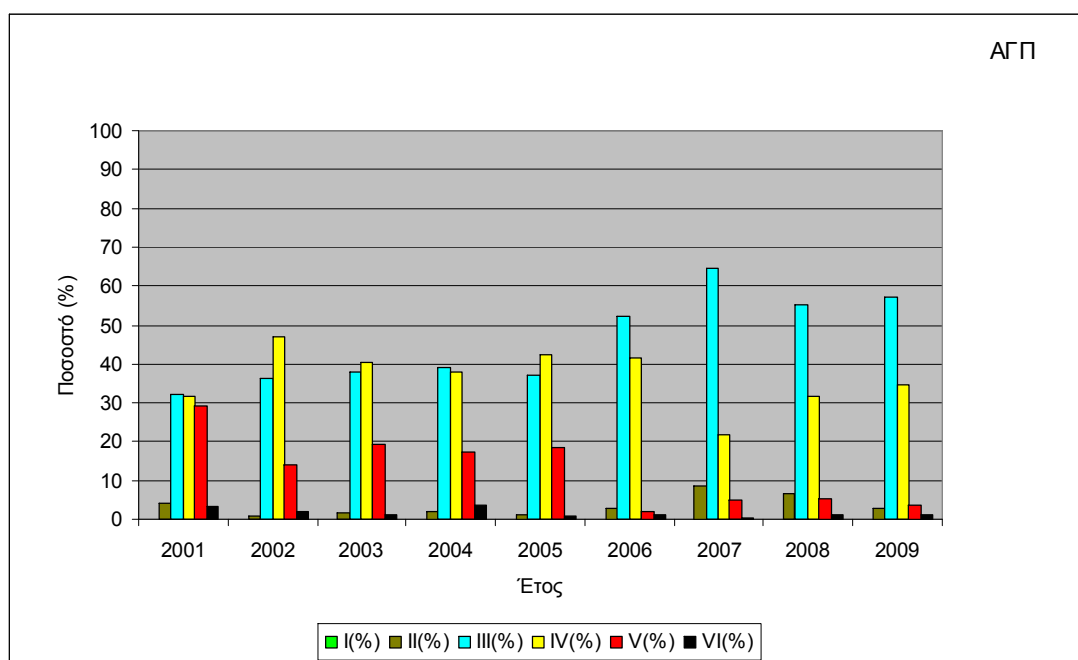
Η συγκεκριμένη θέση καταγραφής χαρακτηρίζεται ως περιαστική-υποβάθρου. Από το Σχήμα 4.80 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το επιφανειακό όζον, είναι ο απόλυτα υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας «καλή» έως και «κακή» με καθοριστική συνεισφορά που κυμαίνεται μεταξύ του 75% και του 88%. Τέλος, απόλυτα καθοριστική είναι η συνεισφορά των PM₁₀ στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας για την κατηγορία «πολύ κακή», με καθοριστική συνεισφορά 56%.

4.3.2. Ποιότητα ατμόσφαιρας με χρήση του δείκτη DAQx

α. Σταθμός «Αγ. Παρασκευή» (ΑΓΠ)

Από το Σχήμα 4.81 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II) εμφανίζουν πολύ μικρή ανοδική συμπεριφορά. Οι κατηγορία ποιότητας «ικανοποιητική» (III) σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου εμφανίζει τα μεγαλύτερα ποσοστά με ανοδική τάση. Όσον αφορά την κατηγορία της ποιότητας «επαρκής» (IV) εμφανίζει καθοδική συμπεριφορά στη διάρκεια της 9-ετίας. Όπως

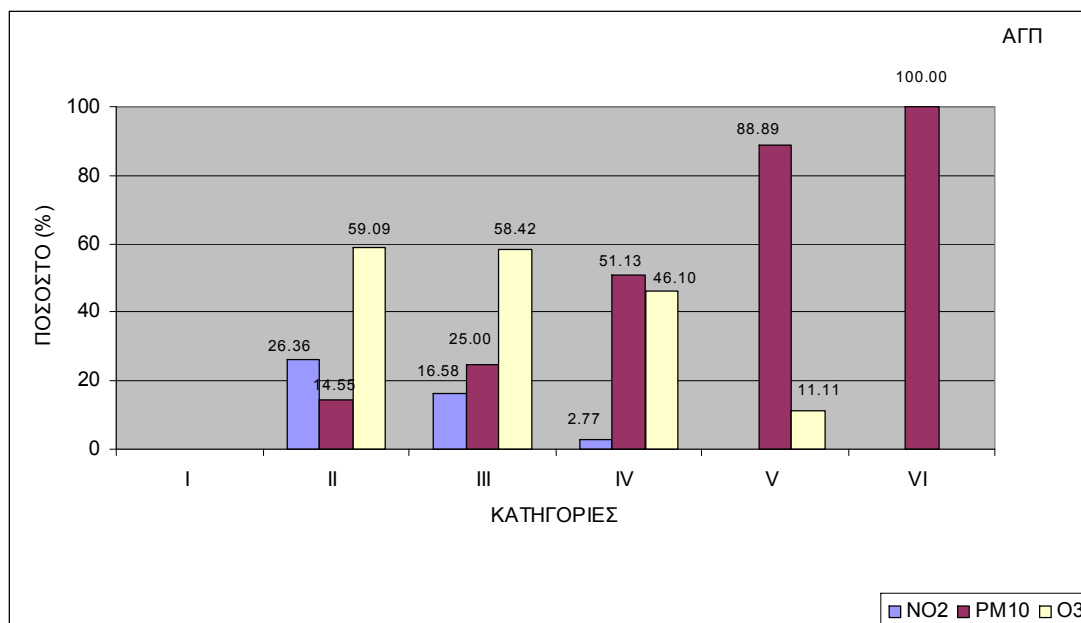
παρατηρείται στο Σχήμα 4.81 η κατηγορία ποιότητας «κακή» (V) εμφανίζει σαφή καθοδική τάση. Σε συνδυασμό δε και την πολύ μικρή πτωτική συμπεριφορά της κατηγορίας «πολύ κακή», τα δύο αυτά γεγονότα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μικρή βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής που χαρακτηρίζεται σαν περιαστική-υποβάθρου.



Σχήμα 4. 81. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΓΠ.

Από το Σχήμα 4.82 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της 9-ετούς περιόδου μελέτης του συγκεκριμένου σταθμού, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «καλή» (II) και «ικανοποιητική» (III) με συνεισφορά που ανέρχεται στα 59% και 58%, αντίστοιχα. Η συνεισφορά των PM₁₀ είναι απόλυτα ενοχοποιητική για τις κατηγορίες «επαρκής» (IV) έως και «πολύ κακή» (VI) και κυμάνθηκε μεταξύ 51% και 100%. Τέλος, η συνεισφορά του διοξειδίου του αζώτου στη διαμόρφωση των τιμών

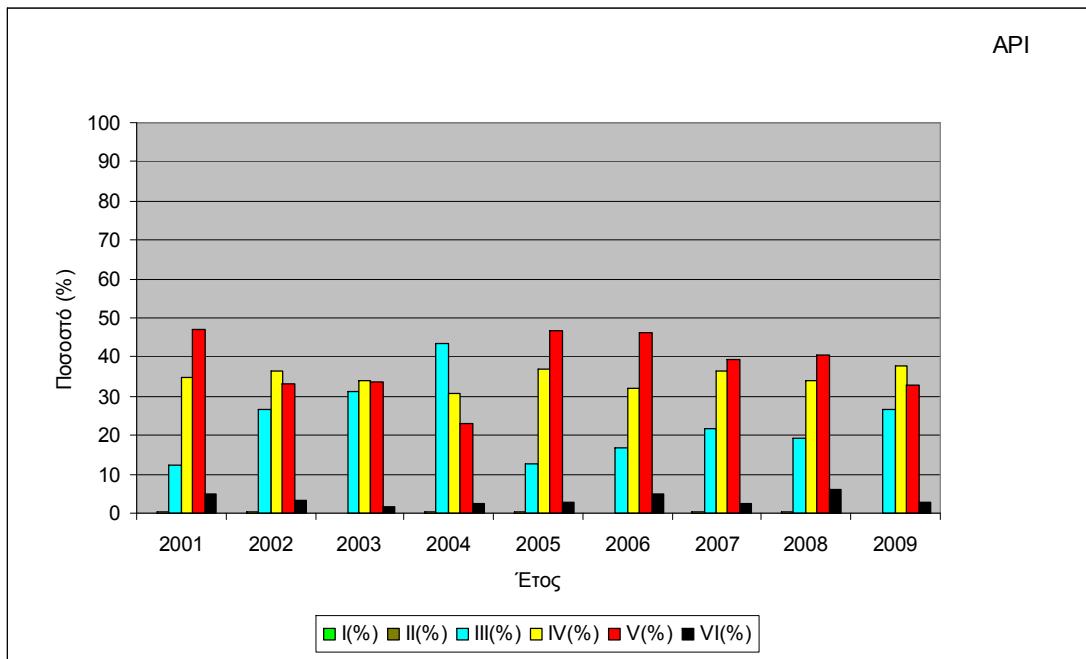
ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση υπήρξε ενεργή για τις κατηγορίες ποιότητας «καλή» (II) έως και «επαρκής» (IV) και κυμάνθηκε μεταξύ 26% και 3%.



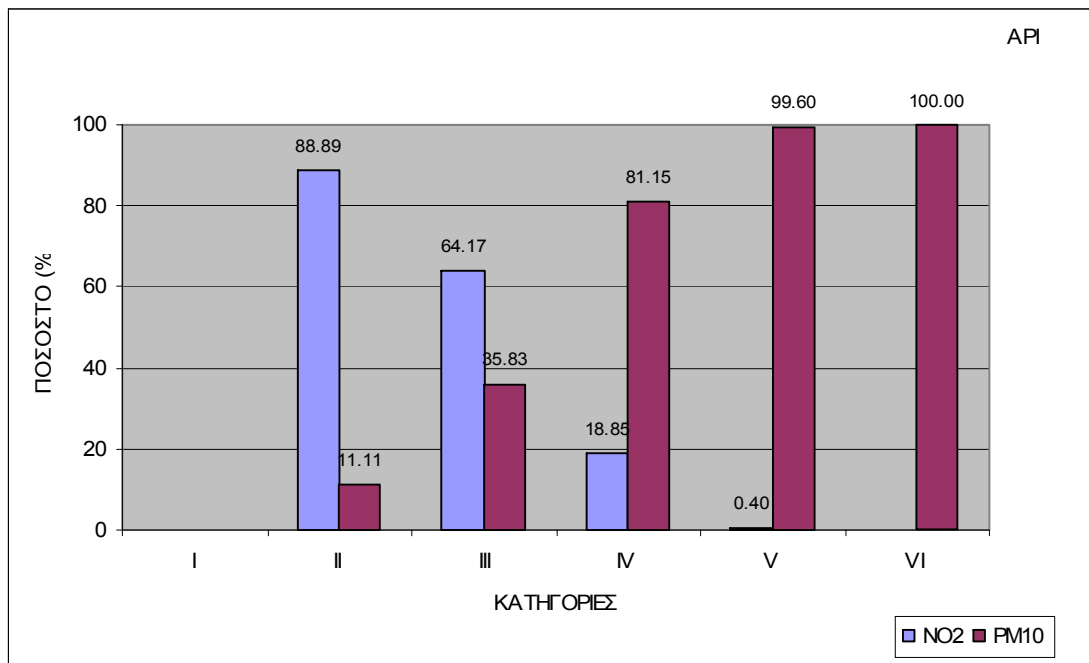
Σχήμα 4. 82. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΑΓΠ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

β. Σταθμός «Αριστοτέλους» (API)

Από το Σχήμα 4.83 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II) εμφανίζουν μικρή καθοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου 2004-2009. Επίσης, η κατηγορία «ικανοποιητική» (III) εμφανίζει σαφή καθοδική τάση σε αντίθεση με την κατηγορία «επαρκής» (IV) που διαχρονικά αυξάνει το ποσοστό εμφάνισής της. Επιπρόσθετα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας «κακή» (V) διαχρονικά αυξάνονται. Σαν συνέπεια όλων αυτών μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι στο συγκεκριμένο σταθμό, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, σταδιακά, η ποιότητα της ατμόσφαιρας υποβαθμίζεται.



Σχήμα 4. 83. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού API.



Σχήμα 4. 84. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό API, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

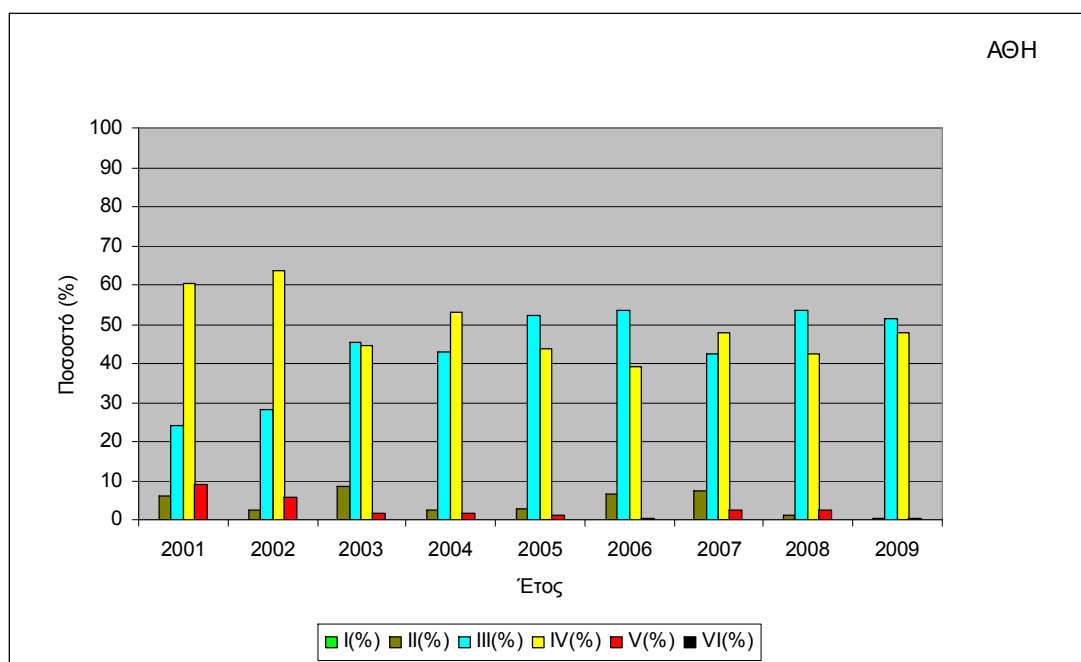
Από το Σχήμα 4.84 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της 9-ετούς περιόδου μελέτης του συγκεκριμένου σταθμού, το διοξείδιο του αζώτου ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «καλή» (II) μέχρι και «επαρκής» (IV), ενώ η συνεισφορά των PM_{10} είναι απόλυτα ενοχοποιητική για τις κατηγορίες «επαρκής» (IV) έως και «πολύ κακή» (VI) και κυμάνθηκε μεταξύ 81% και 100%. Τέλος, στο σύνολο της περιόδου μελέτης, η συνεισφορά του διοξειδίου του αζώτου περιορίζεται στο ~22% της διαμόρφωσης των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση ενώ η συνεισφορά των PM_{10} φτάνει στο ~77%.

γ. Σταθμός «Αθηνάς» (ΑΘΗ)

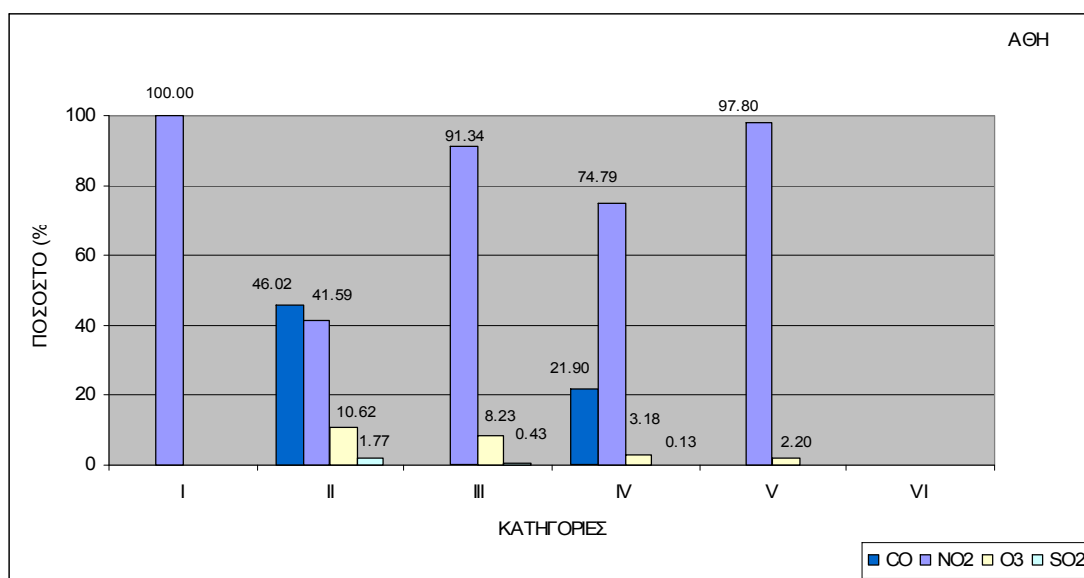
Από το Σχήμα 4.85 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «πολύ καλή» (I) εμφανίζουν σχετικά μικρή καθοδική τάση. Αντίθετα, η κατηγορία «καλή» (II) εμφανίζει σχετικά μικρή ανοδική τάση, σε αντίθεση με την κατηγορία «ικανοποιητική» (III) που εμφανίζει σαφή ανοδική τάση, στη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετίας. Τέλος, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» (IV) εμφανίζουν καθοδική τάση. Σαν συνέπεια όλων αυτών μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι στο συγκεκριμένο σταθμό, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, σταδιακά, η ποιότητα της ατμόσφαιρας εμφανίζει τελικά βελτίωση.

Από το Σχήμα 4.86 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου ήταν ο αποκλειστικά υπεύθυνος ρύπος (~79%) για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για όλες σχεδόν τις εμφανιζόμενες κατηγορίες ποιότητας. Εξαιρέση αποτελεί η κατηγορία «καλή» (II) στη διαμόρφωση της οποίας συνεισέφερε το

μονοξειδίου του άνθρακα, η συνεισφορά του δε στο σύνολο της περιόδου μελέτης έφτασε στο 12%.



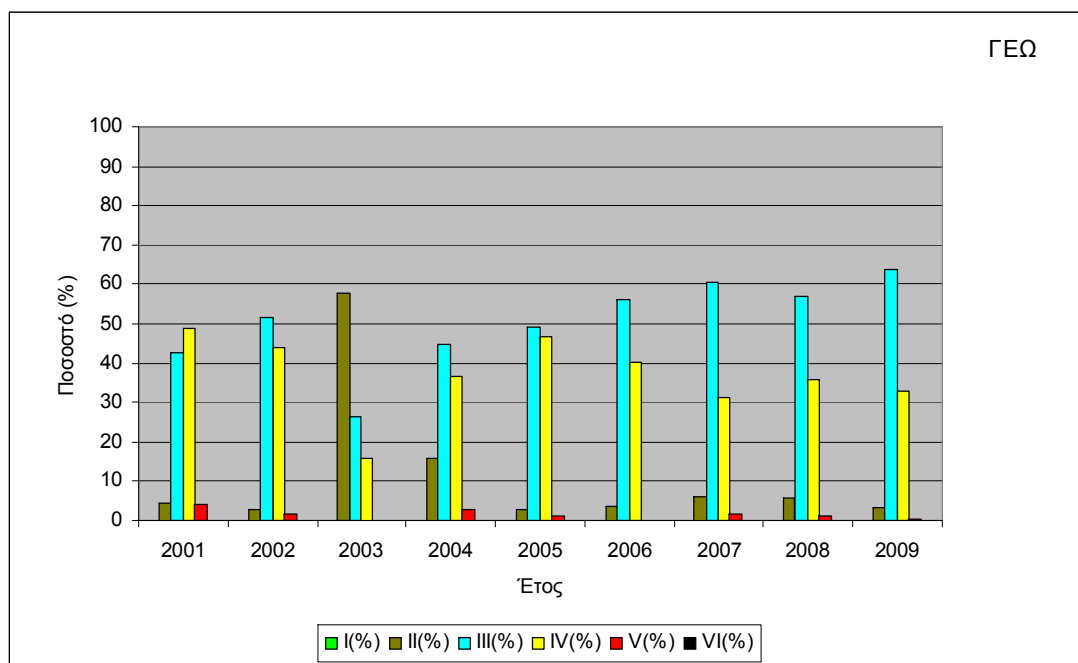
Σχήμα 4. 85. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΑΘΗ.



Σχήμα 4. 86. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΑΘΗ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Αποτέλεσμα της σχετικά πτωτικής συμπεριφοράς των υπεύθυνων ρύπων, είναι η εικόνα βελτίωσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας που εμφανίζεται στο συγκεκριμένο σταθμό, στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

δ. Σταθμός «Γεωπονική» (ΓΕΩ)

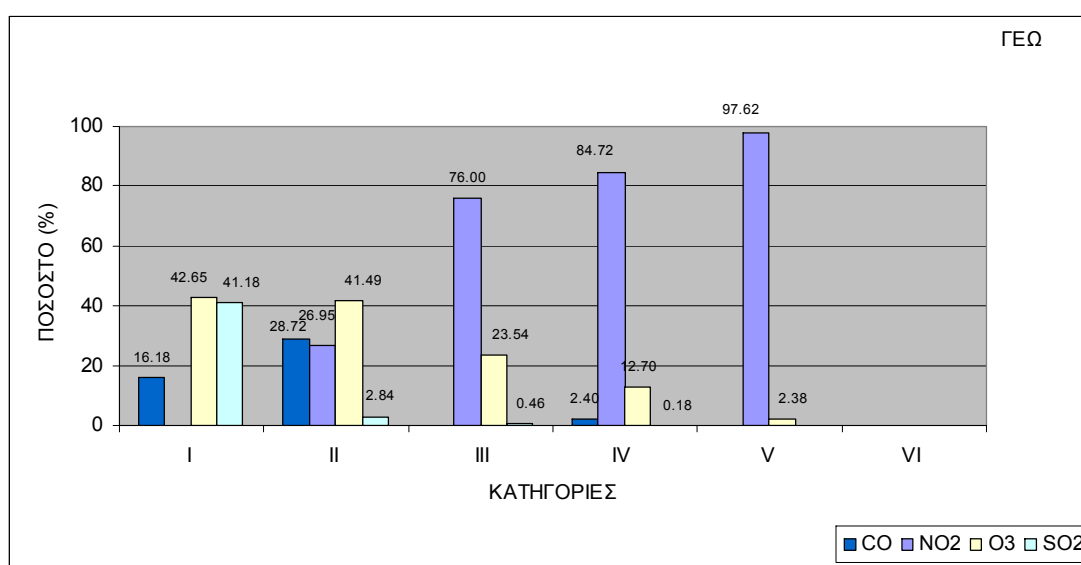


Σχήμα 4. 87. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΓΕΩ.

Από το Σχήμα 4.87 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως και στο σταθμό ΑΘΗ (Αθηνάς) οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «πολύ καλή» (I) εμφανίζουν καθοδική τάση. Η κατηγορία «καλή» (II), όσο και κατηγορία «ικανοποιητική» (III) εμφανίζουν σαφέστατα καθοδική και ανοδική τάση, αντίστοιχα, σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετίας. Τέλος, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» (IV) εμφανίζουν σαφή καθοδική τάση. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή σαν συνέπεια των διαχρονικών εξελίξεων όλων των εμφανιζόμενων κατηγοριών ποιότητας

της ατμόσφαιρας, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι στο συγκεκριμένο σταθμό, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, σταδιακά, η ποιότητα της ατμόσφαιρας εμφανίζει μικρή βελτίωση.

Από το Σχήμα 4.88 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου ήταν ο αποκλειστικά υπεύθυνος ρύπος (~68%) για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «ικανοποιητική» (III) έως και «κακή» (IV).

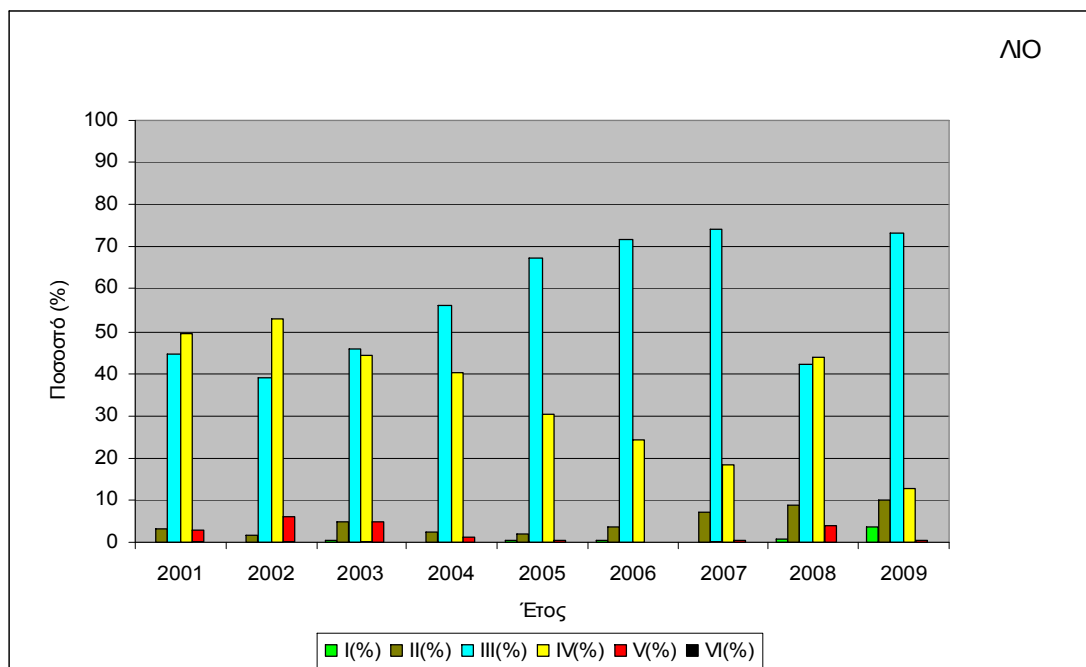


Σχήμα 4. 88. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΓΕΩ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Στις κατηγορίες «πολύ καλή» (I) και «καλή» (II) ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος διαδραμάτισε το επιφανειακό όζον, η υπευθυνότητα του οποίου στη διάρκεια της περιόδου μελέτης έφτασε στο ~20%, ενώ η συνολική συνεισφορά του μονοξειδίου του άνθρακα στο σύνολο της περιόδου μελέτης έφτασε στο ~4%. Αποτέλεσμα της συμπεριφοράς στην εξέλιξη των υπεύθυνων ρύπων, είναι η εικόνα βελτίωσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας που εμφανίζεται στο συγκεκριμένο σταθμό, στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

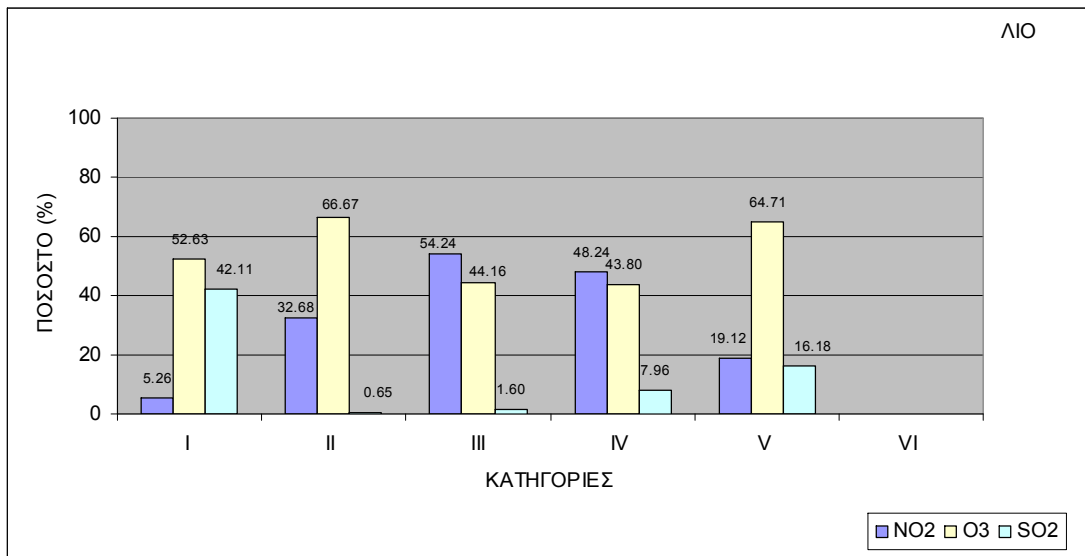
ε. Σταθμός «Λιόσια» (ΛΙΟ)

Από το Σχήμα 4.89 διαπιστώνεται ότι, προς το τέλος (2008-2009) της περιόδου μελέτης παρατηρείται εμφάνιση μικρών ετήσιων ποσοστών της κατηγορίας ποιότητας «πολύ καλή» (I). Επίσης, τόσο η κατηγορία «καλή» (II), όσο και η κατηγορία «ικανοποιητική» (III) εμφανίζουν ανοδική τάση στη διάρκεια της εξεταζόμενης 9-ετίας.



Σχήμα 4. 89. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΛΙΟ.

Όσο για τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» (IV), στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου εμφανίζει καθοδική μείωση, όπως επίσης όμοια συμπεριφορά εμφανίζουν τα ποσοστά της κατηγορίας «κακή» (V). Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιστατική θέση, που χαρακτηρίζεται και θέση υποβάθρου, εμφανίζει σταδιακή βελτίωση.

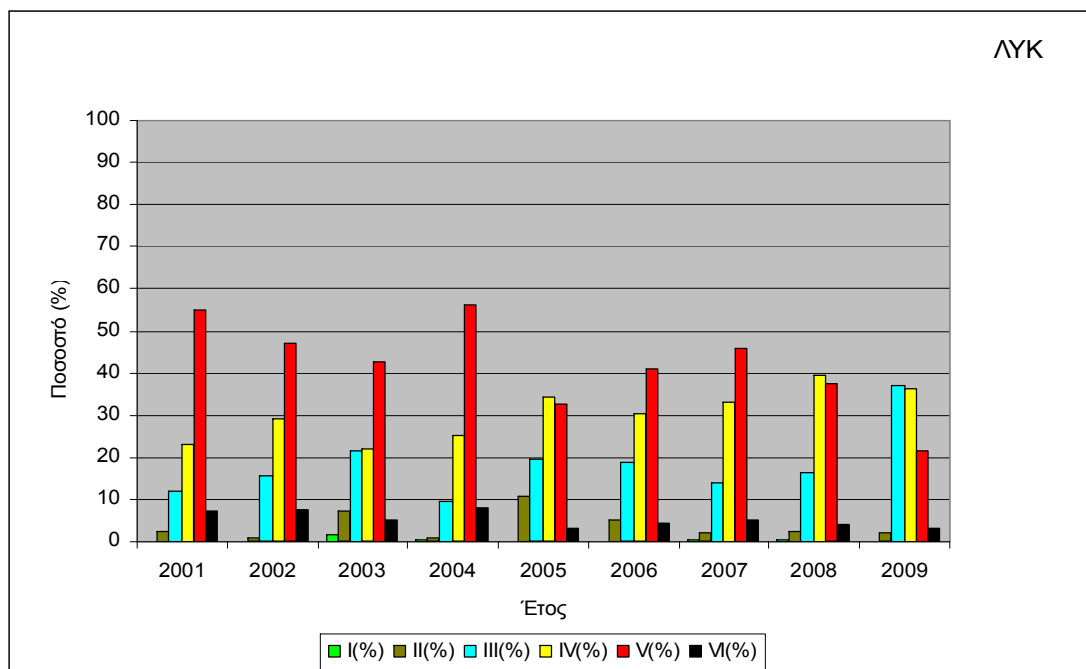


Σχήμα 4. 90. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΛΙΟ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

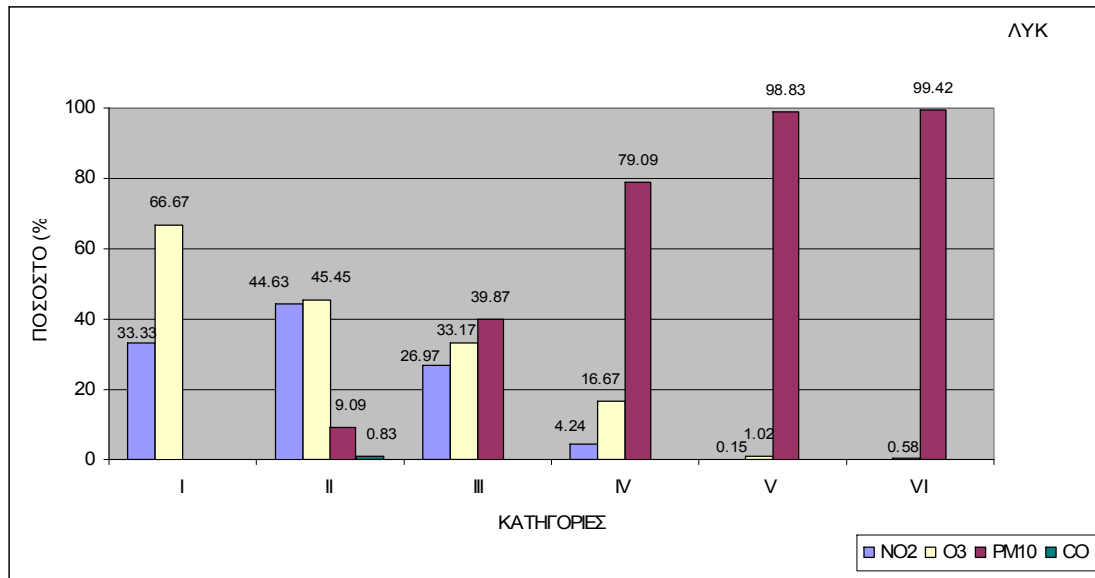
Από το Σχήμα 4.90 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «πολύ καλή» (I) έως και «κακή» (V), ενώ τα ποσοστά «υπευθυνότητας» του συγκεκριμένου ρύπου διαμορφώνονται κατά τη σειρά εμφάνισης των παραπάνω κατηγοριών ως εξής 53%-67%-44%-65%. Επίσης, η συνεισφορά του διοξειδίου του αζώτου είναι αρκετά καθοριστική στη διαμόρφωση των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση για τις ίδιες κατηγορίες με ποσοστά συμμετοχής που διαμορφώνονται ως εξής 5%-33%-54%-48%-19%, αντίστοιχα. Τέλος, το διοξείδιο του θείου συνέβαλε κατά 42% στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας για την κατηγορία «πολύ καλή» (I), κατά 8% για την κατηγορία «επαρκής» (IV) και κατά 16% την κατηγορία «κακή» (V), στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής.

στ. Σταθμός «Λυκόβρυση» (ΛΥΚ)

Από το Σχήμα 4.91 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II) εμφανίζουν καθοδική τάση. Επίσης, τόσο η κατηγορία «ικανοποιητική» (III), όσο και η κατηγορία «επαρκής» (IV) εμφανίζουν ανοδική τάση σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς περιόδου. Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI), σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης εμφανίζεται καθοδική. Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιαστική θέση, τείνει προς μικρή βελτίωση.



Σχήμα 4. 91. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΛΥΚ.



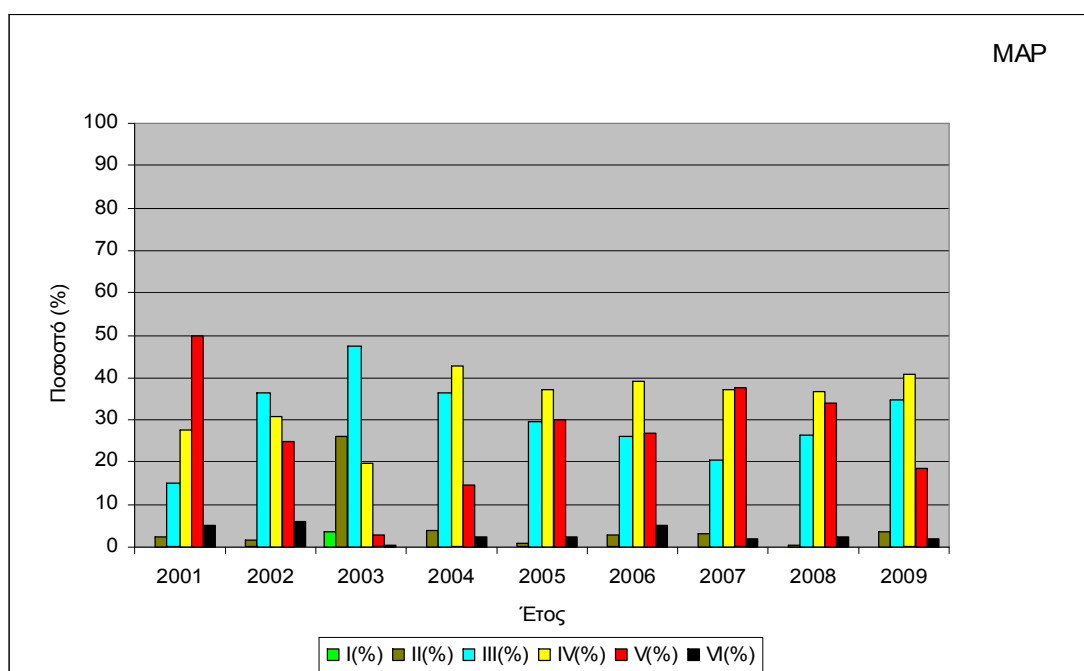
Σχήμα 4. 92. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΛΥΚ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Από το Σχήμα 4.92 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, τόσο διοξείδιο του αζώτου, όσο και το επιφανειακό όζον ήταν οι υπεύθυνοι ρύποι για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για την κατηγορία ποιότητας της ατμόσφαιρας «πολύ καλή» (I), για τις εννέα ημέρες στη διάρκεια των οποίων εμφανίστηκε η συγκεκριμένη κατηγορία ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Η συνεισφορά των δύο αυτών ρύπων είναι καθοριστική και στην περίπτωση της διαμόρφωσης των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση και για την κατηγορία «καλή» (II). Τέλος, η συνεισφορά των PM₁₀ στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «ικανοποιητική» (III) έως και «πολύ κακή» (VI), εξελίχθηκε ~40% - 79% - 99% - 99%, αντίστοιχα. Ειδικότερα, είναι ο αποκλειστικά υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη περιφερειακή θέση, για τις κατηγορίες «ικανοποιητική» (III), «επαρκής» (IV), «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI).

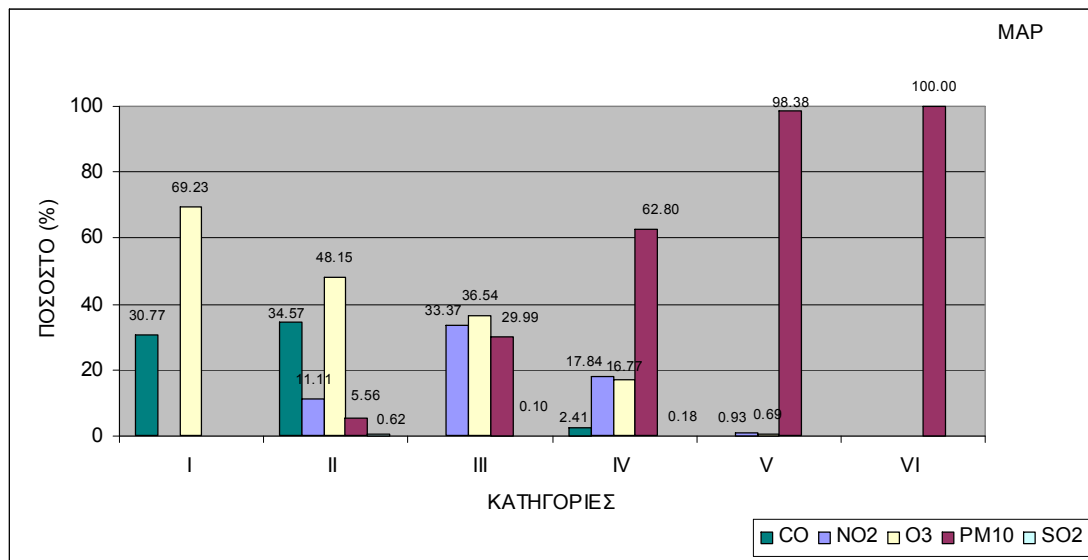
ζ. Σταθμός «Μαρούσι» (MAP)

Από το Σχήμα 4.93 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II) εμφανίζουν καθοδική τάση κατά τη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου. Παρόμοια είναι η συμπεριφορά της διαχρονικής εξέλιξης των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «ικανοποιητική» (III) που στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου η εξέλιξή τους είναι καθοδική. Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «επαρκής» (IV) εμφανίζουν ανοδική τάση. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI), σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης είναι καθοδική.

Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση που χαρακτηρίζεται από κυκλοφορία, είναι μάλλον σταθεροποιημένη στην κατηγορία «επαρκής», με πολύ μικρή τάση βελτίωσης.



Σχήμα 4. 93. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού MAP.

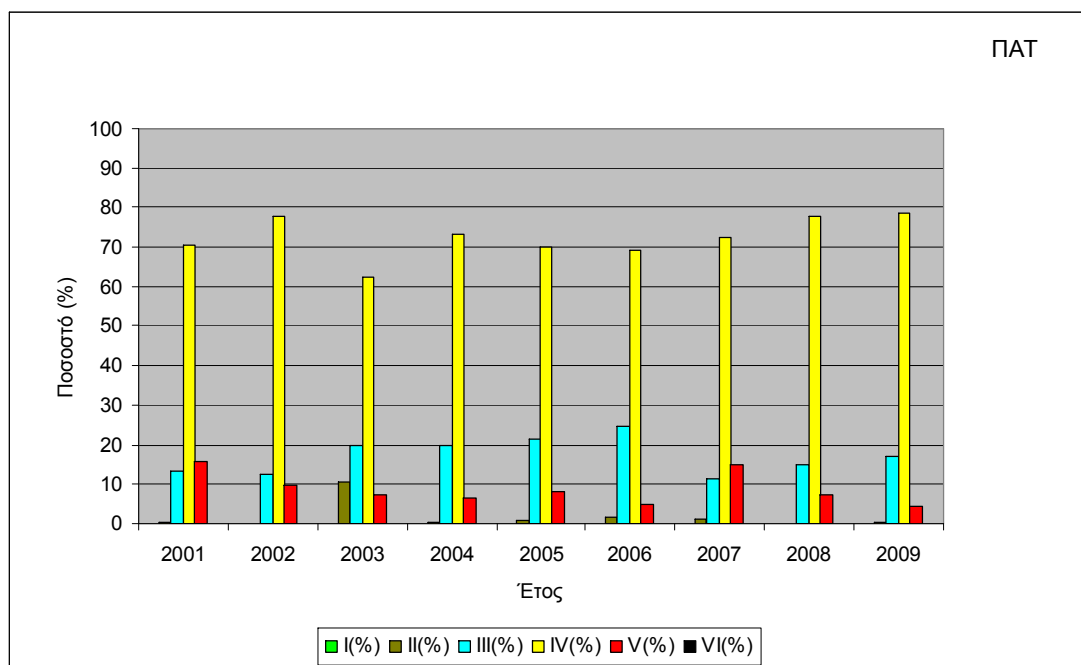


Σχήμα 4. 94. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό MAP, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική που χαρακτηρίζεται από κυκλοφορία. Αυτό αιτιολογεί και το γεγονός του σχετικά καθοριστικού ρόλου των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα (Σχήμα 4.94) στον καθορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «πολύ καλή» (I) (~31%) και «καλή» (II) (~35%), ενώ για την κατηγορία «επαρκής» (IV) περιορίζεται μόλις στο ~2%. Από το Σχήμα 4.94 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το επιφανειακό όζον ήταν ο υπεύθυνος ρύπος για τον απόλυτο καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «πολύ καλή» (I), «καλή» (II) και «ικανοποιητική» (III) με ποσοστά «υπευθυνότητας» ~69%, ~48% και ~37%, αντίστοιχα. Τέλος, απόλυτα καθοριστική είναι η συνεισφορά των PM₁₀ στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «επαρκής» (IV), «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI), που ήταν ~63%, ~98% και 100%, αντίστοιχα.

η. Σταθμός «Πατησίων» (ΠΑΤ)

Από το Σχήμα 4.95 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009 ουσιαστική τιμή του ετήσιου ποσοστού της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II) εμφανίζεται κατά το έτος 2003.

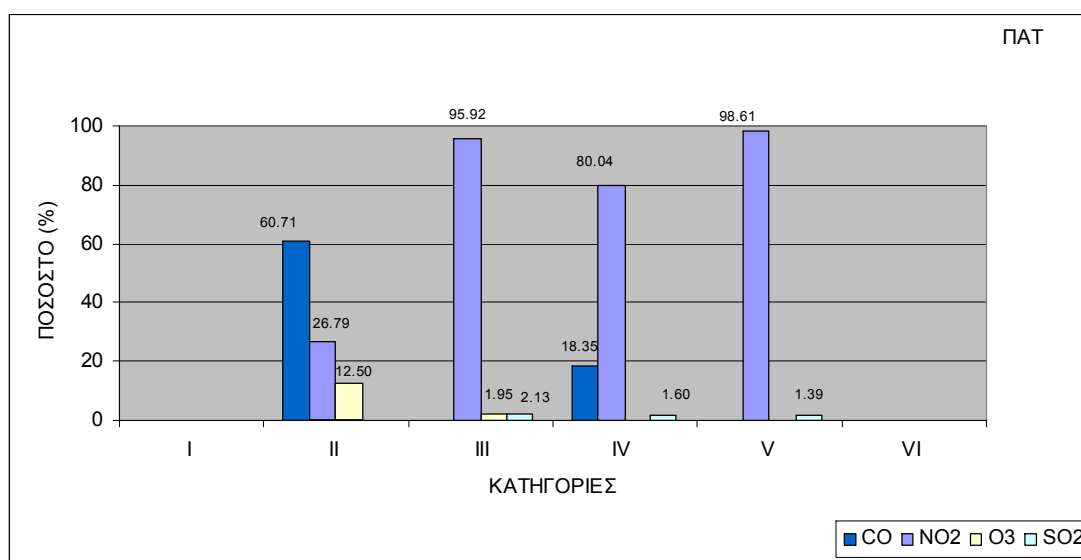


Σχήμα 4. 95. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΑΤ.

Η συμπεριφορά της διαχρονικής εξέλιξης των ποσοστών εμφάνισης τόσο της κατηγορίας «ικανοποιητική» (III), όσο και της κατηγορίας «επαρκής» (IV) εμφανίζουν ανοδική τάση σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς περιόδου. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «κακή» (V) σε ολόκληρη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης είναι καθοδική. Όλα τα παραπάνω ευρήματα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση που χαρακτηρίζεται από κυκλοφορία, εμφανίζει τάση βελτίωσης.

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική που χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία. Αυτό αιτιολογεί και το γεγονός του ρόλου των

συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα (Σχήμα 4.96) στον καθορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, σε ποσοστό ~61% για τις κατηγορία «καλή» (II). Είναι γνωστό ότι ο συγκεκριμένος ρύπος εμφανίζει έντονη πτωτική τάση (Paliatsos et al. 2002) στοιχείο που αιτιολογεί τη διαχρονική αποενοχοποίησή του.



Σχήμα 4. 96. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΠΑΤ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

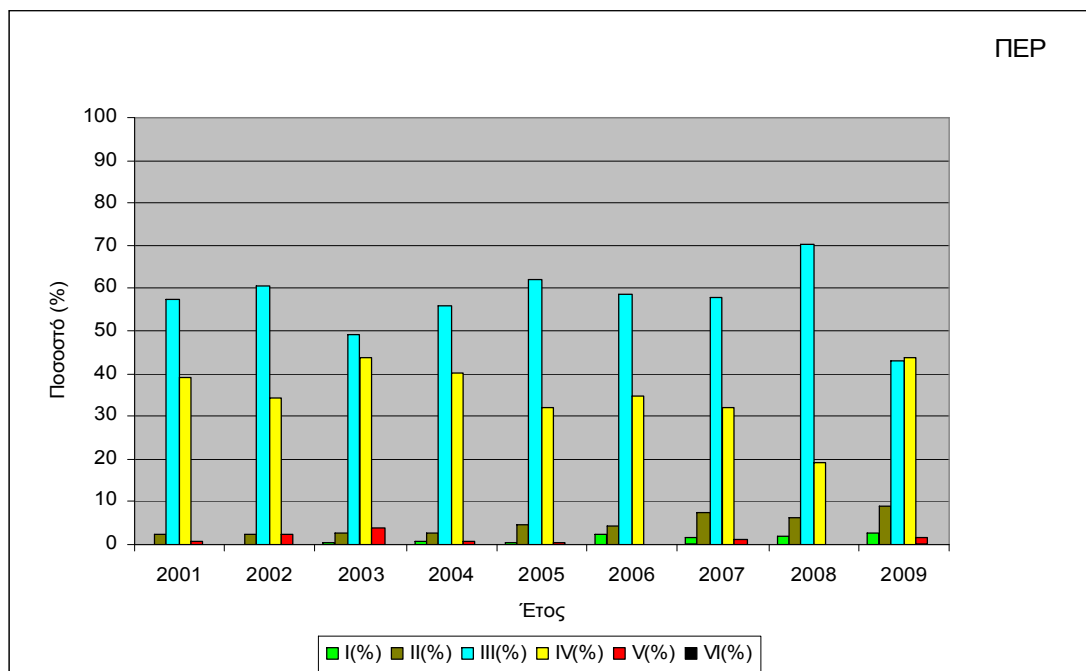
Ο χαρακτήρας του σταθμού αιτιολογεί απόλυτα τον καθοριστικό ρόλο του διοξειδίου του αζώτου σαν υπεύθυνου ρύπου στη διαμόρφωση των επιπέδων ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες «ικανοποιητική» (III), «επαρκής» (IV) και «κακή» (V) σε ποσοστά 96%, 80% και ~99%, αντίστοιχα.

Από τον Πίνακα 4.2.1 γνωρίζουμε ότι οι θέσεις καταγραφής API και ΠΑΤ έχουν τον ίδιο ακριβώς χαρακτηρισμό (αστικοί – κυκλοφορίας) και είναι αρκετά γειτονικές. Παρόλα αυτά, έχει διαπιστωθεί ότι στο σταθμό API, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, σταδιακά, η ποιότητα της ατμόσφαιρας υποβαθμίζεται. Αντίθετα, όλα τα ευρήματα που σχετίζονται με το σταθμό ΠΑΤ, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση εμφανίζει τάση βελτίωσης. Αυτή η ουσιαστική διαφοροποίηση της διαχρονικής εξέλιξης της

ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή του σταθμού ΠΑΤ, μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι δεν καταγράφονται τα PM_{10} , που είναι ρύπος αιχμής για τη συγκεκριμένη αστική θέση με έντονη κυκλοφορία.

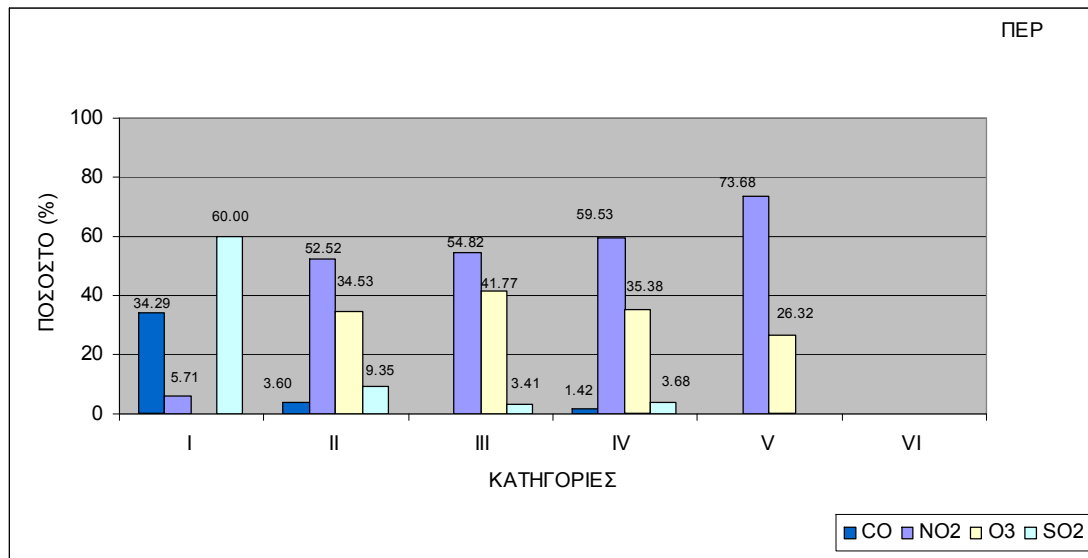
θ. Σταθμός «Περιστέρι» (ΠΕΡ)

Από το Σχήμα 4.97 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «πολύ καλή» (I) εμφανίζουν ανοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «καλή» (II) και «ικανοποιητική» (III) εμφανίζονται με ανοδική τάση σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς περιόδου. Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης τόσο της κατηγορίας «επαρκής» (IV), όσο και της κατηγορίας «κακή» (V) καθοδική τάση.



Σχήμα 4. 97. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΡ.

Τα ευρήματα αυτά, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση υποβάθρου, εμφανίζει τάση βελτίωσης.



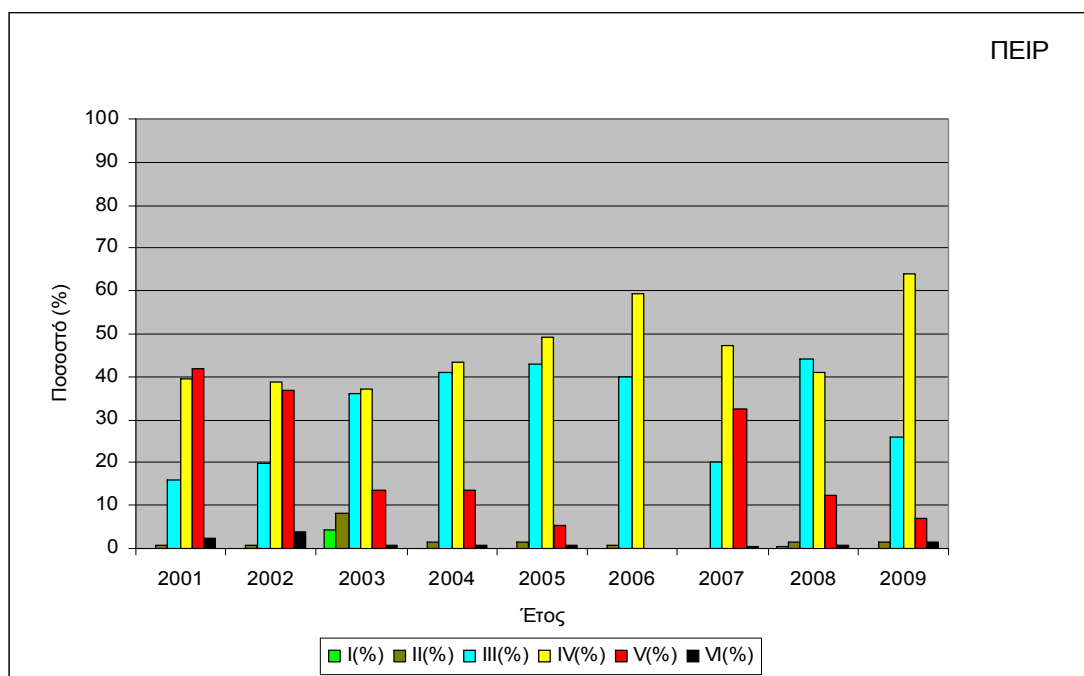
Σχήμα 4. 98. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΠΕΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική και χαρακτηρίζεται σαν θέση υποβάθρου. Από το Σχήμα 4.98 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, οι πρωτογενείς ρύποι μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του αζώτου είναι οι καθοριστικοί ρύποι ιστη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής, για την κατηγορία ποιότητας «πολύ καλή», χωρίς όμως να εμπλέκονται στη διαμόρφωση των υπόλοιπων κατηγοριών ποιότητας της ατμόσφαιρας, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην πτωτική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των συγκεκριμένων ρύπων (ΥΠΕΚΑ 2010). Στις υπόλοιπες κατηγορίες ποιότητας, οι οποίες εμφανίζονται, «καλή» (II) - «ικανοποιητική» (III) - «επαρκής» (IV) και «κακή» (V), είναι απόλυτη η ενοχοποίηση του διοξειδίου του αζώτου σαν υπεύθυνου ρύπου σε ποσοστά ~53%-~55%- ~60% και ~74%, αντίστοιχα. Τέλος, το επιφανειακό όζον δεν εμφανίζει δευτερεύοντα ρόλο στον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις παραπάνω κατηγορίες, στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής που χαρακτηρίζεται ως αστική-υποβάθρου.

ι. Σταθμός «Πειραιάς» (ΠΕΙΡ)

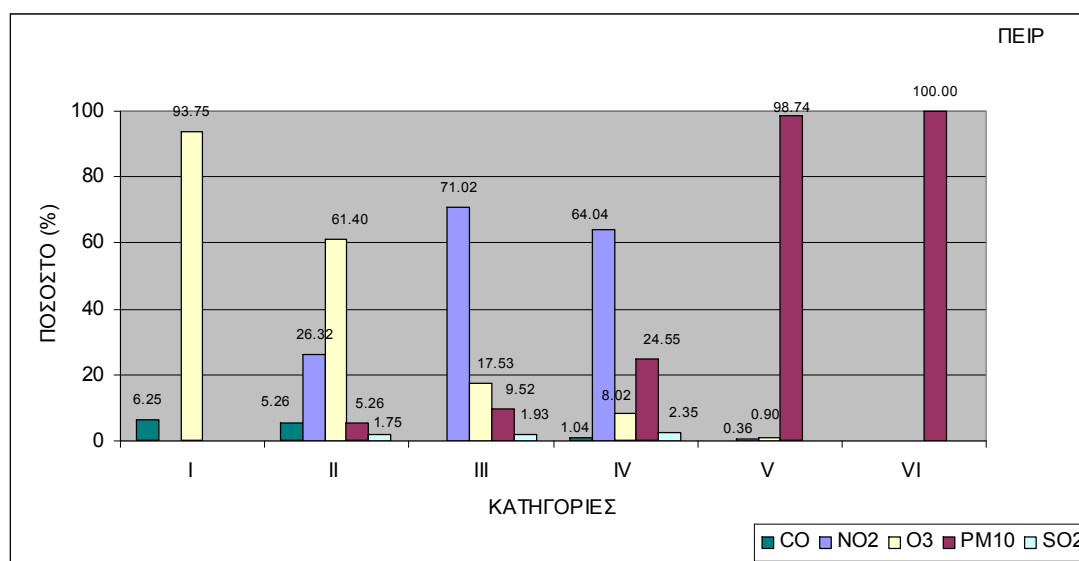
Από το Σχήμα 4.99 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, η κατηγορία ποιότητας «πολύ καλή» (I) ουσιαστικά εμφανίζεται μόνο το έτος 2003. Επίσης, οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II), που είναι μικρές με εξαίρεση και στην περίπτωση αυτή το έτος 2003, εμφανίζουν καθοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου μελέτης.

Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης τόσο της κατηγορίας «ικανοποιητική» (III), όσο και της κατηγορίας «επαρκής» (IV), εμφανίζονται με ανοδική τάση σχεδόν σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς περιόδου. Τέλος, καθοδική συμπεριφορά εμφανίζει η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI) στη διάρκεια της περιόδου μελέτης.



Σχήμα 4. 99. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΠΕΙΡ.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση που χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία, κυμαίνεται μεταξύ «ικανοποιητικής» (III) και «επαρκούς» (IV).



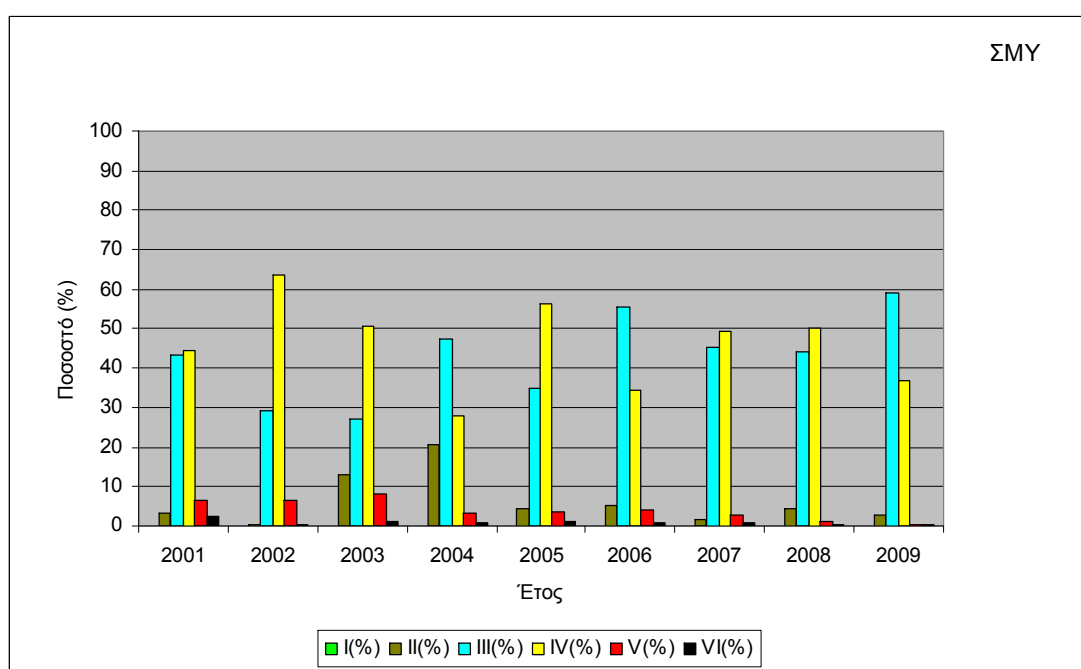
Σχήμα 4. 100. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΠΕΙΡ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη θέση καταγραφής είναι αστική και χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία. Από το Σχήμα 4.100 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου είναι ο καθοριστικός ρύπος στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας για τις κατηγορίες ποιότητας «ικανοποιητική» (III) και «επαρκής» (IV) μάλιστα με ποσοστό υπευθυνότητας 71% και 54%, αντίστοιχα.

Το επιφανειακό όζον, λόγω του χαρακτηρισμού της θέσης καταγραφής -αστική με έντονη κυκλοφορία- είναι ο απόλυτα υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού της περιβάλλοντος «πολύ καλή» (I) και «καλή» (II) με πολύ αριθμό ημερών εμφάνισης (~10%) κατά τη της θερμή περίοδο του έτους, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Τέλος, απόλυτα καθοριστική είναι η συνεισφορά των PM₁₀ στη

διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τις κατηγορίες «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI), που ήταν ~99% και 100%, αντίστοιχα. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η περιορισμένη συνεισφορά των PM₁₀ οφείλεται στο σχετικά περιορισμένο χρόνο λειτουργίας του σχετικού αναλυτή. Συνεχής λειτουργία μετά το έτος 2007 (ΥΠΕΚΑ 2010).

ια. Σταθμός «Ν. Σμύρνη» (ΣΜΥ)



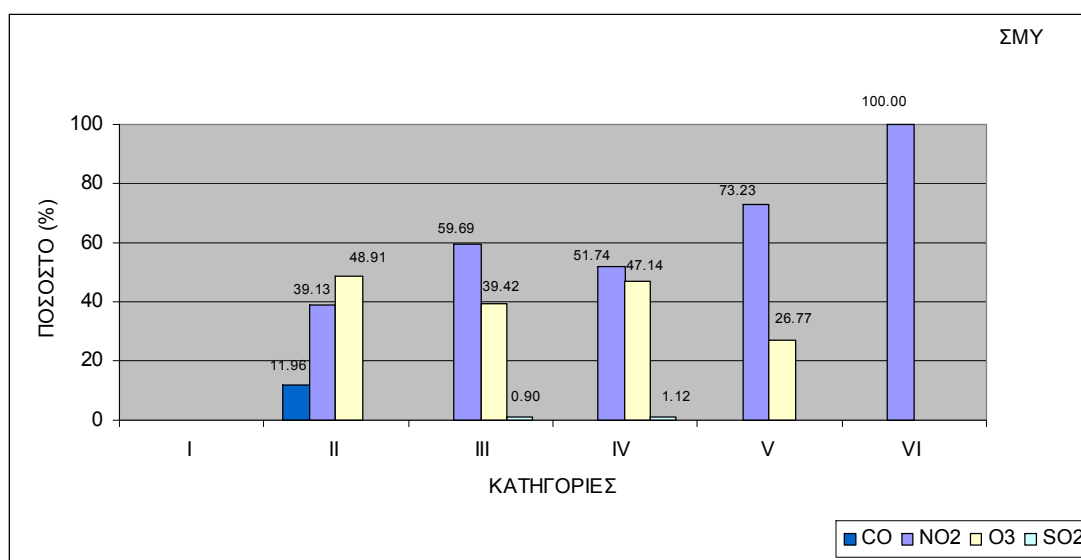
Σχήμα 4. 101. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΣΜΥ.

Από το Σχήμα 4.101 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II) εμφανίζουν μικρή καθοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «ικανοποιητική» (III) παρουσιάζει έντονη ανοδική τάση στην υπό μελέτη 9-ετή περίοδο. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «επαρκής» (IV), «κακή» (V) και

«πολύ κακή» (VI), εμφανίζεται καθοδική στη διάρκεια της περιόδου μελέτης, εμφανίζει καθοδική συμπεριφορά. Οι παραπάνω διαπιστώσεις, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη αστική θέση υποβάθρου, βρίσκεται στην κατηγορία «ικανοποιητική» (III) με τάση βελτίωσης.

Η συγκεκριμένη θέση καταγραφής χαρακτηρίζεται ως αστική-υποβάθρου και δεν καταγράφονται τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀. Από το Σχήμα 4.102 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το διοξείδιο του αζώτου είναι ο καθοριστικός ρύπος στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη θέση καταγραφής, για τις κατηγορίες ποιότητας «ικανοποιητική» (III) μέχρι και «πολύ κακή» (VI).

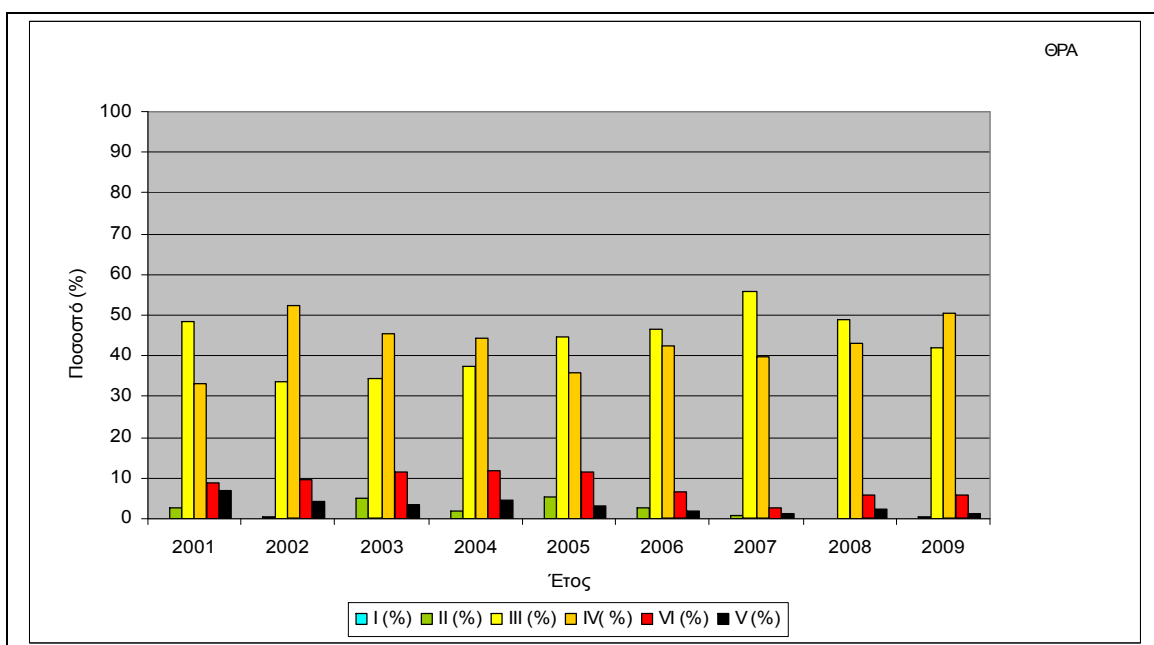
Το επιφανειακό όζον, είναι ο απόλυτα υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για την κατηγορία ποιότητας «καλή» (II) και η καθοριστική συνεισφορά του ανέρχεται στο 49%, ενώ δευτερευόντως συμμετέχει και στη διαμόρφωση των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «ικανοποιητική» (III) μέχρι και «κακή» (V).



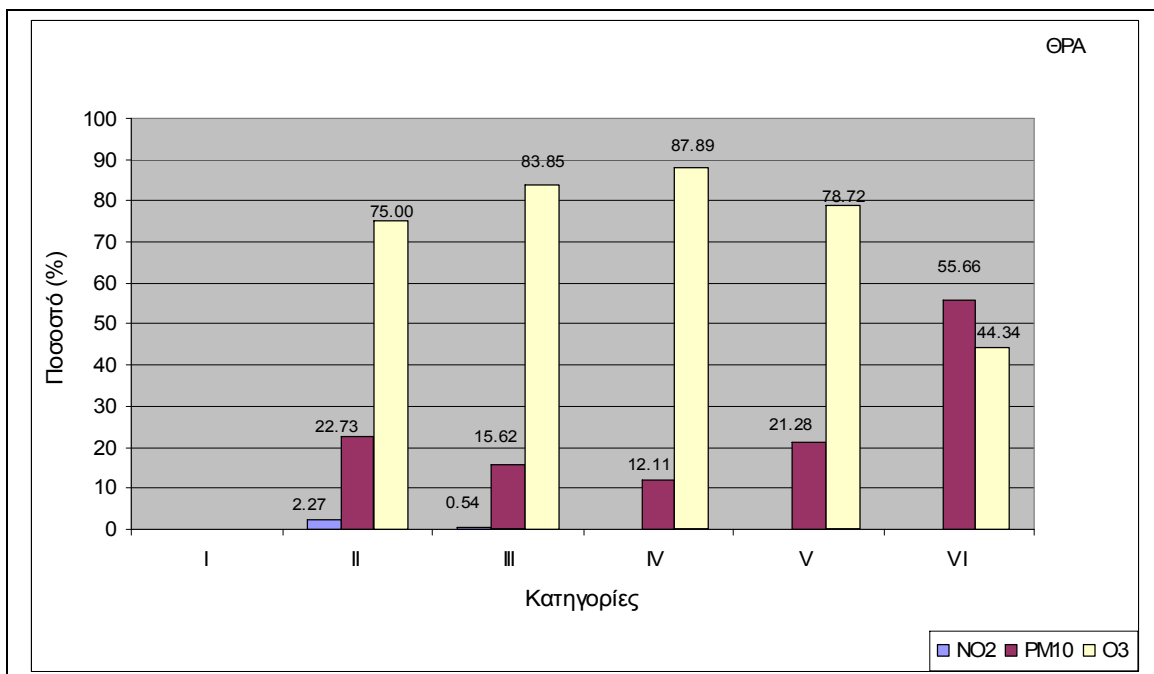
Σχήμα 4. 102. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΣΜΥ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

ιβ. Σταθμός «Θρακομακεδόνες» (ΘΡΑ)

Από το Σχήμα 4.103 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009, όπως οι τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας ποιότητας «καλή» (II), που είναι πολύ μικρές, δεν εμφανίζουν κάποιας μορφής τάση στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης της κατηγορίας «ικανοποιητική» (III) εμφανίζει έντονη ανοδική τάση στην υπό μελέτη 9-ετή περίοδο. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των κατηγοριών «επαρκής» (IV), «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI), εμφανίζεται της ίδιας μορφής, καθοδική, στην υπό μελέτη περίοδο. Οι διαπιστώσεις αυτές, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στη συγκεκριμένη περιστατική θέση υποβάθρου, κυμαίνεται στο επίπεδο της «ικανοποιητικής» (III) με τάση βελτίωσης.



Σχήμα 4. 103. Διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης της κάθε εμφανιζόμενης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω του δείκτη DAQx, για την περίοδο 2001-2009, στην περιοχή του σταθμού ΘΡΑ.



Σχήμα 4. 104. Ποσοστών συμμετοχής, κάθε εμπλεκόμενου ρύπου, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του DAQx στο σταθμό ΘΡΑ, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2009.

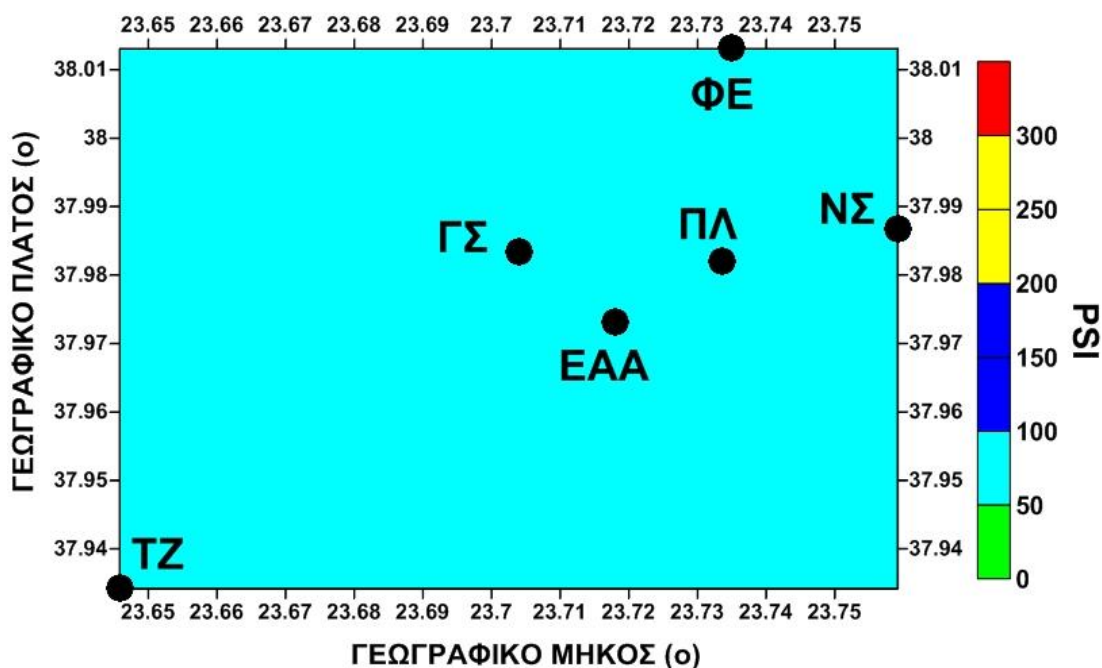
Η συγκεκριμένη θέση καταγραφής χαρακτηρίζεται ως περιαστική-υποβάθρου. Από το Σχήμα 4.104 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό, το επιφανειακό όζον, είναι ο απόλυτα υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για τις κατηγορίες ποιότητας «καλή» (II) έως και «επαρκής» (IV) με καθοριστική συνεισφορά που κυμαίνεται μεταξύ του 79% και του 55%. Η απόλυτη αυτή ενοχοποίηση του επιφανειακού όζοντος αποδίδεται στα χαρακτηριστικά της θέσης καταγραφής, δηλαδή την πολύ μικρή κυκλοφορία αυτοκινήτων, άρα ανυπαρξία εκπομπών ρύπων που οφείλονται στην κυκλοφορία -κυρίως NO_x- και οι οποίοι λειτουργούν ως καταστροφείς του. Τέλος, απόλυτα καθοριστική είναι η συνεισφορά των PM₁₀ στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας για τις κατηγορίες «κακή» (V) και «πολύ κακή» (VI), με καθοριστική συνεισφορά 75% και ~88%, αντίστοιχα.

5. Χωρική κατανομή των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ΕΠΑ

5.1 Χρονική περίοδος 1971-1983

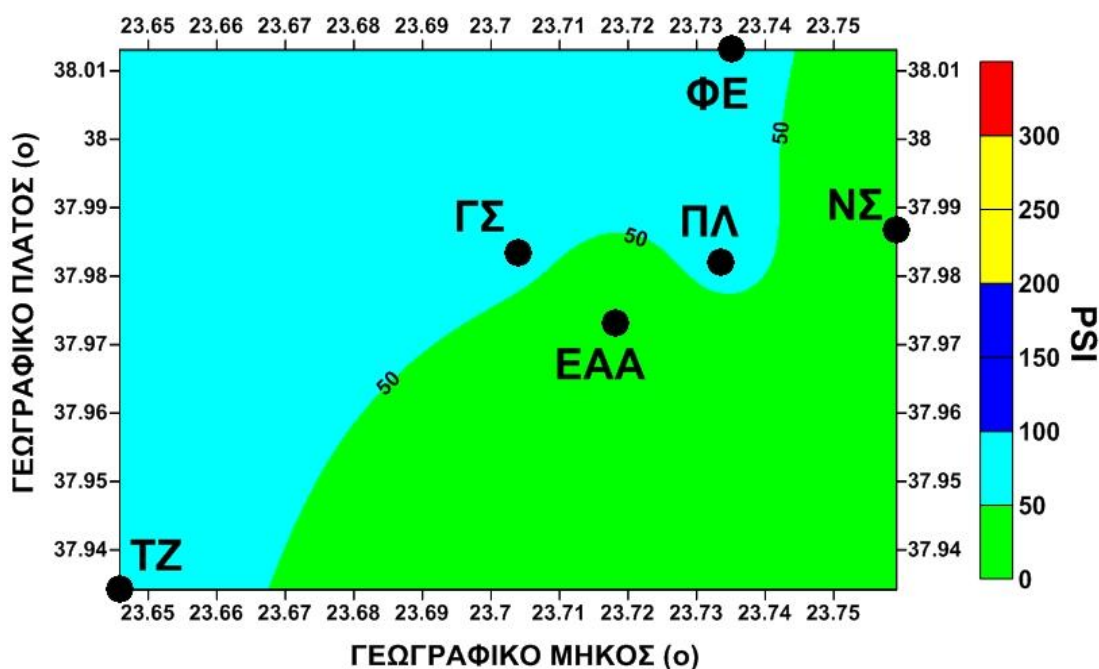
Η χωρική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών του δείκτη PSI κάθε εποχής του έτους, όσο και της μέσης ετήσιας στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1971–1983, εμφανίζεται στα Σχήματα 5.1–5.5.

Ειδικότερα, για κάθε εποχή παρουσιάζεται ο κεντρικός της μήνας. Δηλαδή ο Ιανουάριος (Σχήμα 5.1) για το χειμώνα, ο Απρίλιος (Σχήμα 5.2) για την άνοιξη, ο Ιούλιος (Σχήμα 5.3) για το καλοκαίρι και ο Οκτώβριος (Σχήμα 5.4) για το φθινόπωρο. Από τα σχήματα αυτά διαπιστώνεται ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τόσο στο κέντρο, όσο και στην περιφέρεια, είναι περίπου σταθερή και κυμαίνεται μεταξύ «καλής» και «μέτριας», σε όλη τη διάρκεια του έτους. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Ιανουάριος - Σχήμα 5.1) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «μέτριας» τόσο στο κέντρο της πόλης, όσο και στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ (Πειραιάς – Τζάνειο).



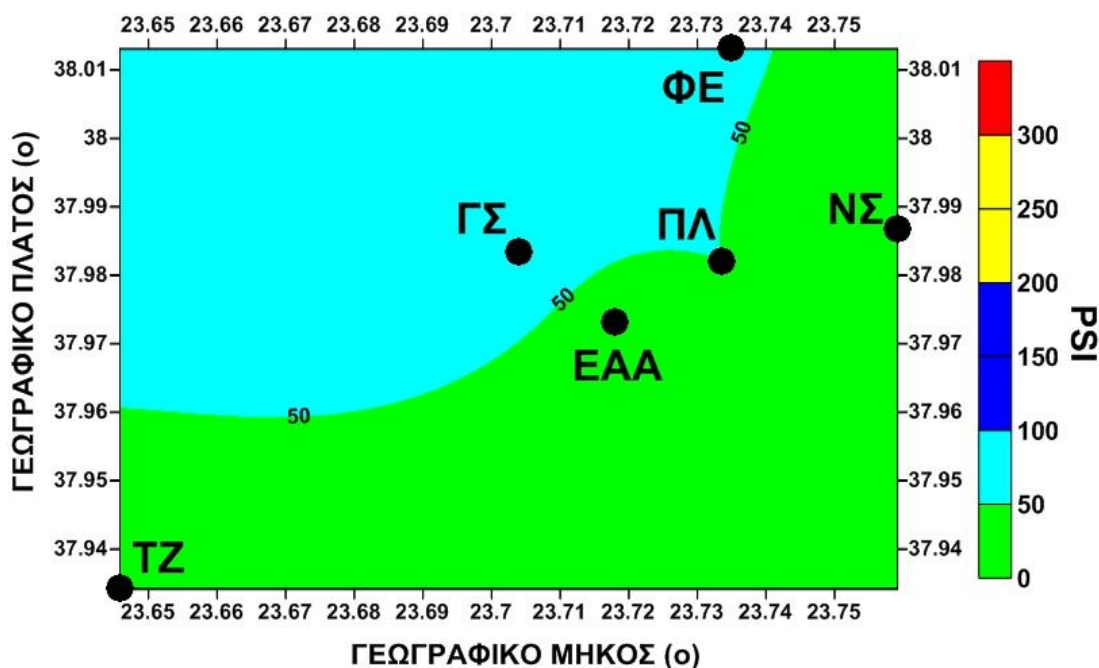
Σχήμα 5. 1. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.

Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Απρίλιος - Σχήμα 5.2) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της μεν «μέτριας» τόσο σε περιοχές της πόλης με εμπορική δραστηριότητα (ΠΛ) καθώς και σε αστικές περιοχές με έντονη κυκλοφορία (ΦΕ - TZ), όσο σε περιοχές με βιομηχανική-βιοτεχνική δραστηριότητα (ΓΣ). Αντίθετα, σε αραιοκατοικημένες περιοχές (ΕΑΑ) και σε αυτές με καλύτερο αερισμό (ΝΣ), η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος διατηρείται στο επίπεδο της «καλής».

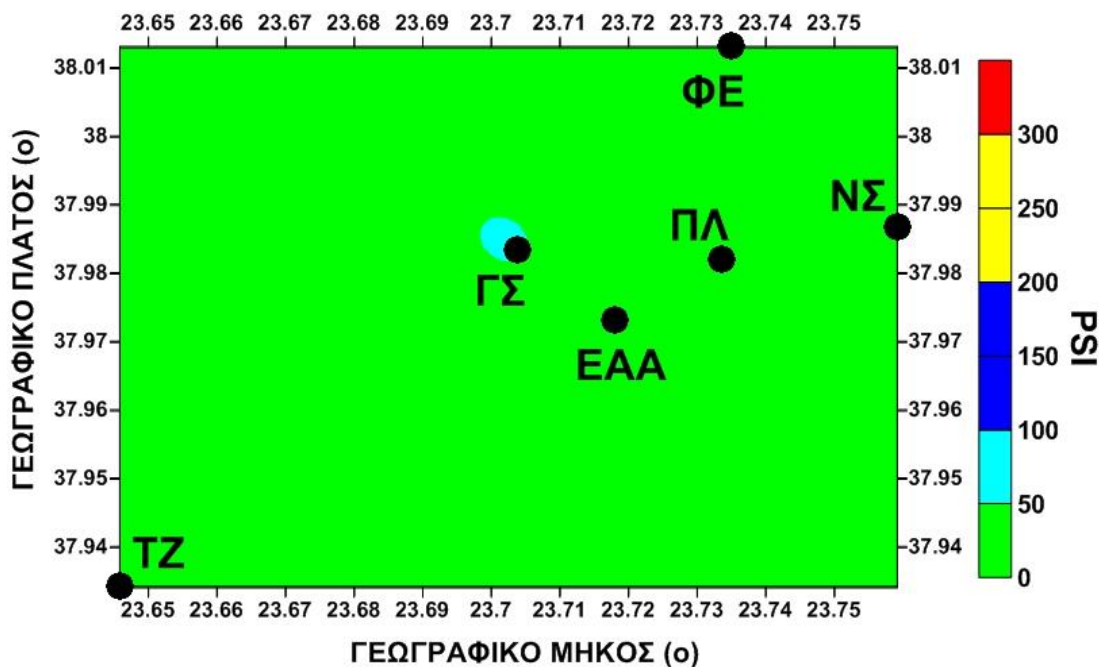


Σχήμα 5. 2. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.

Κατά τη διάρκεια του θέρους (Ιούλιος - Σχήμα 5.3) η ποιότητα της ατμόσφαιρας εμφανίζει σχεδόν την ίδια μορφή με αυτή του αντιπροσωπευτικού μήνα της άνοιξης (Σχήμα 5.2). Μοναδική διαφοροποίηση εμφανίζει η περιοχή του Πειραιά (TZ) όπου η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος διατηρείται στο επίπεδο της «καλής», γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στη δραστηριότητα των πηγών του υπεύθυνου ρύπου (μείωση των εκλύσεων διοξειδίου του θείου από παύση λειτουργίας των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης) όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία (Kambezidis and Papanikolaou 1988, Paliatsos 1996, 1998).



Σχήμα 5. 3. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.

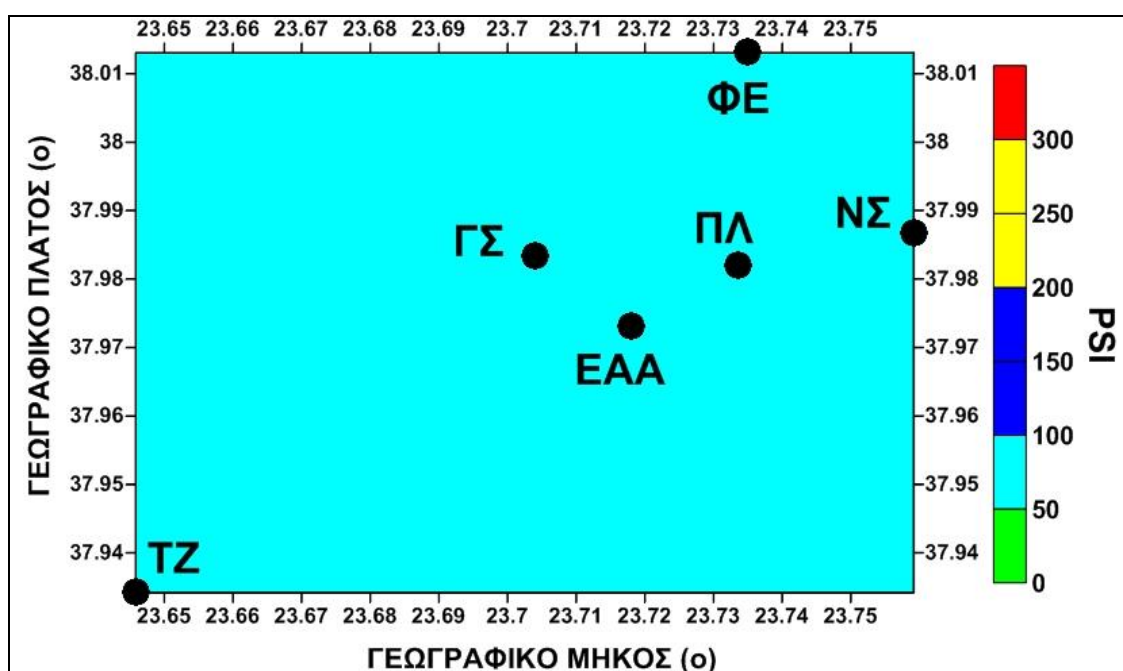


Σχήμα 5. 4. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.

Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Οκτώβριος - Σχήμα 5.4) διαπιστώνεται ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τόσο στο κέντρο, όσο και στην περιφέρεια, είναι περίπου σταθερή και κυμαίνεται στο επίπεδο της «καλής». Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο

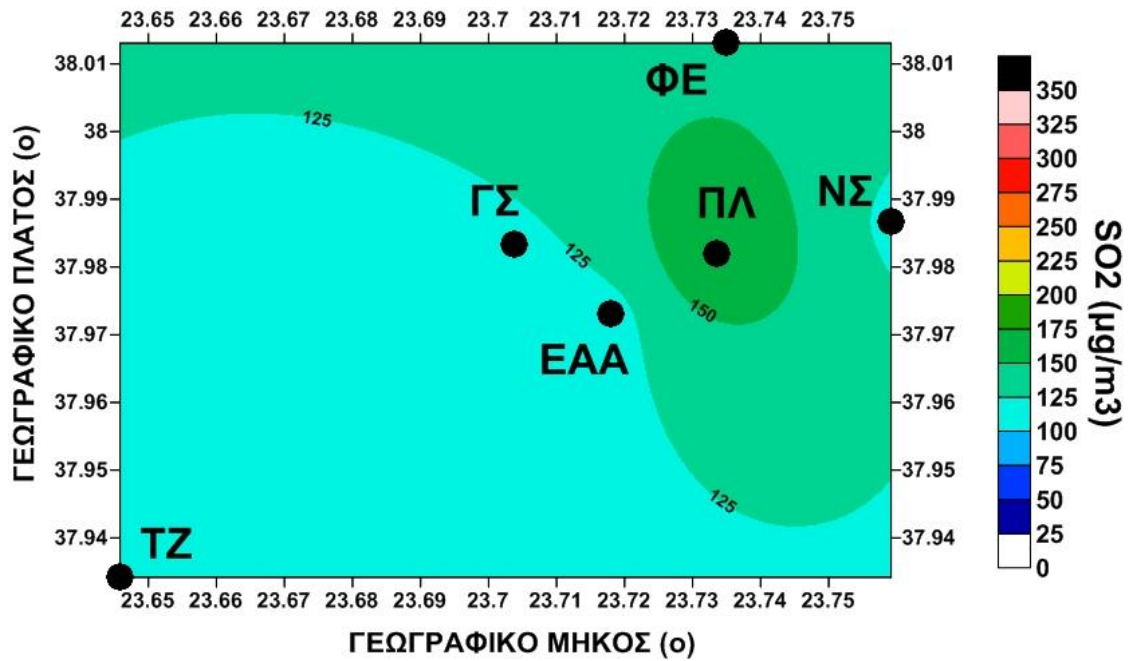
σταθμός ΓΣ που βρίσκεται σε περιοχή με βιομηχανική-βιοτεχνική δραστηριότητα, με συνέπεια οι πηγές (λειτουργία των μονάδων αυτών) να εμφανίζουν σταθερή δραστηριότητα σε ολόκληρη τη διάρκεια του έτους, γεγονός που επαληθεύεται και από τη βιβλιογραφία (Kambezidis and Papanikolaou 1988, Paliatsos 1998).

Τέλος, η χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων τιμών του δείκτη ποιότητας της ατμόσφαιρας σ' ολόκληρη την υπό μελέτη περιοχή (Σχήμα 5.5) διατηρείται στο επίπεδο της «μέτριας» και ταυτίζεται με την αντίστοιχη εικόνα χωρικής κατανομής του αντιπροσωπευτικού μήνα του χειμώνα (Σχήμα 5.1).

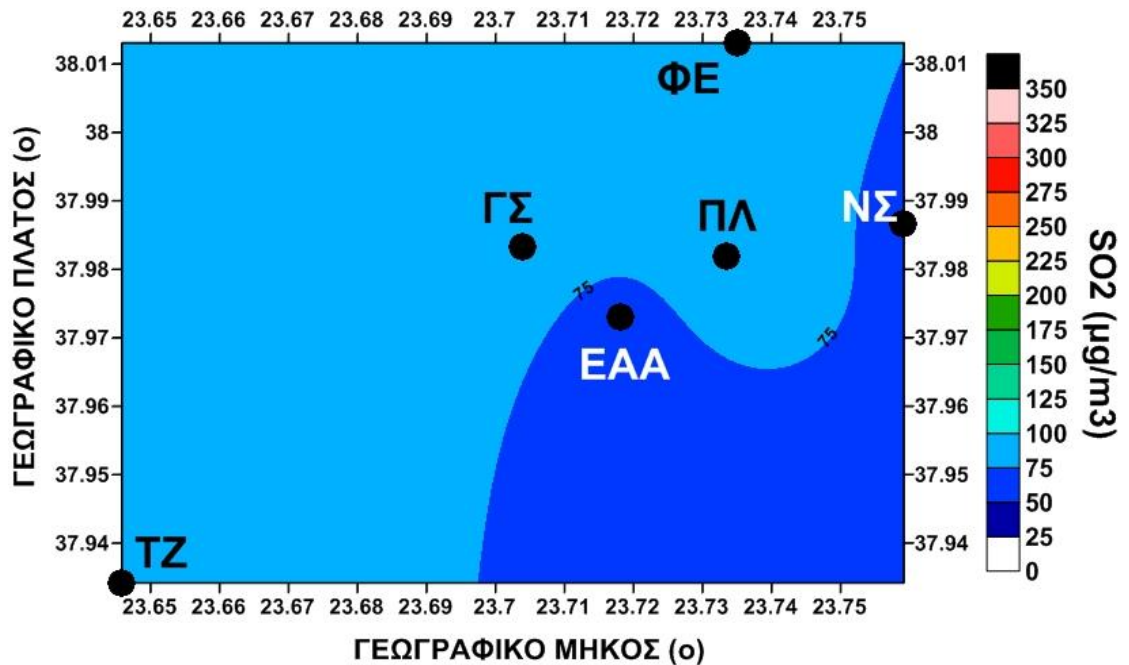


Σχήμα 5. 5. Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη PSI, για τη μέση ετήσια τιμή της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.

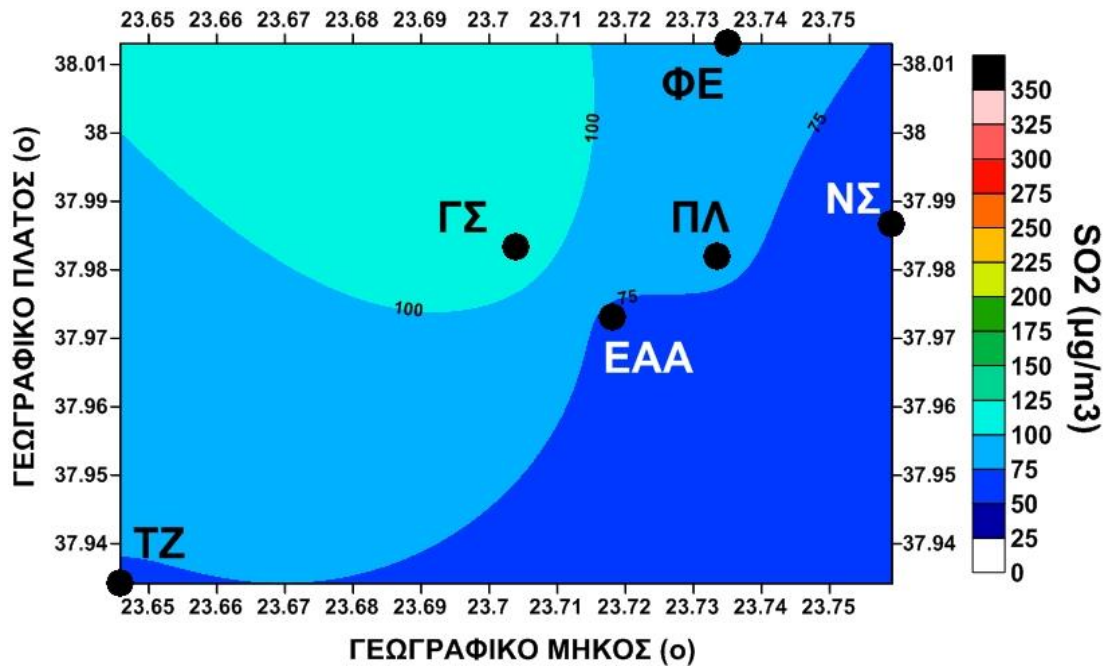
Η παρουσιαζόμενη μορφή της χωρικής κατανομής μπορεί, πολύ εύκολα, να ερμηνευθεί συγκρινόμενη με τα αντίστοιχα επίπεδα συγκέντρωσης του υπεύθυνου ρύπου που εμπλέκεται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI κατά τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου.



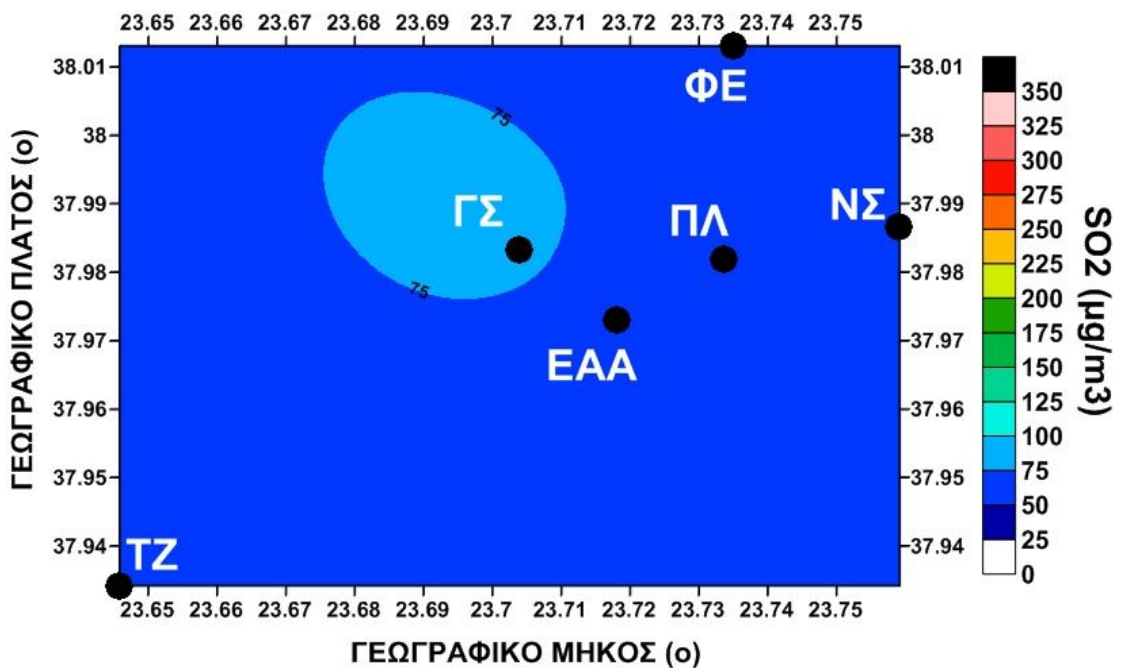
Σχήμα 5. 6. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO₂, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.



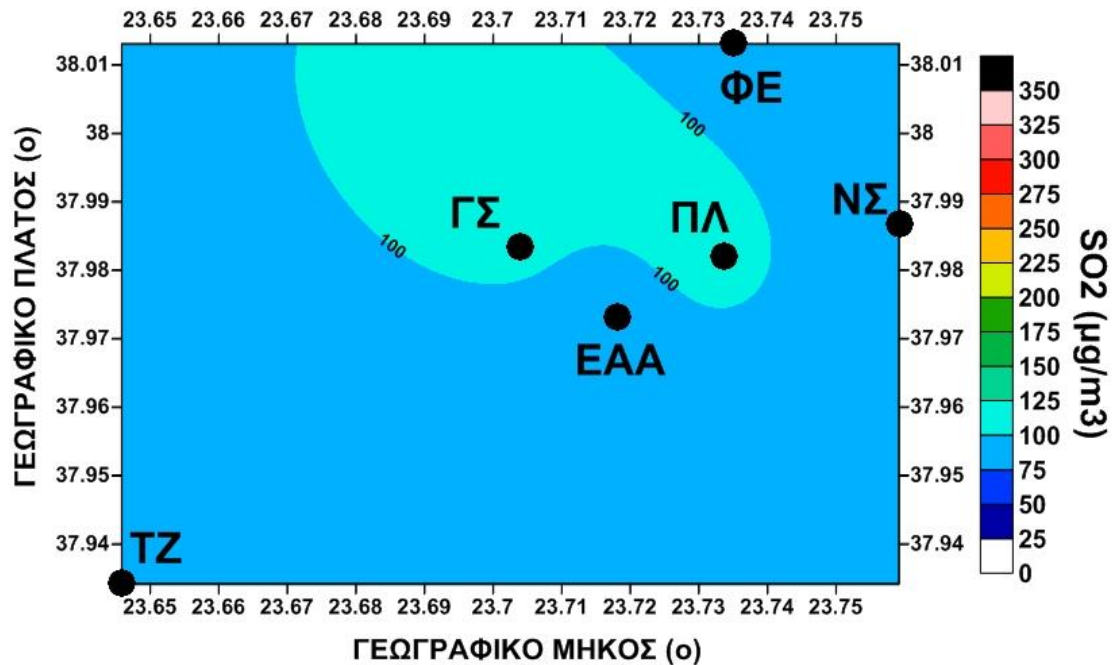
Σχήμα 5. 7. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO₂, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.



Σχήμα 5. 8. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO₂, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.



Σχήμα 5. 9. Χωρική κατανομή των μέσων τιμών συγκέντρωσης του SO₂, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.



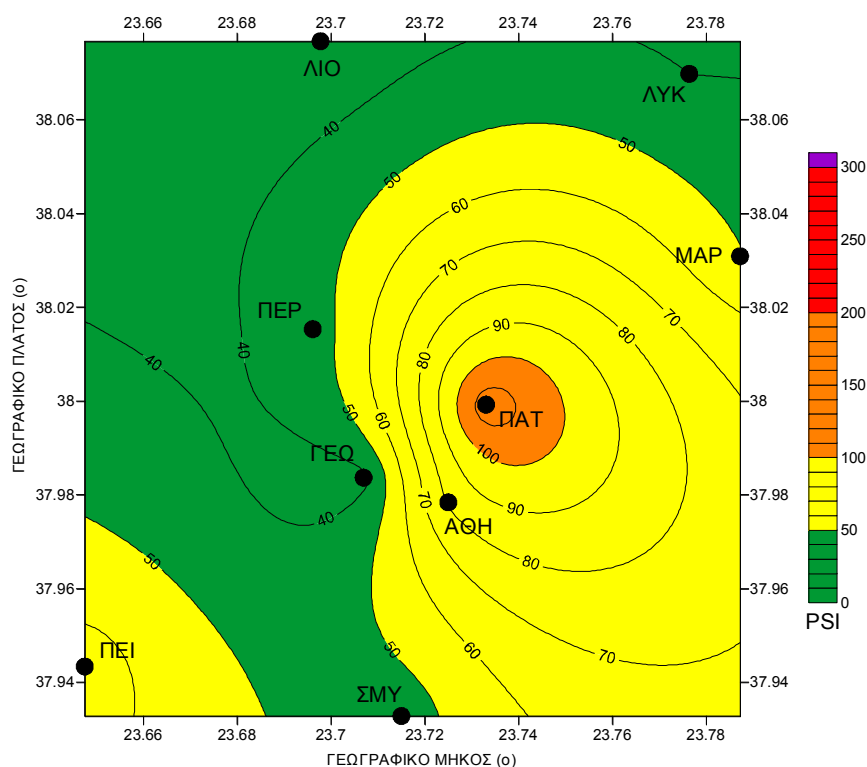
Σχήμα 5. 10. Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του SO₂, της χρονικής περιόδου 1971-1983, στην ΕΠΑ.

Πράγματι, από τα Σχήματα 5.6-5.10. Διαπιστώνεται ότι σε περιοχές του αστικού ιστού (κέντρο πόλης – σταθμός ΠΛ), ή σε περιοχές με βιομηχανική-βιοτεχνική δραστηριότητα (σταθμός ΓΣ) καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου σε όλες τις υπό μελέτη αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις (Σχήματα 5.6-5.9) που εκφράζουν χαρακτηριστικά σημεία της ενδοετήσιας μεταβολής του διοξειδίου του θείου (Paliatsos, et al. 1998), γεγονός που ερμηνεύει τη μεγαλύτερη υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους.

5.2 Χρονική περίοδος 1984-2000

Η χωρική κατανομή των μέσων τιμών του δείκτη PSI στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1984-2000, εμφανίζεται στα Σχήματα 5.11-5.15. Ειδικότερα, απεικονίζεται η χωρική κατανομή των μέσων τιμών αντιπροσωπευτικών μηνών κάθε εποχής του έτος

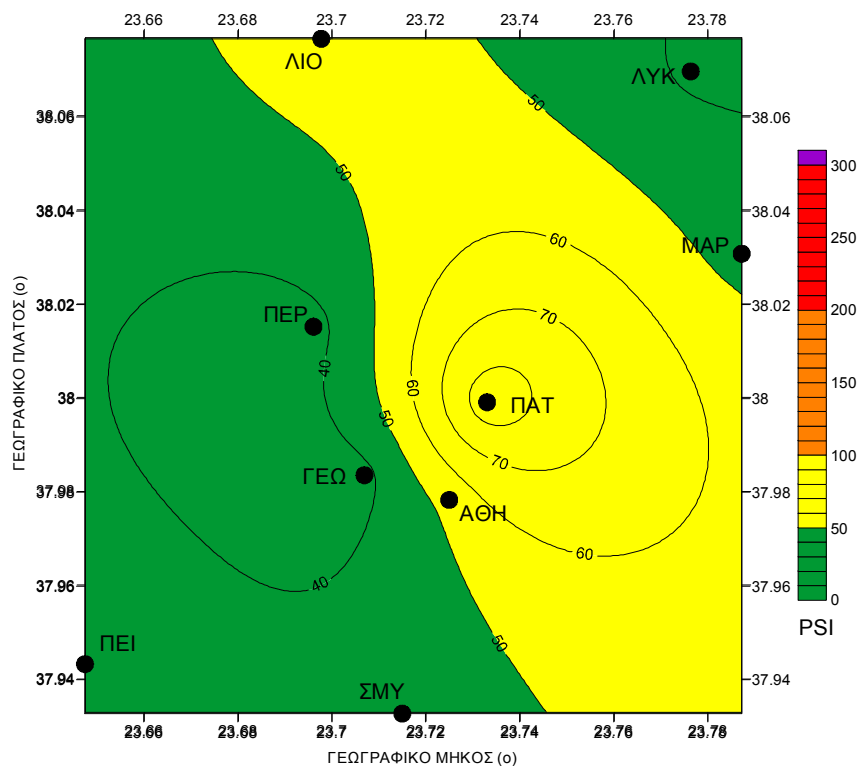
(Ιανουάριος, Απρίλιος, Ιούλιος και Οκτώβριος), καθώς και η μέση ετήσια κατάσταση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην υπό μελέτη περιοχή.



Σχήμα 5. 11. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.

Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Ιανουάριος) (Σχήμα 5.11) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «Ανθυγιεινής» στο κέντρο της πόλης (περιοχή σταθμού «Πατησίων») γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στον «υπεύθυνο» ρύπο που ήταν το μονοξείδιο του άνθρακα (Σχήμα 4.38), δηλαδή ρύπος με μέγιστο εμφάνιση στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Αποτέλεσμα δε είναι, το υψηλό ποσοστό εμφάνιση της συγκεκριμένης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιοχή του σταθμού (Σχήμα 4.37) που έφτασε το 28%. Παρατηρείται επίσης ότι, η ποιότητα της ατμόσφαιρας στο υπόλοιπο κέντρο πόλης (περιοχές σταθμών «Αθηνάς» και «Πειραιάς»), διατηρήθηκε στο επίπεδο της «Μέτριας». Αυτό μπορεί να αποδοθεί τόσο

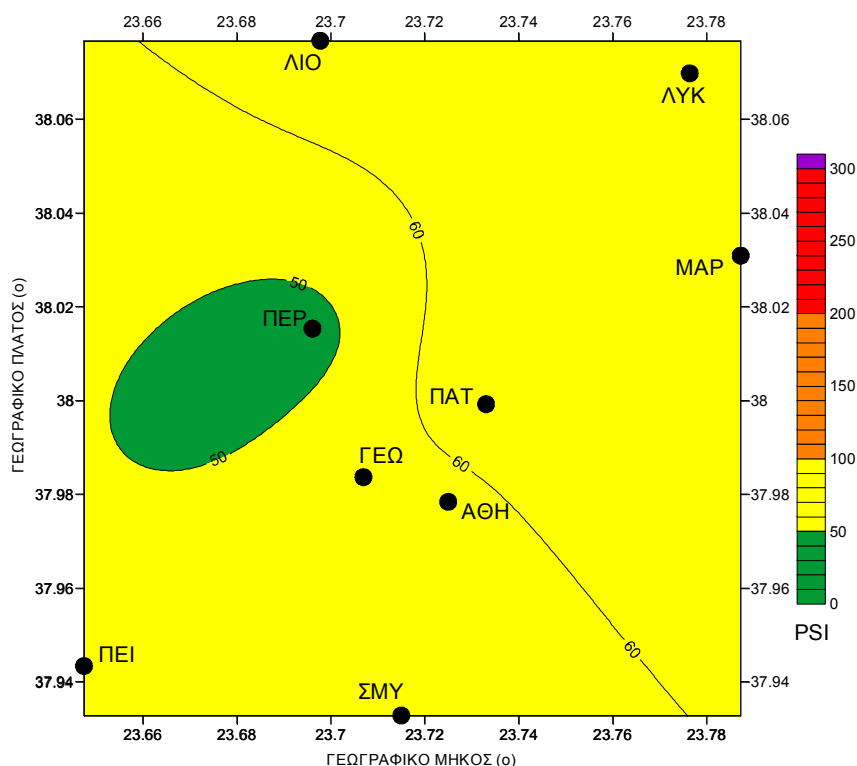
στον «υπεύθυνο» ρύπο που ήταν και στην περίπτωση των σταθμών αυτών στο μονοξείδιο του άνθρακα (Σχήματα 4.48 και 4.44), με αποτέλεσμα το υψηλό ποσοστό εμφάνισης της συγκεκριμένης κατηγορίας ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιοχή των σταθμών (Σχήματα 4.43 και 4.47) που έφτασε το 45% και 46%, αντίστοιχα. Αντίθετα, στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «Καλής», γεγονός που μπορεί να αποδοθεί πλήρως στον «υπεύθυνο» ρύπο που είναι το επιφανειακό όζον, δηλαδή ρύπος με μέγιστο εμφάνιση στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους. Τέλος, αξίζει να σχολιασθεί η περίπτωση του σταθμού «Μαρούσι» του οποίου η ποιότητα είναι οριακά «Μέτρια» και το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο σχετικά υψηλό μέσο ποσοστό «υπευθυνότητας» του μονοξειδίου του άνθρακα, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, που ανέρχεται στο 28% περίπου.



Σχήμα 5. 12. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.

Από το Σχήμα 5.12 διαπιστώνεται ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τόσο στο κέντρο, όσο και στην περιφέρεια, είναι περίπου σταθερή και κυμαίνεται μεταξύ «Καλής» και

«Μέτριας», στη διάρκεια του αντιπροσωπευτικού μήνα της άνοιξης (Απρίλιο). Ειδικότερα, η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «Μέτριας» στο κέντρο της πόλης (περιοχές σταθμών «Πατησίων» και «Αθηνάς») και στο επίπεδο της «Καλής» στην υπόλοιπη ΕΠΑ. Στο τελευταίο εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός «Λιόσια» όπου η ποιότητα διατηρείται στις κατώτερες οριακές τιμές του επιπέδου της «Μέτριας», όπως συμβαίνει και με το σταθμό «Αθηνάς» (Σχήμα 5.12).

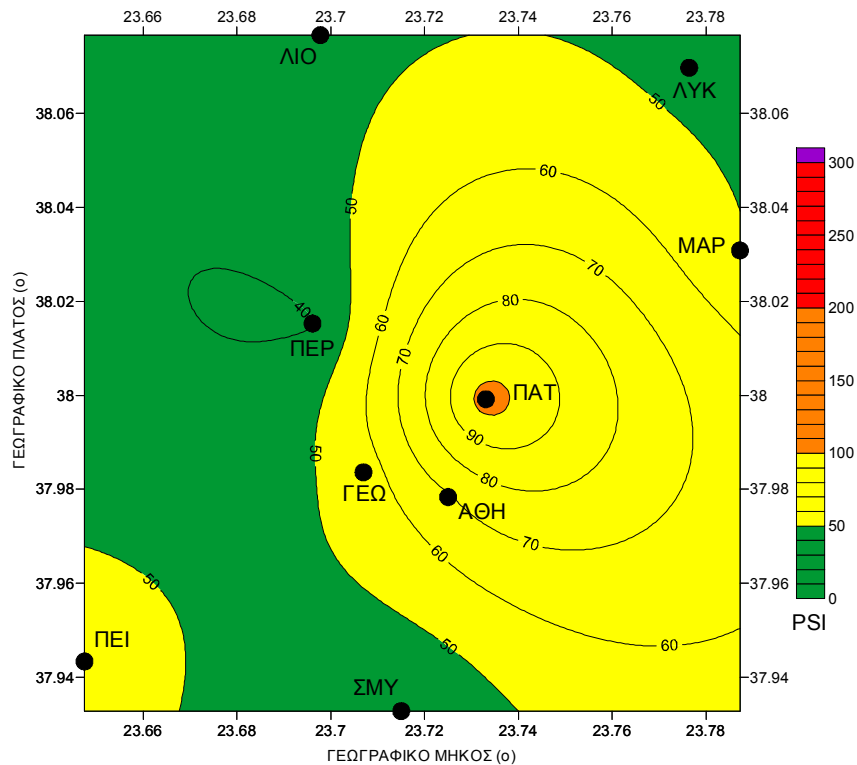


Σχήμα 5. 13. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.

Από το Σχήμα 5.13 διαπιστώνεται ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας στη διάρκεια του αντιπροσωπευτικού μήνα του θέρους (Ιούλιος) τόσο στο κέντρο, όσο και στην περιφέρεια, κυμαίνεται στο επίπεδο της κατηγορίας «Μέτρια». Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός «Περιστερί» όπου η ποιότητα διατηρείται στις ανώτερες οριακές τιμές του επιπέδου της κατηγορίας «Καλή».

Η συγκεκριμένη εικόνα μπορεί να αποδοθεί στο υψηλό ποσοστό συνεισφοράς που εμφανίζει το επιφανειακό όζον. Όπως είναι γνωστό ο ρύπος αυτός εμφανίζει ετήσια

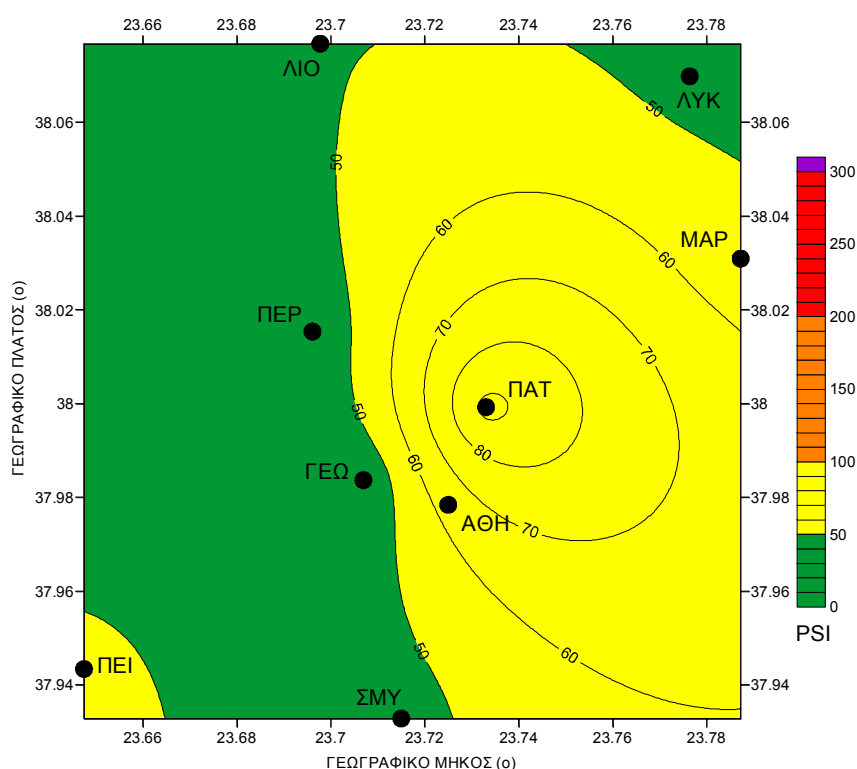
πορεία περίπου όμοια με την ετήσια πορεία της ηλιακής δραστηριότητας. Άρα, το μέγιστο της ετήσιας πορείας του εμφανίζεται το καλοκαίρι (Kalabokas et al. 1999), γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στους περιφερειακούς σταθμούς της ΕΠΑ στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, με μέγιστο το μήνα Ιούλιο.



Σχήμα 5. 14. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.

Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Οκτώβριος) (Σχήμα 5.14) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «Ανθυγιεινής» στο κέντρο της πόλης (περιοχή σταθμού «Πατησίων») γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στον «υπεύθυνο» ρύπο που ήταν το μονοξείδιο του άνθρακα (Σχήμα 4.38). Επίσης, παρατηρείται ότι στην ευρύτερη γύρω από το κέντρο της πόλης της Αθήνας περιοχή -ειδικότερα στις περιοχές των σταθμών «Αθηνάς», «Γεωπονική», «Μαρούσι», αλλά και του «Πειραιά»- διατηρήθηκε η ποιότητα της ατμόσφαιρας στο επίπεδο της «Μέτριας». Αυτό μπορεί να αποδοθεί τόσο στον «υπεύθυνο» ρύπο που ήταν και στην περίπτωση των σταθμών

αυτών στο μονοξείδιο του άνθρακα για τους σταθμούς «Αθηνάς» και «Πειραιάς» (Σχήματα 4.48 και 4.44). Όσον αφορά τους «Γεωπονική» και «Μαρούσι», το εμφανιζόμενο επίπεδο μπορεί να αποδοθεί στον επικρατούντα «υπεύθυνο» ρύπο, που είναι το επιφανειακό όζον (Σχήματα 4.40 και 4.56, αντίστοιχα), μιας και αναφερόμαστε στον τελευταίο μήνα της θερμής περιόδου του έτους. Αντίθετα, στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «Καλής».



Σχήμα 5. 15. Χωρική κατανομή των μέσης ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, της χρονικής περιόδου 1984-2000, στην ΕΠΑ.

Από το Σχήμα 5.15 διαπιστώνεται ότι η μέση ετήσια ποιότητα της ατμόσφαιρας στην ΕΠΑ, εμφανίζεται ως εξής: στις περιοχές των σταθμών που χαρακτηρίζονται σαν σταθμοί «Αστικοί-Κυκλοφορίας» (Πίνακας 4.1) η ποιότητα της ατμόσφαιρας κυμαίνεται στο επίπεδο της κατηγορίας «Μέτρια». Αντίθετα, στις περιοχές των σταθμών που χαρακτηρίζονται σαν σταθμοί «Υποβάθρου» (Πίνακας 4.1) η ποιότητα της ατμόσφαιρας κυμαίνεται στο επίπεδο της κατηγορίας «Καλή».

Ειδικότερα, διαπιστώνεται ότι η περιοχή που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης («Πατησίων») παρουσιάζει σε μέση ετήσια βάση ποιότητα ατμόσφαιρας «Μέτρια» (PSI=93.2), οριακά όμως προς την κατηγορία «Ανθυγιεινή». Στις γειτονικές προς το κέντρο της πόλης περιοχές («Αθηνάς» και «Μαρούσι») η ποιότητα της ατμόσφαιρας εμφανίζεται να είναι σαφώς καθορισμένη στην κατηγορία «Μέτρια». Η ίδια εικόνα παρουσιάζεται και στην περιοχή του σταθμού «Πειραιάς», κατάσταση που αποδίδεται αφενός μεν διότι βρίσκεται στο κέντρο της πόλης του Πειραιά, αφετέρου δε στην ύπαρξη των δραστηριοτήτων του λιμανιού σε όλη τη διάρκεια του έτους. Τέλος, στις περιοχές των περιφερειακών σταθμών («Γεωπονική», «Περιστερί», «Ν. Σμύρνη», «Λιόσια» και «Λυκόβρυση») η ποιότητα της ατμόσφαιρας, σε μέση ετήσια βάση, κυμαίνεται στο επίπεδο της κατηγορίας «Καλή».

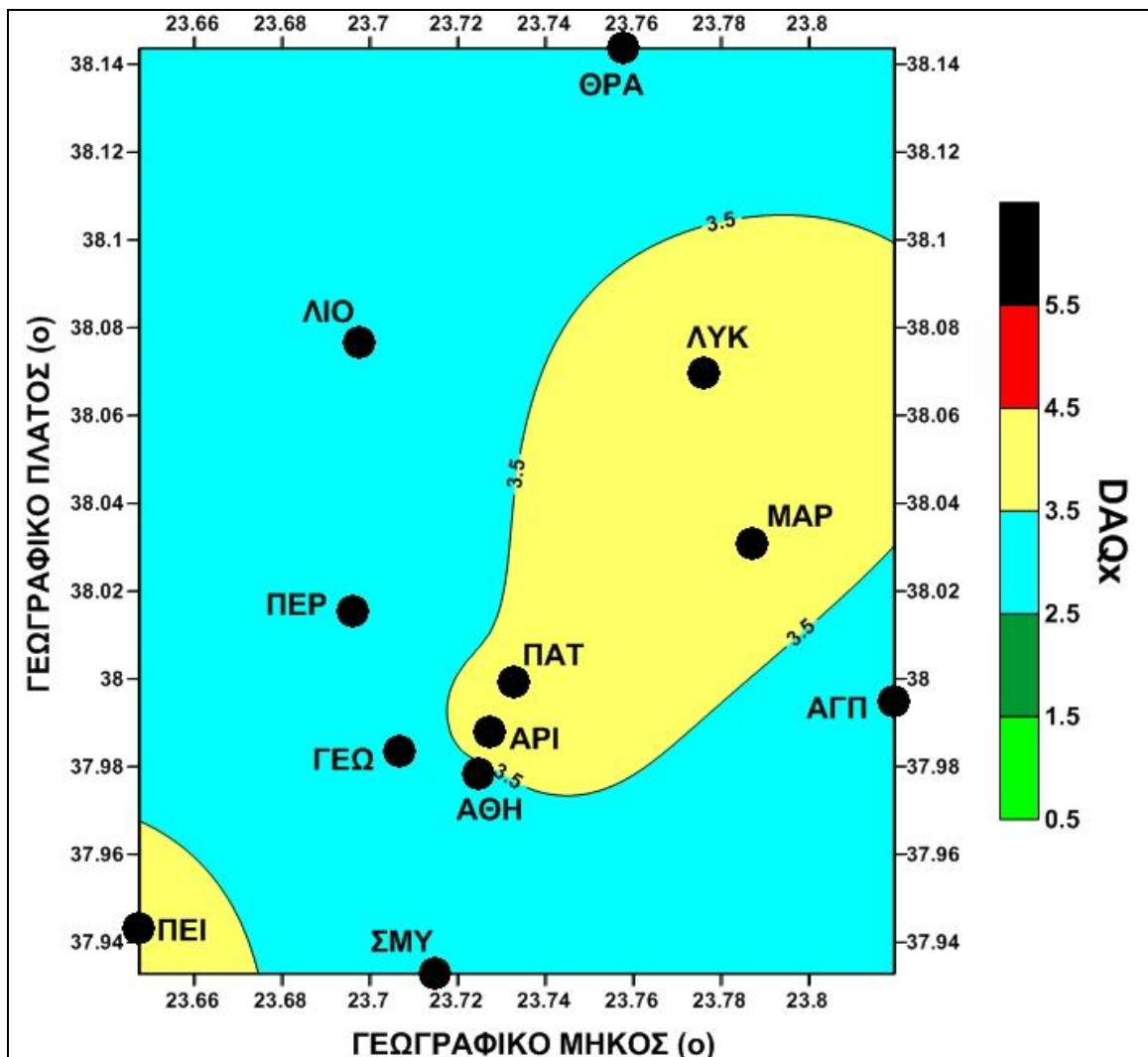
5.3 Χρονική περίοδος 2001-2009

5.3.1 Με χρησιμοποίηση του δείκτη DAQx

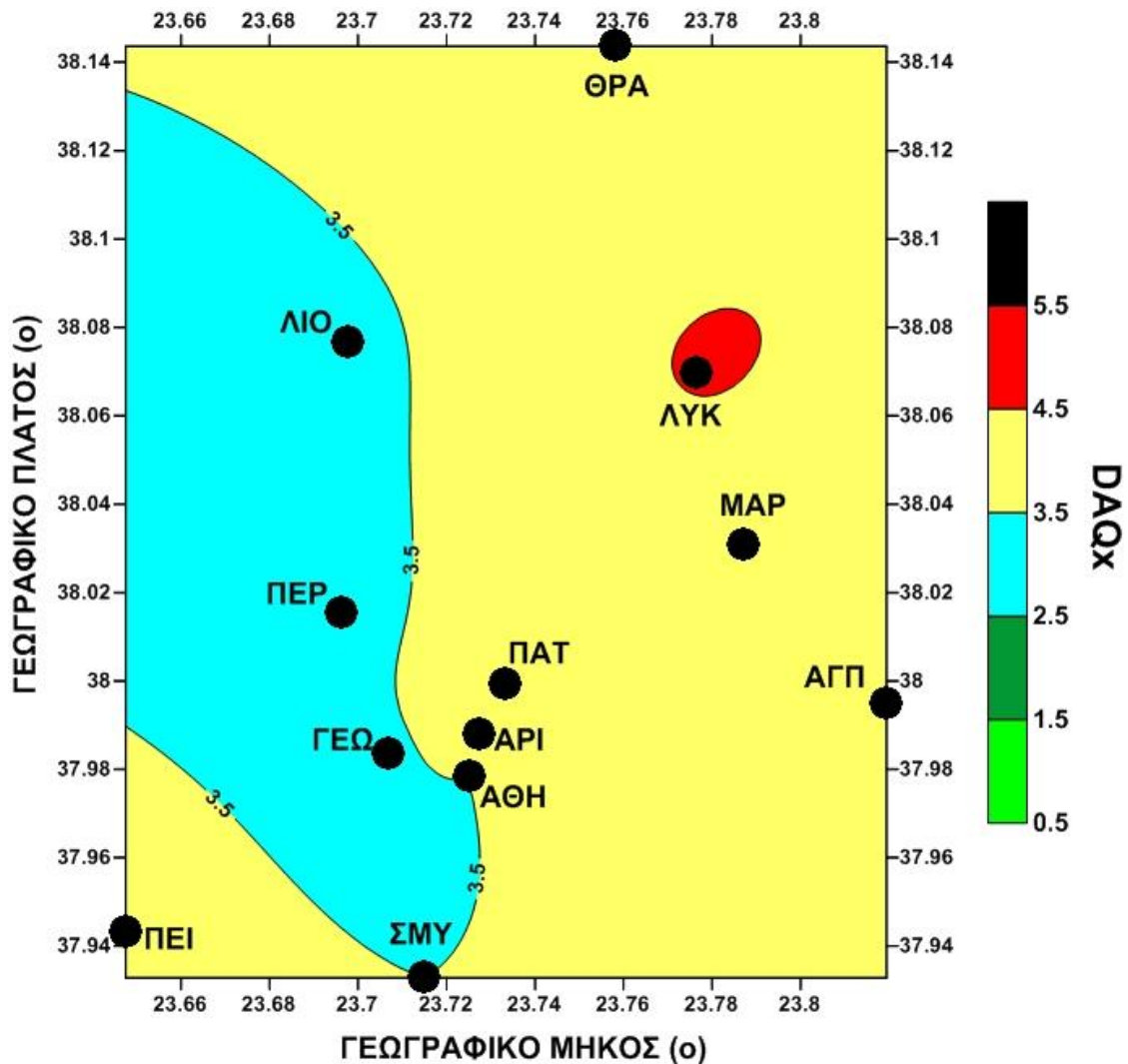
Η χωρική κατανομή των μέσων τιμών του δείκτη DAQx στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 2001-2009, εμφανίζεται στα Σχήματα 5.16-5.20. Ειδικότερα, απεικονίζεται η χωρική κατανομή των μέσων τιμών αντιπροσωπευτικών μηνών κάθε εποχής του έτος (Ιανουάριος, Απρίλιος, Ιούλιος και Οκτώβριος), καθώς και η μέση ετήσια κατάσταση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην υπό μελέτη περιοχή.

Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Ιανουάριος) (Σχήμα 5.16) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «επαρκούς» στο κέντρο της πόλης (περιοχές σταθμών «Πατησίων», «Αριστοτέλους», «Αθηνάς» και «Πειραιά»), όσο και σε περιφερειακές («Λυκόβρυση») και αστικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονη κυκλοφορία («Μαρούσι») γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στους «υπεύθυνους» για την εποχή ρύπους που ήταν τα PM₁₀ και NO₂, δηλαδή ρύποι με μέγιστο εμφάνιση στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση

της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Επίσης παρατηρείται ότι, η ποιότητα της ατμόσφαιρας στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ διατηρήθηκε στο επίπεδο της «ικανοποιητικής». Αυτό μπορεί να αποδοθεί, κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι «υπεύθυνος» ρύπος στην περίπτωση των σταθμών αυτών είναι το επιφανειακό όζον, ρύπος που εμφανίζει το μέγιστο της συγκέντρωσής του στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους.



Σχήμα 5. 16. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.

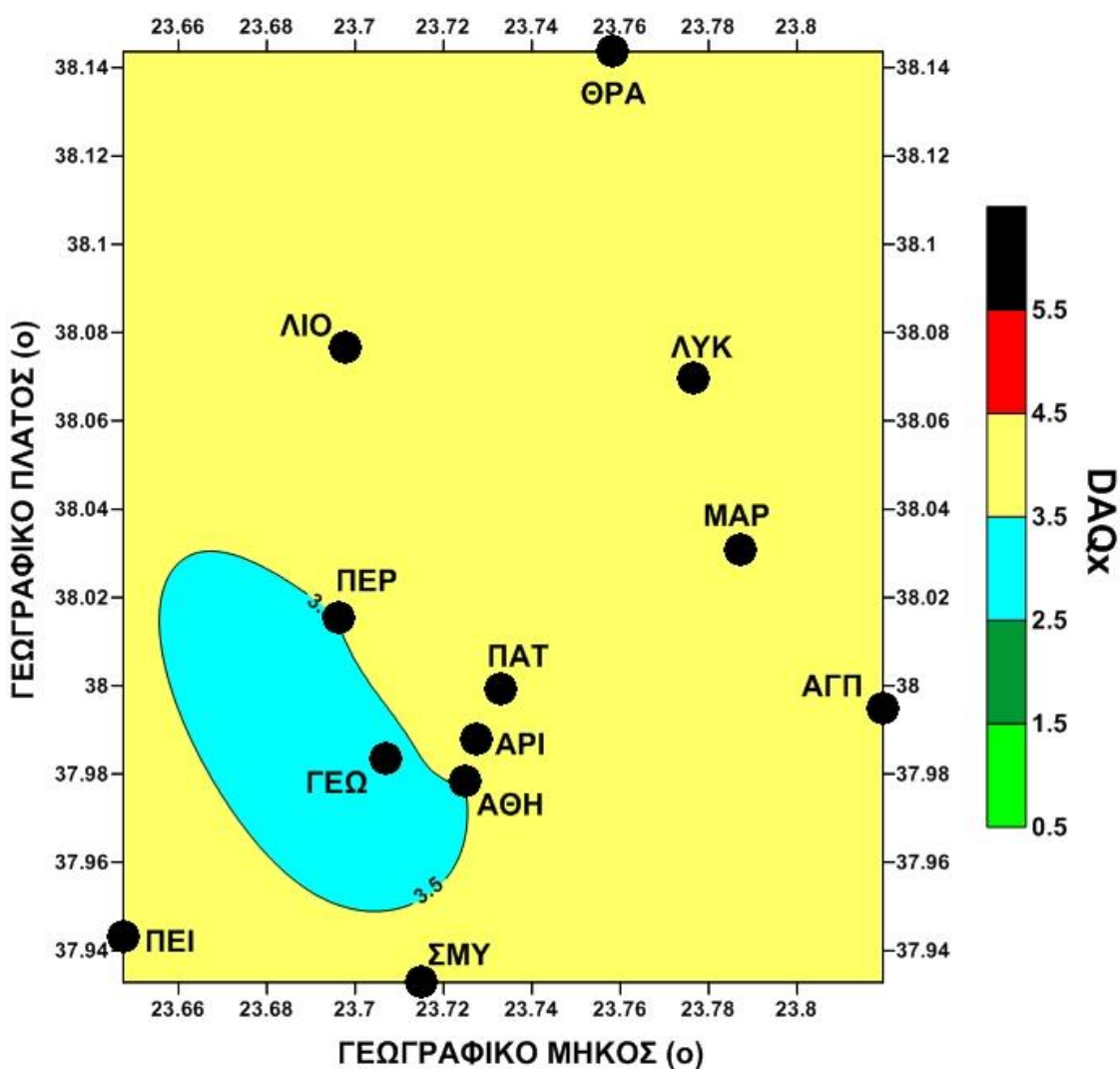


Σχήμα 5. 17. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Απρίλιος) (Σχήμα 5.17) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «κακής» στην περιστατική θέση του σταθμού «Λυκόβρυση», γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στους υπεύθυνους ρύπους που είναι τα PM_{10} (78%) και το O_3 (13%). Επίσης, η υποβάθμιση αυτή ενδεχομένως μπορεί σε κάποιο ποσοστό να αποδοθεί και στη συνεισφορά επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα, στην εμφάνιση αιχμών στις συγκεντρώσεις των PM_{10} στο συγκεκριμένο σταθμό (ΥΠΕΧΩΔΕ 2007-2009).

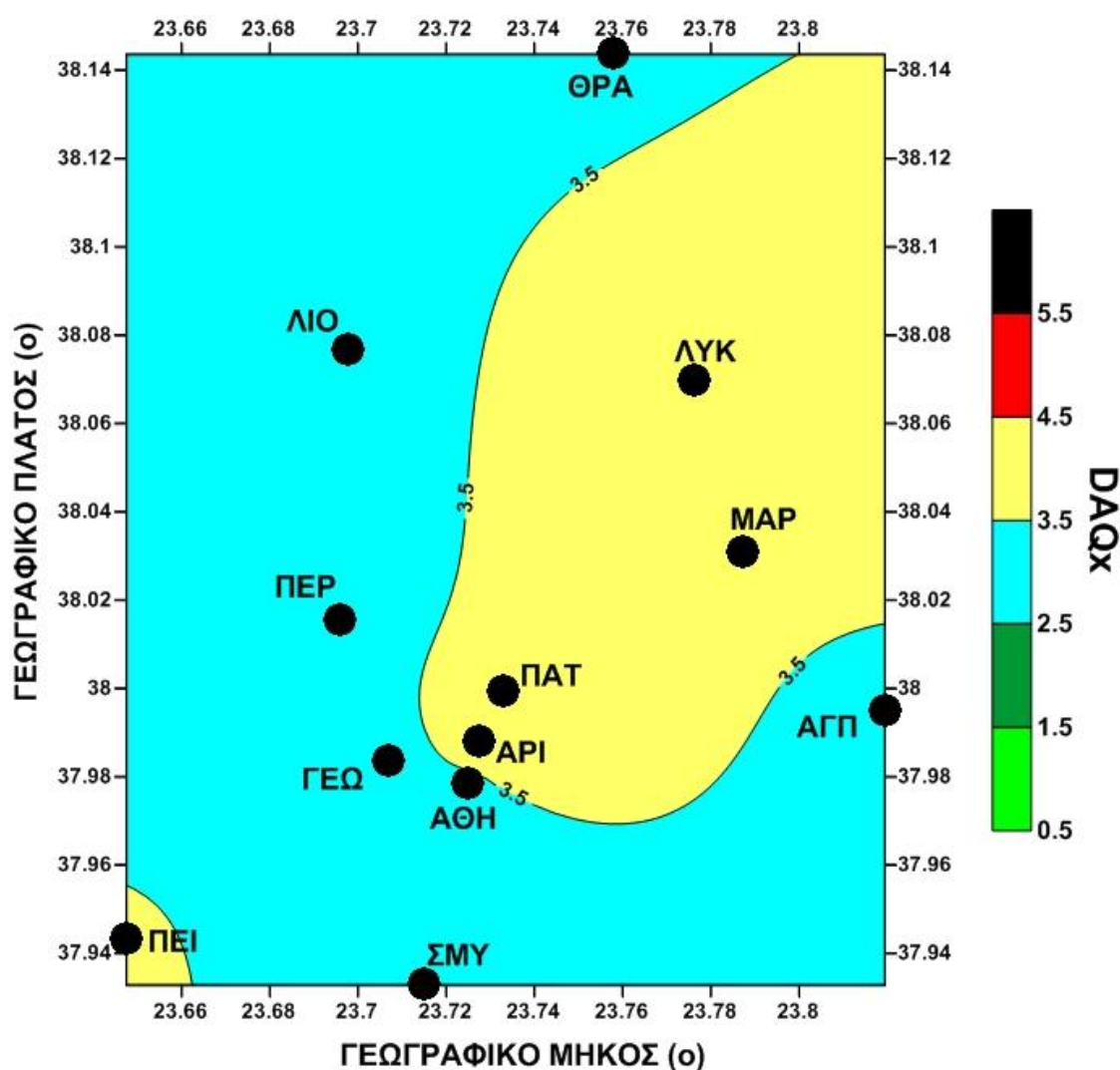
Στο Σχήμα 5.17 παρατηρείται ότι, η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «ικανοποιητικής» στις περιοχές των σταθμών «Λιόσια», «Περιστέρι»,

«Γεωπονική» και «Ν. Σμύρνη» και αυτό μπορεί να αποδοθεί, κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι «υπεύθυνος» ρύπος στην περίπτωση των σταθμών αυτών είναι το επιφανειακό όζον, ρύπος που εμφανίζει το μέγιστο της συγκέντρωσής του σε συνάρτηση με την ηλιακή δραστηριότητα, η οποία μεγιστοποιείται μεταξύ Ιουλίου και Αυγούστου. Τέλος, στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «επαρκούς» γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στους «υπεύθυνους» για την εποχή ρύπους που ήταν τα PM_{10} και NO_2 , γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη διάρκεια της άνοιξης.



Σχήμα 5. 18. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.

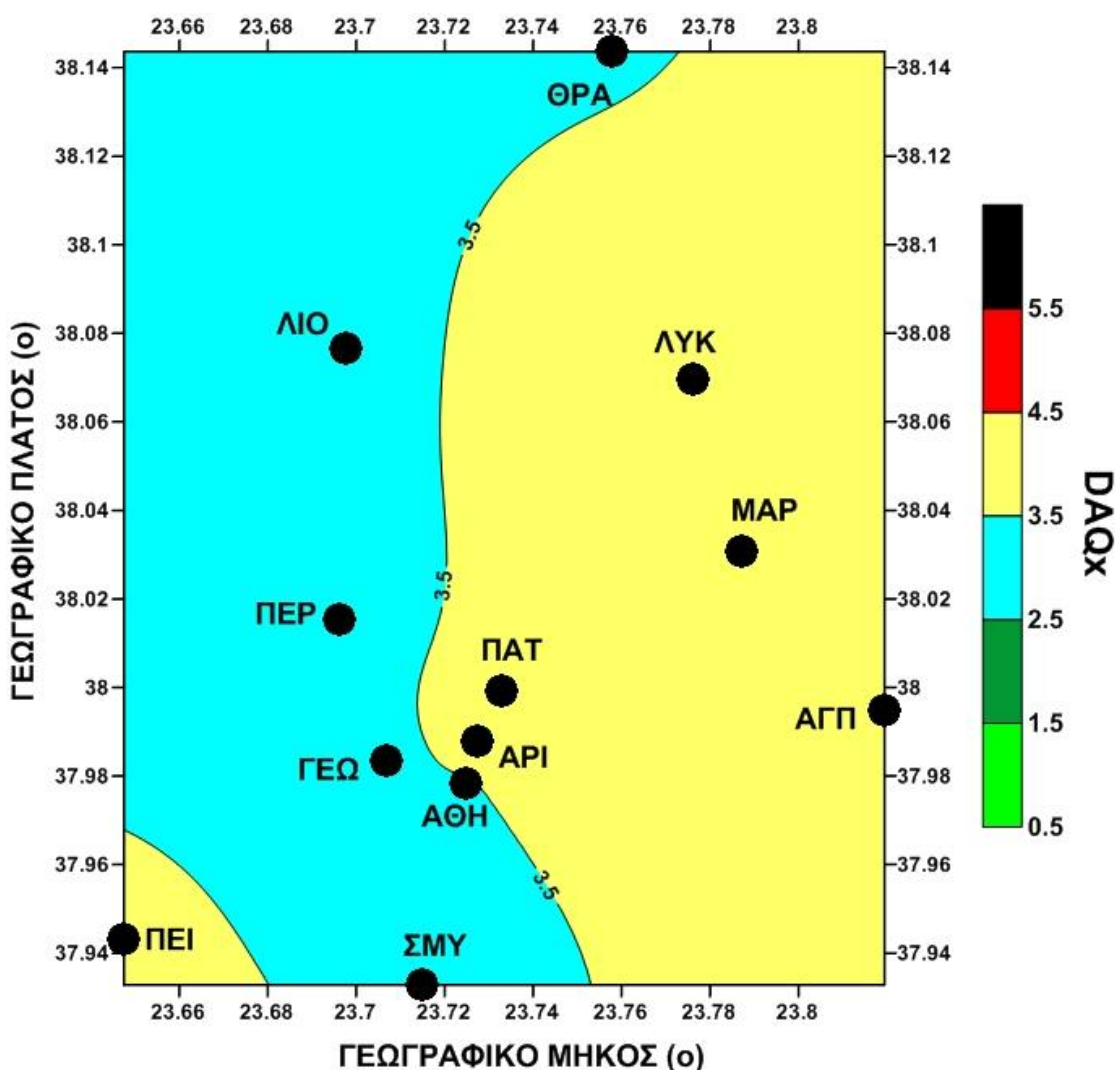
Από το Σχήμα 5.18 παρατηρείται ότι, η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε, κατά τη διάρκεια του θέρους (Ιούλιος), στο επίπεδο της «ικανοποιητικής» στην περιοχή του σταθμού «Γεωπονική» και αυτό μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί, στο γεγονός ότι «υπεύθυνος» ρύπος στην περίπτωση αυτή είναι το NO₂ (67%), αλλά και το επιφανειακό όζον (20%) με αποτέλεσμα να «υποβιβάζεται» σε κάποιο ποσοστό το επίπεδο συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος. Στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «επαρκούς».



Σχήμα 5. 19. Χωρική κατανομή των ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.

Από το Σχήμα 5.19 διαπιστώνεται ότι, η ποιότητα της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Οκτώβριος) εμφάνισε ακριβώς την ίδια εικόνα με αυτή του

Ιανουαρίου (Σχήμα 5.16) και αυτό μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί στους ίδιους παράγοντες με αυτούς του Ιανουαρίου.

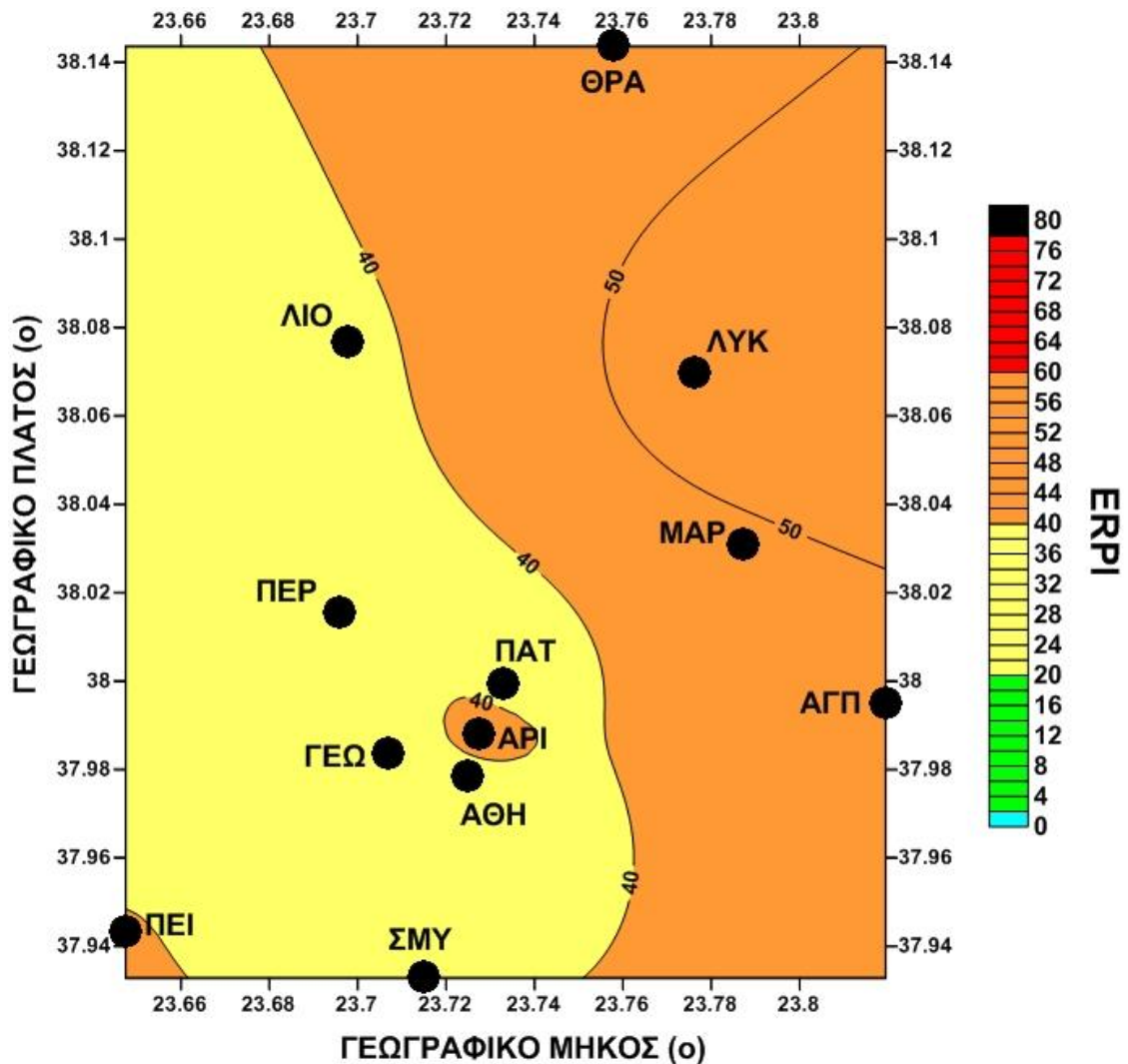


Σχήμα 5. 20. Χωρική κατανομή των μέσης ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τη χρονική περίοδο 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη DAQx.

Από το Σχήμα 5.20 διαπιστώνεται ότι, η μέση ετήσια χωρική κατανομή της ποιότητας της ατμόσφαιρας εμφάνισε ακριβώς την ίδια εικόνα με αυτή του Απριλίου (Σχήμα 5.17) και αυτό μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί στη συνολική ποσοστιαία συνεισφορά κάθε υπεύθυνου ρύπου σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, 2001-2009.

5.3.2 Με χρησιμοποίηση του δείκτη ERPI

Η χωρική κατανομή των μέσων τιμών του δείκτη ERPI στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 2001-2009, εμφανίζεται στα Σχήματα 5.21-5.25. Ειδικότερα, απεικονίζεται η χωρική κατανομή των μέσων τιμών αντιπροσωπευτικών μηνών κάθε εποχής του έτος (Ιανουάριος, Απρίλιος, Ιούλιος και Οκτώβριος), καθώς και η μέση ετήσια κατάσταση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην υπό μελέτη περιοχή.

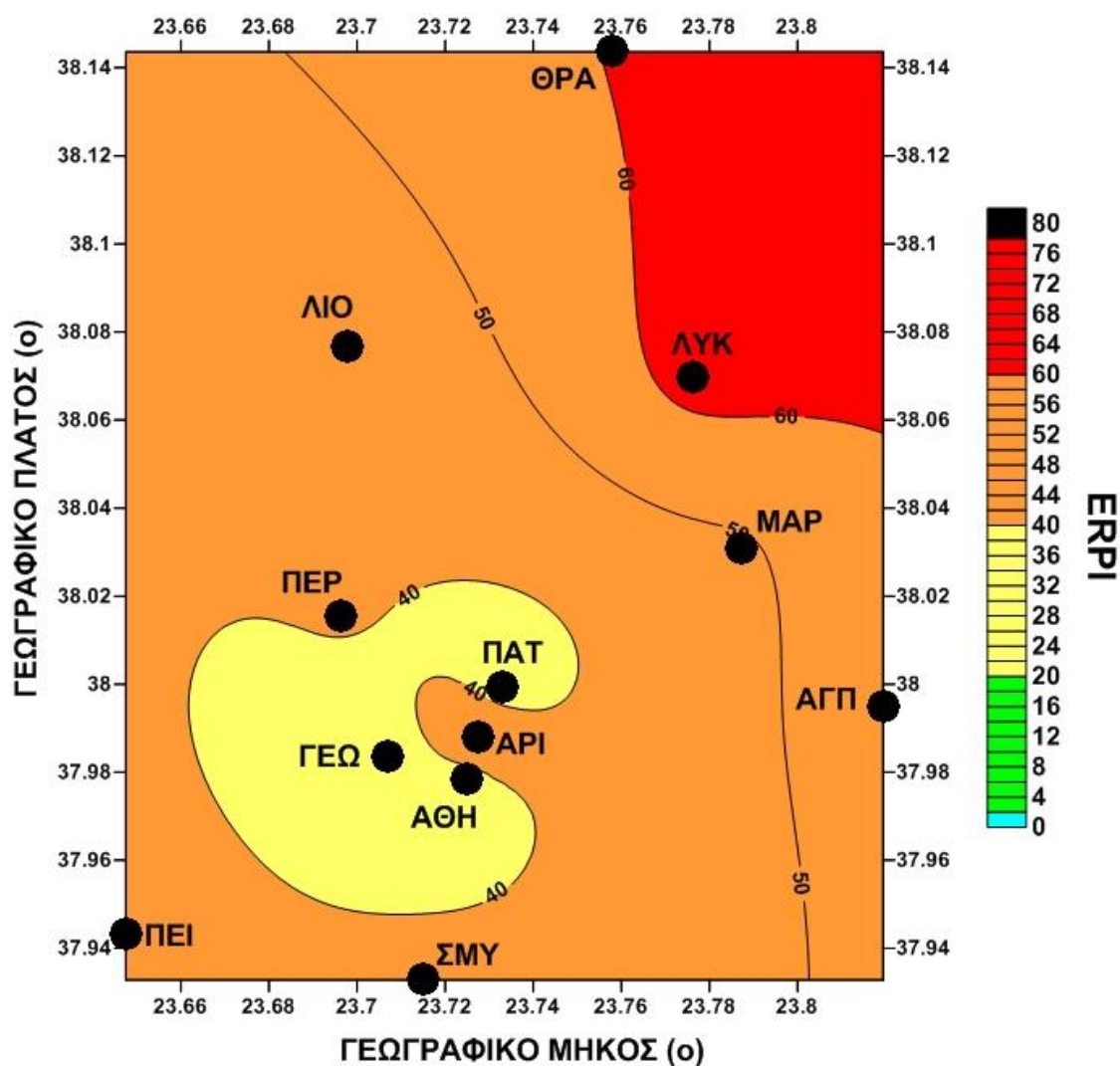


Σχήμα 5. 21. Χωρική κατανομή των μέσων ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI.

Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Ιανουάριος) (Σχήμα 5.21) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «επαρκούς» στις περιοχές των σταθμών όπου καταγράφονται τα PM_{10} , δηλαδή «Αριστοτέλους», «Λυκόβρυση» «Μαρούσι»,

«Θρακομακεδόνες» και «Πειραιάς»). Αντίθετα, στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ, η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «ικανοποιητικής».

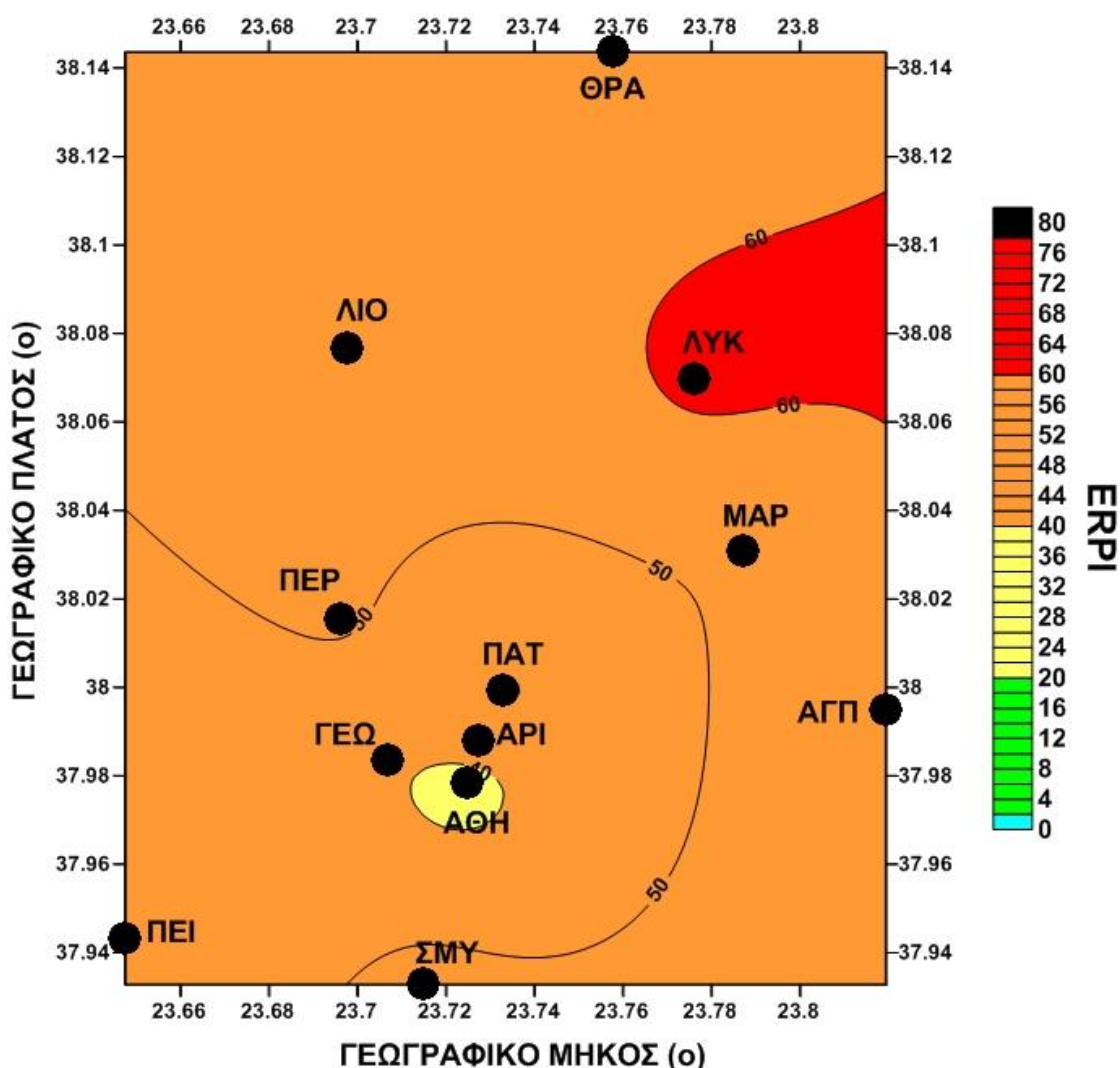
Κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Απρίλιος) (Σχήμα 5.22) η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρείται στο επίπεδο της «κακής» στις περιφερειακές θέσεις των σταθμών «Λυκόβρυση» και «Θρακομακεδόνες», γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στους υπεύθυνους ρύπους που είναι τα PM₁₀ (61% και 15%) και το O₃ (35% και 79%), αντίστοιχα. Στο μεγαλύτερο τμήμα της ΕΠΑ, η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «επαρκούς», ενώ στις περιοχές των σταθμών «Πατησίων», «Αθηνάς» και «Γεωπονική» διατηρήθηκε στο επίπεδο της «ικανοποιητικής».



Σχήμα 5. 22. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI.

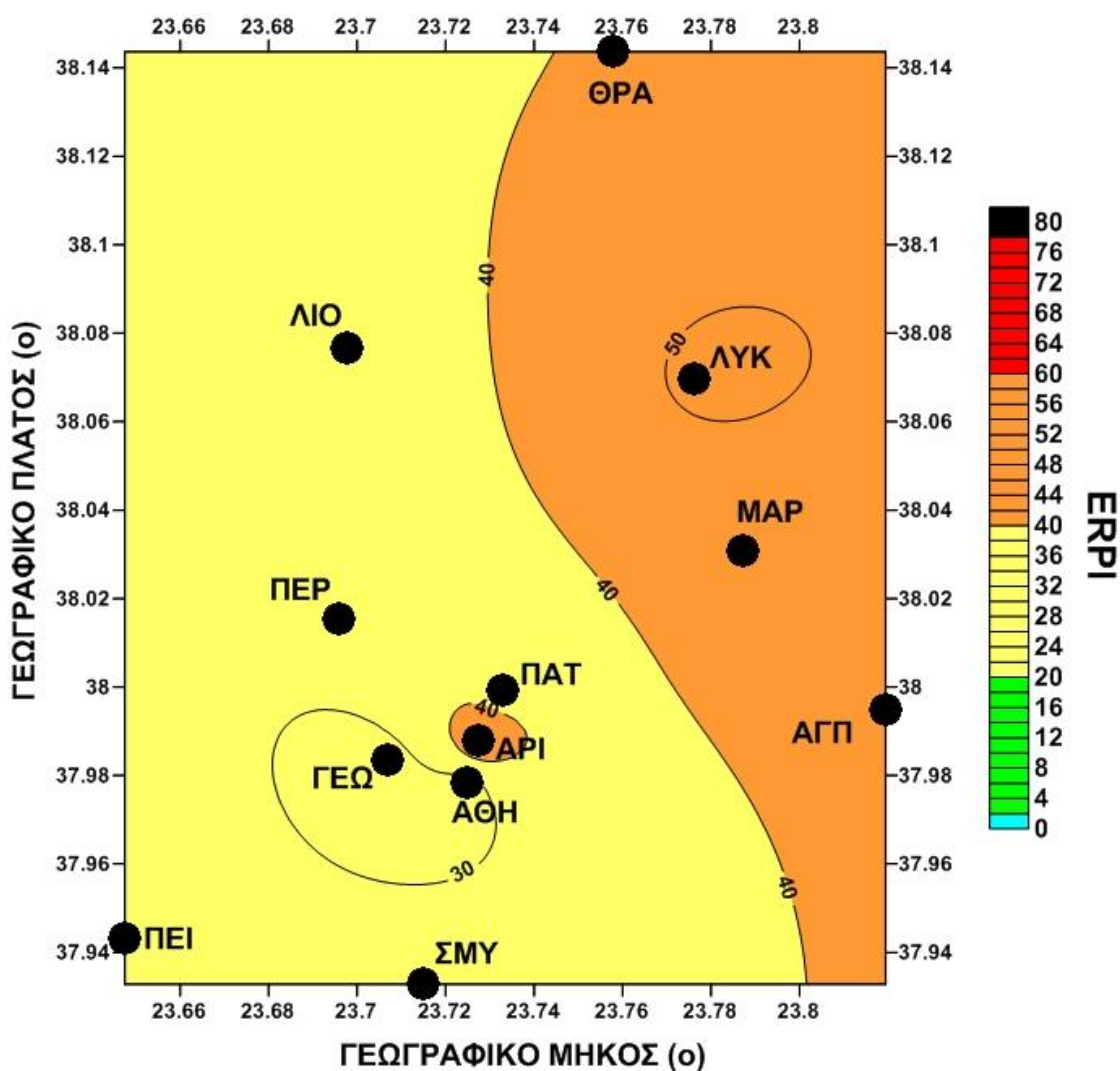
Το τελευταίο μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί, στο γεγονός ότι «υπεύθυνος» ρύπος στην περίπτωση των σταθμών είναι το NO₂. Ειδικότερα, η «υπευθυνότητα» του είναι 79% στο σταθμό «Πατησίων», 52% στο σταθμό «Αθηνάς» και 34% στο σταθμό «Γεωπονική». Στον τελευταίο όμως πιο καθοριστικός είναι ο ρόλος του επιφανειακού όζοντος (56%) με αποτέλεσμα να «υποβιβάζεται» σε κάποιο ποσοστό το επίπεδο συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος.

Από το Σχήμα 5.23 διαπιστώνεται ότι, η ποιότητα της ατμόσφαιρας, κατά τη διάρκεια του θέρους (Ιούλιος) διατηρήθηκε στο επίπεδο της «επαρκούς» σχεδόν σε ολόκληρη την υπό μελέτη περιοχή.



Σχήμα 5. 23. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI.

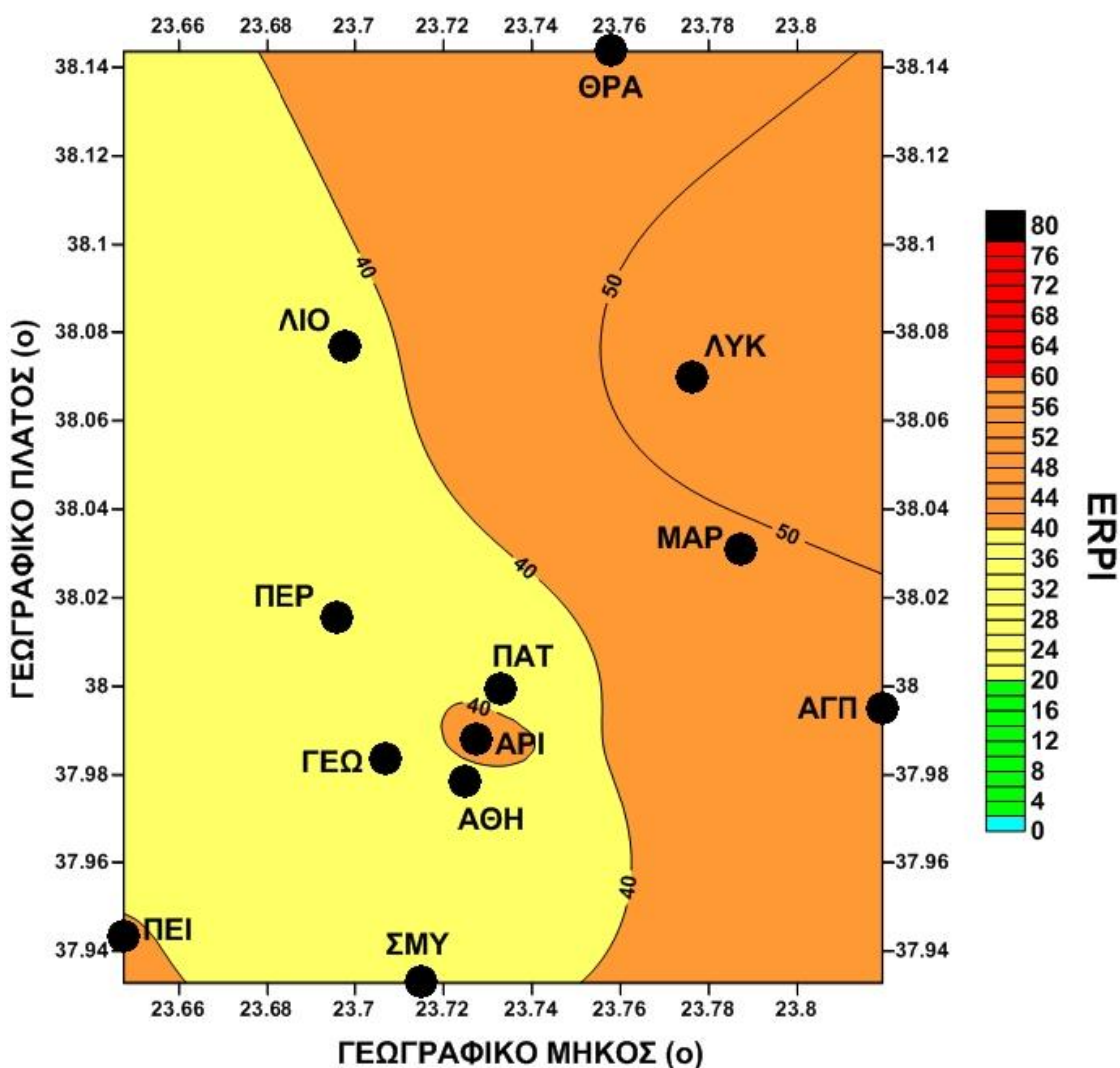
Εξαιρέση αποτέλεσαν δύο επιμέρους περιοχές: (1) η περιοχή του σταθμού «Αθηνάς» και αυτό μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί, στο γεγονός ότι «υπεύθυνος» ρύπος στην περίπτωση αυτή είναι το NO₂ (52%), αλλά και το επιφανειακό όζον (35%) με αποτέλεσμα να «υποβαθμίζεται» σε κάποιο ποσοστό η επίδραση του επιφανειακού όζοντος στη διαμόρφωση του επιπέδου της ποιότητας της ατμόσφαιρας και (2) η περιοχή του σταθμού «Λυκόβρυση» όπου «υπεύθυνος» ρύπος, σε ποσοστό 61% είναι τα PM₁₀, με συνέπεια η ποιότητα της ατμόσφαιρας να διαμορφώνεται στο επίπεδο της «κακής».



Σχήμα 5. 24. Χωρική κατανομή των μέσης ποιότητας της ατμόσφαιρας, για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2001-2009, στην ΕΠΙΑ με χρήση του δείκτη ERPI.

Από το Σχήμα 5.24 διαπιστώνεται ότι, η ποιότητα της ατμόσφαιρας, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Οκτώβριος) διατηρήθηκε στο επίπεδο της «επαρκούς» στις περιοχές των σταθμών όπου καταγράφονται οι συγκεντρώσεις των PM_{10} , με μοναδική εξαίρεση το σταθμό «Πειραιάς», όπου αρκετά καθοριστικός είναι ο ρόλος του NO_2 (28%), σε σύγκριση με αυτόν των PM_{10} (36%) και O_3 (29%).

Στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ (Σχήμα 5.24), η ποιότητα της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «ικανοποιητικής».



Σχήμα 5. 25. Χωρική κατανομή των μέσης ετήσιας ποιότητας της ατμόσφαιρας, για τη χρονική περίοδο 2001-2009, στην ΕΠΑ με χρήση του δείκτη ERPI.

Από το Σχήμα 5.25 διαπιστώνεται ότι, η μέση ετήσια χωρική κατανομή της ποιότητας της ατμόσφαιρας εμφάνισε περίπου την ίδια εικόνα με αυτή του Οκτωβρίου (Σχήμα

5.24). Στην περίπτωση αυτή, όπως διαπιστώνεται από το Σχήμα 5.25, γενικεύεται ο κανόνας καθορισμού της «υπευθυνότητας» των PM_{10} σαν ρύπου καθορισμού του επιπέδου ποιότητας της ατμόσφαιρας σε όλες τις περιοχές όπου καταγράφεται ο συγκεκριμένος ρύπος. Τέλος, στο υπόλοιπο τμήμα της ΕΠΑ (Σχήμα 5.25), η μέση ετήσια χωρική κατανομή της ποιότητας της ατμόσφαιρας διατηρήθηκε στο επίπεδο της «ικανοποιητικής» σε ολόκληρη τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, 2001-2009.

5. Συμπεράσματα

Στη διπλωματική αυτή εργασία έγινε προσπάθεια μελέτης της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (ΕΠΑ) με τη βοήθεια δεικτών, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1971-2009. Η περίοδος μελέτης χωρίστηκε σε τρεις επιμέρους περιόδους, ανάλογα με τους κατά περίπτωση ρύπους αιχμής. Για κάθε επιμέρους χρονική περίοδο έγινε υπολογισμός των ημερήσιων τιμών του περιβαλλοντικού δείκτη για κάθε υπό μελέτη σταθμό παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ.

Περίοδος 1971-1983. Από την επεξεργασία των χρονοσειρών, με τις ημερήσιες τιμές του περιβαλλοντικού δείκτη PSI διαπιστώνεται ότι σε περιοχές του αστικού ιστού (κέντρο πόλης), ή σε περιοχές με βιομηχανική-βιοτεχνική δραστηριότητα, καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου, γεγονός που επαληθεύει τα χαρακτηριστικά της ενδοετήσιας μεταβολής του διοξειδίου του θείου και σε αυτό αποδίδεται η μεγαλύτερη υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης, στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους.

Περίοδος 1984-2000. Από την επεξεργασία των χρονοσειρών, με τις ημερήσιες τιμές του περιβαλλοντικού δείκτη PSI διαπιστώνεται ότι η χωρική αυτή κατανομή μπορεί, πολύ εύκολα, να ερμηνευθεί από την ποσοστιαία συνεισφορά των συγκεντρώσεων των εμπλεκόμενων ρύπων στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI για την υπό μελέτη χρονική περίοδο. Πράγματι, διαπιστώνεται ότι σε σταθμούς του κέντρου της πόλης το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς έχει το μονοξείδιο του άνθρακα. Ο ρύπος αυτός είναι γνωστό ότι εμφανίζει το μέγιστο της ετήσιας πορείας του κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους, γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Επίσης, διαπιστώνεται ότι στους υπόλοιπους σταθμούς το μεγαλύτερο ποσοστό

συνεισφοράς έχει το επιφανειακό όζον, ρύπος που εμφανίζει ετήσια πορεία περίπου όμοια με την ετήσια πορεία της ηλιακής δραστηριότητας. Άρα, το μέγιστο της ετήσιας πορείας του όζοντος εμφανίζεται το καλοκαίρι, γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιφέρεια της ΕΠΑ στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, με μέγιστο το μήνα Ιούλιο.

Περίοδος 2001-2009. Από την επεξεργασία των χρονοσειρών, με τις ημερήσιες τιμές των περιβαλλοντικών δεικτών DAQx και ERPI, διαπιστώνεται ότι η χωρική αυτή κατανομή μπορεί, και στις περιπτώσεις αυτές, να ερμηνευθεί από την ποσοστιαία συνεισφορά των συγκεντρώσεων των ρύπων που έχουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του χρησιμοποιούμενου δείκτη ποιότητας, σε κάθε θέση καταγραφής, για την υπό μελέτη χρονική περίοδο.

Με χρήση του περιβαλλοντικού δείκτη DAQx. Διαπιστώνεται ότι σε όλες σχεδόν τις περιοχές που καταγράφονται τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} αυτά καθορίζουν τις τιμές του δείκτη, στη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς χρονικής περιόδου και σε αυτά αποδίδεται η μεγαλύτερη υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στις περιοχές των θέσεων καταγραφής τους με έμφαση τη «Λυκόβρυση», στη διάρκεια της άνοιξης. Σε θέσεις του αστικού ιστού (κέντρο πόλης), ή ακόμη και σε κάποιες περιαστικές περιοχές, καθοριστικό ρόλο έχει το διοξείδιο του αζώτου, ρύπος που συνδέεται με την κυκλοφορία των αυτοκινήτων και εξαιτίας των χαρακτηριστικών της ενδοετήσιας μεταβολής του σε αυτόν αποδίδεται η διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στις περιοχές αυτές, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης.

Με χρήση του περιβαλλοντικού δείκτη ERPI. Διαπιστώνεται ότι στο μεγαλύτερο μέρος των περιοχών που καταγράφονται τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} αυτά καθορίζουν τις τιμές του δείκτη, στη διάρκεια της υπό μελέτη 9-ετούς χρονικής περιόδου. Σε θέσεις του αστικού ιστού (κέντρο πόλης) που χαρακτηρίζονται από έντονη κυκλοφορία,

καθοριστικό ρόλο έχει το διοξείδιο του αζώτου, ρύπος που συνδέεται με την κυκλοφορία των αυτοκινήτων και εξαιτίας των χαρακτηριστικών της ενδοετήσιας μεταβολής του σε αυτόν αποδίδεται η διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στις περιοχές αυτές, στη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου. Όσον αφορά όλες τις περιστατικές θέσεις καταγραφής, τον καθοριστικό ρόλο της διαμόρφωσης των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας έχει το επιφανειακό όζον, ρύπος που εμφανίζει ετήσια πορεία περίπου όμοια με την ετήσια πορεία της ηλιακής δραστηριότητας. Άρα, το μέγιστο της ετήσιας πορείας του όζοντος εμφανίζεται το καλοκαίρι, γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιφέρεια της ΕΠΑ στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, με μέγιστο το μήνα Ιούλιο.

Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής της ποιότητας της ατμόσφαιρας με τις ημερήσιες τιμές των περιβαλλοντικών δεικτών DAQx και ERPI, διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την απεικόνιση των τιμών μέσω του δείκτη ERPI ενδεχομένως να είναι πλησιέστερα προς τις Κοινοτικές απαιτήσεις όπως έχει αναφερθεί και στη διεθνή βιβλιογραφία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής βιβλιογραφία

- Bartzokas, A., Kassomenos, P., Petrakis, M., Celessides, C. (2004). The effect of meteorological and pollution parameters on the frequency of hospital admissions for cardiovascular and respiratory problems in Athens. *Indoor Built Environment*, 13, 271-275.
- Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B., and Stern, A.C. (1994). *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd Edition, Academic Press.
- Cheng, W.L., Chen, Y.S., Zhang, J., Lyons, T.J., Pai, J.L. and Chang, S.H. (2007). Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI indices. *Science of the Total Environment*, 382, 2-3, 191-198.
- Chevone B.I. and Linzon S.N. (1988). Treedecline in North America. *Environmental Pollution*, 50, 87-99.
- Canter, L.W. (1996). *Environmental Impact Assessment*, 2nd Edition, McGraw Hill.
- Dalezios, N.R., Papamanolis, N., Spanos, S. and Papargiri, S. (1995) Investigation of air pollution factors over Volos area. In: *Proceedings of the 4th Conference on Environmental Science and Technology*, Lesvos Island, Greece, vol. A, 504-514.
- Danalatos, D. and Glavas, S. (2002). Peroxyacetyl Nitrate (PAN) and ozone in a coastal Mediterranean Site, Patras, Greece. Evidence for transported and locally produced. *Fresenius Environmental Bulletin*, 11, 4, 176-181.
- Directive 2000/69/EC of the European Parliament and the Council. (2000). Limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, L 313(13.12.2000), 12–22.
- Directive 2002/3/EC of the European Parliament and the Council. (2002). Ozone in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, L 67 (9.3.2002), 14-31.
- Dockery, D.W., Pope III, C.A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*, 15, 107-132.
- EPA (1999). EPA - A Guideline for Developing an Ozone Forecasting Programme, EPA-454/R-99-009, Research Triangle Park, Office of Air Quality Planning and Standards, US Environmental Protection Agency, NC, USA.
- EU (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, *Official Journal L 163 (29/06/1999)*, 41-60.

- EU (1996) Council Directive 1996/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management, Official Journal L 296 (21/11/1996), 55-63.
- EU (2000) Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and Carbone monoxide in ambient air, Official Journal L 313 (13/12/2000) p 12-22.
- EU (2002) Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air, Official Journal L 67 (9/3/2002) p 14-31.
- Franceschini, F., Galetto, M. and Maisano, D. (2005). A short survey on air quality indicators: properties, use, and (mis)use. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 16 (5), 490-504.
- Fuhrer J., Skarby L., Ashmore M.R. (1997). Critical levels of ozone levels on vegetation in Europe. *Environmental Pollution*, 97, 91-106.
- Fumagalli I., Gimeno B.S., Vellisariou D., Temmerman L.D., Mills G. (2001). Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in Mediterranean region. *Atmospheric Environment*, 35, 2583-2587.
- Galán, I., Tobías, A. and Banegas, J.R. (2003). Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *European Respiratory Journal*, 22, 802-808.
- Glantz, S.A. (1993). Heart disease and the environment. *Journal of the American College of Cardiology*, 21, 1473–1474.
- Jackson D.M., Ruffy T.W., Heagle A.S., Severson R.F. and Eckel R.V.W. (2000). Survival and development of tobacco hornworm larvae on tobacco plants grown under elevated levels of ozone. *Journal of Chemical Ecology*, 26, 1-19.
- Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W., Haines, A. (2002). Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 56(5), 367-372.
- Jaffe, D., McKendry, I., Anderson, T., and Price, H. (2003). Six “new” episodes of trans-Pacific transport of air pollutants. *Atmospheric Environment*, 37, 391–404.
- Kalabokas, P.D., Viras, L.G., Repapis, C.C. (1999a). Analysis of 11-year record (1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part I: Primary air pollutants. *Global Nest: the International Journal*, 1, 157-167.
- Kalabokas, P.D., Viras, L.G., Repapis, C.C., Bartzis, J.G. (1999b). Analysis of the 11-year record (1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part II: Photochemical pollutants. *Global Nest: the International Journal*, 1, 169-176.

- Kambezidis, H.D., Kassomenos, P. and Kiriaki, E. (1986). Smoke concentration levels in a monitoring network in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 20, 601-604.
- Kambezidis, H.D. and Papanikolaou, N.S. (1988). SO₂ concentration levels from a monitoring network in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 22, 2557-2568.
- Kambezidis, H.D., Tulleken, R., Amanatidis, G.T., Paliatsos, A.G. and Asimakopoulos, D.N. (1995). Statistical evaluation of selected air pollutants in Athens, Greece. *Environmetrics*, 6, 349-361.
- Katsouyanni, K., Trichopoulos, D., Zavitsanos, X., Touloumi, G. (1988). The 1987 Athens heat wave. *Lancet*, 3, 573.
- Krupa S.V. and Manning W.J., (1998). Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, 50, 101-137.
- Kelessis, A.G. (2001). Eleven years of primary air-pollutant observations in the city of Thessaloniki, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10, 624-628.
- Landsberg, H.E. (1969). *Weather and Health: An Introduction to Biometeorology*. Anchor Books, New York, Doubleday & Co., Inc., 97.
- Lefoh, A.S., Jackson, W., Shadwick, D.S. and Knudsen, H.P. (1997). Effect of surface ozone on vegetation grown in the Southern Appalachian Mountains: identification of possible areas concern. *Atmospheric Environment*, 31, 1695-1708.
- Mantis, H.T., Repapis, C.C., Zerefos, C.S. and Ziomas, I.C. (1992). Assessment of the potential of photochemical air pollution in Athens: a comparison of emissions of air pollution levels in Athens with those in Los Angeles. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 1467-1476.
- Mayer. H., Kalberlah, F. and Ahrens, D. (2002a). TLQ-Am impact related air quality index obtained on a daily basis. *Proceedings of the fourth Symposium on the Urban Environment, Norfolk, VA (USA)*, pp 80-81.
- Mayer, H., Kalberlah, F., Ahrens, D. and Reuter, U. (2002b). Analysis of indices for the assessment of the air (in German). *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft*, 62, 177-183.
- Ministere de l'ecologie et du developpement durable, 2004. Arrete du 22 julliet 2004 relatif aux indices de la quslite de l'air. *Journal Officiel de la Republique Francaise* of 25 November 2004.

- Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, 2002. Decreto 2 aprile 2002, n. 60. Gazzetta Ufficiale, No 87, 13 April 2002.
- Moustris K.P, Ziomas I.C. and Paliatsos A.G. (2009). 24 hours in advance forecasting of thermal comfort-discomfort levels during the hot period of the year at representative locations of Athens city, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18 (5), 601-608.
- Moustris K. P, Ziomas I. C. and Paliatsos A.G. (2010). 3-day-ahead forecasting of regional pollution index for the pollutants NO₂, CO, SO₂, and O₃ using artificial neural networks in Athens, Greece. *Water, Air and Soil Pollution*, 209, 1-4, 29–43.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Nika, K., Xirou, A., (2007). Spatial and temporal variability of the air quality in the wider area of Athens, Greece. In: *Proceedings of the 8th Pan- Hellenic Geographical Conference of the Greek Geographical Society*, Athens, Greece (in Greek).
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Anthracopoulos, M.B., Roma, E.S., and Priftis, K.N. (2010). Outdoor particulate matter and childhood asthma admissions in Athens, Greece: a time-series study. *Environmental Health*, 9:45 (doi: 10.1186/1476-069X-9-45).
- NSW Environment Protection Authority (1998). *Action for Air*. Sydney: EPA, 1998, with action for Air, 2006 update. Sydney: EPA, 2006. Available at: www.environment.nsw.gov.au/air/actionforair/execsum.htm.
- NSW Department of Environment and Conservation (2006). *Air pollution economics. Health costs of air pollution in the Greater Sydney Metropolitan Region*. Sydney: DEC, 2006. Available at: www.epa.nsw.gov.au/resources/airpollution05623.pdf.
- Ott, W.R. and Hunt, W.F. (1976). A quantitative evaluation of the pollutant standards index. *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 1050-1054.
- Ott, W.R. and Thom, G.C. (1976). A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada. *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 460-470.
- Paliatsos, A.G. and Amanatidis, G.T. (1994) Smoke concentrations in Athens, Greece: trends and strong episodes, 1984-1991. *The Science of the Total Environment*, 144, 137-144.
- Paliatsos, A.G., Viras, L.G., Ziomas, I.C. and Amanatidis, G.T. (1996). Routine air pollution measurements in Athens: rationalization of the monitoring network using spatial correlation analysis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 5, 436-441.

- Paliatsos, A.G. (1997). Twenty years of regular SO₂ measurements in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, 655-660.
- Paliatsos, A.G. (1998). The seasonal and diurnal variation of sulphur dioxide in Greater Athens Area, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 7, 539-550.
- Paliatsos, A.G., Nastos, P.T. (1999). Relation between air pollution episodes and discomfort index in the greater Athens area, Greece. *Global Nest: the International Journal*, 1, 2, 91-97.
- Paliatsos, A.G., Angelopoulos, K.C., Coucouletsos, C., Karamolengos, M. and Stamatakos, D.P. (2000). Fifteen years of regular smoke measurements in Greater Athens Area, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 9, 515-522.
- Paliatsos, A.G., J.K. Kaldellis, P.S. Koronakis, and J.E. Garofalakis (2002). Fifteen year air quality trends associated with the vehicle traffic in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 11, 1119-1126.
- Paliatsos, A.G., Priftis, K.N., Ziomas, I.C., Panagiotopoulou-Gartagani, P., Nikolaou-Panagiotou, A., Tapratzi-Potamianou, P., Zachariadi-Xypolita, A. Nicolaidou, P., Saxoni-Papageorgiou, P. (2006a). Association between ambient air pollution and childhood asthma in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15, 7, 614-618.
- Paliatsos, A.G., Koronakis, P.S. and Kaldellis, J.K. (2006b). Effect of surface ozone exposure on vegetation in the rural area of Aliartos, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15, 11, 1387-1393.
- Panagiotakos, D.B., Chrysohoou, C., Pitsavos, C., Nastos, P., Anadiotis, A., Tentolouris, C., Stefanadis, C., Toutouzas, P., Paliatsos, A. (2004). Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *International Journal of Cardiology*, 94, 229-233.
- Papamanolis, N. (2001). On the seasonal dependence of the air pollution in the city of Volos, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10(10), 749-754.
- Petrakakis, M., Kelessis, A.G. and Zoumakis, N.M. (1992) A statistical analysis of the air pollution levels in Thessaloniki, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 1, 123-128.
- Pye, J.M., 1988. Impact of ozone on the growth and yield of trees: a review. *Journal of Environmental Quality*, 17, 347-360.
- Reid, S.J. (2000). *Ozone and Climate Change – A Beginner's Guide*. Gordon and Breach Science Publishers, The Netherlands.

- Regional Law 43/2000, 2000. Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Prima attuazione del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria. Piedmont Regional Council, Turin.
- Samoli, E., Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Katsouyanni, K., Priftis, K.N. (2011). Acute effects of air pollution on paediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification. *Environmental Research*, 111(3), 418-424 (doi: 10.1016/j.envres.2011.01.014).
- Seaton, A, McNee, W., Donalson, K., Godden, D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, 345, 176-178.
- Saitanis C., Karadinos M., Vlassi A., Katsaras D., Arapis G., (2001). Instrumental recording of ozone and other pollutants in the region of Mesogia Attica. Biomonitoring of ozone phytotoxicity. In: Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology, vol B, 755-762.
- Schwartz, J., Slater, D., Larson, T.V., Pierson, W.E., Koenig, J.Q. (1993). Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. *American Review of Respiratory Disease*, 147, 826-831.
- Thom, G.C. and Ott, W.R. (1976). A proposed uniform air pollution index. *Atmospheric Environment*, 10, 261-264.
- Thurston, G.D., Ito, K., Hayes, C.G., Bates, D.V., Lippmann, M. (1994). Respiratory hospital admissions and summertime haze air pollution in metropolitan Toronto, Ontario. *Environmental Research*, 65, 271-290.
- Triantafyllou, A., Kassomenos, P., Kallos G. (1999). On the degradation of air quality due to SO₂ and PM₁₀ in Eordea Basin, Greece. *Meteorologische Zeitschrift*, N. F., 8, 60-70.
- Triantafyllou, A.G. (2000). Patterns and concentrations of PM₁₀ in a mountainous basin region. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(6), 1017-1022.
- Triantafyllou, A.G. (2001). PM₁₀ pollution episodes as a function of synoptic climatology in a mountainous industrial area. *Environmental Pollution*, 112, 3, 491-500.
- Triantafyllou, A.G., Paliatsos, A.G., Voutsinas, M. and Zuburtikudis, I. (2002). Air quality assessment in an industrial area by using environmental indicators. *Fresenius Environmental Bulletin*, 11, 933-939.
- Triantafyllou, A.G. (2003). Levels and trend of suspended particles around large lignite power stations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 89, 11, 15-34.

- Tselepidaki, I., Katsoulis, B.D. and Lalas, D.P. (1983). Some aspects of the occurrence of surface inversions over Athens. In: Proceedings of 2nd Conf. of Environmental Fluid Mechanics, Athens, Greece, 17-39 (in Greek).
- Tselepidaki, I., Santamouris, M., Moustris, K. and Pouloupoulou, G. (1992). Analysis of the summer discomfort index in Athens, Greece, for cooling purposes. *Energy and Buildings*, 18, 51-56.
- Tunstall, D.B. (1979). Developing indicators of environmental quality: the experience of the Council of Environmental Quality. *Social Indicators Research*, 6, 301-347
- Velissariou D., Davidson A.W., Barnes J.D., Pfirmann T., MacLean D.C., Holeval C.D., (1992). Effects of air pollution on *Pinus halepensis* Mill. 1 Pollutions Levels in Attica Greece. *Atmos. Environ.*, 26: 373-380.
- Viras, L.G. and Siskos P.A. (1992). Air Pollution by Gaseous Pollutants in Athens, Greece. In: *Gaseous Pollutants: Characterization and Cycling*. (Edition of J.O. Nriagu (Ed.)) Wiley, 271-305.
- Viras, L.G., Paliatsos, A.G. and Fotopoulos, A.G. (1996). Nine year trend of air pollution by CO in Athens, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 40, 203-214.
- Washington, H.G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18, 6, 653-694.
- Wilson, J.G., Kingham, S., Pearce, J., Sturman, A.P. (2005). A review of intraurban variations in particulate air pollution: Implications for epidemiological research. *Atmospheric Environment* 39, 34, 6444–6462.
- World Health Organisation (WHO) (1987) *Air Quality Guidelines for Europe*, WHO Reg. Publ. Eur. Ser. No. 23, WHO, Copenhagen.
- White, M.C., Etzel, R.A., Wilcox, W.D., Lloyd, C. (1994). Exacerbations of childhood asthma and ozone pollution in Atlanta. *Environmental Research*, 65, 56–68.
- Ziomas, I.C., Zerefos, C.S., Bais, A.F., Proyou, A.G., Amanatidis, G.T., Kelessis, A.G. (1989). Significant increasing trends in surface ozone in Greece. *Environmental Technology Letters*, 10, 1071-1082.
- Ziomas, I.C., Suppan, P., Rappengluch, B., Balis, D., Tzoumaka, P., Melas, D., Papayannis, A., Fabian, P. and Zerefos, C.S. (1995). A Contribution to the study of photochemical smog in the greater Athens area. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 68, 198-203.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Βασιλικιώτης, Γ.Σ. (1989) “Χημεία Περιβάλλοντος”. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Γεντεκάκης, Ι.Β. (2003). Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Γρηγορίου, Π. (2003). Μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε περιοχή της κεντρικής Πελοποννήσου, Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Πειραιά, σ. 39.
- Ενέργεια (1998). Τα στερεά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός. Ενέργεια, 39, 46-47.
- Καθημερινή (2007) Μπουλαντζά, Π.: Η ατμοσφαιρική ρύπανση μας «στοιχίζει» τρία χρόνια ζωής. Εφημερίδα «Καθημερινή» της 26-09-2007.
- Λάλας Δ., Ασημακόπουλος, Δ., Πετράκης, Μ., Χέλμης, Κ., Τόμπρου, Μ., Δεληγιώργη, Δ. (1987). Ατμοσφαιρική ρύπανση στην κοιλάδα της Πτολεμαΐδας. Αθήνα, σελ. 237.
- Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαρίδου, Μ., Σουλακέλλης, Ν. (2000). Ατμοσφαιρική Ρύπανση (Οδηγός εκπαιδευτικών - ΕΠΕΑΕΚ Υποέργο 1.1.στ.1.γ2). Αθήνα, σελ. 53.
- Μπεργελές, Γ. (1992). Παρούσα και μελλοντική ποιότητα περιβάλλοντος από τη λειτουργία των θερμοηλεκτρικών μονάδων της ΔΕΗ στο λεκανοπέδιο Πτολεμαΐδας. Μελέτη - Τεχνική έκθεση για τη ΔΕΗ, Αθήνα, σελ. 100.
- Πετρακάκης, Μ.Ι., Κελέσης, Α.Γ. και Ζουμάκης, Ν.Μ. (2000). Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στο εμπορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης κατά την Περίοδο 1989-1997. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000, 147-153.
- Πρώϊας, Γ.Θ., Λαρίσση, Ι.Κ., Παλιατσός, Α.Γ. (2009). Συμβολή στη μελέτη των επιπτώσεων του επιφανειακού όζοντος στη βλάστηση της ευρύτερης περιοχής του Βόλου. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης (Επιμέλεια Έκδοσης: Β. Κοτζαμάνης, Α. Κούγκολος, Η. Μπεριάτος, Δ. Οικονόμου, Γ. Πετράτος), Βόλος, 24-27 Σεπτεμβρίου 2009, τόμος Β, 1139-1146.
- Τριανταφύλλου, Α.Γ., Παλιατσός, Α.Γ., Αντωνίου, Α., Βύρας, Α.Γ. και Ευαγγελλόπουλος, Β. (2006). Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 σε διάφορες περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Πρακτικά 8ου Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα, 24-26 Μαΐου 2006, τόμος Β, 193-200.
- Υ.Π.Ε.ΧΩ.ΔΕ., Δ/ση ΕΑΡΘ - ΠΕΡΠΙΑ (1989). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας, Τεχνική Έκθεση, Τόμος 2, Πηγές Ρύπανσης.

- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1995). Η Ελλάδα - Οικολογικό και πολιτισμικό απόθεμα (Δεδομένα, Δράσεις, Προγράμματα για την προστασία του περιβάλλοντος, σ. 408.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος (2006). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, Έκθεση 2005. σ. 73.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος (2007). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, Έκθεση 2006. σ. 67.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος (2008). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, Έκθεση 2007. σ. 65.
- Υ.ΠΕ.ΚΑ., Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος (2009). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, Έκθεση 2008. σ. 78.
- Υ.ΠΕ.ΚΑ., Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος (2010). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, Έκθεση 2009. σ. 77.
- Ζερεφός Χ., Ζιώμας, Ι., Μπάης, Α., Μελέτη, Χ., Μπαλής, Δ., Τουρπάλη, Κ. (1991). Προκαταρκτική μελέτη της αέριας ρύπανσης από διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια στην κοιλάδα της Πτολεμαΐδας. Θεσσαλονίκη, σ. 250.

Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο

<http://www.airlab.edu.gr/htm/toxics.htm>

<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tableh1co2.xls>

<http://www.physics4u.gr/faq/atmosphera.html>

<http://home.iitk.ac.in>

<http://www.info.gov.hk>

NSW Department of Health. Air pollution and health. Available at:
www.health.nsw.gov.au/public-health/ehb/hazards/air-pollution.html.

NSW Environment Protection Authority. Action for Air. Sydney: EPA, 1998, with
action for Air, 2006 update. Sydney: EPA, 2006. Available at:
www.environment.nsw.gov.au/air/actionforair/execsum.htm

Bristol City Council Air Quality. Local Air Quality and Emissions Available at:
<http://www.bristol.airqualitydata.com>
<http://www.bristol.airqualitydata.com>