



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ:
ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ**



ΓΡΥΔΑΚΗ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
ΚΑΤΣΑΟΥΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

Χανιά, Ιούλιος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της υφιστάμενης κατάστασης ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αστικές περιοχές στην Ευρώπη μέσω της επεξεργασίας των συγκεντρώσεων των κυριότερων ρύπων με αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν εννέα από τις πολυπληθέστερες σύγχρονες ευρωπαϊκές πόλεις, προκειμένου να εξεταστεί η χρονική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων για τη δεκαετία 1999-2008, καθώς επίσης και η μηνιαία, ημερήσια και ωριαία διακύμανση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), ο οποίος αποτελεί το κέντρο συγκέντρωσης των δεδομένων παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα από τα ευρωπαϊκά δίκτυα ελέγχου της και τους μεμονωμένους σταθμούς που καταγράφουν τη ρύπανσή του, στα πλαίσια της γενικότερης πολιτικής της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για βελτίωση της ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη. Μέσα από την ανάλυση προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν τα ποσοστά ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τα οποία έχουν να κάνουν με την προέλευση των ρύπων (για τους πρωτογενείς ρύπους), τις χημικές ιδιότητες των ρύπων (για τους δευτερογενείς ρύπους), τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αστικού κλίματος και τη γεωγραφική θέση της αστικής περιοχής. Επίσης εξετάστηκε ο βαθμός στον οποίο τα κυμαινόμενα επίπεδα των συγκεντρώσεων αποτελούν απειλή για τη δημόσια υγεία, συγκρίνοντάς τα με τα νομοθετημένα όρια ποιότητας αέρα.

Στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιήθηκε και μια πειραματική διαδικασία μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη των Χανίων για ένα διάστημα δύο εβδομάδων, με σκοπό να διαπιστωθούν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και η διακύμανση τους σε μία μικρότερη αστική κλίμακα.

Τέλος, προκειμένου να εξετασθεί η εξέλιξη της κατάστασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη για τα επόμενα χρόνια, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα δύο σεναρίων μελλοντικής πρόγνωσης, που διαμορφώθηκαν στα πλαίσια της «Θεματικής Στρατηγικής για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση», με χρονικό ορίζοντα το 2030.

Περιεχόμενα

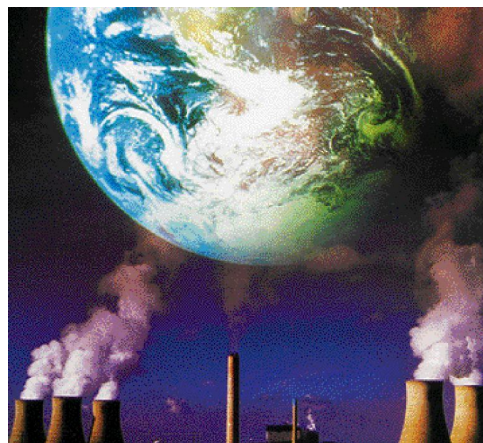
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2	ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	10
3	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ.....	13
3.1	Κατηγορίες ατμοσφαιρικών ρύπων	13
3.2	Μονάδες συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων	14
3.3	Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων	14
3.4	Περιγραφή κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων	17
3.4.1	Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	18
3.4.2	Διοξείδιο του Θείου (SO ₂).....	19
3.4.3	Οξείδια του Αζώτου (NO _x).....	21
3.4.4	Όζον (O ₃)	24
3.4.5	Αιωρούμενα Σωματίδια (PM)	26
3.4.6	Υδρογονάνθρακες (HCs)	28
3.4.7	Βαρέα Μέταλλα	33
3.4.8	Μαύρος Καπνός (BS)	36
3.5	Τύποι Νέφους.....	37
3.6	Το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής	38
4	ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΡΥΠΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	39
4.1	Περιβαλλοντική πολιτική Ευρωπαϊκής Κοινότητας.....	39
4.2	Όρια ασφαλείας - ποιότητας ατμόσφαιρας	40
4.3	Θεσμικό πλαίσιο για ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση	41
4.4	Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	43
4.5	Σύγκριση ορίων Ευρωπαϊκής Ένωσης με Π.Ο.Υ και US EPA	47
4.6	Όρια εκτάκτων μέτρων.....	48
4.7	Ποιότητα του αέρα στην Ευρώπη σε σχέση με τα όρια ασφαλείας	50
4.7.1	Μονοξείδιο του άνθρακα - 2007	52
4.7.2	Διοξείδιο του θείου – 2007	53
4.7.3	Διοξείδιο του αζώτου - 2007	55
4.7.4	Όζον – 2007	57
4.7.5	Αιωρούμενα Σωματίδια PM10 - 2007	58
4.7.6	Βενζόλιο - 2007.....	60
4.7.7	Μόλυβδος – 2007	61
5	ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ.....	62
5.1	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ).....	62
5.2	Πρόγραμμα Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης στην Ευρώπη (EMEP).....	67
5.3	Σταθμοί μέτρησης - παρακολούθησης ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα.....	70
5.4	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη	71
6	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	73
6.1	Γενικά	73
6.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση στις περιοχές της Ευρώπης	75
6.3	Αστική περιοχή μελέτης: Λονδίνο.....	76
6.3.1	Γενικές πληροφορίες.....	76
6.3.1	Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Λονδίνο	77
6.3.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	80
6.3.3	Χρονικές διακυμάνσεις των τιμών συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων ..	82
6.4.2	Ατμοσφαιρική ρύπανση Αθήνας.....	103
6.4.3	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	104

6.4.4	Χρονικές διακυμάνσεις των τιμών συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων	106
6.4.5	Σύγκριση με άλλες μεγάλες πόλεις της Ελλάδος	122
6.5	Αστική περιοχή μελέτης: Παρίσι	127
6.5.1	Γενικές πληροφορίες	127
6.5.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	128
6.5.3	Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	130
6.6	Αστική περιοχή μελέτης: Βερολίνο	132
6.6.1	Γενικές πληροφορίες	132
6.6.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	133
6.6.3	Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	135
6.7	Αστική περιοχή μελέτης: Στοκχόλμη	140
6.7.1	Γενικές πληροφορίες	140
6.7.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	141
6.7.3	Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	143
6.8	Αστική περιοχή μελέτης: Βουκουρέστι	146
6.8.1	Γενικές πληροφορίες	146
6.8.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	146
6.8.3	Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	148
6.9	Αστική περιοχή μελέτης: Βιέννη	151
6.9.1	Γενικές πληροφορίες	151
6.9.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	152
6.9.3	Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	154
6.10	Περιοχή μελέτης: Ρώμη	157
6.10.1	Γενικές πληροφορίες	157
6.10.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	157
6.10.3	Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	159
6.11	Αστική περιοχή μελέτης: Μαδρίτη	162
6.11.1	Γενικές πληροφορίες	162
6.11.2	Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	162
6.11.3	Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων	164
6.12	Συμπεράσματα σχετικά με τη διαχρονική μεταβολή	167
6.13	Συμπεράσματα σχετικά με τις ετήσιες οριακές τιμές	168
6.14	Σύγκριση μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των ρύπων μεταξύ των αστικών περιοχών μελέτης για το 2007	169
6.15	Σύγκριση μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των ρύπων μεταξύ των αστικών περιοχών μελέτης για το 2008	174
7	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM ₁₀ ΚΑΙ PM _{2,5} ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ	179
7.1	Περιοχή μελέτης	179
7.2	Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: DustTrak της εταιρείας TSI	180
7.2.1	Περιγραφή οργάνου	180
7.2.2	Τμήματα οργάνου	183
7.2.3	Αρχή λειτουργίας οργάνου	183
7.3	Περιγραφή δειγματοληψίας	185
7.4	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	187
7.4.1	Περιοχή δειγματοληψίας: Πλατεία Δημοτικής Αγοράς	187
7.4.2	Περιοχή δειγματοληψίας: Πλατεία Δικαστηρίων	189

7.4.3	Περιοχή δειγματοληψίας: Πολυτεχνείο Κρήτης – Κτίρια Μηχανικών Περιβάλλοντος.....	190
8	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ.....	195
8.1	Σενάρια πρόβλεψης για το 2030.....	195
8.2	Η επίδραση της μετεωρολογίας.....	200
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	203
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	207

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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. Σε αυτήν την περίπτωση έχει επικρατήσει να λέγεται ότι έχουμε «Νέφος».

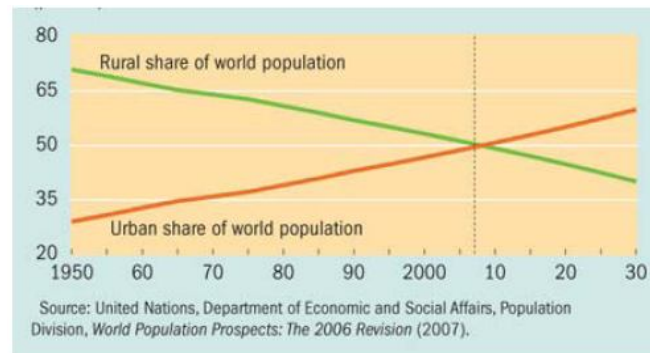


Οι πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ποικίλλουν και μπορεί να είναι ανθρωπογενείς ή φυσικές. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι: οι βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία), η παραγωγή και μεταφορά ενέργειας, οι μεταφορές και η κεντρική θέρμανση.

Η ποιότητα της ατμόσφαιρας στις αστικές περιοχές αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς στις περιοχές αυτές υπάρχει αφενός συγκέντρωση μεγάλου αριθμού πηγών ρύπανσης και αφετέρου συγκέντρωση πληθυσμού. Το ενδιαφέρον που εκδηλώνεται για την μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές παραμένει αμείωτο, καθώς νέοι ρύποι εμφανίζονται ενώ συγχρόνως αναδεικνύονται οι επιπτώσεις των διαφόρων ρύπων στην υγεία του πληθυσμού.

Ο αστικός πληθυσμός παγκοσμίως ολοένα και αυξάνεται. Το 2007 προβλέπεται ότι το 50% του πληθυσμού θα κατοικεί σε αστικές περιοχές, ενώ μέχρι το 2030 το ποσοστό προβλέπεται να φτάσει μέχρι και το 60% (United Nations Population Division 2002). Σε ό,τι αφορά την

Ευρώπη, λεπτομερέστερα στοιχεία κατανέμουν τον αστικό πληθυσμό της ΕΕ στο 80% του συνολικού πληθυσμού, ενώ οι αστικές περιοχές άνω των 10.000 κατοίκων καταλαμβάνουν περίπου το 25% της εδαφικής επιφανείας της ΕΕ (European Commission 1998).



Σχήμα 1.1 Με την πράσινη γραμμή απεικονίζεται η πορεία του αγροτικού πληθυσμού της γης και με την κόκκινη του αστικού.

Η γενική ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στις ευρωπαϊκές πόλεις έχει βελτιωθεί τις τελευταίες δεκαετίες, παρά την αύξηση της πυκνότητας του πληθυσμού αλλά η ατμοσφαιρική ρύπανση εξακολουθεί να θεωρείται ένα κορυφαίας προτεραιότητας περιβαλλοντικό πρόβλημα με ευρείας κλίμακας επιπτώσεις.

Οι επιπτώσεις στην υγεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν αποτελέσει αντικείμενο έντονης μελέτης τα τελευταία χρόνια. Η έκθεση σε ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια και το όζον έχει συσχετισθεί με τις αυξήσεις της θνησιμότητας και των εισαγωγών σε νοσοκομείο λόγω αναπνευστικών και καρδιαγγειακών παθήσεων.

Μετά την εποχή της επιτυχούς μείωσης των «παραδοσιακών» ατμοσφαιρικών ρύπων (διοξείδιο του θείου, αιθάλη), που καταγράφηκε στον αναπτυγμένο κόσμο στα τέλη της δεκαετίας του 1970, ακολούθησαν δύο δεκαετίες στις οποίες η ατμοσφαιρική ρύπανση επανεμφανίστηκε ως μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα για την υγεία. Ένας λόγος είναι ότι, αν και η ατμοσφαιρική ρύπανση από την καύση των παραδοσιακών ορυκτών καυσίμων είναι πλέον παρούσα σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από ότι πριν από 50 χρόνια, άλλα συστατικά έχουν αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία (Brunekreef & Holgate, 2002). Η αλλαγή στις πηγές ρύπανσης (με τα οχήματα να γίνονται ολοένα η πιο σημαντική πηγή σε πολλές

περιοχές) έχει συμβάλει σε αλλαγή του μείγματος αερίων ρύπων που τώρα χαρακτηρίζεται από οξείδια του αζώτου, αιωρούμενα σωματίδια και φωτοχημικούς ρύπους. Η φωτοχημική ρύπανση του αέρα, που χαρακτηρίζεται από τις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος κατά τη διάρκεια ζεστών και ηλιόλουστων καιρικών συνθηκών, κυριαρχεί πλέον σε μεγάλες περιοχές της Ευρώπης. Τα οξείδια του αζώτου που παράγονται από τον ολοένα αυξανόμενο αριθμό των οχημάτων έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν αλλάξει ως προς τη σύσταση, μεταβάλλοντας και την τοξικότητά τους.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι όμως εκτός από τοπικό είναι και διασυνοριακό ζήτημα. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπονται σε μια χώρα μπορεί να μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα και να έχουν επιβλαβείς συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον σε άλλον τόπο.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της υφιστάμενης κατάστασης ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αστικές περιοχές στην Ευρώπη. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν εννέα από τις πολυπληθέστερες σύγχρονες ευρωπαϊκές πόλεις, προκειμένου να εξεταστεί η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων για τη δεκαετία 1999-2008. Η εργασία θα επικεντρωθεί στους ρύπους που περιλαμβάνονται στην ευρωπαϊκή οδηγία *για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη* (EU, 2008), δηλαδή, για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO₂), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το όζον (O₃), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀ και PM_{2,5}) και το βενζόλιο (C₆H₆), που είναι και οι πιο συχνά καταγραφόμενοι στους σταθμούς μέτρησης. Όσον αφορά το βενζο(α)πυρένιο (B(a)P), καθώς και το μόλυβδο (Pb) και τα άλλα βαρέα μέταλλα που περιλαμβάνονται στην *4η θυγατρική οδηγία* (EU, 2004a), θα αναφερθούμε συνοπτικά μόνο.

Η διατύπωση του προβλήματος που απασχολεί τη παρούσα εργασία αποτελεί το αντικείμενο του εισαγωγικού κεφαλαίου. Στο κεφ. 2 γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οδήγησε στην παρούσα κατάσταση της, ενώ στο κεφ. 3 δίνεται η περιγραφή των βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων που θα μας απασχολήσουν στην εργασία και των επιπτώσεων που προκαλούν αυτές, με ιδιαίτερη έμφαση στη δημόσια υγεία.

Το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο που καθορίζει τα όρια ασφαλείας της έκθεσης στους ρύπους αυτούς, καθώς και η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για τη

βελτίωση της ποιότητας παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα. Κατόπιν, γίνεται αναφορά στα δίκτυα παρακολούθησης της ποιότητας αέρα που έχουν αναλάβει τη συγκέντρωση των δεδομένων παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα από τα τοπικά ευρωπαϊκά δίκτυα σταθμών μέτρησης που καταγράφουν τη ρύπανσή του. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται στοιχεία μετρούμενων συγκεντρώσεων από τη βάση δεδομένων Airbase, που λειτουργεί στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) και στην οποία κάθε χρόνο τα κράτη μέλη της ΕΕ οφείλουν να υποβάλουν έκθεση.

Στο κεφ. 6 εξετάζεται η χρονική διακύμανση των μετρούμενων αυτών συγκεντρώσεων για εννέα ευρωπαϊκές πόλεις. Για κάθε έναν από τους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων του για τη δεκαετία 1999-2008 σε κάθε μία από τις αστικές περιοχές μελέτης. Για δύο πόλεις, το Λονδίνο, λόγω σημασίας του σε παγκόσμιο επίπεδο, και την Αθήνα λόγω τοπικού ενδιαφέροντος, εξετάζονται οι χρονικές διακυμάνσεις και σε μηνιαίο, ημερήσιο αλλά και ωραίο επίπεδο για το 2008, έτος για το οποίο υπάρχουν τα πιο πρόσφατα δεδομένα.

Στο κεφ. 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη των Χανίων, που πραγματοποιήθηκε σε διάστημα δύο εβδομάδων, με σκοπό να διαπιστωθούν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και η διακύμανση τους σε μία μικρότερη αστική κλίμακα.

Τέλος, εξετάζεται η εξέλιξη της κατάστασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη για τα επόμενα χρόνια, μέσω της παρουσίασης στο κεφ. 8, των αποτελεσμάτων δύο σεναρίων μελλοντικής πρόγνωσης, που διαμορφώθηκαν στα πλαίσια της «Θεματικής Στρατηγικής για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση», με χρονικό ορίζοντα το 2030.

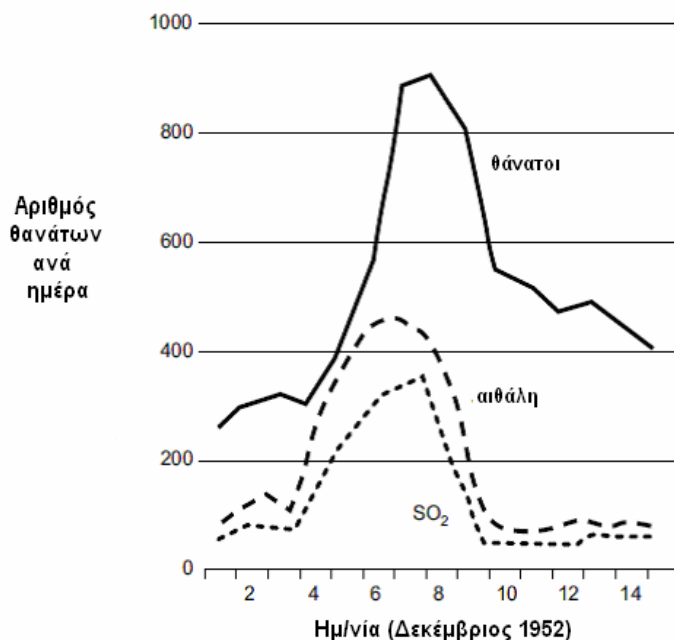
Τα επιμέρους συμπεράσματα της κάθε θεματικής ενότητας αναφέρονται στο τέλος των αντιστοίχων κεφαλαίων, ενώ στο τελευταίο κεφάλαιο (κεφ. 9) συνοψίζονται τα κυριότερα.

2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Ο άνθρωπος άρχισε να επιβαρύνει την ατμόσφαιρα από τη στιγμή, που έκανε μία από τις σπουδαιότερες ανακαλύψεις του, δηλαδή να χρησιμοποιεί ο ίδιος τη φωτιά. Η χρήση της φωτιάς πήρε βέβαια εκρηκτικές διαστάσεις με τη βιομηχανική επανάσταση, η οποία άρχισε τον 18ο αιώνα κατ' αρχάς στην Αγγλία και μετά στη Γαλλία, Γερμανία, ΗΠΑ κ.λπ. και οδήγησε στην εντατική χρήση του κάρβουνου κυρίως, και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στον αναπτυγμένο κόσμο έχει υποστεί δραστικές αλλαγές τα τελευταία 50 χρόνια. Μέχρι το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η σημαντικότερη χημική ένωση στη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα στα αστικά περιβάλλοντα ήταν το διοξείδιο του θείου σε συνδυασμό με την αιθάλη, προερχόμενα από τη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Το Δεκέμβριο του 1952 σημειώθηκε στο Λονδίνο ένα επεισόδιο, κατά τη διάρκεια του οποίου οι δύο αυτοί ρύποι ανήλθαν σε πρωτοφανή επίπεδα (Σχήμα 2.1) και είχε ως αποτέλεσμα να συμβούν 4.000 «πλεονάζοντες» θάνατοι (σύγκριση των ρυθμών θανάτου πριν και μετά το επεισόδιο), οι οποίοι αποδόθηκαν στην ρύπανση. Το επεισόδιο αυτό, γνωστό ως νέφος «τύπου Λονδίνου», όπως επίσης και ως καπνομίχλη ή αιθαλομίχλη (smog), από τις λέξεις καπνός ή αιθάλη (smoke) και ομίχλη (fog), θα οδηγήσει στην θέσπιση εκτεταμένων νομοθετικών πλαισίων, με σημαντικότερο το Clean Air Act το 1956 (Fenger, 2009).

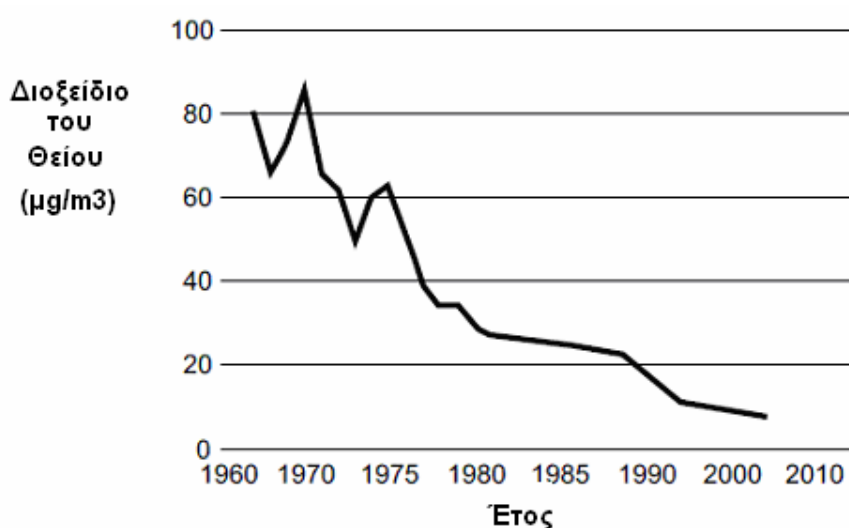


Το νέφος του Λονδίνου, 1952. Το επεισόδιο διήρκεσε 4 μέρες, οι συγκεντρώσεις ανήλθαν σε πρωτοφανή επίπεδα και σημειώθηκαν πάνω από 4000 θάνατοι.

Σχήμα 2.1 (Προσαρμογή από Fenger, 2009).



Οι ευρωπαϊκές εκπομπές διοξειδίου του θείου, καθώς και οι αστικές συγκεντρώσεις σε πολλές πόλεις, συνέχισαν την ανοδική πορεία μέχρι το 1970. Από τότε όμως και μέχρι σήμερα οι αστικές συγκεντρώσεις ακολουθούν μία σταθερή πορεία μείωσης (Σχήμα 2.2).



Συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου, Κοπεγχάγη. Η μέση ετήσια τιμή που έφτανε περίπου τα 80 μg/m³ (1960), έχει πλέον μειωθεί στο ένα δέκατο, μένοντας σταθερά κάτω από την τιμή ορίου των 50 μg/m³ σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ (WHO).

Σχήμα 2.2 (Προσαρμογή από Fenger, 2009).

Η πρώτη κοινοτική οδηγία από την Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα εγκρίθηκε από το Συμβούλιο το 1980 (ΕΟΚ, 1980) και έδωσε οριακές τιμές και τιμές-στόχους για το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από τις δυσμενείς επιπτώσεις.

Ακολούθησαν οι οδηγίες για το μόλυβδο (ΕΟΚ, 1982) και το διοξείδιο του αζώτου (ΕΟΚ, 1985). Αργότερα (ΕΚ, 1999) οι τιμές ορίων έγιναν αυστηρότερες.

Αν και το πρόβλημα της ρύπανσης του διοξειδίου του θείου επιλύθηκε εν μέρει λόγω της χρήσης καθαρότερων καυσίμων, η ολοένα αυξανόμενη κίνηση των οχημάτων στους δρόμους των πόλεων αύξησε τις συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου και των πτητικών οργανικών ενώσεων, καθώς και σε ορισμένες περιοχές τη φωτοχημική ρύπανση. Τον τελευταίο καιρό το ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια και σε οργανικές ενώσεις που μπορούν να ανιχνευθούν με νέες εξελιγμένες τεχνικές μεθόδους.

Από το 1990 οι εκπομπές πολλών ατμοσφαιρικών ρύπων έχουν μειωθεί σημαντικά στην Ευρώπη, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιοχή. Ωστόσο, από το 1997, οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων και του όζοντος στην ατμόσφαιρα δεν έχουν σημειώσει σημαντική βελτίωση, παρά τη μείωση των εκπομπών. Αξιοσημείωτο ποσοστό του ευρωπαϊκού αστικού πληθυσμού κατοικεί ακόμη σε πόλεις όπου ορισμένες τιμές της κοινοτικής νομοθεσίας για την ποιότητα του αέρα (που έχουν θεσπιστεί για την προστασία της ανθρώπινης υγείας) παραβιάζονται. Επίσης, ορισμένες χώρες πιθανότατα δεν θα κατορθώσουν να επιτύχουν τις νομικά δεσμευτικές οριακές τιμές σε τέσσερις σημαντικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους έως το 2010. Η ανάγκη περιορισμού της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση παραμένει ένα ζήτημα ιδιαίτερης σημασίας.

3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

3.1 Κατηγορίες ατμοσφαιρικών ρύπων

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

- **το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**
- **το διοξείδιο του θείου (SO₂)**
- **τα οξείδια του αζώτου (NO_x)**
- **το όζον (O₃)**
- **τα αιωρούμενα σωματίδια (PM)**
- **οι υδρογονάνθρακες και τα παράγωγά τους (HC)**
- **τα βαρέα μέταλλα**

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

Οι υπόλοιποι μη συμβατικοί ρύποι (noncriteria pollutants) διακρίνονται από τη νομοθεσία και σε δύο επιπλέον κατηγορίες, στους βλαπτικούς αέριους ρύπους HAPs (hazardous air pollutants) και στους τοξικούς. Η πρώτη κατηγορία σχετίζεται με διάφορα προβλήματα υγείας, όπως ερεθισμούς, ασφυξία κ.α., ενώ η δεύτερη αφορά τη φυσιολογική απόκριση (τοξικότητα) (Bradstreet, 1996). Οι δύο αυτές κατηγορίες ρύπων είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τις βιομηχανικές περιοχές, ενώ στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις τους είναι συνήθως τάξεις μεγέθους μικρότερες απ' ό,τι των συμβατικών ρύπων (Οικονομόπουλος, 2000).

3.2 Μονάδες συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι συγκεντρώσεις των ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα εκφράζονται σαν μικρογραμμάρια του ρύπου ανά κυβικό μέτρο αέρα ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Για την περίπτωση NO_x , (μίγματος κυρίως NO και NO_2) τα $\mu\text{g}/\text{m}^3$ εκφράζονται συμβατικά σαν ισοδύναμη συγκέντρωση NO_2 ($\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$).

Μία άλλη έκφραση συγκεντρώσεων είναι τα μέρη στο εκατομμύριο κατ' όγκο (ppm vol ή ppmv). Ένα ppm vol είναι ίσο με ένα όγκο αερίου αναμεμιγμένο σε ένα εκατομμύριο όγκους αέρα, π.χ. ένα cm^3 αερίου ανά m^3 αερίου.

Η συγκέντρωση των σωματιδίων δεν μπορεί να εκφραστεί σε ppm vol, παρά μόνο σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Οικονομόπουλος, 2000).

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

3.3 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι ρύποι είτε ελευθερώνονται άμεσα στην ατμόσφαιρα από μία αναγνωρισμένη πηγή και ονομάζονται πρωτογενείς ή παράγονται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων και ονομάζονται δευτερογενείς.

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά **φυσικές πηγές**. Παρ' όλα 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 αέριων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις (Μελάς, 1997). Μερικά παραδείγματα φυσικών πηγών είναι:

- Οι εκρήξεις ηφαιστειών(κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
- Οι πυρκαγιές (φυσικές) δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
- Οι αμμοθύελλες με τις οποίες π.χ. πολλές φορές άμμος από τη Σαχάρα φτάνει όχι μόνο μέχρι την Ελλάδα αλλά και μέχρι την κεντρική και βόρεια Ευρώπη (αιωρούμενα σωματίδια).
- Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
- Η βιολογική αποσύνθεση φυτών και ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).



Οι κυριότερες **ανθρωπογενείς πηγές** είναι:

- Βιομηχανικές πηγές (αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου κ.α.)
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, βενζόλιο κ.α.)
- Μεταφορές (μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου, βενζόλιο κ.α.)
- Κεντρική θέρμανση (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου κ.α.).

Επίσης και η απόθεση και η αποτέφρωση των στερεών αποβλήτων ελευθερώνουν αρκετούς ρύπους (μονοξείδιο του άνθρακα κ.α.).

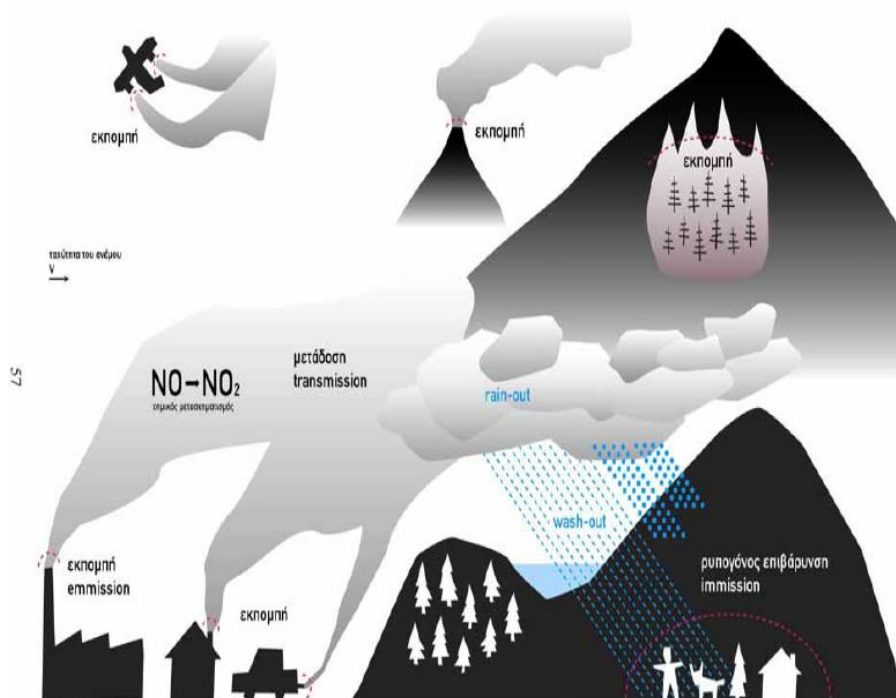
Στο 3.4 θα δούμε αναλυτικά ποιοι ρύποι εκπέμπονται από την κάθε πηγή.

Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δημιουργείται από διαδικασίες καύσης υλικών, που ονομάζονται καύσιμα. Υπάρχουν στερεά καύσιμα (λιγνίτης, λιθάνθρακας, τύρφη, κοκ, μπριγκέτες, ξυλάνθρακες, ξύλα, απορρίμματα κ.α.), υγρά καύσιμα (βενζίνη, πετρέλαιο, κηροζίνη κ.α.) και αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο, υδρογόνο κ.α.). Όλα σχεδόν τα συμβατικά καύσιμα αποτελούνται κυρίως από χημικές ενώσεις δύο στοιχείων, του άνθρακα και του υδρογόνου δηλαδή από υδρογονάνθρακες. Για να καεί ένα καύσιμο πρέπει να βρεθεί σε μία υψηλή θερμοκρασία, που είναι απαραίτητη για την ανάφλεξή του, και να υπάρχει αρκετό οξυγόνο (O_2). Η ανάφλεξη ενός καυσίμου είναι τόσο ευκολότερη όσο μεγαλύτερο είναι το μέρος H_2 , που περιέχει. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιούμε αέρα για την καύση (που περιέχει O_2 σε αναλογία όγκου 21%). Κατά την καύση ενός καυσίμου εκτός από τη θερμότητα δημιουργείται και μία σειρά ρύπων (Μπίνιαρης, 2004).

Οι ρύποι που προέρχονται από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου, καταλήγουν στην ατμόσφαιρα (Σχήμα 3.1) στην περίπτωση :

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

Στην περίπτωση μιας έκρηξης ηφαιστείου οι ρύποι καταλήγουν στην ατμόσφαιρα μέσω του κρατήρα, ενώ σε ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες μέσω της πόρτας, των παραθύρων ή του τεχνητού συστήματος εξαερισμού του κτιρίου.



Σχήμα 3.1 Διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα (Μπίνιαρης, 2004).

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

3.4 Περιγραφή κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων

Στις ενότητες που θα ακολουθούν θα γίνει μία παρουσίαση των λεγόμενων συμβατικών ρύπων με αναφορά στις χημικές ιδιότητες και ατμοσφαιρικές αντιδράσεις, στις πηγές των ρύπων, στις τυπικές συγκεντρώσεις σε αστικές και μη αστικές περιοχές, στις επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον και στα όρια ασφαλείας.

3.4.1 Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)



Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο που παράγεται από την ατελή καύση του άνθρακα και είναι εξαιρετικά τοξικό. Εκπέμπεται κυρίως από τις εξατμίσεις των μηχανών των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων και πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση της καύσιμης ύλης.

Ατελής καύση είναι πιθανότερο να συμβεί σε χαμηλές αναλογίες αέρα – καυσίμου στον κινητήρα, που έχουμε συνήθως κατά το ξεκίνημα της μηχανής αφού η παροχή αέρα είναι περιορισμένη, καθώς και όταν τα αυτοκίνητα δε ρυθμίζονται σωστά, αλλά και σε υψόμετρα όπου μειώνεται δραστικά η ποσότητα του οξυγόνου που διατίθεται για καύση (εξαιρέση αποτελούν τα αυτοκίνητα που είναι σχεδιασμένα για να αντεπεξέρχονται στα μεγάλα υψόμετρα) (US EPA Office of Mobile Sources, 1993).

Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα από αυτοκίνητα αυξάνονται δραματικά σε ψυχρό καιρό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αυτοκίνητα χρειάζονται περισσότερα καύσιμα για να ξεκινήσουν σε ψυχρές θερμοκρασίες, και επειδή ορισμένες συσκευές ελέγχου των εκπομπών (όπως οι αισθητήρες οξυγόνου και οι καταλυτικοί μετατροπείς) λειτουργούν λιγότερο αποτελεσματικά όταν είναι κρύες (US EPA Office of Mobile Sources, 1993).

Έκτός από τα μέσα μεταφοράς, άλλες ανθρωπογενείς πηγές του CO είναι η απόθεση στερεών αποβλήτων, η παραγωγή σιδήρου κλπ. Οι εκπομπές του CO από οχήματα και βιομηχανίες υπολογίζονται σε περίπου 200 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων το 70% αφορά τις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, OECD, οργανισμός των 24 πλέον αναπτυγμένων βιομηχανικών χωρών με έδρα το Παρίσι). Ανάλογες ποσότητες CO παράγονται σε παγκόσμια κλίμακα από τις φωτιές δασών και την καύση βιομάζας (Βαλαβανίδης, 2007).

Οι παγκόσμιες συγκεντρώσεις CO υποβάθρου κυμαίνονται μεταξύ 0,06 mg/m³ και 0,14 mg/m³. Σε ευρωπαϊκές πόλεις με κυκλοφοριακό φόρτο η οκτάωρη μέση συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα είναι μικρότερη συνήθως από 20 mg/m³ με μικρές αυξήσεις που φτάνουν τα 60 mg/m³ (Λαζαρίδης, 2005). Γενικά 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.

Επιπτώσεις στην υγεία

Το εισπνεόμενο CO αντιδρά με το σίδηρο στην αιμογλοβίνη και σχηματίζει την καρβοξυαιμογλοβίνη (COHb), η οποία μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα. Χαμηλές συγκεντρώσεις του επηρεάζουν δυσμενώς άτομα με καρδιακά προβλήματα και μειώνουν τις σωματικές επιδόσεις νεαρών και υγιών ατόμων. Υψηλότερες συγκεντρώσεις προκαλούν συμπτώματα όπως ζαλάδα, πονοκεφάλους και κόπωση (ΕΑΡΘ, 2009).

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας προτείνει ως ανώτατο όριο καρβοξυαιμογλοβίνης στο αίμα το 2,5 έως 3%. Τα προτεινόμενα όρια έκθεσης ανάλογα με τον χρόνο έκθεσης που διατηρούν την καρβοξυαιμογλοβίνη στα παραπάνω πλαίσια δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Προτεινόμενα Όρια από την Π.Ο.Υ. για CO

Χρόνος Έκθεσης	Μέσο επίπεδο CO
15 λεπτά	100 mg/m ³
30 λεπτά	60 mg/m ³
1 ώρα	30 mg/m ³
8 ώρες	10 mg/m ³

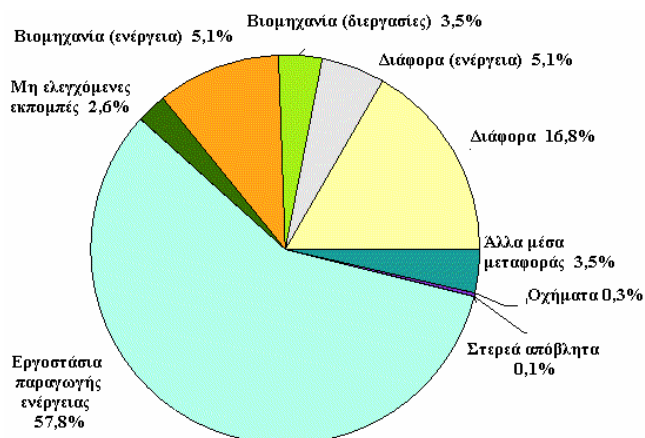
3.4.2 Διοξείδιο του Θείου (SO₂)



Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Είναι ένας αρκετά τοξικός ρύπος για το φυσικό περιβάλλον.

Το SO₂ είναι αποτέλεσμα της χρήσης ορυκτών καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, καθώς και των εκπομπών ηφαιστειών. Οι ανθρωπογενείς πηγές (Σχήμα 3.2) που εκπέμπουν διοξείδιο του θείου είναι τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, οι βιομηχανίες, οι κεντρικές θερμάνσεις, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι χημικές βιομηχανίες και οι χαρτοβιομηχανίες. Η καύση άνθρακα αντιπροσωπεύει το 50% των ετήσιων παγκόσμιων εκπομπών SO₂, καθιστώντας την τη μεγαλύτερη πηγή για τις παγκόσμιες εκπομπές, ενώ η καύση πετρελαίου και ντίζελ (diesel) συμβάλλουν σε ποσοστό 25-30% (UNEP, 2009).

Υπολογίζεται ότι οι εκπομπές SO₂ στη δεκαετία του '80 ήταν περίπου 100 εκατ. τόνοι, εκ των οποίων το 40% από τις χώρες του ΟΟΣΑ (Βαλαβανίδης, 2007). Με τη βελτίωση των καυσίμων (αποθείωση) και τον έλεγχο των εκπομπών, οι εκπομπές SO₂ έχουν μειωθεί σημαντικά.



Σχήμα 3.2 Ποσοστιαία κατανομή πηγών εκπομπής SO₂ για τις χώρες-μέλη του ΕΟΠ, 2007
(προσαρμογή από ΕΕΑ).

Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής κυμαίνονται από 20-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ με μέσα ημερήσια επίπεδα να υπερβαίνουν τα 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε αστικές περιοχές, όπου είναι ακόμα ευρέως χρησιμοποιούμενο το κάρβουνο για θέρμανση και ηλεκτρισμό, οι συγκεντρώσεις είναι 5-10 φορές μεγαλύτερες από αυτές τις τιμές (Λαζαρίδης, 2005).

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον

Βραχυχρόνια έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις SO₂ επηρεάζει άτομα με αναπνευστικά προβλήματα προκαλώντας επιδείνωση του άσθματος και της χρόνιας βρογχίτιδας. 24ωρες εκθέσεις σε αυξημένες συγκεντρώσεις SO₂ και αιωρούμενων σωματιδίων έχουν συσχετιστεί με αυξημένη θνησιμότητα, νοσηρότητα και μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων. Η ταυτόχρονη επίδραση των δύο ρύπων, η ταυτόχρονη παρουσία των οποίων είναι κανόνας σε αστικές ιδίως περιοχές, προκαλεί συνεργιστικά αποτελέσματα, δηλ. το τελικό αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των μεμονωμένων αποτελεσμάτων της ξεχωριστής επίδρασης του SO₂ και των σωματιδίων (Οικονομόπουλος, 2000).

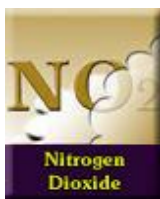
Από την Π.Ο.Υ προτείνονται τα όρια ασφαλείας που δίνονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Προτεινόμενα Όρια από την Π.Ο.Υ. για SO₂

Συγκέντρωση SO ₂	Χρόνος έκθεσης
125 mg/m ³	24 ώρες
50 mg/m ³	1 έτος

Το SO₂ εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου σε αστικές περιοχές με αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση, προκαλεί βλάβες στις επιφάνειες των κτιρίων και διαλυόμενο σε υδρατμούς δημιουργεί όξινη βροχή (acid rain) (Εικόνα 3.1) που καταστρέφει δασικές εκτάσεις και προκαλεί την αύξηση οξύτητας λιμνών και ποταμών με επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς (Βαλαβανίδης, 2007).

3.4.3 Οξείδια του Αζώτου (NO_x)



Τα πιο σημαντικά οξείδια του αζώτου που εμπλέκονται στη ρύπανση του αέρα είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο (NO₂), το σύνολο των οποίων συμβολίζεται ως NO_x. Το NO είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και μη τοξικό ενώ το NO₂ ανάλογα με τη συγκέντρωση έχει ελαφρά καστανό έως ερυθροκάστανο χρώμα και ιδιάζουσα οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα του στην όψη του ουρανού στις αστικές περιοχές. Το NO₂ λόγω της υψηλής οξειδωτικής του κατάστασης είναι εξαιρετικά τοξικό και διαβρωτικό (Οικονομόπουλος, 2000).

Το NO προέρχεται από καύση σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το NO₂ εκπέμπεται σε μικρές ποσότητες από καύσεις μαζί με το NO. Οι ποσότητες NO₂ που εκλύονται πρωτογενώς στην ατμόσφαιρα είναι περιορισμένες σε σχέση με αυτές του NO. Από έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό μόλις το 10% των οξειδίων του αζώτου αποτελούνται από NO₂ ενώ από μικρότερες πηγές εξωτερικής καύσης και από αυτοκίνητα το 2 με 3%.

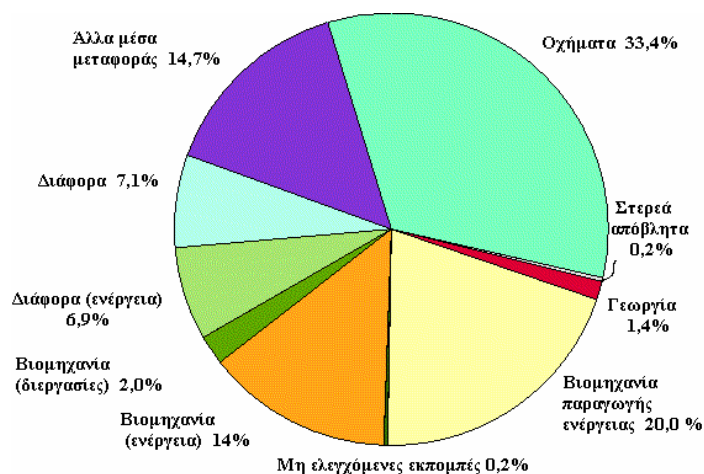
Το NO₂ παράγεται επίσης από το NO μέσω διαφόρων χημικών αντιδράσεων που ενισχύονται από την παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας και επειδή ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται ταχύτατα, το NO₂ θεωρείται πιο σημαντικός ρύπος όσον αφορά την επίδραση στον άνθρωπο.

Οι εκπομπές του NO είναι μεγαλύτερες το χειμώνα όταν υπάρχει αυξημένη χρήση των καυσίμων για θέρμανση, ενώ το NO₂ είναι αυξημένο τις ζεστές ηλιόλουστες μέρες αφού η άφθονη ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με τη μετατροπή (φωτοχημική οξείδωση) του NO σε NO₂ (Οικονομόπουλος, 2000).

Το άθροισμα του NO και του NO₂ ονομάζεται NO_x. Επειδή δε αργά ή γρήγορα όλο το NO μεταβάλλεται στην ατμόσφαιρα σε NO₂ η ποσότητα του αθροίσματος του NO και του NO₂ δηλαδή του NO_x καθορίζεται σαν NO₂.

Η μεγαλύτερη παραγωγή NO_x στην ατμόσφαιρα γίνεται μέσω αναερόβιων βιολογικών διεργασιών. Εστιάζοντας το ενδιαφέρον μας στις ανθρωπογενείς πηγές (Σχήμα 3.3), επειδή οι εκπομπές τους συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές, τα NO_x γενικά παράγονται κατά 40-50% από τα καυσαέρια των οχημάτων και κατά 50% από διάφορες καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής εκτός από τα αυτοκίνητα είναι διάφορες στατικές πηγές όπως σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι χρησιμοποιούν φυσικό καύσιμο, βιομηχανικοί καυστήρες, αποτεφρωτήρες και οι κεντρικές θερμάνσεις των σπιτιών. Οι εκπομπές NO_x σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζονται σε 60 εκατ. τόνους (τέλος της δεκαετίας '80), εκ τω οποίων το 54% προέρχονται από τις χώρες του ΟΟΣΑ (Βαλαβανίδης, 2007).

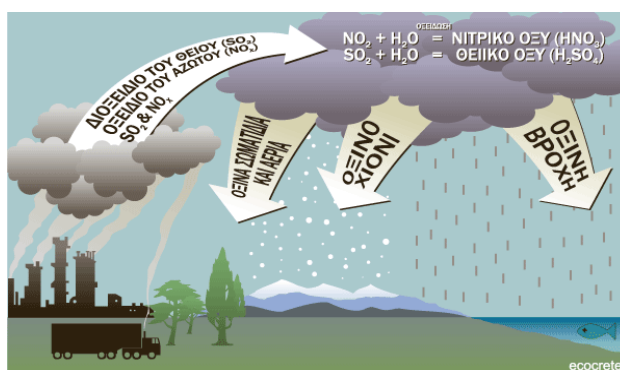
Οι φυσικές μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις υποβάθρου του διοξειδίου του αζώτου κυμαίνονται από 0,4–9,4 μg/m³. Σε αστικές περιοχές οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι μεταξύ 20 και 90 μg/m³ με μέγιστες ωριαίες τιμές που κυμαίνονται από 75-1.015 μg/m³ (Λαζαρίδης, 2005).



Σχήμα 3.3 Ποσοστιαία κατανομή πηγών εκπομπής NO_x για τις χώρες-μέλη του ΕΟΠ, 2007 (προσαρμογή από ΕΕΑ).

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον

Οι εκπομπές NO_x επιβαρύνουν ιδιαίτερα το περιβάλλον στις πόλεις. Συγκεκριμένα το NO_2 σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες συμβάλλει στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους, δίνοντας το χαρακτηριστικό καφέ χρώμα και την έντονη οσμή του. Επίσης τα NO_x θεωρούνται από τους πιο σημαντικούς ρύπους αφού καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος και συμμετέχουν στο σχηματισμό όξινης βροχής (Εικόνα 3.1), ενώ συμβάλλουν και στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Εικόνα 3.1 Σχηματισμός όξινης βροχής (Ecocrete).

Σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση του ανθρώπου σε διοξειδίου του αζώτου, σε υγιείς ανθρώπους βραχυχρόνια έκθεση δε φαίνεται να προκαλεί προβλήματα. Σε ασθματικούς όμως η έκθεση προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή. Επίσης στα παιδιά, που αποτελούν και αυτά μια ευάλωτη κατηγορία, μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικές ασθένειες (ΕΑΡΘ, 2009).

Από την Π.Ο.Υ προτείνονται τα όρια ασφαλείας που δίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 Προτεινόμενα Όρια από την Π.Ο.Υ. για NO₂

Συγκέντρωση NO ₂	Χρόνος έκθεσης
200 mg/m ³	1 ώρα
40 mg/m ³	1 έτος

3.4.4 Όζον (O₃)



Το όζον είναι ένα αέριο άχρωμο με χαρακτηριστική οσμή (το ρήμα «όζει» σημαίνει αυτό που μυρίζει) και είναι το κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους στην τροπόσφαιρα (κατώτερο στρώμα ατμόσφαιρας). Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) ωστόσο, το όζον έχει ευεργετικό ρόλο απορροφώντας τη βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου.

Το όζον είναι δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρύπος, που σχηματίζεται στην τροπόσφαιρα ως αποτέλεσμα αλυσίδας φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου, υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών.

Οι ανεβασμένες συγκεντρώσεις του όζοντος σε περιοχές τεχνολογικά ανεπτυγμένες οφείλονται στις ανθρωπογενείς εκπομπές των NO_x και των υδρογονανθράκων (HCs). Πηγές των ρύπων που συντελούν στη δημιουργία του όζοντος είναι τα οχήματα, βιομηχανικές μονάδες, χωματερές, χημικά διαλυτικά και πολλές άλλες μικρές πηγές όπως βενζινάδικα, αγροτικός εξοπλισμός, κλπ. (ΕΑΡΘ, 2009).

Οι συγκεντρώσεις του O₃ αντανakλούν μία αλληλεπίδραση των εκπομπών των NO_x, HCs, της μετεωρολογίας μεταφοράς και της ατμοσφαιρικής χημείας. Μετά την αύξηση των NO_x

ακολουθεί αύξηση και του O_3 σαν αποτέλεσμα των φωτοχημικών αντιδράσεων που μείνουν τα επίπεδα των πρωτογενών ρύπων. Αυτές οι συγκεντρώσεις των NO_x αυξάνονται και διατηρούνται για ένα διάστημα 1-4 ωρών και στη συνέχεια ακολουθεί μείωση ως αποτέλεσμα της διασποράς, του μετασχηματισμού του NO_2 σε HNO_3 και της αφαίρεσης από επιφάνειες. Κατά τις νυκτερινές ώρες η παραγωγή του όζοντος σταματά.

Εκτός από τις ανθρωπογενείς εκπομπές των πρόδρομων ενώσεων, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος είναι η φωτοχημική δραστηριότητα. Σε επίπεδο ημερήσιας διακύμανσης η μέγιστη συγκέντρωση O_3 σημειώνεται νωρίς το απόγευμα αφού η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης είναι μέγιστη κατά τις μεσημβρινές ώρες (πρόκειται για μία δυναμική κατάσταση που απαιτεί κάποιο χρόνο για να συσσωρευτεί η μεσημβρινή δραστηριότητα). Η ελάχιστη παρατηρείται νωρίς το πρωί, μετά από τις νυκτερινές ώρες οπότε η ηλιακή δραστηριότητα είναι ανύπαρκτη και η μεταφορά από μεγαλύτερα ύψη διακόπτεται λόγω της νυκτερινής θερμοκρασιακής αναστροφής. Σε επίπεδο εποχιακής διακύμανσης, όπως είναι επόμενο, μεγάλες συγκεντρώσεις έχουμε την άνοιξη και το καλοκαίρι και μικρότερες το χειμώνα. (Οικονομόπουλος, 2000).

Οι συγκεντρώσεις υποβάθρου του όζοντος κυμαίνονται από 40-70 $\mu g/m^3$, αλλά μπορεί να ανέλθουν σε επίπεδα 120-140 $\mu g/m^3$ για μία ώρα. Στην Ευρώπη η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση όζοντος μπορεί να υπερβεί τα 300 $\mu g/m^3$ σε αγροτικές περιοχές και τα 350 $\mu g/m^3$ σε αστικές περιοχές (Λαζαρίδης, 2005).

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον

Το όζον λόγω της οξειδωτικής ικανότητας του (μπορεί να αντιδράσει με κάθε βιολογική ουσία) θεωρείται εξαιρετικά επικίνδυνος ρύπος και σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί σημαντικά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον όπου ζούμε. Προκαλεί ερεθισμό στην αναπνευστική οδό, διαταραχή της αναπνευστικής λειτουργίας, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό, πόνο στο στήθος, βήχα, άσθμα, φλεγμονή στους πνεύμονες, πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού και ερεθισμό των οφθαλμών. Το όζον είναι επίσης ο ρύπος με τις δυσμενέστερες επιδράσεις στα φυτά. Μειώνει την παραγωγή στις αγροτικές καλλιέργειες και προκαλεί ζημιά στη δασική βλάστηση, ενώ προκαλεί καταστροφές και στα υλικά (UNEP, 2009).

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας προτείνει ως όριο για τις ωριαίες τιμές τα 150 έως 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επιπλέον, για να μειώσει την πιθανότητα των αρνητικών επιπτώσεων και να παράσχει ένα πρόσθετο βαθμό ασφάλειας, προτείνει ως όριο για μέσες οκτάωρες συγκεντρώσεις τα 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.4.5 Αιωρούμενα Σωματίδια (PM)



Ο όρος αιωρούμενα σωματίδια αναφέρεται σε σωματίδια στερεής ή υγρής φάση που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα και έχουν διαμέτρους από 2 nm έως 200 μm . Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως αεροζόλ. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι το μέγεθος, τη χημική σύσταση και η φάση στην οποία βρίσκονται (υγρή ή αέρια). Με βάση την προέλευση τους και τους μηχανισμούς σχηματισμού, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να ταξινομηθούν είτε σαν πρωτογενή ή σαν δευτερογενή.

Πρωτογενή ονομάζονται τα σωματίδια όπου παράγονται μέσα στην πηγή και εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Προέρχονται από φυσικές πηγές όπως είναι τα ηφαίστεια, οι ωκεανοί, το έδαφος και η καύση βιομάζας. Οι φυσικές εκπομπές υπερβαίνουν τις ανθρωπογενείς και επηρεάζουν τις ολικές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε παγκόσμια κλίμακα (Λαζαρίδης, 2008). Οι κύριες πηγές των πρωτογενών σωματιδίων από ανθρωπογενείς εκπομπές είναι οι βιομηχανικές πηγές και οι εκπομπές εξωτερικής καύσης: παραγωγή τσιμέντου, γύψου, χυτήρια μεταλλεύματος, αυτοκίνητα (κυρίως πετρελαιοκίνητα οχήματα και δίκυκλα), πυρκαγιές, αγροτικές δραστηριότητες, κατασκευές. Η συμμετοχή του αυτοκινήτου οφείλεται στην καύση του καυσίμου, στη φθορά των ελαστικών και στην επαναιώρηση (ΕΑΡΘ, 2009). Η χημική σύσταση των σωματιδίων περιλαμβάνει ενώσεις μολύβδου, άνθρακα και θείου.

Δευτερογενή ονομάζονται τα σωματίδια που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα σαν αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων των αερίων. Μπορούν να παραχθούν από μεγάλη ποικιλία χημικών και φυσικών μετασχηματισμών στην ατμόσφαιρα, εκ των οποίων ένας από τους πιο σπουδαίους είναι η συμπύκνωση των προϊόντων αντίδρασης που έχουν χαμηλή θερμοκρασία και παράγονται φωτοχημικά. Περισσότερο από το 50% των ολικών ατμοσφαιρικών αεροζόλ έχει εκτιμηθεί ότι είναι δευτερογενή σωματίδια που παράγονται από αέριες εκπομπές των

φυσικών πηγών (θαλασσινό αλάτι, ηφαίστεια, βιολογικές αποσυνθέσεις) (Οικονομόπουλος, 2000). Τα πιο κοινά δευτερογενή σωματίδια που παράγονται από ανθρωπογενείς εκπομπές είναι οι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες, καθώς και τα θειικά και νιτρικά άλατα.

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

Είναι κατανοητό, ότι το μέγεθος ενός ομογενούς δείγματος αιωρούμενων σωματιδίων περιγράφεται μόνο από τη διάμετρο του (Λαζαρίδης, 2005). Το μέγεθος των σωματιδίων συνήθως εκφράζεται με την ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρο που αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο με πυκνότητα 1 g/m^3 και ίδια ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο.

Για την εκτίμηση της έκθεσης του πληθυσμού στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων έχει γίνει η κατηγοριοποίηση τους σε PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$, όπου ο δείκτης αναφέρεται στη μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο (μm) των σωματιδίων. Ο διαχωρισμός τους σχετίζεται με τη δυνατότητα των $\text{PM}_{2,5}$ να διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα.

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} σε αστικές περιοχές στην Ευρώπη το χειμώνα έχουν μέσες τιμές μικρότερες των $20\text{-}30\text{ }\mu\text{g/m}^3$. Στη Δυτική Ευρώπη τα επίπεδα είναι υψηλότερα ($40\text{-}50\text{ }\mu\text{g/m}^3$) με μόνο μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών (Λαζαρίδης, 2005).

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον

Οι επιδράσεις στην υγεία εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων και τη σύστασή τους. Όσο μικρότερα σε μέγεθος είναι τα σωματίδια τόσο βαθύτερα εισχωρούν στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Γενικά σωματίδια με διάμετρο από 5 έως $10\text{ }\mu\text{m}$ κατακρατούνται από το ανώτερο αναπνευστικό, ενώ σωματίδια με μικρότερες διαμέτρους εισάγονται στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Γι' αυτό και τα μικρότερα από $10\text{ }\mu\text{m}$ σωματίδια

επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό. Η πορώδης επιφάνεια των σωματιδίων έχει την ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων, καρκινογόνων ουσιών και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) με αποτέλεσμα να προκαλούν ασθένειες και κακοήθειες νεοπλασίες του αναπνευστικού συστήματος. Ομάδα υψηλού κινδύνου αποτελούν ηλικιωμένοι, παιδιά και άτομα που πάσχουν από άσθμα. Οι επιδημιολογικές έρευνες των τελευταίων δεκαετιών δείχνουν αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα σε αστικές περιοχές λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων εισπνεόμενων σωματιδίων (Βαλαβανίδης, 2007).

Επίσης, προκαλούν φθορές στα υλικά και μειώνουν την ορατότητα (ιδιαίτερα τα $PM_{2.5}$). Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν τις ηλεκτρικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας συνεισφέροντας στη δημιουργία νεφών ως πυρήνας συμπύκνωσης και επιδρούν στο κλίμα μεταβάλλοντας το ισοζύγιο ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (ΕΑΡΘ, 2009).

Το όριο που έχει θεσπίσει η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας για τα PM_{10} είναι $50 \mu g/m^3$ για 24ωρη έκθεση, ενώ για τα $PM_{2.5}$ το 2006 η Περιβαλλοντική Υπηρεσία των ΗΠΑ (US-EPA) μείωσε το όριο από $65 \mu g/m^3$ στα $35 \mu g/m^3$.

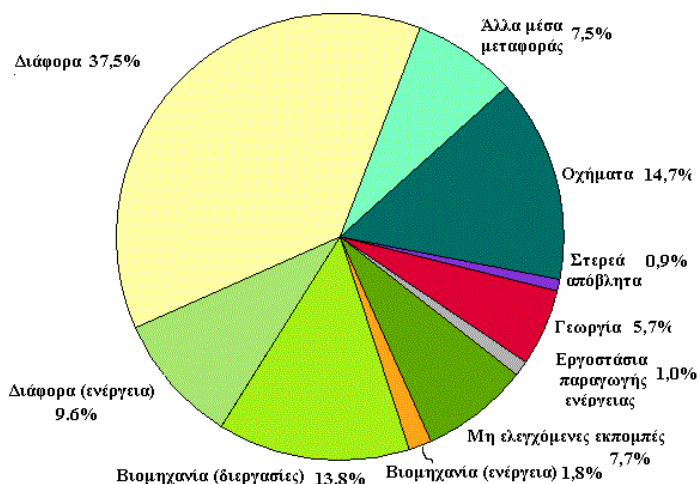
3.4.6 Υδρογονάνθρακες (HCs)

Οι υδρογονάνθρακες αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα οργανικών ενώσεων που αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο (C_xH_y). Αντιδρούν με άλλες ενώσεις όπως οξυγόνο, άζωτο, χλώριο και θείο για να σχηματίσουν μία ποικιλία παραγώγων. Αυτοί που θεωρούνται σημαντικοί σαν ρύποι είναι οι αέριοι και οι πτητικοί υδρογονάνθρακες (VOCs – Volatile Organic Compounds), ενώ οι περισσότερες μετρήσεις συγκεντρώσεων αφορούν τους συνολικούς εκτός μεθανίου υδρογονάνθρακες (NMVOCs – Non-Methane Volatile Organic Compounds).

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

δακτύλιο του βενζολίου. Σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα περιέχονται ενώσεις παραφινικές (προπάνιο, βουτάνιο), ολεφινικές (ακετυλένιο, προπαδιένιο), αρωματικές (βενζόλιο), καθώς και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (βενζο[α]πυρένιο).

Ιδιαίτερης σημασίας παράγωγα υδρογονανθράκων για τις ρυπασμένες πόλεις είναι οι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι σαν πρωτογενείς ρύποι συμμετέχουν σε φωτοχημικές αντιδράσεις αλλά και παράγονται από αυτές (Οικονομόπουλος, 2000). Οι οξυ-υδρογονάνθρακες βρίσκονται στα καυσαέρια και αποτελούνται από μία ποικιλία από αλδεύδες, κετόνες, οξέα, αλκοόλες, αιθέρες, εστέρες και φαινόλες. Στο κλάσμα των αλδεύδων κυριαρχεί η φορμαλδεύδη.



Σχήμα 3.4 Ποσοστιαία κατανομή πηγών εκπομπής NMVOCs για τις χώρες-μέλη του ΕΟΠ, 2007 (προσαρμογή από ΕΕΑ).

3.4.6.1 Βενζόλιο (C_6H_6)

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

Το βενζόλιο εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η κύρια πηγή είναι τα βενζινοκίνητα οχήματα ενώ άλλες πηγές είναι η βιομηχανία (δυλιστήρια, χημική βιομηχανία), η διακίνηση καυσίμων και η οικιακή θέρμανση (ΕΑΡΘ, 2009).

Η μέση συγκέντρωση βενζολίου σε αστικές περιοχές κυμαίνεται μεταξύ 5-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ σε περιοχές μακριά από αστικά κέντρα η συγκέντρωση είναι κοντά στο 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Λαζαρίδης, 2005).

Επιπτώσεις στην υγεία

Το βενζόλιο προκαλεί ασθένειες του αίματος και έχει χαρακτηριστεί ως καρκινογόνος ένωση. Παρατεταμένη έκθεση σε βενζόλιο συνδέεται με αυξημένη θνησιμότητα από λευχαιμία (Λαζαρίδης, 2008).

Ως όριο ασφαλείας για το βενζόλιο προτείνεται η ετήσια οριακή τιμή των 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (οδηγία 2000/69/EK).

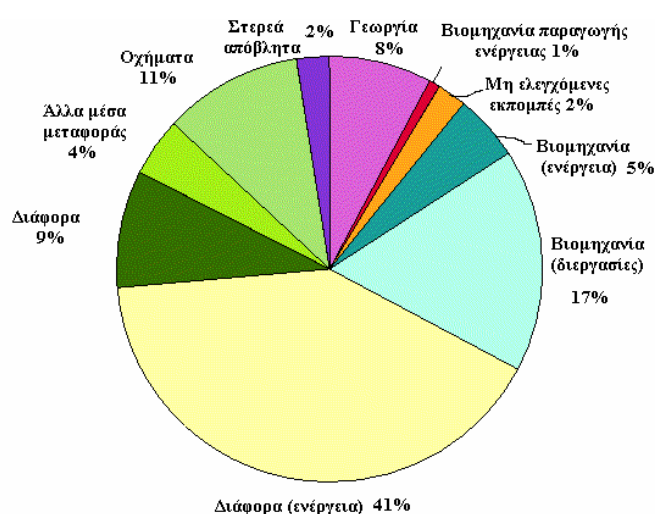
3.4.6.2 Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)

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

Πίνακας 3.4 Παραδείγματα ενώσεων ΠΑΥ.

Ονομασία	Συντομογραφία
Φλορουένιο	Fl
Φαινανθρένιο	Phe
Ανθρακένιο	An
Πυρένιο	Py
Φλορουανθένιο	Flu
Βένζο[a]ανθρακένιο	BaA
Χρυσένιο	Chr
Βένζο[a]πυρένιο	BaP
Ίνδενο[1,2,3-cd]πυρένιο	IP

Οι ΠΑΥ εκπέμπονται από φυσικές και ανθρωπογενείς εκπομπές (Σχήμα 3.5). Στις φυσικές πηγές (βιολογικές, γεωλογικές διεργασίες) περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές και η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Παγκόσμια οι ανθρωπογενείς εκπομπές αντιπροσωπεύουν μόνο το 5% περίπου του συνόλου, παρ' όλα αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικές για αστικές περιοχές (Οικονομόπουλος, 2000). Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται η βιομηχανία (παραγωγής κωκ, αλουμινίου και επεξεργασίας ξύλου), η θέρμανση στις οικίες όταν χρησιμοποιούνται ξύλα και κάρβουνο, και τα οχήματα, κυρίως αυτά που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο (Δ/νη ΕΑΡΘ, 2009). Μετά το 1968 ο έλεγχος των καυσαερίων μείωσε κατά 85% τις εκπομπές των υδρογονανθράκων (Οικονομόπουλος, 2000).



Σχήμα 3.5 Ποσοστιαία κατανομή πηγών εκπομπής ΠΑΥ για τις χώρες-μέλη του ΕΟΠ, 2007 (προσαρμογή από ΕΕΑ).

Η χαρακτηριστικότερη ένωση της κατηγορίας των ΠΑΥ είναι το **βενζο(α)πυρένιο** (B(a)P). Οι πρόσφατες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις του σε ευρωπαϊκές αστικές περιοχές κυμαίνονται από 1 – 10 ng/m³ (Λαζαρίδης, 2008). Οι μέγιστες τιμές τους στις πόλεις συνδέονται με τις ώρες αυξημένης κυκλοφορίας αυτοκινήτων.

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον

Γενικά οι ΠΑΥ έχουν αποκτήσει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες εξαιτίας της ικανότητάς τους να προκαλούν καρκινογενέσεις και μεταλλάξεις στα κύτταρα (Nielsen et al, 1996).

Το βενζο(α)πυρένιο έχει χαρακτηριστεί ως καρκινογόνος ένωση. Ως όριο ασφαλείας για το βενζο(α)πυρένιο προτείνεται η ετήσια οριακή τιμή 1 ng/m^3 (οδηγία 2004/107/EK).

Επίσης οι υδρογονάνθρακες είναι από τις κύριες ενώσεις που συμμετέχουν στη δημιουργία δευτερογενών ρύπων, όπως το τροποσφαιρικό όζον, και συμβάλλουν στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, καθώς και στη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος (UNEP, 2009).

3.4.6.3 Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια (PCBs)

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

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

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

Οι μέσες συγκεντρώσεις στον αέρα περιβάλλοντος ανέρχονται σε 3 ng/m^3 σε αστικές περιοχές. Αυτή η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα συνεισφέρει ελάχιστα στην άμεση έκθεση του ανθρώπου, συνεισφέρει όμως σημαντικά στη συγκέντρωση στην τροφική αλυσίδα (Λαζαρίδης, 2005).

Επιπτώσεις στην υγεία

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

3.4.7 Βαρέα Μέταλλα

Βαρέα ονομάζονται αυτά τα μέταλλα, που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση των 4,5 γραμμαρίων ανά κυβικό εκατοστό. Είναι τοξικά και βρίσκονται στην ατμόσφαιρα κυρίως στα σωματίδια είτε υπό στοιχειακή μορφή είτε υπό μορφή ενώσεων (οξειδίων, θεικών ή θειούχων).

Τα πιο επικίνδυνα βαρέα μέταλλα, τα οποία ακόμα και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις δρουν βλαβερά για τους οργανισμούς, είναι ο **μόλυβδος (Pb)**, το **κάδμιο (Cd)**, ο **υδράργυρος (Hg)**, το **αρσενικό (As)** και το **νικέλιο (Ni)**. Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους για το περιβάλλον καθώς, σε αντίθεση με τις οργανικές τοξικές ουσίες, δεν αποικοδομούνται αλλά παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και συσσωρεύονται (Οικονομόπουλος, 2000).

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

Στον Πίνακα 3.5 έχουμε συγκεντρώσει τις πηγές των βαρέων μετάλλων, συμπεριλαμβάνοντας και τις φυσικές πηγές, καθώς και τις επιδράσεις τους στην υγεία. Πρέπει να τονισθεί ότι τα μέταλλα αυτά επιδρούν στην υγεία κυρίως μέσω της τροφικής αλυσίδας εάν έχει μολυνθεί και λιγότερο με την εισπνοή.

Πίνακας 3.5 Βαρέα μέταλλα, οι πηγές τους και οι επιδράσεις τους στην υγεία.

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

3.4.7.1 Μόλυβδος (Pb)

Τα επίπεδα μολύβδου στις περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις είναι μεταξύ 0,15 και 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ σε μη αστικές περιοχές είναι συνήθως μικρότερα από 0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Για την προστασία της ανθρώπινης υγείας προτείνεται η λήψη μολύβδου να περιορίζεται σε 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ την ημέρα και η συγκέντρωση στον αέρα να μην ξεπερνά το 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Λαζαρίδης, 2008).

3.4.7.2 Κάδμιο (Cd)

Οι συγκεντρώσεις καδμίου κυμαίνονται από 0,1-5 ng/m^3 στις αγροτικές περιοχές, από 2-15 ng/m^3 στις αστικές περιοχές και από 15-150 ng/m^3 στις βιομηχανικές. Οι τιμές αυτές έχουν σημαντική απόκλιση από περιοχή σε περιοχή (Λαζαρίδης, 2008).

Ως όριο της έκθεσης σε κάδμιο ο Π.Ο.Υ έχει θεσπίσει τα 20 ng/m^3 για 40 εργάσιμες ώρες ανά εβδομάδα και 5 ng/m^3 ανά έτος.

3.4.7.3 Υδράργυρος (Hg)

Για την περιοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα επίπεδα για τον υδράργυρο είναι περίπου 0,0001-6 ng/m^3 για απομακρυσμένες περιοχές, 0,1-5 ng/m^3 για αστικές και 0,5-20 ng/m^3 για βιομηχανικές περιοχές (Λαζαρίδης, 2008).

Τα όρια ασφαλείας που έχει θεσπίσει η Αμερικάνικη Επιτροπή Περιβάλλοντος (US EPA) για την έκθεση σε ατμούς υδραργύρου είναι 10 μg ανά ημέρα.

3.4.7.4 Αρσενικό (As)

Οι συγκεντρώσεις αρσενικού στην ατμόσφαιρα κυμαίνονται από 1 έως 10 ng/m^3 σε αστικές περιοχές και από λίγα ng/m^3 έως 30 ng/m^3 σε μη πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Κοντά σε πηγές εκπομπής, όπως χυτήρια μη σιδηρούχων μετάλλων και μονάδες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν άνθρακα που περιέχει αρσενικό, οι συγκεντρώσεις του αρσενικού μπορούν να υπερβούν το 1 mg/m^3 (Λαζαρίδης, 2005).

Για το αρσενικό το όριο ασφαλείας που προτείνεται από την ΕΕ για τη μέση ετήσια τιμή είναι τα 6 ng/m^3 (οδηγία 2004/107/ΕΚ).

3.4.7.5 Νικέλιο (Ni)

Η συγκέντρωση νικελίου από 1-10 ng/m³ σε αγροτικές περιοχές, ενώ σε μεγάλα αστικά κέντρα και σε βιομηχανικές περιοχές τα επίπεδα νικελίου είναι υψηλότερα και φτάνουν τα 110-180 ng/m³ (Λαζαρίδης, 2005).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προτείνει ως όριο ασφαλείας τα 20 ng/m για χρόνο έκθεσης 1 έτος. (οδηγία 2004/107/EK).

3.4.8 Μαύρος Καπνός (BS)

Εκτός από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που αναλύσαμε, ορισμένοι σταθμοί παρακολούθησης ποιότητας αέρα μετρούν και το μαύρο καπνό. Οι μετρήσεις μαύρου καπνού ήταν οι πρώτες συστηματικές μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (Quincey, 2007).

Η μέθοδος του μαύρου καπνού (ανακλωμετρικός προσδιορισμός σωματιδίων) βασίζεται στην εξαναγκασμένη διέλευση ατμοσφαιρικού αέρα από λευκό φίλτρο και στη μέτρηση του βαθμού αμαύρωσης του τελευταίου με τη βοήθεια ανακλωμέτρου. Η ένδειξη του ανακλωμέτρου ανάγεται σε επιφανειακή συγκέντρωση καπνού (μg/cm² της αμαυρωμένης επιφάνειας του φίλτρου) με τη βοήθεια πρότυπης καμπύλης αναφοράς και στη συνέχεια, ανάγεται τελικά σε ατμοσφαιρική (μg/m³) (Chaloulakou et al., 2005).

Η μέθοδος δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής αφού η αμαύρωση επηρεάζεται από την παρουσία άλλων, εκτός του καπνού, σωματιδίων (Οικονομόπουλος, 2000). Την περίοδο που αναπτύχθηκε η μέτρηση του μαύρου καπνού, κύρια πηγή παραγωγής των σωματιδίων στοιχειακού άνθρακα, που ήταν κυρίαρχα στην ατμόσφαιρα, ήταν η καύση κάρβουνου, γι' αυτό και η μέθοδος μετατροπής αρχικά καθοριζόταν από αυτή. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες όμως, το είδος των χρησιμοποιούμενων καυσίμων έχει αλλάξει. Έχει εκτιμηθεί ότι έως και το 90% των εκπομπών στοιχειακού άνθρακα, στη Δυτική Ευρώπη και τις ΗΠΑ, συνδέονται με τα σωματίδια από τα καυσαέρια ντίζελ (Chow, 1995). Αυτή η σταδιακή εξέλιξη έχει υπονομεύσει την επάρκεια της καμπύλης βαθμονόμησης της μεθόδου του μαύρου καπνού για

τον υπολογισμό της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων (Chaloulakou et al., 2005). Καταγεγραμμένες μετρήσεις καπνού υπάρχουν από τη δεκαετία του 1920, και συνεχίζουν να γίνονται και σήμερα σε ορισμένα κράτη, όμως οι $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ συγκεντρώσεις που αναφέρονται σήμερα παρουσιάζουν μικρή συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις PM που προκύπτουν με τις σύγχρονες μεθόδους (Heal et al., 2005). Το ερώτημα που προκύπτει επομένως στις μέρες μας για την παρακολούθηση του καπνού, έχει να κάνει με τις δυνατότητες χρήσης των δεδομένων της συγκέντρωσης BS που έχουν συλλεχθεί όλα αυτά τα χρόνια.

Το 1999 σύμφωνα με κοινοτική οδηγία (1999/30/EK) καταργείται η μέθοδος του μαύρου καπνού για τον προσδιορισμό των σωματιδίων και αντικαθίσταται με τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων διαμέτρου μικρότερης των $10\mu\text{m}$ (PM_{10}). Ωστόσο, ο μαύρος καπνός παραμένει ένας χρήσιμος δείκτης για τις επιδημιολογικές μελέτες, οι οποίες τον συνδέουν με τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα.

3.5 Τύποι Νέφους

Η ατμοσφαιρική ρύπανση όταν φτάσει σε υψηλά επίπεδα μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία «ορατού» νέφους, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στις μεγαλουπόλεις. Το νέφος και διακρίνεται σε δυο βασικούς τύπους : στην Αιθαλομίχλη (Καπνομίχλη) ή **νέφος τύπου Λονδίνου** και το Φωτοχημικό νέφος ή **νέφος τύπου Λος Άντζελες**.

- ❖ **Νέφος Καπνομίχλης** Σχηματίζεται, όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως το διοξείδιο του θείου και αιρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.
- ❖ **Φωτοχημικό Νέφος:** Παρουσιάζεται, όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα και δευτερογενών προϊόντων τους.

Στη δημιουργία του νέφους απαραίτητη προϋπόθεση είναι το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής.

3.6 Το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής

Η θερμοκρασιακή αναστροφή είναι ένα μετεωρολογικό φαινόμενο που μπορεί να συμβεί οπουδήποτε. Οι τοπογραφικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες όμως μπορούν να κάνουν το φαινόμενο να εκδηλώνεται με μεγαλύτερη συχνότητα. Θερμοκρασιακή αναστροφή συμβαίνει όταν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αντί να μειώνεται με το ύψος αυξάνεται.

Αναστροφές σχηματίζονται όταν κατά τη διάρκεια της νύχτας η γη λόγω έντονης ακτινοβολίας ψύχεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα στρώματα αέρα κοντά στο έδαφος να ψύχονται, ενώ τα υπερκείμενα στρώματα να διατηρούν αυξημένες θερμοκρασίες.

Επίσης, αναστροφή μπορεί να συμβεί όταν αύρες από τη θάλασσα ή ψυχρά ρεύματα από τις πλαγιές των βουνών εκτοπίζουν το ζεστό αέρα της επιφανείας του εδάφους. Το αποτέλεσμα είναι ότι σε ένα ύψος 200-400 μέτρα από την επιφάνεια εγκαθίσταται το θερμότερο στρώμα της αναστροφής το οποίο εμποδίζει τις ανοδικές κινήσεις των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Έτσι, ο χώρος της διάθεσης των ρύπων περιορίζεται μόνο στη λεπτή στρώση μεταξύ του εδάφους και του στρώματος της θερμοκρασιακής αναστροφής. Η άπνοια και η ηλιοφάνεια ευνοούν την αναστροφή, που σε συνδυασμό με την ομίχλη δημιουργούν στα μεγάλα αστικά κέντρα μια κατάσταση αφόρητη με δυσάρεστες συνέπειες για τον άνθρωπο.

4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΡΥΠΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

4.1 Περιβαλλοντική πολιτική Ευρωπαϊκής Κοινότητας

Η περιβαλλοντική πολιτική αποτελεί αυτή τη στιγμή μια από τις τρεις σημαντικότερες πολιτικές που απασχολούν όλα τα κράτη. Οι τρεις αυτές πολιτικές αφορούν την ανάπτυξη, την κοινωνική συνοχή και το περιβάλλον. Το περιβάλλον σήμερα έχει γίνει ισότιμο με τις άλλες δύο σημαντικές πολιτικές. Η δε ανάπτυξη χαρακτηρίζεται πλέον ως βιώσιμη ή αειφόρος γιατί οφείλει να διατηρεί το περιβάλλον, τη φύση και τις φυσικές πηγές για τις επόμενες γενιές. Όλα αυτά δείχνουν τη σημασία του θέματος του περιβάλλοντος στην πολιτική.

Σήμερα υπάρχει ένα μεγάλο κοινοτικό πρόγραμμα, το **Έκτο Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα Δράσης της Ευρωπαϊκής Κοινότητας (6ο ΠΠΔ)** (European Commission 2001β), το οποίο καλύπτει την περίοδο από το 2002 μέχρι το 2012 και καθορίζει για το περιβάλλον τέσσερις μεγάλους τομείς προτεραιότητας. Ο ένας από αυτούς τους τομείς είναι «περιβάλλον και υγεία». Το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συμπεριλαμβάνεται ειδικά στον τομέα αυτό, πράγμα που δείχνει τη σημασία και τη βαρύτητα του θέματος για την Ευρωπαϊκή Κοινότητα και για όλους μας, για όλα τα κράτη μέλη. Συγκεκριμένα το πρόγραμμα αυτό αποσκοπεί στην επίτευξη επιπέδων ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που δεν έχουν ως αποτέλεσμα απαράδεκτες επιπτώσεις ή κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον.

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

Οι κοινοτικές δραστηριότητες για την προστασία της ατμόσφαιρας καλύπτουν ευρύ φάσμα προβλημάτων: τον περιορισμό της εξάντλησης του στρατοσφαιρικού όζοντος, τον έλεγχο της οξίνισης, του τροποσφαιρικού όζοντος και άλλων ρύπων, καθώς και την αλλαγή του κλίματος. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι οποίοι εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από ευρύ φάσμα πηγών, μπορούν να υποδιαιρεθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες: εκπομπές από κινητές πηγές

(βιομηχανία μεταφορών)· εκπομπές από ακίνητες πηγές (επιχειρήσεις, κατοικίες, αγροτικές εκμεταλλεύσεις και χωματερές)· και εκπομπές που προκαλούνται από την παραγωγή ενέργειας. Η ΕΕ έχει λάβει σημαντικά μέτρα την τελευταία δεκαετία, τα οποία οδήγησαν σε μείωση της έκλυσης στην ατμόσφαιρα αρκετών ρύπων. Από το 1990 έως το 2002 οι εκπομπές μειώθηκαν κατά 43 % στην ΕΕ των 15 κρατών μελών και κατά 58 % στην ΕΕ των δέκα κρατών μελών, παρά την αυξημένη οικονομική δραστηριότητα.

4.2 Όρια ασφαλείας - ποιότητας ατμόσφαιρας

Ένας ρύπος, δεν είναι εκ των προτέρων κάτι το βλαβερό. Ο γερμανός γιατρός, φυσιοδίφης και φιλόσοφος Παρατσέλζους (1493 έως 1541) δίδασκε : «Όλα τα πράγματα είναι δηλητήριο και τίποτα δεν είναι δηλητήριο. Μόνο η δόση ορίζει, αν κάτι είναι δηλητήριο ή όχι...». Επομένως η ύπαρξη ενός ρύπου αυτή καθαυτή δε δηλώνει κατ' αρχάς τίποτε. Η δόση του ρύπου είναι αυτή που κάνει τον ρύπο επικίνδυνο ή όχι. Ονομάζουμε οριακή τιμή της συγκέντρωσης ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα, αυτή τη συγκέντρωση, που αν δεν ξεπεραστεί, δεν έχει επιπτώσεις στον άνθρωπο.

Η επιστήμη σήμερα με τους διάφορους κλάδους της, όπως τη βιολογία, την τοξικολογία, την επιδημιολογία κ.λπ., μπορεί να μας δώσει τα ασφαλή όρια (κατώφλια – thresholds) της έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού χωρίς επιβλαβείς συνέπειες. Υπάρχουν όμως και ουσίες για τις οποίες δεν υπάρχει αναγνωρισμένο κατώτατο όριο κάτω από το οποίο δεν θεωρούνται επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία (Brunekreef & Holgate, 2002).

Σήμερα γίνεται τεράστια επιστημονική έρευνα για όλες τις κατηγορίες ουσιών. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.) συνεργάζεται με πολλούς επιστήμονες και επιδιώκει να θέσει κάποια όρια ασφαλείας για τον άνθρωπο μέσω της νομοθεσίας για τις διάφορες ουσίες που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Είναι τα λεγόμενα όρια – στόχοι (guidelines). Όμως κι αυτά δεν είναι οριστικά, γιατί η επιστήμη συνεχώς εξελίσσεται και ανακαλύπτει καινούργια στοιχεία.

4.3 Θεσμικό πλαίσιο για ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, υπήρχαν παλιότερα πολλές νομοθεσίες για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Το 1996 δόθηκε μια βασική οδηγία-πλαίσιο για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα: *Οδηγία 1996/62/EK για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000)*. Η οδηγία αυτή όρισε τις βασικές αρχές μιας κοινής στρατηγικής για τη θέσπιση στόχων όσον αφορά την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα με σκοπό τη μείωση ή την πρόληψη των επιβλαβών επιπτώσεων για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία και έθεσε γενικές διατάξεις, προβλέποντας και τη θεσμοθέτηση νέων θυγατρικών οδηγιών για τις επιμέρους ουσίες. Με τις γενικές διατάξεις αυτής της οδηγίας προβλέπονται τα εξής σημαντικά:

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

Μετά τη θεσμοθέτηση της οδηγίας αυτής (L296, 21/11/1996, pp.55-63) εκπονήθηκαν τέσσερις θυγατρικές οδηγίες, οι οποίες αφορούν συγκεκριμένους ρύπους:

- ✓ *Οδηγία 1999/30/EK για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος (ΠΥΣ 34/30.5.2002, ΦΕΚ125/Α/ 5-6-02)*. Με την οδηγία αυτή καταργείται η μέθοδος του μαύρου καπνού για τον προσδιορισμό των σωματιδίων και αντικαθίσταται με τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων διαμέτρου μικρότερης των 10μm (PM₁₀) (L163,29/06/1999, pp.41–60).

- ✓ *Οδηγία 2000/69/EK για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 9238/332, ΦΕΚ 405Β/27.2.05), (L 313, 13/12/2000, pp.12–21).*
- ✓ *Οδηγία 2002/3/EK σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05), (L 67, 9/03/2002, pp.14–30).*
- ✓ *Οδηγία 2004/107/EK σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07), (L 23, 26/01/2005, pp.3–16).*

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.

Το 2001 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το πρόγραμμα «**Καθαρός αέρας για την Ευρώπη**» (**Clean Air for Europe — CAFE**) [COM(2001) 245]. Πρόκειται για ένα μεγάλο πρόγραμμα που συγκροτήθηκε στο πλαίσιο του 6ου ΠΠΔ και παρέχει μακροπρόθεσμες, στρατηγικές και ολοκληρωμένες συμβουλευτικές υπηρεσίες πολιτικής αναφορικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τον Σεπτέμβριο του 2005 εγκρίθηκαν μια **θεματική στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση** [COM(2005) 446] και μια πρόταση οδηγίας για το πρόγραμμα CAFE [COM(2005) 447].

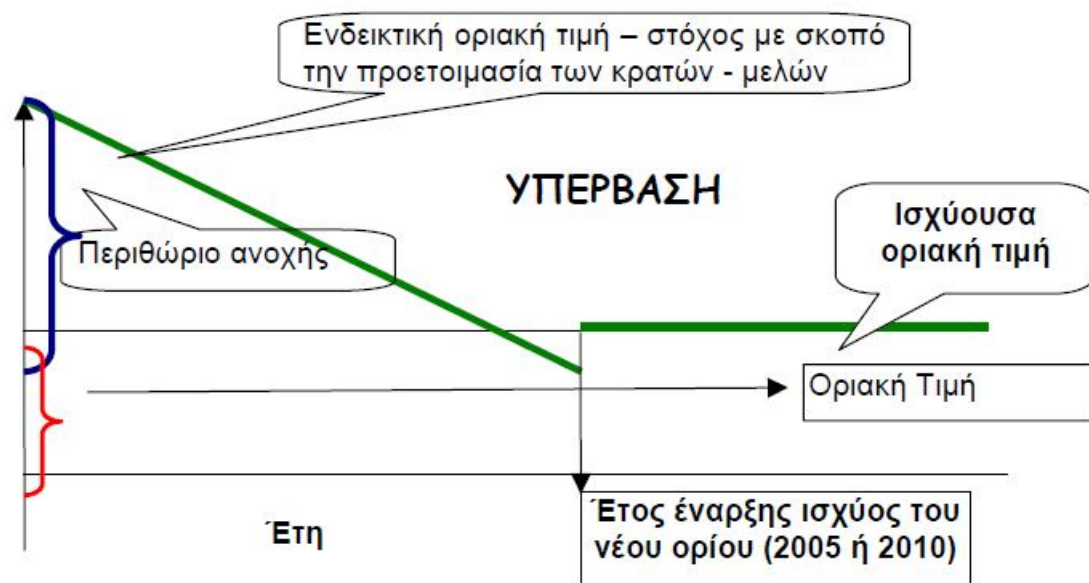
Η θεματική στρατηγική του 2005 για την ατμοσφαιρική ρύπανση, με την υποστήριξη του προγράμματος CAFE θέτει φιλόδοξους αλλά οικονομικούς στόχους και μέτρα για την ευρωπαϊκή πολιτική για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα έως το 2020. Οι στόχοι που προτείνονται στη θεματική στρατηγική είναι η μείωση έως το 2020 της συγκέντρωσης των PM_{2,5} κατά 75% και του τροποσφαιρικού όζοντος κατά 60%, καθώς και η μείωση της απειλής για το φυσικό περιβάλλον τόσο από την οξίνιση όσο και από τον ευτροφισμό κατά 55%, κάτι που είναι τεχνικώς εφικτό έως το 2020. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου κατά 82%, των οξειδίων του αζώτου κατά 60%, των πτητικών οργανικών ενώσεων (ΠΟΕ) κατά 51%, της αμμωνίας κατά 27% και των πρωτογενών PM_{2,5} κατά 59% σε σύγκριση με τα επίπεδα εκπομπών του 2000.

Τον Μάιο του 2008 εγκρίθηκε η νέα οδηγία 2008/50/EK (L 152, 11/06/2008, pp. 1–44) για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 96/62/EK και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/EK, 2000/69/EK και 2002/3/EK), όπως και την απόφαση 97/101/EK (L 035, 05/02/1997, pp. 14-22) για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα. Σε αυτή τη νέα ενιαία οδηγία ενσωματώνεται όλη σχεδόν η ισχύουσα νομοθεσία (με εξαίρεση την τέταρτη θυγατρική οδηγία) χωρίς να επέρχονται αλλαγές στους ισχύοντες στόχους για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Θεσπίζει νέους στόχους όσον αφορά την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα για τα PM_{2,5} (λεπτά σωματίδια) και προβλέπει τη δυνατότητα μη συνυπολογισμού των φυσικών πηγών ρύπανσης κατά την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τις οριακές τιμές.

4.4 Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Με τις οδηγίες αυτές για κάθε ρύπο ορίζεται μία **οριακή τιμή** για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, με το αντίστοιχο έτος έναρξης ισχύος της (2005 ή 2010). Παράλληλα δίνεται και ένα περιθώριο ανοχής, το οποίο αθροίζεται στην οριακή τιμή, δίνοντας έτσι την **ενδεικτική οριακή τιμή**, η οποία ισχύει στο μεσοδιάστημα έως την θέση σε ισχύ της οριακής τιμής (Σχήμα 4.1). Το περιθώριο ανοχής κάθε χρόνο μειώνεται, έτσι ώστε στην ημερομηνία ισχύος του νέου ορίου να μηδενιστεί (ΕΑΡΘ, 2009).

Επιπρόσθετα, τα κράτη μέλη πρέπει να εκπονούν και να υλοποιούν σχέδια δράσης για την προετοιμασία τους όσον αφορά στην επίτευξη και τήρηση των ορίων.



Σχήμα 4.1 Επεξήγηση της εφαρμογής της τιμής στόχου και οριακής τιμής με βάση τις οδηγίες της Ε.Ε (ΕΑΡΘ, 2009)

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί δίνονται οι ενδεικτικές τιμές ορίων μέχρι την ημερομηνία ισχύος του νέου ορίου για τους βασικούς ρύπους:

Πίνακας 4.1 Ρύποι, όρια και έτος εφαρμογής σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ε.Ε.

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

Από 1/1/2010 τίθεται σε ισχύ το όριο των 20 μg/m³ για τη μέση ετήσια τιμή PM₁₀ (Φάση 2^η) και επίσης το όριο των 50 μg/m³ για τη μέση ημερήσια τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνεται παρά μόνο 7 φορές ετησίως.

Για το βενζο(α)πυρένιο και τα μέταλλα: αρσενικό, κάδμιο και νικέλιο θα ισχύσουν από το 2013 οι ετήσιες οριακές τιμές των 1, 6, 5 και 20 ng/m³ (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2 Τιμές στόχοι για το αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο και βενζο(α)πυρένιο, σύμφωνα με την οδηγία 2004/107/EK.

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

Για το όζον εκτός από το όριο της ημερήσιας μέσης οκτάωρης τιμής, που είναι τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, τιμή η οποία δε θα πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 25 φορές το χρόνο για διάστημα 3 ετών (Πίνακας 4.1), έχουν θεσμοθετηθεί και δύο άλλα όρια, το όριο ενημέρωσης και το όριο συναγερμού (Πίνακας 4.3). Όταν η μέση ωριαία τιμή φτάσει τα $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ επιβάλλεται άμεση πληροφόρηση του κόσμου, ενώ στα $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ απαιτείται η λήψη έκτακτων μέτρων.

Πίνακας 4.3 Τιμές ορίων για το όζον, σύμφωνα με την οδηγία 2002/3/EK.

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

Για τα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των $2,5$ μικρομέτρων ($\text{PM}_{2,5}$) μέχρι στιγμής δεν έχει θεσπιστεί οριακή τιμή στην Ευρώπη.

Το Δεκέμβριο του 2007 το Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο συμφώνησαν να καθοριστούν ως αρχική τιμή-στόχος μετά το 2010 τα $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Μετά το 2015 η τιμή αυτή θα καταστεί δεσμευτική. Το Κοινοβούλιο ζήτησε και επέτυχε τον καθορισμό δεύτερης ενδεικτικής οριακής τιμής-στόχου ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2020, πέντε χρόνια μετά την επιβολή του πρώτου ορίου. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή οφείλει να προβεί σε αναθεώρηση της εν λόγω ενδεικτικής τιμής ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το 2013 προκειμένου να την επικυρώσει ή να προτείνει την τροποποίησή της. Η νέα οδηγία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα εγκρίθηκε τον Μάιο του 2008 (2008/50/EK) όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο της νομοθεσίας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες έχει θεσμοθετηθεί από το 1997 ως όριο μέσης ετήσιας συγκέντρωσης για τα $\text{PM}_{2,5}$, η τιμή των $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και ως όριο μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης από το 2006 η τιμή των $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (από $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που ήταν το 1997) από την Επιτροπή Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency – EPA).

Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα όρια του Π.Ο.Υ για τα $\text{PM}_{2,5}$, τα οποία είναι ακόμα πιο χαμηλά. Σύμφωνα με αυτά ως όριο για τη μέση ετήσια συγκέντρωση προτείνεται η τιμή

των 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ ως όριο για τη μέση ημερήσια συγκέντρωση η τιμή των 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2005).

4.5 Σύγκριση ορίων Ευρωπαϊκής Ένωσης με Π.Ο.Υ και US EPA

Ο Πίνακας 4.4 παραθέτει τις πιο πρόσφατες οδηγίες της ποιότητας του αέρα και τα όρια που συνιστώνται από την Π.Ο.Υ. (WHO), την Επιτροπή Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA), και την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Τα όρια της ΕΕ αποτελούν τιμές-στόχους που πρέπει να επιτευχθούν το 2005 ή το 2010. Η πιο σημαντική διαφορά έγκειται στην ετήσια τιμή για το διοξείδιο του αζώτου. Η οριακή τιμή που έχει θέσει η Π.Ο.Υ και η ΕΕ είναι το 40% της τιμής που έχει ορίσει η US EPA. Επίσης η Π.Ο.Υ. δεν έχει προτείνει κατευθυντήριες γραμμές για τα αιωρούμενα σωματίδια, υποστηρίζοντας ότι ήταν αδύνατο να καθοριστεί ένα όριο κάτω από το οποίο δεν αναμένονται δυσμενείς επιπτώσεις (Brunekreef & Holgate, 2002).

Πίνακας 4.4 Όρια ποιότητας αέρα για O_3 , NO_2 και PM_{10}

σύμφωνα με WHO, US EPA και Ευρωπαϊκή Ένωση

(Brunekreef & Holgate, 2002).

	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (μέση τιμή) σε διάστημα:			
	1 h	8 h	24 h	1 year
Ozone ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
WHO	..	120	..	..
EPA	235	157	..	..
EU	..	(σμή-στόχος) 120 (2010)	..	..
Nitrogen dioxide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
WHO	200	..	..	40
EPA	..	..	..	100
EU	200 (2010)	..	..	40 (2010)
PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
WHO (mortality relative risk per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)†	..	..	1·007	1·10
EPA	..	..	150	50
EU	..	..	50* (2005), 50** (2010)	40 (2005), 20 (2010)
PM₂₋₅ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
WHO (mortality relative risk per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)†	..	..	1·015	1·14
EPA	..	..	35 (2006),	15

* Να μην υπερβαίνεται παραπάνω από 35 μέρες το χρόνο.

** Να μην υπερβαίνεται παραπάνω από 7 μέρες το χρόνο.

4.6 Όρια εκτάκτων μέτρων

Σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία της Ελλάδος, 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 ρύπανσης (ΕΑΡΘ, 2009). 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 τιμών ρύπανσης για τις επόμενες ή την επόμενη ημέρα. Οι αρμόδιες αρχές εκπονούν σχέδια δράσης, που επιτρέπουν τη βραχυπρόθεσμη λήψη μέτρων με τα οποία θα μειωθεί είτε το ύψος της συγκέντρωσης των ρύπων, είτε η διάρκεια υπέρβασης των ορίων. Αυτό βέβαια προϋποθέτει και μέτρα ελέγχου αλλά και δυνατότητα εφαρμογής μέτρων αναστολής δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της κυκλοφορίας αυτοκινήτων.

Τα αρχικά όρια για τη λήψη εκτάκτων μέτρων, που αναφέρονται στην παραπάνω ΚΥΑ, τροποποιήθηκαν για τους ρύπους NO₂, SO₃ και O₃ με την εφαρμογή των Οδηγιών 1999/30/EK (ενσωμάτωση στο Εθνικό Δίκαιο με την Π.Υ.Σ. 34/30.5.2002) και 2002/3/EK (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05).

Για το CO, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/69/EK (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 όρια λήψης εκτάκτων μέτρων που ισχύουν σήμερα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5 Όρια έκτακτων μέτρων (ΕΑΡΘ, 2009).

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

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

4.7 Ποιότητα του αέρα στην Ευρώπη σε σχέση με τα όρια ασφαλείας

Στους χάρτες που ακολουθούν έχει γίνει μία ετήσια αποτίμηση των χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για την ποιότητα του αέρα σε σχέση με τα όρια ασφαλείας για το έτος 2007. Τα δεδομένα είναι από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ).

❖ Επεξήγηση υπομνήματος χαρτών

- Για τις συγκεντρώσεις CO, SO₂, NO₂, PM₁₀, βενζόλιο και μόλυβδο:

≤ οριακή τιμή

- Οι συγκεντρώσεις είναι παντού μικρότερες η ίσες της οριακής τιμής. Η ένδειξη αυτή αναφέρεται σε όλες τις οριακές τιμές, ανεξάρτητα από το αν έπρεπε να είχαν επιτευχθεί το 2007.

> οριακή τιμή

- Οι συγκεντρώσεις είναι σε μία ή περισσότερες θέσεις μεγαλύτερες από την οριακή τιμή που έπρεπε να είχε επιτευχθεί το 2007.

οριακή τιμή – περιθώριο ανοχής

- Οι συγκεντρώσεις είναι σε μία ή περισσότερες θέσεις μεταξύ της οριακής τιμής και της ενδεικτικής οριακής τιμής (το περιθώριο ανοχής αθροισμένο στην οριακή τιμή), αλλά παντού μικρότερες της ενδεικτικής οριακής τιμής. Η οριακή τιμή δεν είχε έτος έναρξης ισχύος το 2007.

> περιθώριο ανοχής

- Οι συγκεντρώσεις είναι σε μία ή περισσότερες θέσεις μεγαλύτερες της ενδεικτικής οριακής τιμής (το περιθώριο ανοχής αθροισμένο στην οριακή τιμή). Ο δείκτης αυτός αναφέρεται σε οριακές τιμές που δεν είχαν έτος έναρξης ισχύος το 2006. Για το λόγο αυτό ένα σχέδιο δράσης ήταν απαραίτητο να τεθεί σε εφαρμογή και να υποβληθεί στην Επιτροπή για τη διασφάλιση της έγκαιρης επίτευξης της οριακής τιμής.

- Για τις συγκεντρώσεις O_3 :

 $\leq$ μακροπρόθεσμος στόχος

- Οι συγκεντρώσεις είναι παντού μικρότερες ή ίσες της τιμής - στόχου.

 μακροπρόθεσμος στόχος – οριακή τιμή

- Οι συγκεντρώσεις είναι σε μία ή περισσότερες θέσεις μεταξύ της τιμής - στόχου και της οριακής τιμής.

 $>$ οριακή τιμή

- Οι συγκεντρώσεις είναι σε μία ή περισσότερες θέσεις μεγαλύτερες από την τιμή - στόχο που έπρεπε να είχε επιτευχθεί το 2007.

- Λοιπές ενδείξεις:

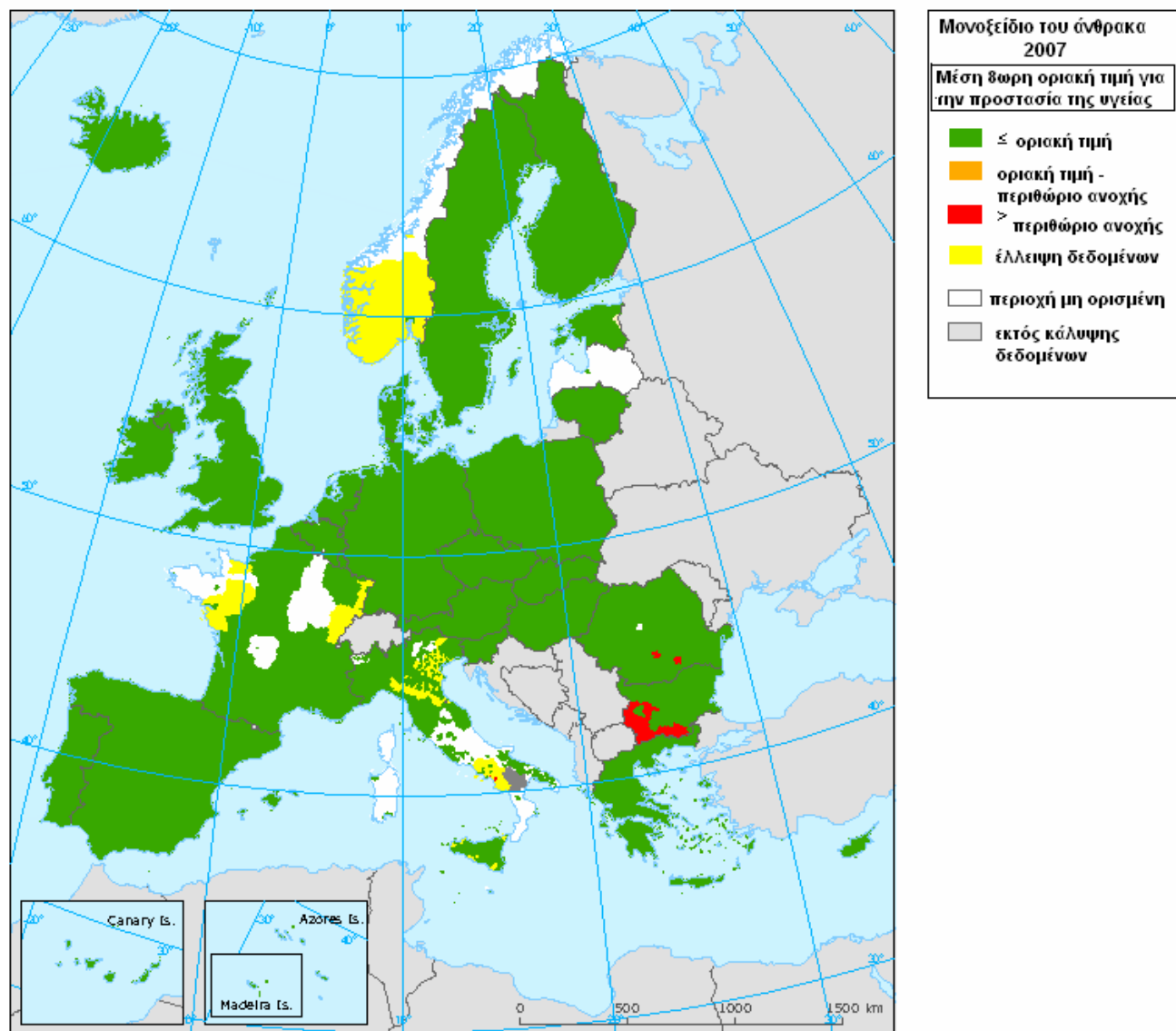
 έλλειψη δεδομένων

- Δεν υπάρχουν δεδομένα για την περιοχή σχετικά με το συγκεκριμένο ρύπο ή τη συγκεκριμένη οριακή τιμή.

 περιοχή μη ορισμένη

- Η περιοχή δεν έχει προσδιοριστεί ως προς το συγκεκριμένο ρύπο ή τη συγκεκριμένη οριακή τιμή.

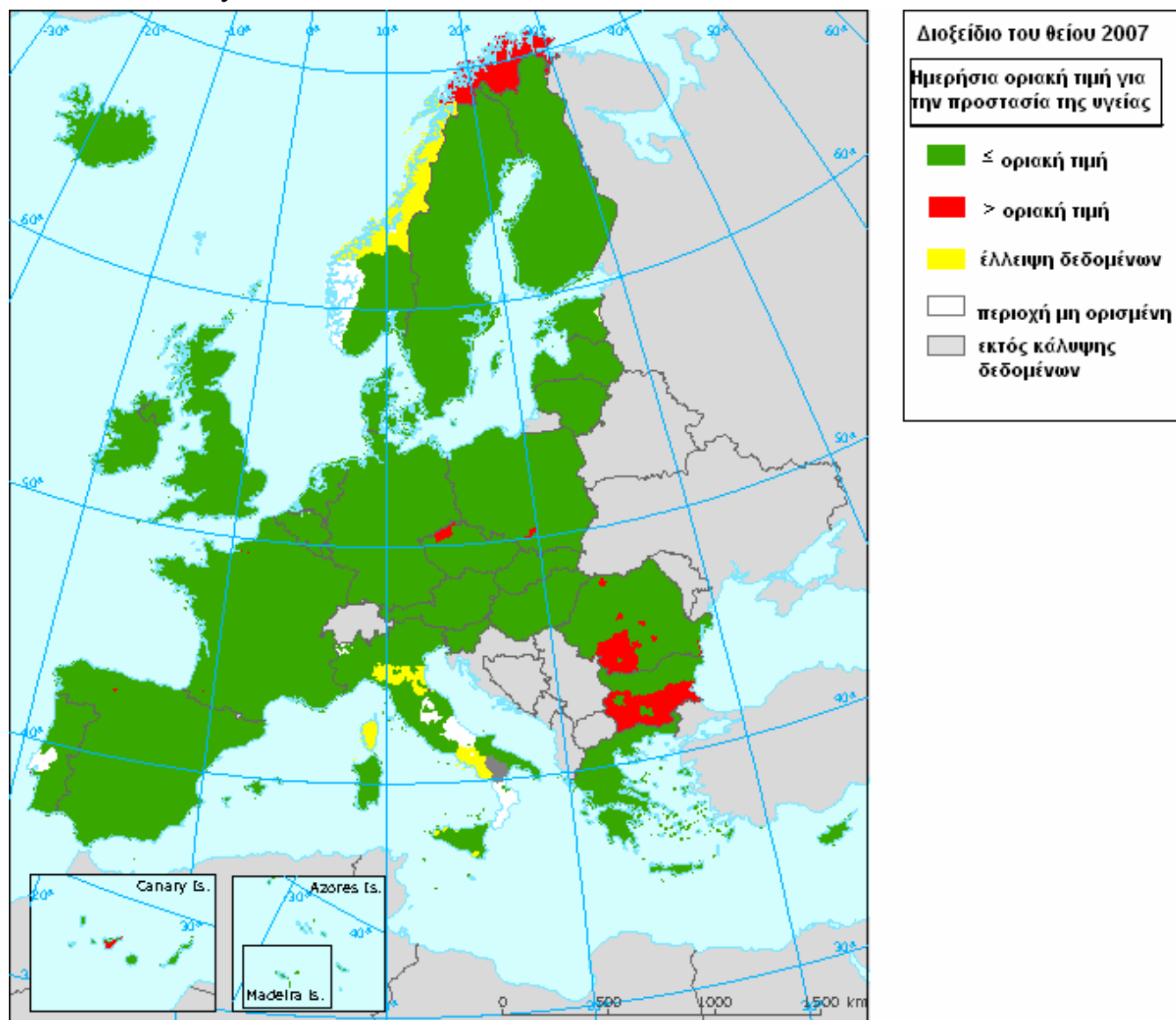
4.7.1 Μονοξείδιο του άνθρακα - 2007



Σχήμα 4.2 Συγκέντρωση CO σε σχέση με τη μέση 8ωρη οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

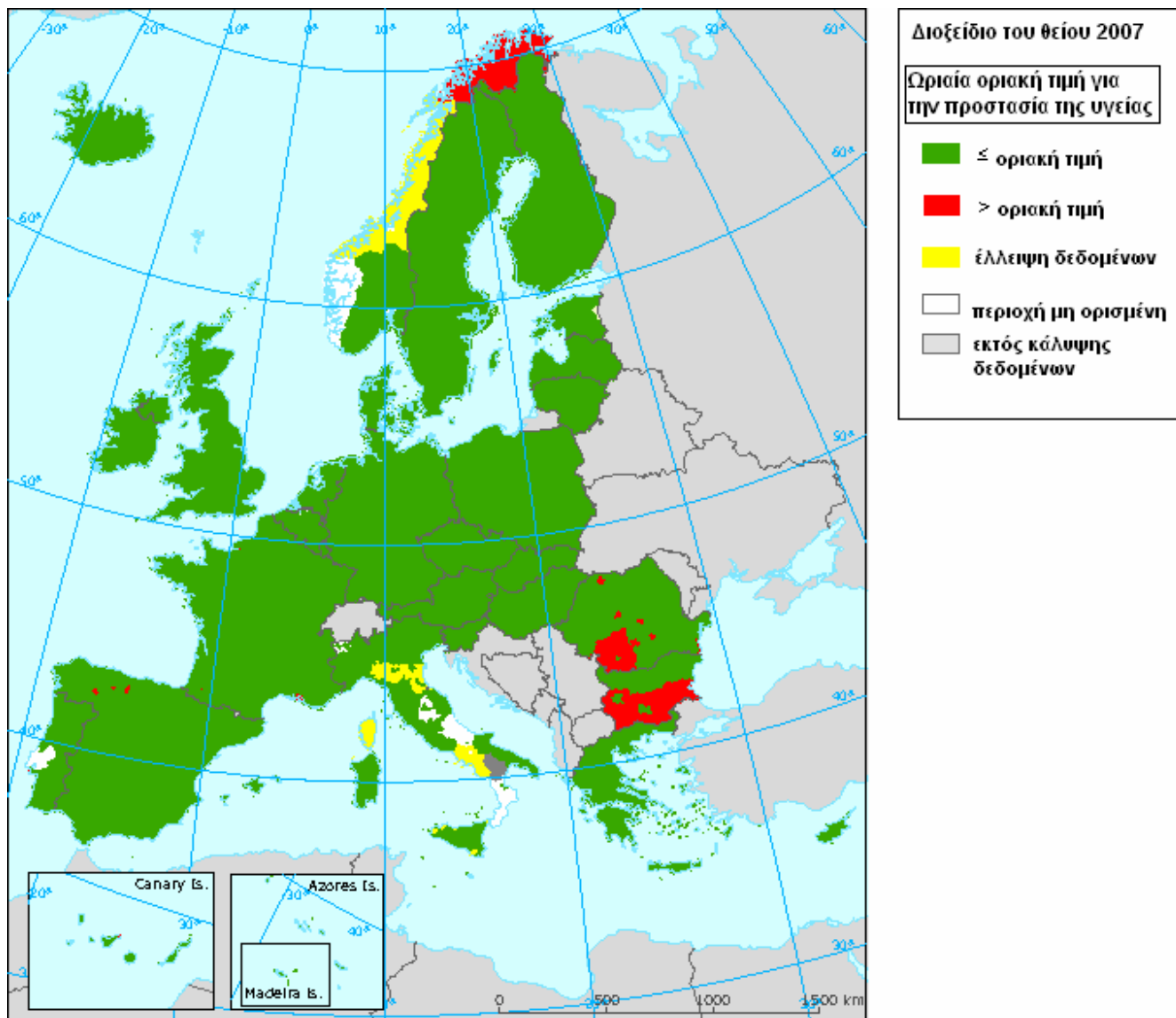
Οι τιμές συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα κρίνονται ικανοποιητικές σε όλη σχεδόν την Ευρώπη για το έτος 2007. Εξαίρεση αποτελούν οι πόλεις Βουκουρέστι και Pitesti της Ρουμανίας, καθώς και μέρος της νοτιοδυτικής Βουλγαρίας, που υπερβαίνουν την ενδεικτική μέση 8ωρη οριακή τιμή (10 mg/m^3).

4.7.2 Διοξείδιο του θείου – 2007



Σχήμα 4.3 Συγκέντρωση SO_2 σε σχέση με την ημερήσια οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

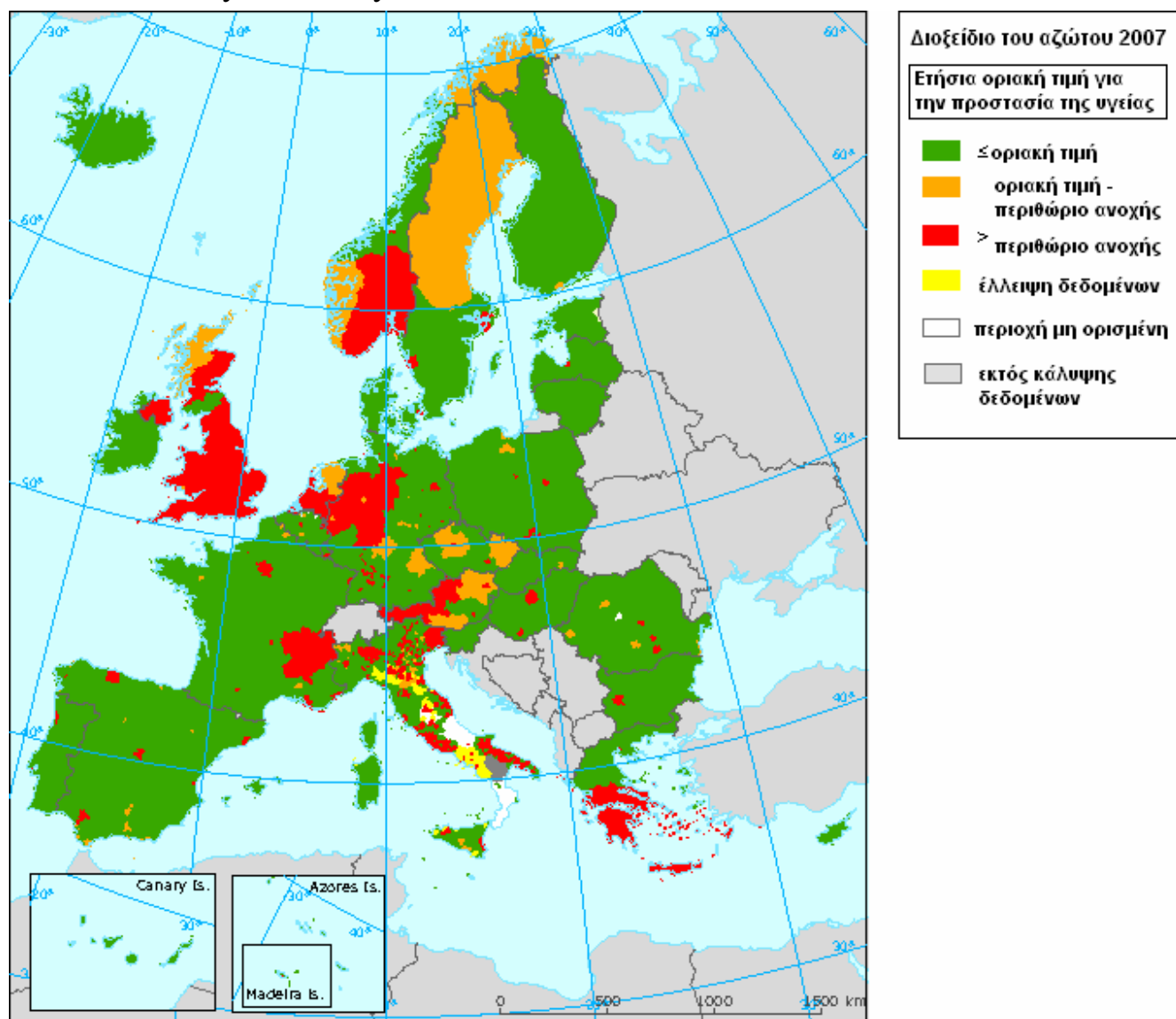
Το 2007 σημειώθηκε υπέρβαση της ημερήσιας οριακής τιμής ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) του διοξειδίου του θείου στο βόρειο μέρος της Σκανδιναβίας, σε ένα μικρό κομμάτι της Τσεχίας, βορειοδυτικά της Πράγας στα όρια με τη Γερμανία, καθώς και σε μεγάλη έκταση της Ρουμανίας και της Βουλγαρίας.



Σχήμα 4.4 Συγκέντρωση SO_2 σε σχέση με την ωριαία οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

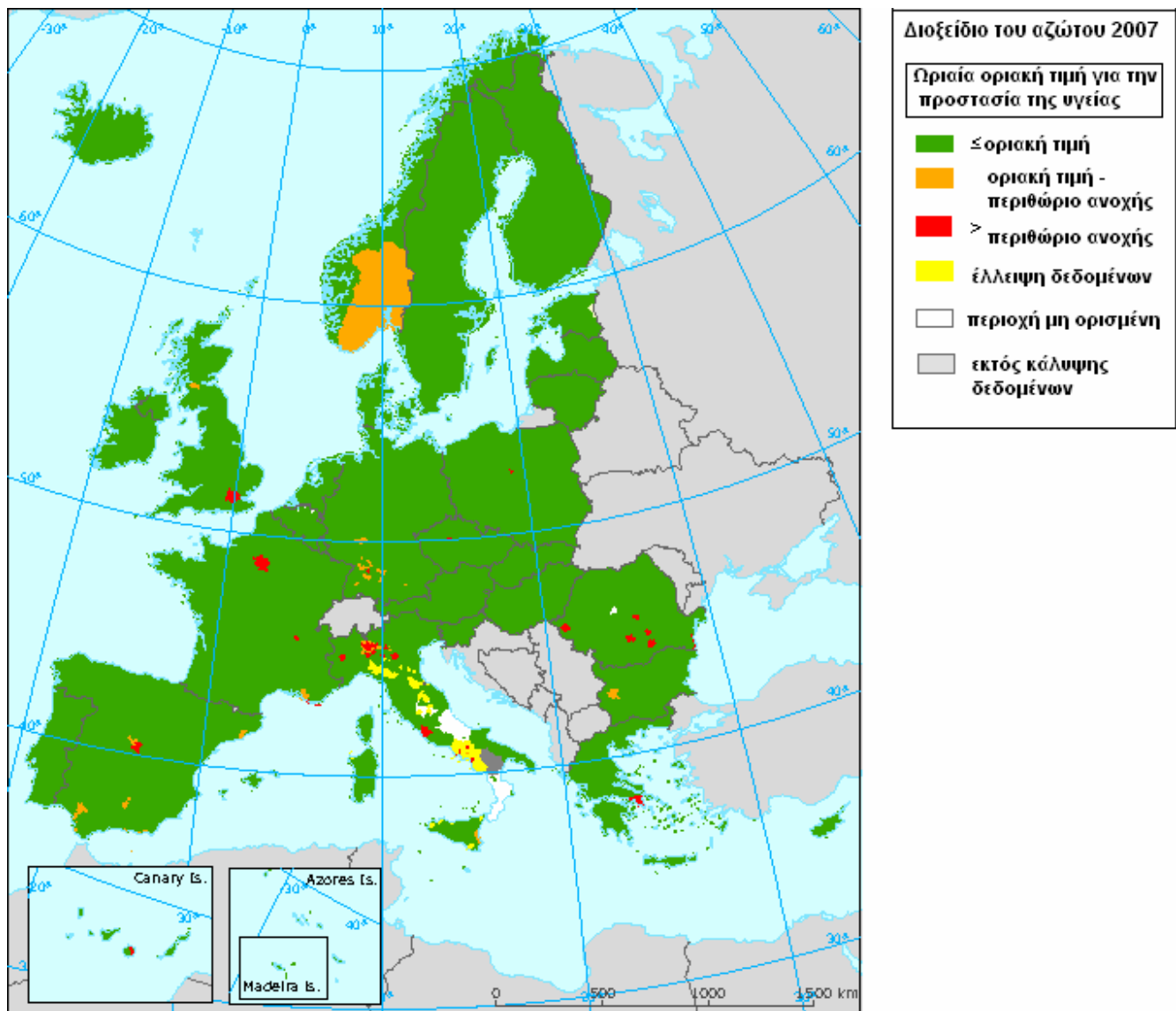
Στις ίδιες περιοχές, με εξαίρεση αυτές της Τσεχίας, σημειώθηκε υπέρβαση και της ωριαίας οριακής τιμής ($350 \mu g/m^3$) του διοξειδίου του θείου. Σε γενικές γραμμές όμως στην πλειονηφία της Ευρώπης τα επίπεδα συγκέντρωσης είναι ικανοποιητικά για την προστασία της υγείας των κατοίκων.

4.7.3 Διοξείδιο του αζώτου - 2007



Σχήμα 4.5 Συγκέντρωση NO_2 σε σχέση με την ετήσια οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

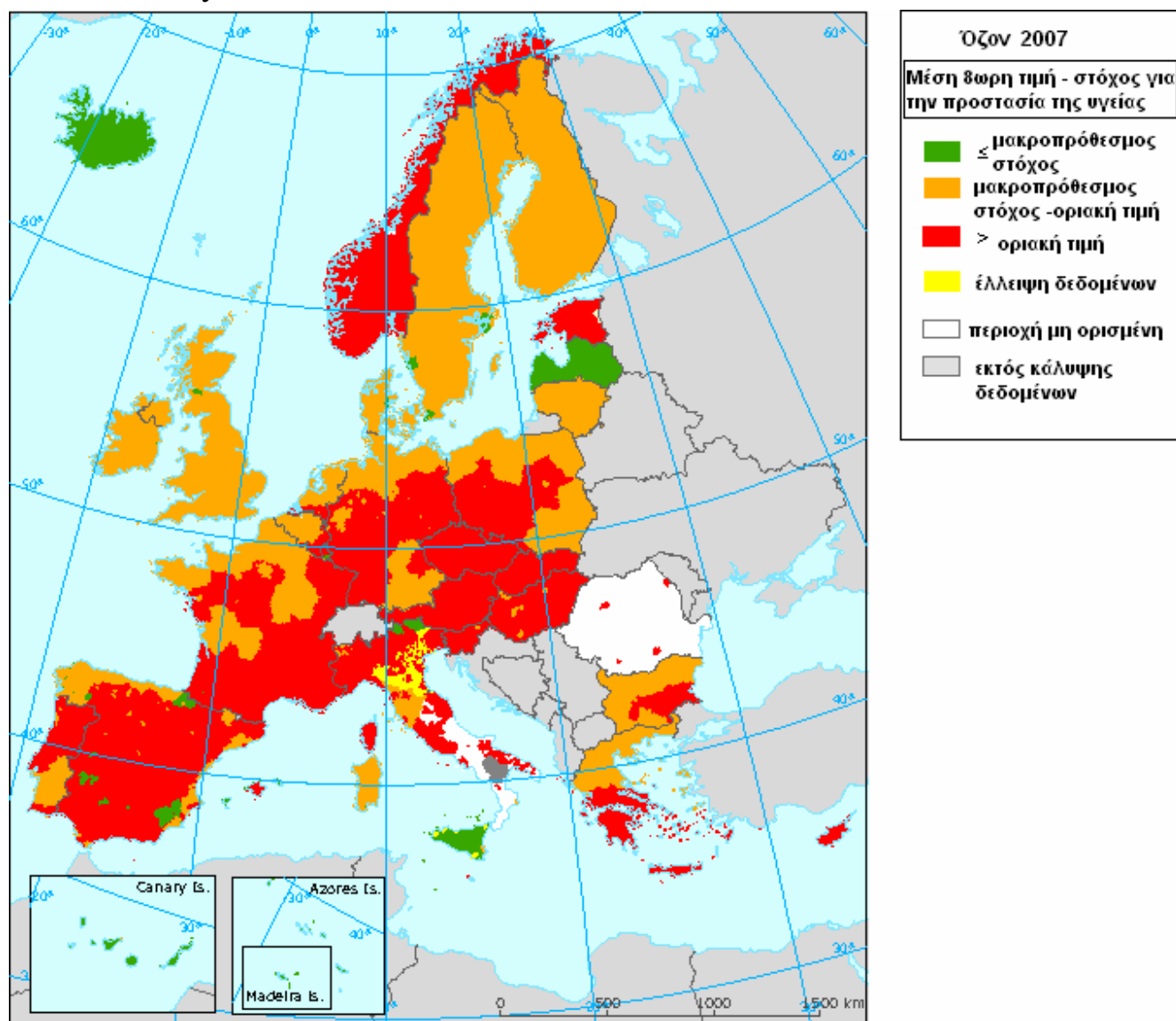
Το 2007 η συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου κυμάνθηκε στα επιτρεπτά όρια στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης. Η ετήσια ενδεικτική οριακή τιμή ($46 \mu\text{g}/\text{m}^3$) υπερέβη όμως σε ολόκληρο σχεδόν το Ηνωμένο Βασίλειο, καθώς και σε μεγάλες εκτάσεις χωρών όπως η Νορβηγία, η Γερμανία, η Γαλλία, η Αυστρία αλλά και η νότια Ελλάδα.



Σχήμα 4.6 Συγκέντρωση NO_2 σε σχέση με την ωριαία οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

Υπέρβαση της ωριαίας ενδεικτικής οριακής τιμής του διοξειδίου του αζώτου ($230 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για το 2007 σημειώθηκε σε αρκετές πρωτεύουσες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Λονδίνο, Παρίσι, Μαδρίτη, Ρώμη, Πράγα, Βουκουρέστι, Αθήνα). Επίσης είναι ιδιαίτερα εμφανές ότι μία μεγάλη έκταση γύρω από το Όσλο της Νορβηγίας βρίσκεται στο περιθώριο ανοχής, δηλ. η συγκέντρωση κυμαίνεται ανάμεσα στην ενδεικτική και την οριακή τιμή.

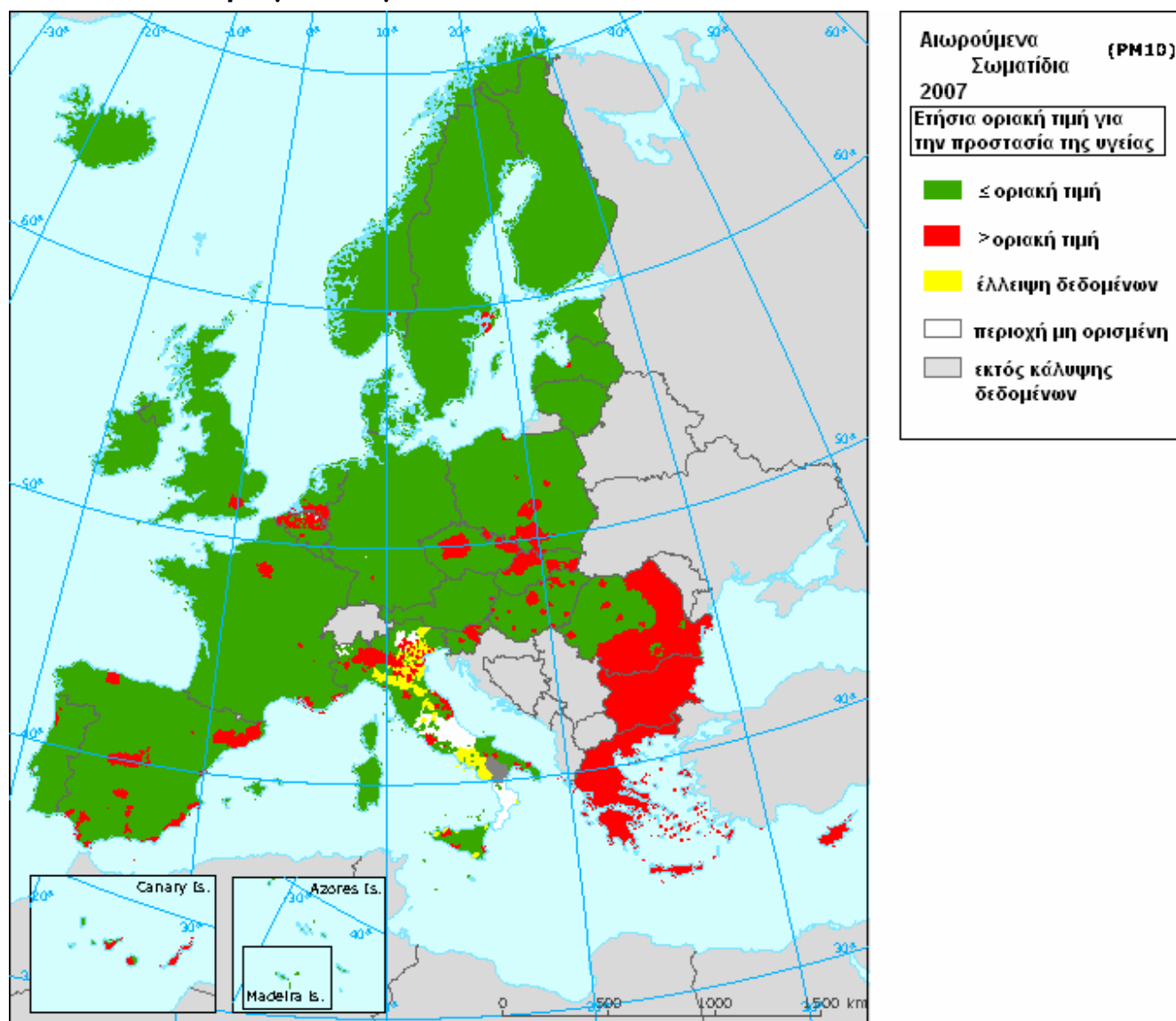
4.7.4 Όζον – 2007



Σχήμα 4.7 Συγκέντρωση O_3 σε σχέση με τη μέση δωρη τιμή-στόχο (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

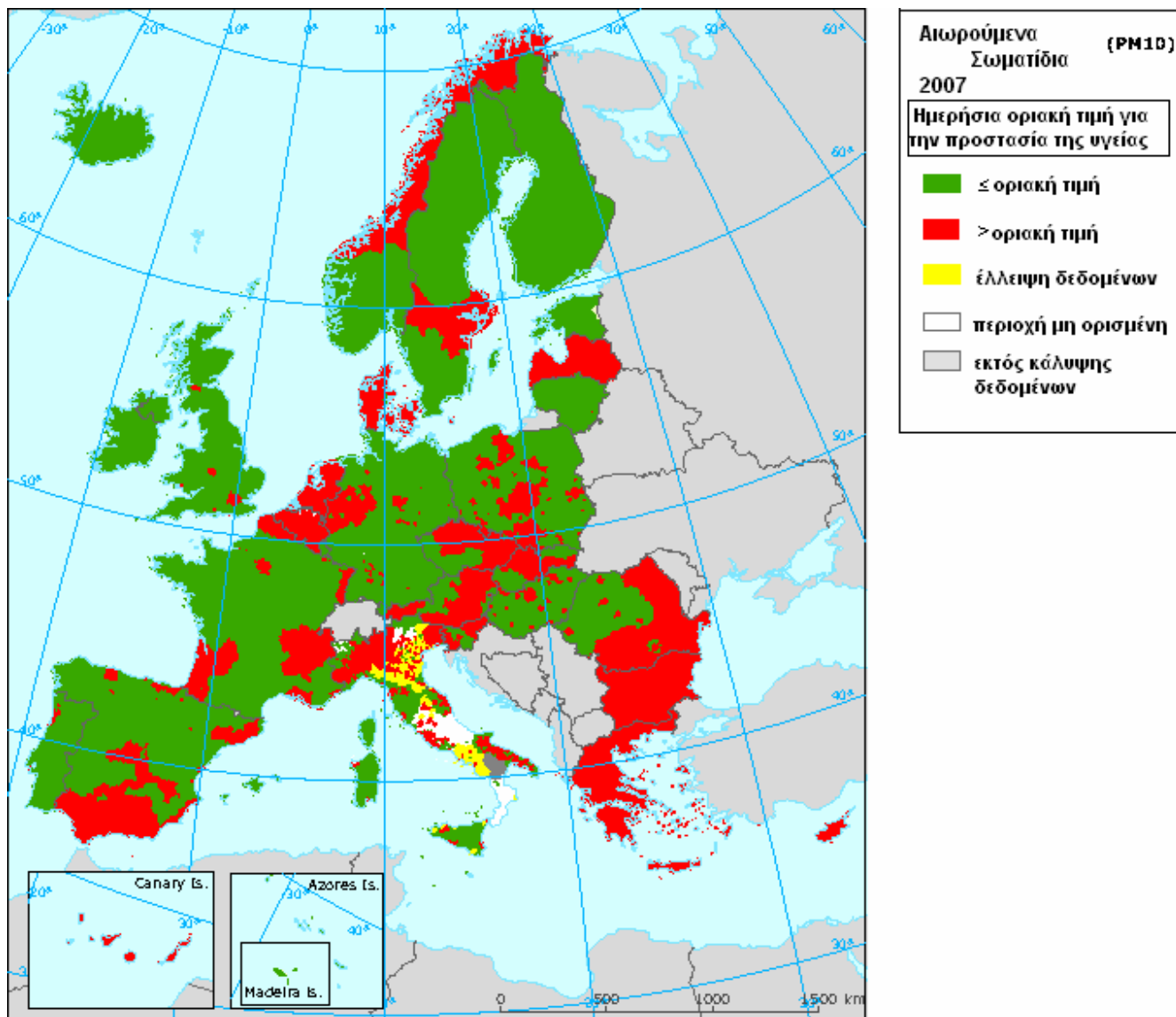
Το 2007 η πλειοψηφία των κρατών στην κεντρική και νότια Ευρώπη παρουσίασε συγκεντρώσεις υψηλότερες της μέσης δωρη τιμής – στόχου για το 2010 ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Επίσης υπέρβαση παρατηρείται και στη Νορβηγία και την Εσθονία. Σε αντίθεση με τους άλλους ρύπους, τα επίπεδα του όζοντος είναι υψηλότερα στις περιοχές υποβάθρου (μη αστικές). Ο λόγος είναι ότι, στις αστικές περιοχές το όζον απομακρύνεται από τα οξείδια του αζώτου των καυσαερίων των οχημάτων, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε αυτές.

4.7.5 Αιωρούμενα Σωματίδια PM₁₀ - 2007



Σχήμα 4.8 Συγκέντρωση PM₁₀ σε σχέση με την ετήσια οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

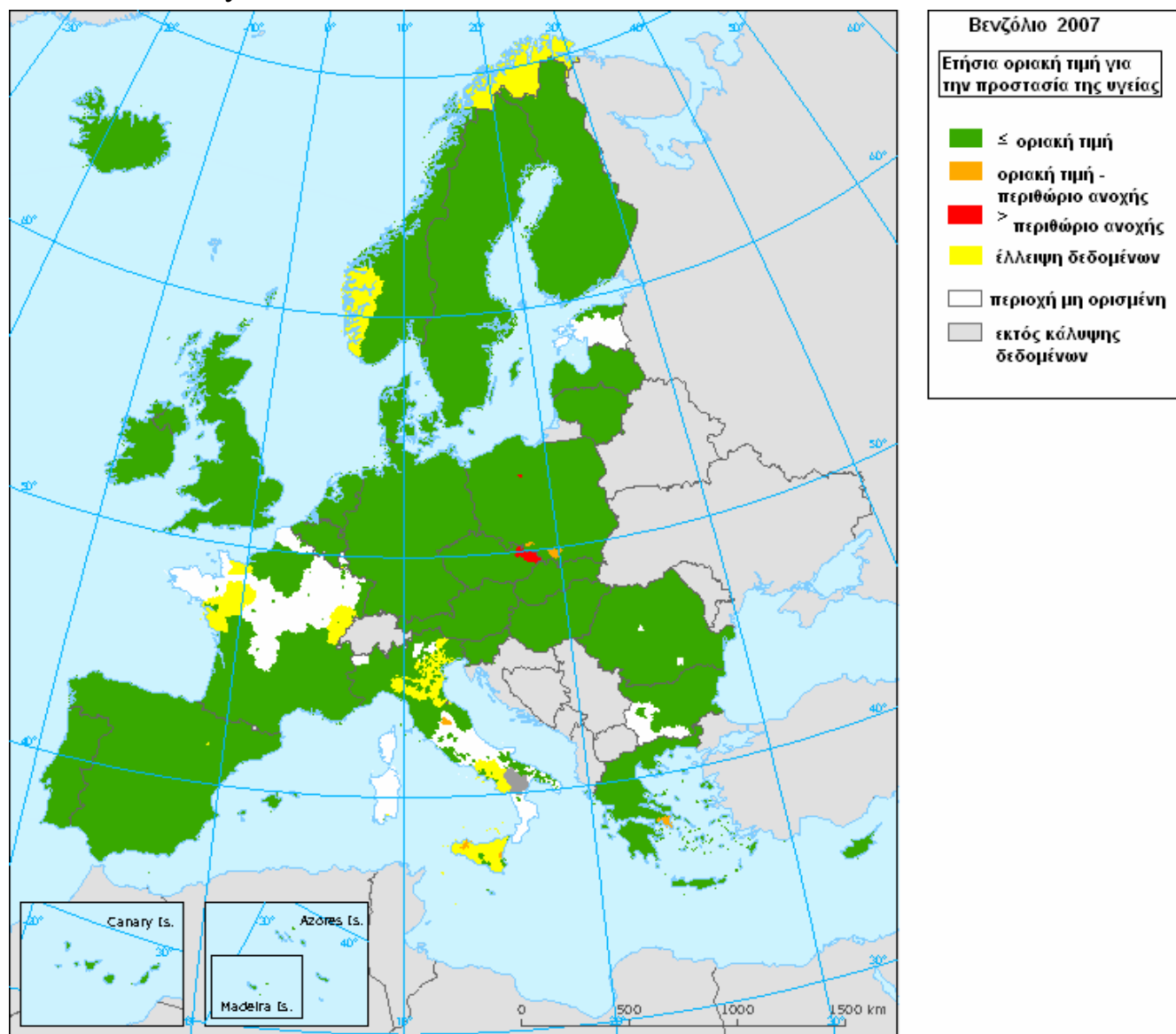
Το 2007 σημειώθηκε υπέρβαση της μέσης ετήσιας τιμής ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$), που έχει καθοριστεί ως ετήσιο όριο ασφαλείας για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, σε μεγάλο αριθμό μεγαλουπόλεων. Είναι ορατό ότι το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στη Ρουμανία, τη Βουλγαρία, την Ελλάδα και την Κύπρο, καθώς η νοτιοανατολική Μεσόγειος λόγω της διασυνοριακής μεταφοράς ρύπων (Mihalopoulos et al., 1997) δέχεται και μεγάλες ποσότητες σωματιδίων από την Αφρική (Sahara dust events) αλλά και από τα μεγάλα αστικά κέντρα της Ευρώπης που βρίσκονται βόρεια της.



Σχήμα 4.9 Συγκέντρωση PM₁₀ σε σχέση με την ημερήσια οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ ξεπέρασε την ημερήσια οριακή τιμή (50µg/m³) στις περισσότερες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες το 2007. Οι υπερβάσεις είναι ιδιαίτερα εμφανείς σε μεγάλο μέρος της κεντρικής και νοτιοανατολικής Ευρώπης.

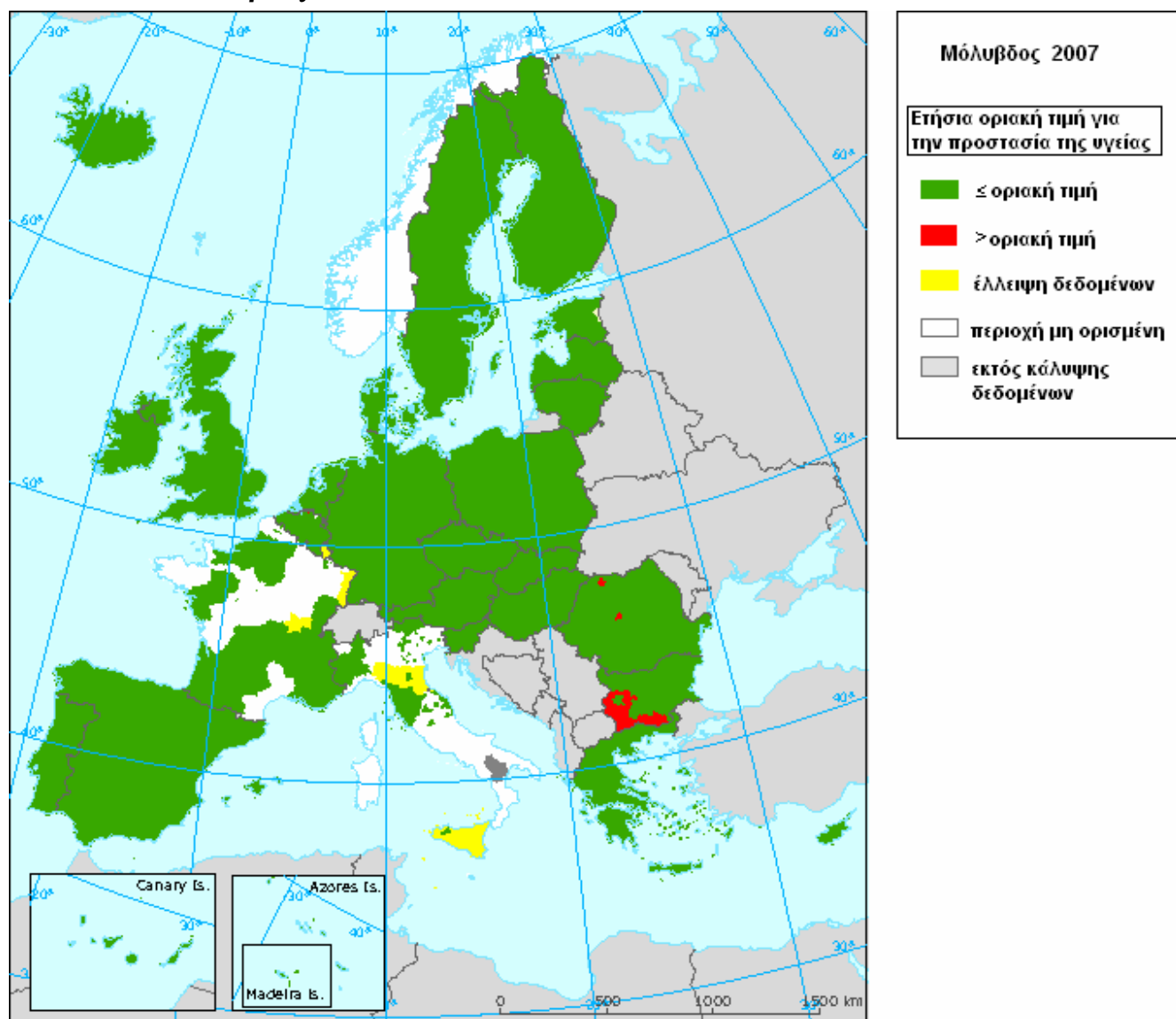
4.7.6 Βενζόλιο - 2007



Σχήμα 4.10 Συγκέντρωση βενζολίου σε σχέση με την ετήσια οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

Η συγκέντρωση του βενζολίου κυμάνθηκε στα επιτρεπτά όρια σε όλη σχεδόν την Ευρωπαϊκή Κοινότητα το 2007. Η μόνη υπέρβαση της ετήσιας ενδεικτικής οριακής τιμής ($8\mu\text{g}/\text{m}^3$) σημειώθηκε στην ανατολική Τσεχία, στα όρια με την Πολωνία. Παρατηρείται επίσης ότι η Αθήνα βρίσκεται στο περιθώριο ανοχής, δηλ. η συγκέντρωση κυμαίνεται ανάμεσα στην ενδεικτική και την οριακή τιμή.

4.7.7 Μόλυβδος – 2007



Σχήμα 4.11 Συγκέντρωση μολύβδου σε σχέση με την ετήσια οριακή τιμή (Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007).

Το 2007 οι υπερβάσεις της ετήσιας οριακής τιμής ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) περιορίστηκαν σε 2 πόλεις της Ρουμανίας και σε μεγάλη έκταση της Βουλγαρίας, στα όρια με την Ελλάδα.

5 ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

Η ραγδαία ανάπτυξη των μεγάλων πόλεων προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα γι' αυτό και έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη να μελετηθεί η ανθρωπογενής επίδραση στη χημική σύσταση του αέρα. Οι μετρήσεις των ρύπων στις πόλεις αυτές είναι απαραίτητες για να προσδιοριστούν η χημική σύνθεση και η ποσότητα των ρύπων αυτών. Οργανισμοί, όπως η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (Π.Ο.Υ.), έχουν ξεκινήσει προγράμματα που αποσκοπούν στη μέτρηση και, ει δυνατόν, στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις μεγαλουπόλεις. Οι ρύποι που θα πρέπει πρώτιστα να μετρούνται, είναι αυτοί που σχετίζονται με προβλήματα υγείας (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , C_6H_6 , Pb και αιωρούμενα σωματίδια PM). Ο συντονισμός των θεμάτων διαχείρισης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα για την Ευρώπη γίνεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος - ΕΟΠ (European Environment Agency – EEA) και από το Πρόγραμμα Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης στην Ευρώπη (EMEP) (Gurjar et al., 2008).

5.1 Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ)

Γενικές πληροφορίες

Ο ΕΟΠ είναι το κέντρο δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) είναι ένας οργανισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθήκον του οποίου είναι η παροχή έγκυρης, ανεξάρτητης πληροφόρησης για το περιβάλλον. Ο ιδρυτικός κανονισμός (αριθ. 1210/90) του ΕΟΠ εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση το 1990. Τέθηκε σε εφαρμογή στα τέλη του 1993, αμέσως μετά την απόφαση εγκατάστασης του ΕΟΠ στην Κοπεγχάγη. Ο Οργανισμός άρχισε να λειτουργεί ουσιαστικά το 1994. Με τον ιδρυτικό κανονισμό συστάθηκε και το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Πληροφοριών και Παρατηρήσεων για το Περιβάλλον (ΕΔΠΠΠ/ΕΙΟΝΕΤ). Ο Οργανισμός αποτελεί την κύρια πηγή πληροφόρησης για όσους συμμετέχουν στην ανάπτυξη, υιοθέτηση, εφαρμογή και αξιολόγηση της περιβαλλοντικής πολιτικής, και για το ευρύ κοινό (L 126/13, 21/05/2009).

Ο ΕΟΠ συνεργάζεται στενά με τα θεσμικά όργανα της ΕΕ, την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο των Υπουργών. Επίσης ο ΕΟΠ συνεργάζεται με τα συμβουλευτικά όργανα της ΕΕ, δηλαδή με την Επιτροπή των Περιφερειών και την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή, καθώς και με άλλους ευρωπαϊκούς οργανισμούς.



Η στρατηγική του ΕΟΠ 2004-2008 είναι εναρμονισμένη με το Έκτο Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα Δράσης της Ευρωπαϊκής Κοινότητας 2002-2012 (6ο ΠΠΔ), (European Commission 2001β). Ο οργανισμός αναπτύσσει δραστηριότητα σε τέσσερις κύριους θεματικούς τομείς:

- αντιμετώπιση της μεταβολής του κλίματος,
- αντιμετώπιση της απώλειας της βιοποικιλότητας και κατανόηση των χωρικών μεταβολών,
- προστασία της ανθρώπινης υγείας και της ποιότητας ζωής,
- χρήση και διαχείριση των φυσικών πόρων και αποβλήτων.

Σήμερα, ο ΕΟΠ αριθμεί 32 χώρες μέλη, τα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς και την Ελβετία, την Ισλανδία, το Λιχτενστάιν, τη Νορβηγία και την Τουρκία, καθώς και έξι συνεργαζόμενες χώρες (Αλβανία, Βοσνία-Ερζεγοβίνη, Κροατία, Μαυροβούνιο, Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας και Σερβία) (Σχήμα 5.1). Ο ΕΟΠ επίσης αναπτύσσει εκτενή διεθνή συνεργασία με χώρες πέρα από αυτές που αποτελούν μέλη του (EEA, 2010).



Σχήμα 5.1 Χώρες μέλη του ΕΟΠ (ΕΕΑ).

Ευρωπαϊκό Δίκτυο Πληροφοριών και Παρατηρήσεων για το Περιβάλλον (EIONET)

Ο ΕΟΠ συντονίζει το ευρωπαϊκό δίκτυο πληροφοριών και παρατηρήσεων για το περιβάλλον (EIONET), συλλέγοντας και αναλύοντας περιβαλλοντικά δεδομένα από τις χώρες μέλη, τους εταίρους του στην ΕΕ και τους διεθνείς οργανισμούς. Για τον σκοπό αυτό, ο Οργανισμός συνεργάζεται στενά με τα Εθνικά Εστιακά Σημεία (ΕΕΣ), που συνήθως είναι οι εθνικές υπηρεσίες περιβάλλοντος ή τα υπουργεία περιβάλλοντος στις χώρες μέλη (ΕΕΑ, 2010).

Τομέας ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ομάδα του ΕΟΠ για τον ατμοσφαιρικό αέρα υποστηρίζει την εφαρμογή μιας σειράς οδηγιών της ΕΕ που αφορούν τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα και την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Επίσης, ο ΕΟΠ συνεισφέρει στην αξιολόγηση των πολιτικών της ΕΕ για την ατμοσφαιρική ρύπανση και στην ανάπτυξη μακροπρόθεσμων στρατηγικών για τη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην Ευρώπη. Το έργο του ΕΟΠ εστιάζει στην τεκμηρίωση και στην αξιολόγηση των τάσεων στις εκπομπές ρύπων και την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και στις συναφείς πολιτικές και μέτρα που εφαρμόζονται στην Ευρώπη.

Το έργο του ΕΟΠ σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα έχει στηρίξει την ανάπτυξη και τη μελλοντική εφαρμογή της *οδηγίας για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα*

και καθαρότερου αέρα για την Ευρώπη (2008/50/EK) (L 152, 11/06/2008, pp. 1–44) και της ισχύουσας νομοθεσίας της ΕΕ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

Οι βασικές δραστηριότητες και τα βασικά προϊόντα περιλαμβάνουν:

- Την AirBase, όπου συγκεντρώνονται δεδομένα παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και συνοδευτικές πληροφορίες από τα ευρωπαϊκά δίκτυα ελέγχου της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και τους μεμονωμένους σταθμούς που καταγράφουν τη ρύπανσή του. Το σύστημα απεικόνισης της βάσης AirBase παρέχει χωροταξικά δεδομένα και πληροφορίες για τους σταθμούς,
- Το "Explore ozone today" (Εξερευνήστε το όζον σήμερα), που παρέχει πληροφορίες σε ημερήσια βάση, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, για τη ρύπανση από το όζον σε όλη την Ευρώπη, κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου,
- χωροταξική αξιολόγηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην Ευρώπη (χάρτες) για τους βασικούς ρύπους,



- τακτικές αξιολογήσεις για την κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη, όπως η έκθεση του 2007 "Ατμοσφαιρική ρύπανση 1990–2004",
- συνεισφορές στις τακτικές εκθέσεις του ΕΟΠ σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος, όπως το κεφάλαιο για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην έκθεση πανευρωπαϊκής αξιολόγησης του 2007 "Το περιβάλλον στην Ευρώπη — Τέταρτη αξιολόγηση" και η έκθεση "Το Ευρωπαϊκό περιβάλλον: κατάσταση και προοπτικές - 2005",
- δείκτες αναφορικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα ως τμήμα του βασικού συνόλου δεικτών του ΕΟΠ (EEA, 2010).

Βάση δεδομένων AirBase

Το Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο για την Ατμόσφαιρα και την Αλλαγή του Κλίματος (European Topic Centre on Air and Climate Change - ETC / ACC), διαχειρίζεται τη βάση δεδομένων Airbase (Mol et al. 2005a) για λογαριασμό του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ).

Τα δεδομένα των συγκεντρώσεων για τους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους που χρησιμοποιούνται για την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας τα έχουμε αντλήσει από τη βάση δεδομένων AirBase. Τα τελευταία διαθέσιμα δεδομένα είναι αυτά του 2008.

Η βάση δεδομένων για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα αποτελείται από πολυετείς χρονοσειρές, καθώς και από στατιστικά δεδομένα για τις συγκεντρώσεις των μετρούμενων ρύπων. Περιέχει επίσης πληροφορίες για τα εμπλεκόμενα δίκτυα παρακολούθησης, τους σταθμούς τους και τις μετρήσεις τους.

Οι ημερήσιες τιμές στην Airbase έχουν υπολογισθεί από το ETC/ACC με βάση τις ωριαίες τιμές, αν αυτές είναι διαθέσιμες. Στην περίπτωση που μια χώρα υποβάλλει και τις ωριαίες και τις ημερήσιες τιμές, οι υποβαλλόμενες ημερήσιες τιμές αντικαθίστανται από τις υπολογιζόμενες ημερήσιες (ETC/ACC, 2010/1).

Κάθε χρόνο, τα κράτη μέλη της ΕΕ οφείλουν να υποβάλλουν έκθεση βάσει της απόφασης του Συμβουλίου 97/101/EK (L 035, 05/02/1997, pp.14-22), για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

Οι πιο πρόσφατες εκθέσεις της κατάστασης της ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη στηρίζονται στα δεδομένα της AirBase.

Η δημόσια αυτή βάση δεδομένων μας παρέχει επομένως τη δυνατότητα πρόσβασης στις πληροφορίες των σταθμών καταγραφής ρύπανσης στις χώρες μέλη του ΕΟΠ, καθώς και επεξεργασίας τους με πολλούς διαφορετικούς τρόπους όπως διαγράμματα, χάρτες κλπ.

Οι ηλεκτρονικές διευθύνσεις του δικτυακού ιστότοπου της βάσης είναι:

<http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/airbase/>,

<http://www.eea.europa.eu/themes/air/airbase> .

5.2 Πρόγραμμα Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης στην Ευρώπη (EMEP)

Σύμβαση διασυνοριακής μεταφοράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης (LRTAP)

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν περιορίζεται στην περιοχή όπου εκπέμπονται οι αέριοι ρύποι, αλλά έχει επιπτώσεις και στις γειτονικές χώρες με την **διασυνοριακή μεταφορά**. Για τον λόγο αυτό έχουν υπογραφεί διεθνείς συμβάσεις για τον περιορισμό και έλεγχο της διασυνοριακής ρύπανσης. Στην Ευρώπη από το 1979 έχει υπογραφεί η Σύμβαση διασυνοριακής μεταφοράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Convention on Long Range Transboundary Air Pollution - LRTAP) και ελέγχεται με το Πρόγραμμα παρακολούθησης και αξιολόγησης της διασυνοριακής μεταφοράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollution in Europe - EMEP).

Η Σύμβαση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την προστασία του περιβάλλοντος. Θεσπίζει ένα ευρύ πλαίσιο συνεργασίας και δράσης για τη μείωση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και θεσπίζει μια διαδικασία για τη διαπραγμάτευση συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω νομικά δεσμευτικών πρωτοκόλλων. Σε αυτή τη διαδικασία, ο κύριος στόχος του προγράμματος EMEP είναι να παρέχει στις κυβερνήσεις επιστημονικές πληροφορίες για την υποστήριξη και ανάπτυξη της περαιτέρω αξιολόγησης των διεθνών πρωτοκόλλων για τη μείωση των εκπομπών στα πλαίσια της Σύμβασης (UNITED NATIONS, 2004).

Convention on Long-range Transboundary Air Pollution

emep

Co-operative programme for monitoring
and evaluation of the long-range
transmissions of air pollutants in Europe

EMEP

Αρχικά, σκοπός του προγράμματος ήταν ο έλεγχος για την όξινη βροχή και τον ευτροφισμό, αργότερα όμως διευρύνθηκε για το όζον, τις πολυχλωριωμένες ενώσεις, τα βαρέα μέταλλα και τα αιωρούμενα σωματίδια.

Το πρόγραμμα EMEP στηρίζεται κυρίως σε τρεις άξονες:

- συλλογή δεδομένων για τις εκπομπές
- μετρήσεις της ποιότητας του αέρα
- μοντελοποίηση της ατμοσφαιρικής μεταφοράς και εναπόθεσης των ρύπων.

Μέσα από τον συνδυασμό των τριών αυτών στοιχείων, το EMEP πραγματοποιεί την αξιολόγηση μέσω τακτικών εκθέσεων για τις εκπομπές, τις συγκεντρώσεις και τις αποθέσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, την ποσότητα και τη σημασία της διασυνοριακής μεταφοράς και τις σχετικές υπερβάσεις των κατωτάτων ορίων. Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων παρέχει μια καλή βάση για την αξιολόγηση και πιστοποίηση των εκτιμήσεων του EMEP.

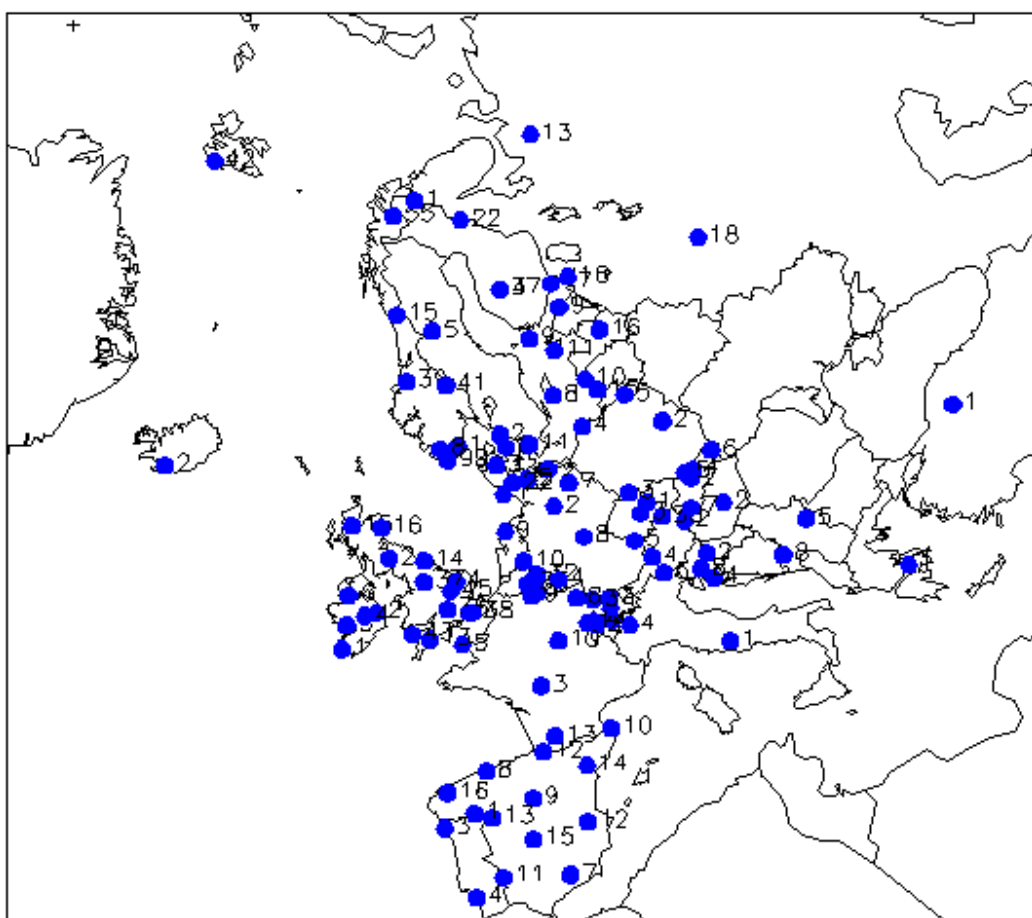
Το πρόγραμμα EMEP πραγματοποιείται σε συνεργασία με ένα ευρύ δίκτυο επιστημόνων και των εθνικών εμπειρογνομόνων που συμβάλλουν στη συστηματική συλλογή, ανάλυση και καταγραφή των δεδομένων εκπομπής, τη μέτρηση των δεδομένων και την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (UNITED NATIONS, 2004).

Ο συντονισμός των μετρήσεων της χημικής ποιότητας του αέρα διεξάγονται στο Συντονιστικό Κέντρο Χημικών (Chemical Coordinating Centre - CCC).

Τα δεδομένα για τους μετρούμενους ρύπους από τις χώρες που συμμετέχουν στο πρόγραμμα είναι διαθέσιμα στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html>.

Στον χάρτη της Ευρώπης (Σχήμα 5.2) βλέπουμε όλους τους σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων που συμμετέχουν στο Πρόγραμμα Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης. Οι σταθμοί του δικτύου EMEP χωροθετούνται γενικά σε αγροτικές περιοχές (σταθμοί υποβάθρου), μακριά από ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης και όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Querol et al., 2004) μπορεί να θεωρηθεί ότι καταγράφουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα «φυσικά» επίπεδα συγκέντρωσης PM₁₀ που προκαλούνται από τη μεταφορά σκόνης σε περιφερειακή ή και μεγαλύτερη κλίμακα (π.χ. σκόνη Σαχάρας). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι σταθμοί αυτοί δεν είναι ομοιογενώς κατανεμημένοι ανά την Ευρώπη, καθώς υπάρχουν αρκετές χώρες που δεν έχουν καθόλου σταθμούς.



Σχήμα 5.2 Σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων για το Πρόγραμμα Διασυννοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης (EMEP).

5.3 Σταθμοί μέτρησης - παρακολούθησης ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα

Οι σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης ταξινομούνται σε κατηγορίες, ο χαρακτηρισμός των οποίων γίνεται ανάλογα με την τοποθεσία τους (EEA, 2/2007):

❖ Αστικός – Κυκλοφορίας (urban traffic hot-spot) :

Οι σταθμοί αυτής της κατηγορίας βρίσκονται στα αστικά κέντρα, σε περιοχές δηλ. κοντά σε σημαντικές πηγές ρύπανσης όπως είναι οι κεντρικοί δρόμοι, σε απόσταση 10 περίπου μέτρων.

❖ Αστικός – Υποβάθρου (urban background) :

Οι σταθμοί αυτοί δεν επηρεάζονται άμεσα από συγκεκριμένες πηγές αστικής ρύπανσης, καθώς είναι τοποθετημένοι σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων, έτσι ώστε να παρέχουν μία αντιπροσωπευτική εικόνα των ευρύτερων αστικών συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

❖ Αστικός – Βιομηχανικός (urban industrial) :

Οι σταθμοί αυτού του τύπου βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικά κέντρα, σε απόσταση μικρότερη του ενός χιλιομέτρου.

❖ Υποβάθρου (rural background) :

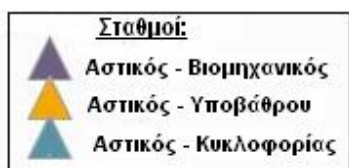
Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις των ρύπων στους σταθμούς αυτής της κατηγορίας επηρεάζονται κυρίως από τη μεταφορά ρύπων που προέρχονται από μεγάλες αποστάσεις, καθώς και από τις εκπομπές στην περιοχή που είναι τοποθετημένος ο σταθμός. Η απόσταση από τις σημαντικές πηγές ρύπανσης (αστικά κέντρα, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, αυτοκινητόδρομους) είναι τόσο μεγάλη (τουλάχιστον 10 χιλιόμετρα) που ο θύσανος (plume) της ρύπανσης διασπείρεται και δεν μπορεί να διακριθεί. Ορισμένοι από τους σταθμούς Υποβάθρου συμμετέχουν στο Πρόγραμμα Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης (EMEP).

5.4 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη

Ο συνολικός αριθμός των σταθμών μέτρησης που λειτούργησαν το 2008 στην Ευρώπη ήταν 4662. Ο αριθμός ήταν μεγαλύτερος κατά 693 σταθμούς σε σχέση με το 2007 (ETC/ACC, 2010/1). Το δίκτυο των αστικών σταθμών (Σχήμα 5.3), καθώς και το δίκτυο των σταθμών υποβάθρου (Σχήμα 5.4) φαίνεται στους χάρτες που ακολουθούν:



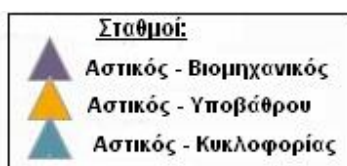
Airbase Viewer Data – European Environment Agency



Σχήμα 5.3 Χάρτης της Ευρώπης που εμφανίζονται οι αστικοί σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.



Airbase Viewer Data – European Environment Agency



Σχήμα 5.4 Χάρτης της Ευρώπης που εμφανίζονται οι σταθμοί υποβάθρου μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Σε αστική κλίμακα, η αντιπροσωπευτικότητα των αναφερόμενων συγκεντρώσεων του κάθε σταθμού εξαρτάται από την αντιπροσωπευτικότητα του για την έκθεση πληθυσμού (ETC/ACC, 2005/2).

6 ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 Γενικά

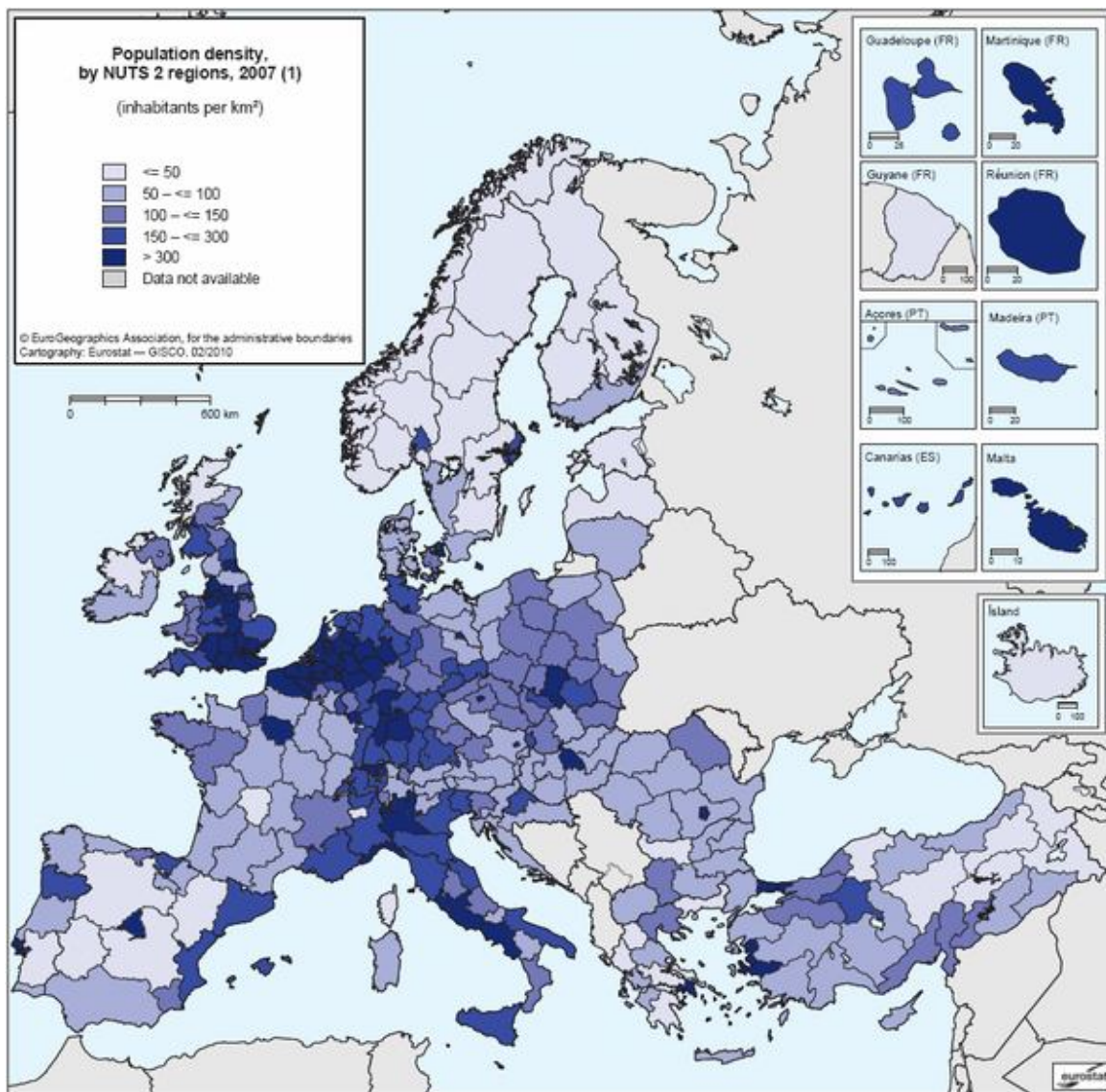
Προκειμένου να εξετάσουμε τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές της Ευρώπης επιλέξαμε εννέα ευρωπαϊκές πρωτεύουσες:

- Λονδίνο
- Αθήνα
- Παρίσι
- Βερολίνο
- Στοκχόλμη
- Βουκουρέστι
- Βιέννη
- Ρώμη
- Μαδρίτη



Σχήμα 6.1 Στο χάρτη της Ευρώπης εμφανίζονται οι θέσεις των πόλεων που θα αποτελέσουν τις αστικές περιοχές μελέτης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Οι περιοχές αυτές αποτελούν σημαντικά αστικά κέντρα καθώς είναι από τις μεγαλύτερες πληθυσμιακά πόλεις της Ευρώπης, όπως επίσης και από τις πιο έντονα πυκνοκατοικημένες σύμφωνα με τη Eurostat (2009) (Σχήμα 6.2).



(1) Spain, France, Cyprus, Luxembourg, Malta, Austria, Poland, Croatia, Liechtenstein and Norway, 2005.

Σχήμα 6.2 Πυκνότητα πληθυσμού στην Ευρώπη, 2007 (Eurostat, 2009).

Σύμφωνα με τα δεδομένα της Eurostat για το 2007, οι πρωτεύουσες αποτελούν τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές στην Ευρώπη, όπως για παράδειγμα από το Σχήμα 6.2 βλέπουμε το Λονδίνο (Ηνωμένο Βασίλειο), τις Βρυξέλλες (Βέλγιο), τη Βιέννη (Αυστρία), το Βερολίνο (Γερμανία), την Πράγα (Τσεχία), το Βουκουρέστι (Ρουμανία), την Αθήνα (Ελλάδα). Κάθε μία από αυτές τις πόλεις έχει πυκνότητα πληθυσμού πάνω από 1.000 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο γι' αυτό και η μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σ αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντική.

6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση στις περιοχές της Ευρώπης

Προκειμένου να κατανοήσουμε την υφιστάμενη κατάσταση ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές της Ευρώπης πρέπει να λάβουμε υπόψη τους παράγοντες που επιδρούν σε αυτή.

Η Ευρώπη είναι μια ιδιαίτερα αστικοποιημένη ήπειρος, δεδομένου ότι ένα ποσοστό περισσότερο από το 70% του πληθυσμού της ζει σε πόλεις. Γενικά η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στις ευρωπαϊκές πόλεις έχει βελτιωθεί τις τελευταίες δεκαετίες παρά την αύξηση της πυκνότητας του πληθυσμού, αλλά η ατμοσφαιρική ρύπανση εξακολουθεί να θεωρείται ένα κορυφαίο περιβαλλοντικό πρόβλημα με επιπτώσεις αστικής αλλά και ευρείας κλίμακας. Οι ευρωπαϊκές πόλεις διαφέρουν ως προς τους τρόπους που επηρεάζουν τη σχέση εκπομπών και επιπέδων ρύπανσης. Έτσι, η υποδομή και ο σχεδιασμός της πόλης καθορίζουν τον τρόπο διεξαγωγής των εκπομπών, ενώ η μετεωρολογία και η τοπογραφία καθορίζουν τις δυνατότητες διασποράς και μετασχηματισμού των ρύπων.

Η Δυτική Ευρώπη επηρεάζεται από τους δυτικούς ανέμους που φέρνουν υγρό αέρα από τη θάλασσα, ένα κλίμα που ευνοεί επίσης και τη διασυννοριακή μεταφορά. Στο βόρειο τμήμα της Ευρώπης το μικρό ποσοστό ηλιοφάνειας ευνοεί επίμονες θερμοκρασιακές αναστροφές με κακές συνθήκες διασποράς. Στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη οι υψηλές πιέσεις με τη στασιμότητα του αέρα και τη συσσώρευση τοπικής ρύπανσης είναι συχνές. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού το κλίμα στην περιοχή της Μεσογείου ευνοεί επίσης τη συσσώρευση των τοπικών εκπομπών, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι συχνοί οι μεγάλης έντασης άνεμοι. Επίσης ο σχηματισμός φωτοχημικών οξειδωτικών εξαρτάται από την ηλιοφάνεια, η οποία σε συνδυασμό με τις συνθήκες κακής διασποράς, οδηγεί σε συχνά επεισόδια αυξημένης ρύπανσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Fenger, 1999). Γι' αυτό και οι νότιες πόλεις της Ευρώπης, όπως η Αθήνα και η Ρώμη, μπορεί να βιώσουν φωτοχημικό νέφος τύπου Λος Άντζελες.

6.3 Αστική περιοχή μελέτης: Λονδίνο

6.3.1 Γενικές πληροφορίες

Το Λονδίνο είναι η πρωτεύουσα του Ηνωμένου Βασιλείου. Κτισμένο στις όχθες του ποταμού Τάμεση, το Λονδίνο βρίσκεται 75 χιλιόμετρα από τη Θάλασσα της Μάγχης. Χωρίζεται από τον Τάμεση σε δύο μέρη, στη Βόρεια και στο Νότια Όχθη. Ο εν λόγω ποταμός διαρρέει την πόλη από τα νοτιοδυτικά ως τα ανατολικά. Το Λονδίνο αποτελεί την 37η μεγαλύτερη σε έκταση (1.706,8 km²) αστική περιοχή στον κόσμο, ενώ χαρακτηρίζεται από εύκρατο ωκεάνιο κλίμα.

Με βάση την πιο πρόσφατη απογραφή (30 Ιουνίου 2007), ο επίσημος πληθυσμός του είναι 7.556.900 κάτοικοι εντός ορίων του Μείζονος Λονδίνου και αποτελεί το μεγαλύτερο σε πληθυσμό Δήμο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Υπολογίζεται ότι η ευρύτερη αστική περιοχή αριθμεί 8.278.251 κατοίκους (Demographia, 2010). Σύμφωνα με τη Eurostat, η πόλη είναι η πολυπληθέστερη στη μητροπολιτική περιοχή της ΕΕ και δεύτερη πολυπληθέστερη στην Ευρώπη (ή τρίτη, αν θεωρηθεί η Κωνσταντινούπολη πόλη της Ευρώπης).

Το Λονδίνο σύμφωνα με στοιχεία της Mastercard (2008) αποτελεί σήμερα το μεγαλύτερο οικονομικό κέντρο στον κόσμο, παράλληλα με τη Νέα Υόρκη, και έχει τη μεγαλύτερο ΑΕΠ στην Ευρώπη. Εκεί εδρεύουν πλήθος εταιρειών, οργανισμών καθώς και διαφόρων άλλων παγκόσμιων ιδρυμάτων. Η επίδραση του Λονδίνου στην πολιτική, στην εκπαίδευση, στα ΜΜΕ, στη μόδα και στις τέχνες, συνετέλεσαν στο να θεωρείται ως σημαντική παγκόσμια πόλη.

Το Λονδίνο έχει χαρακτηριστεί ως η πόλη με τις καλύτερες δημόσιες μεταφορές. Ο υπόγειος σιδηρόδρομος (Μετρό) του Λονδίνου είναι ο παλαιότερος στον κόσμο (1863). Εκτός από την αρχαιότητά του, το μετρό του Λονδίνου είναι το πιο εκτεταμένο (αποτελείται από 11 γραμμές) και μεγαλύτερο σε μήκος στον κόσμο. Το δίκτυο λεωφορείων στο Λονδίνο είναι ένα από τα μεγαλύτερα του κόσμου και λειτουργεί σε 24ωρη βάση. Επίσης, το αεροδρόμιο Heathrow είναι το πιο πολυσύχναστο διεθνές αεροδρόμιο στον κόσμο με βάση τον αριθμό των επιβατών.



6.3.1 Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Λονδίνο

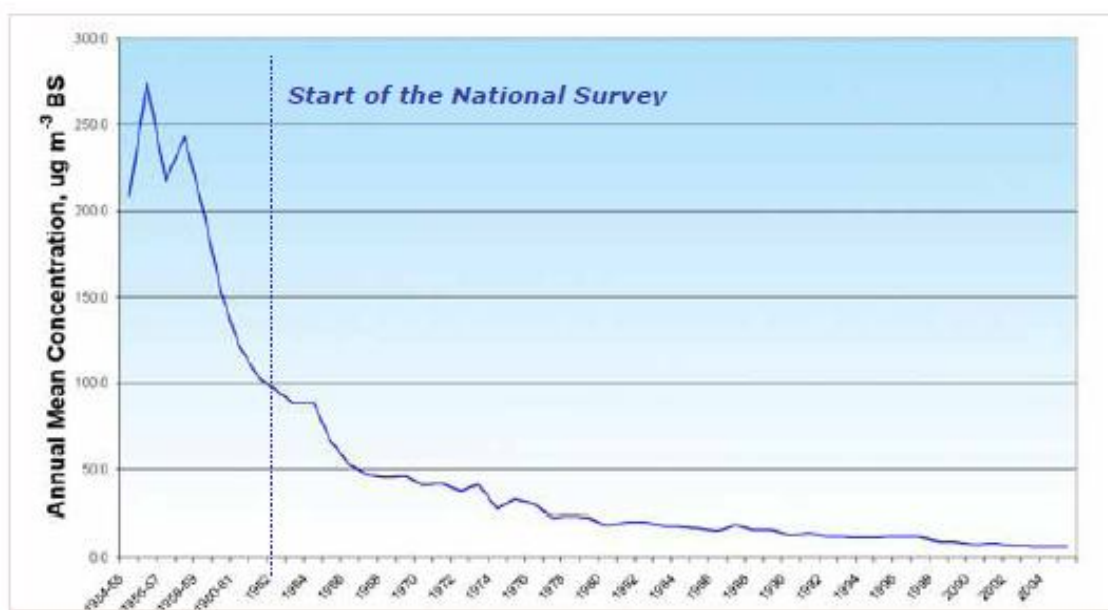
Ιστορικά να πούμε ότι το Λονδίνο έχει ταυτιστεί με το νέφος καπνομίχλης ή αιθαλομίχλης (smog), το οποίο ονομάζεται και ατμοσφαιρική ρύπανση «τύπου Λονδίνου», καθώς για πρώτη φορά παρουσιάστηκε στην πρωτεύουσα της Αγγλίας, με σοβαρότερο επεισόδιο το 1952, οπότε πέθαναν εκατοντάδες άνθρωποι, λόγω των ακραίων συνθηκών ατμόσφαιρας που δημιουργήθηκαν. Κατά τη διάρκεια του επεισοδίου, που κράτησε 4 μέρες, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου και του καπνού (αιθάλης) ανήλθαν σε πρωτοφανή επίπεδα και σημειώθηκαν πάνω από 4.000 θάνατοι (Fenger 2009).



Εικόνα 6.1 Αιθαλομίχλη από βιομηχανικές και οικιακές καύσεις άνθρακα στα Midlands τη δεκαετία του '50 (AEA, 2009).

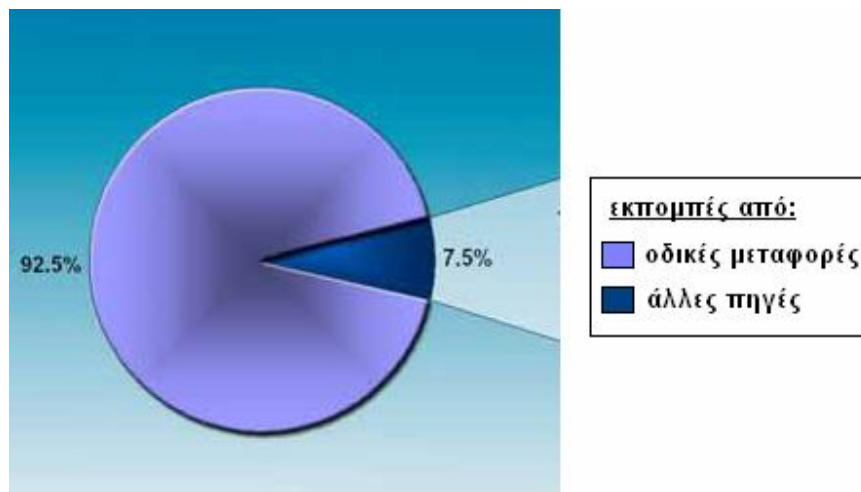
Η βρετανική κυβέρνηση για να αντιμετωπίσει την κατάσταση οργάνωσε το πρώτο σχέδιο δράσης «Clean Air Act» το 1956 που, με την επιβολή μέτρων, είχε στόχο τον έλεγχο των εκπομπών, τόσο των οικιακών όσο και των βιομηχανικών, από την καύση άνθρακα. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1961, το Ηνωμένο Βασίλειο ίδρυσε το πρώτο, σε παγκόσμιο επίπεδο, συντονισμένο εθνικό δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που ονομαζόταν «National Survey» και το οποίο μετρούσε μαύρο καπνό και το διοξείδιο του θείου σε περίπου 1200 σημεία στο Ηνωμένο Βασίλειο (AEA, 2009). Μετά τα «Clean Air Acts», ακολούθησαν πολλά άλλα σχέδια δράσης από τη νομοθεσία για την καταπολέμηση της ρύπανσης, όπως επίσης λειτούργησαν και άλλα δίκτυα παρακολούθησης για τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Το δίκτυο «National Survey» καθώς και ορισμένοι σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προϋπήρχαν, παρακολούθησαν για πάνω από 50 χρόνια τη δραματική πτώση στις συγκεντρώσεις του μαύρου καπνού και του διοξειδίου του θείου (Σχήμα 6.3). Η ιστορική αυτή πτώση οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η εισαγωγή καθαρότερων καυσίμων και νέων τεχνολογιών, καθώς και η επιτυχής νομοθεσία για τον έλεγχο του καπνού (AEA, 2009).



Σχήμα 6.3 Η μείωση στις συγκεντρώσεις μαύρου καπνού στο Λονδίνο τα τελευταία 50 χρόνια (1954 – 2006). Το 1962 ήταν το έτος έναρξης του πρώτου δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα «National Survey» (AEA, 2009).

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες τα επίπεδα μαύρου καπνού έχουν διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα η παρακολούθηση του να έχει μειωθεί και η μέτρηση του να γίνεται σε μικρό αριθμό σταθμών. Ενώ όμως η καύση του άνθρακα έχει μειωθεί, ωστόσο, η σημασία άλλων ρύπων, κυρίως εκείνων που προέρχονται από την κυκλοφορία, έχει αυξηθεί. Οι οδικές μεταφορές αποτελούν σήμερα την κυρίαρχη πηγή ρύπανσης σε όλες τις αστικές περιοχές στη Βρετανία (σχήμα 6.4). Για το λόγο αυτό, το ενδιαφέρον έχει μετατοπιστεί σταδιακά στην παρακολούθηση των ρύπων που δημιουργούνται άμεσα ή έμμεσα από τις εκπομπές των οχημάτων. μέσω οχημάτων (AEA, 2009).



Σχήμα 6.4 Ποσοστιαία κατανομή πηγών εκπομπής σε αστικές περιοχές στο Ηνωμένο Βασίλειο (προσαρμογή από ΑΕΑ, 2009).



Εικόνα 6.2 Άποψη της πόλης του Λονδίνου κατά τη διάρκεια επεισοδίου αιθαλομίχλης, καλοκαίρι 1998 (Photograph: Peter Jordan/Empics/PA).

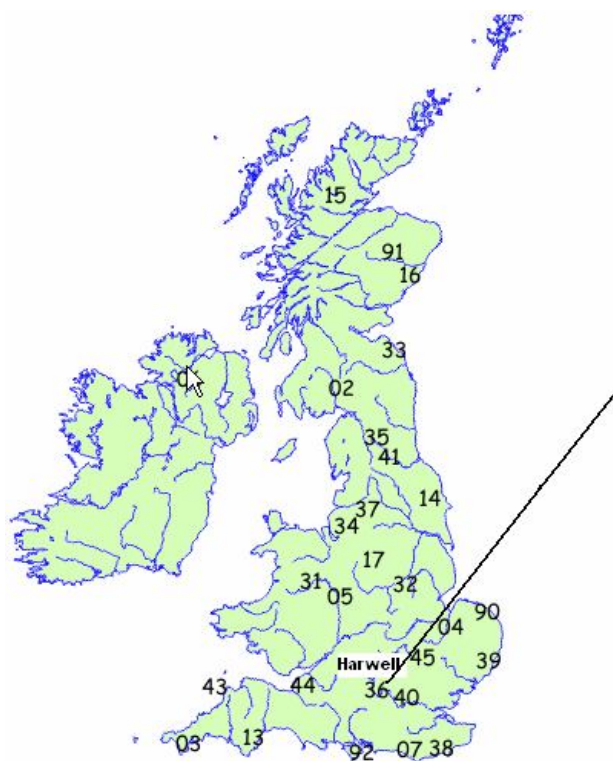
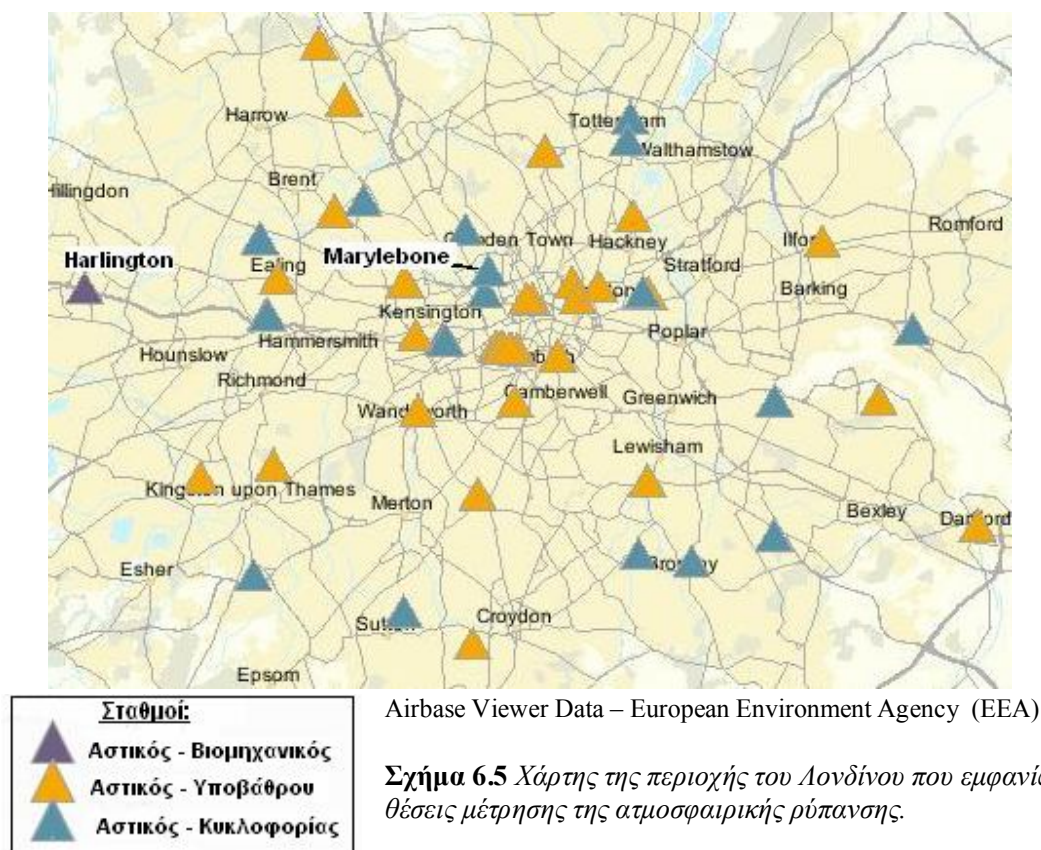
6.3.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Προκειμένου να εξετάσουμε τη χρονική διακύμανση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, έχουμε κάνει αναλυτική επεξεργασία των μετρούμενων συγκεντρώσεων όλων των αστικών σταθμών μέτρησης ρύπων του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα του Λονδίνου (Σχήμα 6.5).

Συγκεκριμένα:

- Για να δείξουμε τη διαχρονική μεταβολή των τιμών συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων για τα έτη 1999 έως 2007¹, υπολογίσαμε το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών για κάθε ρύπο από το σύνολο των αστικών – κυκλοφορίας σταθμών, καθώς και από το σύνολο των αστικών – υποβάθρου. Για την κατηγορία των αστικών - βιομηχανικών επεξεργαστήκαμε τις τιμές από ένα σταθμό μόνο, τον London Harlington, η θέση του οποίου φαίνεται στο Σχήμα . Τέλος, για την κατηγορία των αστικών - υποβάθρου, χρησιμοποιήσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές του σταθμού Harwell που συμμετέχει στο Πρόγραμμα Διασυννοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης (EMEP), τη θέση του οποίου διακρίνουμε στο Σχήμα 6.6.
- Για να δείξουμε τη μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων για τα έτη 2006 έως 2008, κάναμε επεξεργασία των μέσων μηνιαίων τιμών του αστικού σταθμού κυκλοφορίας London Marylebone Road.
- Για να δείξουμε την ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων, στη διάρκεια του έτους 2008, για όλους τους μετρούμενους ρύπους, χρησιμοποιήσαμε τις μέσες ημερήσιες τιμές του αστικού σταθμού κυκλοφορίας London Marylebone Road.
- Τέλος, για να δείξουμε την ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων στη διάρκεια του έτους 2008, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ωριαίες τιμές του αστικού σταθμού κυκλοφορίας London Marylebone Road.

¹ Τα δεδομένα για το 2008 δεν είχαν προστεθεί ακόμα στη βάση δεδομένων Airbase του ΕΟΠ (European Environment Agency – EEA) τη στιγμή που έγινε η επεξεργασία των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων για τον κάθε ρύπο.



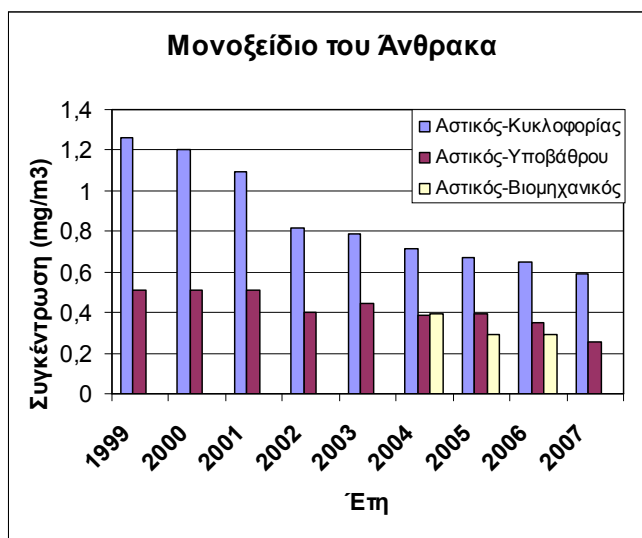
Εικόνα 6.3 Σταθμός Υποβάθρου Harwell (GB36) (EMEP).

Σχήμα 6.6. Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης EMEP Ηνωμένου Βασιλείου (CCC).

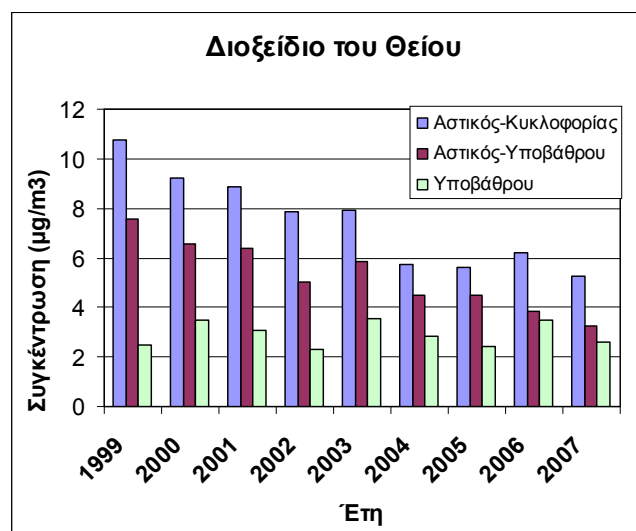
6.3.3 Χρονικές διακυμάνσεις των τιμών συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων

6.3.3.1 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

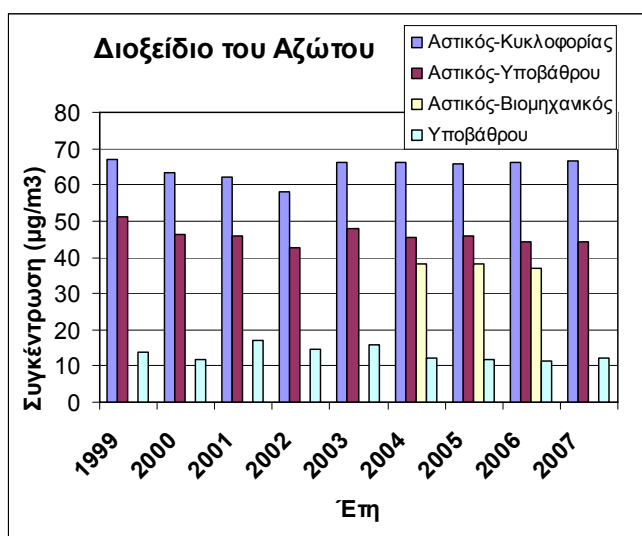
Στο Παράρτημα Ι δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά είδος σταθμού μέτρησης, ενώ οι γραφικές παραστάσεις ανά είδος σταθμού δίνονται στα Σχήματα.



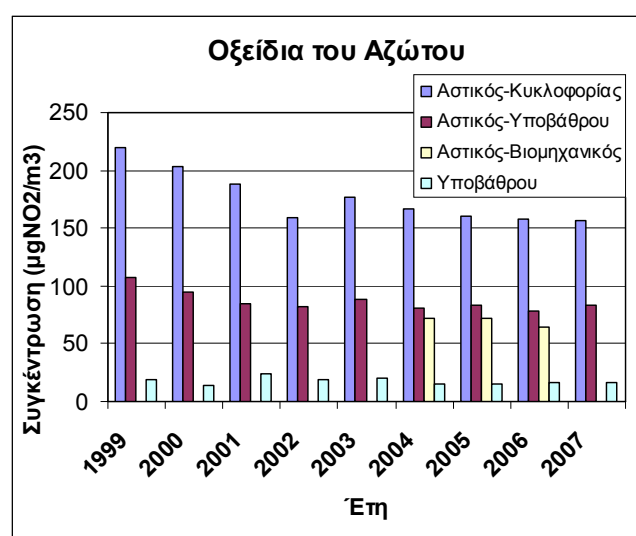
Σχήμα 6.7 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m^3 .



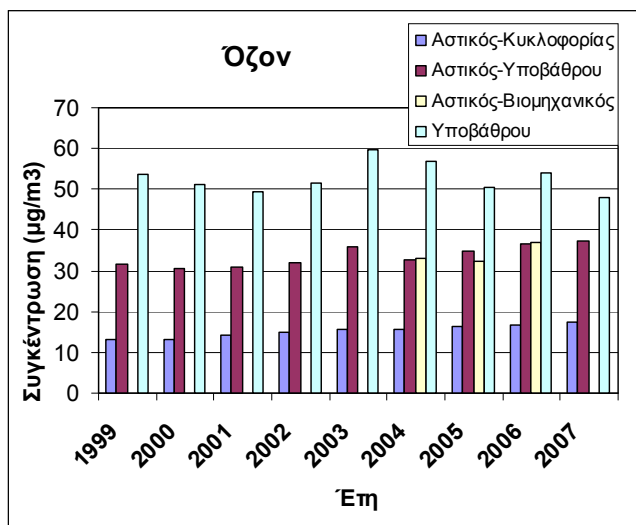
Σχήμα 6.8 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



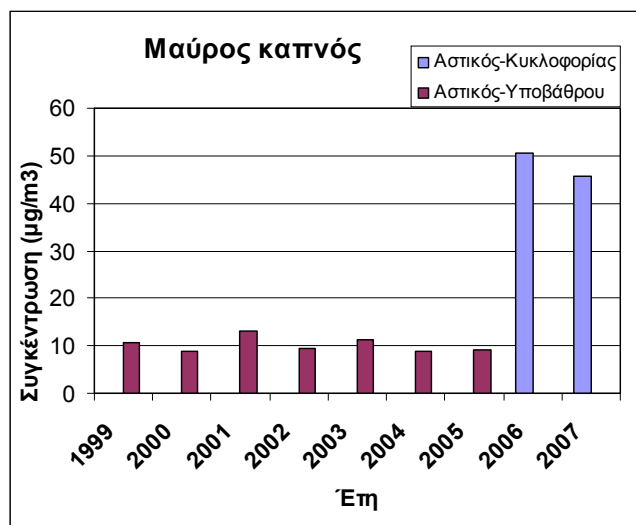
Σχήμα 6.9 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



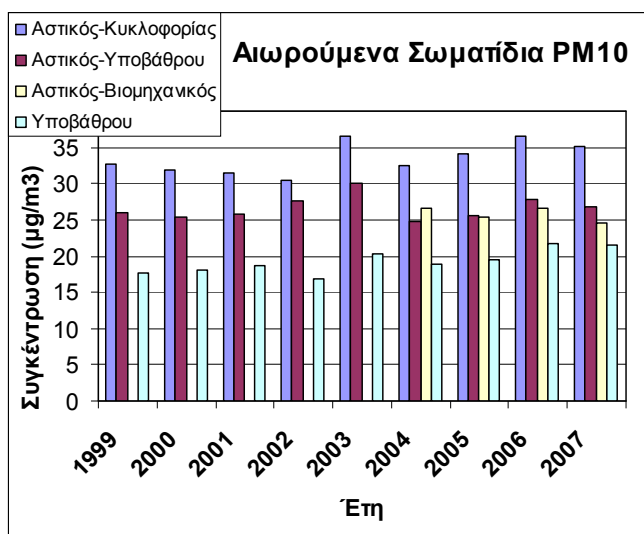
Σχήμα 6.10 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_x σε $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.



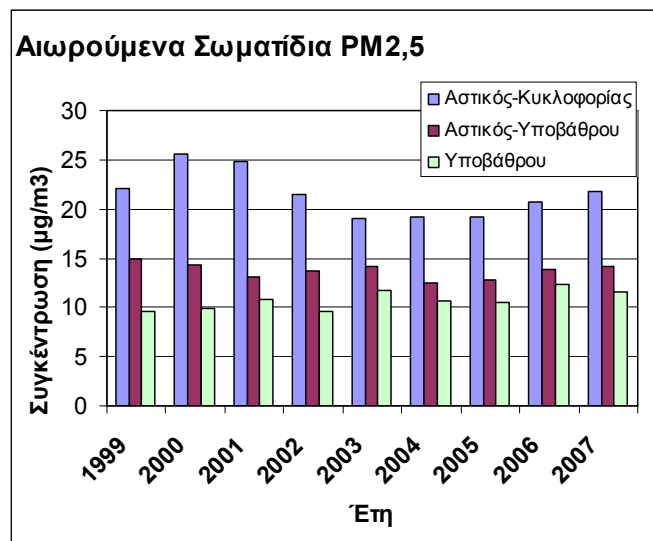
Σχήμα 6.11 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O₃ σε µg/m³.



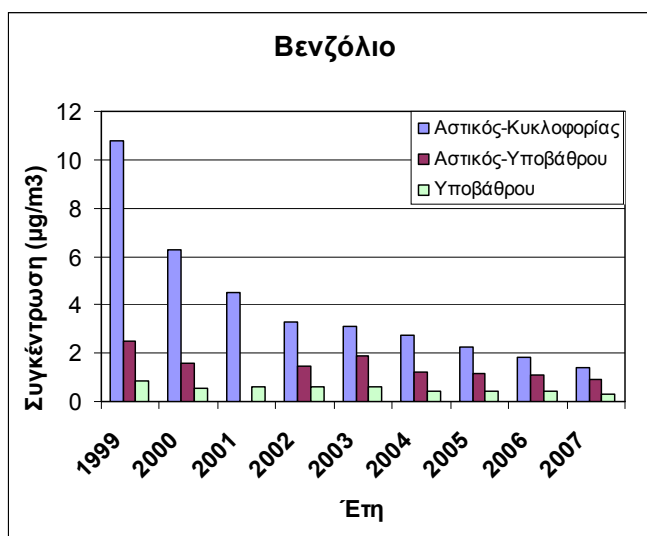
Σχήμα 6.12 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών καπνού σε µg/m³.



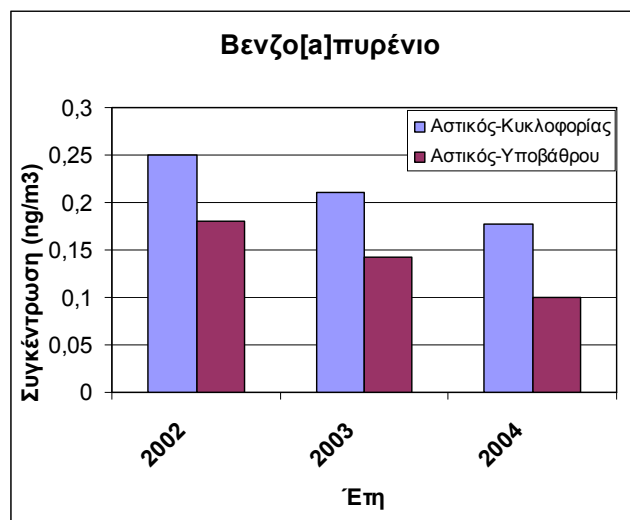
Σχήμα 6.13 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM₁₀ σε µg/m³.



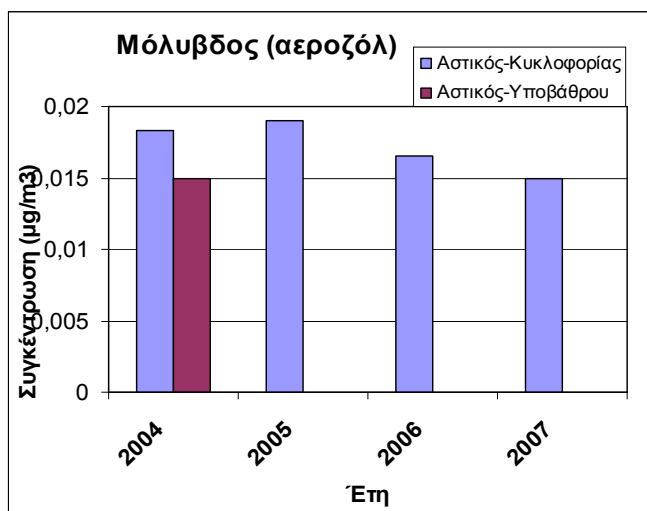
Σχήμα 6.14 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM_{2,5} σε µg/m³.



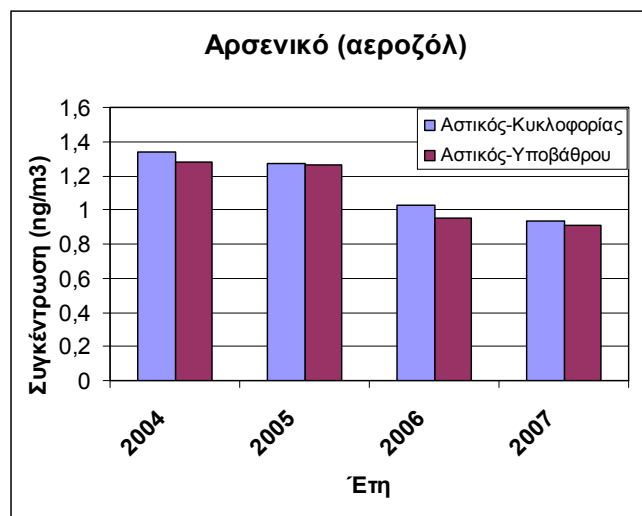
Σχήμα 6.15 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών βενζολίου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



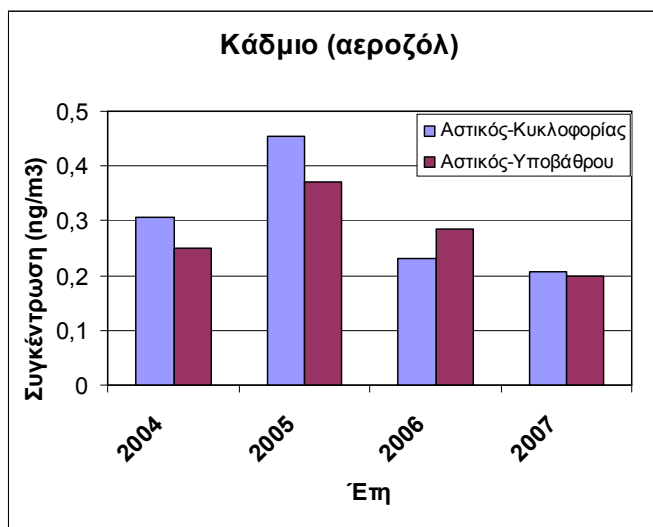
Σχήμα 6.16 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών βενζο(α)πυρένιου σε ng/m^3 .



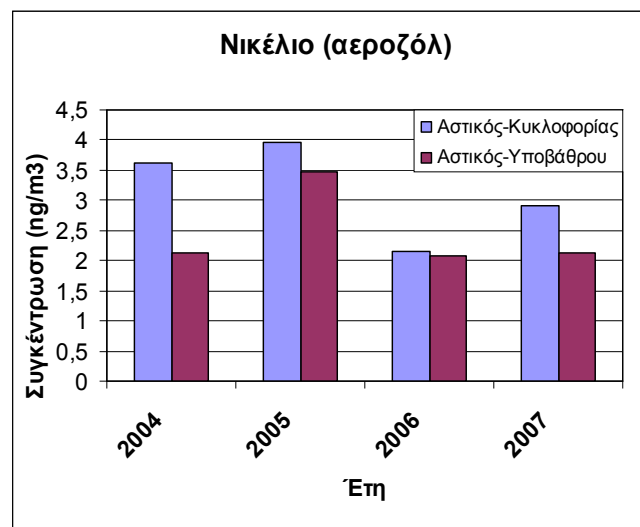
Σχήμα 6.17 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών μολύβδου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



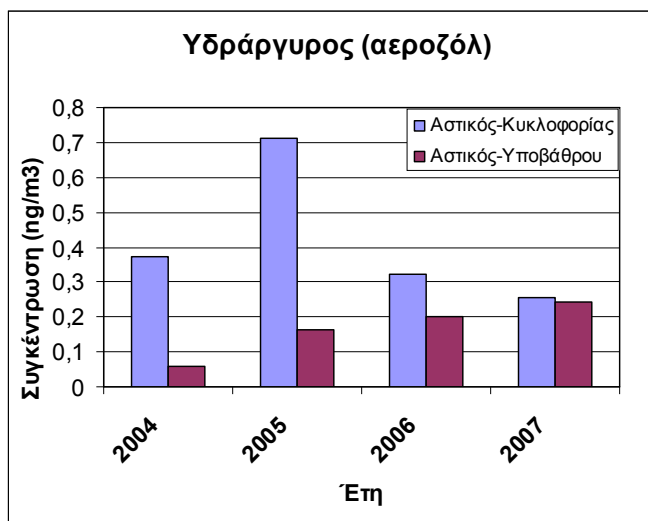
Σχήμα 6.18 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών αρσενικού σε ng/m^3 .



Σχήμα 6.19 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών καδμίου σε ng/m^3 .



Σχήμα 6.20 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών νικελίου σε ng/m^3 .



Σχήμα 6.21 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών υδραργύρου σε ng/m^3 .

Για τον κάθε ρύπο παρατηρούμε τα εξής:

- Για το μονοξείδιο του άνθρακα (Σχήμα 6.7), παρουσιάζεται γενικά τάση μείωσης ή σταθεροποίησης των τιμών. Συγκριτικά οι αστικοί σταθμοί κυκλοφορίας παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές σε σχέση με τους αστικούς – υποβάθρου αλλά και τους βιομηχανικούς.
- Για το διοξείδιο του θείου (Σχήμα 6.8), υπάρχει τάση μείωσης των τιμών στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας και υποβάθρου. Αυτό όμως δε συμβαίνει στους σταθμούς υποβάθρου, που παρουσιάζουν πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις και παρατηρούνται αυξομειώσεις στις τιμές.
- Για το διοξείδιο του αζώτου (Σχήμα 6.9), παρατηρείται γενικώς μία τάση σταθεροποίησης τα τελευταία χρόνια. Οι αστικοί σταθμοί κυκλοφορίας παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τους αστικούς – υποβάθρου και υποβάθρου.
- Για τα οξείδια του αζώτου (Σχήμα 6.10), υπάρχει τάση σταθεροποίησης ή μικρής μείωσης των τιμών. Τις μεγαλύτερες τιμές και εδώ εμφανίζουν οι αστικοί σταθμοί κυκλοφορίας, ακολουθούν οι αστικοί – υποβάθρου και αστικοί – βιομηχανικοί που οι τιμές τους είναι μικρότερες κατά 50% περίπου και τέλος, είναι αξιοσημείωτα μεγάλη η διαφορά με τους σταθμούς υποβάθρου που παρουσιάζουν πολύ μικρές συγκεντρώσεις.
- Για το όζον (Σχήμα 6.11), παρατηρούμε γενικά μικρές αυξομειώσεις στις τιμές, με τις μέγιστες να σημειώνονται τα έτη 2003 και 2006. Σε αντίθεση με όλους τους άλλους ρύπους, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στους σταθμούς υποβάθρου και έπειτα ακολουθούν οι αστικοί – υποβάθρου και αστικοί – βιομηχανικοί, ενώ οι μικρότερες τιμές εμφανίζονται στους αστικούς – κυκλοφορίας.
- Για το μαύρο καπνό (Σχήμα 6.12), παρατηρείται γενικά σταθερότητα στις τιμές ρύπανσης από το ρύπο αυτό. Παρόλο που η χρονική διάρκεια των μετρήσεων για τους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας είναι μόνο 2 έτη, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι οι συγκεντρώσεις είναι πολύ υψηλότερες σε σχέση με τους αστικούς – υποβάθρου.

- Για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} (Σχήμα 6.13), παρατηρούμε από το 2003 και μετά λίγο υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Όπως είναι αναμενόμενο, οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας, χαμηλότερες στους αστικούς – υποβάθρου που κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με τους αστικούς – βιομηχανικούς, ενώ οι πιο μικρές τιμές εμφανίζονται στους σταθμούς υποβάθρου.
- Για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$ (Σχήμα 6.14), υπάρχει μία μικρή τάση αύξησης των τιμών τα τελευταία χρόνια. Συγκριτικά, έχουμε και εδώ υψηλότερες τιμές στους αστικούς σταθμούς – κυκλοφορίας και χαμηλότερες στους σταθμούς υποβάθρου.
- Για το βενζόλιο (Σχήμα 6.15), παρουσιάζεται μία σημαντική μείωση στις τιμές. Οι συγκεντρώσεις των αστικών σταθμών κυκλοφορίας, παρότι είναι οι υψηλότερες, τείνουν να πλησιάσουν αυτές των αστικών – υποβάθρου, παρά τη μεγάλη αρχική τους απόκλιση. Οι μικρότερες τιμές εμφανίζονται στους σταθμούς – υποβάθρου.
- Για το βενζο(α)πυρένιο (Σχήμα 6.16), παρόλο που η χρονική διάρκεια των μετρήσεων είναι μικρή, γενικά παρατηρείται μείωση στις τιμές ρύπανσης από το ρύπο αυτό και στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας αλλά και στους αστικούς – υποβάθρου, που εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές.
- Για το μόλυβδο (Σχήμα 6.17), οι τιμές ακολουθούν μειωτική τάση τα τελευταία χρόνια. Για τους αστικούς σταθμούς υποβάθρου, αν και έχουμε μετρήσεις για ένα μόνο έτος, είναι εμφανές ότι παρουσιάζουν μικρότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τους αστικούς – κυκλοφορίας.
- Για το αρσενικό (Σχήμα 6.18), υπάρχει τάση μείωσης των τιμών. Αξιοσημείωτο είναι ότι είναι ελάχιστη η διαφορά στις τιμές ανάμεσα στους αστικούς – κυκλοφορίας και αστικούς – υποβάθρου.
- Για το κάδμιο (Σχήμα 6.19), μετά το 2005 οι τιμές παρουσιάζουν πτώση. Παρατηρούμε επίσης ότι το 2006 οι συγκεντρώσεις των αστικών σταθμών υποβάθρου ξεπέρασαν αυτές των αστικών – κυκλοφορίας.

- Για το νικέλιο (Σχήμα 6.20), παρατηρείται μία αυξομείωση στη διακύμανση των τιμών που καταλήγει σε τάση αύξησης. Γενικά οι τιμές είναι μεγαλύτερες στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας.
- Για τον υδράργυρο (Σχήμα 6.21), υπάρχει μείωση στις τιμές από το 2005 και μετά, με τάση ελαχιστοποίησης της απόκλισης μεταξύ των υψηλών τιμών συγκέντρωσης, των αστικών σταθμών κυκλοφορίας, και των συγκριτικά χαμηλότερων, των αστικών σταθμών υποβάθρου.

Συνοψίζοντας:

Η διαχρονική εξέλιξη των τιμών δείχνει ότι, παρ' όλο που υπάρχουν στις διάφορες θέσεις, αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης από χρόνο σε χρόνο, υπάρχει τάση πτωτική ή τάση σταθεροποίησης, ανάλογα με τον ρύπο. Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί, κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση των ιδιωτικών αυτοκινήτων και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές και στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές.

Ειδικά για το διοξείδιο του θείου η τάση μείωσης των τιμών συνδέεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη.

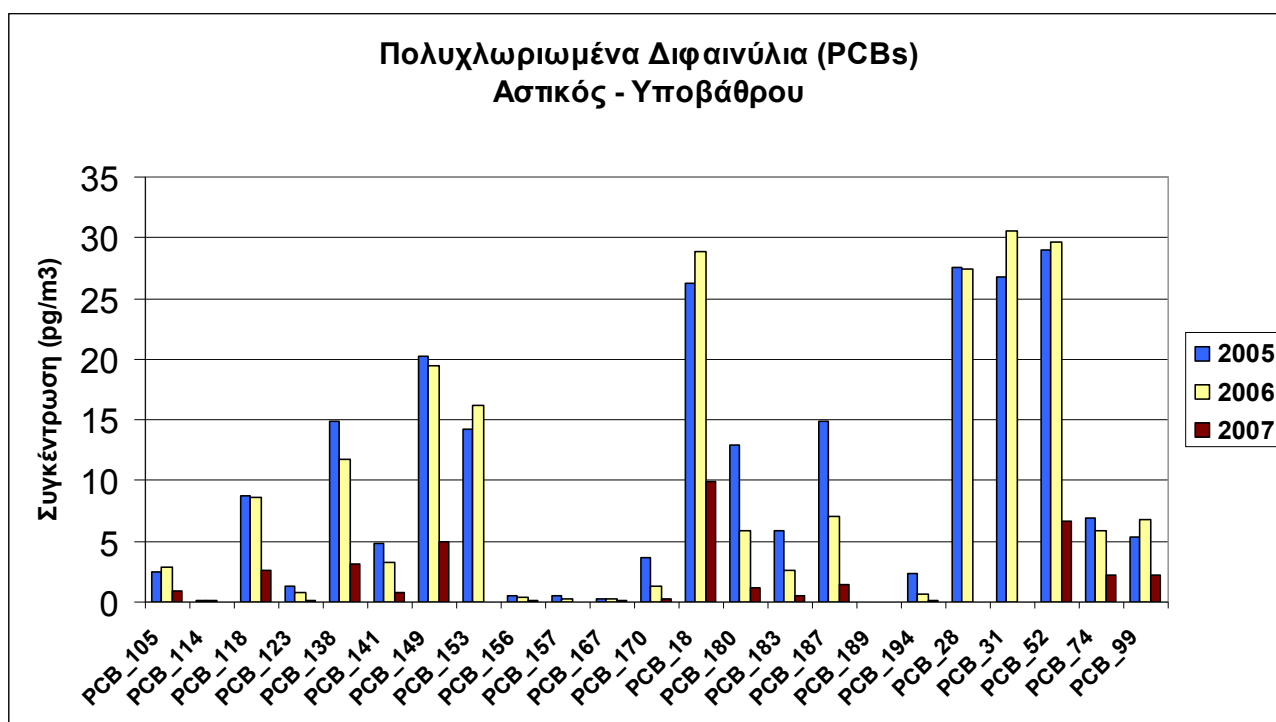
Επίσης, είναι αξιοσημείωτες οι υψηλές συγκεντρώσεις για το όζον που σημειώθηκαν το 2003 και το 2006. Οι τιμές αυτές οφείλονται στο κύμα καύσωνα που έπληξε το Ηνωμένο Βασίλειο και τα δύο έτη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, αποτέλεσμα του οποίου ήταν η αυξημένη φωτοχημική δραστηριότητα που ενίσχυσε την παραγωγή του όζοντος. Η πτώση που ακολούθησε το 2007 και οι σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις που σημειώθηκαν συνδέονται με τον δροσερό και βροχερό καιρό που παρατηρήθηκε τη θερινή περίοδο του έτους αυτού (ΑΕΑ, 2009).

Τέλος, για τα βαρέα μέταλλα και το βενζο(α)πυρένιο πρέπει να πούμε ότι, ο αριθμός των σταθμών που μετρούν τις συγκεντρώσεις τους είναι σχετικά μικρός. Μια ανάλυση με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις μέχρι το 2006 (Barrett et al. 2008) έδειξε ότι, με εξαίρεση λίγες τιμές που προέρχονταν από βιομηχανικούς σταθμούς, οι συγκεντρώσεις βρίσκονται κάτω από το όριο ή την τιμή-στόχο. Τα δεδομένα έως και το 2008 επιβεβαιώνουν σε μεγάλο βαθμό το

συμπέρασμα αυτό. Το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων αυτών σπάνια υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας, ίσως είναι και ο λόγος της ύπαρξης λίγων σχετικά σταθμών παρακολούθησης τους (AEA, 2009). Πρέπει επίσης να επισημάνουμε ότι ένα πρόβλημα για την ανάλυση των δεδομένων αυτών των ρύπων είναι ότι δε γνωρίζουμε εάν ο ρύπος έχει μετρηθεί σε αεροζόλ PM₁₀ ή αεροζόλ κάποιου άλλου (απροσδιόριστου) μεγέθους.

6.3.1.1 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων PCBs

Το Λονδίνο είναι η μόνη πόλη από αυτές που θα εξετάσουμε που διαθέτει σταθμό μέτρησης πολυχλωριωμένων διφαινυλίων και γενικά υπάρχουν λίγα δεδομένα στη βιβλιογραφία για τις συγκεντρώσεις τους. Ο τύπος του σταθμού (LONDON 2A [TOMPS]) είναι αστικού υποβάθρου και μετράει τη συγκέντρωση των πολυμερών (congeners) που βλέπουμε στο Σχήμα 6.22.



Σχήμα 6.22 Διαχρονική μεταβολή μέσω ετήσιων τιμών διαφόρων πολυμερών PCBs, σε pg/m³.

Από τις χρονοσειρές, που είναι για 3 μόνο έτη, παρατηρούμε ότι, οι τιμές για τα διάφορα ισομερή κυμαίνονται από 0,1–30 pg/m³, καθώς αν και έχει απαγορευθεί η χρήση των PCBs από τα τέλη της δεκαετίας του '70, αυτά εξακολουθούν να εκπέμπονται από χώρους που έχουν αποθηκευθεί ή αποτεφρωθεί υλικά που τα περιέχουν. Αν και η χρονοσειρά είναι πολύ

μικρή για να εξάγουμε συμπεράσματα, παρατηρούμε ότι οι τιμές είναι πολύ υψηλότερες τα έτη 2005 και 2006 σε σχέση με το 2007.

Για τα ισομερή 28 και 53 αξίζει να σημειώσουμε ότι είναι τα 2 πιο πτητικά μέλη PCBs και ιστορικά είναι αυτά που έχουν παραχθεί και σε μεγαλύτερη αφθονία (Breivik et al., 2002). Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις συγκεντρώσεις στο Σχήμα που είναι από τις υψηλότερες.

Πέρα από τους ρύπους που εξετάσαμε παραπάνω, στο Παράρτημα I παραθέτουμε στοιχεία και για όλους τους υπόλοιπους ρύπους που καταγράφει το δίκτυο σταθμών μέτρησης του Λονδίνου (Υδρογονάνθρακες-HCs, Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες-PAHs).

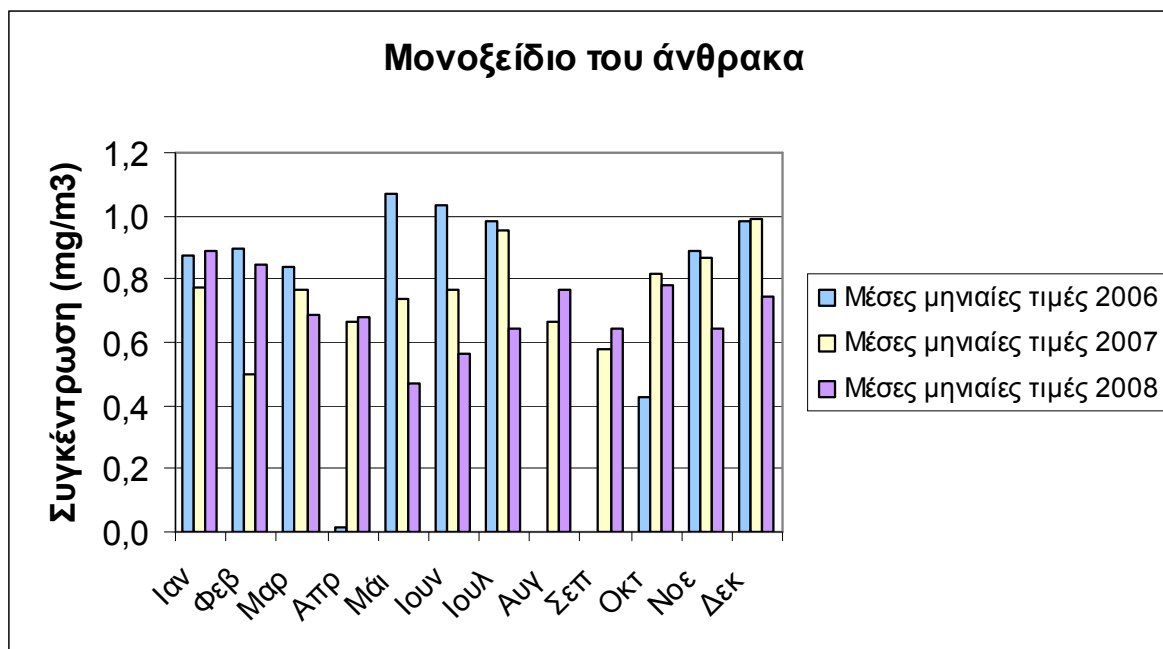
6.3.1.2 Υπερβάσεις ορίων για τις μέσες ετήσιες τιμές

Από τους ρύπους για τους οποίους έχει θεσμοθετηθεί όριο για τη μέση ετησία τιμή (έστω και έτος μεταγενέστερο από το έτος μέτρησης της συγκέντρωσης), υπερβάσεις παρατηρούνται για:

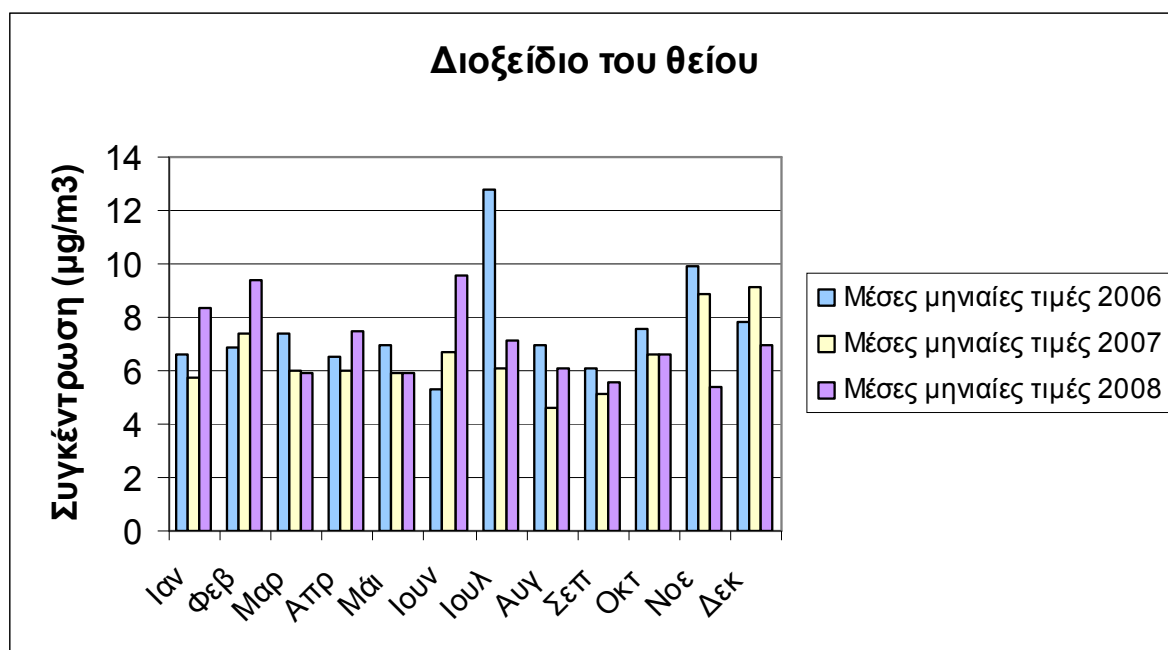
- Το διοξείδιο του αζώτου (Σχήμα 6.9), όπου οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των αστικών – κυκλοφορίας και αστικών – υποβάθρου για όλα τα έτη (1999-2007) υπερβαίνουν τα $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (έτος ισχύος οριακής τιμής: 2010).
- Τα αιωρούμενα σωματίδια $\text{PM}_{2.5}$ (Σχήμα 6.14), όπου η μέση ετήσια συγκέντρωση των αστικών σταθμών κυκλοφορίας για το έτος 2000 υπερβαίνει τα $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (τιμή-στόχος).
- Το βενζόλιο (Σχήμα 6.15), όπου οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των αστικών σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 1999-2000 υπερβαίνουν τα $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (έτος ισχύος οριακής τιμής: 2010).

6.3.1.3 Μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

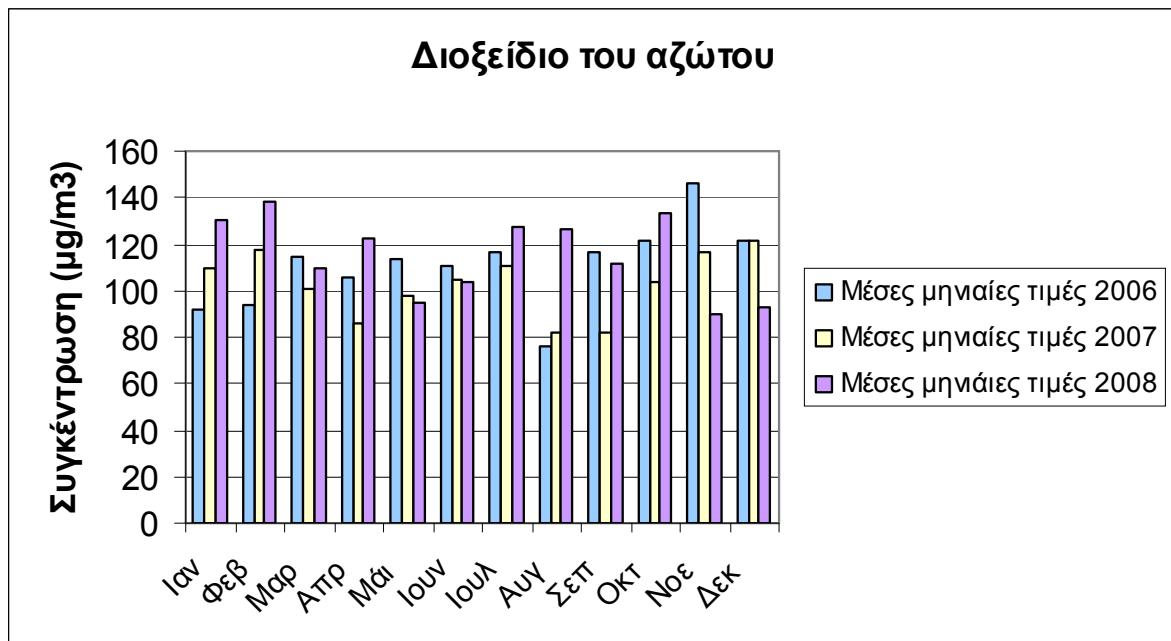
Στο Παράρτημα II, δίνονται οι διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων για όλους τους μετρούμενους ρύπους στον αστικό σταθμό κυκλοφορίας London Marylebone Road για τα έτη 2006 έως 2008, ενώ στα επόμενα Σχήματα εμφανίζεται η μηνιαία μεταβολή για τους ρύπους.



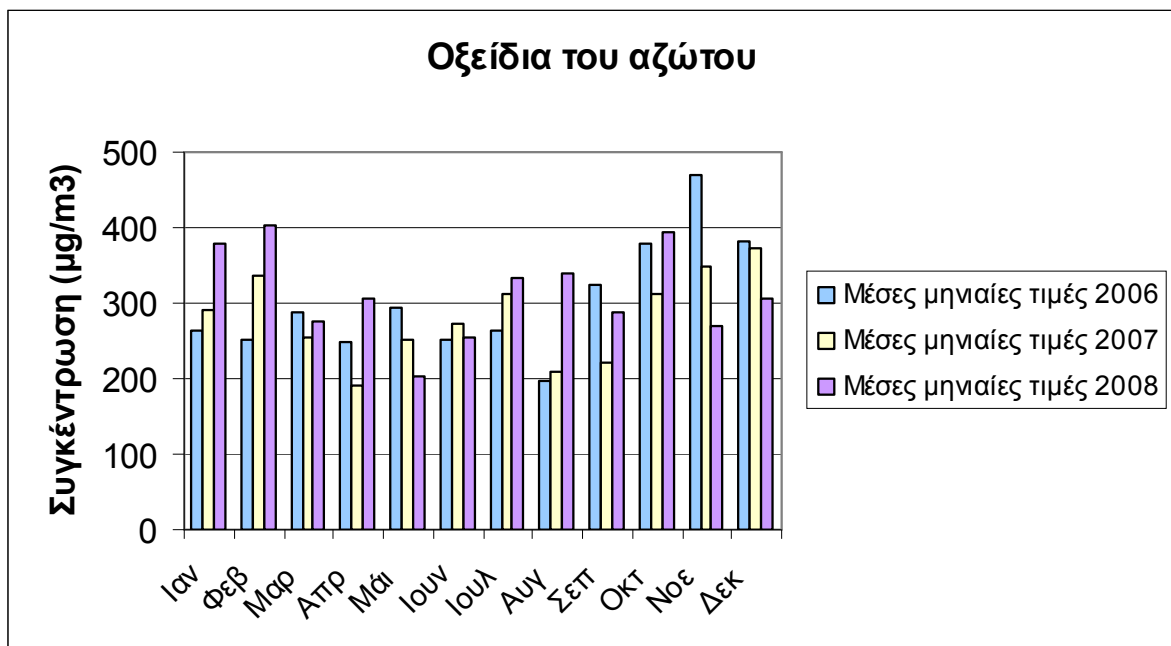
Σχήμα 6.23 Μέσες μηνιαίες τιμές CO στο σταθμό Marylebone Road.



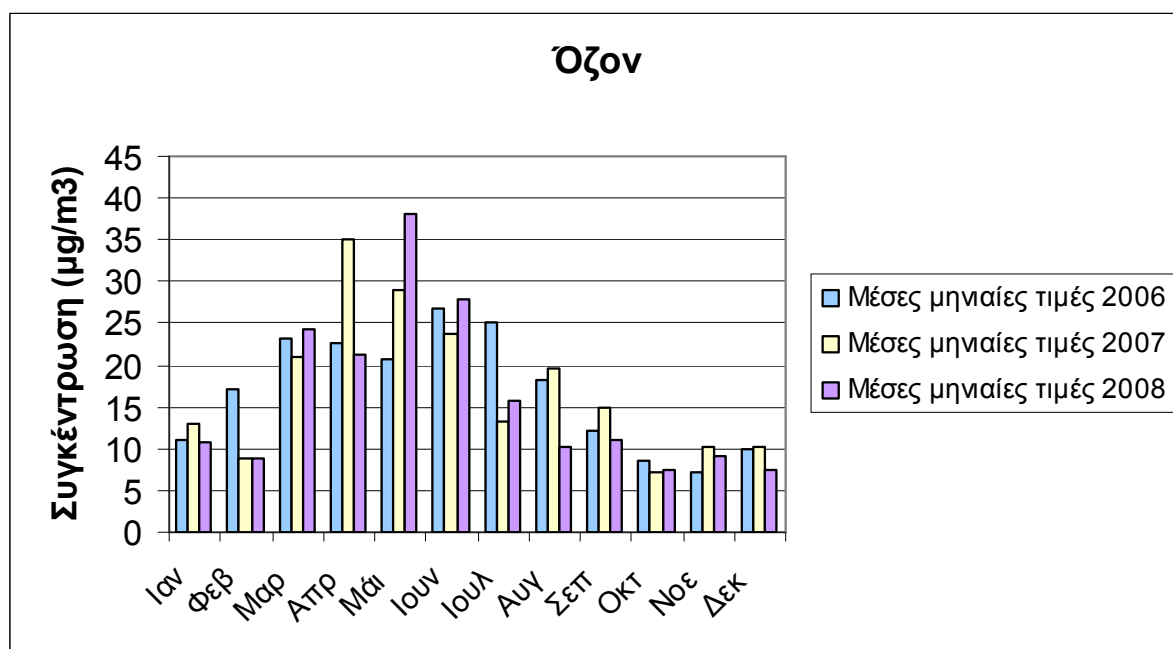
Σχήμα 6.24 Μέσες μηνιαίες τιμές SO₂ στο σταθμό Marylebone Road.



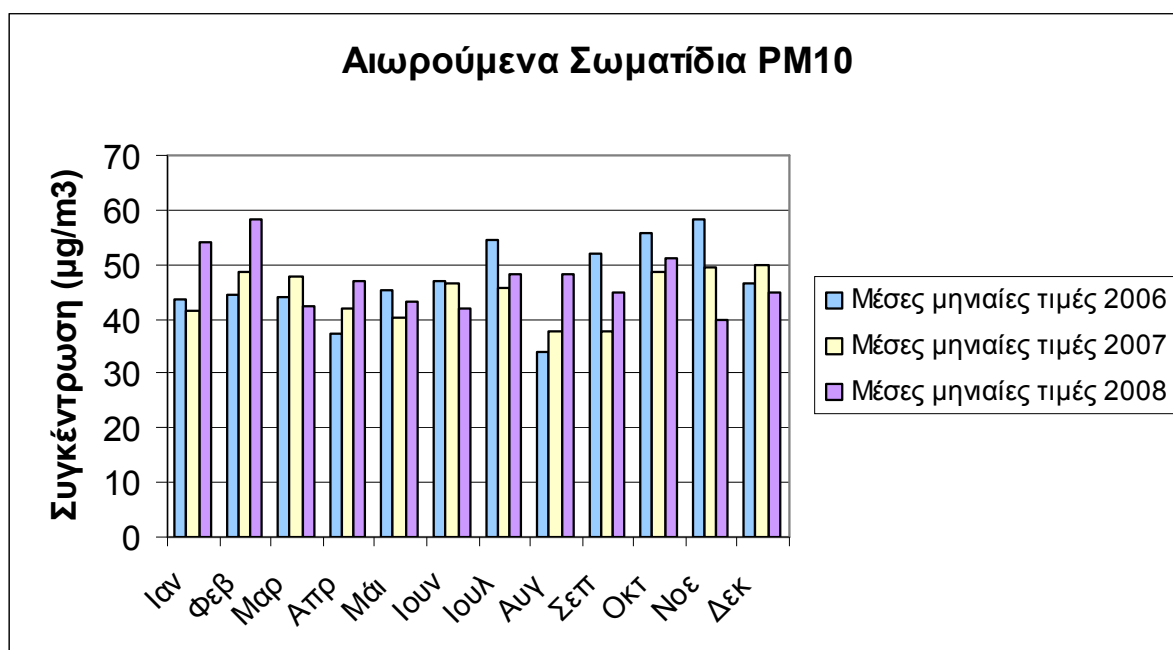
Σχήμα 6.25 Μέσες μηνιαίες τιμές NO_2 στο σταθμό Marylebone Road.



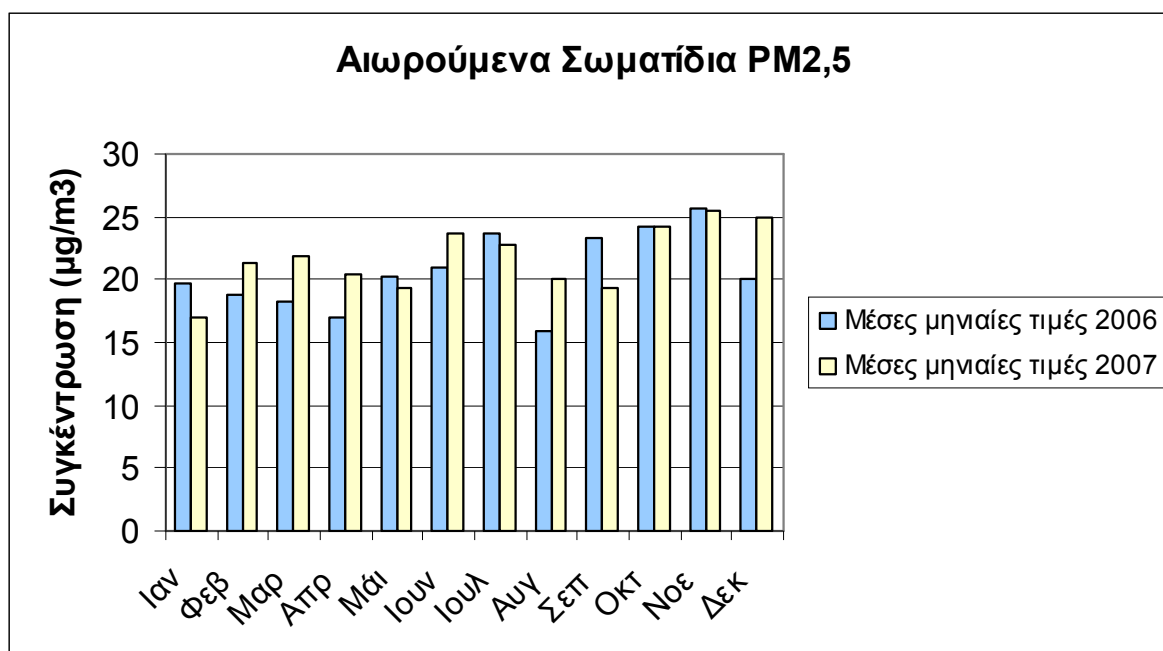
Σχήμα 6.26 Μέσες μηνιαίες τιμές NO_x στο σταθμό Marylebone Road.



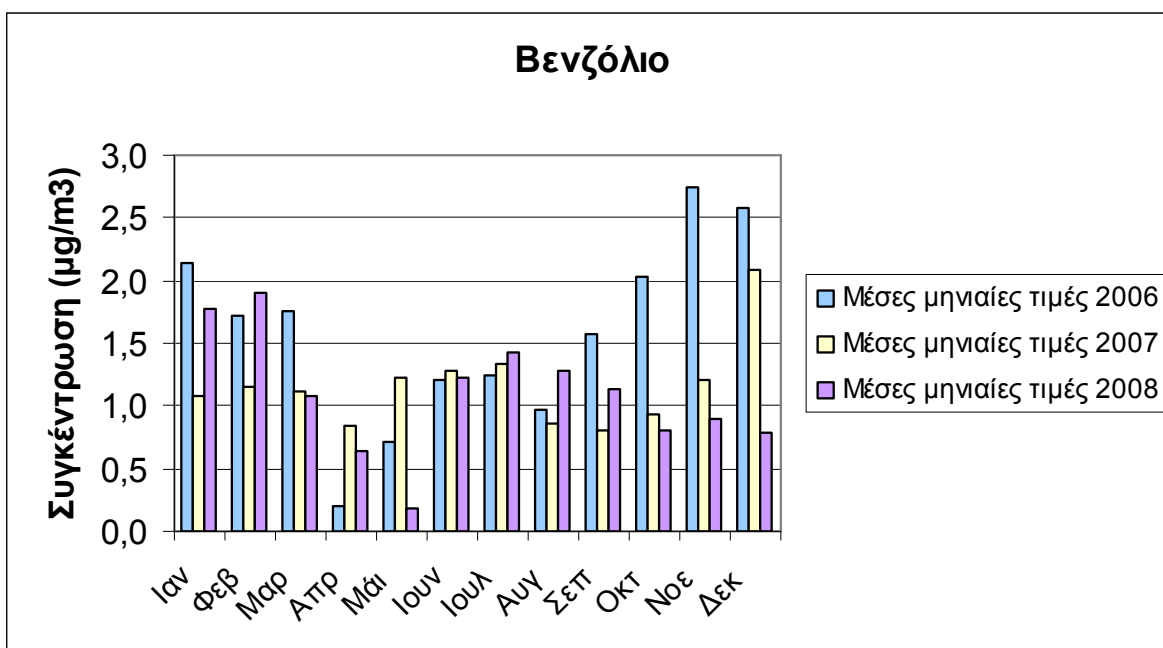
Σχήμα 6.27 Μέσες μηνιαίες τιμές O_3 στο σταθμό Marylebone Road.



Σχήμα 6.28 Μέσες μηνιαίες τιμές PM_{10} στο σταθμό Marylebone Road.



Σχήμα 6.29 Μέσες μηνιαίες τιμές PM_{2,5} στο σταθμό Marylebone Road.



Σχήμα 6.30 Μέσες μηνιαίες τιμές βενζολίου στο σταθμό Marylebone Road.

Το CO (Σχήμα 6.23) για το 2008 εμφάνισε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τους μήνες του χειμώνα, σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα έτη όπου οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάστηκαν το καλοκαίρι. Οι υψηλές τιμές οφείλονται κατά κύριο λόγο στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που παρατηρήθηκε πιθανόν κατά τους μήνες αυτούς, αφού το αυξημένο επίπεδο

CO στις αστικές περιοχές οφείλεται στις μεγάλες εκπομπές του CO από τα αυτοκίνητα. Για τους χειμερινούς μήνες ένας επιπλέον παράγοντας είναι οι χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή).

Για το SO₂ (Σχήμα 6.24), με εξαίρεση τις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις που σημειώθηκαν τον Ιούλιο του 2006 και τον Ιούνιο του 2008, γενικά μεγάλες τιμές έχουμε κατά τους χειμερινούς μήνες λόγω της λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.

Για το NO₂ παρατηρούμε από το Σχήμα 6.25 υψηλές τιμές τη θερινή περίοδο, αφού η άφθονη ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με τη μετατροπή του NO σε NO₂, ενώ τα NO_x (Σχήμα 6.26) είναι αυξημένα το χειμώνα λόγω της αυξημένης χρήσης των καυσίμων θέρμανσης (αυξημένες εκπομπές NO) .

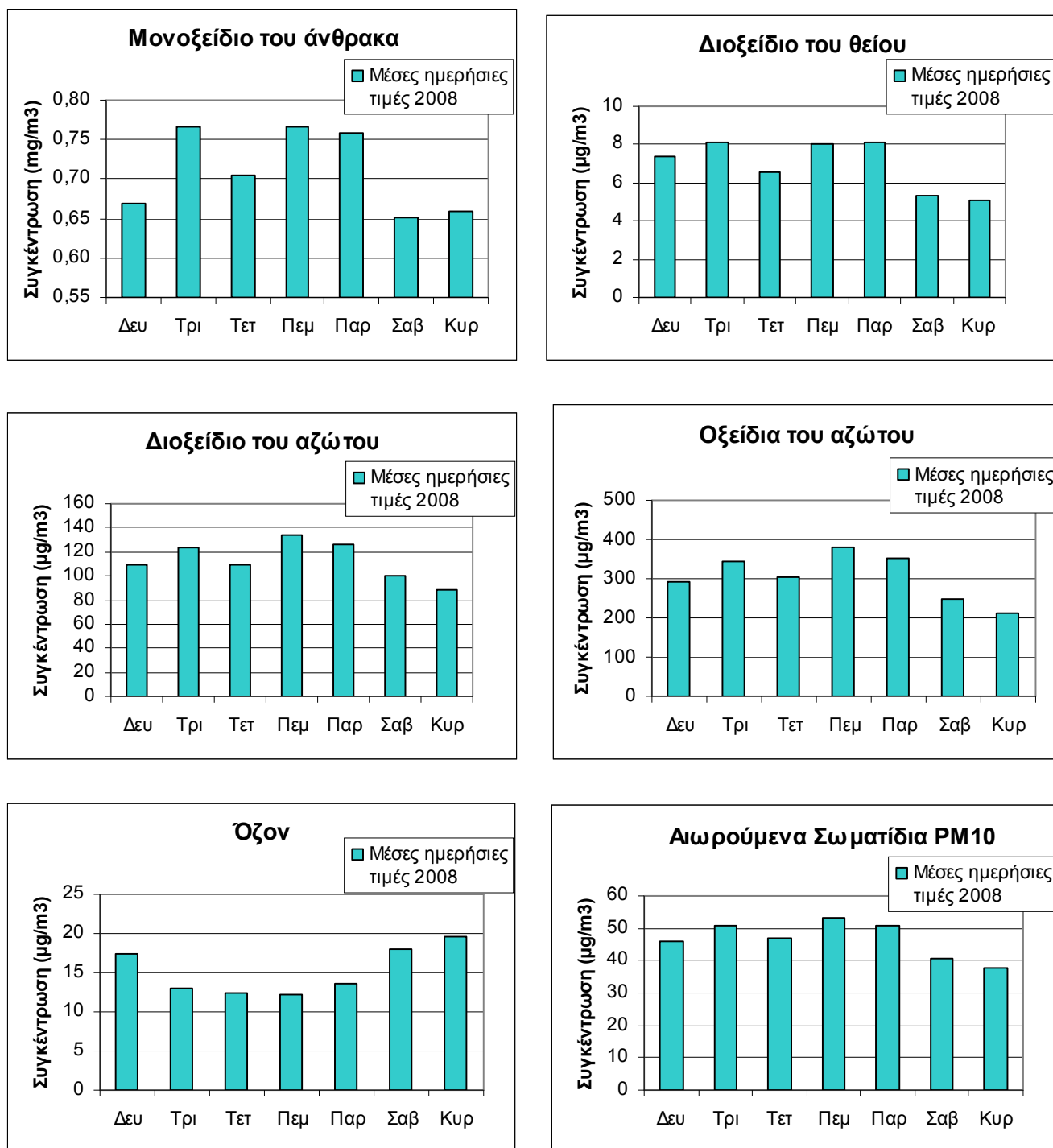
Η εποχιακή διακύμανση των μέσων μηνιαίων τιμών του O₃ (Σχήμα 6.27) είναι η αναμενόμενη, αφού είναι δευτερογενής ρύπος και για τη φωτοχημική παραγωγή του καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία, με μέγιστες συγκεντρώσεις την άνοιξη και το καλοκαίρι, λόγω έντονης φωτοχημικής δραστηριότητας, και ελάχιστες τη το χειμώνα.

Οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5} (Σχήματα 6.28, 6.29) δεν παρουσιάζουν κάποια σαφή μηνιαία μεταβολή λόγω των διαφόρων πηγών τους.

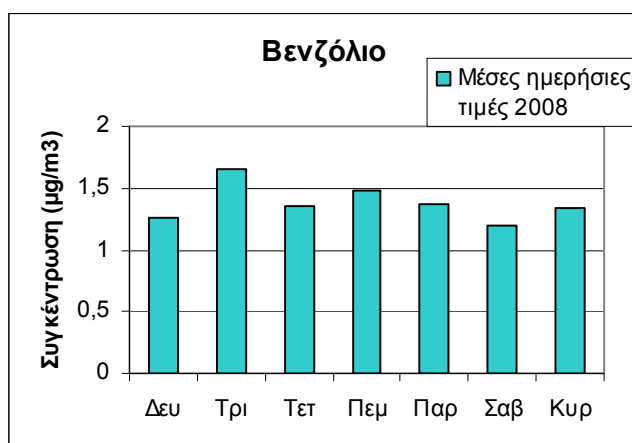
Το βενζόλιο (Σχήμα 6.30), αν και πτητικός υδρογονάνθρακας, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές το χειμώνα, για λόγους που αναφέρθηκαν και για τα CO, SO₂, NO_x, ενώ το καλοκαίρι παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές, καθώς μέρος του βενζολίου καταστρέφεται, λόγω συμμετοχής του στις φωτοχημικές αντιδράσεις.

6.3.1.4 Ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

Στα επόμενα Σχήματα, δίνεται η ημερήσια μεταβολή των ρύπων στη διάρκεια του έτους 2008, για όλους τους μετρούμενους ρύπους στον αστικό σταθμό κυκλοφορίας London Marylebone Road (Παράρτημα II).



Σχήμα 6.31 Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων CO, SO₂, NO₂, NO_x, O₃ και PM₁₀ στο σταθμό Marylebone Road.



Σχήμα 6.32 Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων βενζολίου στο σταθμό Marylebone Road.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα γραφήματα (Σχήματα 6.31, 6.32) για όλους τους ρύπους, εκτός από το O_3 , τις καθημερινές υπάρχει μία αισθητή αύξηση των συγκεντρώσεων σε σχέση με τα Σαββατοκύριακα, γεγονός που οφείλεται μεν στην παύση λειτουργίας των περισσότερων βιομηχανικών μονάδων τις ημέρες αυτές, αφετέρου στην ελάττωση του κυκλοφοριακού φόρτου.

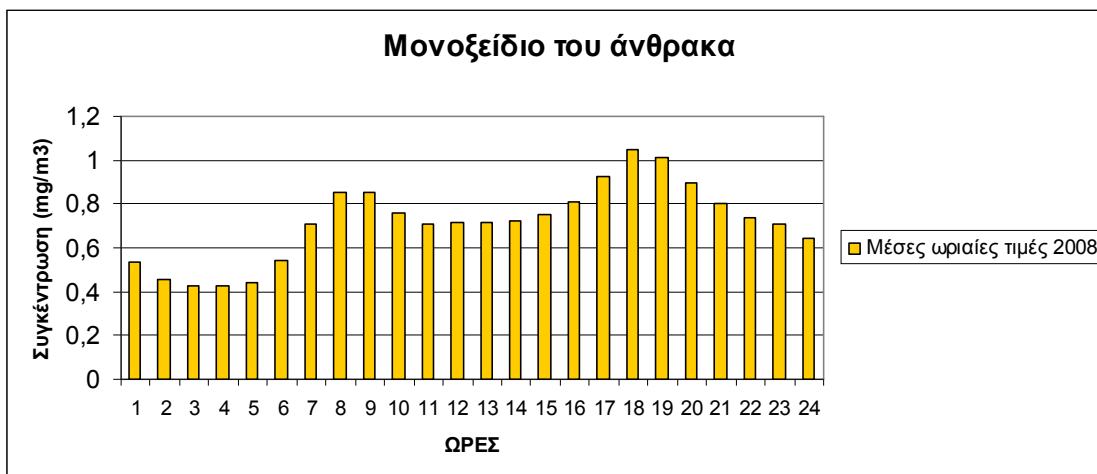
Για τα αστικά επίπεδα του όζοντος παρατηρείται ότι είναι ακόμη υψηλότερα κατά τα Σαββατοκύριακα που η κίνηση είναι χαμηλή. Γενικά σε αστικές περιοχές με έντονη κυκλοφορία, κυρίαρχη αντίδραση είναι η μείωση του όζοντος από το μονοξειδίο του αζώτου στα καυσαέρια της εξάτμισης των αυτοκινήτων για το σχηματισμό οξυγόνου και διοξειδίου του αζώτου (Fenger, 1999). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όταν η κυκλοφορία είναι μειωμένη, να καταστρέφεται λιγότερο όζον και επομένως οι συγκεντρώσεις του να είναι υψηλότερες.



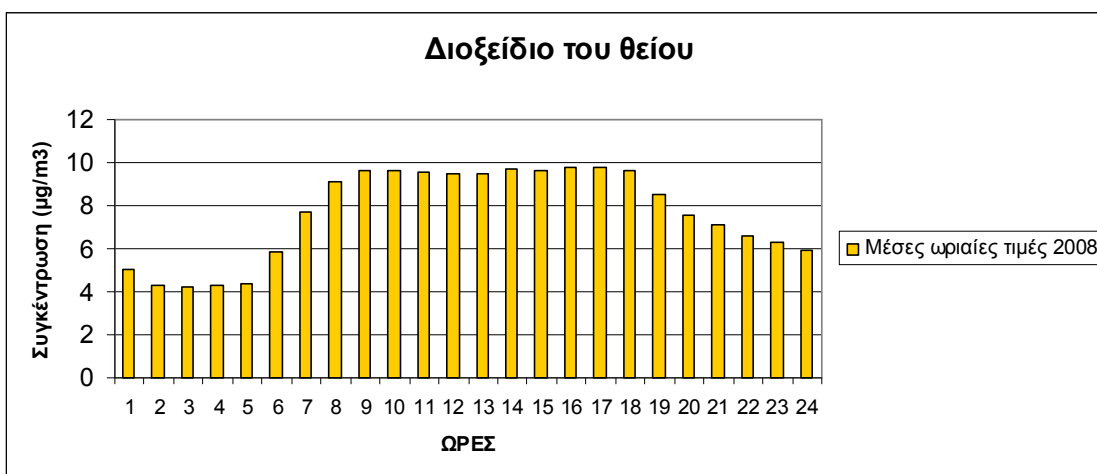
Εικόνα 6.4 Άποψη της πόλης του Λονδίνου κατά τη διάρκεια επεισοδίου αιθαλομίχλης, καλοκαίρι 1998 (Photograph: Oli Scarff/Getty Images).

6.3.1.5 Ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

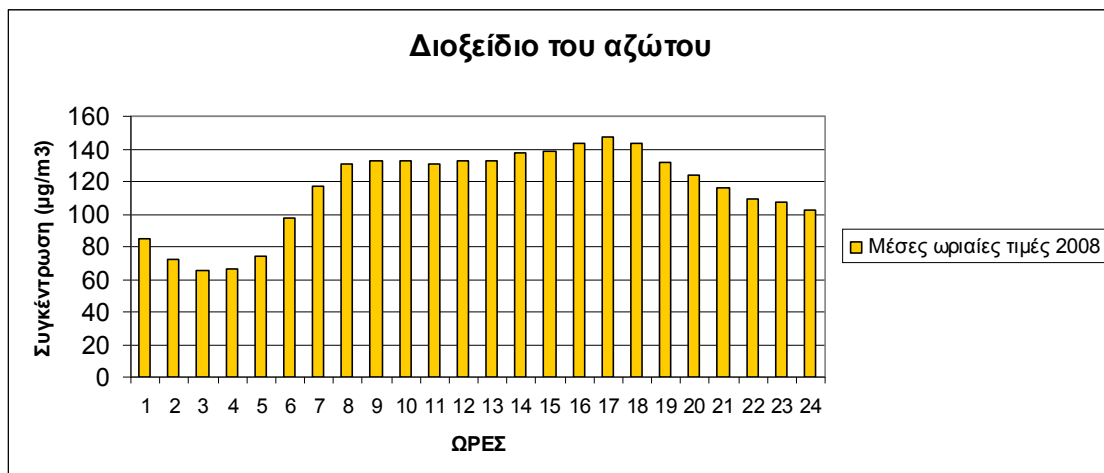
Στα επόμενα Σχήματα, δίνεται η ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων όλων των ρύπων στη διάρκεια του έτους 2008, στον αστικό σταθμό κυκλοφορίας Marylebone Road (Παράρτημα II).



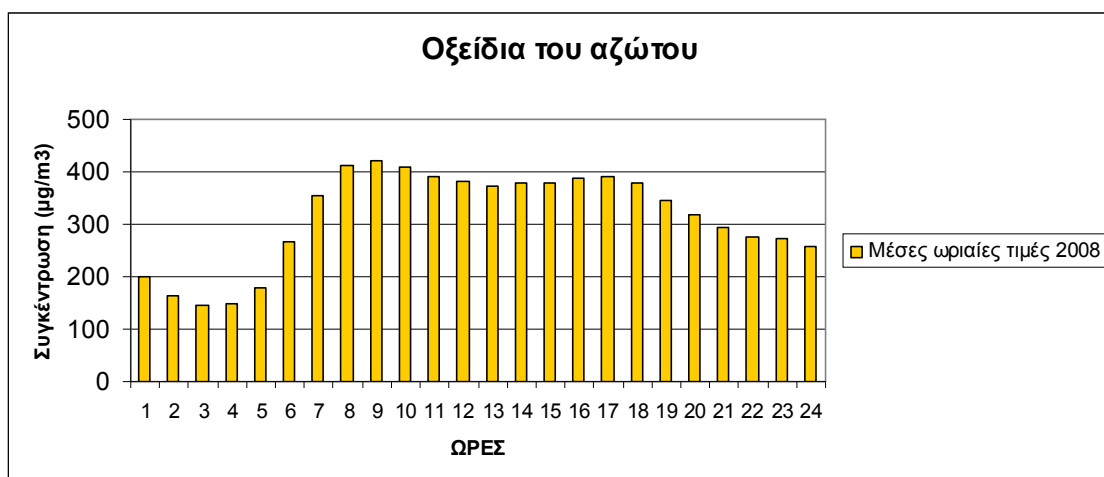
Σχήμα 6.33 Ωριαία μεταβολή CO στο σταθμό Marylebone Road.



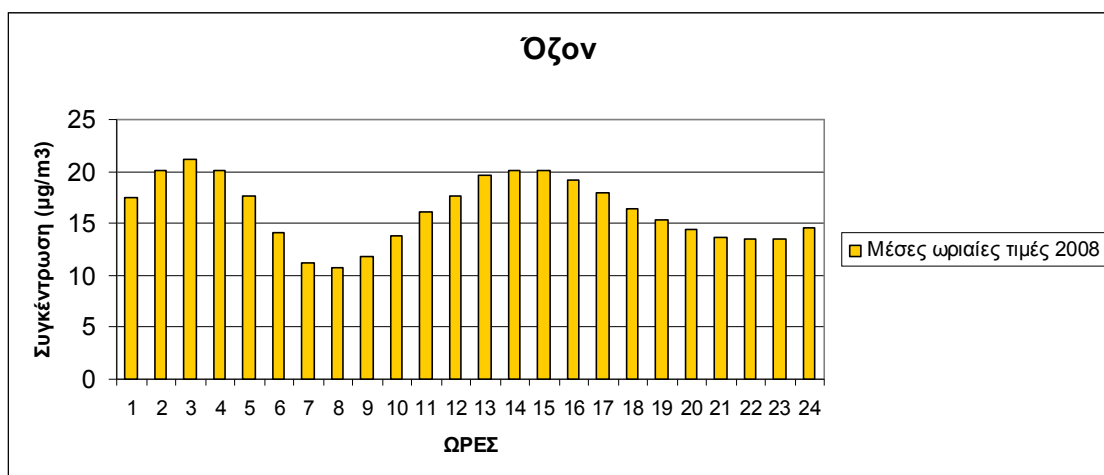
Σχήμα 6.34 Ωριαία μεταβολή SO₂ στο σταθμό Marylebone Road.



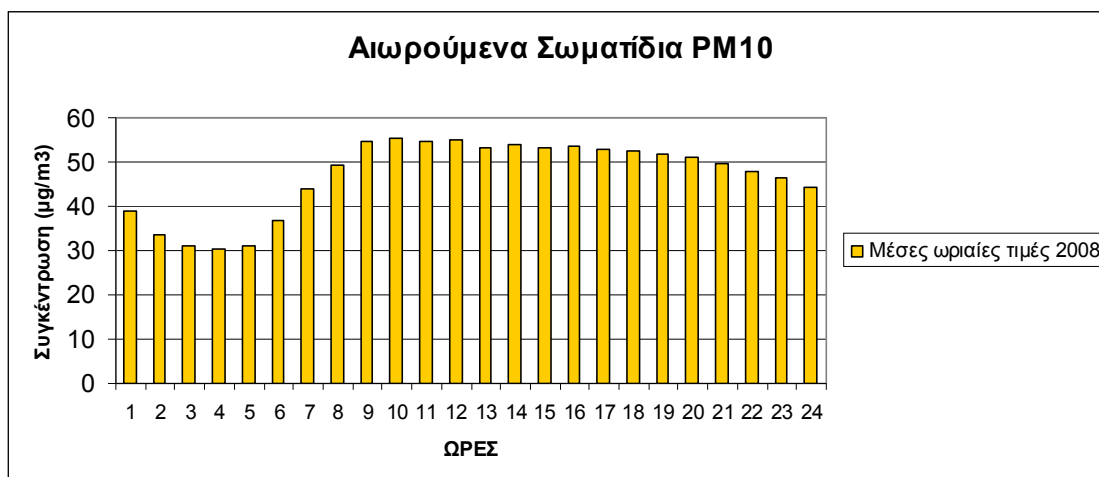
Σχήμα 6.35 Ωριαία μεταβολή NO_2 στο σταθμό Marylebone Road.



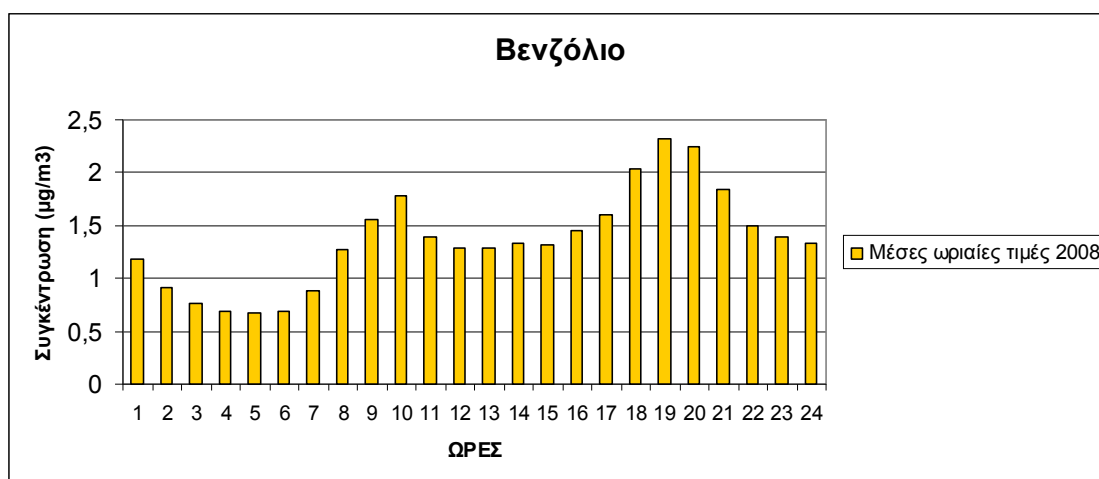
Σχήμα 6.36 Ωριαία μεταβολή NO_x στο σταθμό Marylebone Road.



Σχήμα 6.37 Ωριαία μεταβολή O_3 στο σταθμό Marylebone Road.



Σχήμα 6.38 Ωριαία μεταβολή PM₁₀ στο σταθμό Marylebone Road.



Σχήμα 6.39 Ωριαία μεταβολή βενζολίου στο σταθμό Marylebone Road.

Όπως φαίνεται από τα γραφήματα (Σχήματα 6.33, 6.34, 6.39), μεγαλύτερες τιμές για τους πρωτογενείς ρύπους CO, SO₂ και βενζόλιο παρουσιάζονται γενικά τις πρωινές ώρες (08:00-10:00) και τις απογευματινές – βραδινές ώρες (17:00–20:00). Αυτό οφείλεται στο ότι αφ’ ενός μεν, τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες, αφ’ετέρου δε, συμπίπτουν χρονικά οι ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης και οι αιχμές κυκλοφορίας.

Επίσης από τα Σχήματα 6.36, 6.37 και 6.39 γίνεται φανερή η δυναμική σχέση μεταξύ των πρωτογενών ρύπων NO_x, HCs και του O₃, όπως αυτά προκύπτουν από τις φωτοχημικές αντιδράσεις.

Νωρίς το πρωί που πυκνώνει η κυκλοφορία, οι συγκεντρώσεις του NO και των HCs αρχίζουν να αυξάνουν. Λίγο μετά την ανατολή οι μικρές συγκεντρώσεις NO₂ αρχίζουν να υφίστανται φωτοδιάσπαση και να παρέχουν ατομικό οξυγόνο για τη δημιουργία όζοντος και οξυγονωμένων ενώσεων υδρογονανθράκων. Η αύξηση των συγκεντρώσεων του O₃ συμβαδίζει δηλ. αρχικά με την αύξηση των συγκεντρώσεων NO. Όμως κατά τις 07:00 η επίδραση των προοδευτικά αυξανόμενων συγκεντρώσεων των οξειδωμένων ενώσεων υδρογονανθράκων αρχίζει να αντιδρά με το NO επιταχύνοντας το σχηματισμός NO₂ και μειώνοντας τις συγκεντρώσεις NO. Οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις NO και η εντονότερη ηλιακή ακτινοβολία επιταχύνουν τη δημιουργία μεγαλύτερων συγκεντρώσεων O₃ γύρω στις 08:00. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των NO_x διατηρούνται για μία περίοδο 3-4 ωρών και στη συνέχεια ακολουθεί μείωση (λόγω διασποράς, μετασχηματισμού του NO₂ σε HNO₃ και αφαίρεσης του από τις επιφάνειες φυτών και εδάφους) (Λαζαρίδης, 2005). Όταν το NO μειωθεί σημαντικά (φαίνεται από τη συγκέντρωση των NO_x), το O₃ αυξάνει γρήγορα και διατηρείται σε υψηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια των μεσημβρινών και μεταμεσημβρινών ωρών λόγω αυξημένης ηλιοφάνειας. Κατά τις νυχτερινές ώρες η παραγωγή του όζοντος σταματά.

Για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ (Σχήμα 6.38), παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, λόγω των διαφόρων πηγών τους, και οι οποίες πέφτουν σε χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε και σταματάνε οι ρυπογόνες δραστηριότητες.

6.4 Αστική περιοχή μελέτης: Αθήνα

6.4.1 Γενικές πληροφορίες



Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα πόλη της Ελλάδας. Πήρε το όνομά της από την θεά Αθηνά που ήταν και η προστάτιδά της. Η Αθήνα σήμερα είναι μία σύγχρονη πόλη αλλά και διάσημη, καθώς στην αρχαιότητα ήταν πανίσχυρη πόλη-κράτος και σημαντικότερο κέντρο πολιτισμού, ενώ

θεωρείται η ιστορικότερη πόλη της Ευρώπης.

Το πολεοδομικό συγκρότημα καταλαμβάνει έκταση 412.000 στρεμμάτων καλύπτοντας το λεκανοπέδιο που περιβάλλεται από τα όρη Αιγάλεω, Πάρνηθα, Πεντέλη και Υμηττό. Το υψόμετρο στο κέντρο της πόλης υπολογίζεται σε 20 μέτρα από τη στάθμη της θάλασσας, ενώ η μορφολογία του λεκανοπεδίου είναι σχετικά πολύμορφη, με λοφίσκους και ορεινούς όγκους. Ο πληθυσμός της Αθήνας εντός διοικητικών ορίων είναι 745.514 (απογραφή 18^{ης} Μαρτίου 2001), ενώ ο συνολικός πληθυσμός της ευρύτερης αστικής περιοχής ανέρχεται σε 3.130.841 κατοίκους.



Το αττικό κλίμα είναι ξηρό και έχει ως αποτέλεσμα χαμηλά ποσοστά υγρασίας σχεδόν όλο το χρόνο. Επίσης χαρακτηρίζεται από μεγάλες περιόδους ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους και ζεστά καλοκαίρια, με συχνά επεισόδια καύσωνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Αθήνα κρατάει το ρεκόρ της υψηλότερης καταγεγραμμένης θερμοκρασίας στην Ευρώπη με 48 °C στις 10 Ιουλίου 1977.



6.4.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση Αθήνας

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι παρούσα σχεδόν σε όλες τις ελληνικές μεγαλουπόλεις, με κυρίαρχη την Αθήνα. Βασικό παράγοντα στη δημιουργία αλλά και τη συντήρηση του προβλήματος αυτού αποτελεί κυρίως το γεγονός ότι ο πολεοδομικός και ο χωροταξικός σχεδιασμός των πόλεων δεν έγιναν με περιβαλλοντικά κριτήρια.

Επίσης, η γεωμορφολογία στην Αθήνα συχνά δημιουργεί το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής το οποίο μερικώς ευθύνεται για τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το Λος Άντζελες έχει περίπου την ίδια μορφολογία και παρόμοια συγκοινωνιακή φιλοσοφία και παρουσιάζει παρόμοια προβλήματα.

Το σοβαρό πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αντιμετωπίζει η Αθήνα έγινε φανερό από τα μέσα του 1970. Οι πρώτες μετρήσεις από το Αστεροσκοπείο με ημιαυτόματους σταθμούς αποδεικνύουν μεγάλες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου και καπνού. Την ίδια περίοδο με τις πρώτες εμφανίσεις τού νέφους στην ατμόσφαιρα διαπιστώνεται η γυψοποίηση μαρμάρων του Παρθενώνα από τις μεγάλες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου.

Η είσοδος της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (τότε Ε.Ο.Κ.) το 1981 έφερε καινούργιες επενδύσεις στην πόλη, μαζί όμως με προβλήματα κυκλοφοριακού και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η χρήση καταλυτικών οχημάτων βελτίωσε κατά πολύ την ποιότητα της ατμόσφαιρας, χωρίς ωστόσο να λυθεί οριστικά το πρόβλημα που στον 21ο αιώνα αφορά κυρίως ρύπους όπως το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια. Σύμφωνα με έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, οι 6 από τις 10 ευρωπαϊκές πόλεις με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, βρίσκονται στην Ελλάδα (EEA, 2005).

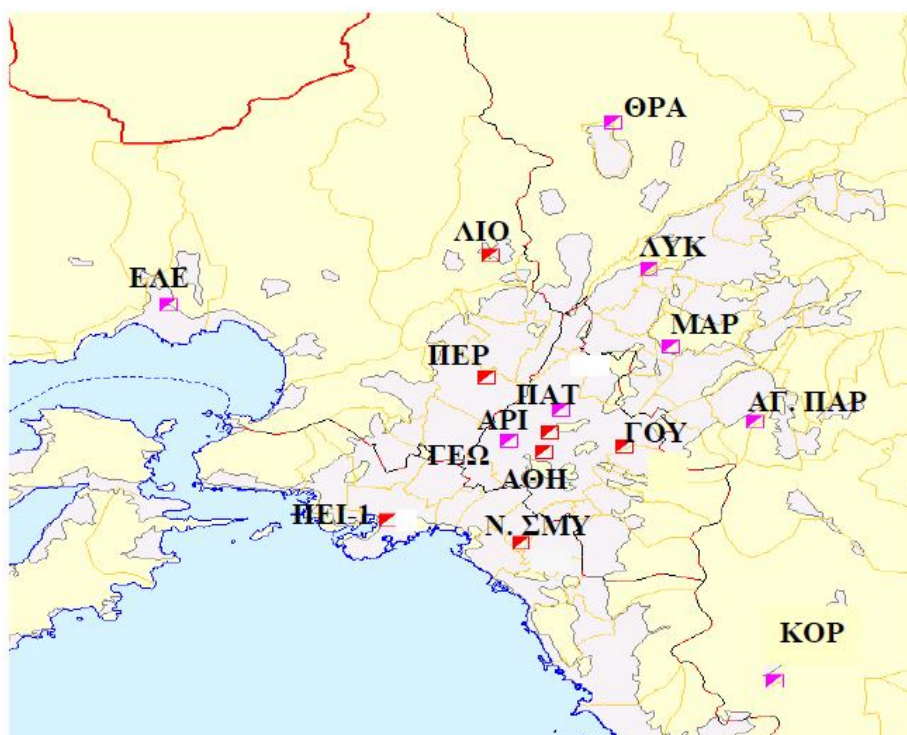
6.4.3 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Το 2008, η Δ/νση ΕΑΡΘ (Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας), λειτούργησε δεκατέσσερις σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή Αττικής και ένα σταθμό στην Αλίαρτο Βοιωτίας για τις ανάγκες του Προγράμματος Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης (EMEP). Τις μετρούμενες τιμές συγκέντρωσης των σταθμών αυτών επεξεργαστήκαμε προκειμένου να εξετάσουμε τη χρονική διακύμανση.

Από τα μέσα του 2008 λειτούργησαν και δύο νέοι σταθμοί, στο Κορωπί και στα Οινόφυτα, τους οποίους όμως δεν έχουμε συμπεριλάβει στην επεξεργασία (ΕΑΡΘ, 2009).

Συγκεκριμένα:

- Για να δείξουμε τη διαχρονική μεταβολή των τιμών συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων για τα έτη 1999 έως 2008, υπολογίσαμε το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών για κάθε ρύπο από το σύνολο των αστικών – κυκλοφορίας σταθμών, καθώς και από το σύνολο των αστικών αλλά και περιαστικών σταθμών υποβάθρου. Επίσης, επεξεργαστήκαμε τις τιμές από τον περιαστικό βιομηχανικό σταθμό Ελευσίνας και από το σταθμό υποβάθρου Αλίαρτου. Την τοποθεσία όλων των σταθμών μέτρησης διακρίνουμε στο Σχήμα 6.40.
- Για να δείξουμε τη μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων για τα έτη 2006 έως 2008, κάναμε επεξεργασία των μέσων μηνιαίων τιμών των αστικών σταθμών κυκλοφορίας Πατησίων και Αριστοτέλους, καθώς και του περιαστικού – υποβάθρου Αγ. Παρασκευής.
- Για να δείξουμε την ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων, στη διάρκεια του έτους 2008, για όλους τους μετρούμενους ρύπους, χρησιμοποιήσαμε τις μέσες ημερήσιες τιμές των ίδιων σταθμών.
- Τέλος, για να δείξουμε την ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων στη διάρκεια του έτους 2008, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ωριαίες τιμές του αστικού σταθμού κυκλοφορίας Πατησίων.



ΥΠΕΧΩΔΕ

Σχήμα 6.40 Χάρτης της περιοχής Αττικής που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.



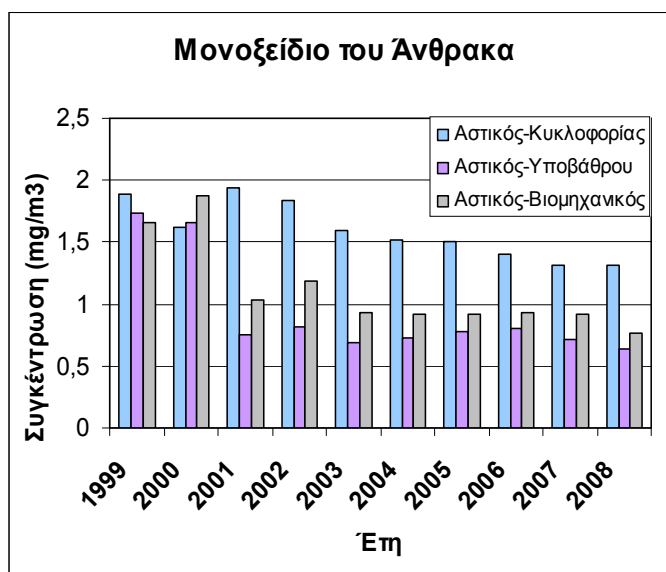
Εικόνα 6.5 Σταθμός Υποβάθρου Αλιάρτος (GR01) (EMEP).

Σχήμα 6.41 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης EMEP Ελλάδας (CCC).

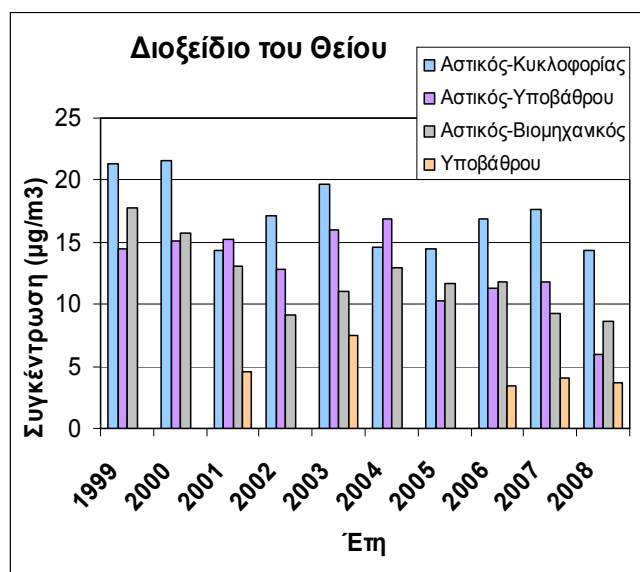
6.4.4 Χρονικές διακυμάνσεις των τιμών συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων

6.4.4.1 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

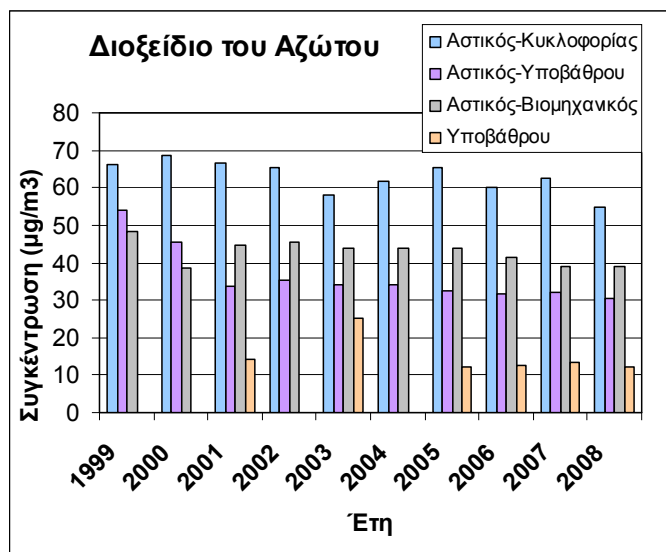
Στο Παράρτημα Ι δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι γραφικές παραστάσεις ανά είδος σταθμού δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



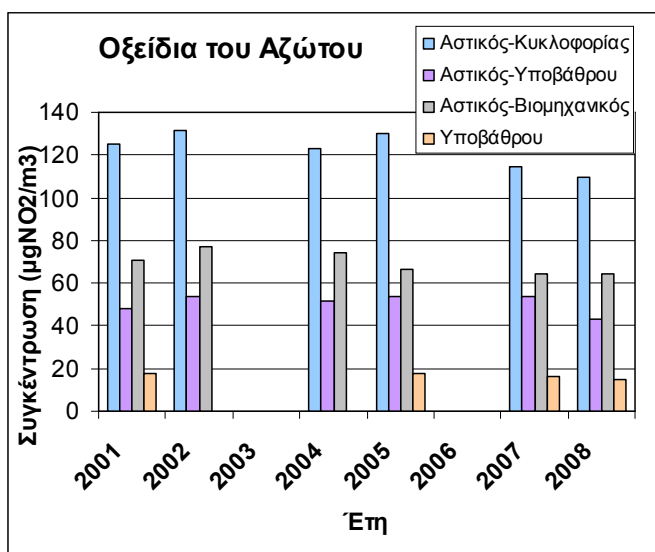
Σχήμα 6.42 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m³.



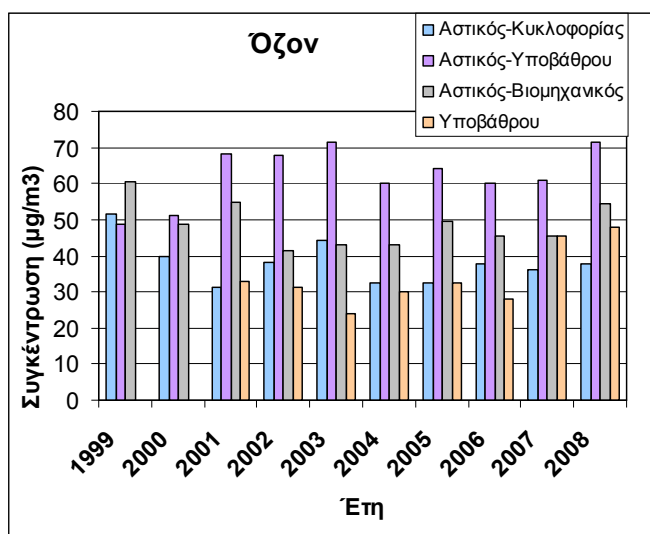
Σχήμα 6.43 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε μg/m³.



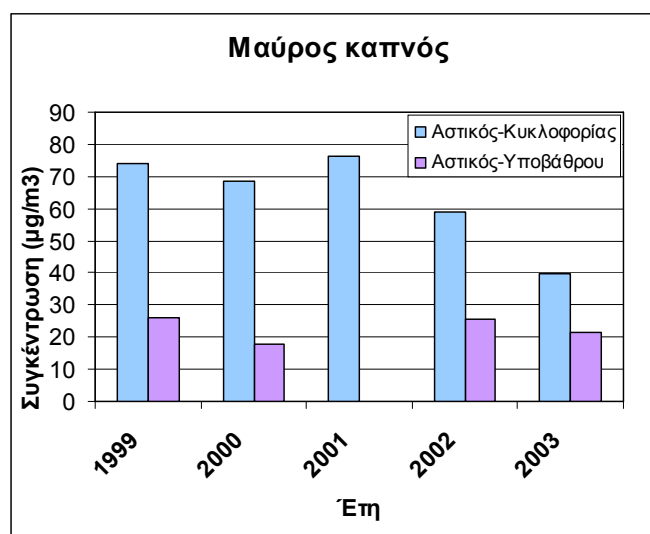
Σχήμα 6.44 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε μg/m³.



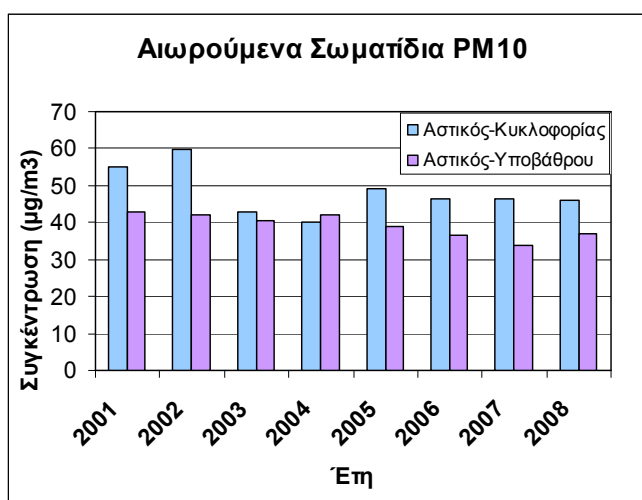
Σχήμα 6.45 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_x σε μg NO₂/m³.



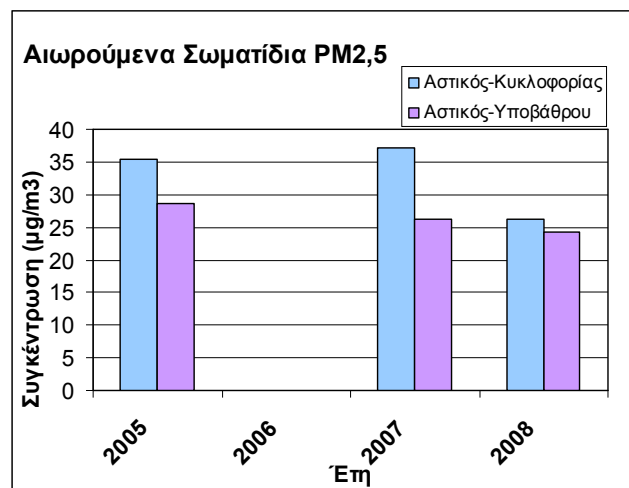
Σχήμα 6.46 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O₃ σε µg/m³.



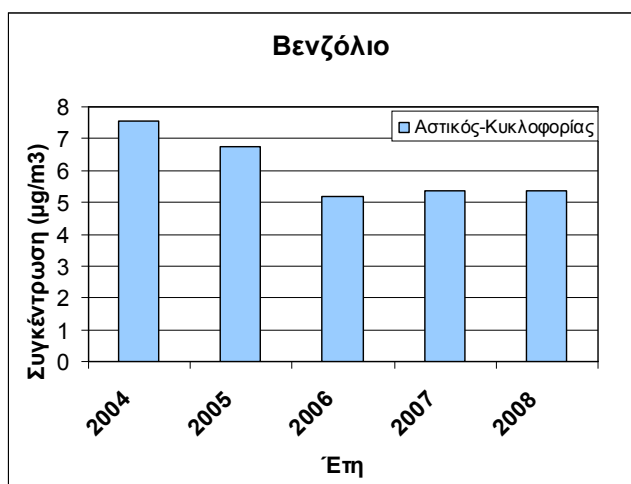
Σχήμα 6.47 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών καπνού σε µg/m³.



Σχήμα 6.48 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM₁₀ σε µg/m³.



Σχήμα 6.49 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM_{2.5} σε µg/m³.



Σχήμα 6.50 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών βενζολίου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Για τον κάθε ρύπο παρατηρούμε τα εξής:

- Για το μονοξείδιο του άνθρακα (Σχήμα 6.42), παρουσιάζεται γενικά τάση μείωσης ή σταθεροποίησης των τιμών. Συγκριτικά οι αστικοί σταθμοί κυκλοφορίας παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές και ακολουθούν οι βιομηχανικοί σταθμοί.
- Για το διοξείδιο του θείου (Σχήμα 6.43), παρατηρείται μία ανάκαμψη στις τιμές των αστικών σταθμών κυκλοφορίας το 2003 και μετά πάλι τα έτη 2006 και 2007. Γενικά όμως η τάση είναι μειωτική. Αξιοσημείωτο είναι ότι το 2004 η τιμή του σταθμού αστικού υποβάθρου υπερέβη αυτή του σταθμού κυκλοφορίας.
- Για το διοξείδιο του αζώτου (Σχήμα 6.44), παρατηρούνται γενικώς μικρές αυξομειώσεις μία τάση σταθεροποίησης τα τελευταία χρόνια. Τις μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζουν οι αστικοί σταθμοί κυκλοφορίας, με επόμενους τους αστικούς – βιομηχανικούς και ακολουθούν οι αστικοί – υποβάθρου, ενώ πολύ μικρότερες τιμές παρατηρούνται στους σταθμούς υποβάθρου.
- Για τα οξείδια του αζώτου (Σχήμα 6.45), σύμφωνα με τα έτη για τα οποία υπάρχουν δεδομένα, παρατηρείται τάση μικρής μείωσης των τιμών τα τελευταία έτη. Για τους σταθμούς ισχύουν τα ίδια με το διοξείδιο του αζώτου.

- Για το όζον (Σχήμα 6.46), δεν παρατηρείται κάποια σαφής τάση λόγω των αυξομειώσεων των τιμών. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζουν οι σταθμοί αστικού υποβάθρου και ακολουθούν οι αστικοί – βιομηχανικοί που έχουν και αυτοί αρκετά μεγάλες τιμές, οι οποίες ξεπερνούν αυτές των σταθμών κυκλοφορίας. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι σταθμοί υποβάθρου τα δύο τελευταία έτη υπερβαίνουν τις τιμές των αστικών – κυκλοφορίας.
- Για το μαύρο καπνό (Σχήμα 6.47), από το 2001 και μετά παρατηρείται πτώση στις τιμές ρύπανσης (δεδομένα υπάρχουν μέχρι το 2003), με τις συγκεντρώσεις των αστικών – κυκλοφορίας να είναι πολύ μεγαλύτερες των σταθμών αστικού υποβάθρου.
- Για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} (Σχήμα 6.48), μετά το 2005 υπάρχει μία σταθεροποίηση στις τιμές. Όπως είναι αναμενόμενο, οι συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας και μικρότερες στους αστικούς – υποβάθρου.
- Για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$ (Σχήμα 6.49), από τα δεδομένα που υπάρχουν για τα έτη 2005 και μετά, παρατηρείται πτώση για τους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας το έτος 2008 σε σχέση με τα προηγούμενα. Επίσης μικρή πτώση σημειώνουν και οι συγκεντρώσεις των σταθμών αστικού υποβάθρου, οι οποίες κυμαίνονται σε πιο χαμηλά επίπεδα.
- Για το βενζόλιο (Σχήμα 6.50), παρουσιάζεται μία μείωση στις τιμές των αστικών σταθμών κυκλοφορίας, οι οποίες τείνουν να σταθεροποιηθούν τα τρία τελευταία έτη.

Συνοψίζοντας:

Η διαχρονική εξέλιξη των τιμών δείχνει ότι οι ρύποι που παρουσιάζουν μεγαλύτερη τάση μείωσης είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, ο μαύρος καπνός και το βενζόλιο. Για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$ η χρονική διάρκεια των μετρήσεων είναι μικρή, οπότε η τάση δε θεωρείται αντιπροσωπευτική.

Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί στην τεχνολογική αναβάθμιση του στόλου των ιδιωτικών αυτοκινήτων και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (ΚΕΚ), στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές, στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές, στη λειτουργία των μέσων σταθερής

τροχιάς, στη διευκόλυνση της κυκλοφορίας των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στη διείσδυση του φυσικού αερίου στον οικιακό και τριτογενή τομέα, στην ολοκλήρωση των μεγάλων κυκλοφοριακών έργων κ.λ.π. (ΕΑΡΘ, 2009). Ειδικά για το διοξείδιο του θείου η τάση μείωσης των τιμών συνδέεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη.

Για το όζον πρέπει να σημειωθεί ότι, στις μεσογειακές χώρες παρατηρούνται υψηλές τιμές υποβάθρου ακόμη και σε απομακρυσμένες περιοχές. Οι υψηλές τιμές που παρατηρούνται, πέρα από τις μειωμένες εκπομπές NO_x που υπάρχουν στις περιοχές αυτές, οφείλονται κατά κύριο λόγο στο κλίμα (μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες, συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό του όζοντος) που επικρατεί στις χώρες της νοτίου Ευρώπης.

6.4.4.2 Υπερβάσεις ορίων για τις μέσες ετήσιες τιμές

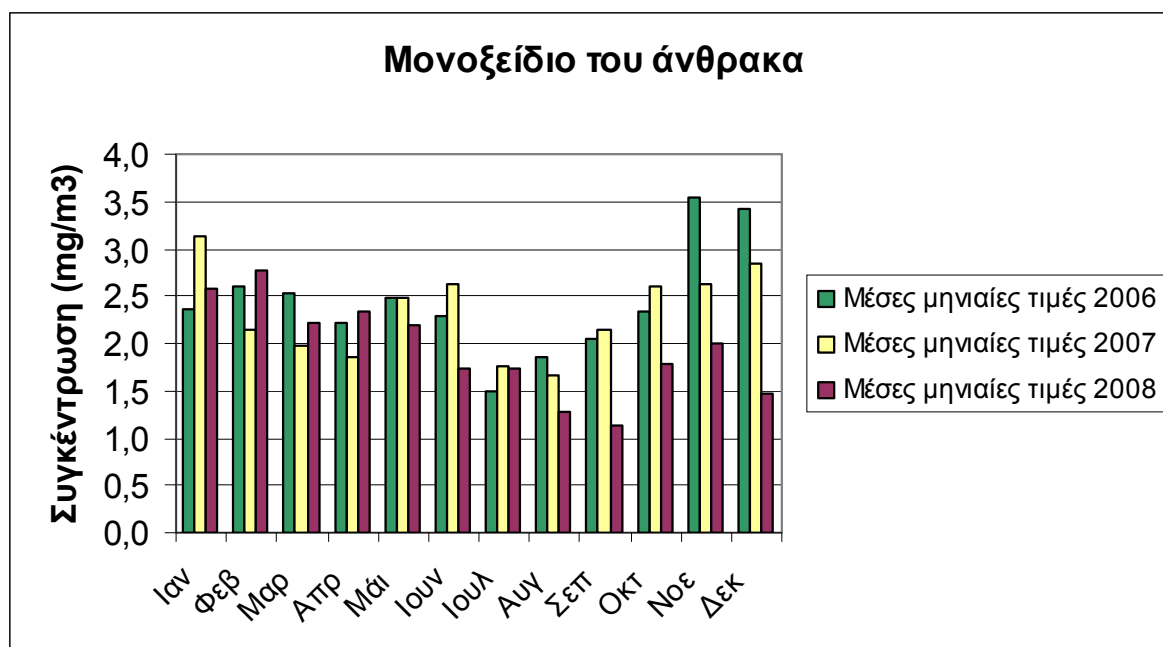
Από τους ρύπους για τους οποίους έχει θεσμοθετηθεί όριο για τη μέση ετησία τιμή (έστω και έτος μεταγενέστερο από το έτος μέτρησης της συγκέντρωσης), υπερβάσεις παρατηρούνται για:

- Το διοξείδιο του αζώτου (Σχήμα 6.44), όπου οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των αστικών – κυκλοφορίας για όλα τα έτη (1999-2007), των αστικών – βιομηχανικών για τα έτη 1999 και 2001-2006, και των αστικών - υποβάθρου για το 1999, υπερβαίνουν τα 40 μg/m³ (έτος ισχύος οριακής τιμής: 2010).
- Τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ (Σχήμα 6.48), όπου οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των αστικών σταθμών κυκλοφορίας και των σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2001-2008, με εξαίρεση τα τέσσερα τελευταία έτη για τους σταθμούς αστικού υποβάθρου, υπερβαίνουν τα 40² μg/m³.
- Τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} (Σχήμα 6.49), όπου η μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των αστικών σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2005, 2007 και 2008, καθώς και των αστικών – υποβάθρου για τα έτη 2005 και 2007 υπερβαίνουν τα 25 μg/m³ (τιμή-στόχος).
- Το βενζόλιο (Σχήμα 6.50), όπου οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των αστικών σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2004-2008 υπερβαίνουν τα 5 μg/m³.

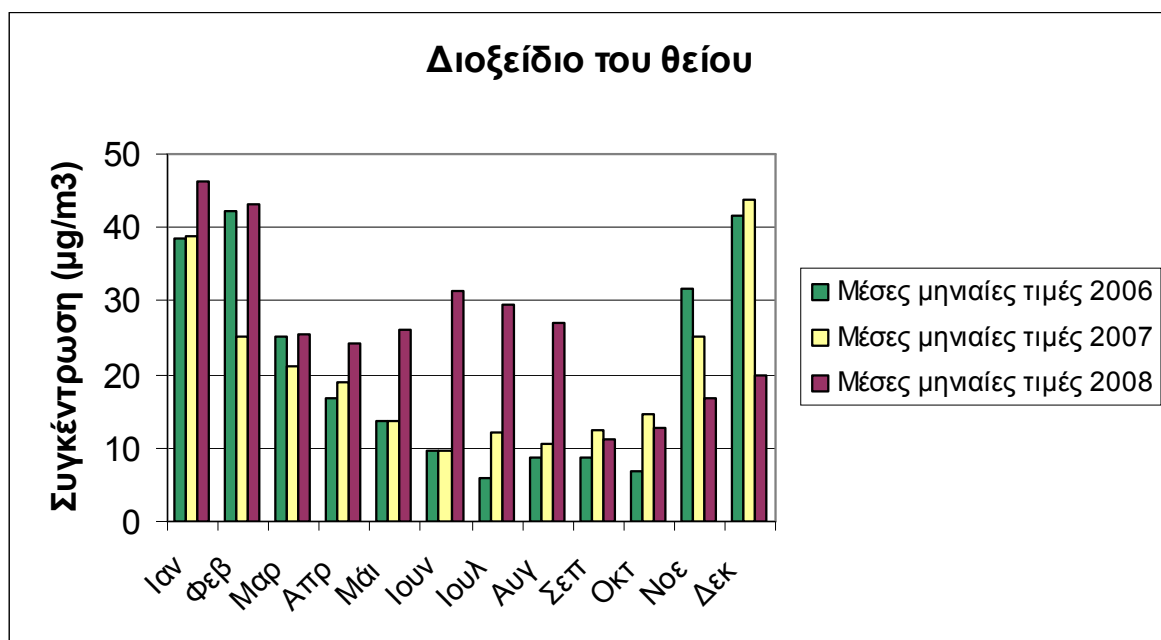
² Για τα PM₁₀ η σύγκριση γίνεται με το όριο που έχει θεσμοθετηθεί το 2005 (40 μg/m³) και όχι το όριο που ισχύει από 1/1/2010 (20 μg/m³).

6.4.4.3 Μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

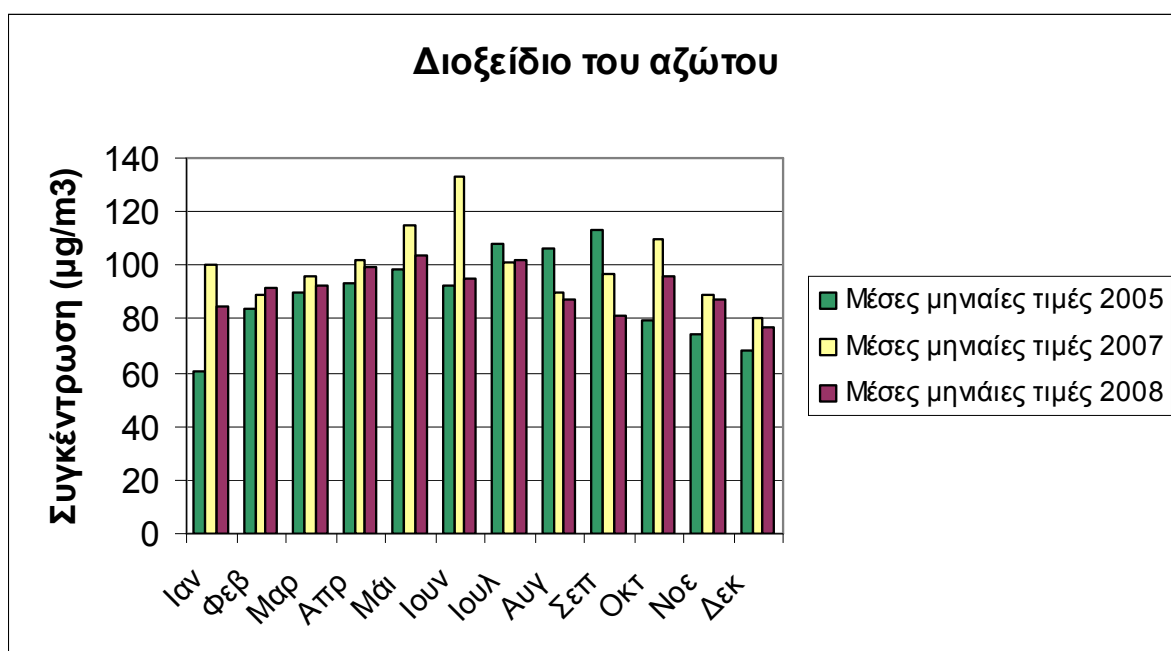
Στο Παράρτημα II, δίνονται οι διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των συγκεντρώσεων για όλους τους μετρούμενους ρύπους για τα έτη 2006 έως 2008, ενώ στα επόμενα Σχήματα εμφανίζεται η μηνιαία μεταβολή για τους ρύπους CO, SO₂, NO₂, NO_x, O₃, και C₆H₆ στον αστικό σταθμό κυκλοφορίας Πατησίων, καθώς και για τα PM₁₀ στο σταθμό Αριστοτέλους (αστικός – κυκλοφορίας) και PM_{2,5} στο σταθμό Αγ. Παρασκευή (περιαστικός – υποβάθρου).



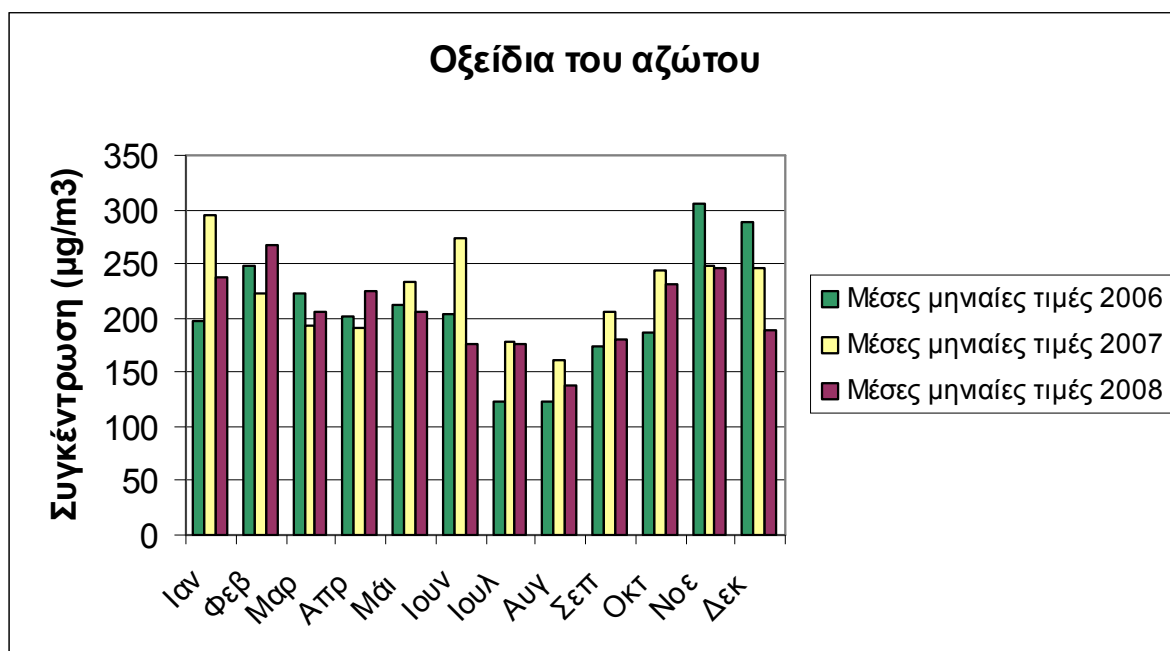
Σχήμα 6.42 Μέσες μηνιαίες τιμές CO στο σταθμό Πατησίων.



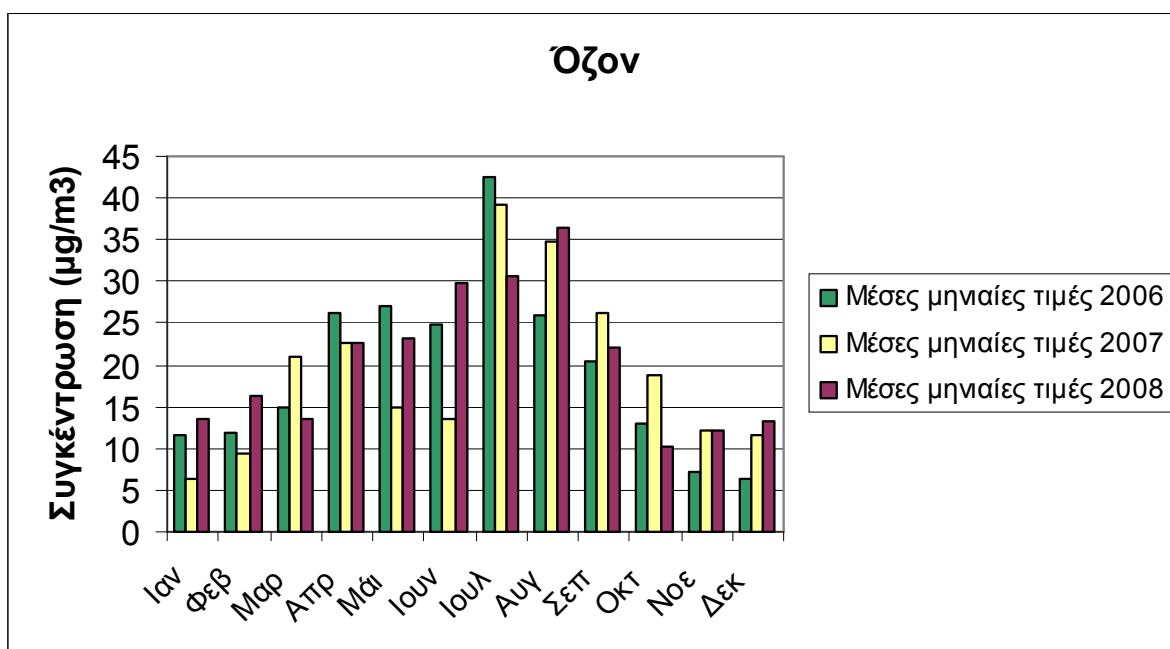
Σχήμα 6.43 Μέσες μηνιαίες τιμές SO_2 στο σταθμό Πατησίων.



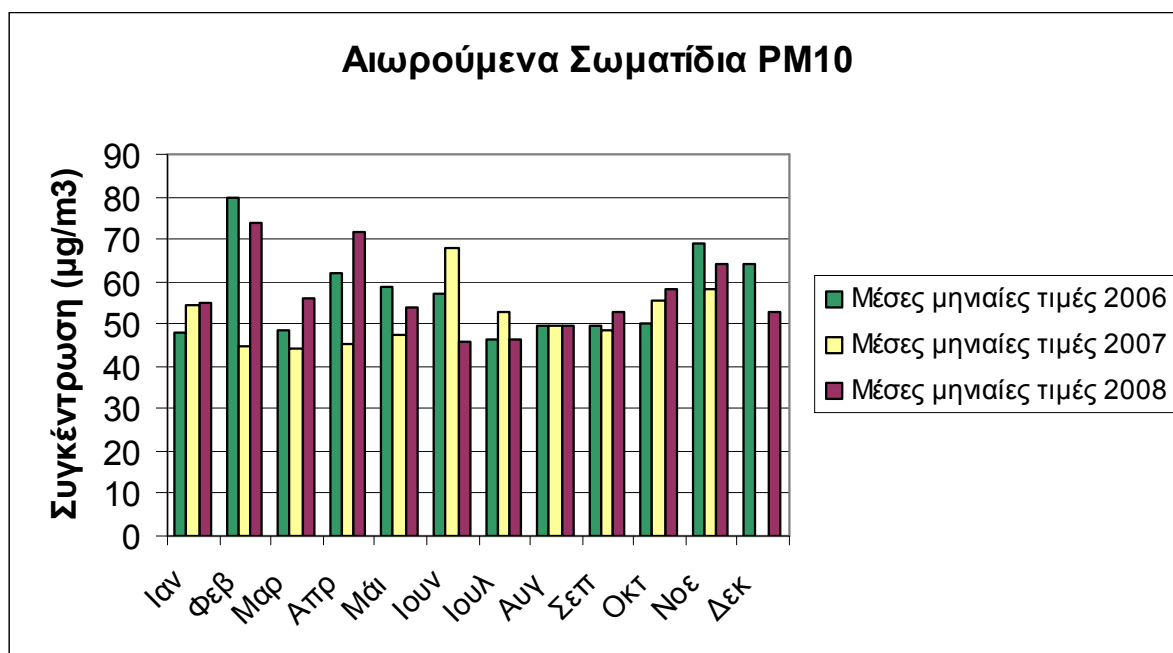
Σχήμα 6.44 Μέσες μηνιαίες τιμές NO_2 στο σταθμό Πατησίων.



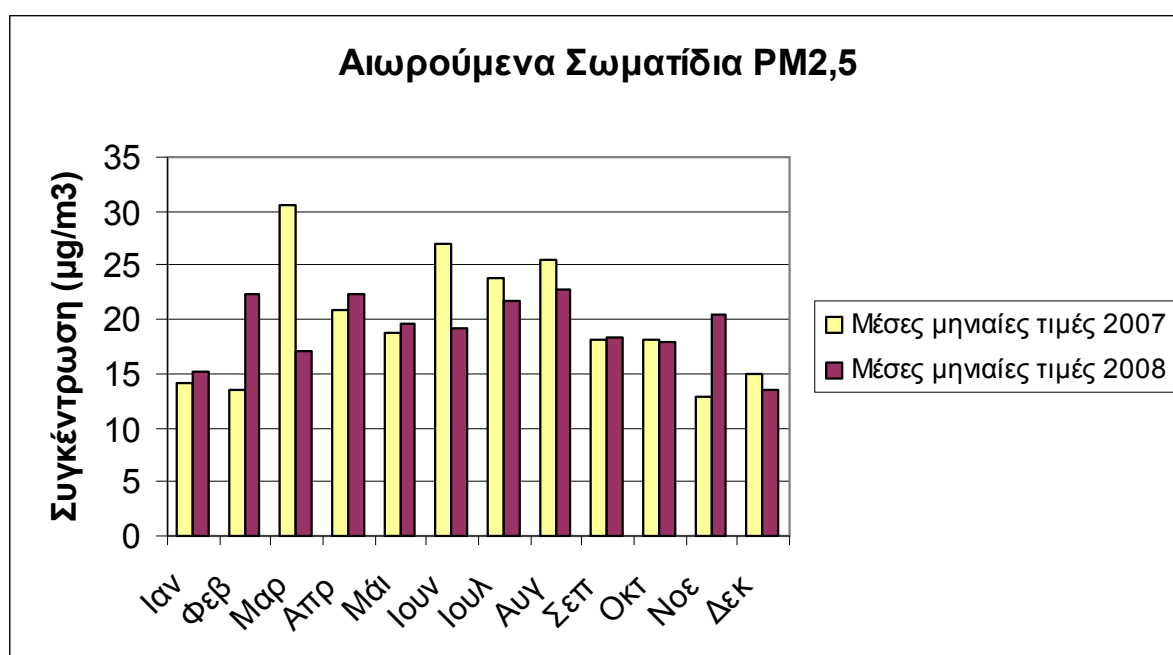
Σχήμα 6.45 Μέσες μηνιαίες τιμές NO_x στο σταθμό Πατησίων.



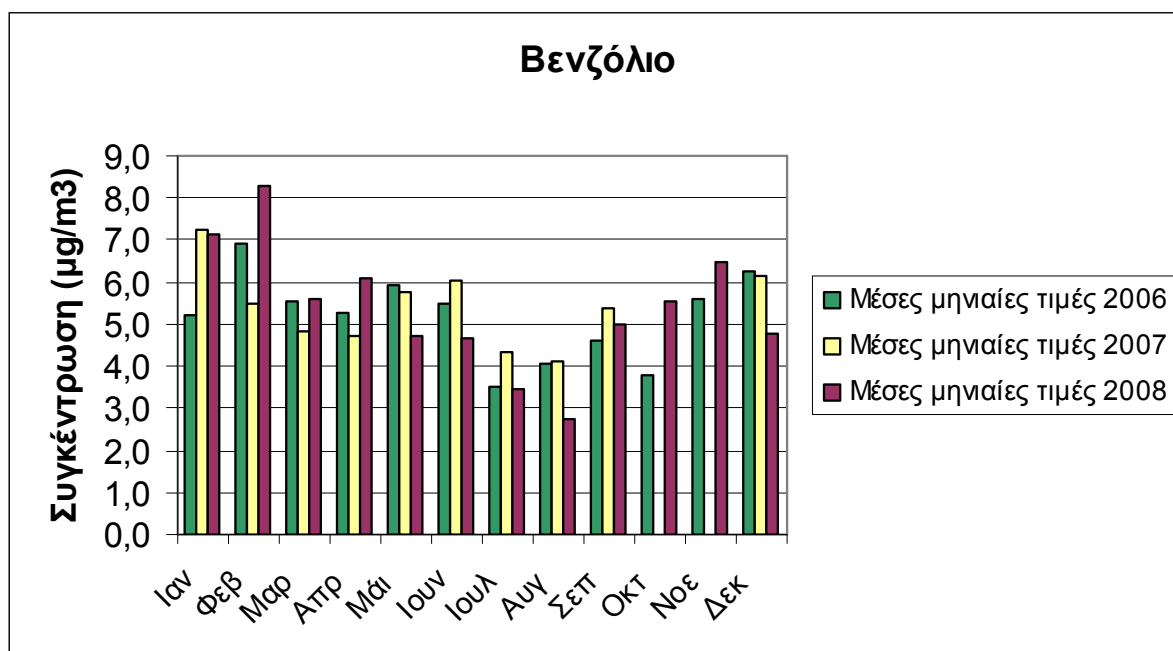
Σχήμα 6.46 Μέσες μηνιαίες τιμές O_3 στο σταθμό Πατησίων.



Σχήμα 6.47 Μέσες μηνιαίες τιμές PM₁₀ στο σταθμό Αριστοτέλους.



Σχήμα 6.48 Μέσες μηνιαίες τιμές PM_{2,5} στο σταθμό Αγ. Παρασκευή.

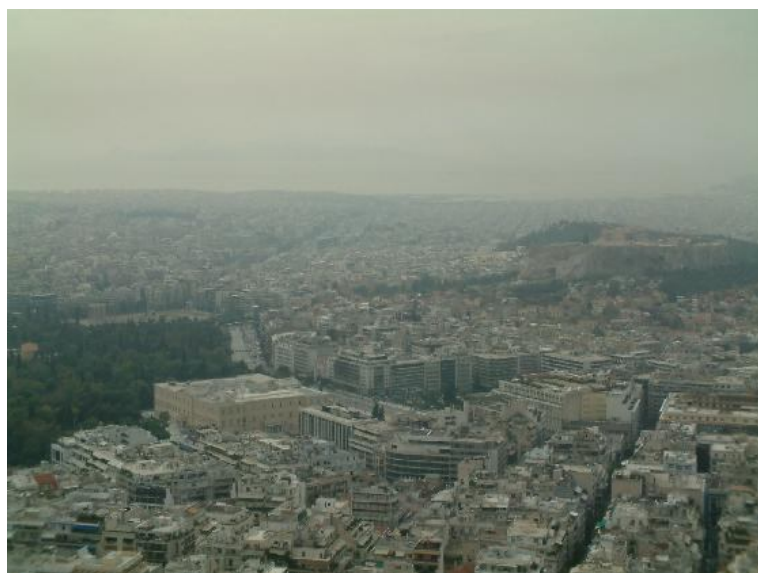


Σχήμα 6.49 Μέσες μηνιαίες τιμές βενζολίου στο σταθμό Πατησίων.

Από τα Σχήματα είναι φανερό ότι, οι πρωτογενείς ρύποι CO, SO₂ και τα NO_x (Σχήματα 6.42, 6.43 και 6.45) παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές τους μήνες του χειμώνα. Αυτό οφείλεται για μεν το SO₂ και τα NO_x (αυξημένες εκπομπές NO) στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης, για δε το CO στη μεγαλύτερη κίνηση οχημάτων που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και την απαίτηση περισσότερων καυσίμων από τα αυτοκίνητα για να λειτουργήσουν οι μηχανές τους σε ψυχρό καιρό. Το βενζόλιο (Σχήμα 6.49) αν και πτητικός υδρογονάνθρακας παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές το χειμώνα, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν για το CO, ενώ το καλοκαίρι, οπότε είναι αυξημένη η ηλιοφάνεια, παρουσιάζονται χαμηλότερες τιμές, καθώς μέρος του βενζολίου καταστρέφεται λόγω συμμετοχής του στις φωτοχημικές αντιδράσεις.

Οι δευτερογενείς ρύποι όζον O₃ και NO₂ (Σχήματα 6.46, 6.45) παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές τη θερινή περίοδο του έτους. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης των δευτερογενών ρύπων και κυρίως του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια των μηνών αυτών, δεδομένου ότι αυτοί οι ρύποι σχηματίζονται από φωτοχημικές διεργασίες στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία.

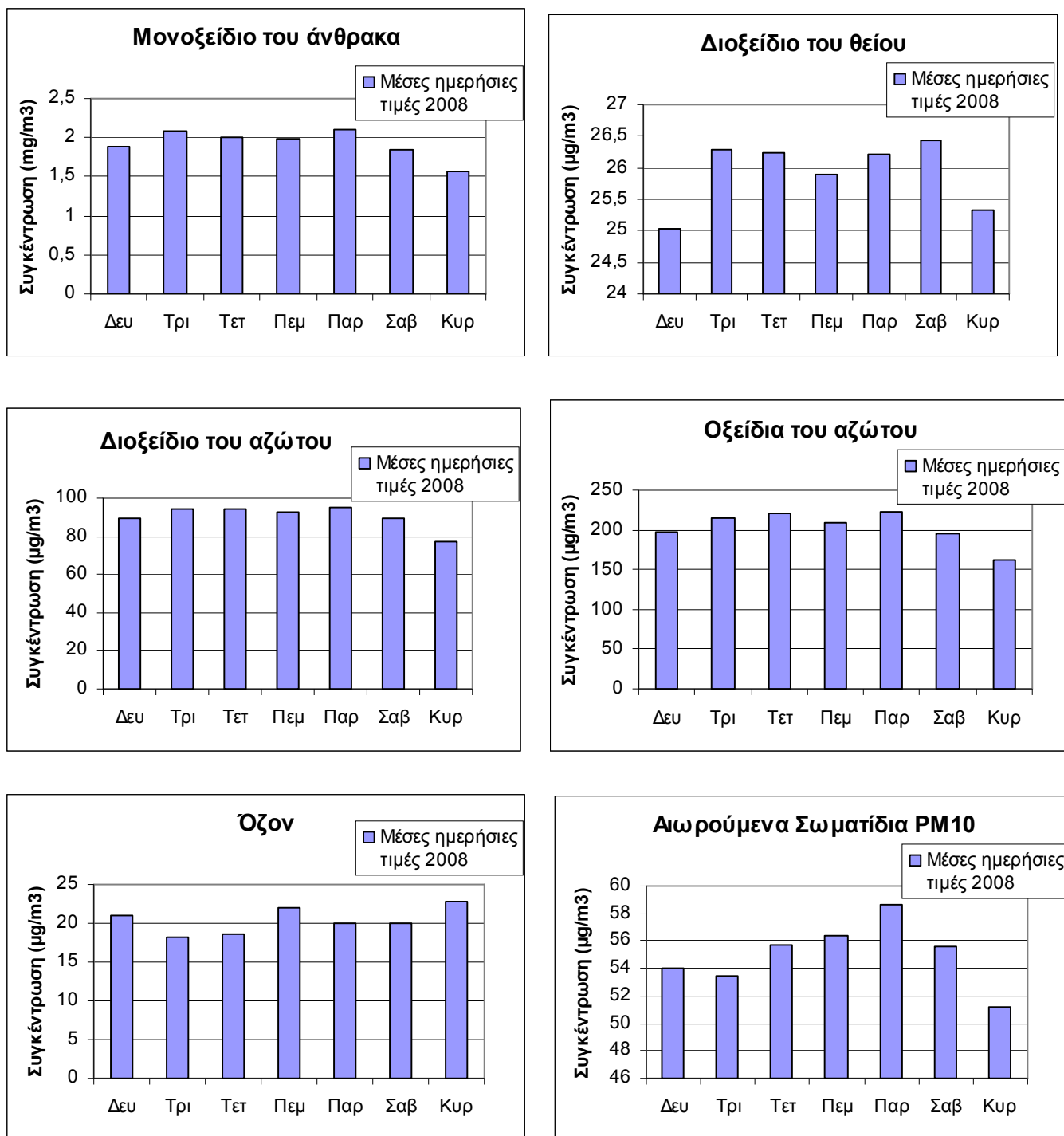
Οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} (Σχήμα 6.47) παρουσιάζουν μια πτώση τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούλιο έως και Σεπτέμβριο, η οποία δικαιολογείται ίσως από την έξοδο πολλών κατοίκων εκτός πόλης για διακοπές, που έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό κάποιων ρυπογόνων δραστηριοτήτων στο κέντρο της πόλης. Για τα $PM_{2,5}$ (Σχήμα 6.48) δεν διαπιστώνουμε κάποια σαφή μηνιαία μεταβολή. Γενικά οι μηνιαίες διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις στα αιωρούμενα σωματίδια σχετίζονται με τη διαφορετική συμπεριφορά που έχουν οι διάφορες πηγές στη διάρκεια του έτους (ETC/ACC, 2010).



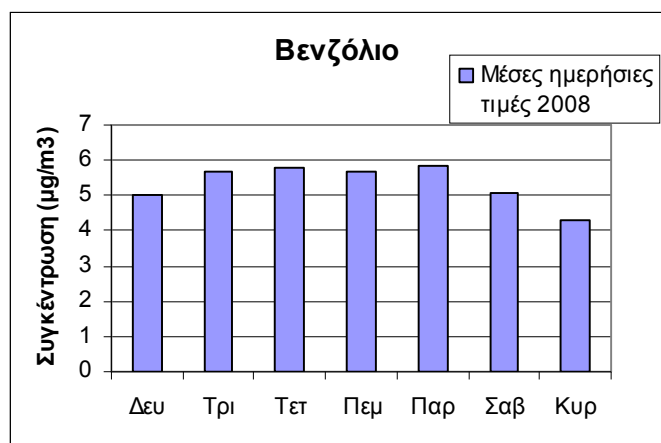
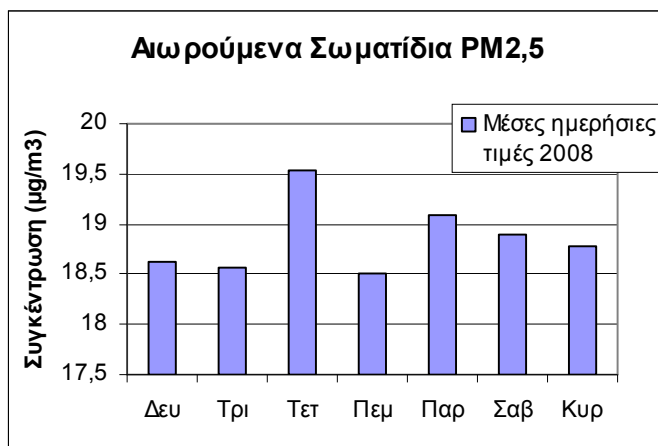
Εικόνα 6.6 Επεισόδιο νέφους στην Αθήνα, 2004.

6.4.4.4 Ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

Στα επόμενα Σχήματα, δίνεται η ημερήσια μεταβολή των ρύπων στη διάρκεια του έτους 2008, για όλους τους μετρούμενους ρύπους στον αστικό σταθμό κυκλοφορίας Πατησίων, καθώς και στους σταθμούς Αριστοτέλους και Αγ. Παρασκευή (περιαστικός – υποβάθρου).



Σχήμα 6.50 Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων CO, SO₂, NO₂, NO_x, O₃ στο σταθμό Πατησίων και PM₁₀ στο σταθμό Αριστοτέλους.



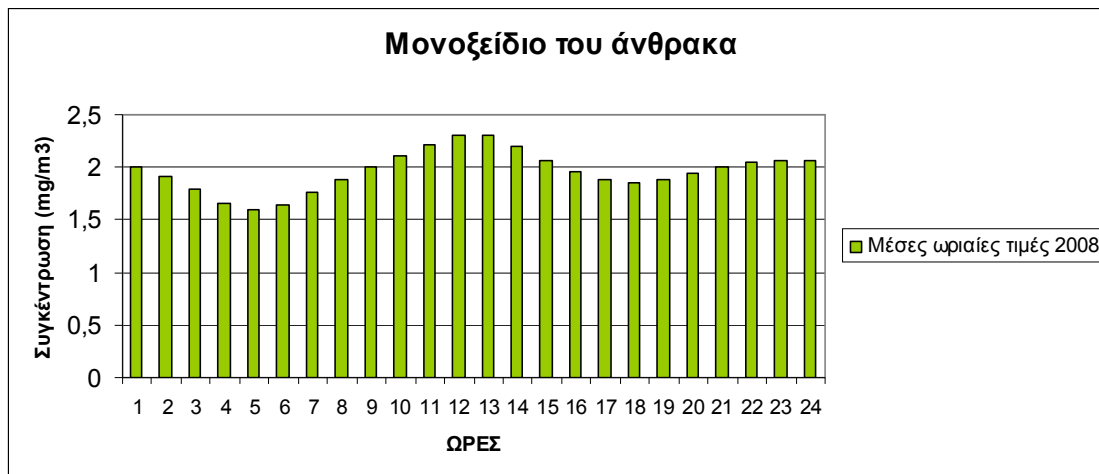
Σχήμα 6.51 Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM_{2,5} στο σταθμό Αγ. Παρασκευή και βενζολίου στο σταθμό Πατησίων.

Όπως είναι εμφανές από τα γραφήματα (Σχήματα 6.50, 6.51) οι περισσότεροι ρύποι (CO, NO₂, NO_x, PM₁₀, βενζόλιο) εμφανίζουν μείωση στη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, καθώς τις ημέρες αυτές είναι περιορισμένες οι ρυπογόνες δραστηριότητες. Εξαίρεση αποτελεί το SO₂ (Σχήμα 6.50) που παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή του το Σάββατο για λόγους που δε μπορούμε να προσδιορίσουμε. Επίσης, το O₃ (Σχήμα 6.50) κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια όλης της εβδομάδας, αφού η συγκέντρωση του δεν εξαρτάται μόνο από τις ανθρωπογενείς εκπομπές των πρόδρομων ενώσεων του αλλά σημαντικό ρόλο έχει και η φωτοχημική δραστηριότητα. Τέλος, τα PM_{2,5} (Σχήμα 6.51) δεν παρουσιάζουν κάποια σαφή ημερήσια διακύμανση.

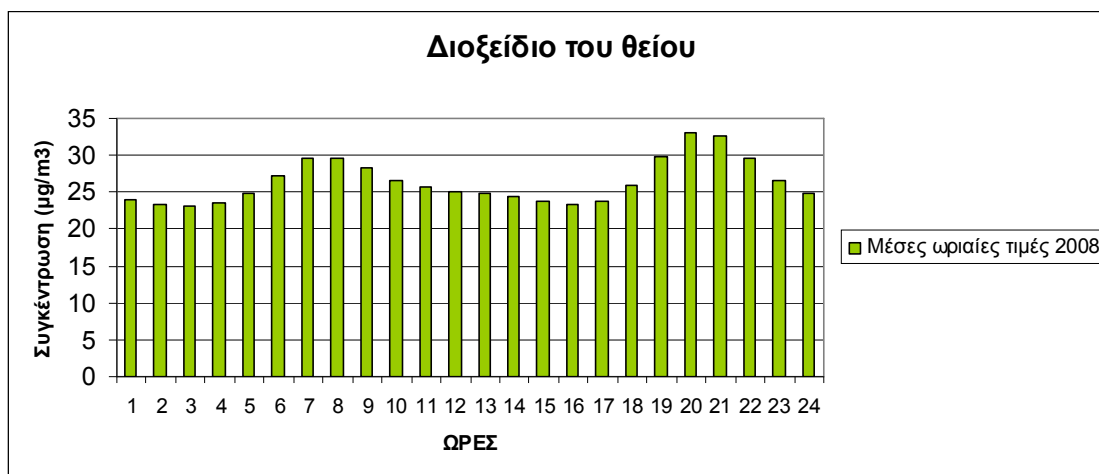


6.4.4.5 Ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

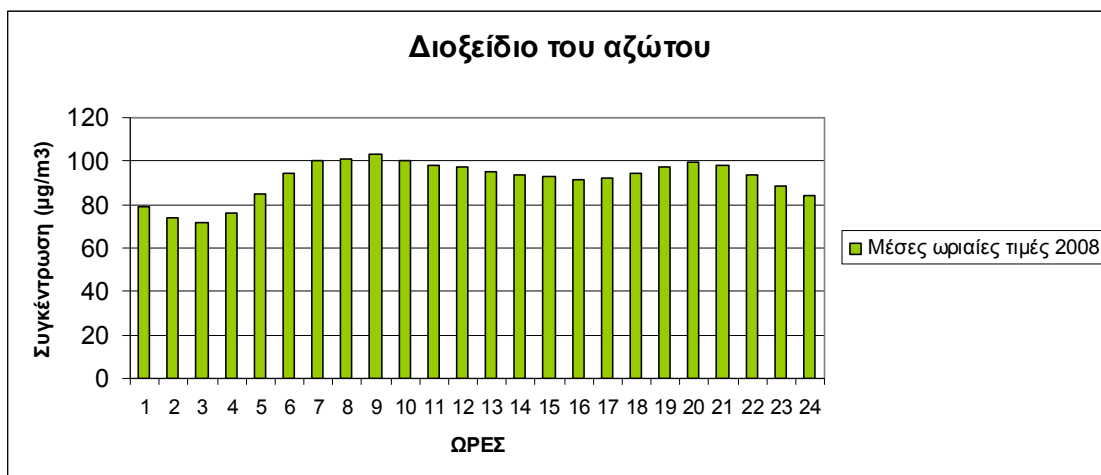
Στα επόμενα Σχήματα, δίνεται η ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων όλων των ρύπων στη διάρκεια του έτους 2008, στον αστικό σταθμό κυκλοφορίας Πατησίων (Παράρτημα ΙΙ).



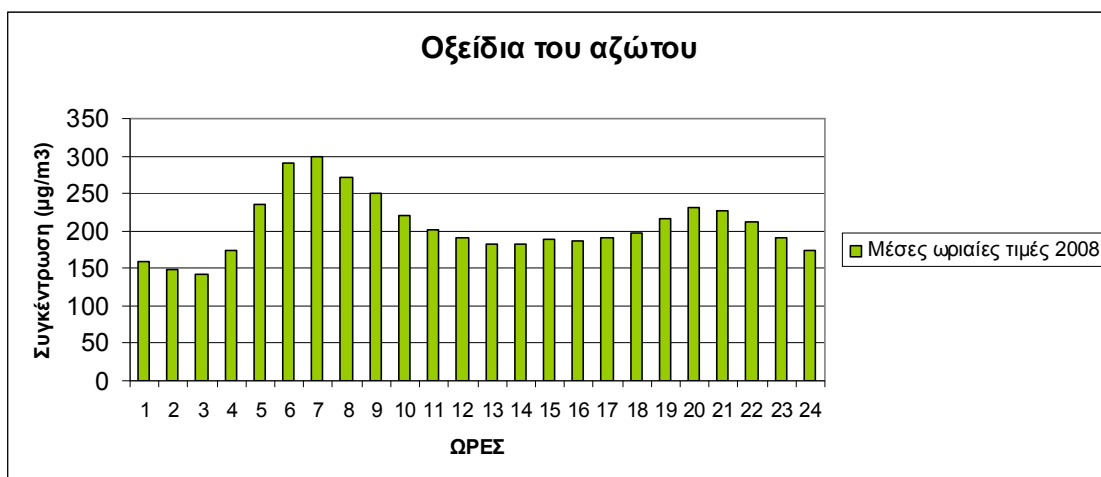
Σχήμα 6.52 Ωριαία μεταβολή CO στο σταθμό Πατησίων.



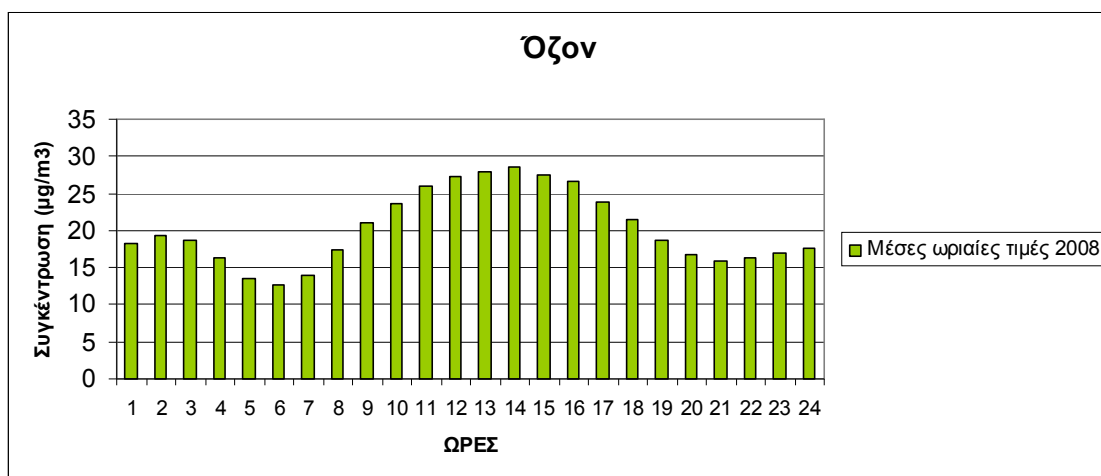
Σχήμα 6.53 Ωριαία μεταβολή SO₂ στο σταθμό Πατησίων.



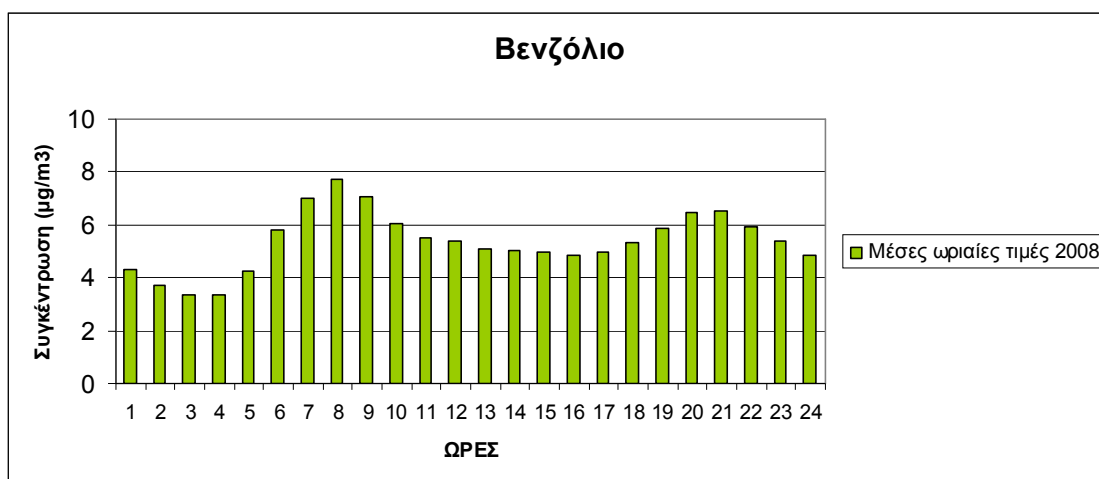
Σχήμα 6.54 Ωριαία μεταβολή NO_2 στο σταθμό Πατησίων.



Σχήμα 6.55 Ωριαία μεταβολή NO_x στο σταθμό Πατησίων.



Σχήμα 6.56 Ωριαία μεταβολή O_3 στο σταθμό Πατησίων.



Σχήμα 6.57 Ωριαία μεταβολή βενζολίου στο σταθμό Πατησίων.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.52, η παρατηρούμενη αύξηση τη συγκέντρωσης CO συνδέεται με τις ώρες αιχμής των αυτοκινήτων (08:00–14:00 και 20:00–24:00) στην Αθήνα.

Επίσης για το SO₂ και το βενζόλιο (Σχήματα 6.53, 6.57) μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται τις πρωινές ώρες 07:00–09:00 και τις βραδινές 20:00–22:00 γιατί όπως αναφέραμε προηγουμένως συμπίπτουν χρονικά οι αιχμές κυκλοφορίας και οι ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.

Για το NO₂ (Σχήμα 6.54), οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται τις πρωινές ώρες 10:00–11:00, δηλαδή παρουσιάζουν κάποια χρονική υστέρηση (ακολουθεί τις πρωινές μέγιστες συγκεντρώσεις NO) που είναι απαραίτητη για το σχηματισμό τους.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ωριαία διακύμανση των τιμών του O₃ (Σχήμα 6.56). Όπως βλέπουμε, το ημερήσιο μέγιστο εμφανίζεται τις μεσημεριανές ώρες, όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει το μέγιστο, οπότε έχουμε παραγωγή μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων. Αυτή η αύξηση ενισχύεται και από την έντονη ημερήσια μεταφορά όζοντος από μεγαλύτερα ύψη. Το ελάχιστο από την άλλη συμβαίνει νωρίς το πρωί, μετά από τις νυκτερινές ώρες οπότε η ηλιακή δραστηριότητα είναι ανύπαρκτη και η μεταφορά από μεγαλύτερα ύψη διακόπτεται λόγω της νυκτερινής θερμοκρασιακής αναστροφής.

Μια άλλη σημαντική παρατήρηση είναι πως μεταξύ των πρωινών ωρών 07:00 και 08:00, ενώ θα περιμέναμε η συγκέντρωση O₃ να έχει να έχει μια ανοδική πορεία λόγω της αυξανόμενης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, διακρίνουμε μία στασιμότητα. Μία πιθανή εξήγηση είναι

ότι τις ώρες αυτές έχουμε υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου (Σχήμα 6.55), λόγω της μεγάλης κυκλοφορίας αυτοκινήτων στο κέντρο της Αθήνας, που οδηγούν στην καταστροφή του όζοντος.

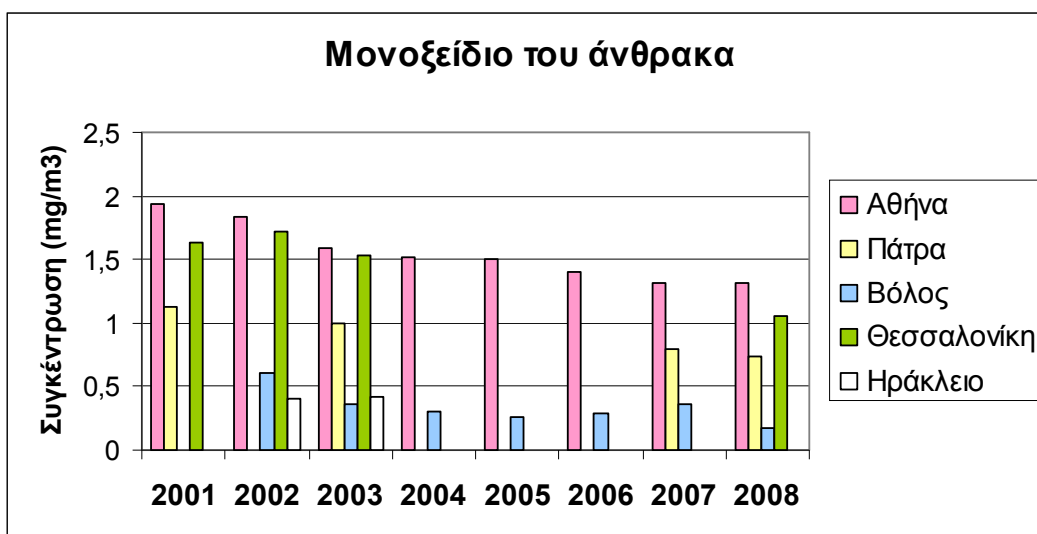
6.4.5 Σύγκριση με άλλες μεγάλες πόλεις της Ελλάδος

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων τεσσάρων ελληνικών πόλεων (Σχήμα 6.58), προκειμένου να συγκρίνουμε τις τιμές με αυτές της Αθήνας, αλλά και να σχηματίσουμε μία πιο σφαιρική εικόνα της κατάστασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές στην Ελλάδα.

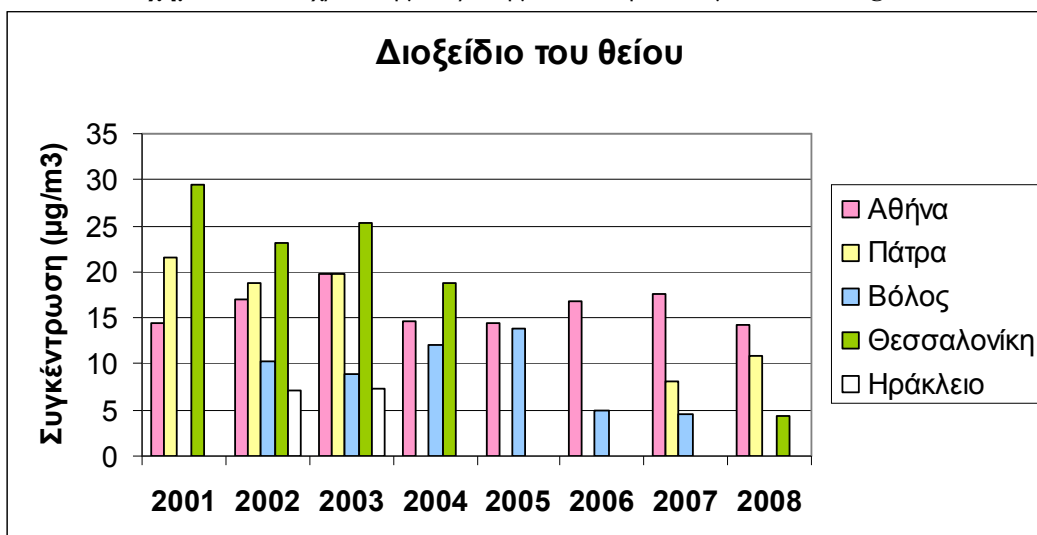


Σχήμα 6.58 Γεωγραφική θέση 5 πόλεων στο χάρτη της Ελλάδος.

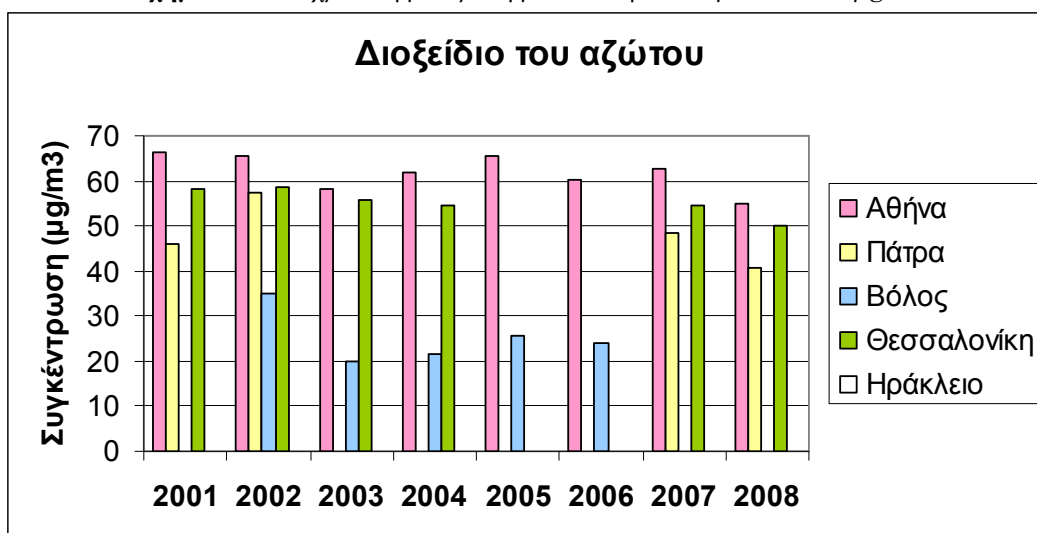
- ❖ Η **Θεσσαλονίκη**: Είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδος. Το πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης (96,640 km²), σύμφωνα με την απογραφή του 2001, έχει πραγματικό πληθυσμό 800.764 κατοίκους. Η ευρύτερη αστική περιοχή έχει έκταση 1.089,608 km² και πληθυσμό 995.766 κατοίκους.
- ❖ Η **Πάτρα**: Το ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα της Πάτρας έχει μόνιμο πληθυσμό 190.843 κατοίκους (απογραφή 2001), και έκταση 125,428 km².
- ❖ Το **Ηράκλειο**: Είναι η πέμπτη μεγαλύτερη σε πληθυσμό (142.112 κάτοικοι-απογραφή 2001) και σε έκταση (συνολική επιφάνεια 120 τετραγωνικών χιλιομέτρων) πόλη της Ελλάδας μετά την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη, τον Πειραιά και την Πάτρα.
- ❖ Ο **Βόλος**: Ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Βόλου (έκταση 27,678 km²), σύμφωνα με την απογραφή του 2001, ανέρχεται σε 85.001 κατοίκους. Ο πληθυσμός ολόκληρου του πολεοδομικού συγκροτήματος ανέρχεται σε 123.119 κατοίκους.



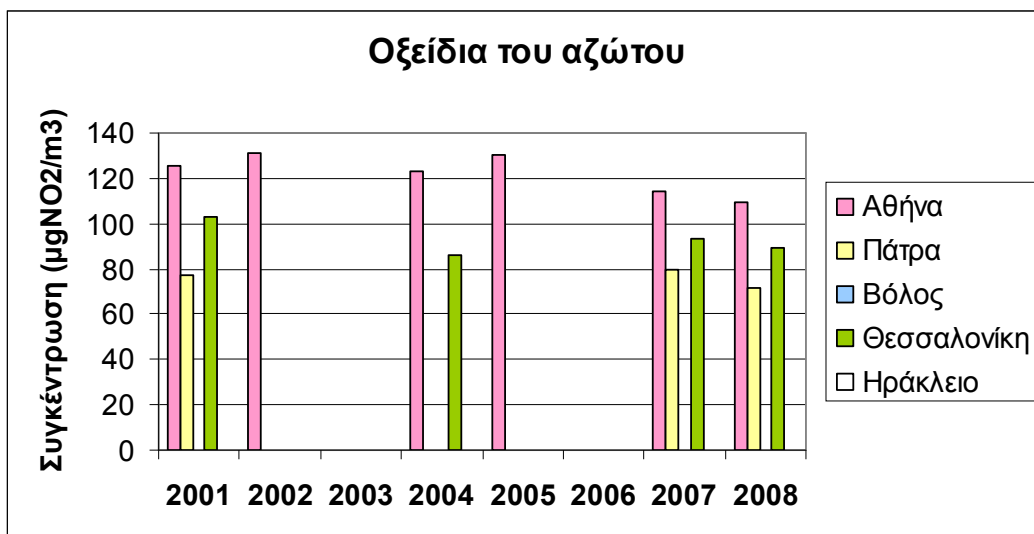
Σχήμα 6.59 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m^3 .



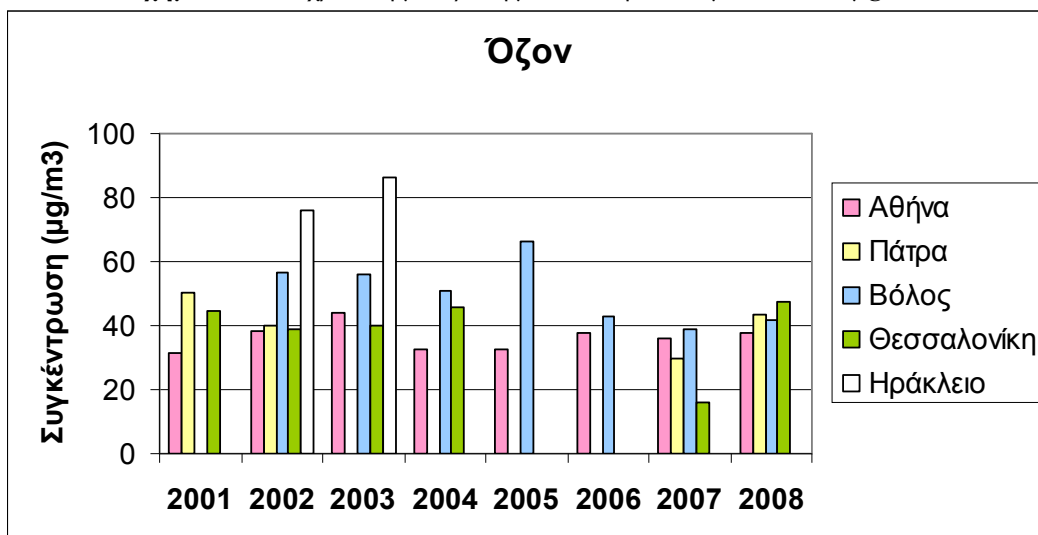
Σχήμα 6.60 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



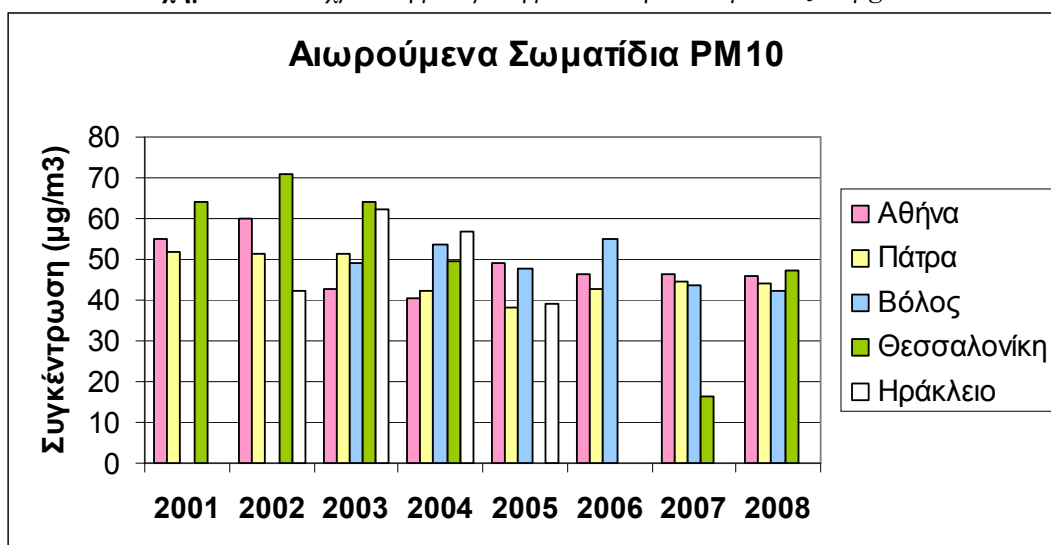
Σχήμα 6.61 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 6.62 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_x σε µg /m³.



Σχήμα 6.63 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O₃ σε µg/m³.



Σχήμα 6.64 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM₁₀ σε µg/m³.

Οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών, των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά τον σταθμό μέτρησης (αστικό – κυκλοφορίας) που έχουμε επιλέξει για την κάθε πόλη (θεωρώντας τις τιμές του αντιπροσωπευτικές για την περιοχή) δίνονται στο Παράρτημα Ι.

Σχετικά με τη χρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Για τους ρύπους CO, NO₂ και NO_x (Σχήματα 6.59, 6.61, 6.62) και για όλα τα έτη (2001-2008), τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει η Αθήνα. Ακολουθεί η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα και ο Βόλος. Οι τιμές για το NO₂ σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη υπερβαίνουν το όριο των 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τη μέση ετήσια τιμή. Όσον αφορά το Ηράκλειο, αν και έχουμε δεδομένα για λίγα έτη, γενικά παρουσιάζει τις μικρότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις άλλες πόλεις. Μία εξαίρεση βέβαια παρατηρείται το 2002 όπου η συγκέντρωση CO (Σχήμα 6.50) υπερβαίνει αυτή του Βόλου.
- Για το SO₂ (Σχήμα 6.60), για τα έτη 2001-2004 η Θεσσαλονίκη και η Πάτρα εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές από την Αθήνα. Διαχρονικά όμως οι τιμές αυτές παρουσιάζουν μεγάλη πτώση.
- Για το O₃ (Σχήμα 6.63), σε αντίθεση με τους άλλους ρύπους, οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στις μικρότερες πόλεις, στο Ηράκλειο (2002-2003) και το Βόλο. Ειδικά οι τιμές του Ηρακλείου υπερβαίνουν ακόμα και τα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2003) , ενώ οι τιμές στα μεγαλύτερα αστικά κέντρα όπως η Αθήνα κυμαίνονται κάτω από 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Για τα PM₁₀ (Σχήμα 6.64), όλες οι πόλεις παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές που τα περισσότερα έτη υπερβαίνουν και την οριακή τιμή των 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ γενικά ανά έτος αλλάζει η κατάταξη των πόλεων ως προς τη μέγιστη συγκέντρωση.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές στην Ελλάδα συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τον τρόπο που αυτές οι περιοχές διαμορφώθηκαν μέσω της άναρχης και ευκαιριακής εισροής πληθυσμού (Θεοχάρη, 2005). Η για διάφορους λόγους έλλειψη προγραμματισμού οδήγησε στη διόγκωση των πόλεων κατά τρόπο αυθαίρετο τόσο από πολεοδομική όσο και από λειτουργική άποψη, με κορυφαίο παράδειγμα την Αθήνα, με αποτέλεσμα τα περιβαλλοντικά προβλήματα και κυρίως τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης να μεγεθυνθούν και να γίνουν οξύτερα.

Πέρα από την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και τη συμβολή του τομέα των μεταφορών, η επιδείνωση της ρύπανσης έχει να κάνει και με άλλες παραμέτρους. Τα

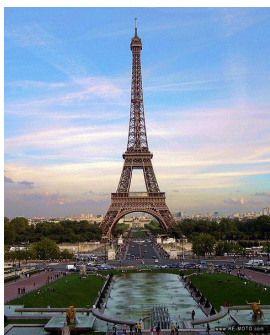
κλιματολογικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τη δυσμενή, από την άποψη της δυνατότητας διάχυσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τοπογραφία αποτελούν παράγοντες επιδείνωσης του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, το κλίμα της Ελλάδας, χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλιοφάνεια και θερμοκρασία, συνθήκες που ευνοούν ιδιαίτερα την φωτοχημική ρύπανση. Παράλληλα, η παρουσία ορεινών όγκων, σε συνδυασμό με την γειτνίαση της θάλασσας, που οδηγεί 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. Όσον αφορά στην Αθήνα το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα αισθητό όταν επικρατούν νότιοι άνεμοι.

Σημαντικότατο ρόλο στην διαμόρφωση των επιπέδων ρύπανσης διαδραματίζει επίσης η ταχύτητα του ανέμου και οι θερμοκρασιακές αναστροφές, καθώς η χαμηλή ταχύτητα του ανέμου που παρατηρείται στις ενδιάμεσες εποχές του έτους αποτρέπει τη διασπορά των ρύπων, ενώ οι θερμοκρασιακές αναστροφές κυρίως οι πρωινές, διάρκειας συνήθως λίγων ωρών που στην Αττική εμφανίζονται με συχνότητα περίπου μια στις δύο μέρες, συνδέονται με την εμφάνιση πρωινής αιχμής στην ρύπανση (Θεοχάρη, 2005).

Όσον αφορά την πόλη του Ηρακλείου, η οποία βρίσκεται στην Κρήτη, πρέπει να τονίσουμε ότι για τα υψηλά επίπεδα όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων που καταγράφονται, εκτός από τις πηγές ρύπανσης που υπάρχουν στην περιοχή, σημαντικό ρόλο παίζει η διασυνοριακή μεταφορά των ρύπων (Mihalopoulos et al., 1997; Grivas et al., 2008). Σε αυτό συμβάλλει η θέση του νησιού, νότια της οποίας βρίσκεται η Αφρική από την οποία μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες σωματιδίων (σκόνης από τις ερήμους ή από πηγές καύσης), ενώ βόρεια βρίσκεται η ηπειρωτική Ευρώπη στην οποία λαμβάνουν χώρα πολλές ρυπογόνες δραστηριότητες (βιομηχανίες, αγροτικές καλλιέργειες, μεγάλα αστικά κέντρα). Στην αύξηση των συγκεντρώσεων συνεισφέρουν και η ύπαρξη της θάλασσας (παραγωγή θαλάσσιων αεροζόλ) αλλά και τα υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας (έντονη φωτοχημική δραστηριότητα). Επίσης, η συγκέντρωση του όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτώνται από τη διεύθυνση των ανέμων, οι οποίοι μπορεί να επηρεάσουν τις συγκεντρώσεις τους. Στην Κρήτη, συνήθως οι Νότιοι άνεμοι ευνοούν την αύξηση των συγκεντρώσεων σε αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα (είναι συχνά τα επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα - Sahara dust events), ενώ οι Βόρειοι άνεμοι ευνοούν την αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος (μεταφορά κυρίως από την Β.Α. Ευρώπη) (Mihalopoulos et al., 1997).

6.5 Αστική περιοχή μελέτης: Παρίσι

6.5.1 Γενικές πληροφορίες



Το Παρίσι, γνωστό και ως η Πόλη του Φωτός, είναι η πρωτεύουσα της Γαλλίας και της περιφέρειας Île-de-France και μία από τις ιστορικότερες πόλεις της Ευρώπης. Το Παρίσι περιλαμβάνει την πόλη του Παρισιού και τα περίχωρα και βρίσκεται σε ένα λεκανοπέδιο.

Το Παρίσι είναι κτισμένο στο κέντρο του λεκανοπεδίου του Παρισιού, κατά μέσο όρο 65 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Η πόλη του Παρισιού περιβάλλεται από μεγάλα δάση, ενώ ο ποταμός Σηκουάνας, που χωρίζει το Παρίσι σε δύο άνισες όχθες, συνδέει την πόλη με το εσωτερικό της Γαλλίας. Η έκταση της πόλης φτάνει τα 105,4 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ενώ ολόκληρη η αστική περιοχή ξεπερνά τα 2.723 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Ο πληθυσμός της πόλης ανέρχεται στα 2.203.817 κατοίκους (απογραφή 1^η Ιανουαρίου 2007), ενώ μαζί με τα περίχωρα, ο πληθυσμός της αστικής περιοχής δηλαδή, αγγίζει τα 10.197.678 κατοίκους περίπου (Demographia, 2010), που την καθιστούν ως μια από τις μεγαλύτερες πληθυσμιακά πόλεις στην Ευρώπη. Επίσης, το Παρίσι είναι το μεγαλύτερο οικονομικό κέντρο μαζί με το Λονδίνο στην Ευρώπη και προσελκύει κάθε χρόνο εκατομμύρια τουρίστες από όλο τον κόσμο.



Η πόλη διαθέτει πυκνό δίκτυο μετρό, το οποίο συνδέεται με προαστιακά και περιφερειακά δίκτυα. Επίσης περιβάλλεται από πυκνό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων, οι οποίοι την συνδέουν με κάθε σημείο της επικράτειας.

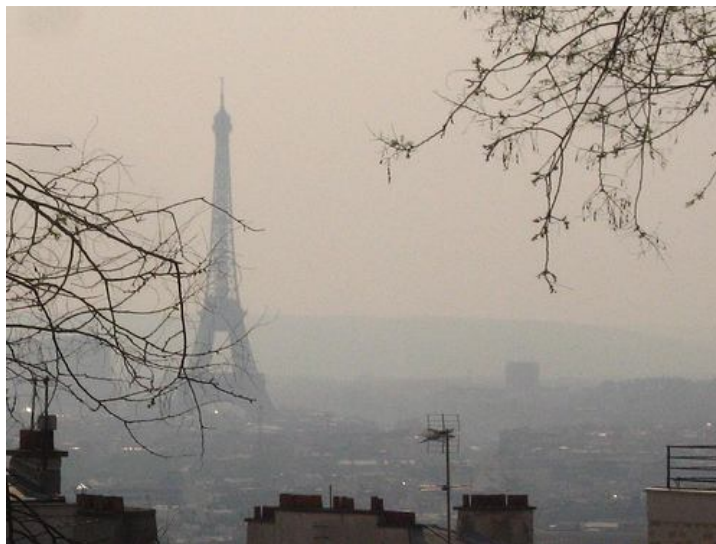
Η τοπογραφία της μητροπολιτικής περιοχής (χαμηλό υψόμετρο) σε συνδυασμό με το εύκρατο κλίμα, το οποίο είναι κυρίως ωκεάνιο (βροχοπτώσεις, άνεμοι) αλλά και ηπειρωτικό περιστασιακά, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τη διασπορά και έκπλυση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Παρόλα αυτά η κατάσταση αντισταθμίζεται από τη μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού και τις δραστηριότητες στην πόλη.

6.5.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

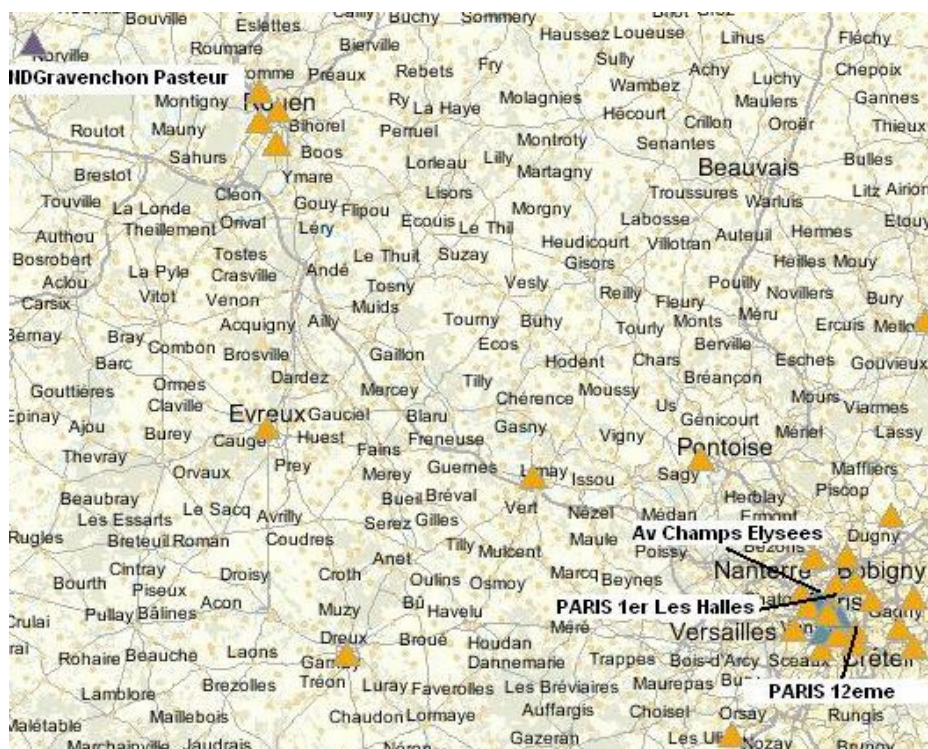
Στο χάρτη του Σχήματος 6.65 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα που έχει αναλάβει τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων στο Παρίσι.

Για να αποδοθούν γραφικά οι χρονικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων για τα έτη 1999 έως 2008, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ετήσιες τιμές από πέντε σταθμούς μέτρησης διαφορετικού τύπου:

- Av Champs Elysees (αστικός – κυκλοφορίας)
- PARIS 1er Les Halles και PARIS 12eme (αστικοί – υποβάθρου)
- NDGravenchon Pasteur (αστικός – βιομηχανικός)
- REVIN (υποβάθρου)

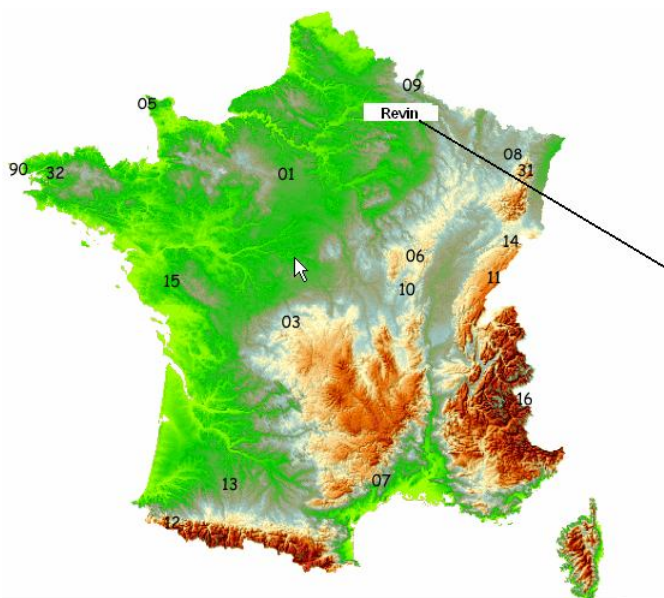


Εικόνα 6.7 Αιθαλομίχλη στο Παρίσι, Άνοιξη 2007 (Πηγή Flickr).



Airbase Viewer Data – European Environment Agency (EEA)

Σχήμα 6.65 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Παρισιού που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ο αστικός-βιομηχανικός σταθμός βρίσκεται εκτός Παρισιού).



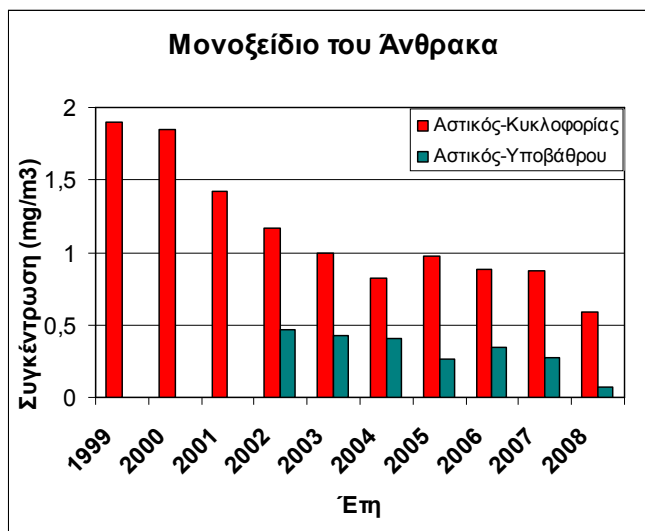
Σχήμα 6.66 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης EMEP Γαλλίας (CCC).



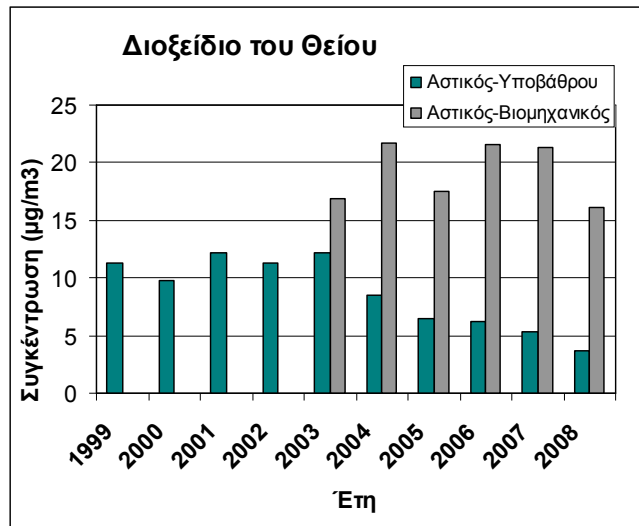
Εικόνα 6.8 Σταθμός Υποβάθρου Revin (FR09) (EMEP).

6.5.3 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

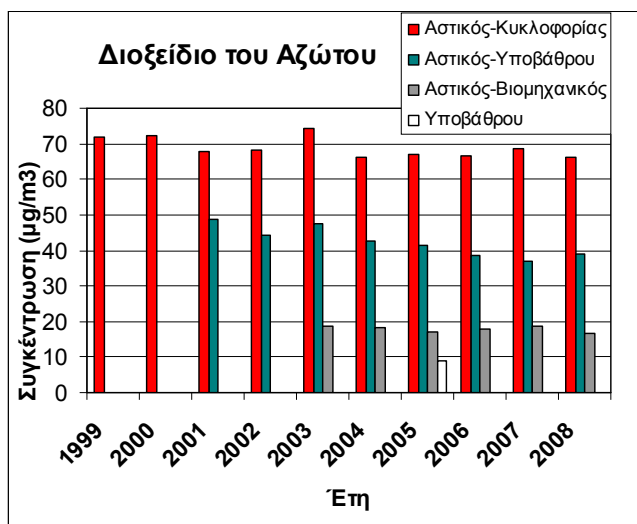
Στο Παράρτημα Ι, δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



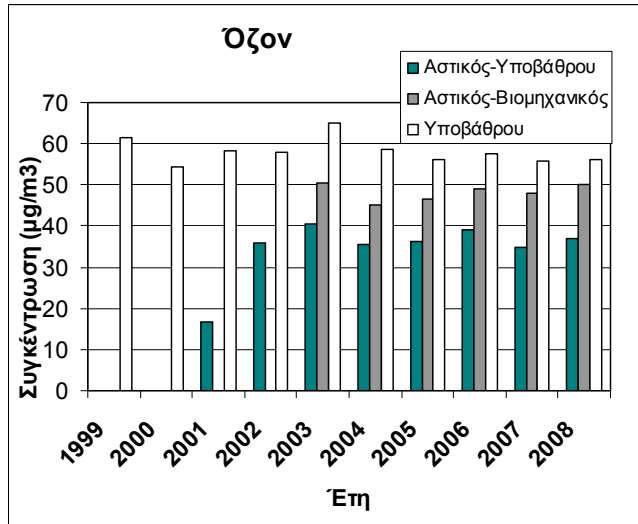
Σχήμα 6.67 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m³.



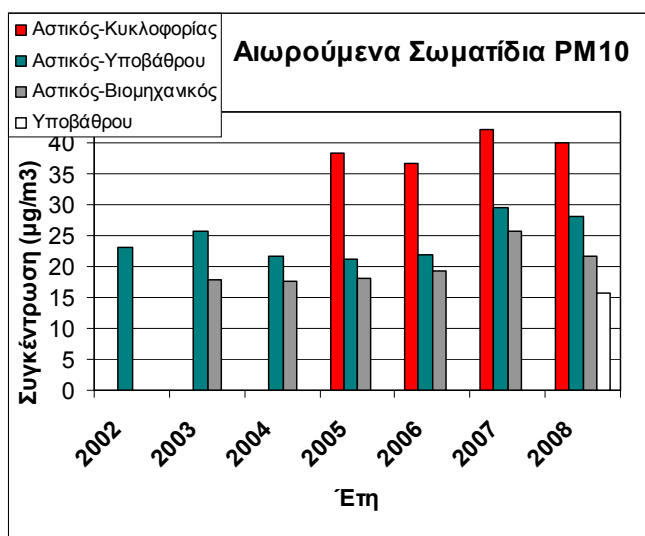
Σχήμα 6.68 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε µg/m³.



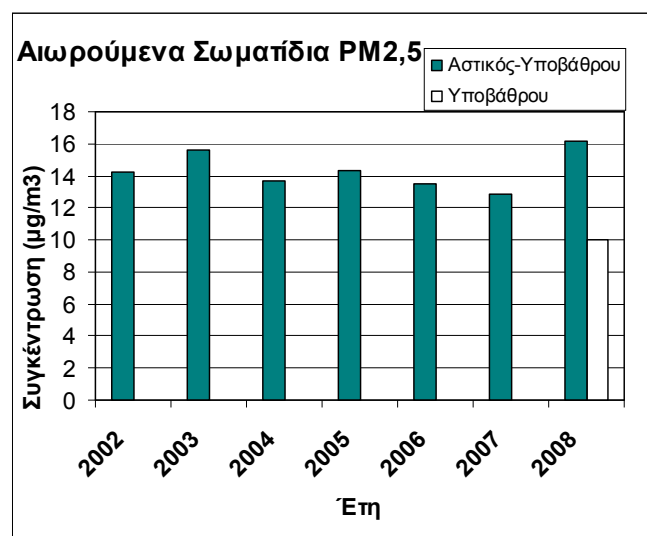
Σχήμα 6.69 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε µg/m³.



Σχήμα 6.70 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών O₃ σε µg/m³.



Σχήμα 6.71 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.72 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών $PM_{2,5}$ σε $\mu g/m^3$.

Από τα Σχήματα παρατηρούμε τα εξής: Για το CO και το SO₂ (Σχήματα 6.67, 6.68) υπάρχει τάση μείωσης στις συγκεντρώσεις του αστικού – κυκλοφορίας, αλλά και του αστικού – υποβάθρου που κυμαίνονται σε πιο χαμηλά επίπεδα. Είναι χαρακτηριστικές οι πολύ υψηλές τιμές για το SO₂ στο βιομηχανικό σταθμό, αφού η βιομηχανία αποτελεί μία από τις κύριες πηγές εκπομπής του, οι οποίες δεν ακολουθούν την πτωτική τάση του σταθμού αστικού υποβάθρου.

Για το NO₂ (Σχήμα 6.69), παρατηρείται γενικά μία σταθερότητα στις τιμές, οι οποίες στο σταθμό κυκλοφορίας υπερβαίνουν κατά πολύ το όριο ποιότητας για τη μέση ετήσια τιμή (40 $\mu g/m^3$), με τη μέγιστη τιμή να παρατηρείται το 2003.

Για το O₃ (Σχήμα 6.70), από το 2003 και μετά παρατηρείται μία τάση σταθεροποίησης. Οι σταθμοί υποβάθρου κυμαίνονται σε αρκετά πιο χαμηλά επίπεδα από τους αστικούς – υποβάθρου. Επίσης και ο βιομηχανικός σταθμός εμφανίζει πιο μικρές τιμές από το σταθμό υποβάθρου. Η πολύ υψηλή τιμή συγκέντρωσης του 2003 είναι πιθανό να οφείλεται στο κύμα καύσωνα που έπληξε την πόλη το καλοκαίρι του ίδιου έτους (έντονη φωτοχημική δραστηριότητα).

Για τα PM_{10} (Σχήμα 6.71) παρατηρείται μία άνοδος στις συγκεντρώσεις, που τα δύο τελευταία έτη υπερβαίνει την ετήσια οριακή τιμή (40 $\mu g/m^3$) στους σταθμούς κυκλοφορίας, ενώ για τα $PM_{2,5}$ (Σχήμα 6.72), οι τιμές των σταθμών δε υπερβαίνουν την τιμή-στόχο (25 $\mu g/m^3$).

6.6 Αστική περιοχή μελέτης: Βερολίνο

6.6.1 Γενικές πληροφορίες

Το Βερολίνο είναι η πρωτεύουσα και η μεγαλύτερη σε έκταση (891.82 km²) και πληθυσμό πόλη της Γερμανίας, ενώ αποτελεί και κρατίδιο της γερμανικής ομοσπονδίας. Βρίσκεται στην ανατολική περιοχή της Γερμανίας, περίπου 70 χλμ. από τα σύνορα με την Πολωνία, σε εκτάσεις με επίπεδα υδατοφόρα εδάφη. Ως προς τον πληθυσμό είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης μετά το Λονδίνο. Το Βερολίνο αποτελεί σημαντικό κόμβο συγκοινωνίας όπως και οικονομικό και πολιτισμικό κέντρο με πολυάριθμα πανεπιστήμια και αρχιτεκτονικά μνημεία.



Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία (30 Σεπτεμβρίου 2008), η πόλη του Βερολίνου έχει πληθυσμό 3.429.900 κατοίκων. Η ευρύτερη αστική περιοχή του Βερολίνου εκτείνεται και πέρα από τα διοικητικά όρια της πόλης και υπολογίζεται ότι φιλοξενεί συνολικά 3,7 εκατομμύρια κατοίκους (Demographia, 2010), ενώ η μητροπολιτική περιοχή Βερολίνου - Βραδεμβούργου περίπου 4,3 εκατομμύρια.



Το Βερολίνο χαρακτηρίζεται από εύκρατο μεσόθερμο κλίμα. Η οικιστική περιοχή του Βερολίνου, δημιουργεί ένα μικροκλίμα, με τη θερμότητα να αποθηκεύεται από τα κτίρια της πόλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία να είναι 4 °C υψηλότερη στην πόλη σε σχέση με τη γύρω περιοχή.

6.6.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

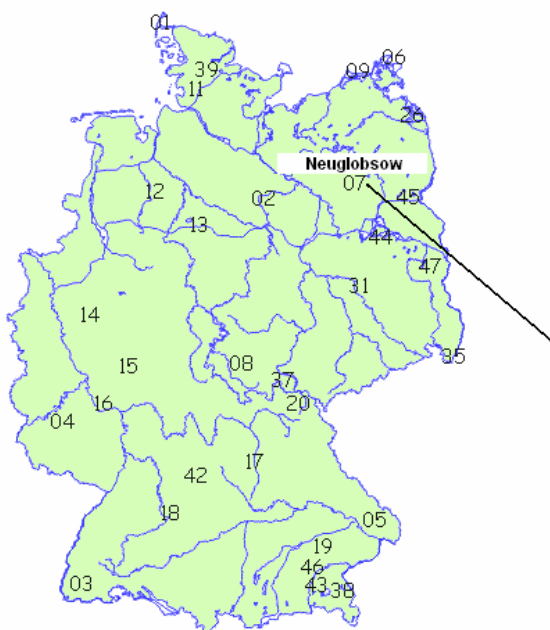
Στο χάρτη του Σχήματος 6.73 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα που έχει αναλάβει τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων στο Βερολίνο.

Για να αποδοθούν γραφικά οι χρονικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων για τα έτη 1999 έως 2008, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ετήσιες τιμές από τέσσερις σταθμούς μέτρησης διαφορετικού τύπου:

- B Friedrichshain-Frankfurter Allee (αστικός – κυκλοφορίας)
- B Neukölln-Nansenstraße (αστικός – υποβάθρου)
- Hamburg Billbrook (αστικός – βιομηχανικός)
- Neuglobsow (υποβάθρου)



Σχήμα 6.73 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Βερολίνου που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ο αστικός-βιομηχανικός βρίσκεται εκτός Βερολίνου).



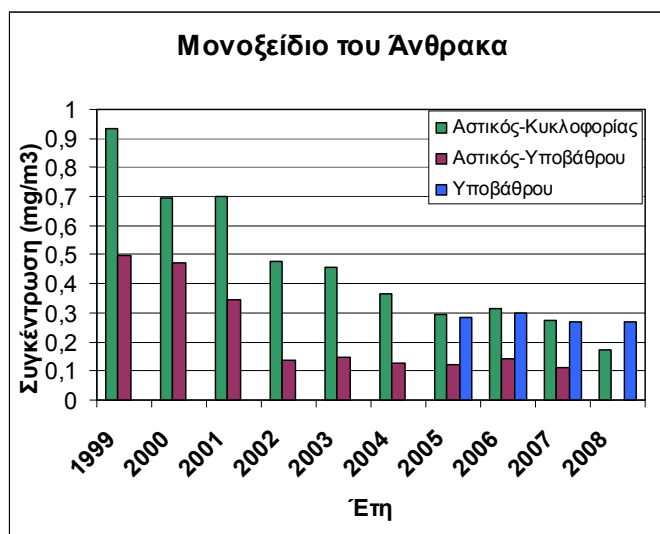
Σχήμα 6.74 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης EMEP Γερμανίας (CCC).



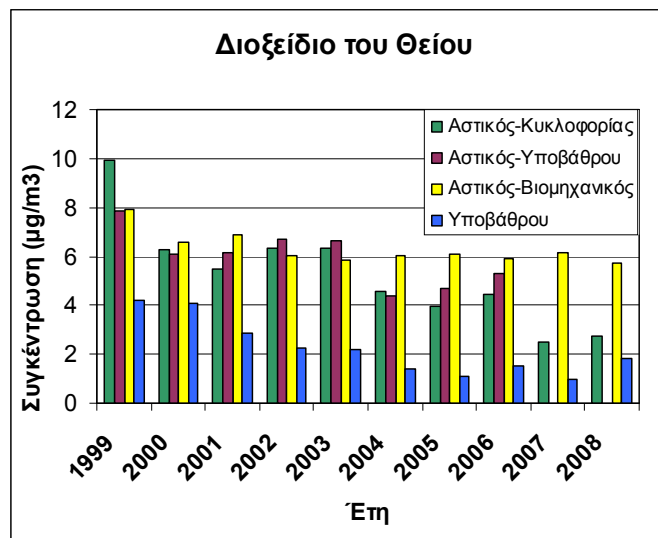
Εικόνα 6.9 Σταθμός Υποβάθρου Neuglobsow (DE07) (EMEP).

6.6.3 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

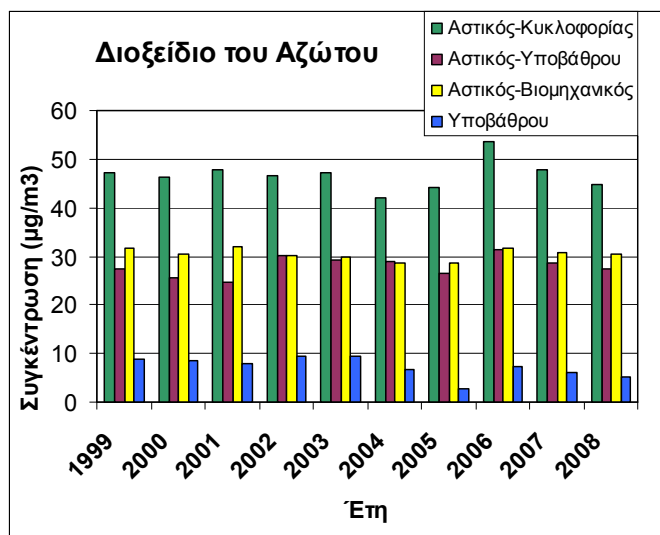
Στο Παράρτημα Ι δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



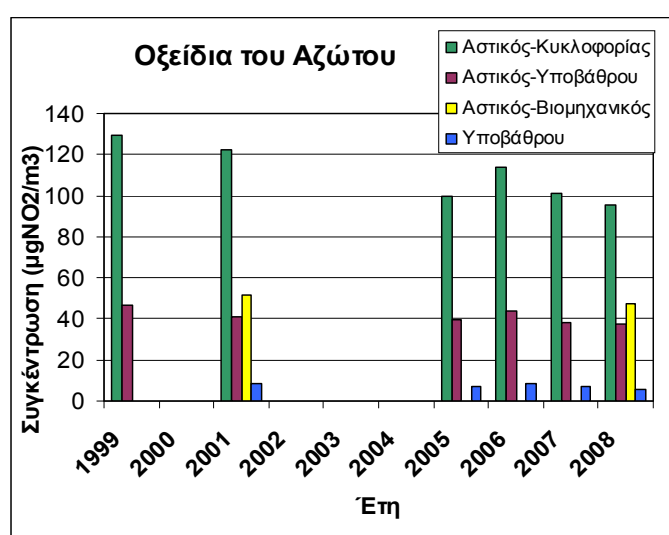
Σχήμα 6.75 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m³.



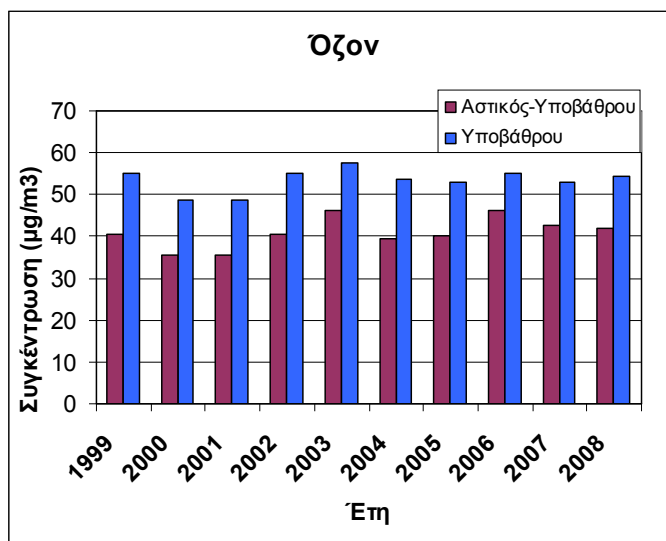
Σχήμα 6.76 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε μg/m³.



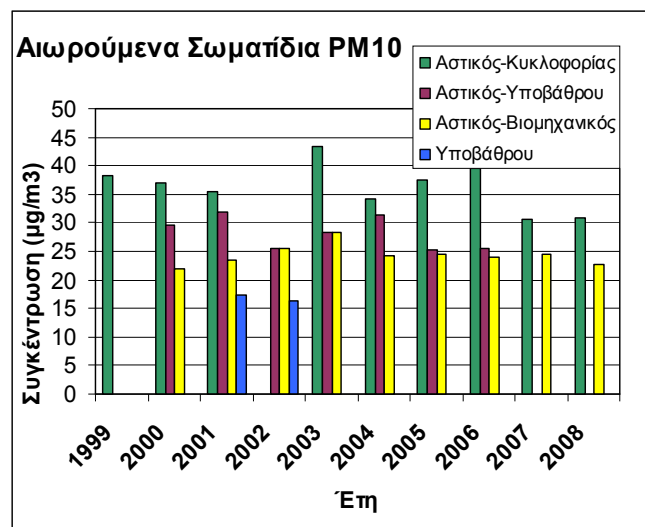
Σχήμα 6.77 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε μg/m³.



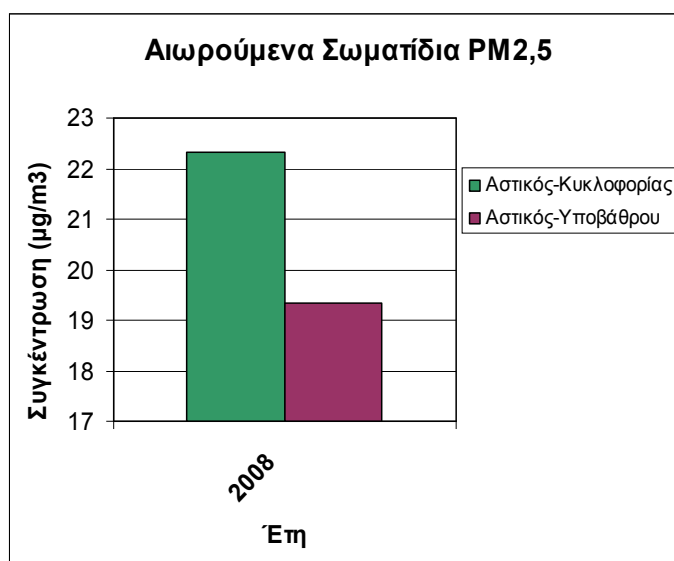
Σχήμα 6.78 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_x σε μg NO₂/m³.



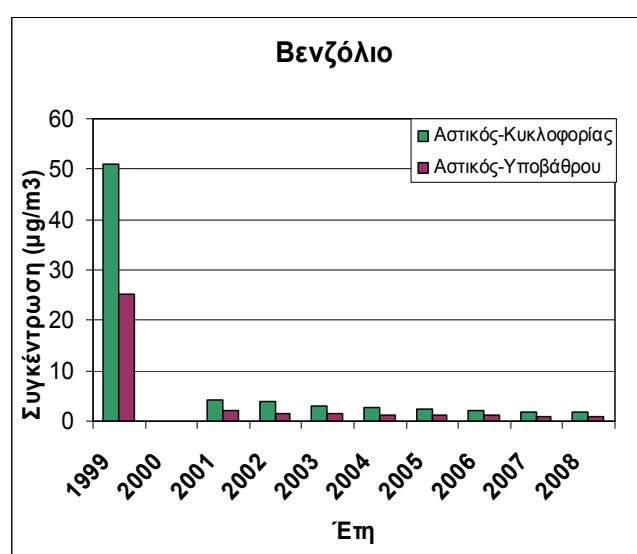
Σχήμα 6.79 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O_3 σε $\mu g/m^3$.



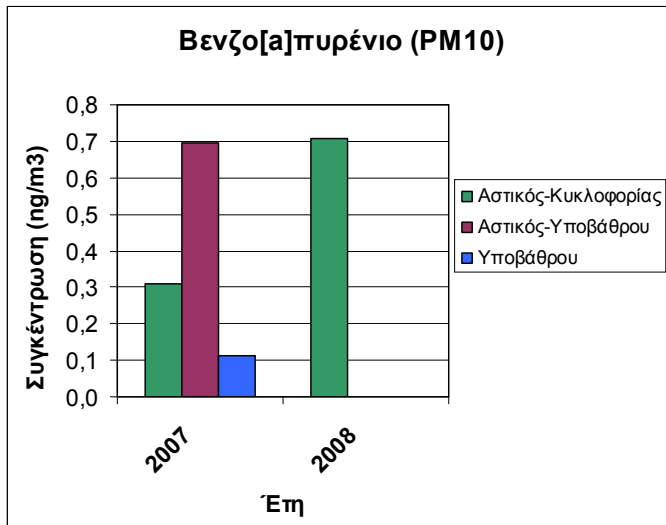
Σχήμα 6.80 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu g/m^3$.



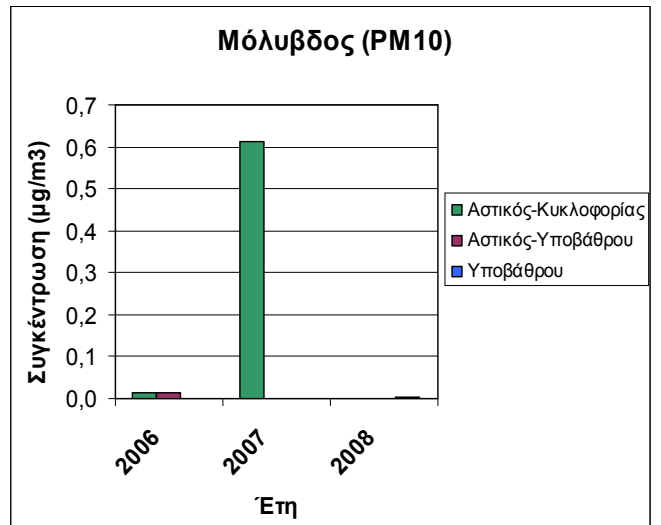
Σχήμα 6.81 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu g/m^3$.



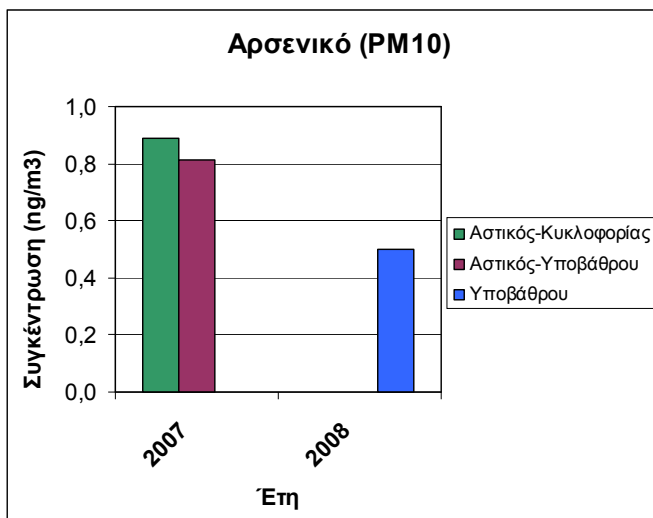
Σχήμα 6.82 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών βενζολίου σε $\mu g/m^3$.



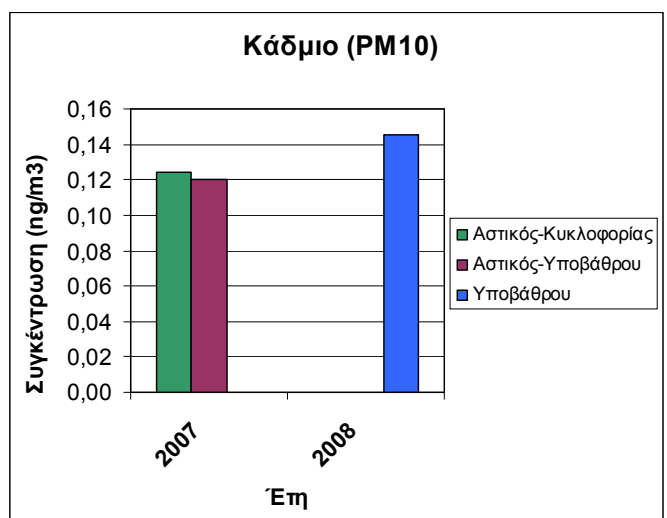
Σχήμα 6.83 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών βενζο(α)πυρένιου σε ng/m^3 .



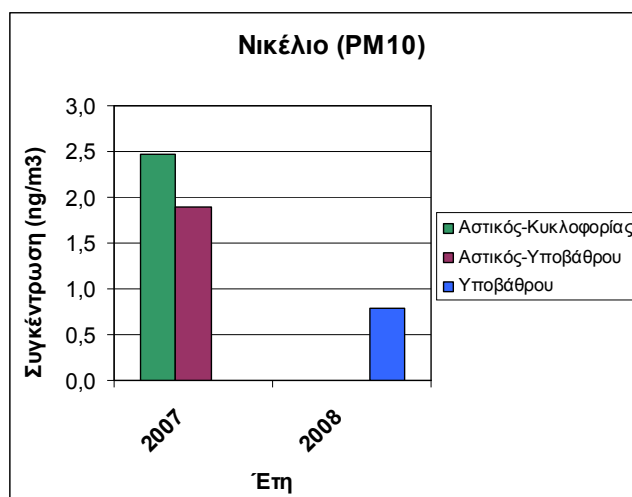
Σχήμα 6.84 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών μολύβδου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 6.85 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών αρσενικού σε ng/m^3 .



Σχήμα 6.86 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών κάδμιου σε ng/m^3 .



Σχήμα 6.87 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών νικελίου σε ng/m^3 .

Από τα Σχήματα παρατηρούμε τα εξής:

Για το CO (Σχήμα 6.75), παρατηρείται σταθερή μείωση στις συγκεντρώσεις, που συνδέεται με τη μείωση των εκπομπών. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι τιμές του σταθμού υποβάθρου κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτές του αστικού – κυκλοφορίας και μάλιστα το 2008, η μέση ετήσια συγκέντρωση του σταθμού υποβάθρου ξεπερνάει αυτή του σταθμού κυκλοφορίας.

Για το SO_2 (Σχήμα 6.76), υπάρχει γενικά τάση μείωσης, με εξαίρεση τις τιμές του βιομηχανικού σταθμού που από το 2002 που παρουσιάζουν μία σταθερότητα.

Για τα NO_x (Σχήμα 6.78), για τα οποία έχουμε δεδομένα για λιγότερα έτη από ότι για το NO_2 , μετά από μία μικρή αύξηση στις συγκεντρώσεις το 2006, ακολουθεί μία μείωση τα τελευταία χρόνια. Αυτό δε συμβαίνει με τις τιμές του βιομηχανικού σταθμού που εμφανίζει μία τάση σταθεροποίησης.

Για το NO_2 (Σχήμα 6.77) παρατηρείται η ίδια μεταβολή, με τις τιμές του αστικού σταθμού κυκλοφορίας να υπερβαίνουν το όριο ασφαλείας των $40 \mu\text{g/m}^3$ όλα τα έτη (1999-2008). Η μέγιστη συγκέντρωση εμφανίζεται το 2006 και η οποία πιθανόν οφείλεται σε εντονότερη φωτοχημική δραστηριότητα το έτος αυτό.

Για το O_3 (Σχήμα 6.79), δεν παρατηρείται κάποια σαφής τάση στις τιμές. Όσον αφορά τον τύπο του σταθμού, οι συγκεντρώσεις του σταθμού υποβάθρου είναι σταθερά υψηλότερες από τις τιμές του σταθμού αστικού υποβάθρου. Και στην πόλη αυτή, η μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται το 2003.

Για τα PM_{10} (Σχήμα 6.80), παρατηρούμε γενικά αυξομειώσεις στις τιμές, με τη μέγιστη να σημειώνεται το 2003 στον αστικό σταθμό κυκλοφορίας. Αυτή είναι και η μόνη τιμή για την οποία έχουμε υπέρβαση του ορίου ($40 \mu g/m^3$) για τη μέση ετήσια τιμή. Από το 2006 και μετά ο σταθμός αυτός παρουσιάζει πτωτική τάση.

Για τα $PM_{2,5}$ (Σχήμα 6.81), οι τιμές των σταθμών για το μοναδικό έτος (2008) που έχουμε στοιχεία κυμαίνονται σε επίπεδα χαμηλότερα της τιμής-στόχου των $25 \mu g/m^3$.

Για το βενζόλιο (Σχήμα 6.82), η πτώση που παρατηρείται από το 1999 στο 2001 είναι της τάξης του 90%. Η τάση μείωσης διατηρείται και τα επόμενα χρόνια με τις τιμές των σταθμών να παραμένουν κάτω από το όριο των $5 \mu g/m^3$.

Για το βενζο(α)πυρένιο (Σχήμα 6.83) και τα βαρέα μέταλλα (Σχήματα 6.84-87) η χρονική διάρκεια των μετρήσεων είναι μικρή, οπότε η τάση δε θεωρείται αντιπροσωπευτική. Αυτό που μπορούμε να διαπιστώσουμε όμως, είναι ότι οι συγκεντρώσεις τους βρίσκονται κάτω από τα όρια ασφαλείας.

6.7 Αστική περιοχή μελέτης: Στοκχόλμη

6.7.1 Γενικές πληροφορίες

Η Στοκχόλμη είναι η πρωτεύουσα της Σουηδίας. Βρίσκεται στην ανατολική ακτή της χώρας και στην είσοδο της λίμνης Μέλαρεν. Το όνομά της σημαίνει «πόλη ανάμεσα σε γέφυρες». Τα κεντρικά μέρη της πόλης περιλαμβάνουν δεκατέσσερα νησιά και τις όχθες του αρχιπελάγους όπου η Λίμνη Μέλαρεν συναντά την Βαλτική Θάλασσα. Ενώνονται μεταξύ τους με 53 γέφυρες. Το κέντρο της πόλης είναι κατ' ουσίαν τοποθετημένο πάνω στο νερό, επί του κόλπου Ρινταρφγέρντεν.



Η αστική περιοχή (377.30 km^2) της Στοκχόλμης εκτείνεται σε 11 δήμους εντός της Επαρχίας της Στοκχόλμης. Ο πληθυσμός της πόλης ανέρχεται σε 829.417 κατοίκους (απογραφή 31^{ης} Δεκεμβρίου 2009), ενώ της ευρύτερης αστικής περιοχής είναι 1.252.020 κάτοικοι (Demographia, 2010).

Λόγω του βόρειου γεωγραφικού πλάτους της πόλης, η ηλιοφάνεια ανά ημέρα κυμαίνεται από 18 ώρες περίπου το καλοκαίρι έως 6 περίπου μόνο ώρες στα τέλη Δεκεμβρίου. Παρά την βόρεια γεωγραφική της θέση, η Στοκχόλμη έχει σχετικά ήπιες καιρικές συνθήκες.

Πρότυπη περιβαλλοντική πόλη

Η Στοκχόλμη επιλέχθηκε ως η πρώτη Ευρωπαϊκή Πράσινη Πρωτεύουσα για το 2010 (EU, 2010) με τον ιδιαίτερα φιλόδοξο στόχο του αποχαιρετισμού των ορυκτών καυσίμων μέχρι το 2050, ενώ θα ακολουθήσει το Αμβούργο το 2011. Η πόλη διαθέτει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης που διασφαλίζει την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών παραμέτρων στον προϋπολογισμό της πόλης, τον χωροταξικό σχεδιασμό, την υποβολή αναφορών και την παρακολούθηση. Επιπλέον, η εφαρμογή ενός πρωτοποριακού συστήματος αποθάρρυνσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης, είχε ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της χρήσης των αυτοκινήτων και την αύξηση της χρήσης των δημόσιων μέσων μεταφοράς. Ένα από τα μέτρα που κατόρθωσε να μειώσει την κυκλοφορία των ΙΧ. κατά 22%, ήταν το σύστημα διοδίων για

την πρόσβαση στο κέντρο που επέβαλε η σουηδική πρωτεύουσα το 2007. Το μέτρο αυτό επέφερε μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά 14% (European Union, 2010).

6.7.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στο χάρτη του Σχήματος 6.88 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα που έχει αναλάβει τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων στη Στοκχόλμη.

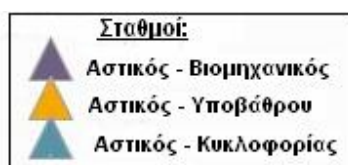
Για να αποδοθούν γραφικά οι χρονικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων για τα έτη 1999 έως 2008, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ετήσιες τιμές από τρεις σταθμούς μέτρησης διαφορετικού τύπου:

- Hornsgatan (αστικός – κυκλοφορίας)
- Södermalm (αστικός – υποβάθρου)
- Aspvreten (υποβάθρου)

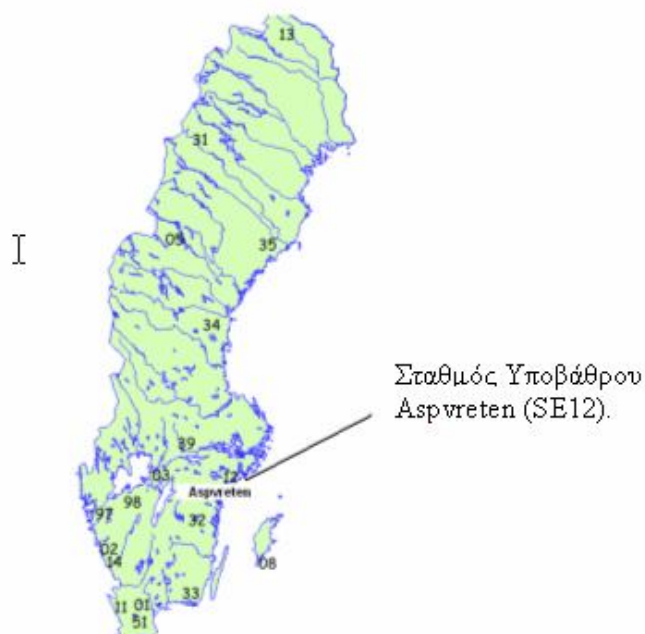
Δε λειτουργεί αστικός – βιομηχανικός σταθμός μέτρησης.



Airbase Viewer Data – European Environment Agency (EEA)



Σχήμα 6.88 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Στοκχόλμης που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

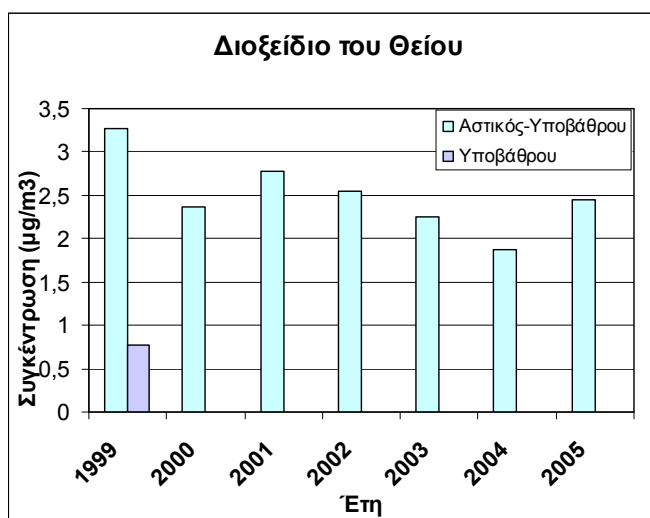
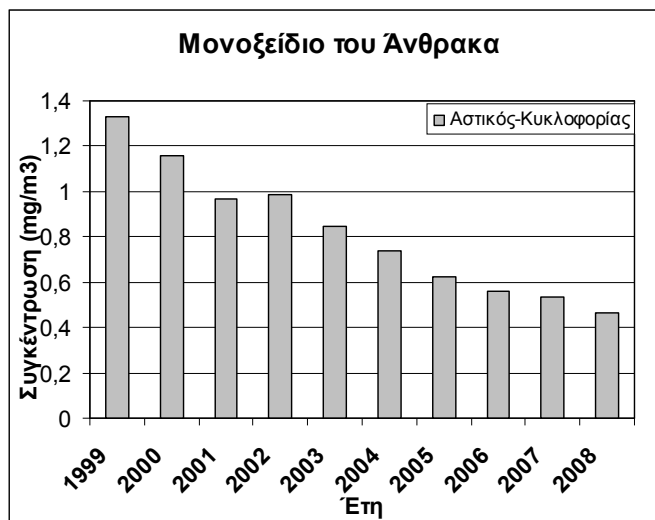


Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης EMEP Σουηδίας

Σχήμα 6.89 (CCC).

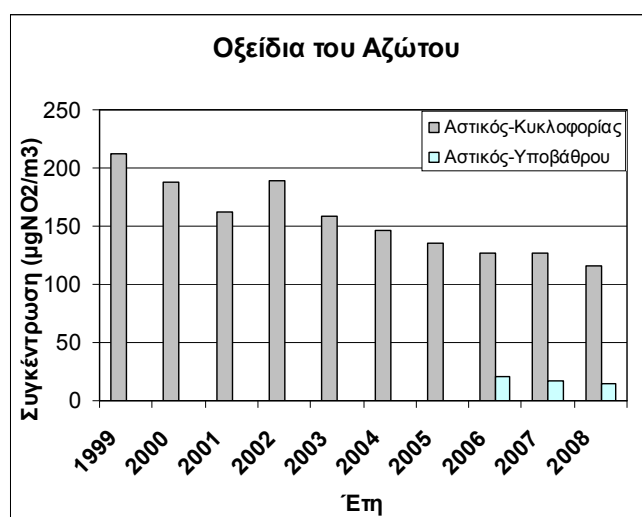
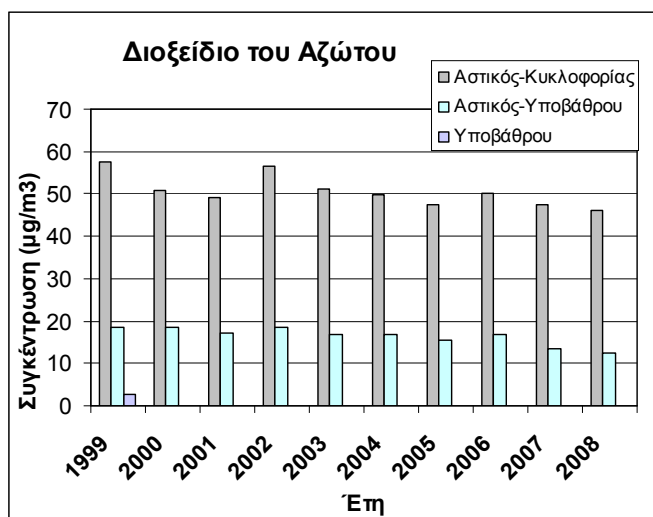
6.7.3 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

Στο Παράρτημα Ι, δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



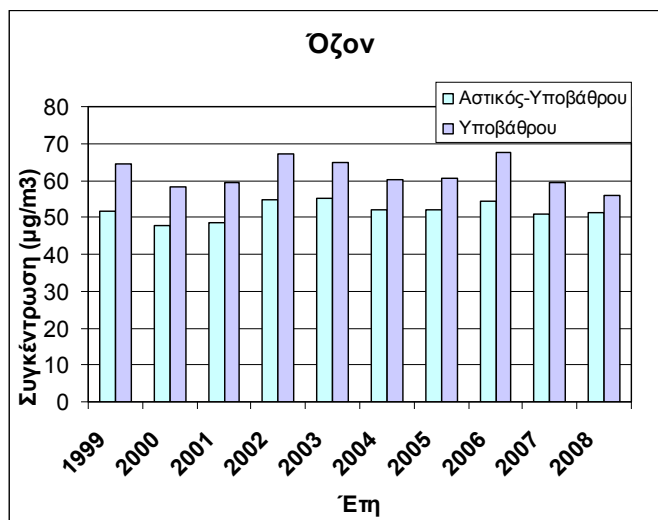
Σχήμα 6.90 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m^3 .

Σχήμα 6.91 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO_2 σε $µg/m^3$.

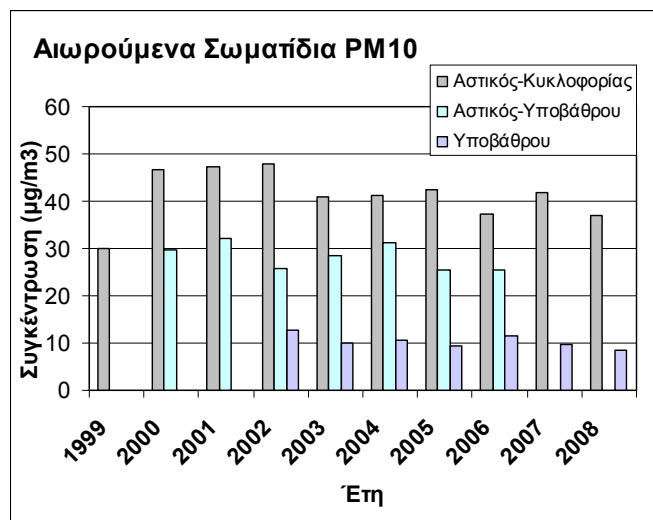


Σχήμα 6.92 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_2 σε $µg/m^3$.

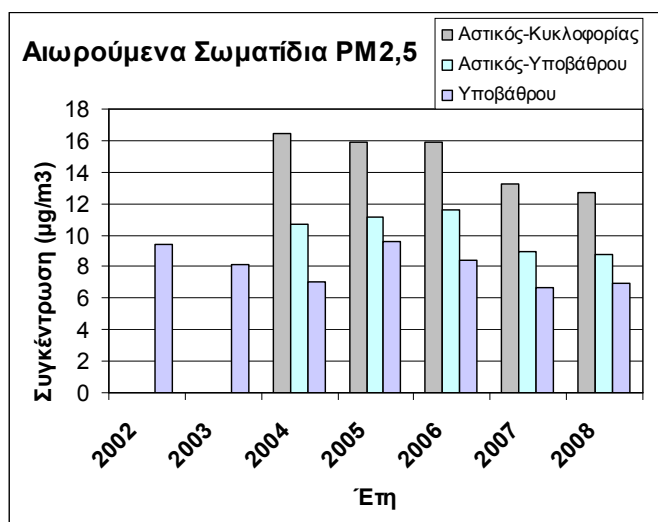
Σχήμα 6.93 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_x σε $µg NO_2/m^3$.



Σχήμα 6.94 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών O_3 σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.95 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.96 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών $PM_{2,5}$ σε $\mu g/m^3$.

Από τα Σχήματα παρατηρούμε τα εξής:

Για το CO (Σχήμα 6.90), υπάρχει μία σαφής τάση μείωσης των τιμών, όπως παρατηρούμε από τις συγκεντρώσεις του σταθμού κυκλοφορίας. Για το SO₂ (Σχήμα 6.91) όμως, εμφανίζεται μία αύξηση το 2005 στην συγκέντρωση του σταθμού αστικού υποβάθρου που ανακόπτει την πορεία μείωσης.

Για το NO₂ (Σχήμα 6.92), παρατηρείται γενικώς μία τάση σταθεροποίησης τα τελευταία χρόνια. Οι αστικοί σταθμοί κυκλοφορίας παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερες (της τάξης του 60%) τιμές σε σχέση με τους αστικούς – υποβάθρου, οι οποίες υπερβαίνουν το όριο των 40 μg/m³ για τη μέση ετήσια τιμή.

Για τα NO_x (Σχήμα 6.93), από το 2002 και μετά υπάρχει τάση μείωσης στις συγκεντρώσεις του σταθμού κυκλοφορίας, η οποία πιθανόν συνδέεται με τη μείωση του πρωτογενούς NO από τις ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής.

Για το O₃ (Σχήμα 6.94), παρατηρείται, γενικά μια τάση σταθεροποίησης των τιμών, με έντονη διακύμανση, σε μερικές περιπτώσεις, από έτος σε έτος.

Για τα PM₁₀ (Σχήμα 6.95), από το 2002 υπάρχει μείωση στις τιμές με μία τάση σταθεροποίησης. Οι συγκεντρώσεις του αστικού σταθμού κυκλοφορίας υπερβαίνουν την οριακή τιμή (40 μg/m³), ενώ οι τιμές του σταθμού υποβάθρου κυμαίνονται σε αρκετά πιο χαμηλά επίπεδα.

Για τα PM_{2,5} (Σχήμα 6.96), οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις και των τριών σταθμών, κυμαίνόμενες σε ασφαλή επίπεδα, ακολουθούν μειωτική τάση.

6.8 Αστική περιοχή μελέτης: Βουκουρέστι

6.8.1 Γενικές πληροφορίες



Το Βουκουρέστι είναι η πρωτεύουσα της Ρουμανίας και βρίσκεται στο νότιο τμήμα της, στις όχθες του ποταμού Ντιμπόβιτσα και Κολεντίνα. Το κλίμα της πόλης είναι ήπιο ηπειρωτικό. Ο πληθυσμός της βαλκανικής πρωτεύουσας ανέρχεται σε 1.944.367 κατοίκους (απογραφή 1^ης Ιανουαρίου 2010). Η ευρύτερη αστική περιοχή του Βουκουρεστίου (285 km²) αριθμεί 2.000.000 κατοίκους (Demographia, 2010).

Το εκτενές σύστημα δημόσιων συγκοινωνιών του Βουκουρεστίου είναι το τρίτο μεγαλύτερο στην Ευρώπη. Αποτελείται από το μετρό του Βουκουρεστίου, καθώς επίσης από λεωφορεία, τραμ, τρόλεϊ και τρένα.

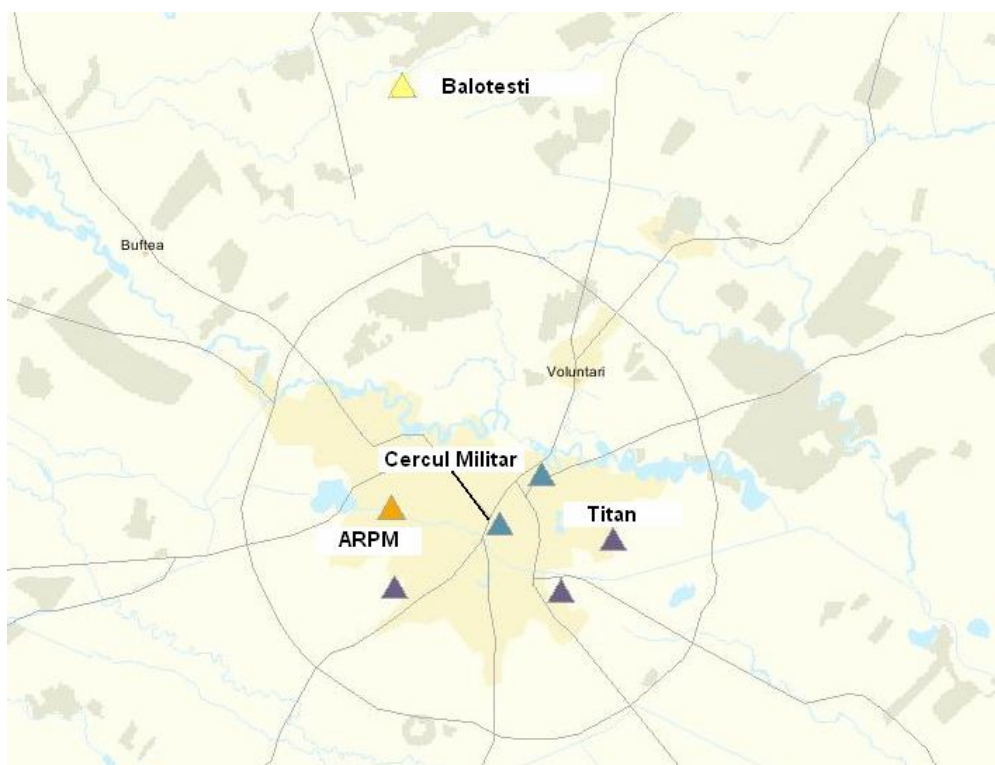


6.8.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στο χάρτη του Σχήματος 6.97 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα που έχει αναλάβει τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων στο Βουκουρέστι.

Για να αποδοθούν γραφικά οι χρονικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων για τα έτη 1999 έως 2008, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ετήσιες τιμές από τέσσερις σταθμούς μέτρησης διαφορετικού τύπου:

- Cercul Militar (αστικός – κυκλοφορίας)
- ARPM (αστικός – υποβάθρου)
- Titan (αστικός – βιομηχανικός)
- Balotesti (υποβάθρου)



Airbase Viewer Data – European Environment Agency (EEA)

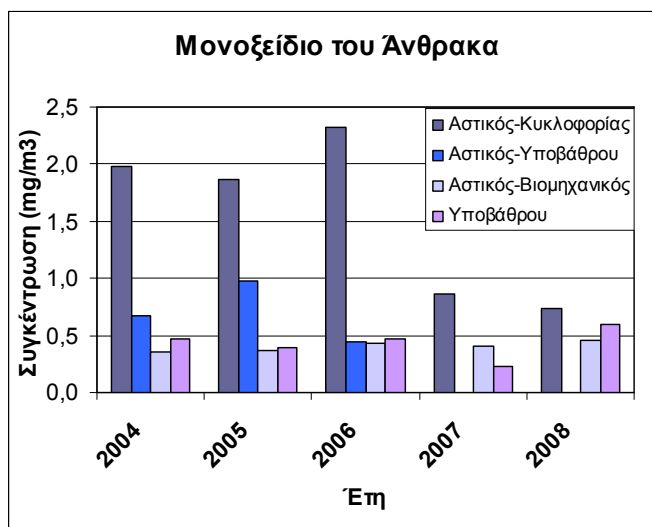
<u>Σταθμοί:</u>	
	Αστικός - Βιομηχανικός
	Αστικός - Υποβάθρου
	Αστικός - Κυκλοφορίας

	Υποβάθρου
---	-----------

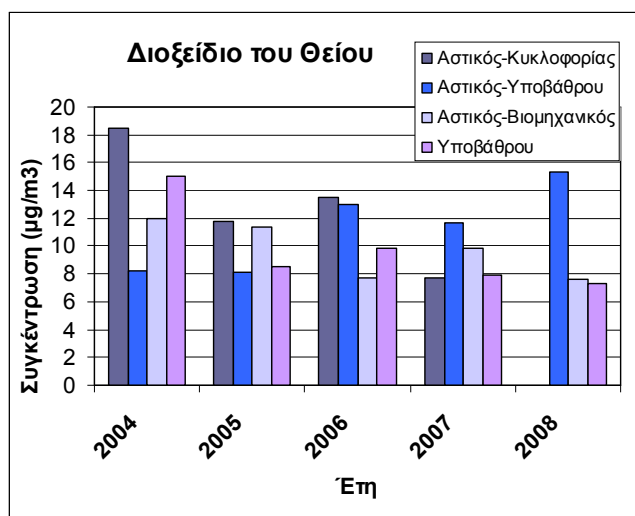
Σχήμα 6.97 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Βουκουρεστίου που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο σταθμός Υποβάθρου βρίσκεται εκτός Βουκουρεστίου (δεν ανήκει στο δίκτυο μέτρησης EMEP).

6.8.3 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

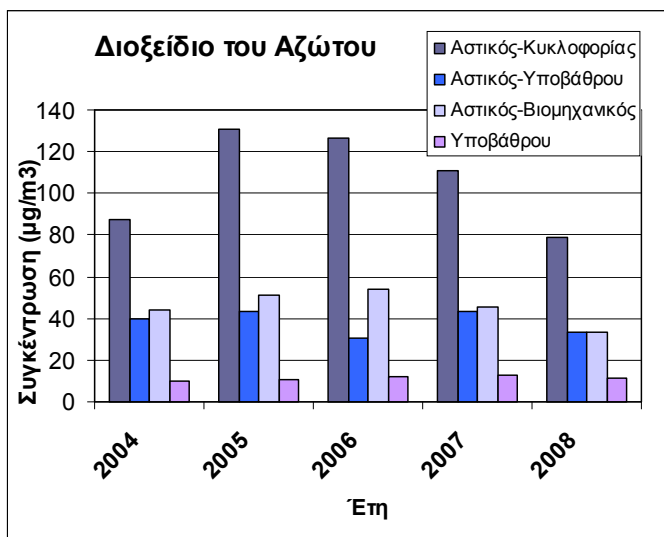
Στο Παράρτημα Ι δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών, των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



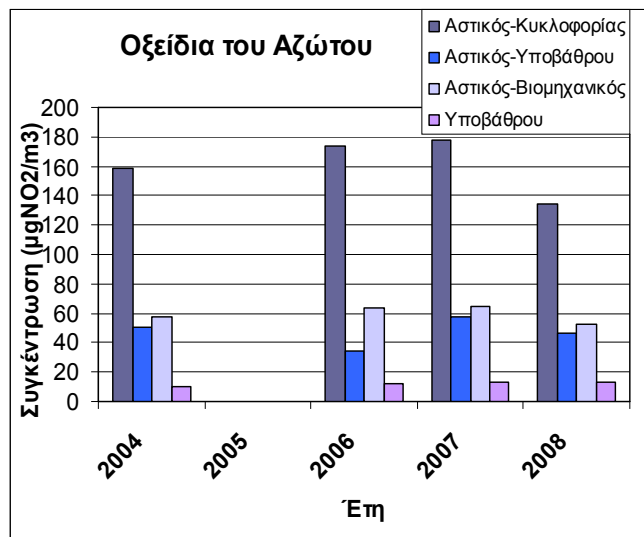
Σχήμα 6.97 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m^3 .



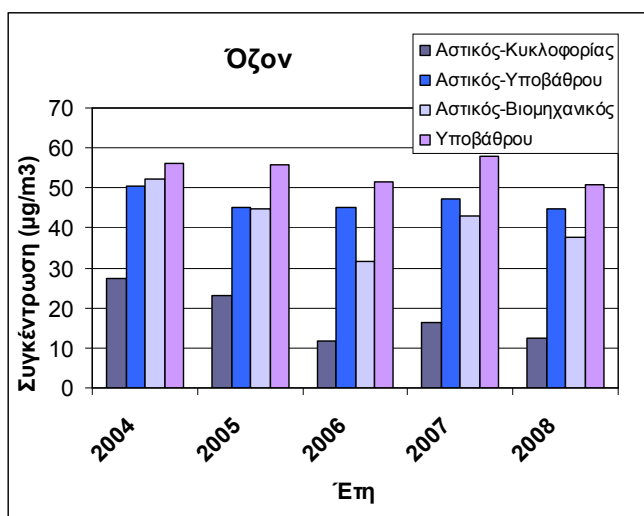
Σχήμα 6.98 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO_2 σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



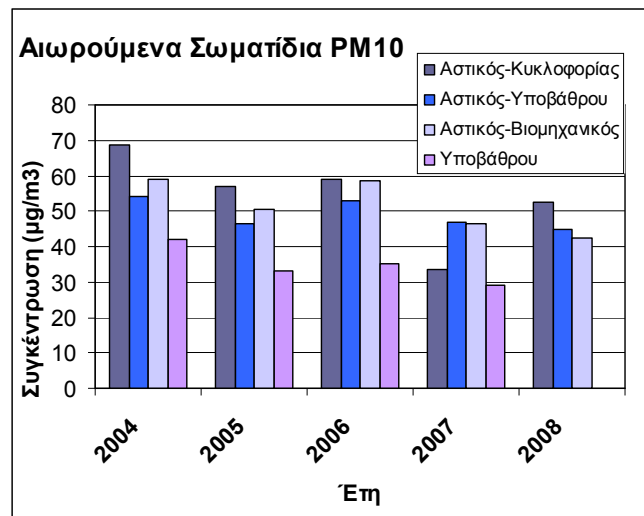
Σχήμα 6.99 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_2 σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



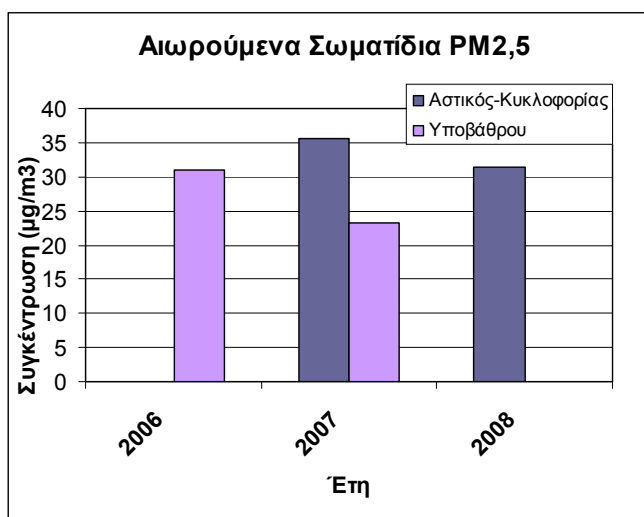
Σχήμα 6.100 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_x σε $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.



Σχήμα 6.101 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O_3 σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.102 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.103 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών $PM_{2,5}$ σε $\mu g/m^3$.

Από τα Σχήματα παρατηρούμε τα εξής:

Για το CO (Σχήμα 6.97), παρατηρείται μία σημαντική μείωση στις τιμές τα τελευταία έτη για τον αστικό σταθμό κυκλοφορίας. Στους υπόλοιπους σταθμούς οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν μικρές αυξομειώσεις.

Για το SO₂ (Σχήμα 6.98), παρουσιάζεται μία τάση αύξησης στη μέση ετήσια συγκέντρωση του σταθμού αστικού υποβάθρου τα τελευταία χρόνια. Για τους υπόλοιπους σταθμούς οι τιμές γενικώς ακολουθούν μειωτική τάση.

Για το NO₂ (Σχήμα 6.99), υπάρχει μία τάση μείωσης λόγω της μείωσης των εκπομπών NO_x. Οι τιμές όμως κυμαίνονται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα, που στην περίπτωση του σταθμού κυκλοφορίας το όριο ασφαλείας (40 μg/m³) υπερβαίνεται ακόμα και κατά 200% (2005-2006). Η οριακή τιμή παραβιάζεται και από τους σταθμούς: αστικό – υποβάθρου και αστικό – βιομηχανικό, οι τιμές των οποίων είναι πολύ πιο χαμηλές από το σταθμό κυκλοφορίας.

Για το O₃ (Σχήμα 6.101), δεν παρατηρείται κάποια σαφής τάση λόγω των αυξομειώσεων των τιμών. Τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης εμφανίζει και στην πόλη αυτή ο σταθμός υποβάθρου.

Για τα PM₁₀ (Σχήμα 6.102), παρατηρείται μία αυξομείωση στη διακύμανση των τιμών που καταλήγει σε τάση αύξησης. Με εξαίρεση το σταθμό υποβάθρου, όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί υπερβαίνουν την ετήσια οριακή τιμή των 40 μg/m³ όλα τα έτη (2004-2008).

Για τα PM_{2,5} (Σχήμα 6.103), η διαθέσιμη μικρή χρονοσειρά (2006-2008) δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών στατιστικών συμπερασμάτων. Από τα διαθέσιμα δεδομένα, φαίνεται να υπάρχει μια μικρή μείωση των συγκεντρώσεων, ενώ η τιμή-στόχος των 25 μg/m³ υπερβαίνεται και στους δύο σταθμούς (εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός υποβάθρου το 2007).

6.9 Αστική περιοχή μελέτης : Βιέννη

6.9.1 Γενικές πληροφορίες

Η Βιέννη είναι η πρωτεύουσα της Αυστρίας. Με πληθυσμό περίπου 1.693.024 κατοίκων (απογραφή 14^{ης} Αυγούστου 2009) είναι το μικρότερο ομοσπονδιακό κρατίδιο της Αυστρίας, εκτείνεται σε 414 km² και βρίσκεται στα βορειοανατολικά της χώρας. Ο πληθυσμός της ευρύτερης αστικής περιοχής ανέρχεται σε 1.983.836 κατοίκους (Demographia, 2010).



Η Βιέννη είναι χτισμένη σε υψόμετρο 170 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, μεταξύ του Δούναβη στα ανατολικά και δασωδών υψωμάτων στα δυτικά, ενώ το κλίμα της χαρακτηρίζεται ως υγρό ηπειρωτικό.

Αποτελεί κομβικό σημείο ανάμεσα στην Κεντρική και την Ανατολική Ευρώπη. Είναι ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια του Δούναβη, σε γεωγραφική θέση με μεγάλη οικονομική σημασία καθώς βρίσκεται στην διασταύρωση δυο μεγάλων φυσικών οδών της Κεντρικής Ευρώπης.

Η Βιέννη βρίσκεται στην πρώτη θέση της κατάταξης της διεθνούς εταιρείας συμβούλων επιχειρηματιών Mercer με τις πόλεις που διαθέτουν την υψηλότερη ποιότητα ζωής, ενώ



ακολουθούν Ζυρίχη και Γενεύη. Η έρευνα (Mercer, Guardian.) μελέτησε τους κύριους παράγοντες που δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες διαβίωσης. Τα κριτήρια αξιολόγησης ήταν μεταξύ άλλων η ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών,

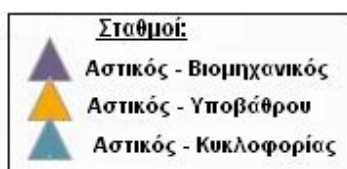
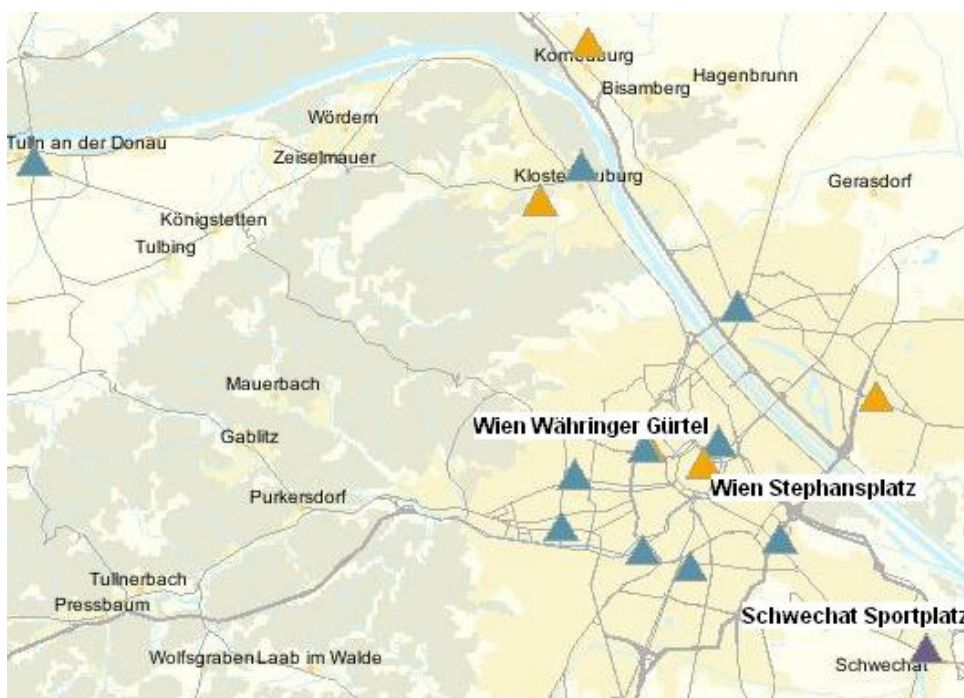
τα συγκοινωνιακά μέσα, το κυκλοφοριακό και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η Βιέννη αποτελεί πρότυπο περιβαλλοντικής πόλης. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην καλή ποιότητα του αέρα είναι τα μέτρα προστασίας του κλίματος και η εισαγωγή συχνών, ακόμα και ολονύχτιων, δρομολογίων δημόσιων συγκοινωνιών, που προσφέρουν μία καλή εναλλακτική λύση απέναντι στη χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου με αποτέλεσμα τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, που συνεπάγεται χαμηλά επίπεδα εκπομπών ρύπων.

6.9.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στο χάρτη του Σχήματος 6.104 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα που έχει αναλάβει τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων στη Βιέννη.

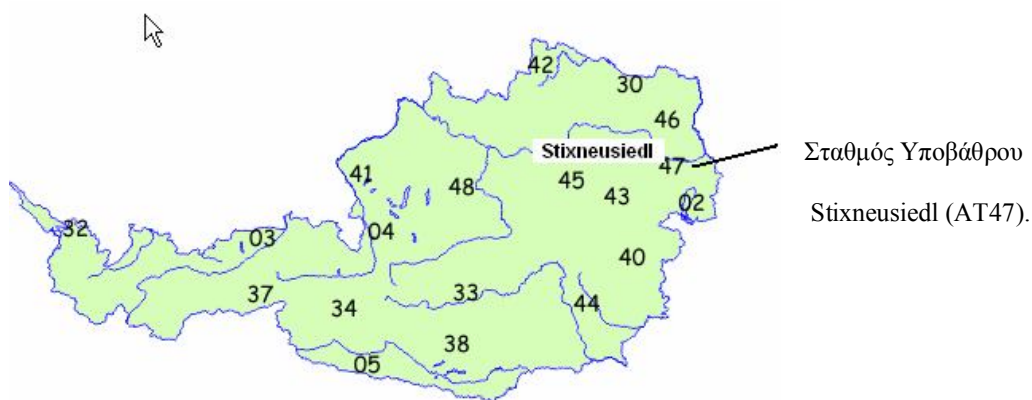
Για να αποδώσουμε γραφικά τις χρονικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων για τα έτη 1999 έως 2008, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ετήσιες τιμές από τέσσερις σταθμούς μέτρησης διαφορετικού τύπου:

- Wien Währinger Gürtel (αστικός – κυκλοφορίας)
- Wien Stephansplatz (αστικός – υποβάθρου)
- Schwechat Sportplatz (αστικός – βιομηχανικός)
- Stixneusiedl (υποβάθρου)



Airbase Viewer Data – European Environment Agency (EEA)

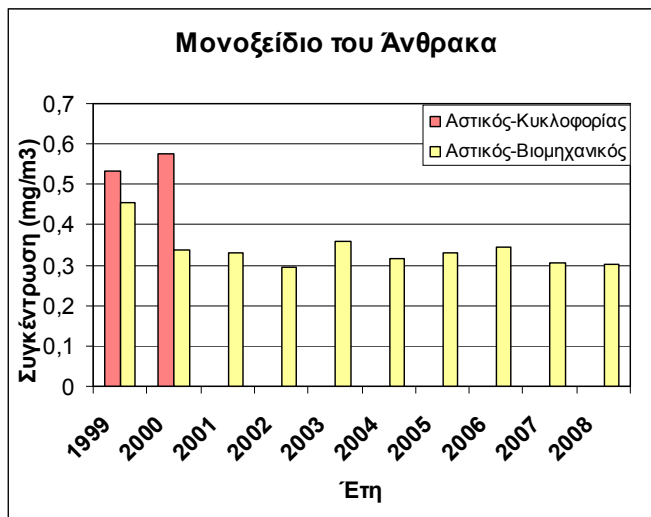
Σχήμα 6.104 Χάρτης της περιοχής της Βιέννης που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.



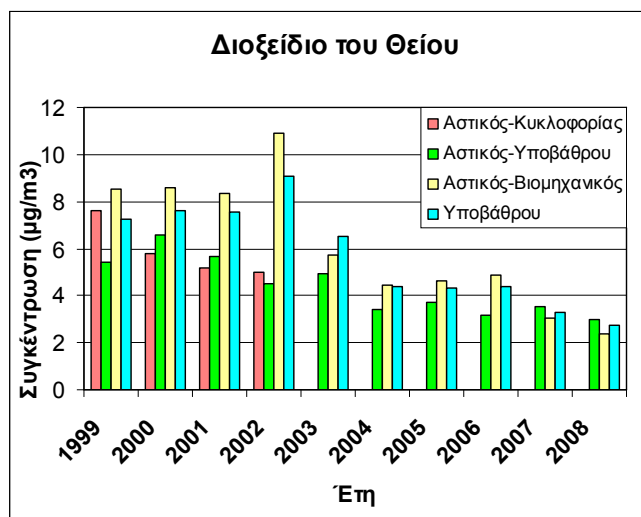
Σχήμα 6.105 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης EMEP Αυστρίας (CCC).

6.9.3 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

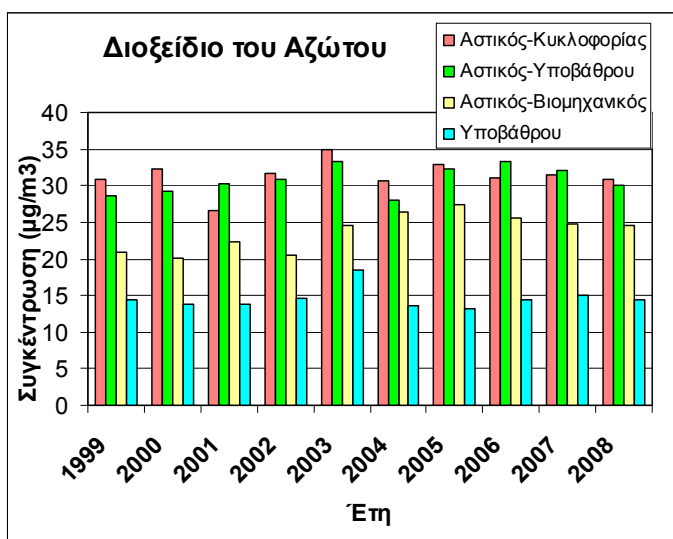
Στο Παράρτημα Ι, δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες, με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις, δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



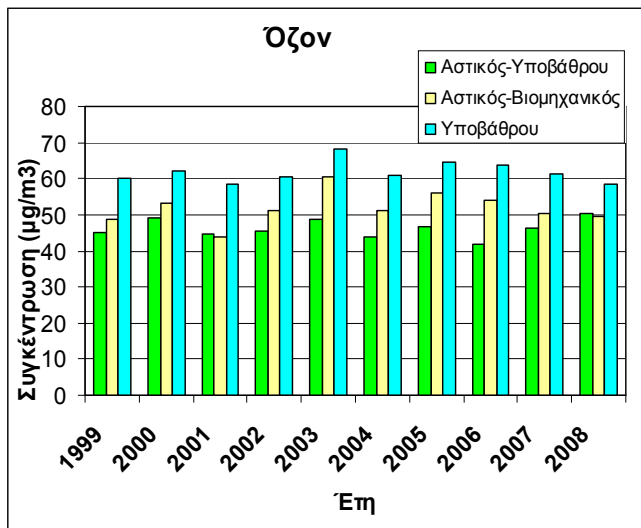
Σχήμα 6.106 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m^3 .



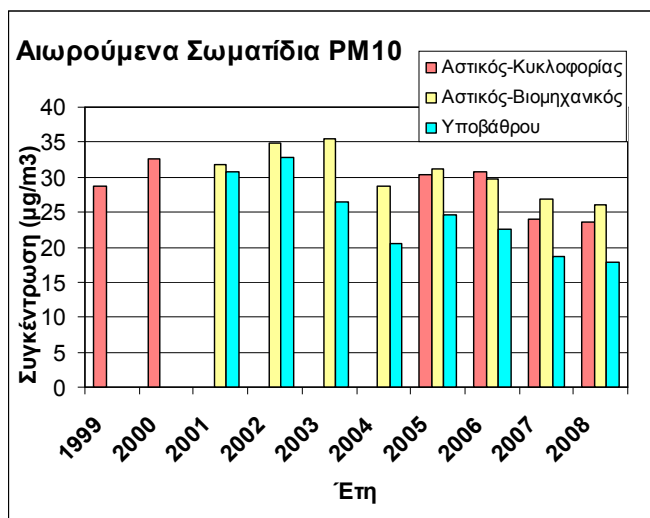
Σχήμα 6.107 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε $\mu\text{g/m}^3$.



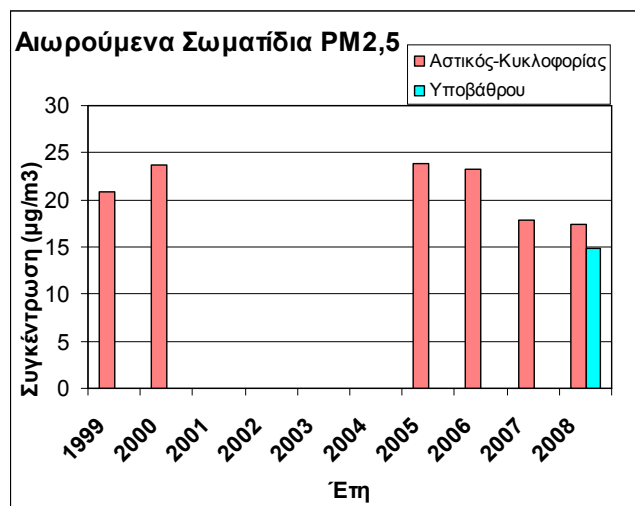
Σχήμα 6.108 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε mg/m^3 .



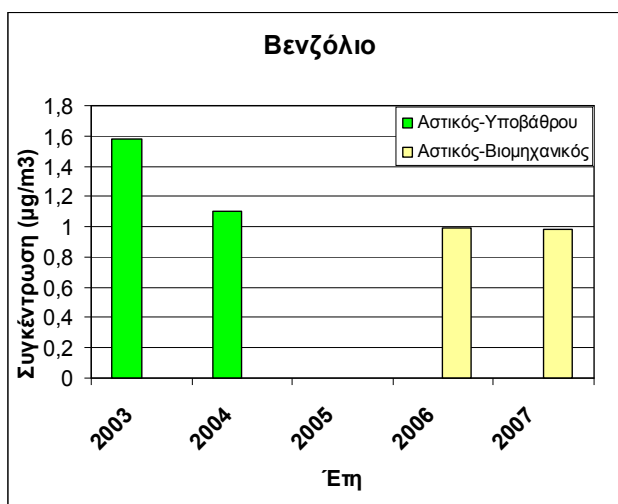
Σχήμα 6.109 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών O₃ σε $\mu\text{g/m}^3$.



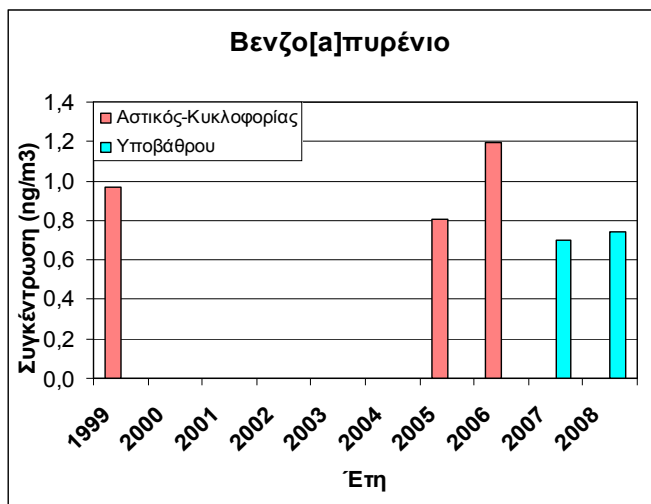
Σχήμα 6.110 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 6.111 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών $PM_{2,5}$ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 6.112 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών βενζολίου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 6.113 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών βενζο(α)πυρενίου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Από τα Σχήματα παρατηρούμε τα εξής:

Για το CO (Σχήμα 6.106), παρατηρείται γενικά σταθερότητα στις τιμές ρύπανσης από το ρύπο αυτό για τον αστικό – βιομηχανικό σταθμό.

Για το SO₂ (Σχήμα 6.107), υπάρχει τάση μείωσης, που συνδέεται με τη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων, ενώ οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται τα περισσότερα έτη στο βιομηχανικό σταθμό. Επίσης, ο σταθμός υποβάθρου έως το 2006 παρουσιάζει υψηλότερες τιμές από τον αστικό – υποβάθρου, ενώ τα έτη 2000-2002 οι τιμές του υπερβαίνουν ακόμα και αυτές του αστικού - κυκλοφορίας.

Για τα NO₂ (Σχήμα 6.108), παρουσιάζεται τάση σταθεροποίησης των τιμών. Τα έτη 2006-2007 οι μέσες ετήσιες τιμές του σταθμού αστικού υποβάθρου είναι μεγαλύτερες από τις τιμές του σταθμού κυκλοφορίας. Δεν παρατηρείται όμως καμία υπέρβαση του ορίου ασφαλείας (40 μg/m³).

Για το O₃ (Σχήμα 6.109), παρατηρείται ίδια περίπου διακύμανση με το NO₂, με τη διαφορά όμως ότι τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζει ο σταθμός υποβάθρου (η υψηλότερη τιμή σημειώνεται το 2003).

Για τα PM₁₀, (Σχήμα 6.110), υπάρχει τάση μείωσης των τιμών. Τις μεγαλύτερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις εμφανίζει ο βιομηχανικός σταθμός (εκτός από το 2006), ενώ κανένα έτος δεν υπερβαίνεται το όριο (40 μg/m³) για τη μέση ετήσια τιμή.

Για τα PM_{2,5}, (Σχήμα 6.111), παρουσιάζεται γενικά τάση μείωσης στις τιμές από το 2005 και μετά (για τα έτη 2001-2004 υπάρχει έλλειψη δεδομένων). Όλες οι τιμές κυμαίνονται σε επίπεδα χαμηλότερα της τιμής-στόχου (25 μg/m³) για τη μέση ετήσια τιμή.

Για το βενζόλιο (Σχήμα 6.112), σύμφωνα με τα δεδομένα που υπάρχουν για λίγα έτη, παρατηρείται πτώση στις τιμές, και στον αστικό – υποβάθρου και στον αστικό - βιομηχανικό σταθμό. Όλες οι τιμές βρίσκονται κάτω από το όριο ασφαλείας των 5 μg/m³.

Για το βενζο(α)πυρένιο (Σχήμα 6.113), παρότι τα διαθέσιμα δεδομένα είναι λίγα, είναι αξιοσημείωτη η αύξηση που παρατηρείται στις τιμές του σταθμού κυκλοφορίας τα έτη 2005-2006, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την υπέρβαση της ετήσιας οριακής τιμής-στόχου (1 ng/m³).

6.10 Περιοχή μελέτης: Ρώμη

6.10.1 Γενικές πληροφορίες



Η Ρώμη είναι η πρωτεύουσα της Ιταλίας και πρωτεύουσα της περιφέρειας του Λάτιου, της ομώνυμης επαρχίας. Είναι μία από τις ιστορικότερες πόλεις της Ευρώπης και φημίζεται για τα πολυάριθμα μνημεία της. Βρίσκεται στην κεντρική Ιταλία και διατρέχεται από τον ποταμό Τίβερη. Η ιστορική πόλη είναι κτισμένη ανατολικά του ποταμού πάνω σε επτά λόφους.

Το κέντρο απέχει περίπου 24 χιλιόμετρα από τη θάλασσα, αλλά η αστική περιοχή φτάνει μέχρι τις ακτές στο Τυρρηνικό πέλαγος. Το κλίμα της Ρώμης χαρακτηρίζεται μεσογειακό, με ζεστά καλοκαίρια και μεγάλες περιόδους ηλιοφάνειας



Η «αιώνια πόλη» είναι ο πολυπληθέστερος δήμος της Ιταλίας (έκταση 1.285,3 km²) με 2.726.539 κατοίκους (απογραφή 31^{ης} Ιανουαρίου 2009). Η ευρύτερη αστική περιοχή έχει πληθυσμό περίπου 3.460.000 κατοίκους (Eurostat, 2004). Σε ευρωπαϊκό επίπεδο κατατάσσεται τέταρτη σε πληθυσμό μετά το Λονδίνο, το Βερολίνο και τη

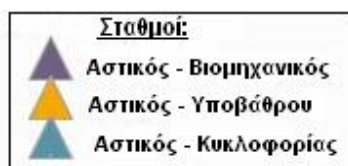
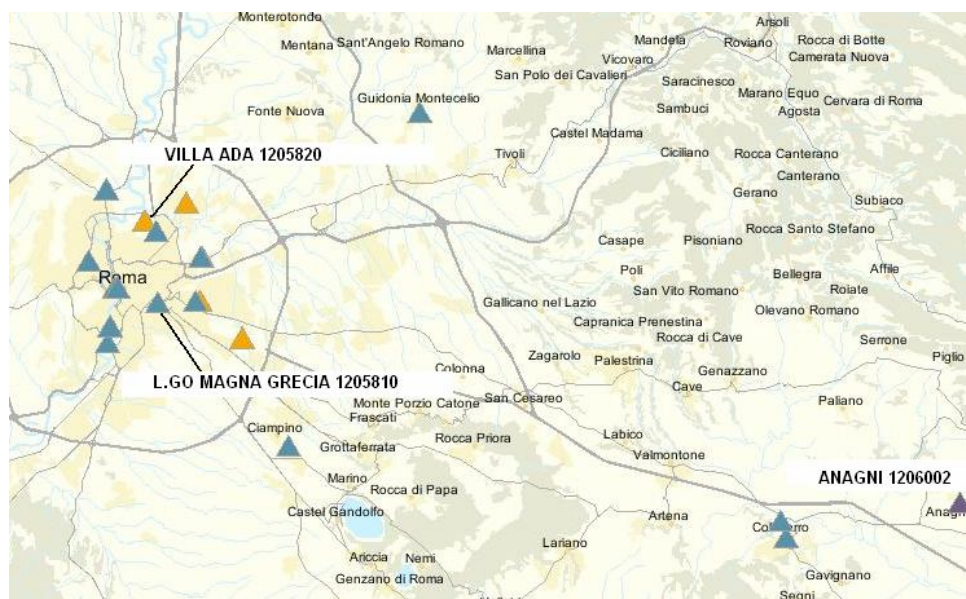
Μαδρίτη.

6.10.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στο χάρτη του Σχήματος 6.115 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα που έχει αναλάβει τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων στη Ρώμη.

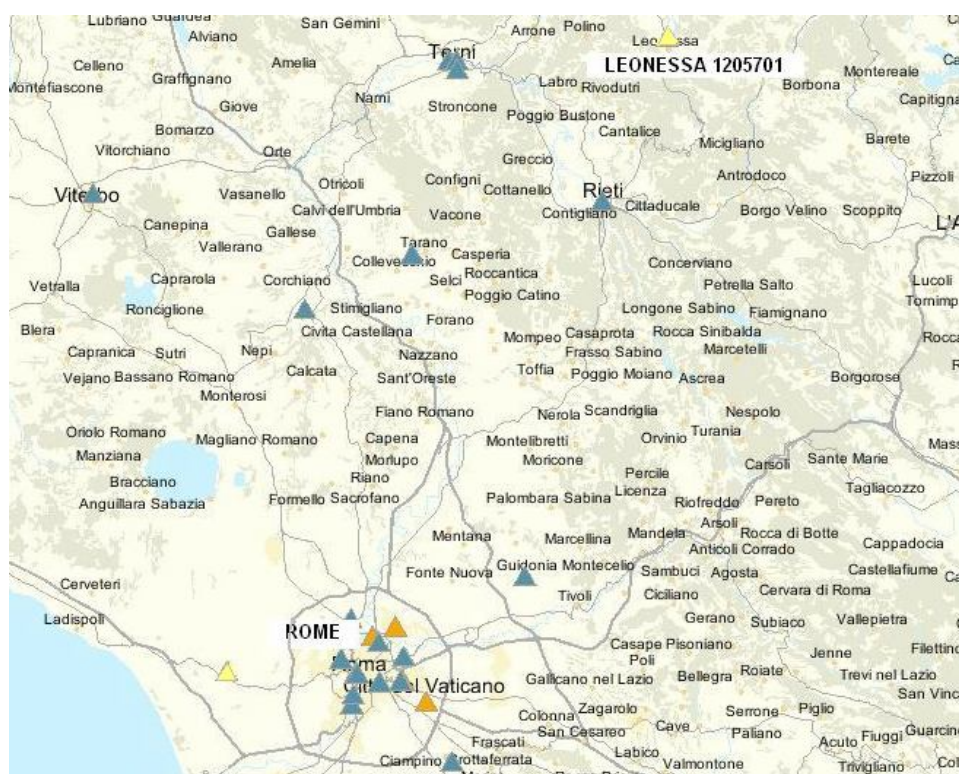
Για την εξέταση της χρονικής διακύμανσης των συγκεντρώσεων των ρύπων για το διάστημα 1999 έως 2008 χρησιμοποιήσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές από τους εξής σταθμούς:

- L.GO MAGNA GRECIA 1205810 (αστικός – κυκλοφορίας)
- VILLA ADA 1205820 (αστικός – υποβάθρου)
- ANAGNI 1206002 (αστικός – βιομηχανικός)
- LEONESSA 1205701 (υποβάθρου)



Airbase Viewer Data – European Environment Agency (EEA)

Σχήμα 6.115 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Ρώμης που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ο αστικός-βιομηχανικός σταθμός βρίσκεται εκτός Ρώμης).

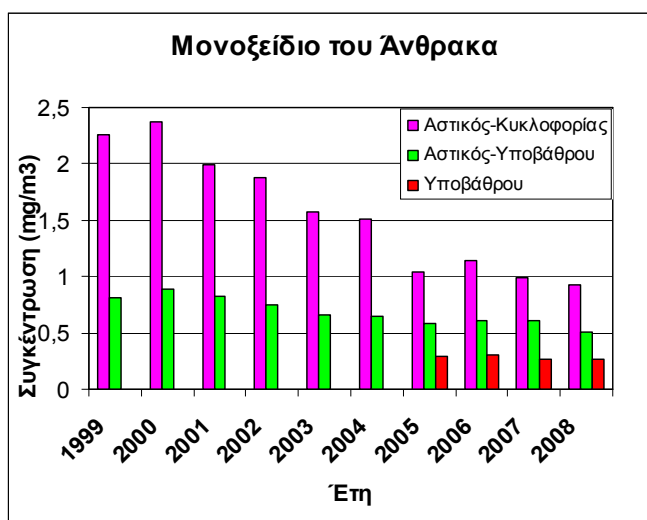


Airbase Viewer Data – European Environment Agency (EEA)

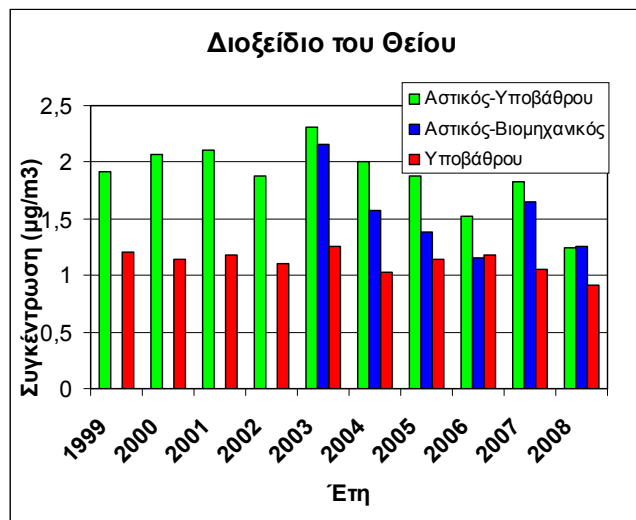
Σχήμα 6.116 Χάρτης που εμφανίζεται η θέση του σταθμού Υποβάθρου (δεν ανήκει στο δίκτυο σταθμών μέτρησης EMEP).

6.10.3 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

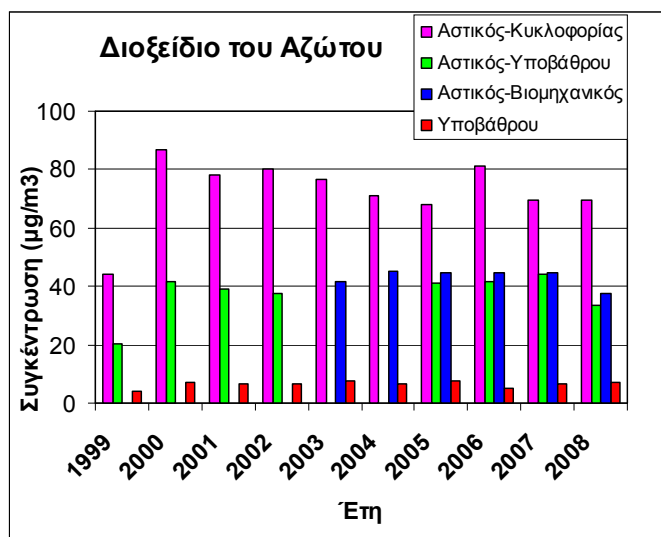
Στο Παράρτημα Ι δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



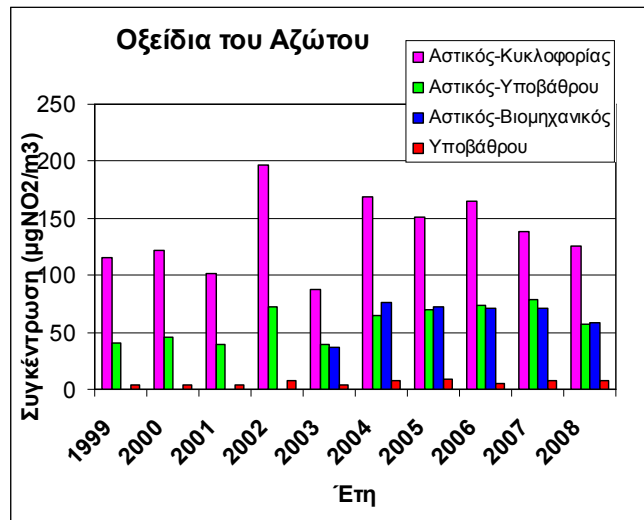
Σχήμα 6.117 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m³.



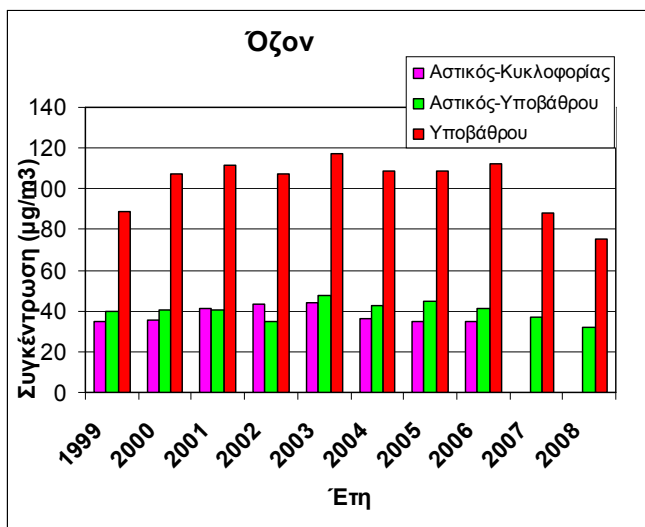
Σχήμα 6.118 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε µg/m³.



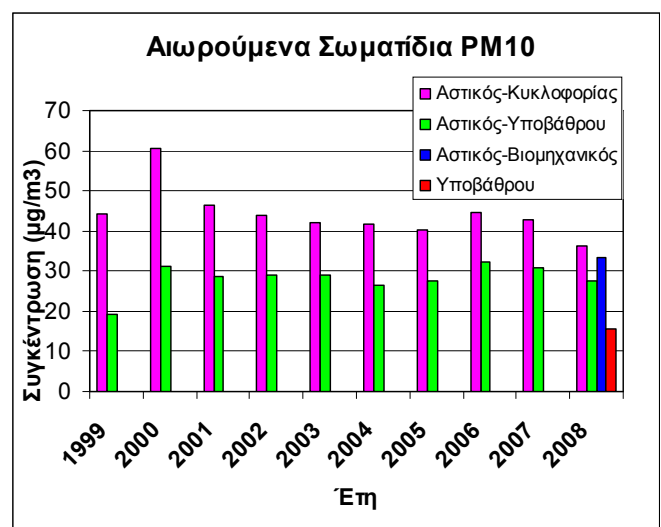
Σχήμα 6.119 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε µg/m³.



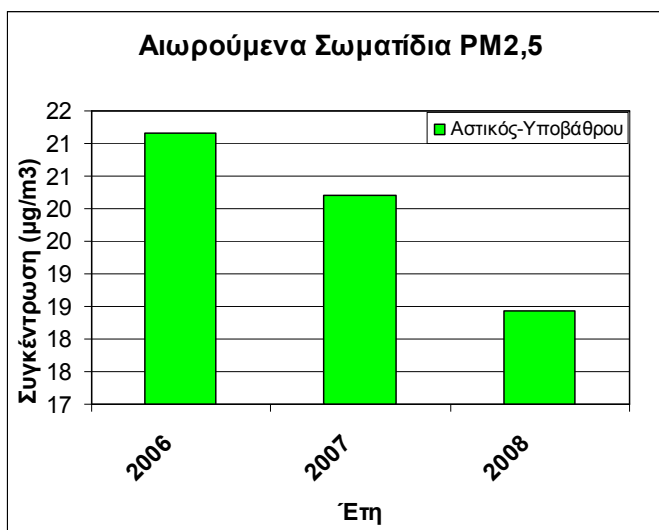
Σχήμα 6.120 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO_x σε µg NO₂/m³.



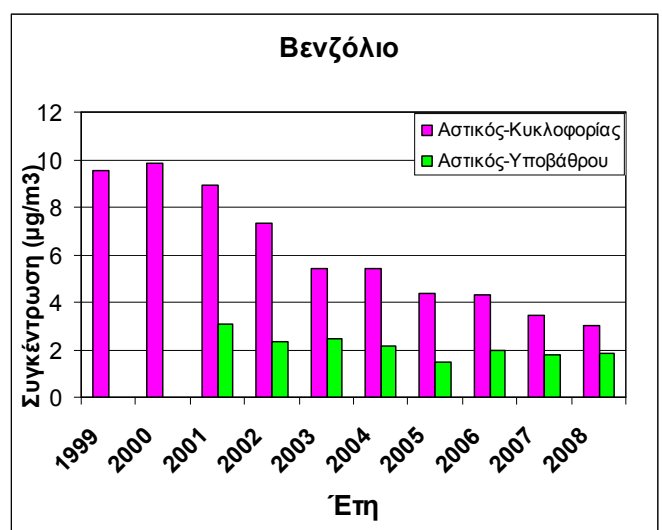
Σχήμα 6.121 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών O_3 σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.122 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.123 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών $PM_{2,5}$ σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.124 Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών βενζολίου σε $\mu g/m^3$.

Από τα Σχήματα παρατηρούμε τα εξής:

Για το CO (Σχήμα 6.117), παρουσιάζεται γενικά τάση μείωσης στις τιμές του σταθμού κυκλοφορίας. Μικρότερη μείωση εμφανίζουν ο αστικός - υποβάθρου και ο σταθμός υποβάθρου.

Για το SO₂ (Σχήμα 6.118), παρατηρούνται αυξομειώσεις στις τιμές, οι οποίες κυμαίνονται σε ασφαλή επίπεδα και καταλήγουν σε μείωση το 2008.

Για το NO₂ (Σχήμα 6.119), είναι χαρακτηριστική η υπέρβαση του ορίου (40 μg/m³) που σημειώνεται στις τιμές του σταθμού κυκλοφορίας, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνάει το 100% (2000, 2006). Ο μόνος σταθμός που οι συγκεντρώσεις του κυμαίνονται σταθερά σε επίπεδα πιο χαμηλά της οριακής τιμής είναι ο σταθμός υποβάθρου.

Για τα NO_x (Σχήμα 6.120), δεν παρατηρείται κάποια σαφής τάση στις τιμές. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καταγράφονται στο σταθμό κυκλοφορίας λόγω της άμεσης επίδρασης του από τις ανθρωπογενείς εκπομπές.

Για το O₃ (Σχήμα 6.121), παρατηρούμε γενικά μικρές αυξομειώσεις στις τιμές, με τις μέγιστες να σημειώνονται τα έτη 2003 και 2006 στο σταθμό υποβάθρου.

Για τα PM₁₀ (Σχήμα 6.122), παρατηρείται υπέρβαση του ορίου για τη μέση ετήσια συγκέντρωση (40 μg/m³) στο σταθμό κυκλοφορίας, η οποία αφορά όλα τα έτη, με εξαίρεση το 2008 που σημειώνεται πτώση στις τιμές όλων των σταθμών.

Για τα PM_{2,5} (Σχήμα 6.123), οι μέσες ετήσιες τιμές του σταθμού αστικού υποβάθρου ακολουθούν τάση μείωσης τα 3 τελευταία έτη (2006-2008) χωρίς να παρατηρείται υπέρβαση της τιμής-στόχου (25 μg/m³).

Για το βενζόλιο (Σχήμα 6.124), υπάρχει σημαντική μείωση στις τιμές του σταθμού κυκλοφορίας, οι οποίες από το 2005 και μετά επιτυγχάνουν να κυμανθούν κάτω από το όριο ασφαλείας των 5 μg/m³.

6.11 Αστική περιοχή μελέτης: Μαδρίτη

6.11.1 Γενικές πληροφορίες

Η Μαδρίτη είναι η πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη της Ισπανίας. Έχει έκταση 10.506 km² και είναι χτισμένη σε υψόμετρο 667 πάνω απ' την επιφάνεια της θάλασσας στις όχθες του ποταμού Μανθανάρες, στο κέντρο της χώρας. Το κλίμα της είναι ηπειρωτικό μεσογειακό και παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Λόγω της τοποθεσίας και της ιστορίας της η Μαδρίτη θεωρείται ως το πολιτικό και οικονομικό κέντρο της Ιβηρικής Χερσονήσου.



Ο πληθυσμός της εντός διοικητικών ορίων της πόλης είναι 3.213.271 κατοίκων (απογραφή 1^{ης} Ιανουαρίου 2008) και την κατατάσσει στην τρίτη θέση σε ευρωπαϊκό επίπεδο μετά το Λονδίνο και το Βερολίνο, ενώ στην ευρύτερη αστική περιοχή αριθμεί 6.386.932 κατοίκους.

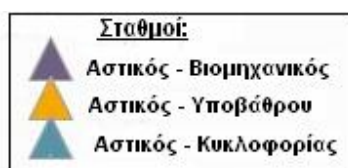
Η Μαδρίτη διαθέτει, μετά το Λονδίνο, το δεύτερο πιο πυκνό δίκτυο μετρό. Επίσης είναι η πόλη με τους περισσότερους εθνικούς δρόμους στη Δυτική Ευρώπη.

6.11.2 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στο χάρτη του Σχήματος 6.125 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης ποιότητας αέρα που έχει αναλάβει τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων στη Μαδρίτη.

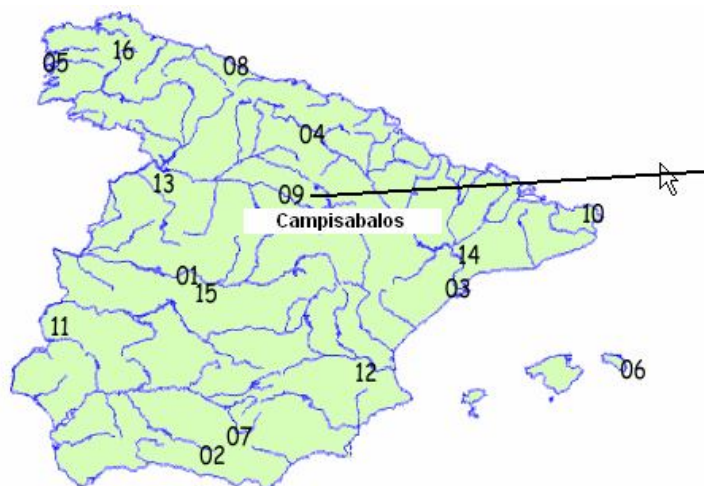
Προκειμένου να εξετάσουμε τη διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων, επεξεργαστήκαμε τις μέσες ετήσιες τιμές των σταθμών:

- ES0117A-MARQUÉS DE SALAMANCA (αστικός – κυκλοφορίας)
- ES0126A-FAROLILLO (αστικός – υποβάθρου)
- ES1565A-FUENLABRADA (αστικός – βιομηχανικός)
- ES0009R-CAMPISÁBALOS (υποβάθρου)



Airbase Viewer Data – European Environment Agency (EEA)

Σχήμα 6.125 Χάρτης της περιοχής της Μαδρίτης που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

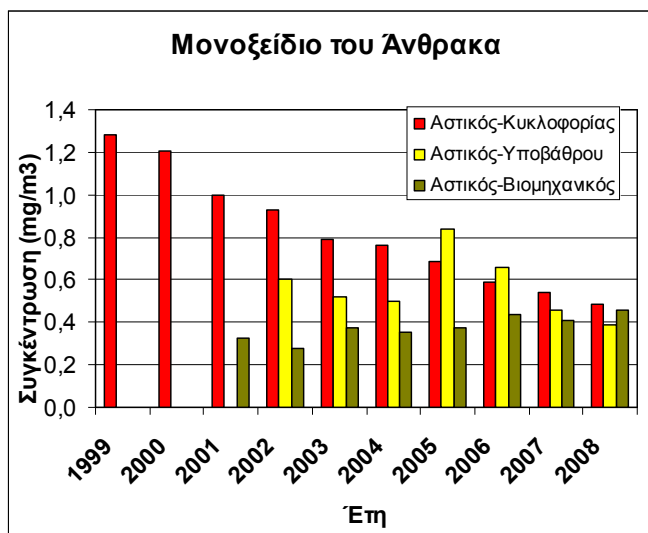


Εικόνα 6.10 Σταθμός Υποβάθρου Campisabalos (ES09), (EMEP).

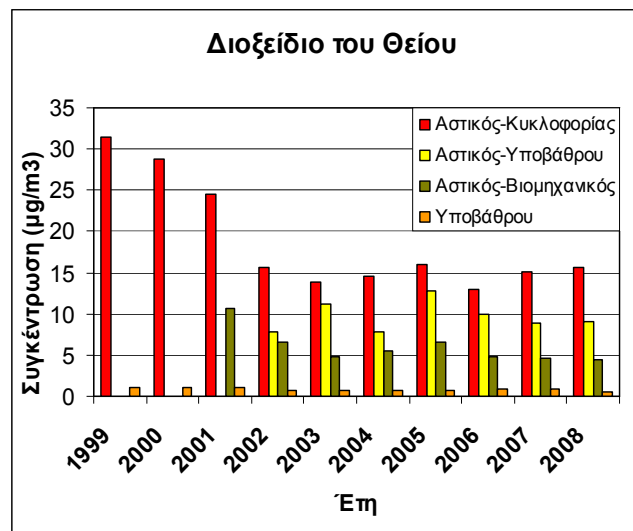
Σχήμα 6.126 Δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης EMEP Ισπανίας (CCC).

6.11.3 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων

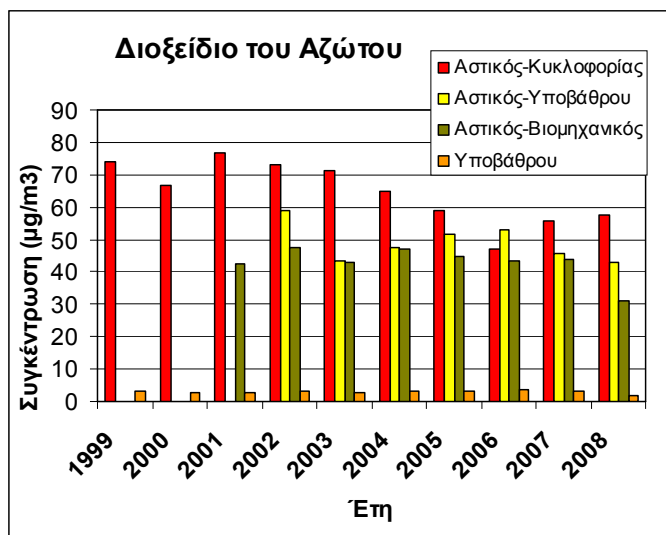
Στο Παράρτημα Ι δίνονται οι αναλυτικοί Πίνακες με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετησίων τιμών των συγκεντρώσεων όλων των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης, ενώ οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις δίνονται στα επόμενα Σχήματα.



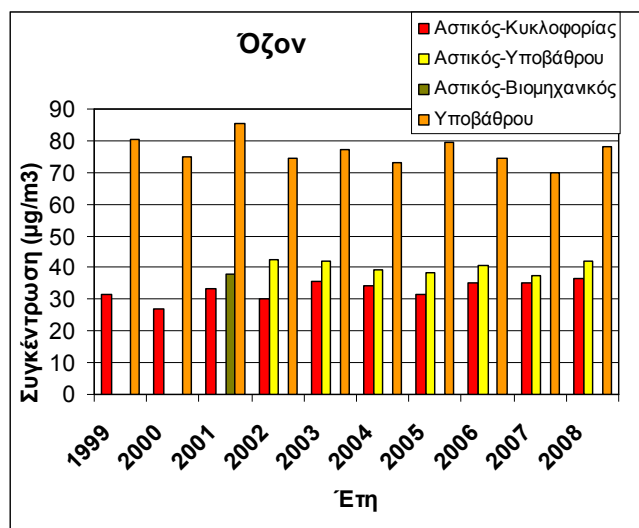
Σχήμα 6.127 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών CO σε mg/m^3 .



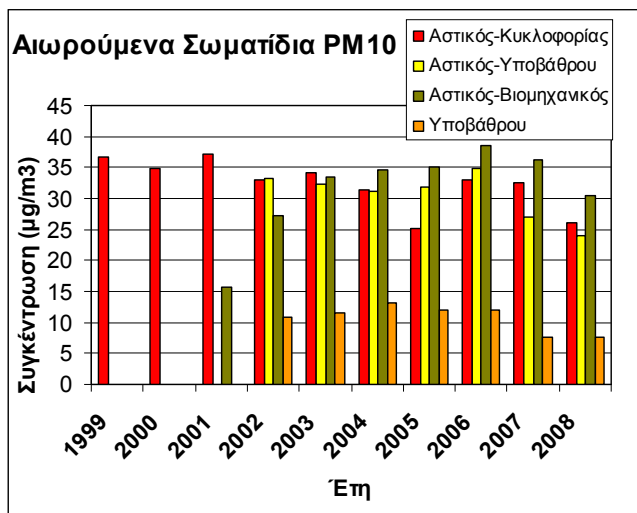
Σχήμα 6.128 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών SO₂ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



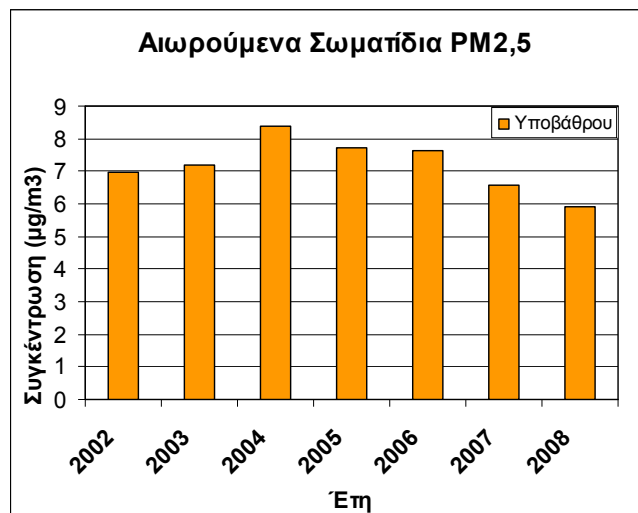
Σχήμα 6.129 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



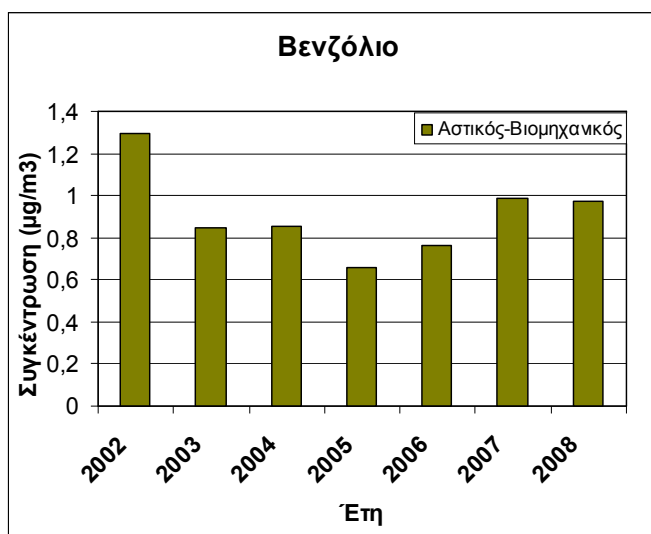
Σχήμα 6.130 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών O₃ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 6.131 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών PM_{10} σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.132 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών $PM_{2,5}$ σε $\mu g/m^3$.



Σχήμα 6.133 Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών βενζολίου σε $\mu g/m^3$.

Από τα Σχήματα παρατηρούμε τα εξής:

Για το CO (Σχήμα 6.127), παρουσιάζεται γενικά τάση μείωσης στις τιμές ρύπανσης. Τα έτη 2005 και 2007 οι τιμές αστικού υποβάθρου υπερβαίνουν τις τιμές του σταθμού κυκλοφορίας.

Για το SO₂ (Σχήμα 6.128) μετά τη μεγάλη πτώση που παρατηρείται τα έτη 2001-2002, ακολουθεί μία τάση σταθεροποίησης.

Για τα NO₂ (Σχήμα 6.129), σημειώνεται υπέρβαση της ετήσια οριακής τιμής για όλα σχεδόν τα έτη σε όλους τους σταθμούς, εκτός του σταθμού υποβάθρου, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται σε πολύ πιο χαμηλά επίπεδα. Το 2006 η μέση ετήσια τιμή του σταθμού αστικού υποβάθρου υπερβαίνει την τιμή του σταθμού κυκλοφορίας.

Για το O₃ (Σχήμα 6.130), παρατηρείται, γενικά μια τάση σταθεροποίησης των τιμών, με έντονη διακύμανση, σε μερικές περιπτώσεις, από έτος σε έτος. Οι τιμές των σταθμών υποβάθρου είναι υψηλότερες, ακόμα και κατά 200 % (π.χ. το 2000) από αυτές των σταθμών κυκλοφορίας.

Για τα PM₁₀ (Σχήμα 6.131), τάση σταθεροποίησης ή μικρής μείωσης των τιμών. Από το 2004 και μετά τις μεγαλύτερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις εμφανίζει ο βιομηχανικός σταθμός, ενώ κανένα έτος δεν υπερβαίνεται η ετήσια οριακή τιμή (40 μg/m³).

Για τα PM_{2,5} (Σχήμα 6.132), οι τιμές του σταθμού αστικού υποβάθρου, για τον οποίο υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, που παρουσιάζουν τάση μικρής μείωσης από το 2005 και μετά.

Για το βενζόλιο (Σχήμα 6.133), παρατηρούνται αυξομειώσεις στις τιμές του βιομηχανικού σταθμού, χωρίς όμως να υπερβαίνεται το όριο των 5 μg/m³ για τη μέση ετήσια τιμή.

6.12 Συμπεράσματα σχετικά με τη διαχρονική μεταβολή

Από το σύνολο των αστικών περιοχών που εξετάσαμε, μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα σχετικά με την τάση που παρατηρήθηκε τη δεκαετία 1999-2008, για κάθε έναν από τους ρύπους που εξετάστηκαν:

Οι συγκεντρώσεις CO παρουσιάζουν μία σταθερή μείωση. Στους σταθμούς αστικού υποβάθρου η μείωση αυτή είναι ελαφρώς χαμηλότερη. Αυτές οι μειώσεις είναι σύμφωνες με την τάση των εκπομπών CO, κατά την οποία ιδιαίτερα οι εκπομπές από τις μεταφορές παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερη μείωση (EEA, 11/2009).

Οι συγκεντρώσεις SO₂ παρουσιάζουν σταθερή μείωση από το 1999 σχεδόν σε όλους τους σταθμούς, σημειώνοντας σημαντική πτώση στην πλειοψηφία αυτών. Δεν παρατηρείται κάποια σαφής γεωγραφική εξάρτηση, όμως όσον αφορά τον τύπο των σταθμών γενικά τη μικρότερη μείωση παρουσιάζουν οι βιομηχανικοί σταθμοί. Η πτώση αυτή των συγκεντρώσεων, συνδέεται με τη μείωση των εκπομπών (EEA, 11/2009).

Για τα NO_x ο αριθμός των χρονοσειρών που καλύπτουν όλα τα έτη μελέτης είναι μικρότερος σε σχέση με τον αντίστοιχο αριθμό για το NO₂. Γενικά όμως, από το μέσο όρο όλων των διαθέσιμων σταθμών παρατηρείται μία μείωση τα τελευταία χρόνια, ο βαθμός της οποίας για την κάθε πόλη αντανακλάει τις μεταβολές στις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου σε εθνικό επίπεδο (EEA, 11/2009).

Για το NO₂ είναι διαθέσιμος ένας μεγαλύτερος αριθμός πλήρων χρονοσειρών (1999 – 2008). Γενικά για την πλειοψηφία των σταθμών παρατηρείται μία τάση σταθεροποίησης, με εξαίρεση ορισμένους σταθμούς κυκλοφορίας που παρουσιάζουν ανοδική τάση. Το NO₂ είναι δευτερογενής ρύπος και η συγκέντρωσή του καθορίζεται από φωτοχημικές αντιδράσεις, επομένως δεν ακολουθεί απαραίτητα την πορεία της συγκέντρωσης των NO_x (NO_x = άθροισμα των NO₂ και NO).

Οι τάσεις του όζοντος είναι μικρές και αβέβαιες και είναι δύσκολο να εντοπιστούν περιοχές με ανοδικές ή πτωτικές τάσεις. Όσον αφορά τον τύπο των σταθμών, οι σταθμοί υποβάθρου είναι αυτοί που σημειώνουν τις υψηλότερες τιμές. Στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας η

μεταβολή του όζοντος καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις εκπομπές NO_x . Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι τα επίπεδα του όζοντος σε σταθμούς κυκλοφορίας είναι χαμηλά. Επίσης, αξίζει να σχολιαστεί ότι το 2003 σημειώθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στην πλειοψηφία των σταθμών, οι οποίες οφείλονται στον ευρωπαϊκού θερινό καύσωνα του έτους αυτού που ενίσχυσε ιδιαίτερα τη φωτοχημική παραγωγή του όζοντος.

Η εκτίμηση της τάσης συγκέντρωσης των PM_{10} είναι αρκετά περίπλοκη δεδομένου ότι η προέλευσή τους σχετίζεται με διάφορες πηγές (ETC/ACC, 2010). Όσον αφορά τη διαχρονική μεταβολή για το διάστημα 1999-2008, οι περισσότεροι σταθμοί παρουσιάζουν πτωτική τάση, η οποία παρατηρείται κυρίως από το 2006 και μετά.

Τέλος, το βενζόλιο στην πλειοψηφία των σταθμών έχει παρουσιάσει σημαντική μείωση που συνδέεται με τη μείωση των εκπομπών.

6.13 Συμπεράσματα σχετικά με τις ετήσιες οριακές τιμές

Η συμμόρφωση με την οριακή τιμή και την ενδεικτική οριακή τιμή για τις μέσες ετήσιες τιμές NO_2 παραμένει σοβαρό πρόβλημα για πολλές αστικές περιοχές με μεγάλη κυκλοφορία.

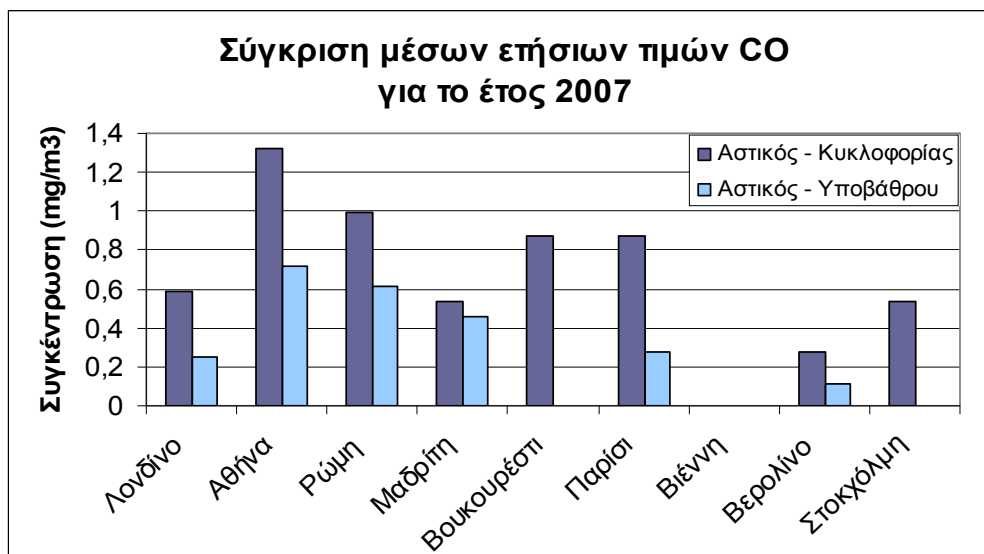
Για τα PM_{10} , συγκρίνοντας τις τιμές με την ισχύουσα οριακή τιμή του 2005 διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία των σταθμών δεν την υπερβαίνει. Αν συγκριθούν με το όριο των $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που τίθεται σε ισχύ από 1/1/2010, υπέρβαση παρατηρείται στο σύνολο σχεδόν των αστικών σταθμών υποβάθρου και κυκλοφορίας

Οι συγκεντρώσεις του βενζολίου, είναι σύμφωνες με τις οριακές τιμές, εκτός από έναν περιορισμένο αριθμό σταθμών κυκλοφορίας.

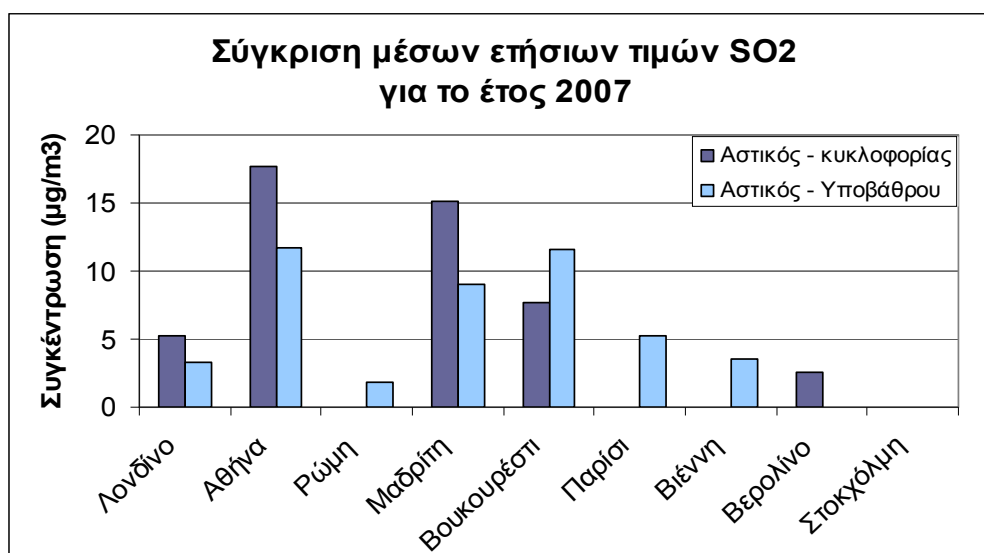
Η ρύπανση του αέρα από τα βαρέα μέταλλα (αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο) και το βενζο(α)πυρένιο είναι γενικά χαμηλή αφού στην πλειοψηφία των σταθμών οι συγκεντρώσεις είναι κάτω από το κατώτερο όριο ασφαλείας.

6.14 Σύγκριση μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των ρύπων μεταξύ των αστικών περιοχών μελέτης για το 2007

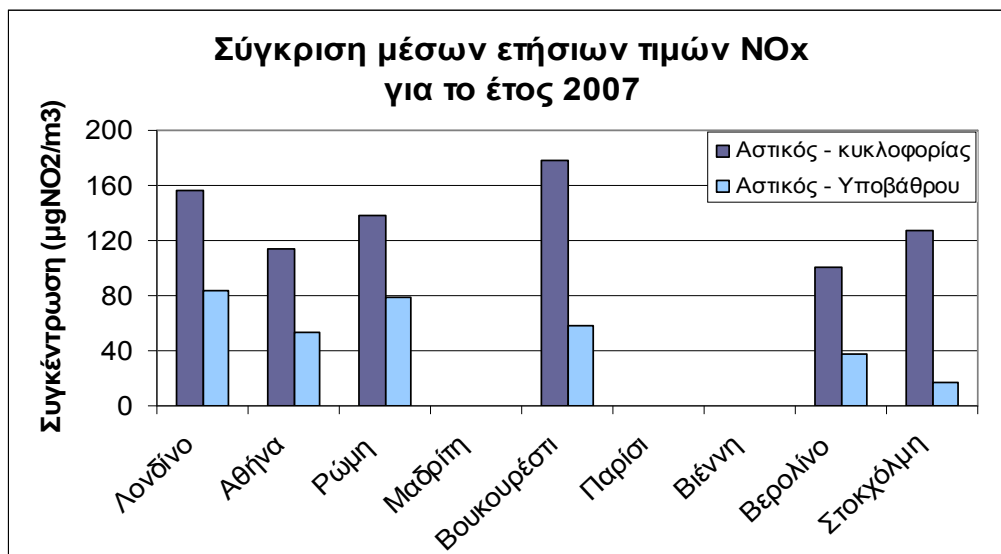
Στα Σχήματα που ακολουθούν γίνεται μία παρουσίαση των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης για τους βασικούς ρύπους, ανα αστική περιοχή, για το έτος 2007, προκειμένου να συγκρίνουμε τα επίπεδα ρύπανσης μεταξύ των εννέα πόλεων.



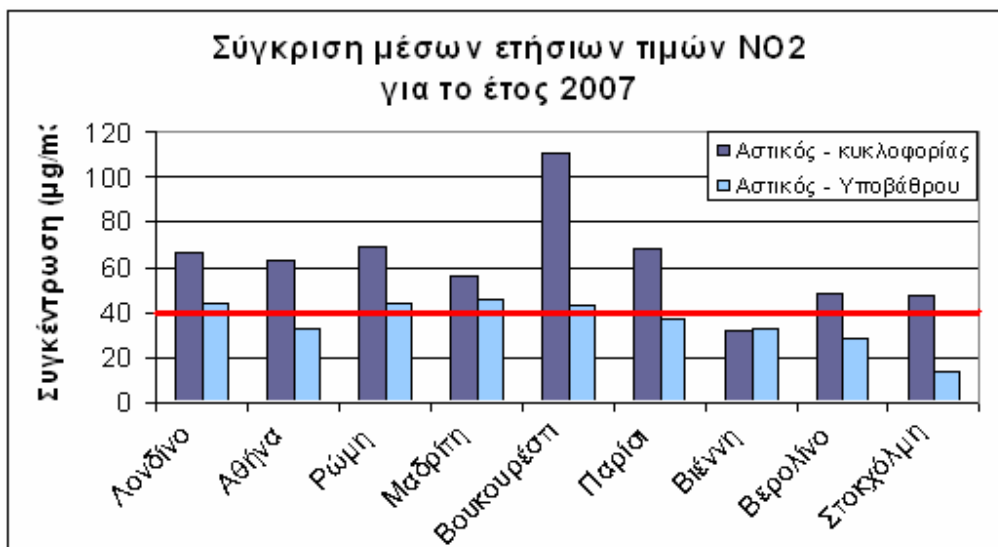
Σχήμα 6.134 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση CO παρουσιάζεται στην Αθήνα. Ακολουθεί η Ρώμη και το Παρίσι.



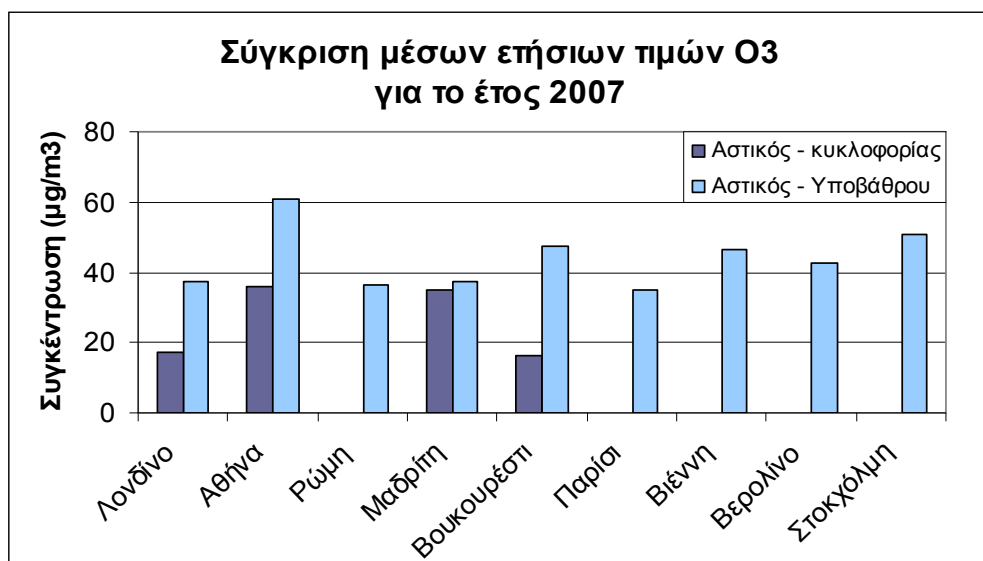
Σχήμα 6.135 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση SO₂ παρουσιάζεται στην Αθήνα (αστικός-κυκλοφορίας), ενώ η αμέσως επόμενη εμφανίζεται στη Μαδρίτη.



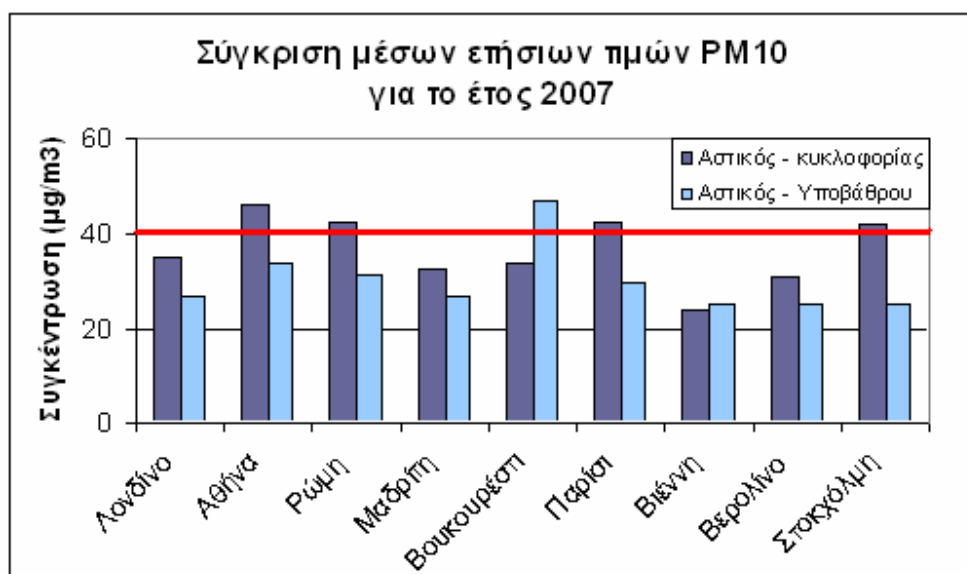
Σχήμα 6.136 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση NO_x παρουσιάζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-κυκλοφορίας), ενώ η αμέσως επόμενη εμφανίζεται στο Λονδίνο.



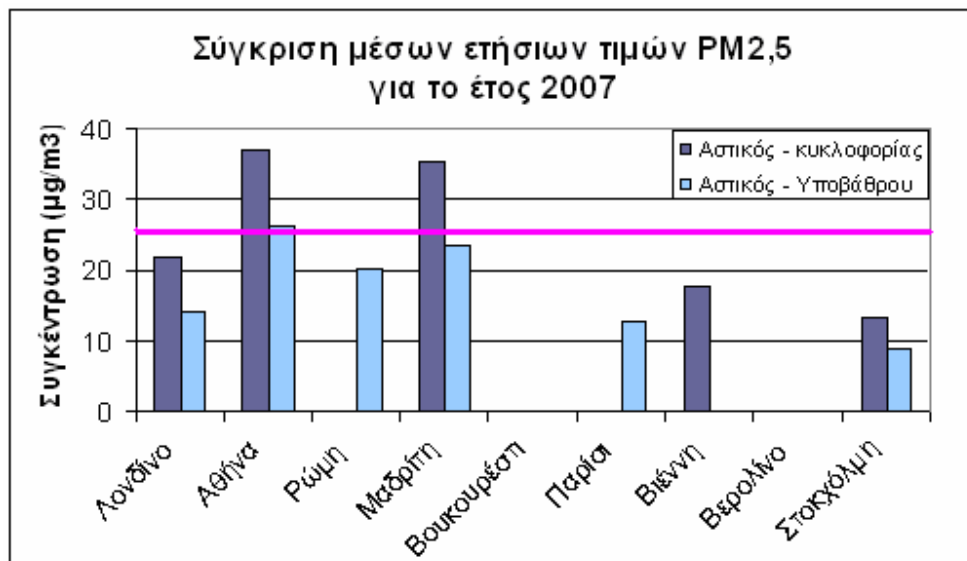
Σχήμα 6.137 Η υψηλότερη συγκέντρωση NO₂ παρουσιάζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-κυκλοφορίας). Με εξαίρεση τη Βιέννη, όλες οι πόλεις υπερβαίνουν την οριακή τιμή (έτος ισχύος: 2010).



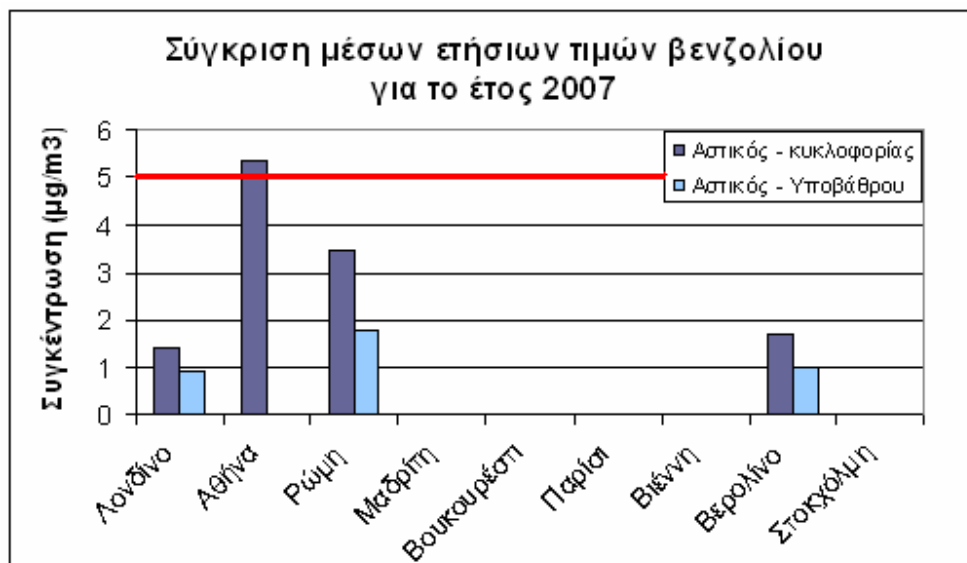
Σχήμα 6.138 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση O₃ παρουσιάζεται στην Αθήνα (αστικός-υποβάθρου).



Σχήμα 6.139 Η υψηλότερη συγκέντρωση PM₁₀ παρουσιάζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-υποβάθρου). Υπερβάσεις του ορίου παρατηρούνται και στην Αθήνα, το Παρίσι, τη Ρώμη και τη Στοκχόλμη.



Σχήμα 6.140 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση PM_{2,5} παρουσιάζεται στην Αθήνα (αστικός-κυκλοφορίας). Επίσης και η Μαδρίτη υπερβαίνει την τιμή-στόχο.



Σχήμα 6.141 Η μέγιστη συγκέντρωση βενζολίου παρατηρείται στην Αθήνα και υπερβαίνει το όριο (έτος ισχύος: 2010).

Από τα Σχήματα 6.134 – 6.141 συμπεραίνουμε ότι:

❖ Στους σταθμούς κυκλοφορίας (αστικούς):

- Την πρώτη θέση στην κατάταξη των πόλεων με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις για τους περισσότερους ρύπους για το 2007, έχει η Αθήνα. Η πόλη αυτή παρουσίασε τις μεγαλύτερες ετήσιες τιμές για τους ρύπους: CO ($1,318 \text{ mg/m}^3$), SO₂ ($17,655 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), PM₁₀ ($46,232 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), PM_{2,5} ($37,258 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) και C₆H₆ ($5,363 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Τη δεύτερη θέση κατέχει το Βουκουρέστι που κατέχει τα πρωτεία στις συγκεντρώσεις NO_x ($177,592 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) και NO₂ ($110,908 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

- Ενώ η πόλη που παρουσίασε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις για τους περισσότερους ρύπους ήταν το Βερολίνο (CO: $0,273 \text{ mg/m}^3$, SO₂: $2,525 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, και NO_x: $101,018 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

❖ Στους σταθμούς υποβάθρου (αστικούς):

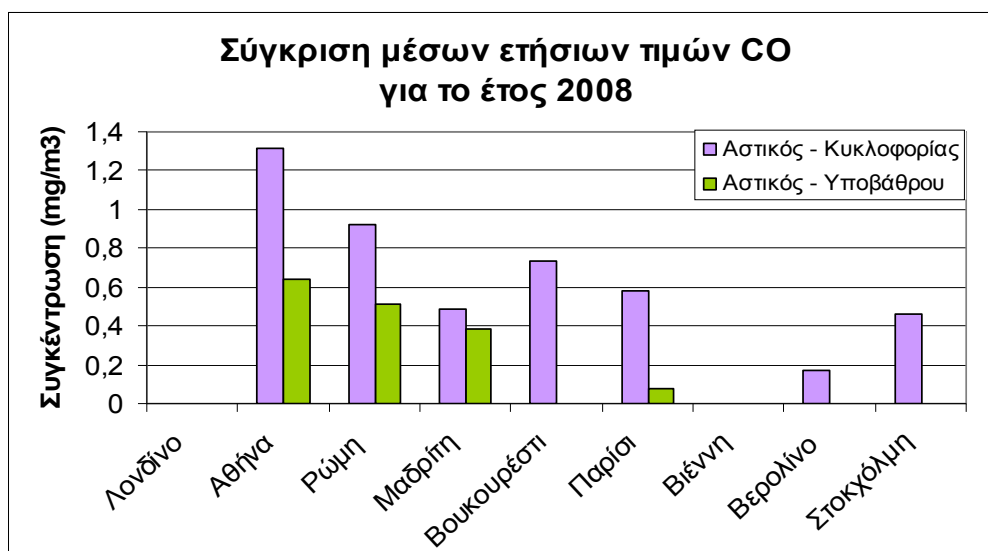
- Η πόλη η οποία εμφάνισε τις μεγαλύτερες ετήσιες τιμές για τους περισσότερους ρύπους είναι και πάλι η Αθήνα (CO: $0,720 \text{ mg/m}^3$, SO₂: $11,748 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, O₃: $60,730 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ και PM_{2,5}: $26,245 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

- Ενώ η πόλη με τις περισσότερες χαμηλότερες συγκεντρώσεις είναι η Στοκχόλμη, που τις παρουσίασε για τους ρύπους: NO_x ($16,869 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), NO₂ ($13,321 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), PM₁₀ ($25,321 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) και PM_{2,5} ($8,993 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

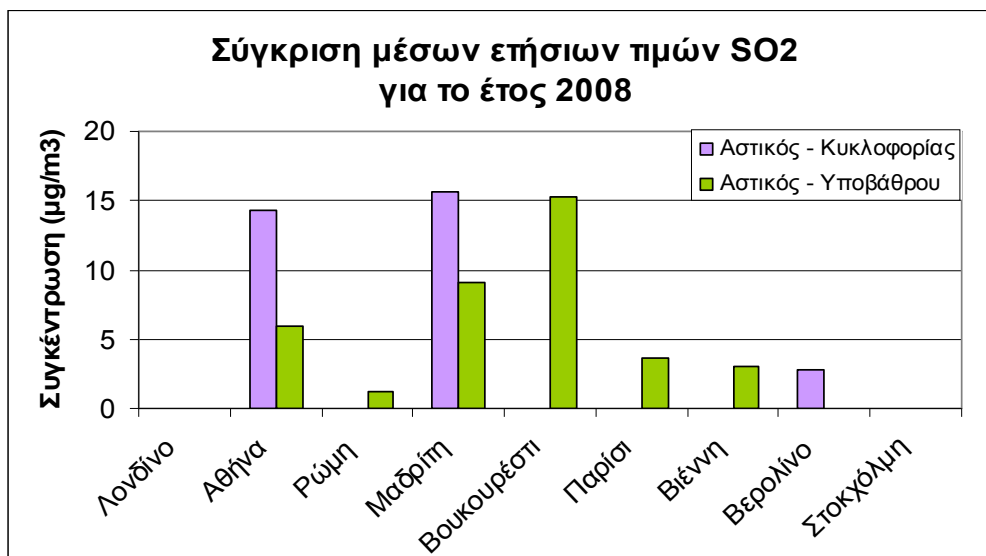
Η κατάταξη αυτή δεν είναι απόλυτη βέβαια αφού σε ορισμένες πόλεις δεν υπάρχουν δεδομένα για όλους τους ρύπους.

6.15 Σύγκριση μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των ρύπων μεταξύ των αστικών περιοχών μελέτης για το 2008

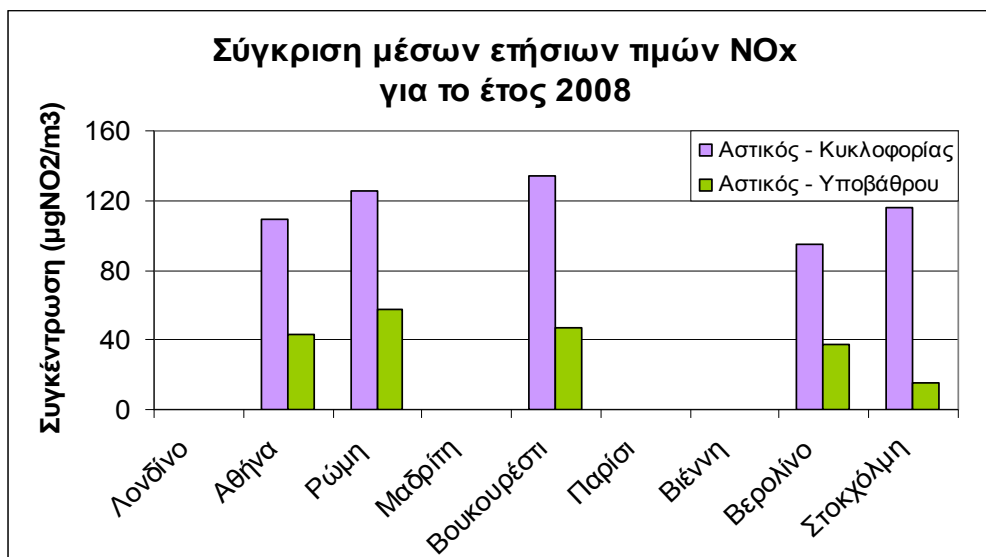
Στα Σχήματα που ακολουθούν γίνεται μία παρουσίαση των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης για τους βασικούς ρύπους, ανα αστική περιοχή, για το 2008, έτος για το οποίο υπάρχουν τα πιο πρόσφατα δεδομένα (Airbase), προκειμένου να συγκρίνουμε τα επίπεδα ρύπανσης μεταξύ των εννέα πόλεων.



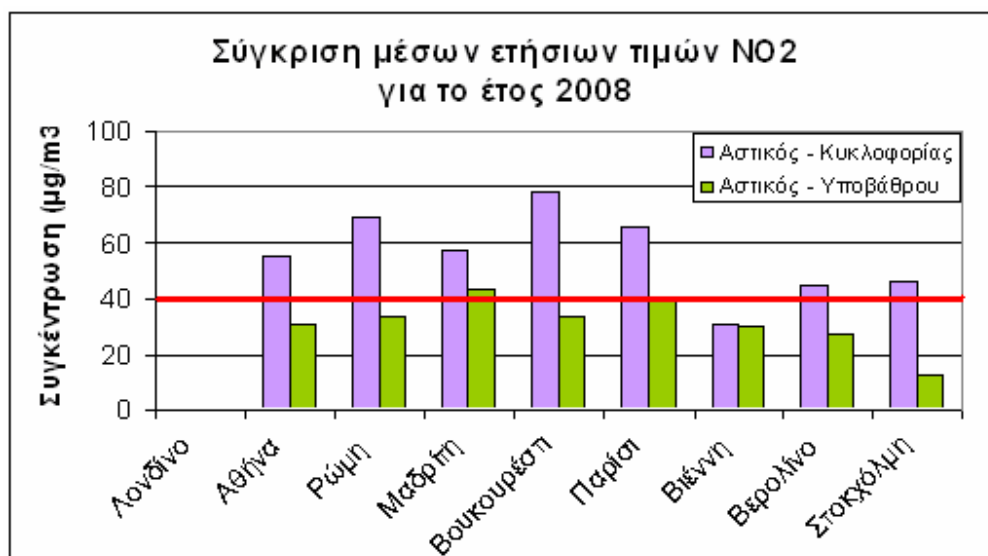
Σχήμα 6.142 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση CO παρουσιάζεται στην Αθήνα. Ακολουθεί η Ρώμη και το Βουκουρέστι.



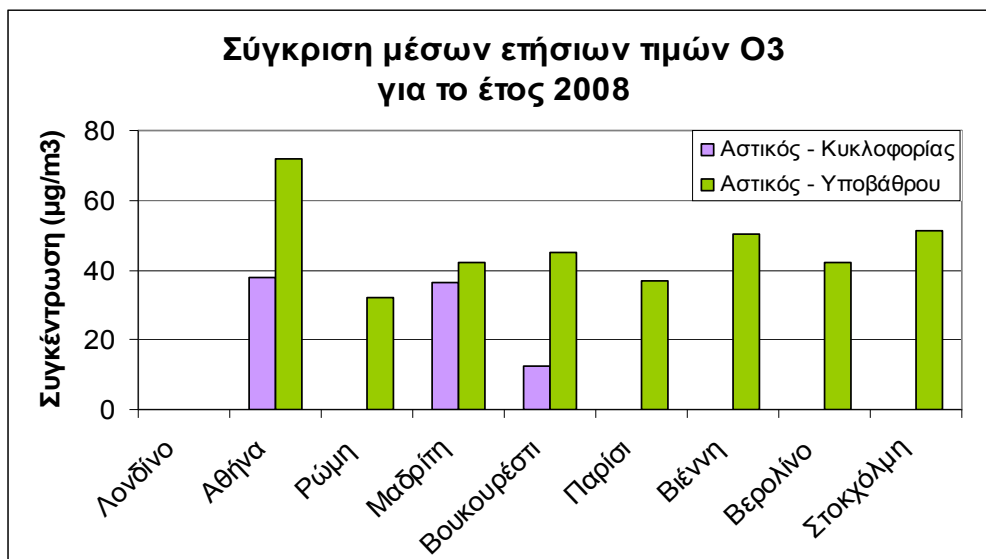
Σχήμα 6.143 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση SO₂ παρουσιάζεται στη Μαδρίτη (αστικός-κυκλοφορίας), ενώ η αμέσως επόμενη εμφανίζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-υποβάθρου).



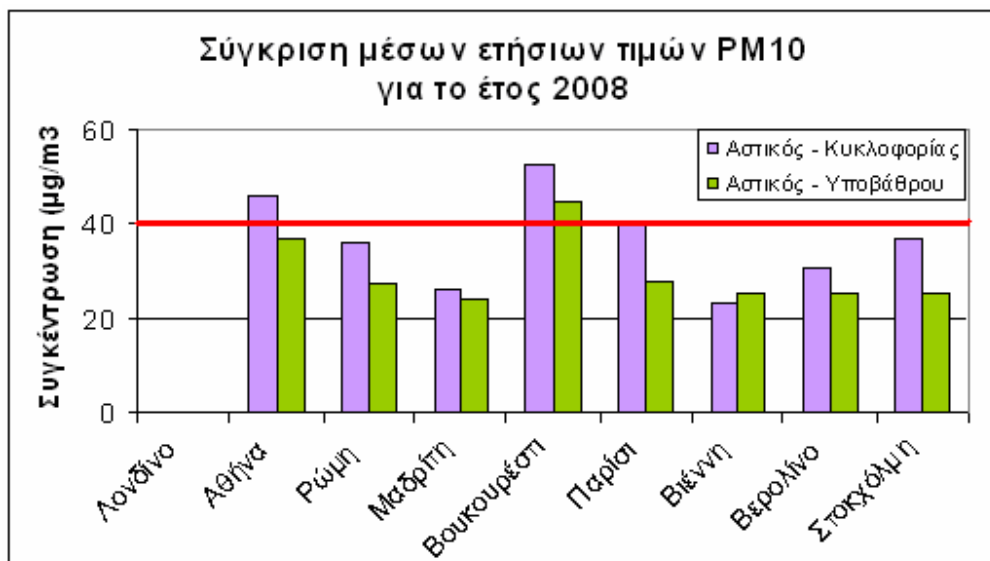
Σχήμα 6.144 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση NO_x παρουσιάζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-κυκλοφορίας), ενώ η αμέσως επόμενη εμφανίζεται στη Ρώμη.



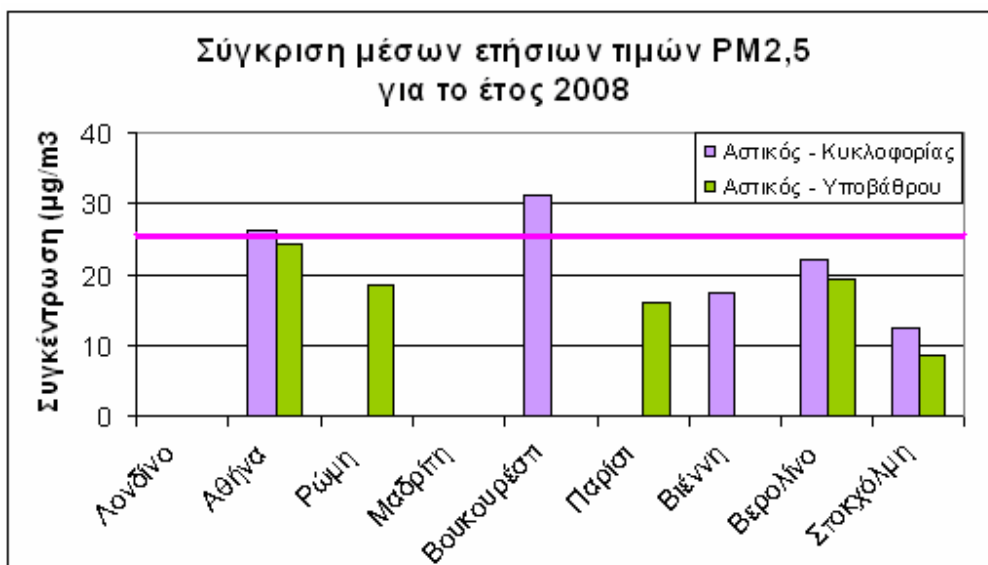
Σχήμα 6.145 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση NO₂ παρουσιάζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-κυκλοφορίας). Με εξαίρεση τη Βιέννη, όλες οι πόλεις υπερβαίνουν την οριακή τιμή (έτος ισχύος: 2010).



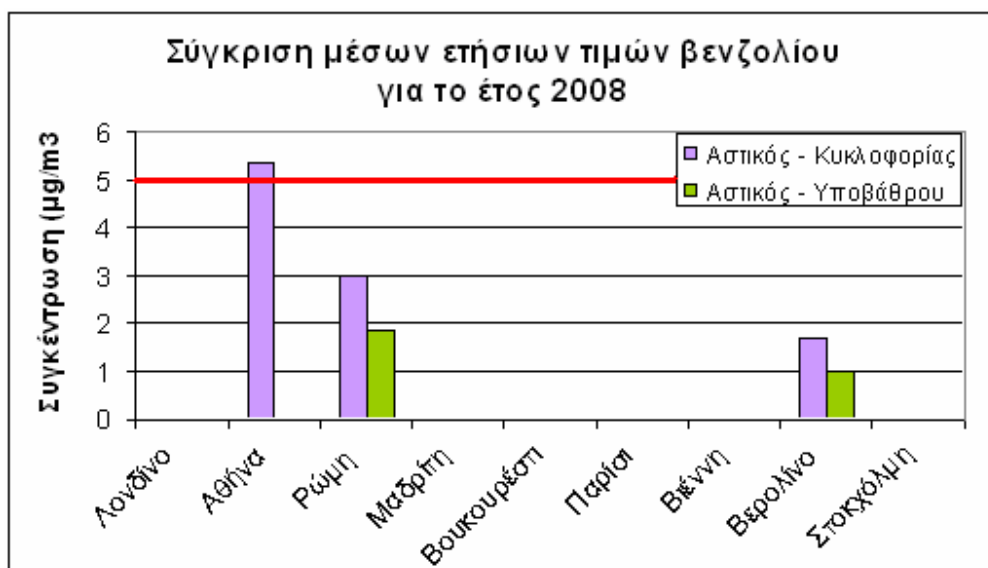
Σχήμα 6,146 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση O₃ παρουσιάζεται στην Αθήνα (αστικός-υποβάθρου).



Σχήμα 6.147 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση PM₁₀ παρουσιάζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-κυκλοφορίας), που μαζί με την Αθήνα που ακολουθεί, είναι οι μόνες πόλεις που υπερβαίνουν την οριακή τιμή.



Σχήμα 6.148 Η μεγαλύτερη συγκέντρωση PM_{2,5} παρουσιάζεται στο Βουκουρέστι (αστικός-κυκλοφορίας). Επίσης και η Αθήνα υπερβαίνει την τιμή-στόχο.



Σχήμα 6.149 Η συγκέντρωση βενζολίου στην Αθήνα (αστικός-κυκλοφορίας) υπερβαίνει την οριακή τιμή (έτος ισχύος: 2010).

Από τα Σχήματα 6.142 – 1.149 συμπεραίνουμε ότι:

❖ Στους σταθμούς κυκλοφορίας (αστικούς):

- Την πρώτη θέση στην κατάταξη των πόλεων με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις για τους περισσότερους ρύπους για το 2008, έχει το Βουκουρέστι, που το 2007 ερχόταν στη δεύτερη θέση μετά την Αθήνα. Η πόλη αυτή παρουσίασε τις μεγαλύτερες ετήσιες τιμές για τους ρύπους: NO_x ($134,410 \mu\text{g}/\text{m}^3$), NO_2 ($78,585 \mu\text{g}/\text{m}^3$), PM_{10} ($52,635 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και $\text{PM}_{2,5}$ ($31,330 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

- Ενώ η πόλη που παρουσίασε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις για τους περισσότερους ρύπους ήταν, όπως και το 2007, το Βερολίνο (CO : $0,171 \text{ mg}/\text{m}^3$, SO_2 : $2,752 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_x : $95,106 \mu\text{g}/\text{m}^3$, C_6H_6 : $1,672 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

❖ Στους σταθμούς υποβάθρου (αστικούς):

- Η πόλη η οποία εμφάνισε τις μεγαλύτερες ετήσιες τιμές για τους περισσότερους ρύπους είναι και το 2008 η Αθήνα για τους ίδιους ρύπους και αυτό το έτος (CO : $0,644 \text{ mg}/\text{m}^3$, O_3 : $71,633 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $\text{PM}_{2,5}$: $24,312 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

- Ενώ η πόλη με τις περισσότερες χαμηλότερες συγκεντρώσεις είναι η Στοκχόλμη, όπως και το 2007, που τις παρουσίασε για τους ρύπους: NO_x ($14,985 \mu\text{g}/\text{m}^3$), NO_2 ($12,491 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και $\text{PM}_{2,5}$ ($8,805 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Η κατάταξη αυτή δεν είναι απόλυτη βέβαια αφού σε ορισμένες πόλεις δεν υπάρχουν δεδομένα για όλους τους ρύπους.

7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10} ΚΑΙ $PM_{2,5}$ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ

Για χρονικό διάστημα δύο εβδομάδων, από 10/03/2010 έως 23/03/2010, κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$ στην πόλη των Χανίων. Σκοπός της πειραματικής αυτής διαδικασίας ήταν να διαπιστωθούν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη των Χανίων, καθώς και η ωριαία και ημερήσια διακύμανση της συγκέντρωσης των σωματιδίων.

7.1 Περιοχή μελέτης



Τα Χανιά είναι η πρωτεύουσα του Νομού των Χανίων και βρίσκεται στην βορειοδυτική Κρήτη. Είναι παραλιακή πόλη και έχει έκταση περίπου 11 τετραγωνικών χιλιομέτρων και πληθυσμό 55.838 κατοίκων (απογραφή 2001), αποτελώντας έτσι τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη του νησιού μετά το Ηράκλειο. Το κλίμα στην περιοχή είναι ήπιο μεσογειακό με φυσιολογικές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Γενικά τα Χανιά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν σαν μία έντονα ρυπασμένη αστική περιοχή. Υπάρχουν οι κλασικοί αστικοί ρύποι οι οποίοι προέρχονται κυρίως από τα αυτοκίνητα, τη θέρμανση και κάποια υποτυπώδη βιομηχανία που λειτουργεί στην ευρύτερη περιοχή. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η πόλη εμφανίζει αυξημένη κίνηση τη θερινή περίοδο λόγω του ιδιαίτερου τουριστικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει.

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε 2 περιοχές στο αστικό κέντρο της πόλης, στην Πλατεία Δημοτικής Αγοράς Χανίων (Πλατεία Σοφοκλή Βενιζέλου) και στην Πλατεία Δικαστηρίων (Πλατεία Ελευθερίας), καθώς και στην περιοχή του Πολυτεχνείου Κρήτης (Δήμος Ακρωτηρίου) που βρίσκεται λίγο έξω από την πόλη σε υψόμετρο 137μ.

7.2 Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: DustTrak της εταιρείας TSI

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το DustTrak της εταιρείας TSI που διαθέτει το τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης

7.2.1 Περιγραφή οργάνου

Το συγκεκριμένο όργανο έχει τη δυνατότητα με αλλαγή της κεφαλής δειγματοληψίας να μετράει αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_1 (σωματίδια με μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο 10, 2,5 και 1 μm αντίστοιχα). Το μεγάλο πλεονέκτημα του οργάνου είναι ότι είναι φορητό και μικρό σε μέγεθος. Έτσι παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης (με χρήση μπαταριών) σε οποιονδήποτε χώρο και σημείο. Επίσης, έχει περίβλημα ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες του περιβάλλοντος για την πραγματοποίηση μετρήσεων με ακρίβεια στους εξωτερικούς χώρους.



Εικόνα 7.1 Το όργανο DustTrak της εταιρείας TSI.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι προδιαγραφές του οργάνου (TSI, 2003):

- Τύπος αισθητήρα: 90 ° σκέδαση φωτός.
- Κλίμακα: 0,001 έως 100 mg/m³ (βαθμονομείται με το πρότυπο ISO 12103-1).
- Ανάλυση: 1% της ένδειξης ή 0,001 mg/m³, όποια είναι μεγαλύτερη.
- Ταχύτητα ροής: 1,4 έως 2,4 Ρυθμιζόμενα l / min (1,7 ονομαστικά).
- Συντελεστής θερμοκρασίας: 0,001 °C ανά mg/m³ (για τις διακυμάνσεις από θερμοκρασία στην οποία το DustTrack μηδενίζεται).
- Θερμοκρασία λειτουργίας: 32 ° F έως 120 ° F (0 ° C έως 50 ° C).
- Θερμοκρασία Αποθήκευσης: -4 ° F έως 140 ° F (-20 ° C έως 60 ° C).
- Υγρασία λειτουργίας: 0 έως 95% RH (μη συμπύκνωση).
- Εξωτερικές διαστάσεις: 8.7in*5.9in* 3.4 in (221mm *150mm * 87mm).
- Μέσο βάρος: 1,5 kg με τις μπαταρίες.
- Χρόνος αλκαλικής μπαταρίας: 16 ώρες .

Γενικά οι κατηγορίες εργασιών στις οποίες μπορεί να φανεί χρήσιμο το όργανο αυτό είναι:

- Έλεγχος ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων
- Έλεγχος χώρων εργασίας σε βιομηχανίες
- Περιβαλλοντικές μετρήσεις – Μετρήσεις ποιότητας αέρα σε απομακρυσμένες περιοχές.

Για την ασφάλεια του οργάνου θα πρέπει να αποφεύγονται μετρήσεις σε ιδιαίτερα επιβαρημένες από σωματίδια περιοχές ή χώρους.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται το όργανο και οι κεφαλές δειγματοληψίας για σωματίδια PM₁ και PM_{2,5}.



Εικόνα 7.2 Κεφαλές δειγματοληψίας του οργάνου.

Το όργανο διαθέτει μία ψηφιακή οθόνη που δείχνει σε πραγματικό χρόνο τις συγκεντρώσεις σε mg/m^3 και ταυτόχρονα καταγράφει τα δεδομένα στην μνήμη.

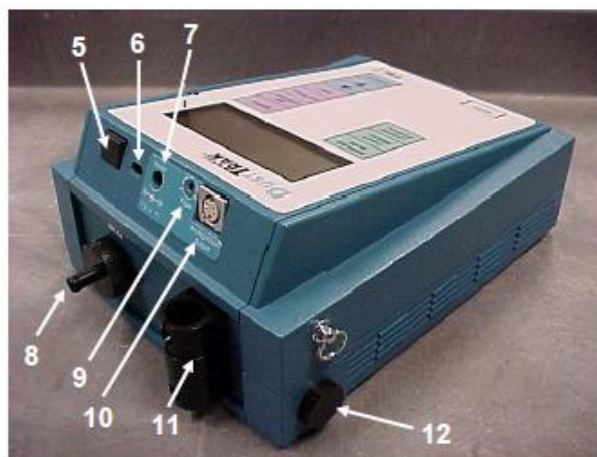
Με το λογισμικό ανάλυσης δεδομένων που συνοδεύει το όργανο δίνεται η δυνατότητα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή να κάνουμε τον προγραμματισμό για την δειγματοληψία. Έτσι μπορούμε να ορίσουμε την αρχή και το τέλος της δειγματοληψίας, το βήμα χρόνου που θα λαμβάνει μετρήσεις κ.ο.κ. Επίσης μπορούμε να δημιουργήσουμε λεπτομερή διαγράμματα και εκθέσεις για τις μετρήσεις μας (TSI, 2003).

Υπάρχουν τέσσερις μορφές με τις οποίες μπορούμε να κάνουμε δειγματοληψία. Η Survey που είναι η πιο απλή και που μας δίνει τον μέσο όρο, την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή που καταγράφηκε και τον χρόνο δειγματοληψίας και τρεις άλλες, οι LOG1, LOG2, LOG3. Μ' αυτές μπορούμε να αποθηκεύσουμε τις επιμέρους μετρήσεις και να δημιουργήσουμε μέσω του λογισμικού την καμπύλη μεταβολής της συγκέντρωσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Οι καμπύλες αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, καθώς οι κορυφές και η γενικότερη μορφή τους μας βοηθάει να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τη μεταβολή που μπορεί να προκληθεί στο χώρο δειγματοληψίας.

Κατά τη διάρκεια δειγματοληψίας πρέπει η ροή αέρα που περνάει από το όργανο να παραμένει σταθερή. Αυτό επιτυγχάνεται με την σωστή συντήρηση του οργάνου και με την τακτική βαθμονόμηση αυτού.

7.2.2 Τμήματα οργάνου

1. Οθόνη
2. Πληκτρολόγιο
3. Κάλυμμα μπαταριών
4. Άνοιγμα καλύμματος μπαταριών
5. Θύρα δεδομένων
6. Lockout διακόπτης
7. Εξωτερική πρίζα
8. Θύρα κεφαλής δειγματοληψίας
9. Σημείο ρύθμισης ροής
10. Αναλογική έξοδος
11. Σημείο σύνδεσης «κυκλώνα»
12. Θύρα καυσαερίων

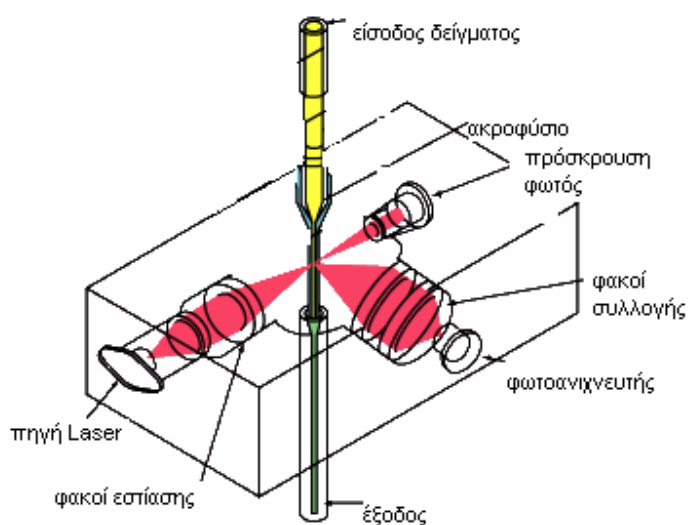


Εικόνα 7.3 Τμήματα οργάνου DustTrak (TSI, 2003).

7.2.3 Αρχή λειτουργίας οργάνου

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται στην διάχυση του φωτός. Καθώς μια «μάζα» αέρα οδηγείται στο εσωτερικό του οργάνου αυτή «βομβαρδίζεται» από φωτεινά κύματα laser. Τα σωματίδια της αέριας μάζας διαχέουν το φως αυτό προς όλες τις κατευθύνσεις. Ένας φακός που είναι τοποθετημένος κάθετα στο επίπεδο που σχηματίζουν οι διευθύνσεις της ροής σωματιδίων και των ακτίνων laser, συλλέγει κάποιο μέρος από το σκεδαζόμενο φως και το προωθεί προς έναν φωτοανιχνευτή. Το σήμα του φωτοπολλαπλασιαστή μετατρέπεται σε τάση ηλεκτρικού ρεύματος (volts) που θα είναι ανάλογη του ποσού του σκεδαζόμενου φωτός, άρα και ανάλογη της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη «μάζα» αέρα.

Η διάχυση του φωτός καθορίζεται κύρια από τη συγκέντρωση των σωματιδίων, ενώ εξαρτάται επίσης και από το βαθμό διάθλασης και τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων ως προς την ικανότητά τους να απορροφούν φωτεινά κύματα. Η σκέδαση του φωτός μπορεί να θεωρηθεί ότι μεταβάλλεται γραμμικά ως προς την συγκέντρωση των σωματιδίων για σωματίδια μέχρι $0,1\mu\text{m}$. Στην ενδιάμεση περιοχή από $0,1$ μέχρι $0,25\mu\text{m}$ φαίνεται ότι όσο μειώνεται η συγκέντρωση η σκέδαση μειώνεται με την έκτη δύναμη της διαμέτρου D^6 . Η δίοδος παραγωγής ακτινών laser παράγει κύματα με μήκος κύματος 780 nm ($= 0,78\mu\text{m}$).



Εικόνα 7.4 Αρχή λειτουργίας οργάνου DustTrak.

7.3 Περιγραφή δειγματοληψίας

Σε διάστημα δύο εβδομάδων (Πίνακας 7.1) πραγματοποιούνταν καθημερινά μετρήσεις, με τη βοήθεια του οργάνου DustTrak, της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} , καθώς και των $PM_{2.5}$, σε κάθε μία από τις περιοχές δειγματοληψίας.

Πίνακας 7.1 Πλάνο δειγματοληψίας

	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Δευτέρα	Τρίτη
Εβδομάδα 1	10/3/2010	11/3/2010.	12/3/2010	13/3/2010	14/3/2010	15/3/2010	16/3/2010
Εβδομάδα 2	17/3/2010	18/3/2010	19/3/2010	20/3/2010	21/3/2010	22/3/2010	23/3/2010

Κάθε μία από τις ημερομηνίες του Πίνακα διεξάγονταν μετρήσεις σε 3 περιοχές στα Χανιά (Σχήμα 7.1), κατά τη διάρκεια των ωρών που φαίνονται στον Πίνακα 7.2:

Πίνακας 7.2 Πρόγραμμα δειγματοληψίας

Χώρος δειγματοληψίας	Ώρα δειγματοληψίας
Πλατεία Δημοτικής Αγοράς	09:00 – 10:00
Πλατεία Δικαστηρίων	11:00 – 12:00
Πολυτεχνείο Κρήτης – Κτίρια Μηχανικών Περιβάλλοντος	13:00 – 14:00
Πλατεία Δημοτικής Αγοράς	16:00 – 17:00

Στο χρονικό διάστημα της μίας ώρα πραγματοποιούνταν δύο μισάωρες δειγματοληψίες:

- ο μία για μέτρηση με κεφαλή δειγματοληψίας για σωματίδια PM_{10} και
- ο μία για μέτρηση με κεφαλή δειγματοληψίας για σωματίδια $PM_{2.5}$.



Σχήμα 7.1 Περιοχές δειγματοληψίας (Εικόνες από ©2010 DigitalGlobe, Cnes/Spot Image, GeoEye, © WikiMapia.org).

Για την καταγραφή των δεδομένων στη μνήμη ορίσαμε ως βήμα χρόνου τα 5 λεπτά, που σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις που καταγράφονταν ήταν οι μέσες τιμές ανά 5 λεπτά.

Για την παρουσίαση των μετρήσεων έχουμε υπολογίσει το μέσο όρο για κάθε ένα μισάωρο δειγματοληψίας (PM_{10} ή $PM_{2,5}$). Οι μετρούμενες τιμές συγκέντρωσης ανά ημέρα, ώρα και περιοχή παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες στο Παράρτημα ΙΙΙ.

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων μέτρησης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε οι συνθήκες δειγματοληψίας να είναι σταθερές, δηλ. το όργανο να βρίσκεται σε σταθερό σημείο, με την κεφαλή δειγματοληψίας στραμμένη προς την ίδια κατεύθυνση στον κάθε χώρο, συνήθως προς τη μεριά του δρόμου, και στο ύψος περίπου που αναπνέει ο άνθρωπος. Η συγκέντρωση ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα, που είναι σχετική με την υγεία του ανθρώπου, είναι η συγκέντρωση που τη μετράμε σε ένα ύψος περίπου 1,5 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, διότι με αυτή τη συγκέντρωση εισπνέει ο άνθρωπος τον ρύπο. Υπήρξαν βέβαια περιπτώσεις που κατέστη αναγκαία η αλλαγή θέσης, πάλι όμως η επανατοποθέτηση του οργάνου έγινε με τρόπο τέτοιο ώστε να έχει όσο το δυνατόν μικρότερη επίπτωση στην αξιοπιστία της μέτρησης.

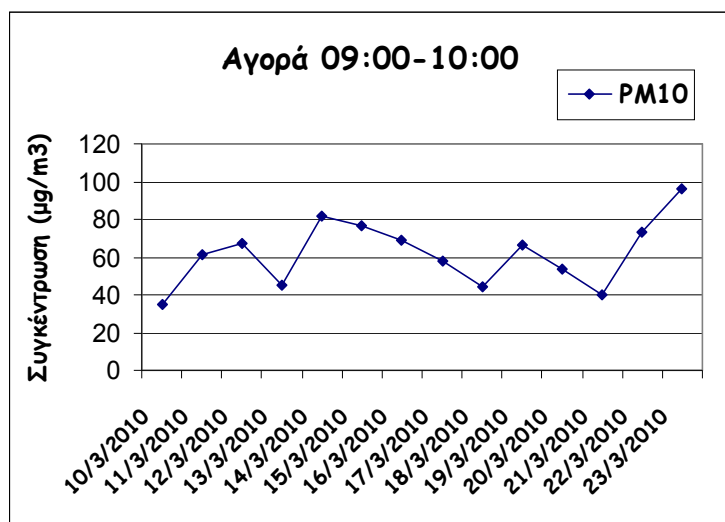
7.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

7.4.1 Περιοχή δειγματοληψίας: Πλατεία Δημοτικής Αγοράς

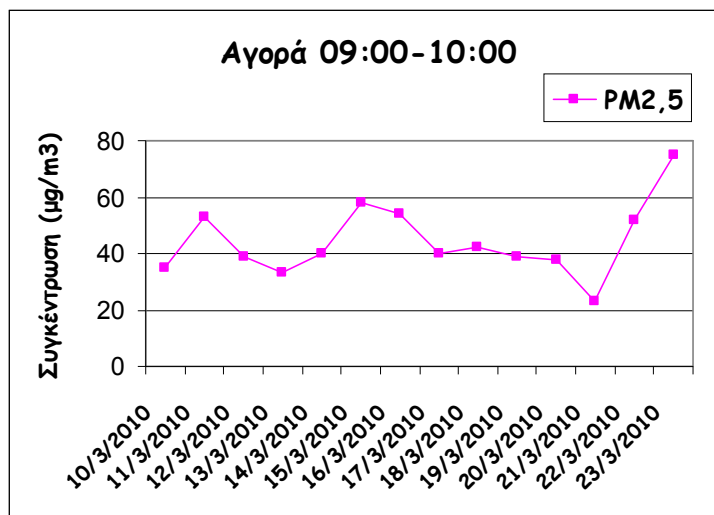
Η Πλατεία Αγοράς (Πλατεία Σοφοκλή Βενιζέλου) (Συντεταγμένες: 35°30'52"N 24°1'13"E) βρίσκεται στο κέντρο της πόλης των Χανίων και έχει την φημισμένη Δημοτική Αγορά. Ο δρόμος μπροστά από την Πλατεία (Ελ. Βενιζέλου) είναι ο κεντρικότερος της πόλης, αποτελείται από τέσσερις λωρίδες κυκλοφορίας και αποτελεί σημείο ιδιαίτερης κυκλοφοριακής συμφόρησης.



Εικόνα 7.5 Άποψη της πόλης των Χανίων όπου φαίνεται η Δημοτική Αγορά.



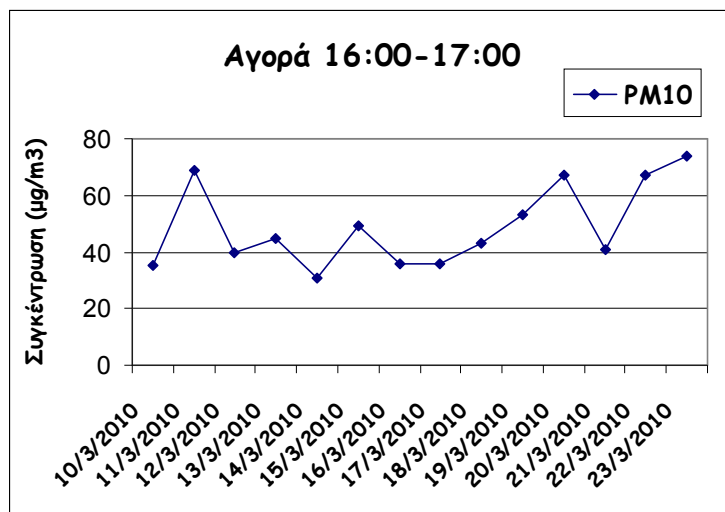
Σχήμα 7.2 Ημερήσια μεταβολή PM_{10} .



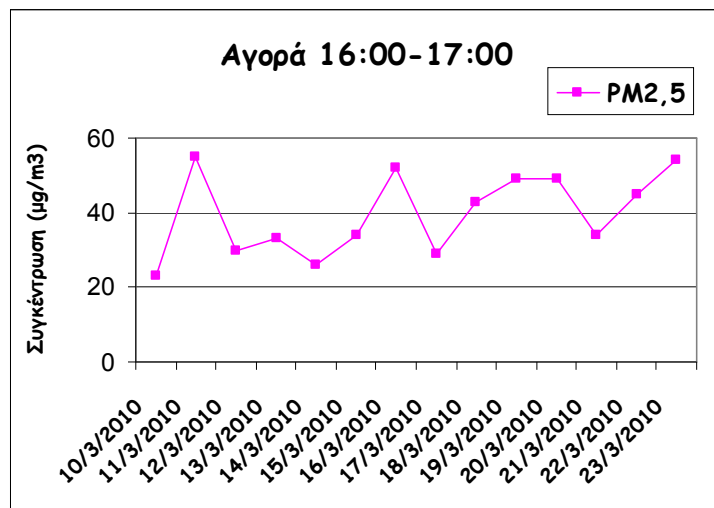
Σχήμα 7.3 Ημερήσια μεταβολή $PM_{2,5}$.

Από τα Σχήματα 7.2 και 7.3 συγκρίνοντας τις μέσες τιμές συγκέντρωσης για την κάθε ημέρα, παρατηρείται ότι στην Πλατεία Αγοράς, ώρα 09:00 – 10:00, η μέγιστη τιμή και για τα PM_{10} ($96 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και για τα $PM_{2,5}$ ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) σημειώθηκε την ίδια μέρα (23/3). Οι τιμές γενικά κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα, ακόμα και τις ημέρες του Σαββατοκύριακου που η

κυκλοφορία είναι σχετικά περιορισμένη σε σχέση με τις άλλες μέρες. Εξαιρέση αποτελεί η Κυριακή 21/03, ημέρα κατά την οποία καταγράφηκε η χαμηλότερη συγκέντρωση για τα $PM_{2,5}$ ($23 \mu g/m^3$) ενώ και τα PM_{10} ($40 \mu g/m^3$) κυμάνθηκαν χαμηλά, συγκρινόμενα με τις τιμές των άλλων ημερών.



Σχήμα 7.4 Ημερήσια μεταβολή PM_{10} .



Σχήμα 7.5 Ημερήσια μεταβολή $PM_{2,5}$.

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.4, το απόγευμα, ώρα 16:00 – 17:00, για τα PM_{10} η μικρότερη τιμή ($31 \mu g/m^3$) παρατηρείται στις 14/3, ημέρα Κυριακή, που οι ρυπογόνες δραστηριότητες στους δρόμους είναι περιορισμένες σχετικά τις απογευματινές ώρες, ενώ η μέγιστη ($74 \mu g/m^3$) παρουσιάζεται στις 23/3.

Για τα $PM_{2,5}$ (Σχήμα 7.5) η χαμηλότερη τιμή που σημειώνεται είναι $23 \mu g/m^3$ (10/3), ενώ η υψηλότερη είναι $55 \mu g/m^3$ (11/3). Και οι δύο τιμές αντιστοιχούν σε εργάσιμες μέρες. Παρατηρείται όμως ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση ($54 \mu g/m^3$) και στις 23/3.

7.4.2 Περιοχή δειγματοληψίας: Πλατεία Δικαστηρίων

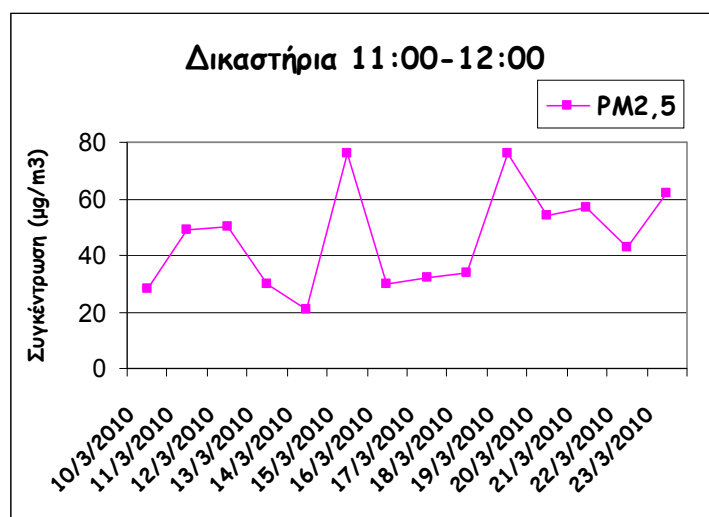


Εικόνα 7.6 Πλατεία Δικαστηρίων.

Η Πλατεία Δικαστηρίων (Πλατεία Ελευθερίας) (Συντεταγμένες: 35°30'36"N 24°1'50"E) απέχει ένα χιλιόμετρο από το κέντρο των Χανίων. Αποτελεί ένα πολυσύχναστο σημείο της πόλης και παρουσιάζει αυξημένη κίνηση γύρω από την πλατεία (δύο λωρίδες κυκλοφορίας).



Σχήμα 7.6 Ημερήσια μεταβολή PM_{10} .



Σχήμα 7.8 Ημερήσια μεταβολή $PM_{2.5}$.

Στην Πλατεία Δικαστηρίων, ώρα 11:00 – 12:00, από τα Σχήματα 7.6, 7.8 φαίνεται ότι, οι ελάχιστες τιμές σημειώνονται στις 14/3 (Κυριακή) και αντιστοιχούν σε $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} και $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα $PM_{2.5}$. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις για τα PM_{10} παρατηρούνται στις 19/3 ($79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και στις 23/3 ($77 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ η μέγιστη τιμή ($76 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα $PM_{2.5}$ παρουσιάζεται στις 10/3 και 15/3.

7.4.3 Περιοχή δειγματοληψίας: Πολυτεχνείο Κρήτης – Κτίρια Μηχανικών Περιβάλλοντος

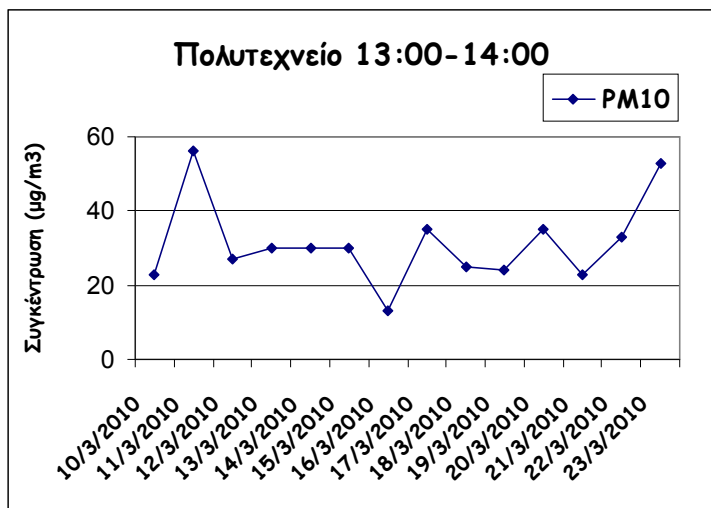
Το Πολυτεχνείο Κρήτης (Συντεταγμένες: 35°31'58"N 24°4'6"E) είναι κτισμένο στο Ακρωτήρι σε οικόπεδο συνολικής έκτασης 3000 στρεμμάτων, 7 χιλ. Β.Α. της πόλης των Χανίων και σε υψόμετρο 137μ. Στον εξωτερικό χώρο των κτιρίων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος η διέλευση οχημάτων είναι σχετικά περιορισμένη. Ο κεντρικός οδικός άξονας της περιοχής βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης, σε απόσταση περίπου 800μ. από τα κτίρια.



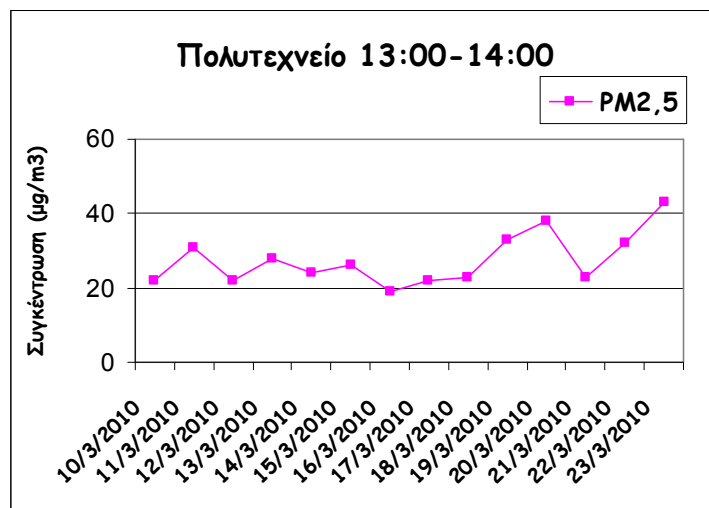
Εικόνα 7.7 Πολυτεχνείο Κρήτης.



Εικόνα 7.8 Κτίρια Μηχανικών Περιβάλλοντος.



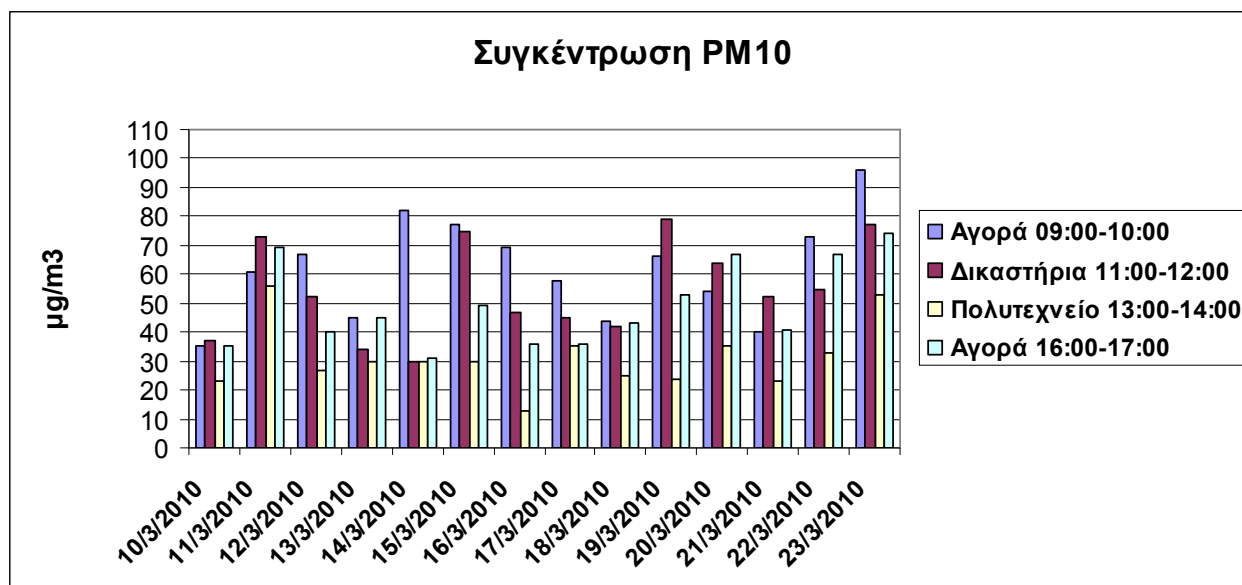
Σχήμα 7.9 Ημερήσια μεταβολή PM_{10} .



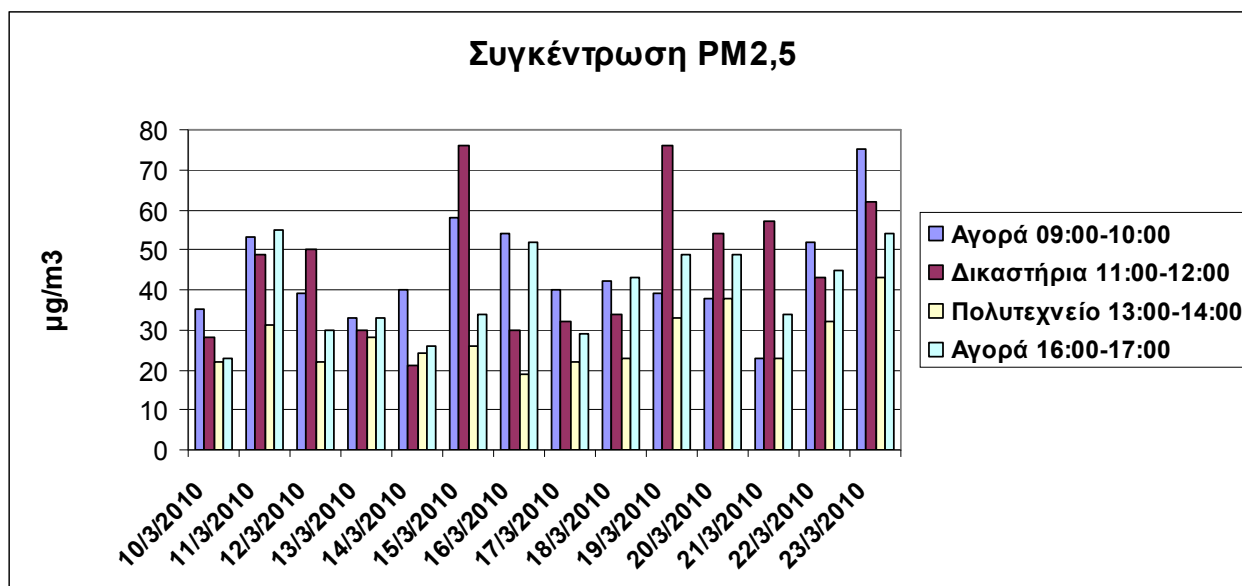
Σχήμα 7.10 Ημερήσια μεταβολή $PM_{2,5}$.

Από τα Σχήματα 7.9, 7.10 φαίνεται ότι για το Πολυτεχνείο Κρήτης, ώρα 13:00 – 14:00, οι χαμηλότερες τιμές για τα PM_{10} ($13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και $PM_{2,5}$ ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) καταγράφονται στις 16/3. Οι μέγιστες τιμές σημειώνονται στις 11/3 και 23/3 για τα PM_{10} ($56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και $PM_{2,5}$ ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$) αντίστοιχα. Είναι εμφανές ότι οι συγκεντρώσεις στην περιοχή αυτή κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις άλλες δύο περιοχές.

Στα ραβδογράμματα που ακολουθούν (Σχήματα 7.11, 7.12) μπορούμε να δούμε συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα μας για όλους τους χώρους δειγματοληψίας που έγιναν οι μετρήσεις:



Σχήμα 7.11 Ημερήσια μεταβολή PM₁₀.



Σχήμα 7.12 Ημερήσια μεταβολή PM_{2,5}.

Για τα PM_{10} (Σχήμα 7.11) η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης ($96 \mu g/m^3$) σημειώθηκε στην Αγορά στις 23/3 και ώρα 09:00 – 10:00, ενώ η χαμηλότερη ($13 \mu g/m^3$) ήταν στο Πολυτεχνείο Κρήτης στις 16/3 μεταξύ 13:00 – 14:00.

Για τα $PM_{2,5}$ (Σχήμα 7.12) η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης ($76 \mu g/m^3$) παρουσιάστηκε στις 15/3 και 19/3 στα Δικαστήρια μεταξύ 11:00 – 12:00, ενώ η μικρότερη ($19 \mu g/m^3$) παρατηρήθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης στις 16/3, ώρα 13:00 – 14:00.

Οι τιμές αυτές αποτελούν και το εύρος μεταξύ των οποίων κυμάνθηκαν οι συγκεντρώσεις στο διάστημα των δύο εβδομάδων.

Γενικότερα οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σημειώθηκαν, όπως ήταν αναμενόμενο, στις δύο περιοχές στο αστικό κέντρο των Χανίων (Αγορά, Δικαστήρια) λόγω της κοντινής απόστασης τους από σημαντικές πηγές ρύπανσης. Επίσης, ένας άλλος λόγος είναι ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ώρες κυκλοφοριακής αιχμής κατά τις οποίες εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες σωματιδίων κυρίως από τα οχήματα. Επομένως οι μετρήσεις στις περιοχές αυτές θεωρούνται αντιπροσωπευτικές ενός σταθμού τύπου αστικού – κυκλοφορίας.

Σχετικά με την ωριαία διακύμανση έχουμε να παρατηρήσουμε ότι οι τιμές τις πρωινές ώρες (09:00 – 10:00 και 11:00 – 12:00) ήταν σαφώς μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές των μετρήσεων κατά τις απογευματινές ώρες (16:00 – 17:00) που η κυκλοφορία είναι λιγότερο έντονη.

Στην περιοχή του Πολυτεχνείου, μπορεί μεν η περιορισμένη διέλευση των οχημάτων να συμβάλλει στα χαμηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων, συγκρινόμενα με τις άλλες δύο περιοχές, όμως γενικά επηρεάζονται από την κυκλοφορία και άλλες πηγές ρύπων στην πόλη όταν πνέει Βορειο-Δυτικός άνεμος. Οι μετρήσεις στην περιοχή του Πολυτεχνείου, λόγω της μικρής απόστασης του από το αστικό κέντρο (5km), θεωρούνται αντιπροσωπευτικές ενός σταθμού τύπου αστικού – υποβάθρου.

Επιλέον η περιοχή του Πολυτεχνείου δέχεται σωματίδια και από τοπικές πηγές, όπως είναι οι θαμνώδεις εκτάσεις, από το έδαφος των οποίων μπορεί να προέρχεται σκόνη. Πρέπει επίσης να σημειώσουμε ότι, σε όλη την χρονική περίοδο των μετρήσεων διεξάγονταν οικοδομικές

εργασίες στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης που είχε ως αποτέλεσμα να υπάρχει συνεισφορά σκόνης από τις κατασκευαστικές διαδικασίες.

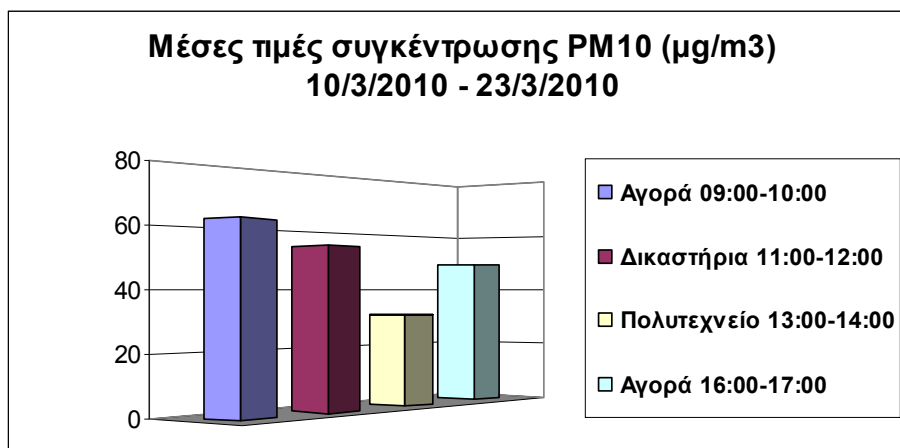
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις την πλειοψηφία των ημερών σημειώθηκαν στις 23/3, όπως επίσης και ότι οι συγκεντρώσεις το Σαββατοκύριακο 20-21/3 ήταν σχετικά αυξημένες σε σχέση με το προηγούμενο Σαββατοκύριακο 13-14/3.

Πρέπει βέβαια να λάβουμε υπόψη και τη μετεωρολογική επίδραση. Η συγκέντρωση των σωματιδίων, εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται υπό εξέταση. Τόσο η θερμοκρασία όσο και η υγρασία παίζουν συχνά σημαντικό ρόλο στη διακύμανση των ρύπων στην ατμόσφαιρα, ενώ ο άνεμος τόσο ως προς την ταχύτητα του όσο και ως προς τη διεύθυνση μπορεί να επηρεάσει τις συγκεντρώσεις τους.

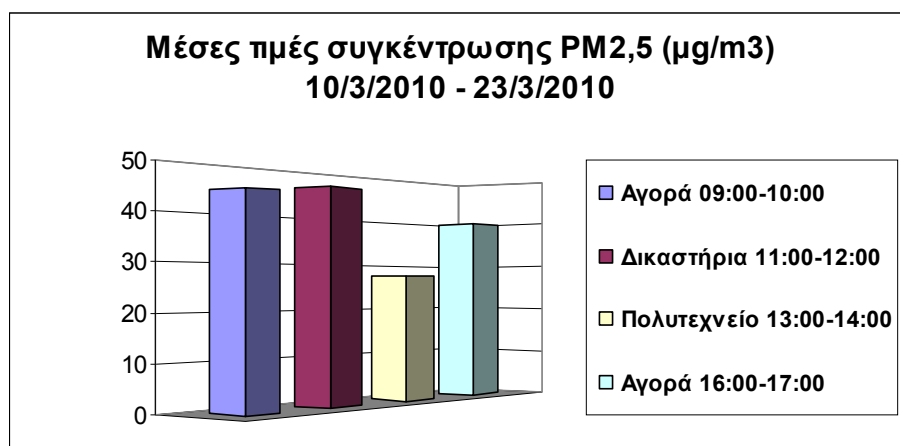
Στην πόλη των Χανίων, συνήθως οι Νότιοι άνεμοι ευνοούν την καταμέτρηση υψηλών συγκεντρώσεων σε αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα (είναι συχνά τα επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα - Sahara dust events). Οι προερχόμενες από τους βόρειους τομείς αέριες μάζες δεν φέρουν υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδιακών ρύπων εκτός από τα θαλάσσια αεροζόλ, των οποίων όμως η επίδραση στη συνολική μάζα των σωματιδίων δεν είναι τόσο μεγάλη όσο άλλων μορφών τους, ενώ η σκόνη, η οποία προέρχεται κυρίως από το νότο, αυξάνει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Πάντως τα επεισόδια σκόνης από την Σαχάρα είναι γεγονότα που συμβαίνουν αιφνίδια και η διάρκεια τους συνήθως δεν υπερβαίνει τις τρεις ημέρες.

Επίσης, σε συνθήκες υψηλής υγρασίας τα σωματίδια απορροφούν υδροσταγονίδια και αυξάνουν την μάζα τους. Ο σταθμός βρίσκεται σε παραθάλασσια περιοχή, επομένως οι τιμές της υγρασίας είναι γενικά υψηλές (είναι συχνή η εμφάνιση ποσοστού 100% για τη σχετική υγρασία, ειδικά κατά τις νυχτερινές ώρες), οπότε πιθανόν ένα μεγάλο μέρος των σωματιδίων που καταμετρώνται είναι υγροσκοπικά σωματίδια θαλάσσιου άλατος (sea-salt aerosol) (Βουλγαράκης, 2004).

Στα Σχήματα 7.13, 7.14 που ακολουθούν δίνονται οι διακυμάνσεις των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για όλο το διάστημα των δύο εβδομάδων ανά περιοχή δειγματοληψίας:



Σχήμα 7.13 Μεταβολή PM₁₀ ανά περιοχή.



Σχήμα 7.14 Μεταβολή PM_{2,5} ανά περιοχή.

Οι μέσες τιμές που προκύπτουν για τη συγκέντρωση των PM₁₀ για τις τρεις περιοχές από τα δεδομένα των δύο εβδομάδων παρουσιάζουν ένα υψηλό ποσοστό ρύπανσης για την πόλη των Χανίων. Το ίδιο ισχύει και για τις μέσες τιμές PM_{2,5}, οι οποίες είναι χαμηλότερες από τα PM₁₀, αφού αποτελούν μικρότερο σύνολο του φάσματος μεγεθών σωματιδίων. Οι συγκεντρώσεις αυτές όμως δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές γιατί αντιστοιχούν σε ένα μικρό χρονικό διάστημα για το οποίο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και επομένως δε μπορούμε να εξάγουμε γενικότερα συμπεράσματα. Επίσης, δεδομένου ότι οι τιμές προκύπτουν από μισάωρες μετρήσεις ανά περιοχή για την κάθε ημέρα, δε μπορεί να γίνει σύγκριση με τα ημερήσια όρια ασφαλείας για τα αιωρούμενα σωματίδια.

8 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ

8.1 Σενάρια πρόβλεψης για το 2030

Τα σενάρια αποτελούν απαραίτητα εργαλεία για τη μελέτη περιβαλλοντικών προβλημάτων και την αποτίμηση πολιτικών και μέτρων για την επίλυσή τους. Τα ερώτημα στο οποίο μπορούν να απαντήσουν δεν είναι αν ένα γεγονός θα συμβεί ή όχι στο μέλλον, αλλά τι θα συμβεί εάν αυτό λάβει χώρα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι σεναρίων (π.χ. EEA 2001, ICIS 1999). Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν δύο ποσοτικά σενάρια εξέλιξης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στα πλαίσια δεδομένων ποιοτικών σεναρίων εξέλιξης της κοινωνικοπολιτικής κατάστασης, τα οποία είναι ένα σενάριο αναμενόμενης εξέλιξης και ένα σενάριο για τη μελέτη των επιπτώσεων των πρόσθετων μέτρων που θα ληφθούν για τη μείωση των εκπομπών σε Ευρωπαϊκή κλίμακα.

Τα δύο εναλλακτικά σενάρια, διαμορφώθηκαν στα πλαίσια της «Θεματικής Στρατηγικής για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση» (European Commission 2005), για τον καθορισμό της στρατηγικής αντιμετώπισης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΕ τα επόμενα 20 χρόνια. Οι λεπτομέρειες των σεναρίων παρουσιάζονται στο ETC/ACC Technical Paper 2005/2 (version June 2005), και τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν στην έκθεση State of the Environment and Outlook Report 2005.

Το σενάριο «Αναμενόμενης Εξέλιξης» (ΑΕ) (LGEP-CLE Current Legislation) διαμορφώθηκε έτσι ώστε να απεικονίζει τη μελλοντική εξέλιξη των εκπομπών υπό τις παρούσες πολιτικές και πρακτικές συμπεριφοράς των καταναλωτών, καθώς και τις διαφαινόμενες μελλοντικές τάσεις. Έτσι, στο σενάριο αυτό λαμβάνονται υπόψη οι ήδη δρομολογημένες πολιτικές στους διάφορους τομείς οικονομικής δραστηριότητας (μεταφορές, βιομηχανία κ.λ.π.) και διαμορφώνονται εκτιμήσεις για την εξέλιξη των εκπομπών. Το σενάριο ΑΕ περιλαμβάνει όλες τις νομοθεσίες που εφαρμόστηκαν ή θεσπίστηκαν μέχρι το τέλος του 2003.

Η διαρκής προσπάθεια για την εξεύρεση δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών, είτε μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, είτε μέσω της χρήσης νέων και λιγότερο ρυπογόνων τεχνολογιών, έχει ως αποτέλεσμα νέες τεχνολογικές λύσεις. Για να εξεταστεί η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών εφόσον γίνει χρήση της υπάρχουσας τεχνολογίας που όμως δεν έχει

ακόμη θεσπιστεί, διαμορφώθηκε το σενάριο «Μεγίστων Μειώσεων» (**MM**) (LGEP-MFR Maximum Feasible Reductions). Στο σενάριο MM περιλαμβάνονται όλες οι διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις που παρέχουν τις μέγιστες δυνατές μειώσεις, χωρίς όμως να γίνεται η υπόθεση πρόωρης απόσυρσης του υπάρχοντος τεχνικού εξοπλισμού, πριν από τη λήξη του κύκλου ζωής του.

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας της προσέγγισης, εκτός από τα δύο εναλλακτικά σενάρια μελλοντικής εξέλιξης με χρονικό ορίζοντα το 2030, έγινε εφαρμογή και για το έτος αναφοράς 2000 (υφιστάμενη κατάσταση).

Πίνακας 8.1

Οι αστικές περιοχές που καλύπτει η πρόβλεψη είναι δίνονται στον Πίνακα και αριθμούν στο σύνολο 53 εκατομμύρια κατοίκους. Για την εξέλιξη των εκπομπών ρύπων στις αστικές περιοχές, λόγω της έλλειψης λεπτομερών δεδομένων για τις επιμέρους πόλεις αλλά και με σκοπό να εξασφαλιστεί μια ενιαία προσέγγιση για τον υπολογισμό των νέων εκπομπών σε όλες τις αστικές περιοχές, θεωρήθηκε ότι η εξέλιξη των εκπομπών θα ακολουθήσει αυτή των χωρών. Οι συνολικές εκπομπών ανά ρύπο τόσο στο σενάριο ΑΕ όσο και στο σενάριο MM αναμένεται να μειωθούν σημαντικά.

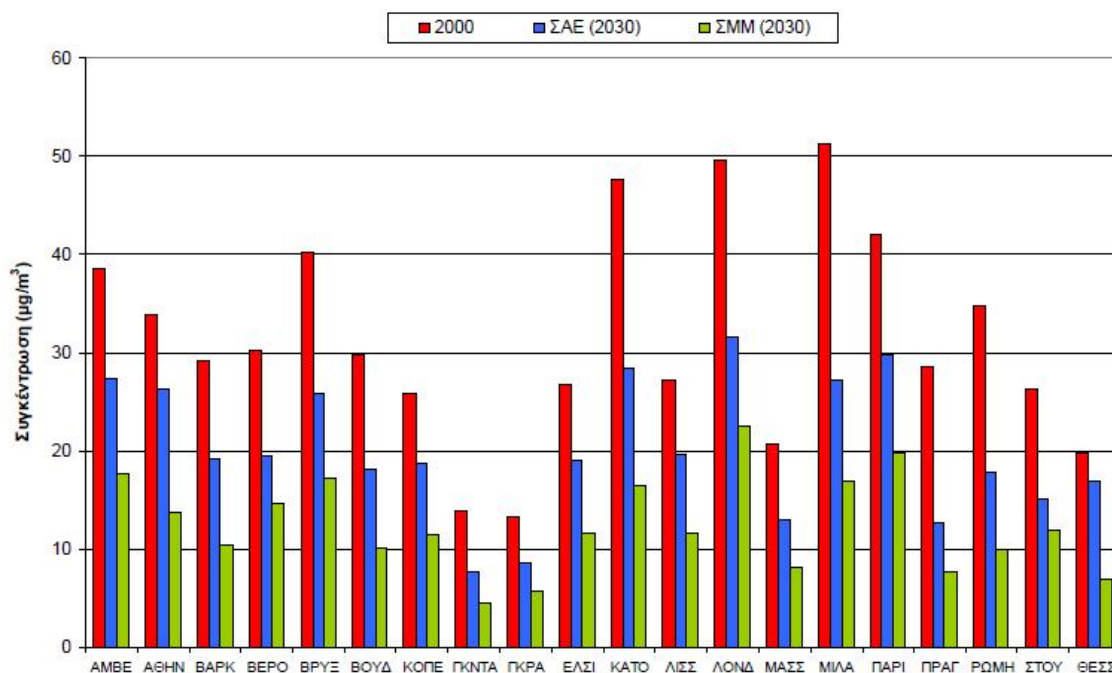
Αμβέρσα
Αθήνα
Βαρκελώνη
Βερολίνο
Βρυξέλλες
Βουδαπέστη
Κοπεγχάγη
Γκντάνσκ
Γκρατς
Ελσίνκι
Κατοβίτσε
Λισσαβόνα
Λονδίνο
Μασσαλία
Μιλάνο
Παρίσι
Πράγα
Ρώμη
Στουτγάρδη
Θεσσαλονίκη

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Στα Σχήματα και στο Παράρτημα V παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου OFIS (Arvanitis & Moussiopoulos, 2003) για τους ρύπους NO₂, NO_x, PM₁₀ και PM_{2,5} (ετήσιος μέσος όρος), και ο δείκτης SOMO35³ για το έτος αναφοράς (2000) και τα σενάρια ΑΕ και MM. Ο

χρονικός ορίζοντας των σεναρίων είναι το έτος 2030, για το οποίο θεωρήθηκε ότι θα επικρατούν οι μετεωρολογικές συνθήκες του έτους 1997 (ως αντιπροσωπευτικές των μετεωρολογικών συνθηκών κατά τη δεκαετία του '90).

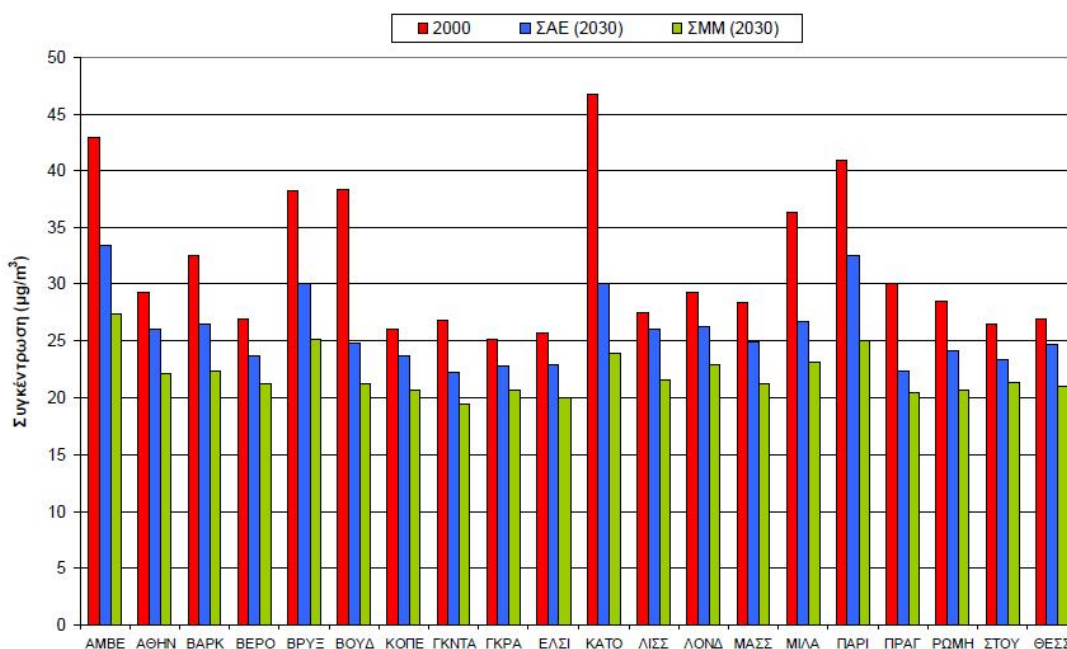
³ SOMO35: το άθροισμα των μεγίστων ημερησίων μέσων τιμών 8-ώρου άνω των 35 ppb για ένα έτος. Για κάθε μέρα του έτους, επιλέγεται η μέγιστη τιμή των τρεχόντων 8-ώρων μέσων όρων και όσες είναι άνω των 35 ppb αθροίζονται, αφού αφαιρεθούν 35 ppb (για τον ορισμό του τρέχοντος 8-ώρου μέσου όρου βλ. European Commission 2002, σελ. 8).



Σχήμα 8.1 Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] σε είκοσι Ευρωπαϊκές πόλεις για τα έτη 2000 και 2030: μέση τιμή των συγκεντρώσεων που υπολογίζονται στο κέντρο και στην περιφέρεια των αστικών περιοχών.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με το μοντέλο OFIS ακολουθούν την τάση που καθορίζουν τα σενάρια των εκπομπών και συνεπώς προβλέπεται βελτίωση της ποιότητας αέρα το 2030 τόσο με το σενάριο ΑΕ όσο και με το ΜΜ. Η μείωση της ρύπανσης με βάση τις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερη στο σενάριο ΜΜ, όμως σημαντική βελτίωση της ποιότητας αέρα σε όλες τις πόλεις παρατηρείται και στο σενάριο ΑΕ.

Σε ό,τι αφορά το NO_2 , αναμένεται ότι ακόμα και στο σενάριο ΑΕ, η θεσμοθετημένη οριακή τιμή που προβλέπεται να ισχύει μετά το 2010 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), δεν θα υπερβαίνεται σε καμία πόλη το 2030, αφού εκτός από το Λονδίνο όλες οι πόλεις επιδεικνύουν μέσες ετήσιες τιμές κάτω από $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Μεγαλύτερη βελτίωση στην ποιότητα αέρα υπολογίζεται με το σενάριο ΜΜ, όπου οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις προβλέπεται να είναι κάτω από $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σε όλες τις πόλεις, εκτός από το Λονδίνο ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



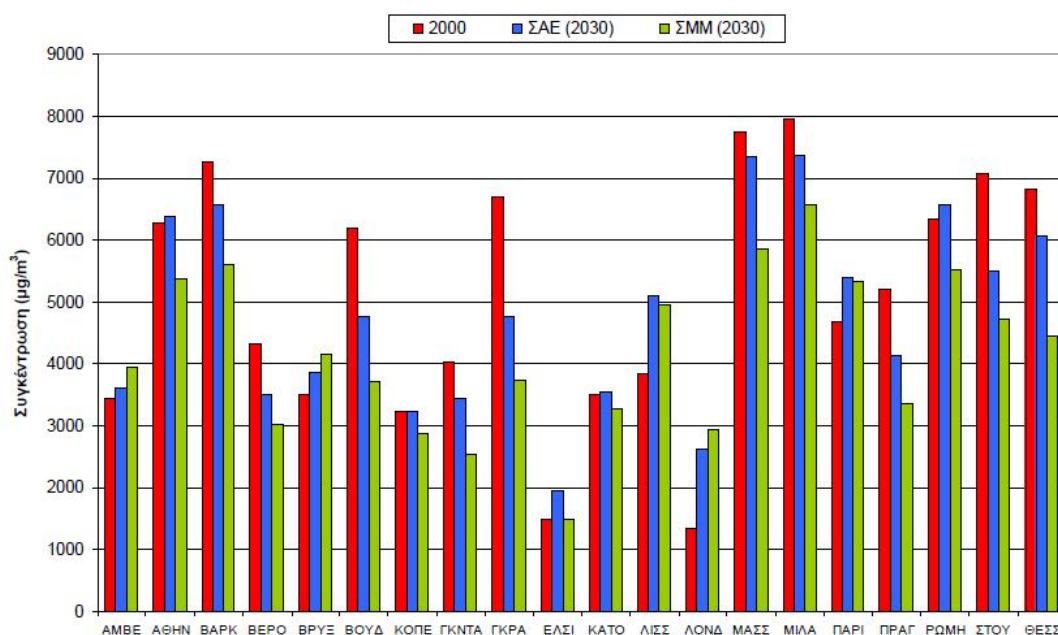
Σχήμα 8.2 Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM_{10} [$\mu g/m^3$] σε είκοσι Ευρωπαϊκές πόλεις για τα έτη 2000 και 2030: μέση τιμή των συγκεντρώσεων που υπολογίζονται στο κέντρο και στην περιφέρεια των αστικών περιοχών.

Στα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα PM_{10} , όπως και στην περίπτωση του NO_2 , παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων τόσο με το σενάριο ΑΕ όσο και με το σενάριο ΜΜ. Η μέγιστη μείωση να παρατηρείται στο Κατοβίτσε και στη Βουδαπέστη, ενώ η ελάχιστη μείωση, της τάξεως των $2 \mu g/m^3$, παρατηρείται σε διάφορες πόλεις. Στο σενάριο ΜΜ και σύμφωνα με την προβλεπόμενη πρόσθετη μείωση των εκπομπών σε όλες τις πόλεις, η μέση ετήσια συγκέντρωση μειώνεται κατά μέσο όρο κατά $10 \mu g/m^3$. Η μέγιστη μείωση στο σενάριο ΜΜ παρατηρείται στο Κατοβίτσε ($23 \mu g/m^3$).

Η θεσμοθετημένη οριακή τιμή που προβλέπεται να ισχύει μετά το 2010 ($20 \mu g/m^3$), θα υπερβαίνεται σε όλες τις πόλεις το 2030, με μόνη εξαίρεση το Γκντανσκ ($19,5 \mu g/m^3$) σύμφωνα με το σενάριο ΜΜ.

Παρόμοια τάση με τις συγκεντρώσεις PM_{10} παρατηρείται και στις συγκεντρώσεις $PM_{2,5}$ (Παράρτημα V), όπου η μέση μείωση των συγκεντρώσεων σύμφωνα με το σενάριο ΑΕ είναι $5 \mu g/m^3$, με μέγιστη μείωση $10 \mu g/m^3$ να παρατηρείται για τη Βουδαπέστη, το Κατοβίτσε και το

Μιλάνο, ενώ η ελάχιστη μείωση ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρείται στις περισσότερες πόλεις. Μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται με το σενάριο MM, όπου η μέση μείωση αυξάνεται σε $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ η μέγιστη μείωση ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρείται πάλι στο Κατοβίτσε, τη Βουδαπέστη και το Μιλάνο, αλλά και στο Παρίσι.



Σχήμα 8.3 Ο δείκτης SOMO35 (O_3) για είκοσι Ευρωπαϊκές πόλεις τα έτη 2000 και 2030.

Σε ό,τι αφορά τις συγκεντρώσεις O_3 , σύμφωνα με το σενάριο ΑΕ, παρουσιάζεται μια μικτή εικόνα. Σε 10 πόλεις εμφανίζεται μια αύξηση του δείκτη, ενώ στις υπόλοιπες 10 πόλεις παρουσιάζεται μια μείωση του δείκτη. Γενικά, σύμφωνα με τα δύο σενάρια οι συγκεντρώσεις O_3 αναμένεται να μειωθούν αφού προβλέπεται σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων VOC, CO και NO_x σε ευρεία κλίμακα. Πάντως, σε τοπική κλίμακα, οι υψηλές συγκεντρώσεις NO_x μειώνουν τις συγκεντρώσεις O_3 . Συνεπώς, αν μειωθούν οι συγκεντρώσεις NO_x (λόγω μείωσης των εκπομπών), παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις O_3 . Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάποιες πόλεις, όπως Κοπεγχάγη και Κατοβίτσε, ο δείκτης SOMO35 μεταβάλλεται ελάχιστα μεταξύ του έτους αναφοράς (2000) και του σεναρίου ΑΕ. Στο σενάριο MM, ο αριθμός των πόλεων όπου παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων είναι 14, ενώ 6 πόλεις παρουσιάζουν αυξανόμενη ή σταθερή τιμή του δείκτη SOMO35.

8.2 Η επίδραση της μετεωρολογίας

Σε ό,τι αφορά την επίδραση που έχουν οι θεωρούμενες μετεωρολογικές συνθήκες στην πρόβλεψη των συγκεντρώσεων για το έτος 2030, μελετήθηκε η επίδραση της αυξανόμενης μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και των «ακραίων» καιρικών συνθηκών που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια. Το σενάριο ΑΕ προσομοιώθηκε από το μοντέλο OFIS για δύο διαφορετικά μετεωρολογικά έτη. Σε κάθε προσομοίωση, οι οριακές συνθήκες για την εφαρμογή του μοντέλου αστικής κλίμακας (OFIS) προήλθαν από τα αποτελέσματα του μοντέλου περιφερειακής κλίμακας (EMEP) για τα αντίστοιχα μετεωρολογικά έτη και το αντίστοιχο σενάριο. Συνεπώς τα αποτελέσματα των δύο προσομοιώσεων είναι ανεξάρτητα από την αύξηση/μείωση στις εκπομπές (αφού και στις δύο προσομοιώσεις τόσο οι εκπομπές του μοντέλου OFIS όσο και του EMEP παραμένουν οι ίδιες), άρα οι συγκεντρώσεις εξαρτώνται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Το έτος 1997 θεωρείται αντιπροσωπευτικό των συνθηκών που επικρατούσαν τη δεκαετία του '90, ενώ το 2003 επιλέχθηκε ώστε να αντιπροσωπεύει τις «ακραίες» συνθήκες που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια. Από μελέτες που έχουν γίνει για τη διακύμανση της εποχιακής θερμοκρασίας στην Δυτική Ευρώπη (π.χ. Luterbacher *et al.* 2006), έχει βρεθεί ότι το καλοκαίρι του 2003 ήταν πιθανώς το θερμότερο καλοκαίρι τα τελευταία 500 χρόνια.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, οι μετεωρολογικές συνθήκες το έτος 2003 γενικά οδηγούν σε υψηλότερες μέσες ετήσιες θερμοκρασίες στην Ευρώπη και έχουν ως συνέπεια υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις O_3 σε όλες τις πόλεις, σε σχέση με το έτος 1997, εκτός από το Ελσίνκι και την Κοπεγχάγη όπου οι συγκεντρώσεις μένουν σχεδόν ίδιες. Επίσης, η αυξημένη δημιουργία O_3 από το NO_2 παρουσία έντονης ηλιοφάνειας, οδηγεί σε μειωμένες συγκεντρώσεις NO_2 σε 17 πόλεις, σε σχέση με το μετεωρολογικό έτος 1997. Τέλος, η χρήση του μετεωρολογικού έτους 2003 οδηγεί σε υψηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM_{10} σε 12 πόλεις, σε σχέση με το μετεωρολογικό έτος 1997. Πρέπει να σημειωθεί ότι για όλους του ρύπους, παρατηρείται ότι οι αλλαγές στις αστικές συγκεντρώσεις ακολουθούν τις αλλαγές στην περιφερειακή ρύπανση. Πάρα ταύτα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες οδηγούν σε διαφορετικά επίπεδα ρύπανσης στην αστική κλίμακα, γεγονός που υποδεικνύει ότι έως ένα βαθμό η επίδραση της μετεωρολογίας στις αστικές συγκεντρώσεις εξαρτάται και από τα επιμέρους χαρακτηριστικά των πόλεων (ETC/ACC, 2005/2).

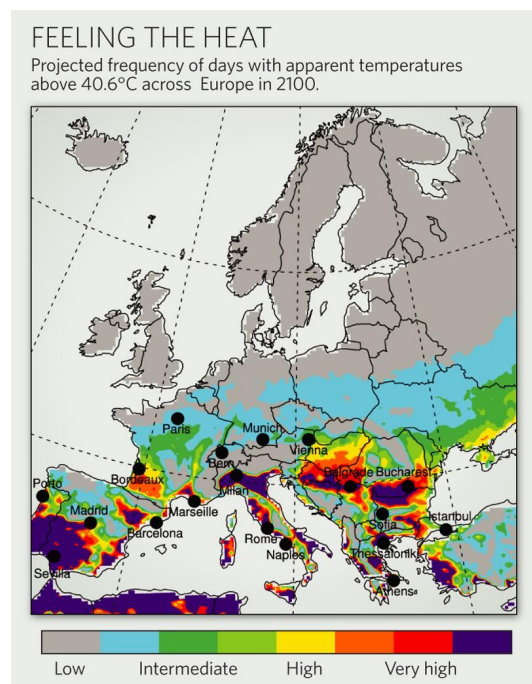
Πίνακας 8.2 Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO₂ και PM₁₀ [μg/m³] (μέσος όρος των συγκεντρώσεων στο κέντρο και στην περιφέρεια) και ο δείκτης SOMO35 σε είκοσι Ευρωπαϊκές πόλεις για τα μετεωρολογικά έτη 1997 και 2003, σύμφωνα με το σενάριο ΑΕ για το 2030.

Πόλη	NO ₂		PM ₁₀		O ₃ (SOMO35)	
	1997	2003	1997	2003	1997	2003
ΑΜΒΕ	27.3	27.0	16.4	17.1	3611	4246
ΑΘΗΝ	26.4	25.0	9.0	8.9	6384	6509
ΒΑΡΚ	19.1	18.3	9.5	8.5	6562	6602
ΒΕΡΟ	19.4	20.1	6.7	7.0	3525	3674
ΒΡΥΞ	25.9	25.4	13.1	13.3	3867	4453
ΒΟΥΔ	18.1	18.0	7.8	8.0	4766	5447
ΚΟΠΕ	18.8	18.5	6.7	7.1	3236	3227
ΓΚΝΤΑ	7.7	7.4	5.3	5.9	3443	3697
ΓΚΡΑ	8.7	7.7	5.8	5.6	4767	5409
ΕΛΣΙ	18.9	19.3	5.9	6.8	1956	1868
ΚΑΤΟ	28.4	29.7	13.1	13.5	3550	3929
ΛΙΣΣ	19.6	18.3	9.0	7.8	5102	5361
ΛΟΝΔ	31.6	31.6	9.3	9.7	2613	2682
ΜΑΣΣ	12.9	11.7	7.9	7.2	7352	7629
ΜΙΛΑ	27.3	27.3	9.8	10.1	7363	7865
ΠΑΡΙ	29.7	29.8	15.5	14.7	5392	5869
ΠΡΑΓ	12.7	12.4	5.4	5.6	4131	4492
ΡΩΜΗ	17.8	16.5	7.2	6.5	6562	7418
ΣΤΟΥ	15.1	14.2	6.4	6.2	5505	5923
ΘΕΣΣ	16.8	18.6	7.7	8.1	6064	6547

Γενικά η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει την ποιότητα του αέρα των μεγάλων αστικών περιοχών (Wilby, 2008). Ο λόγος είναι ότι στο μέλλον οι καιρικές συνθήκες θα έχουν σημαντική επίδραση στην παραγωγή, μεταφορά, διασπορά και εναπόθεση των ρύπων. Για παράδειγμα, οποιαδήποτε αύξηση της συχνότητας των θερμών αντικυκλώνων το καλοκαίρι, θα ευνοήσει τη δημιουργία θερμοκρασιακής αναστροφής και επομένως παγίδευσης των ρύπων στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας (Meleux, 2007). Επίσης η άνοδος της θερμοκρασίας (που ευνοεί τη φωτοχημική δραστηριότητα) συνδέεται με την αύξηση των συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος. Αυτό εξηγεί εν μέρει την κακή ποιότητα του αέρα, που συνέβαλε σε σημαντική θνησιμότητα κατά τη διάρκεια του ευρωπαϊκού θερινού καύσωνα του 2003 (Stedman & Kent, 2008). Οι εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες ενίσχυσαν τις εκπομπές των φυσικών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) όπως το ισοπρένιο από τη βλάστηση, με αποτέλεσμα να καταγραφούν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος εδώ και μία δεκαετία.

Πρέπει επίσης να συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι οι πόλεις μπορεί να λειτουργήσουν ως «νησίδες θερμότητας», δηλαδή ως περιοχές θερμότερες από την περιβάλλουσα εξοχή τους (Wilby, 2008).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες είναι δυνατόν να επιδεινώσει τους κινδύνους για ανθρώπους με αναπνευστικά και καρδιολογικά προβλήματα.. Σύμφωνα με μελέτη του Ινστιτούτου Ατμοσφαιρικών και Κλιματικών Επιστημών στο ΕΤΗ «Ορισμένες από τις πυκνότερα κατοικημένες περιοχές στην Ευρώπη, όπως η Αθήνα, το Βουκουρέστι, η Μασσαλία, το Μιλάνο, η Ρώμη και η Νάπολη, θα αντιμετωπίσουν τις δεινότερες αλλαγές στους δείκτες υγείας» (Fischer& Schär, 2010).



Σχήμα Συχνότητα εμφάνισης θερμοκρασιών υψηλότερων των 40,6°C στην Ευρώπη το 2100 (Fischer& Schär, 2010).

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία μπορεί να εξαχθούν κάποια σημαντικά συμπεράσματα για την κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές της Ευρώπης και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα σε αυτές:

- Σχετικά με την τάση που παρατηρήθηκε από το σύνολο των σταθμών των αστικών περιοχών μελέτης στη διάρκεια της δεκαετίας 1999-2008, τη μεγαλύτερη μείωση παρουσίασαν οι ρύποι CO, SO₂ και C₆H₆, οι οποίοι έχουν μία σταθερή πτωτική τάση. Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί, κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση των ιδιωτικών αυτοκινήτων και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές και στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές. Ειδικά για το SO₂ η τάση μείωσης των τιμών συνδέεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη.
- Σχετικά με το είδος του σταθμού μέτρησης, οι συγκεντρώσεις που παρατηρούνται σε αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας ανά την Ευρώπη, είναι αρκετά υψηλότερες από τις συγκεντρώσεις σε σταθμούς υπόβαθρης ρύπανσης (π.χ. EEA 2005α). Η συχνή εμφάνιση επεισοδίων «νέφους», συνδέεται με το γεγονός πως η διάχυση των ρύπων δυσχεραίνεται στο αστικό περιβάλλον, λόγω του πλήθους και του χαμηλού ύψους των σημείων εκπομπής (επίπεδο δρόμου) καθώς και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του μικροκλίματος και των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών.

Ρύποι όπως το CO, SO₂, NO_x, NO₂, και το C₆H₆ τυπικά συναντώνται σε μεγάλες συγκεντρώσεις κοντά στις πηγές εκπομπής τους (δρόμοι, βιομηχανικές μονάδες), ενώ παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές σε περιοχές μακριά από τα αστικά κέντρα.

Για τα αιωρούμενα σωματίδια γενικά παρουσιάζονται μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών, οι συγκεντρώσεις τους όμως ενισχύονται αρκετά στα σημεία αυξημένης κυκλοφορίας.

Οι συγκεντρώσεις του όζοντος όμως δεν υπακούουν σε αυτόν τον «κανόνα» λόγω των φωτοχημικών αντιδράσεων που εμπλέκονται στη δημιουργία του, οι οποίες ενισχύονται από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις αστικού υποβάθρου ενίοτε υπερβαίνουν τις συγκεντρώσεις στις κοντινές αγροτικές περιοχές (rural), αλλά οι συγκεντρώσεις στα σημεία κυκλοφορίας (hot-spots) είναι πάντα χαμηλότερες. Αυτό οφείλεται στη μείωση του όζοντος από το NO για το σχηματισμό NO₂. Αυτός είναι ο άλλος κύριος παράγοντας που καθορίζει τις συγκεντρώσεις του όζοντος, με αποτέλεσμα σε γενικές γραμμές να υπάρχουν μειωμένα επίπεδα του όζοντος σε αστικές περιοχές κυκλοφορίας συγκριτικά με τις περιοχές υποβάθρου.

- Σχετικά με την μηνιαία διακύμανση διαπιστώθηκε ότι, οι πρωτογενείς ρύποι CO, SO₂, NO_x, C₆H₆ εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές τους το χειμώνα που η κυκλοφορία είναι μεγαλύτερη, οι συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων χειρότερες και είναι αυξημένη η χρήση των καυσίμων θέρμανσης. Οι δευτερογενείς ρύποι O₃ και NO₂ παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις τους κατά τη θερινή περίοδο που η άφθονη ηλιακή ακτινοβολία ευνοεί τη φωτοχημική παραγωγή τους. Επίσης το βενζόλιο ένας επιπλέον λόγος που το καλοκαίρι εμφανίζει χαμηλότερες τιμές είναι ότι μέρος του καταστρέφεται, λόγω συμμετοχής του στις φωτοχημικές αντιδράσεις. Οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5} δεν παρουσιάζουν κάποια σαφή μηνιαία μεταβολή λόγω των διαφόρων πηγών τους.
- Σχετικά με την ημερήσια διακύμανση παρατηρήθηκε ότι, τις καθημερινές υπάρχει μία αισθητή αύξηση των συγκεντρώσεων σε σχέση με τα Σαββατοκύριακα για όλους τους ρύπους, λόγω περιορισμού των ρυπογόνων δραστηριοτήτων, εκτός από το O₃. Γενικά σε αστικές περιοχές με έντονη κυκλοφορία, κυρίαρχη αντίδραση είναι η μείωση του όζοντος από το μονοξείδιο του αζώτου στα καυσαέρια της εξάτμισης των αυτοκινήτων για το σχηματισμό οξυγόνου και διοξειδίου του αζώτου (Fenger, 1999). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όταν η κυκλοφορία είναι μειωμένη, να καταστρέφεται λιγότερο όζον και επομένως οι συγκεντρώσεις του να είναι υψηλότερες.
- Σχετικά με την ωραία διακύμανση, οι μέγιστες συγκεντρώσεις των πρωτογενών ρύπων συμπίπτουν χρονικά με τις αιχμές κυκλοφορίας και τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης, ενώ οι συγκεντρώσεις των δευτερογενών ρύπων παρουσιάζουν τις

υψηλότερες τιμές τους κατά τη διάρκεια των μεσημβρινών και μεταμεσημβρινών ωρών λόγω της αυξημένης ηλιοφάνειας που συνεπάγεται αυξημένη φωτοχημική δραστηριότητα.

- Ανάμεσα στις πόλεις που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, η Αθήνα ήταν η πόλη που παρουσίασε για το 2007 τις μέγιστες συγκεντρώσεις για τους περισσότερους ρύπους στους σταθμούς κυκλοφορίας, καθώς επίσης και στους σταθμούς αστικού υποβάθρου. Το 2008 για τους σταθμούς κυκλοφορίας ήταν το Βουκουρέστι, ενώ για τους σταθμούς αστικού υποβάθρου ήταν και πάλι η Αθήνα. Οι πόλεις που παρουσίασαν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις για τους περισσότερους ρύπους και τις δύο χρονιές, ήταν το Βερολίνο και η Στοκχόλμη, για τους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας και υποβάθρου αντίστοιχα. Κατά τα 2 αυτά τελευταία έτη, ο ρύπος για τον οποίο σημειώθηκε υπέρβαση της μέσης ετήσιας οριακής τιμής στις περισσότερες πόλεις, ήταν το NO_2 .
- Από τη μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$ στην πόλη των Χανίων, διαπιστώθηκαν υψηλά επίπεδα ρύπανσης τα οποία οφείλονται κυρίως στην αυξημένη κυκλοφορία των ωρών διεξαγωγής της δειγματοληψίας. Επίσης, δύο άλλοι παράγοντες που ευνοούν τις υψηλές συγκεντρώσεις της περιοχής γενικότερα, είναι η παραγωγή των θαλάσσιων αεροζόλ (sea-salt), αλλά και η διασυνοριακή μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα που ενισχύεται από τους Νότιους Ανέμους.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων εξέλιξης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που παρουσιάστηκαν, προβλέπεται βελτίωση της ποιότητας αέρα το 2030. Λαμβάνοντας όμως υπόψη τη μετεωρολογική επίδραση, μία αύξηση της θερμοκρασίας θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των μέσω ετήσιων συγκεντρώσεων O_3 , λόγω της έντονης ηλιοφάνειας, καθώς και της μείωσης των τιμών NO_2 (λόγω αυξημένης δημιουργία O_3 από το NO_2). Η αύξηση αυτή αναμένεται ακόμα πιο έντονη δεδομένου ότι οι πόλεις μπορεί να λειτουργήσουν ως «νησίδες θερμότητας», δηλαδή ως περιοχές θερμότερες από την περιβάλλουσα εξοχή τους (Wilby, 2008), και

συνυπολογίζοντας επίσης το γεγονός ότι, οποιαδήποτε αύξηση της συχνότητας των θερμών αντικυκλώνων το καλοκαίρι θα ευνοήσει τη δημιουργία θερμοκρασιακής αναστροφής και επομένως, παγίδευσης των ρύπων στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας.



10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ελληνική

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

Βουλγαράκης, Α., (2004). **Μελέτη τροποσφαιρικού όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων**. Μεταπτυχιακή εργασία.

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

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (2002), **Απογραφή πληθυσμού 2001**.

Θεοχάρη Χ., (2005). **Ποιότητα της ατμόσφαιρας σε αστικές περιοχές – Νέα δεδομένα και προοπτικές**. Εισήγηση της Οργανωτικής Επιτροπής, ΤΕΕ, Αθήνα 18 Μαρτίου 2005.

Λαζαρίδης Μ., (2008). **Ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους**. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Λαζαρίδης, Μ., (2005). **Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας**. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Μελάς Δ., (1997). **Σημειώσεις για Ατμοσφαιρική Ρύπανση**. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.

Οικονομόπουλος Α., (2000). **Σημειώσεις Μαθήματος Ρύπανση και Έλεγχος Ρύπανσης Αέρα**. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Μπινιάρης Σ., (2004). **Το Περιβάλλον – Ρύπανση και Προστασία**. Μελέτη.

B. Ξενόγλωσση

A. Chaloulakou, P. Kassomenos, G. Grivas and N. Spyrellis, (2005). **Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece**. *Environment International*, 31(5), p.651-659.

AEA (2009), **Air Pollution in the UK: 2008**.

Arvanitis A. and Moussiopoulos N., (2003). **Coupling an aerosol module to a deterministic long term ozone exposure model**. Proceedings of the 26th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution modelling and its Applications, Istanbul, Turkey, 26-30 May, 339-352.

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

Bhola R. Gurjar (Lead Author); Ajay Singh Nagpure and Tushar Pratap Singh (Contributing Author); Howard Hanson (Topic Editor), (2008). **Air quality in megacities**. *Encyclopedia of Earth Eds. Cutler J.* [online]. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.eoearth.org/article/Air_quality_in_megacities [πρόσβαση 20 Ιουνίου 2010]

Clean Air Act 1993 (chapter 11), ISBN 0105411930. [online] Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.hmsso.gov.uk/acts/acts1993/Ukpga_19930011_en_1.htm

David Mage, Guntis Ozolins, Peter Peterson, Anthony Webster, Rudi Orthofer, Veerle Vandeweerd, Michael Gwynne, (1996). **Urban air pollution in megacities of the world**. *Atmospheric Environment*, 30(5), p. 681-686.

Demographia World Urban Areas: Population & Projections: 6th Annual Edition, March 2010. [online] Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>

EEA (2005), **European environment outlook**, EEA Report No 4/2005, European Environment Agency, Copenhagen.

EEA (2006), **Air pollution at street level in European cities**, EEA Technical report No 1/2006, European Environment Agency, Copenhagen.

EEA (2007), **Air pollution in Europe 1990–2004**, EEA Technical report No 2/2007, European Environment Agency, Copenhagen.

EEA (2009), **European Community emission inventory report 1990-2007 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)**, Technical report No8/2009.

EEA (2009), **NEC Directive status report 2008**, EEA Technical report No11/2009, European Environment Agency, Copenhagen.

EEA (2010), **Annual report 2009 and Environmental statement 2010**, Environment Agency, Copenhagen.

ETC/ACC (2010), **The state of the air quality in 2008**, ETC/ACC Technical paper 2010/1, European Topic Center on Air and Climate Change.

ETC/ATC (2005), **European Environmental Outlook 2005: Background document air quality 1990-2030**, Technical Paper 2005/02, European Topic Center on Air and Climate Change.

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

EU (1997): **Council Decision of 27 January 1997 establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air**

pollution within the Member States (Exchange of Information (97/101/EC)). Official Journal L 035, 05/02/1997, pp. 14-22.

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 (first Daughter Directive (99/30/EC)).** Official Journal L 163, 29/06/1999, pp. 41–60.

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 carbon monoxide in ambient air (second Daughter Directive (2000/69/EC)).** Official Journal L 313, 13/12/2000, pp. 12–21.

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

EU (2001a): Commission Decision of 17 October 2001 amending the Annexes to Council

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

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

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

European Commission (2001β), **Environment 2010: Our future, Our choice (The Sixth Environment Action Programme)**, COM(2001)31 final.

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

European Union (2010). **STOCKHOLM European Green Capital 2010.** Brochure, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.

Fischer, E. M. & Schär, (2010). **Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves.** *Nature Geoscience* [online]. 3, p.398-403. Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.nature.com/ngeo/journal/v3/n6/abs/ngeo866.html> [πρόσβαση 1 Ιουλίου 2010]

Frederik Meleux, Fabien Solmon, Filippo Giorgi, (2007). **Increase in summer European ozone amounts due to climate change.** *Atmospheric Environment*, 41(35), p.7577-7587.

G. Grivas, A. Chaloulakou, P. Kassomenos, (2008). **An overview of the PM₁₀ pollution problem, in the Metropolitan Area of Athens, Greece. Assessment of controlling factors and potential impact of long range transport.** *Science of The Total Environment*, 389(1), p.165-177.

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

J. Chow, (1995). **Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles,** *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 45, pp. 320–382.

J. Luterbacher, P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli, R. Boscolo, P. Alpert, V. Artale, L. Li, W. May, R. Trigo, M. Tsimplis, U. Ulbrich, E. Xoplaki, (2006). **The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues.** *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4, p.1-26.

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

Jes Fenger, (2009). **Air pollution in the last 50 years – From local to global.** *Atmospheric Environment*, 43(1), p.13-22.

Jes Fenger, (1999). **Urban air quality.** *Atmospheric Environment*, 33 (1999) p. 4877-4900.

John R. Stedman, Andrew J. Kent, (2005). **An analysis of the spatial patterns of human health related surface ozone metrics across the UK in 1995, 2003 and 2005.** *Atmospheric Environment*, 42(8), p.1702-1716.

Knut Breivik, Andy Sweetman, Jozef M. Pacyna, Kevin C. Jones, (2002). **Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners — a mass balance approach: 2. Emissions.** *The Science of The Total Environment*, 290(1-3, 6), p.199-224.

Mathew R. Heal, Leon R. Hibbs, Raymond M. Agius, Iain J. Beverland, (2005). **Interpretation of variations in fine, coarse and black smoke particulate matter concentrations in a northern European city.** *Atmospheric Environment*, 39(20), p.3711-3718.

Mihalopoulos, N., E. Stefanou, M. Kanakidou, S. Pilitsidis and P. Bousquet, (1997). **Tropospheric aerosol ionic composition above the Eastern Mediterranean area.** *Tellus*, 49B, p.314-326.

Ole Hertel, Martin Hvidberg, Matthias Ketzel, Lars Storm, Lizzi Stausgaard, (2008). **A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure — A study on bicycle and bus trips in urban streets.** *Science of The Total Environment*, 389(1), p.58-70.

Olga V. Taseikoa, Sergey V. Mikhailutaa, Anne Pittb, Anatoly A. Lezheninc and Yuri V. Zakharovd, (2009). **Air pollution dispersion within urban street canyons.** *Atmospheric Environment*, 43(2), p.245-252.

Patrick H. Dyke, Colin Foan, Heidelore Fiedler **PCB and PAH releases from power stations and waste incineration processes in the UK.** *Chemosphere*, (2003). 50(4), p.469-480.

Paul Quincey, (2007). **A relationship between Black Smoke Index and Black Carbon concentration.** *Atmospheric Environment*, 41(36), p.7964-7968.

Torben Nielsen, Hans E. Jørgensen, John Chr. Larsen, Morten Poulsen, (1996). **City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects.** *Science of The Total Environment*, 189-190, p.41-49.

TSI (2003) “Model 8520 DustTRAK Aerosol Monitor”. Operation and Service Manual.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF MOBILE SOURCES (1993), **Automobiles and Carbon Monoxide**, FACT SHEET OMS-3. [online] Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>

United Nations Population Division (2002), **World Urbanization Prospects: The 2001 Revision**, ST/ESA/SER.A/216, Population Division, Department of Economic and Social Affairs (DESA), United Nations Secretariat, New York.

UNITED NATIONS, (2004). **HANDBOOK FOR THE 1979 CONVENTION ON LONG-RANGE TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION AND ITS PROTOCOLS**, UNITED NATIONS, New York and Geneva.

WHO (2000), **Air Quality Guidelines for Europe**. WHO Regional Publications. European Series No.91. Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO (2005), **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**, Global update 2005, Summary of risk assessment.

Wilby R L, (2008). Constructing **climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality.** *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(5), p.902–919.

Worldwide Centres of Commerce Index. 2008. Mastercard.

Zlatev, Z., Fenger, J., Mortensen, L., (1996) . **Relationships between emission sources and excess ozone concentrations.** *Computers in Mathematical Applications* 32, p.101-123.

Γ. Διαδικτυακή

"Airbase", <http://etc-acc.eionet.eu.int/databases/airbase.html>

"The Clean Air for Europe programme", <http://ec.europa.eu/environment/air/cafe/>

“About EMEP”, <http://www.emep.int/index.html>

“EMEP site descriptions”, <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/sitedescriptions/index.html>

“EUR-Lex Access to European Union law”, <http://eurlex.europa.eu/en/index.htm>

“Exceedance of air quality limit values in urban areas (CSI 004) - update of the EEA core set indicator”, <http://themes.eea.europa.eu/IMS/CSI>

“Maps and graphs; Sharing European environmental datasets, maps, charts and applications.”, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>

“UK air quality archive”, <http://www.airquality.co.uk/index.php>

“Zones in relation to EU air quality thresholds, 2007”,
www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/zones-in-relation-to-eu-air-quality-thresholds-2007

“Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Περιβαλλοντική πολιτική: γενικές αρχές”,
http://infoeuropa.sliven.bg/eu_fact_sheets/policies/environment/article_7292_el.htm

Eurostat (2009) “Population change at regional level”,
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Population_change_at_regional_level

United Nations Environment Programme (2009), “Facts on pollutants”, copyright 2009,
<http://www.unep.org>

US EPA, “Air Pollutants”, <http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

- **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**
- **ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**
- **ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Παράρτημα Ι

Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<http://www.megaupload.com/?d=MHYCBU1N>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

- **ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ**
- **ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2008**
- **ΜΕΣΕΣ ΩΡΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2008**

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΠΟΛΗ: ΛΟΝΔΙΝΟ

ΣΤΑΘΜΟΣ: LONDON MARYLEBONE ROAD

	CO (mg/m ³)			SO ₂ (μg/m ³)			NO ₂ (μg/m ³)			NO _x (μg/m ³)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Ιαν	0,873	0,776	0,890	6,574	5,745	8,372	92,019	109,242	130,428	264,722	291,434	380,252
Φεβ	0,900	0,500	0,844	6,906	7,378	9,364	93,639	117,963	138,601	252,963	337,004	403,071
Μαρ	0,842	0,767	0,684	7,433	6,005	5,922	114,641	100,790	109,977	289,168	254,394	276,033
Απρ	0,018	0,664	0,676	6,514	6,032	7,484	105,443	86,279	122,082	249,624	190,903	307,564
Μάι	1,068	0,737	0,471	6,960	5,908	5,926	113,513	97,881	94,886	294,694	250,444	201,539
Ιουν	1,036	0,764	0,565	5,264	6,690	9,540	110,319	104,635	103,59	252,431	272,086	254,266
Ιουλ	0,983	0,954	0,644	12,803	6,061	7,167	116,613	110,954	127,202	264,568	312,773	332,181
Αυγ	0,000	0,664	0,769	6,942	4,647	6,088	75,716	82,083	126,560	196,444	208,009	339,114
Σεπ	0,000	0,575	0,642	6,068	5,170	5,547	116,338	81,703	111,973	325,235	220,958	286,373
Οκτ	0,425	0,815	0,782	7,563	6,612	6,617	121,507	104,053	133,119	379,314	310,651	392,701
Νοε	0,889	0,870	0,641	9,907	8,834	5,433	146,069	116,077	90,080	468,360	349,078	268,868
Δεκ	0,980	0,987	0,741	7,811	9,158	6,990	121,453	121,459	92,920	381,214	373,853	306,778

	O ₃ (μg/m ³)			PM ₁₀ (μg/m ³)			PM _{2,5} (μg/m ³)			C ₆ H ₆ (μg/m ³)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Ιαν	11,051	13,033	10,825	43,528	41,510	54,004	19,657	17,068	-	2,145	1,073	1,775
Φεβ	16,997	8,972	8,918	44,362	48,493	58,454	18,727	21,407	-	1,722	1,147	1,901
Μαρ	23,284	21,106	24,180	44,170	47,869	42,147	18,310	21,807	-	1,748	1,112	1,079
Απρ	22,741	34,953	21,190	37,421	42,000	47,050	16,982	20,504	-	0,202	0,834	0,644
Μάι	20,624	28,884	38,168	45,403	40,247	43,370	20,277	19,426	-	0,721	1,230	0,179
Ιουν	26,727	23,727	27,767	46,793	46,698	41,833	21,038	23,743	-	1,206	1,279	1,230
Ιουλ	25,204	13,381	15,625	54,310	45,760	48,006	23,682	22,855	-	1,253	1,335	1,428
Αυγ	18,115	19,734	10,339	34,077	37,766	48,209	15,889	20,090	-	0,964	0,859	1,286
Σεπ	12,076	14,773	11,146	52,112	37,579	44,786	23,386	19,259	-	1,572	0,798	1,131
Οκτ	8,617	7,303	7,529	55,781	48,629	51,067	24,228	24,273	-	2,025	0,925	0,807
Νοε	7,224	10,298	9,239	58,080	49,604	39,620	25,714	25,470	-	2,737	1,209	0,892
Δεκ	9,970	10,113	7,581	46,508	49,749	44,918	20,102	24,984	-	2,576	2,087	0,787

ΠΟΛΗ: ΑΘΗΝΑ

ΣΤΑΘΜΟΣ: ΠΑΤΗΣΙΩΝ

	CO (mg/m ³)			SO ₂ (μg/m ³)			NO ₂ (μg/m ³)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2005	2007	2008
Ιαν	2,373	3,127	2,585	38,405	38,794	46,296	60,236	100,468	85,032
Φεβ	2,596	2,141	2,771	42,101	25,307	43,266	83,568	88,638	91,439
Μαρ	2,529	1,965	2,216	25,219	20,999	25,533	89,996	95,536	92,544
Απρ	2,219	1,861	2,344	16,680	19,037	24,099	93,763	102,176	99,342
Μάι	2,492	2,488	2,194	13,633	13,645	26,205	98,455	114,868	103,68
Ιουν	2,285	2,626	1,736	9,683	9,754	31,470	92,606	132,755	95,134
Ιουλ	1,496	1,758	1,733	5,780	12,117	29,536	107,839	101,247	101,571
Αυγ	1,848	1,657	1,282	8,846	10,655	26,874	106,411	89,925	87,052
Σεπ	2,058	2,148	1,133	8,702	12,342	11,164	112,911	96,864	81,561
Οκτ	2,348	2,604	1,773	6,728	14,720	12,850	79,299	109,603	95,858
Νοε	3,533	2,632	1,990	31,644	25,309	16,907	74,223	88,669	87,436
Δεκ	3,421	2,841	1,479	41,739	43,731	19,757	68,026	80,292	76,639

	NO _x (μg/m ³)			O ₃ (μg/m ³)			C ₆ H ₆ (μg/m ³)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Ιαν	197,261	295,634	238,616	11,601	6,445	13,594	5,233	7,270	7,139
Φεβ	249,178	223,056	267,384	11,804	9,334	16,369	6,928	5,494	8,264
Μαρ	222,923	193,709	205,545	14,861	21,097	13,512	5,547	4,849	5,576
Απρ	201,487	191,879	225,471	26,108	22,501	22,526	5,247	4,699	6,082
Μάι	211,920	233,839	206,146	27,075	15,011	23,060	5,931	5,774	4,733
Ιουν	204,673	273,665	175,889	24,832	13,610	29,934	5,511	6,046	4,649
Ιουλ	122,704	178,688	176,328	42,423	39,227	30,687	3,488	4,355	3,469
Αυγ	122,749	160,618	138,055	25,862	34,730	36,485	4,040	4,131	2,729
Σεπ	174,789	205,745	179,384	20,520	26,243	22,001	4,594	5,368	4,988
Οκτ	186,437	243,769	230,996	13,056	18,845	10,346	3,802	-	5,562
Νοε	304,586	248,265	245,403	7,266	12,225	12,037	5,589	-	6,451
Δεκ	289,239	245,472	189,357	6,444	11,689	13,306	6,241	6,139	4,774

ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

	PM ₁₀ (μg/m ³)		
	2006	2007	2008
Ιαν	47,871	54,387	54,889
Φεβ	79,929	44,643	74,069
Μαρ	48,419	44,258	55,893
Απρ	61,767	45,433	71,821
Μάι	58,516	47,613	53,839
Ιουν	57,033	68,133	45,786
Ιουλ	46,290	52,806	46,200
Αυγ	49,613	49,645	49,581
Σεπ	49,467	48,767	52,633
Οκτ	50,043	55,290	58,194
Νοε	68,862	58,417	64,375
Δεκ	64,200	-	52,966

ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

	PM _{2,5} (μg/m ³)		
	2006	2007	2008
Ιαν	-	14,194	15,174
Φεβ	-	13,429	22,286
Μαρ	-	30,609	17,032
Απρ	-	20,900	22,300
Μάι	-	18,857	19,645
Ιουν	-	26,900	19,100
Ιουλ	-	23,774	21,645
Αυγ	-	25,548	22,774
Σεπ	-	18,167	18,333
Οκτ	-	18,129	17,903
Νοε	-	12,867	20,467
Δεκ	-	15,000	13,536

**ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2008**

ΠΟΛΗ: ΛΟΝΔΙΝΟ

	Δευ	Τρι	Τετ	Πεμ	Παρ	Σαβ	Κυρ
	ΣΤΑΘΜΟΣ: LONDON MARYLEBONE ROAD						
CO (mg/m ³)	0,668	0,766	0,704	0,766	0,758	0,651	0,660
SO₂ (μg/m ³)	7,368	8,116	6,589	8,062	8,093	5,350	5,117
NO₂ (μg/m ³)	109,014	123,126	109,127	133,962	125,543	100,354	88,853
NO_x (μg/m ³)	291,563	342,918	303,447	381,191	352,769	248,283	213,759
O₃ (μg/m ³)	17,383	13,019	12,319	12,227	13,648	18,015	19,631
PM₁₀ (μg/m ³)	46,008	50,858	47,007	53,159	50,672	40,636	37,584
C₆H₆ (μg/m ³)	1,253	1,650	1,359	1,474	1,371	1,198	1,337

ΠΟΛΗ: ΑΘΗΝΑ

	Δευ	Τρι	Τετ	Πεμ	Παρ	Σαβ	Κυρ
	ΣΤΑΘΜΟΣ: ΠΑΤΗΣΙΩΝ						
CO (mg/m ³)	1,884	2,079	2,009	1,982	2,104	1,846	1,570
SO₂ (μg/m ³)	25,032	26,296	26,231	25,888	26,223	26,438	25,334
NO₂ (μg/m ³)	89,674	94,531	94,613	92,328	94,955	89,224	77,459
NO_x (μg/m ³)	198,184	215,729	219,985	208,981	222,707	194,946	162,361
O₃ (μg/m ³)	20,905	18,115	18,598	22,035	20,075	19,967	22,739
C₆H₆ (μg/m ³)	5,028	5,699	5,764	5,651	5,861	5,082	4,277
	ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ						
PM₁₀ (μg/m ³)	53,962	53,460	55,702	56,409	58,670	55,581	51,224
	ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ						
PM_{2,5} (μg/m ³)	18,618	18,570	19,527	18,508	19,090	18,904	18,779

**ΜΕΣΕΣ ΩΡΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2008**

ΠΟΛΗ: ΛΟΝΔΙΝΟ

ΣΤΑΘΜΟΣ: LONDON MARYLEBONE ROAD

	CO (mg/m ³)	SO₂ (μg/m ³)	NO₂ (μg/m ³)	NO_x (μg/m ³)	O₃ (μg/m ³)	PM₁₀ (μg/m ³)	C₆H₆ (μg/m ³)
1	0,537	5,051	84,433	201,107	17,412	38,759	1,181
2	0,453	4,333	72,003	162,268	20,114	33,626	0,918
3	0,429	4,255	65,462	144,610	21,107	31,102	0,769
4	0,425	4,266	66,258	149,145	20,093	30,285	0,682
5	0,441	4,398	74,567	178,003	17,585	31,232	0,670
6	0,544	5,863	97,275	267,613	14,091	36,835	0,688
7	0,706	7,730	116,874	355,272	11,273	44,034	0,883
8	0,854	9,103	130,429	411,989	10,732	49,358	1,276
9	0,855	9,665	133,019	419,876	11,815	54,660	1,560
10	0,762	9,600	133,167	407,864	13,846	55,484	1,775
11	0,707	9,524	130,583	389,784	16,121	54,722	1,390
12	0,719	9,479	132,790	382,273	17,605	55,034	1,288
13	0,718	9,517	132,854	372,766	19,689	53,168	1,287
14	0,725	9,682	137,390	378,952	20,069	53,780	1,333
15	0,750	9,602	138,942	379,920	20,153	53,049	1,313
16	0,811	9,804	143,718	386,647	19,201	53,467	1,446
17	0,927	9,754	146,986	391,745	17,972	52,929	1,608
18	1,048	9,608	143,198	378,168	16,474	52,585	2,035
19	1,014	8,506	132,085	344,904	15,379	51,943	2,325
20	0,894	7,533	123,622	318,652	14,484	51,085	2,247
21	0,799	7,107	115,655	295,008	13,576	49,501	1,836
22	0,734	6,561	109,548	275,118	13,447	47,856	1,495
23	0,706	6,331	107,485	273,348	13,501	46,584	1,392
24	0,641	5,950	102,441	257,386	14,623	44,269	1,332

ΠΟΛΗ: ΑΘΗΝΑ

ΣΤΑΘΜΟΣ: ΠΑΤΗΣΙΩΝ

	CO (mg/m³)	SO₂ (μg/m³)	NO₂ (μg/m³)	NO_x (μg/m³)	O₃ (μg/m³)	C₆H₆ (μg/m³)
1	2,007	23,910	78,838	158,667	18,288	4,325
2	1,918	23,272	73,997	149,025	19,219	3,716
3	1,794	23,123	71,527	142,395	18,738	3,326
4	1,661	23,490	76,261	174,535	16,291	3,342
5	1,591	24,792	84,711	235,854	13,449	4,232
6	1,641	27,169	94,233	290,669	12,654	5,799
7	1,760	29,537	100,562	299,598	14,011	7,015
8	1,884	29,560	101,207	271,650	17,365	7,750
9	2,003	28,285	103,113	250,130	20,991	7,078
10	2,112	26,628	100,079	221,140	23,716	6,060
11	2,214	25,796	98,161	201,899	25,966	5,529
12	2,298	25,039	97,098	191,841	27,358	5,387
13	2,297	24,844	95,020	183,330	27,991	5,103
14	2,206	24,513	93,628	183,436	28,598	5,043
15	2,070	23,772	93,125	188,850	27,429	4,962
16	1,951	23,421	91,339	187,194	26,657	4,841
17	1,881	23,692	92,325	190,100	23,876	4,965
18	1,860	25,894	94,136	198,078	21,425	5,311
19	1,884	29,804	97,468	215,678	18,613	5,844
20	1,945	33,039	99,165	230,196	16,852	6,456
21	2,005	32,555	98,308	227,426	15,943	6,511
22	2,044	29,537	93,713	212,093	16,246	5,930
23	2,064	26,594	88,611	190,609	16,991	5,418
24	2,060	24,930	83,824	173,146	17,627	4,872

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

**➤ ΤΙΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM_{10} ΚΑΙ $PM_{2,5}$
ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΟΡΓΑΝΟ: DUSTTRAK TSI**

Πλατεία Αγοράς 09:00 – 10:00	Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	PM₁₀	PM_{2,5}
	Μ.Ο	Μ.Ο
10/3/2010	35	35
11/3/2010	61	53
12/3/2010	67	39
13/3/2010	45	33
14/3/2010	82	40
15/3/2010	77	58
16/3/2010	69	54
17/3/2010	58	40
18/3/2010	44	42
19/3/2010	66	39
20/3/2010	54	38
21/3/2010	40	23
22/3/2010	73	52
23/3/2010	96	75
Μ.Ο όλων των ημερών	62	44

Πλατεία Δικαστηρίων 11:00 – 12:00	Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	PM₁₀	PM_{2,5}
	Μ.Ο	Μ.Ο
10/3/2010	37	28
11/3/2010	73	49
12/3/2010	52	50
13/3/2010	34	30
14/3/2010	30	21
15/3/2010	75	76
16/3/2010	47	30
17/3/2010	45	32
18/3/2010	42	34
19/3/2010	79	76
20/3/2010	64	54
21/3/2010	52	57
22/3/2010	55	43
23/3/2010	77	62
Μ.Ο όλων των ημερών	54	46

Πολυτεχνείο Κρήτης – Κτίρια Μη.Περ. 13:00 – 14:00	Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	PM₁₀	PM_{2,5}
	Μ.Ο	Μ.Ο
10/3/2010	23	22
11/3/2010	56	31
12/3/2010	27	22
13/3/2010	30	28
14/3/2010	30	24
15/3/2010	30	26
16/3/2010	13	19
17/3/2010	35	22
18/3/2010	25	23
19/3/2010	24	33
20/3/2010	35	38
21/3/2010	23	23
22/3/2010	33	32
23/3/2010	53	43
Μ.Ο όλων των ημερών	31	28

Πλατεία Αγοράς 16:00 – 17:00	Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	PM₁₀	PM_{2,5}
	Μ.Ο	Μ.Ο
10/3/2010	35	23
11/3/2010	69	55
12/3/2010	40	30
13/3/2010	45	33
14/3/2010	31	26
15/3/2010	49	34
16/3/2010	36	52
17/3/2010	36	29
18/3/2010	43	43
19/3/2010	53	49
20/3/2010	67	49
21/3/2010	41	34
22/3/2010	67	45
23/3/2010	74	54
Μ.Ο όλων των ημερών	49	40

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

**➤ ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ
ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΦΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (2000),
ΚΑΙ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ (ΑΕ) ΚΑΙ (ΜΜ) ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030**

➤ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO₂, NO_x, PM₁₀ και PM_{2.5} [μg/m³] (μέσος όρος των συγκεντρώσεων στο κέντρο και στην περιφέρεια) και ο δείκτης SOMO35 για είκοσι Ευρωπαϊκές πόλεις, όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο OFIS για το έτος αναφοράς (2000), το σενάριο ΑΕ και το σενάριο ΜΜ για το έτος 2030.

	Έτος αναφοράς (2000)					Σενάριο ΑΕ (1997)					Σενάριο ΜΜ (1997)				
	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	SOMO-35	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	SOMO-35	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	SOMO-35
ΑΜΒΕ	38.5	55.4	42.9	18.3	3444	27.3	35.3	33.4	12.3	3611	17.7	20.3	27.4	7.9	3943
ΑΘΗΝ	33.8	44.9	29.3	10.5	6287	26.4	31.5	26.0	7.4	6384	13.8	15.3	22.1	3.9	5371
ΒΑΡΚ	29.2	38.1	32.5	13.5	7271	19.1	22.1	26.5	8.1	6562	10.3	11.2	22.4	4.2	5607
ΒΕΡΟ	30.3	44.9	27.0	8.9	4328	19.4	25.8	23.7	5.8	3525	14.5	17.7	21.3	3.6	3036
ΒΡΥΞ	40.1	60.1	38.3	17.4	3514	25.9	33.3	30.1	10.9	3867	17.2	20.0	25.2	6.5	4161
ΒΟΥΔ	29.7	43.1	38.3	15.8	6197	18.1	23.3	24.8	6.5	4766	10.1	11.5	21.2	3.3	3724
ΚΟΠΕ	25.9	35.3	26.0	7.7	3229	18.8	22.7	23.7	5.8	3236	11.5	12.8	20.7	2.9	2860
ΓΚΝΤΑ	13.9	16.5	26.9	7.5	4037	7.7	8.6	22.3	4.4	3443	4.5	4.9	19.5	2.1	2527
ΓΚΡΑ	13.2	15.0	25.2	7.0	6692	8.7	9.6	22.8	4.7	4767	5.8	6.2	20.7	2.9	3726
ΕΛΣΙ	26.7	40.4	25.8	7.5	1496	18.9	24.3	22.9	5.1	1956	11.6	13.4	20.0	2.4	1487
ΚΑΤΟ	47.7	87.9	46.7	19.2	3508	28.4	41.5	30.1	9.3	3550	16.4	19.8	23.9	5.0	3288
ΛΙΣΣ	27.3	34.1	27.6	9.3	3858	19.6	23.1	26.0	7.7	5102	11.6	12.9	21.5	3.6	4954
ΛΟΝΔ	49.6	95.6	29.3	10.3	1348	31.6	46.0	26.3	7.7	2613	22.5	28.6	22.9	4.5	2940
ΜΑΣΣ	20.7	25.0	28.4	9.1	7758	12.9	14.1	24.9	6.4	7352	8.1	8.7	21.2	3.1	5850
ΜΙΛΑ	51.3	80.9	36.3	17.6	7945	27.3	33.7	26.8	8.5	7363	16.8	18.6	23.1	5.1	6567
ΠΑΡΙ	42.1	73.4	41.0	20.7	4689	29.7	43.1	32.5	13.2	5392	19.8	24.4	25.1	6.6	5335
ΠΡΑΓ	28.6	40.0	30.0	10.7	5196	12.7	15.0	22.4	4.6	4131	7.7	8.5	20.4	2.8	3359
ΡΩΜΗ	34.7	46.8	28.5	10.5	6338	17.8	20.6	24.2	6.4	6562	9.8	10.7	20.7	3.1	5514
ΣΤΟΥ	26.4	32.8	26.5	8.5	7061	15.1	17.7	23.4	5.2	5505	11.8	13.4	21.3	3.4	4712
ΘΕΣΣ	19.8	23.4	27.0	8.5	6834	16.8	18.7	24.7	6.4	6064	6.9	7.5	21.0	3.1	4448

Monitoring stations used in validation of urban and local air quality calculations

(The station codes correspond to the EU-codes in Airbase).

<i>City Name</i>	NO₂	O₃	PM₁₀
ANTW	BE0227A BE0232A BE0228A	-	BE0432A BE0204A
ATHE	GR0037A GR0031A GR0032A	GR0028A GR0035A	GR0037A GR0039A GR0030A
BARC	-	-	ES1024A ES1438A
BERL	DE1091A DE0742A DE1188A	DE0742A DE1091A	DE1091A DE0742A DE1115A
BRUS	BE0185A BE0186A BE0308A	BE0185A BE0186A	BE0185A BE0309A BE0402A
BUDA	HU0022A HU0021A	-	HU0022A HU0021A
COPE	DK0045A DK0034A	DK0045A	DK0045A DK0030A
GDAN	PL0045A PL0047A	PL0047A	PL0046A PL0052A
GRAZ	AT0085A AT0112A AT0205A	AT0022A AT0119A	AT0022A AT0109A AT0205A
HELS	FI0124A FI0142A	FI0124A	FI0124A FI0142A
KATO	PL0008A PL0022A PL0041A	PL0022A PL0008A	PL0022A PL0040A PL0041A
LISB	PT0091A PT0109A PT0093A	PT0091A	PT0087A PT0112A PT0093A

LOND	GB0566A GB0644A GB0682A	GB0586A GB0642A	GB0586A GB0566A GB0682A
MARS	FR1117A FR1115A FR0177A	FR1116A FR1117A	FR1108A FR1116A FR0177A
MILA	IT1017A IT0466A IT0477A	IT0466A IT1034A	IT0706A IT1034A IT0770A
PARI	FR0913A FR0331A FR0335A	FR0900A FR1181A	FR0351A FR0331A FR0335A
PRAG	CZ0020A CZ0010A CZ0065A	CZ0009A CZ0020A	CZ0009A CZ0020A CZ0012A
ROME	IT0953A IT0826A	IT0953A	IT0953A IT0828A
STUT	DE0749A DE0637A DE1171A	DE0640A DE0748A	DE0644A DE0900A DE1171A
THES	GR0045A EPTAPYRGIO (Municipality Network station) VENIZELOU (as above)	GR0047A EPTAPYRGIO	GR0047A