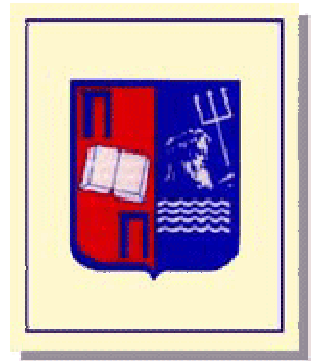




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



**Δ.Π.Μ.Σ. ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
ΑΘΗΝΑΣ**

***ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
(CO) ΚΑΙ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO₂)***

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Δ. ΧΑΛΟΥΛΑΚΟΥ**

**ΛΕΚΚΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ
ΑΘΗΝΑ
2003**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<i>Εισαγωγή.....</i>	<i>1</i>
	<i>1. Ατμοσφαιρική ρύπανση.....</i>	<i>2</i>
1.1.	Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	2
1.2.	Πηγές εκπομπών του CO.....	3
	<i>1.2.1. Πηγές εκπομπών CO παγκοσμίως.....</i>	<i>3</i>
	<i>1.2.2. Εκπομπές CO στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης....</i>	<i>4</i>
1.3.	Δεδομένα μετρήσεων CO από την ΕΕ.....	7
1.4.	Επιπτώσεις στην Υγεία.....	12
1.5.	Όρια ποιότητας αέρα.....	14
	<i>1.5.1. Στόχοι της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ)</i> <i>για μέγιστες συγκεντρώσεις του CO στην</i> <i>ατμόσφαιρα.....</i>	<i>14</i>
	<i>1.5.2. Όρια ποιότητας αέρα στην ΕΕ.....</i>	<i>15</i>
	<i>1.5.3. Υπάρχοντα όρια ποιότητας αέρα στις χώρες μέλη</i> <i>της ΕΕ.....</i>	<i>15</i>
	<i>1.5.4. Όρια ποιότητας σε άλλες χώρες.....</i>	<i>16</i>
	<i>1.5.5. Σύγκριση των στόχων της ΠΟΥ σε σχέση με τις</i> <i>συγκεντρώσεις CO.....</i>	<i>16</i>
1.6.	Αρχές εκτίμησης των συγκεντρώσεων του CO με βάση την θυγατρική Οδηγία 2000/96/ΕΚ.....	19
	<i>1.6.1. Καθορισμός μεθόδων εκτίμησης συγκεντρώσεων CO....</i>	<i>19</i>
	<i>1.6.2. Περιθώριο ανοχής για το CO.....</i>	<i>21</i>
1.7.	Η ρύπανση στην Αθήνα.....	22
	<i>1.7.1. Κύκλοι ρύπανσης του CO.....</i>	<i>22</i>
	<i>1.7.2. Όρια έκτακτων μέτρων.....</i>	<i>25</i>
	<i>1.7.3. Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στη ρύπανση...26</i>	
	 <i>2. Μεθοδολογία παρακολούθησης (monitoring)</i> <i>συγκεντρώσεων CO.....</i>	 <i>29</i>
2.1.	Μέτρηση επιπέδων CO.....	29
2.2.	Σταθμοί μέτρησης ποιότητας αέρα.....	31
	<i>2.2.1. Χωροθέτηση σταθμών μέτρησης CO.....</i>	<i>31</i>
	<i>2.2.2. Στόχοι παρακολούθησης ποιότητας αέρα.....</i>	<i>32</i>
	<i>2.2.3. Κριτήρια σχεδιασμού χωροθέτησης σταθμών μέτρησης.</i>	<i>32</i>
	<i>2.2.4. Κριτήρια προσδιορισμού πυκνότητας σταθμών</i> <i>μέτρησης CO.....</i>	<i>34</i>
	<i>2.2.5. Καθορισμός τύπου σταθμών μέτρησης CO.....</i>	<i>34</i>
	<i>2.2.6. Καθορισμός απαιτήσεων για τοποθέτηση</i> <i>σε επίπεδο μικροκλίμακας.....</i>	<i>35</i>
2.3.	Παρακολούθηση (monitoring) στην περιοχή της Αθήνας.....	36
	<i>2.3.1. Το δίκτυο του ΥΠΕΧΩΔΕ.....</i>	<i>36</i>
	<i>2.3.2. Μέθοδος και όργανα μέτρησης του CO.....</i>	<i>38</i>
	<i>2.3.3. Δεδομένα μετρήσεων.....</i>	<i>38</i>
	<i>2.3.4. Βασικές στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης.....</i>	<i>39</i>

3.	<i>Αποτελέσματα και συζήτηση αποτελεσμάτων.....</i>	<i>41</i>
3.1.	Χρονικές διακυμάνσεις της μέσης ημερήσιας τιμής των ωριαίων συγκεντρώσεων CO στην ατμόσφαιρα.....	41
3.2.	Ημερήσια μέση τιμή όλης της περιοχής, σε ετήσια βάση (ωριαίες συγκεντρώσεις).....	46
3.3.	Υπερβάσεις του ωριαίου προτύπου του CO.....	48
3.4.	Χρονικές διακυμάνσεις της μέσης ετήσιας τιμής των μέγιστων κυλιόμενων οκταώρων του CO στην ατμόσφαιρα.....	52
3.5.	Ημερήσια μέση τιμή των κυλιόμενων οκταώρων για όλη την περιοχή της Αθήνας, σε ετήσια βάση.....	57
3.6.	Υπερβάσεις του οκτάωρου προτύπου του CO.....	61
3.7.	Εποχιακές διακυμάνσεις (θερινού και χειμερινού τριμήνου) των μέσων ημερήσιων τιμών του CO, σε ετήσια βάση.....	65
3.8.	Επίδραση μετεωρολογικών συνθηκών και εκπομπών CO (υπολογισμός συντελεστή K).....	70
3.9.	Εμπειρικό μοντέλο υπολογισμού δωρων υπερβάσεων.....	72
3.10.	Εφαρμογή μοντέλου ποσόστωσης για την αξιολόγηση μείωσης των εκπομπών του CO.....	73
4.	<i>Μελέτη για το NO₂.....</i>	<i>75</i>
4.1.	Συγκεντρώσεις NO ₂ στην ατμόσφαιρα.....	75
4.2.	Πηγές εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO _x).....	76
4.3.	Επιπτώσεις στην υγεία.....	77
4.4.	Στόχοι της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ).....	78
4.5.	Όρια ποιότητας αέρα της ΕΕ για το NO ₂	78
4.6.	Δεδομένα και τάσεις εκπομπών.....	78
4.7.	Το άζωτο στην ατμόσφαιρα.....	81
4.8.	Χημικές αντιδράσεις σχηματισμού NO ₂	81
4.9.	Χρονικές διακυμάνσεις των τιμών NO ₂	83
	4.9.1. Διαχρονική μεταβολή (Εύρεση γραμμικής τάσης).....	83
	4.9.2. Χρονική διακύμανση των μέσων ημερήσιων τιμών NO ₂ για όλη την περιοχή της Αθήνας, σε ετήσια βάση.....	85
4.10.	Κύκλοι ρύπανσης NO ₂ στην περιοχή της Αθήνας.....	86
	4.10.1. Μηνιαίος κύκλος ρύπανσης.....	86
	4.10.2. Ωριαίος κύκλος ρύπανσης.....	86
	4.10.3. Εβδομαδιαίος κύκλος ρύπανσης.....	87
4.11.	Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στη ρύπανση.....	88
4.12.	Όρια ποιότητας πριν την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην περιοχή της Αθήνας.....	89
4.13.	Υπερβάσεις των τιμών NO ₂ στην περιοχή της Αθήνας.....	89
	4.13.1. Υπερβάσεις με σχέση με τα πρώην όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας.....	89
	4.13.2. Υπερβάσεις NO ₂ σε σχέση το όριο ποιότητας της πρόσφατης οδηγίας Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	91
	4.13.3. Πληρότητα των μετρήσεων.....	92
4.14.	Μέσες τιμές τριμήνων για όλη την περιοχή της Αθήνας.....	92
4.15.	Υπολογισμός συντελεστή K.....	93
4.16.	Εμπειρικό μοντέλο υπολογισμού υπερβάσεων NO ₂	94

4.17. Εφαρμογή μοντέλου ποσόστωσης για την αξιολόγηση μείωσης των εκπομπών του NO₂.....	95
5. Συμπεράσματα.....	97
6. Προτάσεις για μελλοντική εφαρμογή.....	98

Εισαγωγή

Οι δύο ρύποι που μελετώνται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Είναι δύο ατμοσφαιρικοί ρύποι που είναι δυνατόν να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού μεγάλων αστικών κέντρων όταν ξεπεράσουν κάποια συγκεκριμένα όρια ποιότητας. Η ιδιαιτερότητα και σοβαρότητα των αρνητικών συμπτωμάτων για κάθε ρύπο παρουσιάζεται διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια, μαζί με τις υπόλοιπες απαιτούμενες πληροφορίες και δεδομένα για την μελέτη της συμπεριφοράς τους.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- Ø Εκτίμηση των διαχρονικών μεταβολών των συγκεντρώσεων των δύο ρύπων κατά την διάρκεια 10 έως 11 (1989-1999) ετών σε 5 έως 7 σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης του ΠΕΡΠΙΑ.
- Ø Εκτίμηση των υπερβάσεων ορίων συγκέντρωσης με διάφορους χρόνους αναφοράς (1ώρα, 8ώρες) καθώς και διαχρονική μεταβολή τους ανά σταθμό (πρότυπα ΕΕ, οδηγίες ΠΟΥ, Διεθνή πρότυπα).
- Ø Διατύπωση εμπειρικών μοντέλων για την εκτίμηση των υπερβάσεων των προτύπων με μόνο διαθέσιμο δεδομένο την μέση ετήσια συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων.
- Ø Εκτίμηση της απόδοσης σεναρίων παρέμβασης/μείωσης των εκπομπών για συμμόρφωση με τα ισχύοντα όρια όλων των σταθμών στην μελετούμενη περιοχή.

Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν διαπιστώνεται η χρησιμότητα των εργαλείων που προτείνονται για την διαχείριση και αντιμετώπιση των προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια μεταπτυχιακού τίτλου στην οργάνωση και διοίκηση βιομηχανικών συστημάτων, με εξειδίκευση στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος. Εκπονήθηκε την περίοδο Απρίλιος 2002-Μάιος 2003, στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. υπό την εποπτεία της Α. Χαλουλάκου, Λέκτορα Ε.Μ.Π.

Στο σημείο αυτό θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα κ. Α. Χαλουλάκου για την απρόσκοπτη συνεργασία και παροχή πληροφοριών και διευκολύνσεων καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης. Ευχαριστίες επίσης στον Δρ. Χημικό Μηχανικό Ηλία Μαυροειδή για την σημαντικότερη συμβολή του στη περάτωση της εργασίας.

1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

1.1. Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)

Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO) είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους αέριους ρύπους. Δεν έχει χρώμα, οσμή ή γεύση ενώ παρουσιάζει χαμηλή αντιδραστικότητα και χαμηλή διαλυτότητα στο νερό. Στην ατμόσφαιρα εκπέμπεται κυρίως ως παράγωγο της ατελούς καύσης.

Το CO σε απόλυτες συγκεντρώσεις αποτελεί τον επικρατέστερο από τους τοξικούς αέριους ρύπους. Οι συγκεντρώσεις του εκφράζονται σε μονάδες mg/m^3 , σε αντίθεση με όλους τους άλλους αέριους ρύπους οι οποίοι μετρώνται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή και σε ακόμη μικρότερες συγκεντρώσεις.

Εκτός από την άμεση εκπομπή του στην ατμόσφαιρα μπορεί να δημιουργηθεί και από χημικές αντιδράσεις οργανικών αέριων ρύπων όπως είναι το μεθάνιο. Η διάρκεια παραμονής του CO στην ατμόσφαιρα είναι περίπου τρεις μήνες. Εφόσον, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η δημιουργία CO από τους οργανικούς ρύπους πραγματοποιείται οπουδήποτε στην ατμόσφαιρα, υπάρχουν επίπεδα συγκέντρωσης υποβάθρου CO ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες αιτίες και τα οποία κυμαίνονται μεταξύ 0,06 έως 0,17 mg/m^3 . Στις χώρες της Ευρωπαϊκή Ένωσης τα επίπεδα συγκέντρωσης υποβάθρου πλησιάζουν το όριο των 0,17 mg/m^3 .

Το CO όπως και οι υπόλοιποι αέριοι ρύποι εκφράζεται και σε μονάδες ppm, των οποίων η σχέση με τις μονάδες mg/m^3 σε θερμοκρασία 293K και πίεση 101.3Kpa είναι: $1\text{ppm} = 1.165\text{mg}/\text{m}^3$ και αντίστροφα: $1\text{mg}/\text{m}^3 = 0.858\text{ppm}$.

1.2. Πηγές εκπομπών του CO

1.2.1. Πηγές εκπομπών CO παγκοσμίως

Η συγκέντρωση του CO στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε δύο μηχανισμούς: εκπομπές CO και χημική του δημιουργία από άλλους ρύπους. Ο πίνακας 1-1 μας δίνει πληροφορίες για τους ανθρωπογενείς παράγοντες εκπομπής CO.

Πίνακας 1-1: Ποσότητες και ποσοστά ανθρωπογενών παραγόντων εκπομπής CO παγκοσμίως.

Τομέας	Εκπομπές	
	Mtonnes/έτος	%
Οδικές μεταφορές	206.7	21%
Μη οδικές μεταφορές	1.7	0.2%
Κατοικημένες περιοχές	218.9	22%
Βιομηχανία και παραγωγή ενέργειας	51.2	5%
Καύση δασικών εκτάσεων	111.4	12,8%
Καύση γεωργικών καταλοίπων και μη δασικών εκτάσεων	384.6	39%
<i>Σύνολα</i>	<i>974.5</i>	<i>100%</i>

Από τον πίνακα αυτό γίνεται σαφές ότι η καύση των δασών, της σαβάνας αλλά και των γεωργικών καταλοίπων ευθύνονται για το 50% περίπου των εκπομπών CO παγκοσμίως.

Στην δημιουργία CO που οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες πρέπει να προστεθεί και αυτή από την οξείδωση των υδρογονανθράκων και προσθέτει 600-1600 Mtonnes στην ατμόσφαιρα (τα 2/3 οφείλονται στην οξείδωση του μεθανίου). Η οξείδωση των υδρογονανθράκων αποτελεί μια βραδύτατη διαδικασία και δεν συνεισφέρει σε τοπικές εξάρσεις των συγκεντρώσεων του CO, παρ'όλα αυτά όμως υπολογίζεται ότι αποτελεί το 1/3 των εκπομπών του CO που οφείλονται σε φυσικές πηγές.

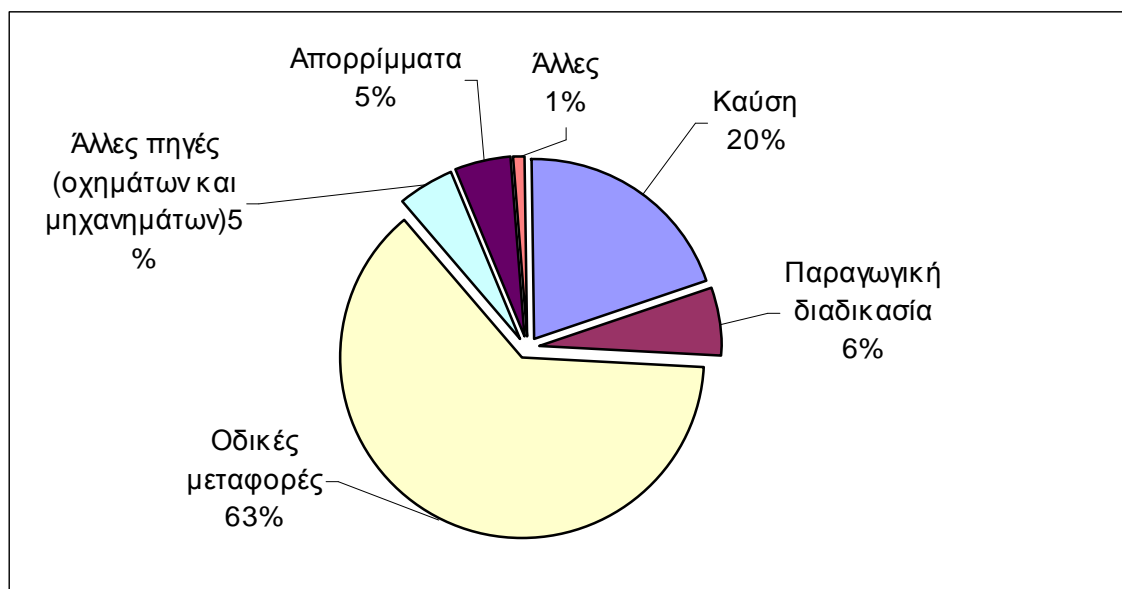
1.2.2. Εκπομπές CO στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ)

Ο πίνακας 1-2 και το σχήμα 1-1 κατηγοριοποιούν τις πηγές εκπομπής CO στις χώρες της Ε.Ε.

Πίνακας 1-2 : Εκπομπές CO στην Ευρωπαϊκή Ένωση (x 1000 tones)

Κατηγορίες πηγών	Καύση	Διαδικασία παραγωγής	Οδικές μεταφορές	Άλλες πηγές (οχημάτων και μηχανημάτων)	Διαχείριση και διάθεση απορριμμάτων	Άλλες	Σύνολο
Αυστρία	506	293	363	12	4	2	1181
Βέλγιο	132	17	995	2	19	0	1166
Δανία	187	0	413	79	0	37	715
Φιλανδία	87	0	311	40	0	0	438
Γαλλία	2455	623	5236	1013	233	107	9668
Γερμανία	1992	606	3953	243	0	13	6807
Ελλάδα	19	25	978	38	0	135	1194
Ιρλανδία	65	0	261	6	1	0	333
Ιταλία	704	481	5811	678	1527	30	9231
Λουξεμβούργο	85	14	44	3	0	0	145
Ολλανδία	233	112	523	27	3	37	935
Πορτογαλία	433	15	733	14	0	0	1195
Ισπανία	1280	233	2739	113	315	133	4813
Σουηδία	30	5	1164	110	4	2	1315
Μεγάλη Βρετανία	427	0	4315	41	48	47	4879
Ευρωπαϊκή Ένωση	8636	2423	27839	2418	2156	543	44015
Ευρωπαϊκή Ένωση	20%	6%	63%	5%	5%	1%	100%

Σχήμα 1-1: Εκπομπές CO στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά κατηγορία πηγών.

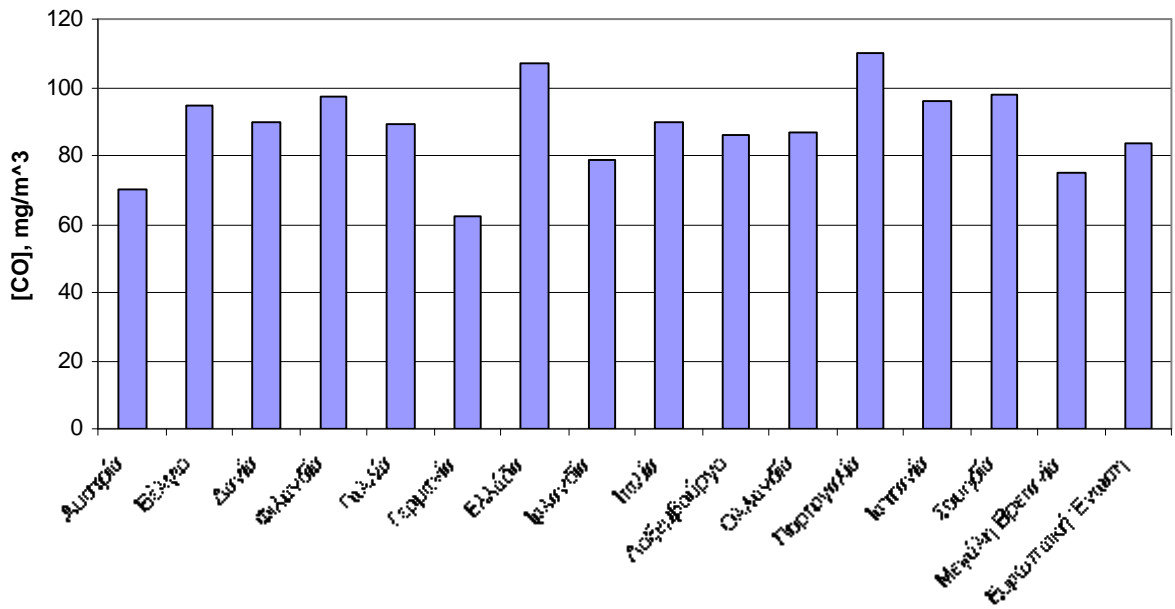


Η σημαντικότερη πηγή είναι οι οδικές μεταφορές που αποτελούν τα 2/3 των εκπομπών της ΕΕ. Από τον παραπάνω πίνακα 1-2, προκύπτει ότι η συνεισφορά των οδικών μεταφορών ποικίλλει από 30 έως 89% σε κάθε χώρα, κάτι που ισχύει και για τις άλλες κατηγορίες εκπομπών, όπως π.χ. δεν υπάρχουν εκπομπές CO από το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας στην Μεγάλη Βρετανία. Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι πολλές από τις διαφορές ανάμεσα στις χώρες της ΕΕ οφείλονται στις διαφορετικές μεθόδους καταγραφής των στοιχείων.

Δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση μεταξύ όλων των κατηγοριών των πηγών πίνακες και , αλλά σε γενική βάση φαίνεται ότι οι εκπομπές των χωρών της ΕΕ από τις οδικές μεταφορές, τις καύσεις και τις παραγωγικές διαδικασίες, είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που αφορούν παγκόσμιες πηγές. Κάποιες διαφορές μπορεί να οφείλονται και σε αυτή την περίπτωση σε διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης.

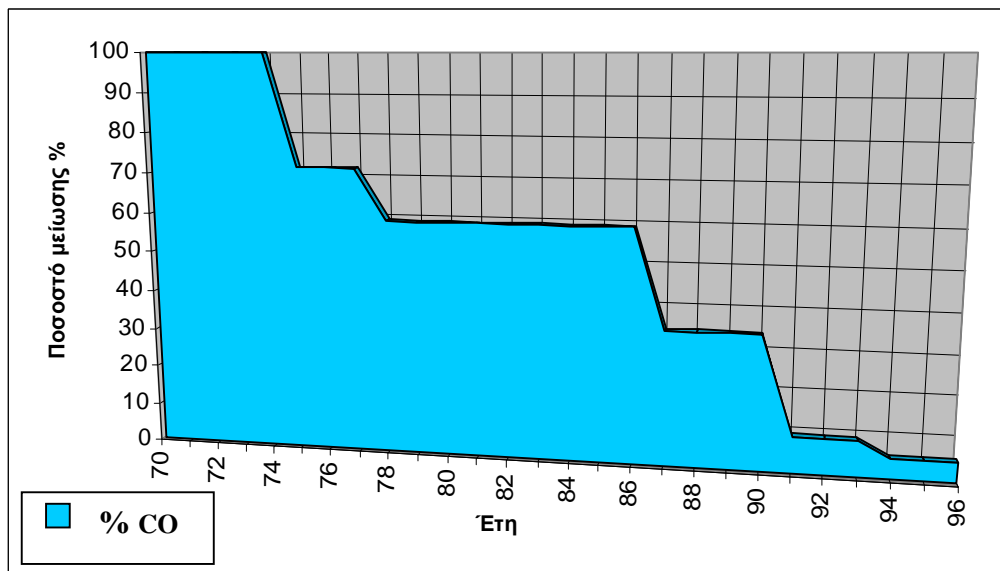
Το σχήμα 1-2 συγκρίνει τις εκπομπές του 1994 με αυτές του 1990. Όπως είναι φανερό η τάση των εκπομπών είναι καθοδική στις περισσότερες περιπτώσεις και αυτό οφείλεται κυρίως στην μείωση των εκπομπών από τις οδικές μεταφορές που αποτελεί και την σημαντικότερη πηγή ρύπανσης, σαν αποτέλεσμα ορισμένων μέτρων αντιρρύπανσης που αφορούν την εισαγωγή του τριοδικού καταλύτη, αλλά και των μέτρων επιθεώρησης και συντήρησης των οχημάτων. Εντούτοις, ένα μέρος των μέτρων αυτών αντισταθμίζεται από την αύξηση του αριθμού των οχημάτων και των διανυόμενων χιλιομέτρων, που παρουσιάζει αυξητική τάση με το πέρασμα του χρόνου.

Σχήμα 1-2: Εκπομπές του έτους 1994 ως ποσοστό % του 1990 στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Το επόμενο σχήμα 1-3 απεικονίζει τις θετικές επιπτώσεις από τις κατευθυντήριες οδηγίες της ΕΕ για τις εκπομπές CO από τα ιδιωτικής χρήσης επιβατικά οχήματα. Οι τελευταίες δύο οδηγίες μείωσαν σημαντικά τις εκπομπές CO. Από την στιγμή που πολλά αυτοκίνητα παλαιάς τεχνολογίας κυκλοφορούσαν ακόμα κατά την διάρκεια της τελευταίας κατευθυντήριας οδηγίας (94/12/EC), αναμένονταν ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις εκπομπής CO.

Σχήμα 1-3: Επιπτώσεις από τις οδηγίες της ΕΕ στις εκπομπές των Ι.Χ. επιβατικών οχημάτων.



Οι οδηγίες στις οποίες οφείλεται η μείωση είναι: (70/220/EEC), (74/290/EEC), (77/102/EEC), (78/665/EEC), (83/351/EEC), (91/441/EEC), (94/12/EEC). Η αλλαγή του στόλου των παλαιών οχημάτων ποικίλει μεταξύ των χωρών της ΕΕ. Η μείωση των εκπομπών του CO πρέπει να είναι τόσο σημαντική ώστε να καλύψει την αύξηση των διανυόμενων χιλιομέτρων, αλλά και της αύξησης του αριθμού των οχημάτων.

1.3. Δεδομένα μετρήσεων CO από την ΕΕ

Οι περισσότερες τεχνικές μετρήσεων έχουν επικεντρωθεί στην μόλυνση του αέρα κοντά σε δρόμους πόλεων που παρουσιάζουν μεγάλη κυκλοφοριακή επιβάρυνση, παρά σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, λόγω του ότι η ποσότητα του CO που εκλύεται ανά χιλιόμετρο μειώνεται σημαντικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα των οχημάτων.

Από την βάση δεδομένων της ΕΕ «APIS», 491 ετήσιες χρονοσειρές μετρήσεων για το CO επεξεργάστηκαν καταναμημένες στα έτη 1981-1995. Για τους πιο πολλούς από τους σταθμούς μετρήσεων του APIS μόνο μερικά έτη ήταν διαθέσιμα.

Ο πίνακας 1-3 παρουσιάζει μια εικόνα των επιπέδων συγκέντρωσης που μετρήθηκαν τη περίοδο 1989-1995. Για μερικές από τις χρονοσειρές χρησιμοποιήθηκε ένας συντελεστής ασφαλείας για την εναρμόνιση των μονάδων μέτρησης σε ενιαία βάση. Για τις χρονοσειρές με επάρκεια μετρήσεων τουλάχιστον 75%, που αποτελούν στην πλειονότητα τους στοιχεία από σταθμούς κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας, παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία των μέσων ετήσιων τιμών, μεγίστων μέσων ωριαίων και μεγίστων οκταώρων μέσων τιμών. Από τον πίνακα φαίνεται ότι το επίπεδο των ετήσιων μέσων τιμών κυμαίνεται στο $1.5\text{mg}/\text{m}^3$, ενώ οι αντίστοιχες μέγιστες οκτάωρες και ωριαίες μέσες τιμές είναι κατά πολύ μεγαλύτερες. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις από όλες τις χρονοσειρές είναι μεγαλύτερες κατά ένα βαθμό συντελεστή 5 από τον μέσο όρο τιμών όλων των χρονοσειρών. Κατά την πάροδο του χρόνου η σύνθεση αυτών των σταθμών μέτρησης μεταβλήθηκε και κατά συνέπεια αντιπροσωπευτικές τάσεις δεν μπορούν να εξαχθούν από τα διαθέσιμα δεδομένα.

Πίνακας 1-3: Ετήσιες και μέγιστες μέσες τιμές συγκεντρώσεων CO για τις χρονοσειρές της περιόδου 1989-1995 από την βάση δεδομένων APIS της ΕΕ.

Στατιστικές παράμετροι μετρήσεων για το CO	Μέσοι όροι όλων των χρονοσειρών	Υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς
Μέσες ετήσιες τιμές	1.5	8.4
Μέσες τιμές των μεγίστων ωριαίων συγκεντρώσεων	13.5	64
Μέσες τιμές των μεγίστων οκταώρων	8.6	44

Άλλη πηγή δεδομένων για τις συγκεντρώσεις του CO στην ΕΕ αποτελεί το πρόγραμμα «DORBIS» για τα όρια ποιότητας του αέρα. Σύμφωνα με αυτό, πόλεις με πληθυσμό πάνω από 500.000 κατοίκους, κλήθηκαν να παρέχουν στοιχεία για να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά τις μετρήσεις αέριων ρύπων για τα όρια ποιότητας αέρα. Για το CO επεξεργάστηκαν στοιχεία μόνο από σταθμούς με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις για την μελέτη επεισοδίων ρύπανσης. Από τους 60 σταθμούς μέτρησης στους οποίους αναφέρθηκαν υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης CO, 57 ήταν σταθμοί οδικής κυκλοφορίας. Οι μέσες ετήσιες τιμές και οι μέσες τιμές των μέγιστων οκταώρων που εξετάστηκαν επιβεβαιώνουν την γενική εικόνα που διατυπώθηκε από το πρόγραμμα APIS.

Δύο από τους 60 σταθμούς μέτρησης αναφέρονται ως αστικού υποβάθρου. Στην πόλη της Βρέμης, η μέση ετήσια τιμή των συγκεντρώσεων ήταν $1.2\text{mg}/\text{m}^3$ και το 98⁰-εκατοστημόριο (μετρήσεις 30 λεπτών) σχεδόν ισότιμο ($1.3\text{mg}/\text{m}^3$).

Κανένα από τα στοιχεία του DORBIS δεν αναφέρεται σε σταθμούς με βιομηχανική δραστηριότητα, μόνο ο σταθμός της Βουδαπέστης χαρακτηρίστηκε σαν τέτοιος. Οι συγκεντρώσεις που αναφέρθηκαν το 1992 ήταν $4.0\text{mg}/\text{m}^3$ για την μέση τιμή και $7.1\text{mg}/\text{m}^3$ για το 98⁰-εκατοστημόριο 24ώρων μέσων τιμών. Πιο συγκεκριμένα για κάθε χώρα της ΕΕ παρουσιάζονται τα ακόλουθα στοιχεία:

Αυστρία

Στην Αυστρία σε σχέση με στόχους της ΠΟΥ (Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας) για την τιμή των $10\text{mg}/\text{m}^3$ (μέσες οκτάωρες τιμές), υπήρχαν υπερβάσεις σε μερικούς σταθμούς τα έτη 1992 και 1996. Η οδηγία της μέσης οκτάωρης τιμής ήταν πιο εύκολο να υπερβεί από τις αντίστοιχες μέσες ωριαίες και 30λεπτες τιμές, για τις οποίες και δεν αναφέρθηκε καμιά υπέρβαση για τα έτη 1990 έως 1997. Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών, οι συγκεντρώσεις του CO μειώνονταν συνεχώς εκτός από μια βιομηχανική περιοχή. Σε αυτήν την περιοχή οι στόχοι της ΠΟΥ βρέθηκαν να υπερβαίνονται κατά μικρό ποσοστό το 1996.

Βέλγιο

Οι συγκεντρώσεις του CO για το Βέλγιο από τρεις σταθμούς κυκλοφορίας ήταν κάτω από τα όρια των στόχων της ΠΟΥ.

Φιλανδία

Δεδομένα μετρήσεων από την Φιλανδία δείχνουν ότι υπήρχαν υπερβάσεις των ορίων ποιότητας από τους στόχους της ΠΟΥ για το όριο των $10\text{mg}/\text{m}^3$ της οκτάωρης μέσης τιμής κοντά σε σταθμούς οδικών αρτηριών στην διάρκεια της περιόδου 1990-1996.

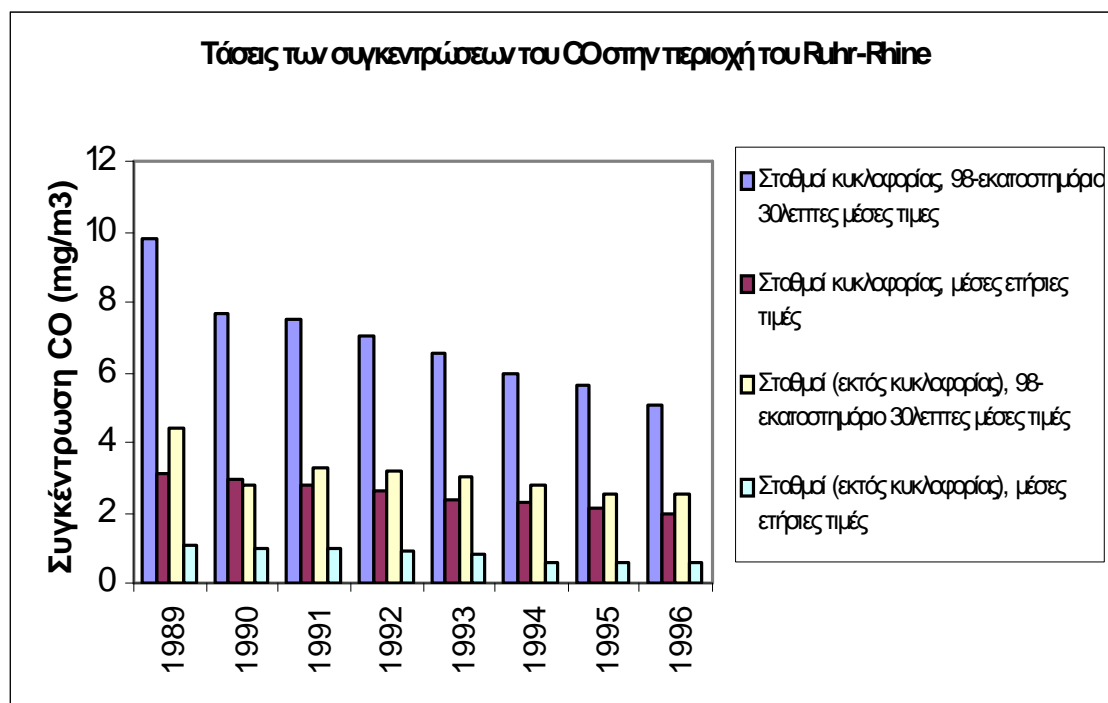
Γερμανία

Στην Γερμανία αναφέρθηκαν ότι οι συγκεντρώσεις του CO σε δρόμους μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου είναι μικρότερες από $2\text{mg}/\text{m}^3$ (μέσες ετήσιες τιμές), και μικρότερες από $5\text{mg}/\text{m}^3$ (98⁰-εκατοστημόριο 30λεπτων μέσων τιμών). Το Γερμανικό όριο ποιότητας είναι $10\text{mg}/\text{m}^3$ (μέσες ετήσιες τιμές) και $30\text{mg}/\text{m}^3$ (98⁰-εκατοστημόριο 30λεπτες μέσες τιμές) συναντάται παντού στην Γερμανία.

Στο σχήμα 1-4 απεικονίζεται η καθοδική τάση των μέσων ετήσιων τιμών του CO για τους σταθμούς κυκλοφορίας και μη, στην περιοχή του Rhine-Ruhr της Γερμανίας.

Από την στιγμή που το 98⁰-εκατοστημόριο 30λεπτων μέσων τιμών παρουσιάζει καθοδική τάση το ίδιο θα ισχύει και για το 980-εκατοστημόριο ωριαίων μέσων τιμών.

Σχήμα 1-4: Τάσεις των συγκεντρώσεων του CO στην περιοχή του Ruhr-Rhine της Γερμανίας.



Ολλανδία

Στην Ολλανδία η οριακή τιμή των $10\text{mg}/\text{m}^3$ (98⁰-εκατοστημόριο μέσων τιμών κυλιόμενων οκτάωρων), δεν ξεπεράστηκε τόσο στους περιφερειακούς όσο και στους σταθμούς αστικού υποβάθρου, ενώ σπάνιες ήταν οι περιπτώσεις υπερβάσεων σε σταθμούς μεγάλης κυκλοφορίας. Το 1996 η μεγαλύτερη οκτάωρη μέση τιμή ήταν $4.7\text{mg}/\text{m}^3$ και το μεγαλύτερο 98⁰-εκατοστημόριο των οκτάωρων μέσων τιμών $3.3\text{mg}/\text{m}^3$. Παρατηρήθηκε καθοδική τάση των υπερβάσεων των οριακών τιμών: Το συνολικό οδικό μήκος με υπερβάσεις των οριακών τιμών στην Ολλανδία μειώθηκε από 50km που ήταν στα τέλη της δεκαετίας του 1980 σε περίπου 5km το 1995.

Πορτογαλία

Στην Πορτογαλία συγκεντρώθηκαν δεδομένα από 16 σταθμούς μέτρησης για τα έτη 1993 και 1994. Ο πίνακας 1-4 δίνει μια εικόνα των δεδομένων αυτών.

Πίνακας 1-4: Συγκεντρώσεις CO από 16 σταθμούς μέτρησης στην Πορτογαλία (mg/m^3).

	Μέση ετήσια τιμή	Μέση τιμή των μέγιστων ωριαίων συγκεντρώσεων	Μέση τιμή των μέγιστων οκτάωρων συγκεντρώσεων	Μέση τιμή των μέγιστων ημερησίων συγκεντρώσεων
1993	0.16-2.9	7.1-57	2.5-25	1.9-18
1994	0.87-2.9	6.7-45	2.2-43	1.2-38

Σουηδία

Ο αριθμός των σταθμών μέτρησης των συγκεντρώσεων του CO στην Σουηδία μειώθηκε γιατί δεν παρατηρήθηκε κανένα πρόβλημα υπερβάσεων πουθενά στη επικράτεια. Ο πίνακας 1-5 δίνει τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Πίνακας 1-5: Αποτελέσματα μετρήσεων σε διάφορους σταθμούς στην Σουηδία..

Έτος	1973 (4 μήνες)		1995 (συνολικό έτος)		
	Μέγιστη ωριαία	Μέγιστη οκτάωρη	Μέγιστη ωριαία	Μέγιστη οκτάωρη	98 ^ο -εκατοστημόριο οκτάωρων
<i>Δρόμοι με περιπτώσεις μόλυνσης στην πόλη της Στοκχόλμης</i>					
Sveavagen	10	10	8.9	5.8	4.8
Hornsgatan	25	15	13	6.8	5.0
<i>Σταθμοί αστικού υποβάθρου</i>					
Gutenberg(Γκέτεμποργκ)			8.2	5.0	1.6

Από τα υπάρχοντα στοιχεία μετρήσεων συγκεντρώσεων CO γίνονται αντιληπτά τα εξής συμπεράσματα:

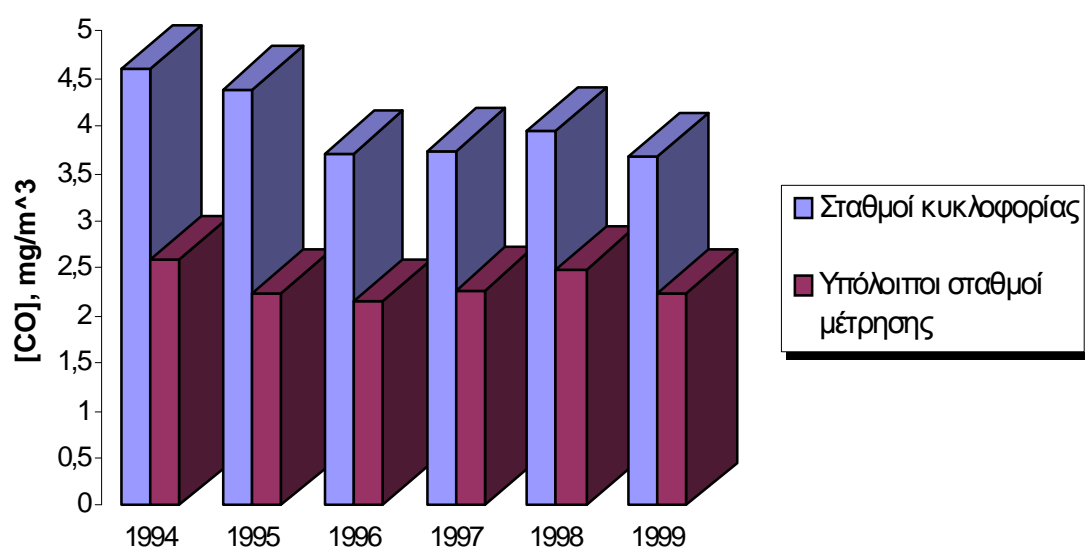
1. Εκτός του ότι οι ποσότητες του CO δύσκολα μετακινούνται λόγω ατμοσφαιρικής μεταφοράς, μεγάλης έκτασης μεταφορές δεν οδηγούν σε ανησυχητικά επίπεδα συγκεντρώσεων. Μόνο στις περιοχές κοντά στις πηγές εκπομπής όπου η ατμοσφαιρική διάχυση και αραίωση είναι σχετικά μικρές, παρατηρούνται αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων.
2. Σταθμοί αστικού υποβάθρου
Δεν εξήχθη συγκεκριμένη εικόνα στις περιοχές αστικού υποβάθρου από τα παραπάνω δεδομένα. Υπερβάσεις των στόχων της ΠΟΥ δεν παρατηρήθηκαν. Όμως δεν είναι ξεκάθαρο εάν λόγω κλιματικών συνθηκών χαμηλής διασποράς κυρίως στις νότιες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μπορούν να συμβούν επεισόδια ρύπανσης.

3. *Επίπεδα συγκεντρώσεων κοντά σε σταθμούς οδικής κυκλοφορίας*
Γενικά τα υψηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων CO παρατηρήθηκαν κοντά σε σταθμούς κυκλοφορίας. Οι στόχοι της ΠΟΥ ξεπεράστηκαν σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας, αλλά σε πολλές χώρες τα επίπεδα μειώνονται. Αυτή η τάση μείωσης αναμένεται να συνεχιστεί και στα επόμενα χρόνια.
4. *Επίπεδα συγκεντρώσεων κοντά σε σταθμούς βιομηχανικής δραστηριότητας*
Μερικές βιομηχανικές δραστηριότητες (κυρίως μεταλλουργικές) έχουν σαν αποτέλεσμα εκπομπής μεγάλων ποσοτήτων CO. Όταν οι εκπομπές αυτές γίνονται μέσω υψηλών καμινάδων τα επίπεδα των τοπικών συγκεντρώσεων δεν αυξάνονται σημαντικά. Το γεγονός ότι μόνο μια περίπτωση ρύπανσης προσδιορίστηκε από τα δίκτυα μετρήσεων της ΕΕ, σημαίνει ότι δεν αποτελούν σημαντικό πρόβλημα.
5. *Επίπεδα συγκεντρώσεων κοντά σε άλλους σταθμούς μέτρησης*
Ανησυχητικά επίπεδα συγκεντρώσεων κοντά σε άλλου τύπου πηγών εκπομπής π.χ. καύσεις αγροτικών καταλοίπων, δεν παρατηρήθηκαν.

Ελλάδα

Από δεδομένα μετρήσεων του ΥΠΕΧΩΔΕ για την πόλη της Αθήνας, γίνεται σύγκριση των μέσων τιμών των σταθμών κυκλοφορίας με αυτές των υπολοίπων σταθμών για τα έτη 1994-1999. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 1-5. Σαν σταθμοί κυκλοφορίας προσδιορίστηκαν οι σταθμοί των Πατησίων και Αριστοτέλους. Είναι φανερό ότι οι συγκεντρώσεις του CO των σταθμών κυκλοφορίας είναι πολλαπλάσιες των υπολοίπων σταθμών, κάτι που σημαίνει ότι αποτελούν την κύρια αιτία εκπομπών CO για την πόλη της Αθήνας.

Σχήμα 1-5: Σύγκριση μέσων τιμών σταθμών κυκλοφορίας με τους υπόλοιπους σταθμούς μέτρησης για τα έτη 1994-1999, στην περιοχή της Αθήνας.



1.4. Επιπτώσεις στην Υγεία

Το CO όταν έρθει σε επαφή με την αιμοσφαιρίνη στο ανθρώπινο αίμα αντιδρά ακαριαία σχηματίζοντας την ανθρακοξυ-αιμοσφαιρίνη (COHb). Η σχέση της αιμοσφαιρίνης στο αίμα με το CO είναι 200-250 φορές πιο δραστική απ'ότι με το οξυγόνο. Έτσι μεγάλες ποσότητες CO δεσμεύονται από την αιμοσφαιρίνη με συνέπεια την μείωση της μεταφορικής ικανότητας του αίματος σε οξυγόνο. Με αυτή την διαδικασία εμποδίζεται η έκλυση οξυγόνου στους ανθρώπινους ιστούς και επιφέρει σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. Οι πιο σπουδαίοι ευμετάβλητοι παράγοντες που καθορίζουν τα επίπεδα της ανθρακοξυ-αιμοσφαιρίνης (COHb) στο αίμα είναι η συγκέντρωση του CO στον περιβάλλοντα αέρα, η διάρκεια έκθεσης στο CO και η εισπνοή στους πνεύμονες.

Κατά την διάρκεια έκθεσης σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις CO, η συγκέντρωση της COHb στο αίμα αυξάνεται ραγδαίως και φτάνει σε μια σταθερή κατάσταση ύστερα από 6 έως 8 ώρες έκθεσης. Η φυσική άσκηση επιταχύνει την διαδικασία δέσμευσης του CO.

Η δημιουργία της COHb είναι μια αναστρέψιμη διαδικασία, αλλά εξαιτίας της στενής σχέσης του CO με την COHb, η διάρκεια ημίσειας ζωής της COHb στο αίμα σε έκθεση δωματίου ποικίλει από 2 ως 6,5 ώρες ανάλογα με την αρχική ποσότητα COHb στο αίμα. Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι η διάρκεια ημίσειας ζωής της COHb είναι πολύ μεγαλύτερη στο έμβρυο απ'ότι στην μητέρα αν πρόκειται για έκθεση εγκυμονούσης γυναίκας.

Οι τοξικές επιπτώσεις του CO γίνονται εμφανείς σε όργανα και ιστούς του ανθρώπινου σώματος με μεγάλη κατανάλωση οξυγόνου, όπως είναι ο εγκέφαλος, η καρδιά, οι εργαζόμενοι μύες και τα αναπτυσσόμενα έμβρυα. Οι επιπτώσεις σε έκθεση υψηλών συγκεντρώσεων CO (πολύ μεγαλύτερων απ'ότι των περιβάλλοντων συνθηκών) είναι θανατηφόρες.

Υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν αναστρέψιμα, βραχυχρόνια νευρολογικά επεισόδια αλλά και σοβαρή μακροχρόνια νευρολογική βλάβη. Μικρές συγκεντρώσεις COHb στο ανθρώπινο αίμα από 5,1 ως 8,2 % μπορούν να προκαλέσουν απώλεια προσανατολισμού, ζαλάδες, μειωμένη οδηγική ικανότητα, αϋπνία αλλά και προβλήματα στην ανθρώπινη νοητική λειτουργία.

Στον παρακάτω πίνακα 1-6, παρουσιάζονται τα επίπεδα του CO που έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της COHb στο ανθρώπινο αίμα και κατά συνέπεια την εμφάνιση προβλημάτων υγείας.

Πίνακας 1-6: Σχέση ανάμεσα στα επίπεδα συγκέντρωσης CO στον ατμοσφαιρικό αέρα και στην δημιουργία COHb στο ανθρώπινο αίμα.

CO στην ατμόσφαιρα (ppm)	COHb στο ανθρώπινο αίμα (%)	Συμπτώματα και ενδείξεις
10	2	Δεν υπάρχουν συμπτώματα
70	10	Χωρίς αισθητά συμπτώματα, εκτός από δυσκολία αναπνοής σε έντονη άσκηση, διαστολή δερματικών αιμοφόρων αγγείων
120	20	Δυσκολία αναπνοής σε μέτρια άσκηση, περιστασιακοί πονοκέφαλοι
220	30	Επίμονοι πονοκέφαλοι, ερεθισμός, γρήγορη κόπωση, δυσκολία στην όραση, πιθανές ζαλάδες, δυσκολία συγκέντρωσης
350-520	40-50	Ισχυροί πονοκέφαλοι, σάστισμα, κατάρρευση, λιποθυμικές τάσεις
800-1220	60-70	Απώλεια αισθήσεων, σπασμοί, πιθανός θάνατος αν η έκθεση συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα
1950	80	Ακαριαίος θάνατος

Πηγή: <http://www.airinfnow.org/pdf/CARBON%20MONOXID2.PDF>

Η ενδογενής παραγωγή CO επιδρά στα επίπεδα COHb από 0,4-0,7%. Κατά την διάρκεια εγκυμοσύνης, υψηλά μητρικά επίπεδα COHb 0,7-2,5% έχουν αναφερθεί και οφείλονται κυρίως στην ενδογενή παραγωγή CO του ανθρώπινου σώματος. Τα επίπεδα COHb σε μη καπνίζοντα πληθυσμό είναι συνήθως 0,5-1,5% εξαιτίας της ενδογενής παραγωγής. Σε ορισμένες ομάδες εργαζόμενου πληθυσμού όπως είναι οδηγοί, αστυνόμοι, εργαζόμενοι σε γκαράζ και τούνελ, πυροσβέστες, τροχονόμοι κτλ. μπορούν να αποκτήσουν μακροχρόνια υψηλά επίπεδα COHb ως 5%, ενώ για καπνίζοντες το όριο αυτό μπορεί να φτάσει και στο 10%. Βαριά εργασία σε κλειστούς χώρους μπορεί να αυξήσει το όριο της COHb από 10-20%. Έχει αναφερθεί ότι σε κλειστούς χώρους παγοδρομίων υπάρχει πιθανότητα επιδημικής δηλητηρίασης από τις συγκεντρώσεις του CO.

1.5. Όρια ποιότητας αέρα

1.5.1. Στόχοι της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ) για μέγιστες συγκεντρώσεις του CO στην ατμόσφαιρα

Με βάση την προστασία μη καπνιζόντων, ενηλίκων και ηλικιωμένων πληθυσμιακών ομάδων με καταγεγραμμένες αγγειοκαρδιακές παθήσεις, αλλά και για την προστασία των εμβρύων σε κατάσταση εγκυμοσύνης και μη καπνιστριών γυναικών από επεισόδια ασφυξίας, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (ΠΟΥ) προτείνει ότι το ποσοστό COHb 2.5% δεν πρέπει να υπερβαίνεται στο ανθρώπινο αίμα.

Υπάρχει διαφορά μεταξύ των όρων όριο και στόχος. Ο μεν πρώτος αναφέρεται σε κάποια τιμή ενός ρύπου που έχει καθιερωθεί νομοθετικά, λαμβάνοντας υπόψη εκτός των επιδράσεων του ρύπου στο περιβάλλον και τη δυνατότητα επίτευξης της τιμής αυτής από τεχνολογικής και οικονομικής πλευράς. Αντίθετα ο στόχος λαμβάνει υπόψη μόνο την επίδραση του ρύπου στην ανθρώπινη υγεία, δεν είναι νομοθετημένος και συνήθως είναι αυστηρότερος από το όριο/πρότυπο.

Οι στόχοι της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ) και οι περίοδοι των χρονικά σταθμισμένων μέσων τιμών έκθεσης για μέγιστες συγκεντρώσεις του CO στην ατμόσφαιρα, έχουν προσδιοριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε το ποσοστό COHb 2.5% στο ανθρώπινο αίμα να μην παραβιάζεται, ακόμα και στην περίπτωση ελαφριάς ή μέτριας άσκησης. Οι τιμές αυτές είναι οι εξής:

Πίνακας 1-7: Στόχοι της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας για το CO.

Μέσες χρονικές τιμές	Χρονικά σταθμισμένες μέσες τιμές έκθεσης
15 λεπτά	87 ppm (100 mg/m ³)
30 λεπτά	52 ppm (60 mg/m ³)
1 ώρα	26 ppm (30 mg/m ³)
8 ώρες	9 ppm (10 mg/m ³)

1.5.2. Όρια ποιότητας αέρα στην ΕΕ

Η ΕΕ με την οδηγία 2000/96/ΕΚ της 16^{ης} Νοεμβρίου 2000, καθορίζει την οριακή τιμή για το CO όπως αυτή παρουσιάζεται από τα στοιχεία του πίνακα 1-8:

Πίνακας 1-8: Οδηγία της ΕΕ για την οριακή τιμή του CO.

	Περίοδος εξαγωγής της μέσης συγκέντρωσης	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία μέχρι την οποία πρέπει να επιτευχθεί η οριακή τιμή
Οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Μέγιστη ημερήσια 8ωρη μέση τιμή	10 mg/m ³	6mg/m ³ (50%) κατά την 13 ^η Δεκεμβρίου 2000, μειούμενο την 1 ^η Ιανουαρίου 2003 και κατόπιν ανά δωδεκάμηνο, κατά 2mg/m ³ , μέχρι μηδενισμού του την 1 ^η Ιανουαρίου 2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005

Πηγή: Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα εισάγεται η έννοια του περιθωρίου ανοχής. Ο ορισμός του περιθωρίου ανοχής εξηγείται στην παράγραφο 1.6.2.

1.5.3. Υπάρχοντα όρια ποιότητας αέρα στις χώρες μέλη της ΕΕ

Αυστρία

Το όριο ποιότητας αέρα στην Αυστρία είναι:

- Ø 10mg/m³ (μέσες τιμές κυλιόμενων οκταώρων)

Η Αυστρία έχει θεσπίσει όρια ποιότητας για το CO και για την περίπτωση τιμών συναγερμού για τον καπνό (μέσες τιμές κυλιόμενων τρίωρων)

- Ø 20mg/m³ όριο προειδοποίησης
- Ø 30mg/m³ επίπεδο προειδοποίησης I
- Ø 40mg/m³ επίπεδο προειδοποίησης II

Φιλανδία

Στην Φιλανδία δεν έχουν θεσπιστεί υποχρεωτικές οδηγίες για το CO:

- Ø 20mg/m³ σαν μέγιστη ωριαία μέση τιμή
- Ø 8mg/m³ σαν μέγιστη οκτάωρη μέση τιμή

Γερμανία

Τα όρια ποιότητας στην Γερμανία είναι:

- Ø 10mg/m³ ετήσια μέση τιμή
- Ø 30mg/m³ 98^ο-εκατοστημόριο βασισμένο στην μέση τιμή μισής ώρας για ένα χρόνο

Ολλανδία

Οι οριακές τιμές στην Ολλανδία είναι:

- Ø 6mg/m³ 98⁰-εκατοστημόριο για μέσες τιμές οκταώρου
- Ø 40mg/m³ 99.9⁰-εκατοστημόριο για μέσες ωριαίες τιμές

Πορτογαλία

Για την Πορτογαλία ισχύουν τα εξής:

- Ø Οριακές τιμές:
 1. 40mg/m³ ωριαία μέση τιμή, μια υπέρβαση επιτρέπεται
 2. 10mg/m³ οκτάωρη μέση τιμή
- Ø Τιμές οδηγίων:
10mg/m³ 24ωρη μέση τιμή

Σουηδία

Τα εθνικό όριο ποιότητας για την Σουηδία είναι:

- Ø 6mg/m³ 98⁰-εκατοστημόριο για μέση τιμή κυλιόμενων οκταώρων το χειμώνα μισού έτους σαν τιμή στόχος

Μεγάλη Βρετανία

Η Μεγάλη Βρετανία έχει υιοθετήσει σαν στόχο ποιότητας αέρα τα 10 ppm (11.4mg/m³) του μέγιστου από την μέση τιμή των κυλιόμενων οκταώρων, ως το 2005.

1.5.4. Όρια ποιότητας σε άλλες χώρες

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Το εθνικό όριο ποιότητας αέρα στις Η.Π.Α. για το CO είναι 9ppm (10.3mg/m³) σαν μέση τιμή οκταώρου χωρίς να υπάρχουν υπερβάσεις πάνω από μία φορά κατά την διάρκεια του έτους.

Ιαπωνία

Η οριακή τιμή που ισχύει στην Ιαπωνία είναι 10ppm (11.4mg/m³) σαν μέση τιμή ημερήσιας συγκέντρωσης και 20ppm (22.8mg/m³) μέση τιμή οκτάωρων συγκεντρώσεων.

1.5.5. Σύγκριση των στόχων της ΠΟΥ σε σχέση με τις συγκεντρώσεις του CO

Η ΠΟΥ προτείνει όπως αναφέρθηκε παραπάνω 4 τιμές-στόχους που είναι σταθμισμένες σε διαφορετικές χρονικές βάσεις, ώστε το επίπεδο COHb στο ανθρώπινο αίμα να μην ξεπερνά το ποσοστό του 2.5%. Το ερώτημα που τίθεται είναι αν και οι 4 τιμές πρέπει να ληφθούν υπόψη σαν αρχικές για τον καθορισμό οριακών τιμών. Αν ένας από τους στόχους της ΠΟΥ δεν υπερβαίνεται ποτέ στην πράξη χωρίς να παραβιάζονται οι υπόλοιποι, τότε δεν υπάρχει κανένας λόγος να χρησιμοποιηθεί σαν οριακή τιμή. Τέτοιες οριακές τιμές απλώς αυξάνουν το φόρτο εργασίας για την στατιστική επεξεργασία των χωρών μελών της ΕΕ χωρίς να αυξάνουν και την προστασία για την ανθρώπινη υγεία.

60mg/m³ για 30 λεπτά

Όταν συγκρίνεται η μέση τιμή για τα 30 λεπτά σε σχέση με την μέση τιμή ωριαίας συγκέντρωσης, είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι η πρώτη παρέχει μικρότερη προστασία: Αν η συγκέντρωση της μέσης τιμής των 30 λεπτών είναι πάνω από 60mg/m³, η ωριαία συγκέντρωση θα πρέπει μαθηματικά να υπερβαίνει την τιμή των 30mg/m³. Επομένως η τιμή-στόχος για 30λεπτες συγκεντρώσεις δεν είναι χρήσιμες σαν αρχικές τιμές για τον καθορισμό οριακής τιμής.

100mg/m³ (90ppm) για 15 λεπτά

Για να παραβιαστεί η τιμή των 100mg/m³ χωρίς να παραβιαστεί η ωριαία μέση τιμή, απαιτείται ότι κατά την διάρκεια των εναπομείνοντων 45 λεπτών της ίδιας ώρας η μέση συγκέντρωση θα πρέπει να είναι μικρότερη από 7mg/m³. Αυτό φαντάζει απίθανο σε φυσιολογικές συνθήκες. Σε σπάνιες συνθήκες μπορεί ένα επεισόδιο ρύπανσης π.χ. κατά την διάρκεια λίγων λεπτών, η συγκέντρωση της μέσης τιμής 15 λεπτών να βρίσκεται μεταξύ 100 και 120 mg/m³, κάτι που σημαίνει ότι η ωριαία συγκέντρωση πρέπει να βρίσκεται κάτω από την τιμή των 30mg/m³. Όμως, αν ο μέσος όρος των 15λεπτών μετρήσεων είναι πάνω από 120mg/m³, η ωριαία συγκέντρωση των 30mg/m³ επίσης θα παραβιάζεται. Άρα στην πράξη η τιμή-στόχος της ωριαίας συγκέντρωσης αναμένεται να είναι σχεδόν πάντα πιο πολύ η το ίδιο προστατευτική σε σχέση με την τιμή-στόχο των 15 λεπτών.

Σε αντιπαράθεση με την απιθανότητα περιπτώσεων στις οποίες η τιμή-στόχος των 15 λεπτών να είναι πιο προστατευτική από την αντίστοιχη ωριαία, η 15λεπτη οριακή τιμή θα είναι εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθεί. Από την μεριά της ποσότητας δεδομένων, οι σταθμοί μέτρησης θα πρέπει να καλύπτουν όλες αυτές τις πιθανές περιπτώσεις, κάτι που σημαίνει πολύ μεγάλο αριθμό δεδομένων που μπορούν να δημιουργήσουν λογιστικά προβλήματα. Από την άποψη της μοντελοποίησης, μετεωρολογικά η δεδομένα εκπομπών με βάση τα 15 λεπτά δεν είναι διαθέσιμα. Κατά συνέπεια δεν προτείνεται να χρησιμοποιηθεί η τιμή-στόχος των 15 λεπτών σαν βάση για τον καθορισμό της οριακής τιμής.

30mg/m³ για 1 ώρα και 10mg/m³ για 8 ώρες

Μαθηματικά, συγκέντρωση CO 30mg/m³ κατά την διάρκεια μιας ώρας σε συνδυασμό με επίπεδο συγκέντρωσης 0.2mg/m³ των εναπομενόντων 7 ωρών του ίδιου οκτάωρου σημαίνει μία μέση τιμή 4mg/m³ (οκτάωρου), η οποία δεν υπερβαίνει την τιμή-στόχο της ΠΟΥ των 10mg/m³. Αντίστροφα είναι μαθηματικά κατανοητό ότι η μέση τιμή 10mg/m³ οκτάωρης μέτρησης μπορεί να παραβιαστεί χωρίς την υπέρβαση της ωριαίας μέσης τιμής των 30 mg/m³.

Ο πίνακας 1-9, παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης που έγιναν από την βάση δεδομένων όλων των χρονοσειρών του προγράμματος APIS (1989-1995), για την μέγιστη την δεύτερη μέγιστη τιμή και το 98⁰-εκαστημόριο των τιμών.

Πίνακας 1-9: Αναλογία μεταξύ ωριαίας και οκτάωρης μέσης τιμής, από την βάση δεδομένων του APIS (1989-1995).

Παράμετροι	Αναλογία μεταξύ ωριαίων και οκτάωρων μέσων τιμών			
	Αριθμητικός μέσος	Γεωμετρικός μέσος	90 ⁰ -εκατοστημόριο της αναλογίας	Μέγιστη τιμή αναλογίας
Μέγιστη τιμή	1.61	1.52	2.13	3.5
Δεύτερη μέγιστη τιμή	1.58	1.53	1.98	3.3
98 ⁰ -εκατοστημόριο	1.14	1.14	1.25	1.4

Στις περισσότερες περιπτώσεις η αναλογία μεταξύ ωριαίων και οκτάωρων μέσων τιμών είναι μικρότερη του 3. Αυτό σημαίνει ότι βρίσκεται μέσα στους στόχους της ΠΟΥ, $\left(\frac{30\text{mg}/\text{m}^3}{10\text{mg}/\text{m}^3}\right) = 3$. Επομένως η οκτάωρη μέση τιμή είναι πιο προστατευτική από την αντίστοιχη ωριαία. Όμως αυτό δεν συμβαίνει στο σύνολο των περιπτώσεων η ωριαία μέση τιμή μπορεί να εκφραστεί σαν δευτερεύουσα οριακή τιμή.

Το ερώτημα σε ποια περίπτωση η ωριαία μέση τιμή πρέπει να προτείνεται σαν οριακή τιμή σε σχέση με την οκτάωρη δεν πρέπει να διαχωρίζεται από το ερώτημα με ποια στατιστική παράμετρο γίνεται η ανάλυση των δεδομένων (μέγιστες τιμές ή κάποιο εκατοστημόριο). Από τις 307 ετήσιες χρονοσειρές στο πρόγραμμα APIS (1989-1995), 5 χρονοσειρές είχαν μέγιστη ωριαία μέση τιμή που ήταν 3 φορές μεγαλύτερη από την μέγιστη οκτάωρη τιμή.

Για να διαπιστωθεί ποιών σταθμών οι συγκεντρώσεις βρίσκονταν κοντά στις τιμές/στόχους της ΠΟΥ και ποια συμπεριφορά είχαν έγινε μια επιλογή των δεδομένων έτσι ώστε οι μέγιστες τιμές των μέσων τιμών των οκτάωρων μετρήσεων να βρίσκονται μεταξύ 5 και 20mg/m³. Αυτή η επιλογή μείωσε τον αριθμό 5των σταθμών από 307 σε 228 και βρέθηκαν 3 περιπτώσεις στις οποίες οι αναλογίες είναι μεγαλύτερες του 3. Στον πίνακα 1-10 φαίνονται οι αναλογίες ωριαίων και οκτάωρων μέσων τιμών με τις μέγιστες τιμές των οκτάωρων να βρίσκονται μεταξύ 5 και 20mg/m³.

Πίνακας 1-10: Αναλογία μεταξύ ωριαίας και οκτάωρης μέσης τιμής, από την βάση δεδομένων του APIS (1989-1995), με μέγιστη τιμή μέσης τιμής οκτάωρων μεταξύ 5 και 20mg/m³.

Παράμετροι	Αναλογία μεταξύ ωριαίων και οκτάωρων μέσων τιμών			
	Αριθμητικός μέσος	Γεωμετρικός μέσος	90 ⁰ -εκατοστημόριο της αναλογίας	Μέγιστη τιμή αναλογίας
Μέγιστη τιμή	1.60	1.51	2.10	3.3
Δεύτερη μέγιστη τιμή	1.60	1.55	1.99	3.3
98 ⁰ -εκατοστημόριο	1.15	1.15	1.25	1.4

Επομένως αν οι τιμές-στόχοι της ΠΟΥ εκφραστούν σαν οριακές τιμές περιοχών των μεγίστων τιμών, τότε οι οκτάωρες μετρήσεις δεν θα είναι απολύτως καλυπτόμενες από τις υπερβάσεις των ωριαίων μέσων τιμών. Για ποσοστά εκατοστημορίων διάφορα του μέγιστου, είναι λιγότερο πιθανό ότι η τιμή της αναλογίας να υπερβεί την τιμή 3. Η δεύτερη μέγιστη της ωριαίας μέσης τιμής που βρέθηκε από την βάση δεδομένων του APIS ήταν μόνο σε μία χρονοσειρά τριπλάσια από την δεύτερη μέγιστη της οκτάωρης μέσης τιμής και όλα τα 98⁰-εκατοστημόρια των ωριαίων τιμών ήταν σημαντικά χαμηλότερα από την τριπλάσια τιμή των 98⁰-εκατοστημορίων οκτάωρων τιμών. Επομένως σε αυτήν την περίπτωση οι μέσες τιμές των οκτάωρων θα είναι και οι πιο προστατευτικές για την ανθρώπινη υγεία.

Σαν συμπέρασμα θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι οκτάωρες μέσες τιμές είναι πιο προστατευτικές από τις ωριαίες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δευτερεύουσες οριακές τιμές.

1.6. Αρχές εκτίμησης των συγκεντρώσεων του CO με βάση την θυγατρική Οδηγία 2000/96/EK

Οι επιμέρους στόχοι της εκτίμησης των συγκεντρώσεων του CO στις χώρες της ΕΕ, για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, είναι:

- Ø Να προσδιοριστεί ο αριθμός και η συχνότητα των υπερβάσεων της οριακής τιμής.
- Ø Να υποστηριχθεί η διαχείριση της ποιότητας αέρα στις περιοχές όπου υπάρχουν υπερβάσεις της οριακής τιμής.
- Ø Να γίνουν διαθέσιμες οι υπάρχουσες πληροφορίες για επαρκή ενημέρωση του κοινού.

1.6.1. Καθορισμός μεθόδων εκτίμησης συγκεντρώσεων CO

Για την διάκριση των μεθόδων εκτίμησης χρησιμοποιούνται δύο τιμές κατωφλίου οι οποίες βρίσκονται κάτω από την οριακή τιμή, και ονομάζονται ανώτατο (x%) και κατώτατο (y%) όριο εκτίμησης της οριακής τιμής αντίστοιχα. Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι υπερβάσεις του ανώτατου ή κατώτατου ορίου καθορίζουν μόνο την μέθοδο εκτίμησης και δεν έχουν καμία σχέση με την διαχείριση της ποιότητας του αέρα στην συγκεκριμένη περιοχή. Στον πίνακα 1-11 φαίνονται οι μέθοδοι εκτίμησης σε κάθε μία από τις τρεις ζώνες που δημιουργούνται.

Πίνακας 1-11: Ζώνες και μέθοδοι εκτίμησης των συγκεντρώσεων του CO.

Τύπος ζώνης	Μέθοδοι εκτίμησης
Ø Ζώνη όπου η συγκέντρωση του CO: $C > x\%$ της οριακής τιμής	Υποχρεωτική μέτρηση
Ø Ζώνη όπου: $x\% > C > y\%$ της οριακής τιμής	Μέτρηση σε συνδυασμό με μαθηματικά μοντέλα και προγράμματα ειδικών μετρήσεων (καμπάνιες)
Ø Ζώνη όπου: $C < y\%$ της οριακής τιμής	Μαθηματικά μοντέλα και προκαταρκτικές μετρήσεις ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Προκαταρκτική μέτρηση, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία μετρήσεων	

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/69/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, δίδονται στον πίνακα 1-12 τα άνω και κάτω όρια εκτίμησης των συγκεντρώσεων του CO τα οποία πρέπει να τηρηθούν από τις χώρες της ΕΕ:

Πίνακας 1-12: Άνω και κάτω όρια εκτίμησης για το CO.

	Μέσος όρος οκταώρου
<i>Άνω όριο εκτίμησης</i>	70% της οριακής τιμής (7mg/m ³)
<i>Κάτω όριο εκτίμησης</i>	50% της οριακής τιμής (5mg/m ³)

Οι υπερβάσεις των άνω και κάτω ορίων εκτίμησης πρέπει να προσδιορίζονται με βάση τις συγκεντρώσεις κατά την διάρκεια των προηγούμενων πέντε ετών, εφόσον υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Υπέρβαση ορίου εκτίμησης τεκμαίρεται, εάν έχουν σημειωθεί υπερβάσεις τουλάχιστον κατά τρία από τα πέντε τελευταία έτη λαμβανόμενα κεχωρισμένα.

Εάν τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούν διάστημα μικρότερο της πενταετίας, τα κράτη μέλη μπορούν να συνδυάζουν προγράμματα μετρήσεων σύντομης διάρκειας κατά την περίοδο του έτους και σε τοποθεσίες που αποτελούν με μεγάλη πιθανότητα τυπικά παραδείγματα ανώτατων επιπέδων ρύπανσης με αποτελέσματα που λαμβάνονται από στοιχεία καταγραφής των εκπομπών και από προσομοίωση, για να προσδιορίζουν τις υπερβάσεις των άνω και κάτω ορίων εκτίμησης.

1.6.2. Περιθώριο ανοχής για το CO

Όταν τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του CO υπερβαίνουν την θεσμοθετημένη οριακή τιμή για την ποιότητα του αέρα, προβλέπεται ένα μεταβατικό στάδιο προσαρμογής σε συνδυασμό με τη λήψη κατάλληλων μέτρων και τελικό στόχο την επίτευξη της οριακής τιμής, σε καθορισμένη χρονική προθεσμία (βλ. παράγραφο 1.6.1.). Στο σχήμα 1-6 φαίνεται η συγκέντρωση του CO σε σχέση με τον χρόνο συμμόρφωσης, όπως αυτά ισχύουν στις χώρες της ΕΕ.

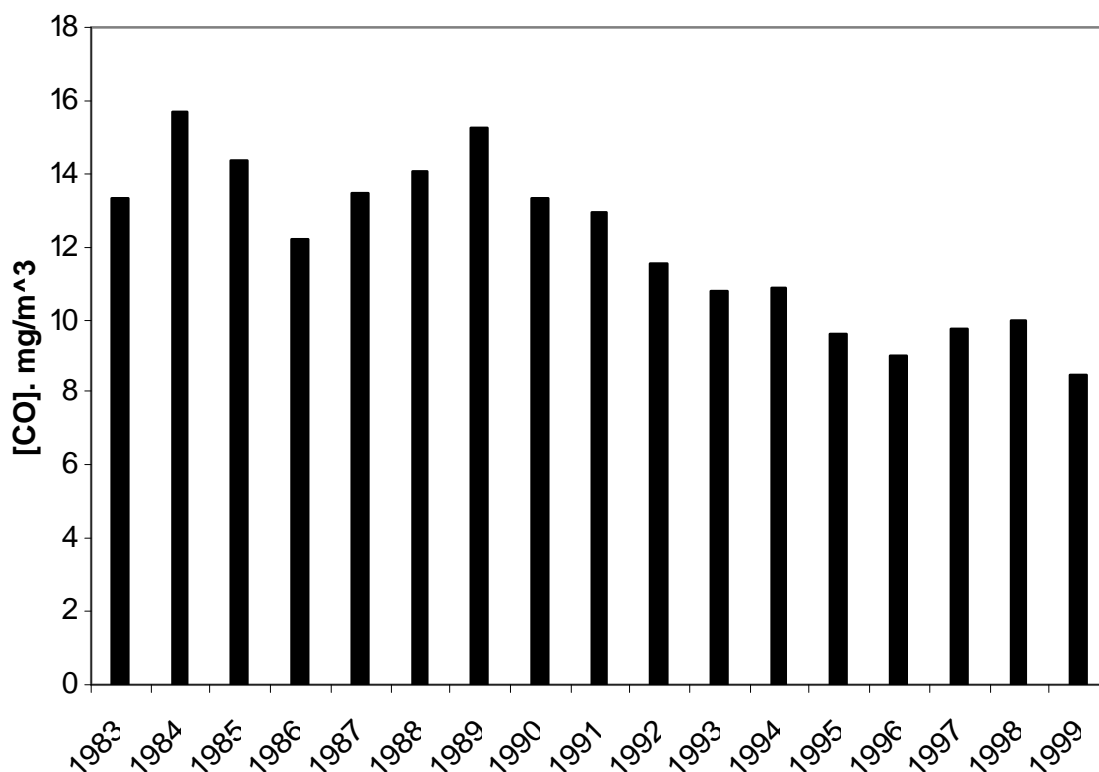
Σχήμα 1-6: Συγκέντρωση του CO σε σχέση με τον χρόνο συμμόρφωσης για τις χώρες της ΕΕ.

1.7. Η ρύπανση στην Αθήνα

1.7.1. Κύκλοι ρύπανσης του CO

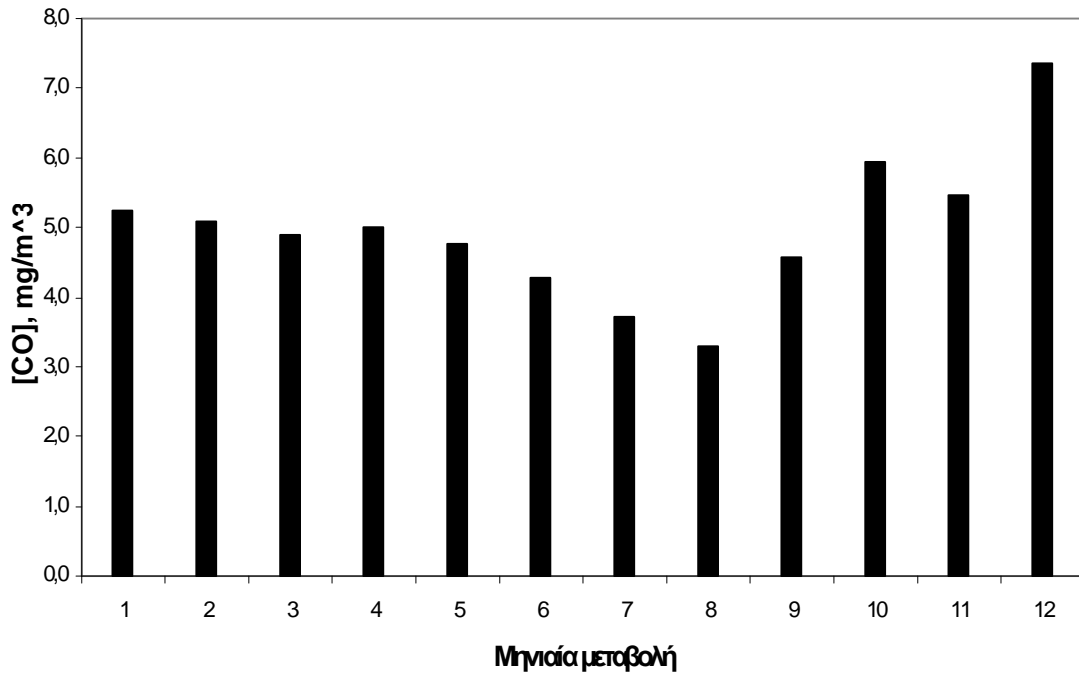
Στην περιοχή της Αθήνας λόγω της τοπογραφίας της των μετεωρολογικών συνθηκών αλλά και του αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου παρουσιάζονται πολλά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται οι διαχρονικές, μηνιαίες, ημερήσιες και ετήσιες μεταβολές των συγκεντρώσεων CO στο σταθμό Πατησίων.

Σχήμα 1-7: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών CO στο σταθμό Πατησίων.



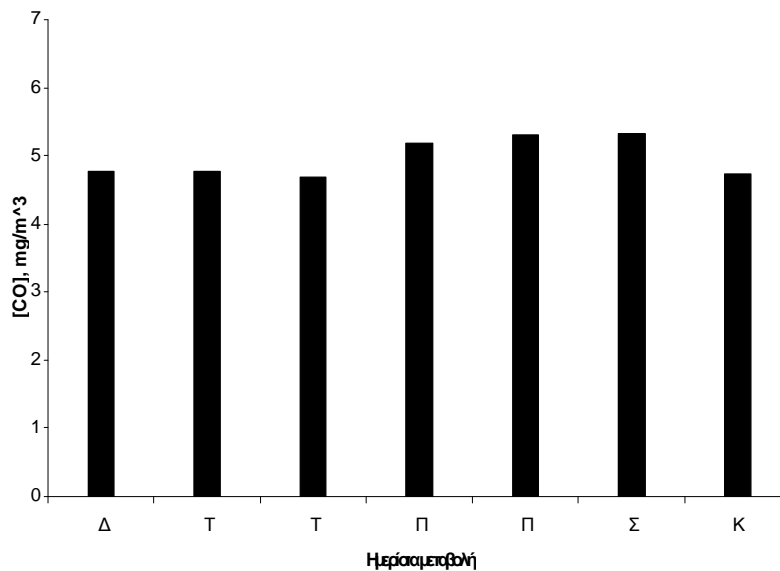
Στο σχήμα 1-7 φαίνεται μια μείωση των συγκεντρώσεων του CO από το 1990, η οποία από το έτος 1992 ως το 1996 είναι συνεχώς πτωτική ή σταθερή. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αντικατάσταση του παλαιού στόλου των οχημάτων με εκείνα που χρησιμοποιούν τριοδικό καταλύτη. Από το 1996 και έπειτα υπάρχει μια σταθεροποίηση των τιμών κυρίως λόγω της αύξησης του αριθμού των επιβατικών οχημάτων, αλλά και των διανυόμενων χιλιομέτρων.

Σχήμα 1-8: Μηνιαίος κύκλος συγκεντρώσεων CO στο σταθμό Πατησίων για το έτος 1999.



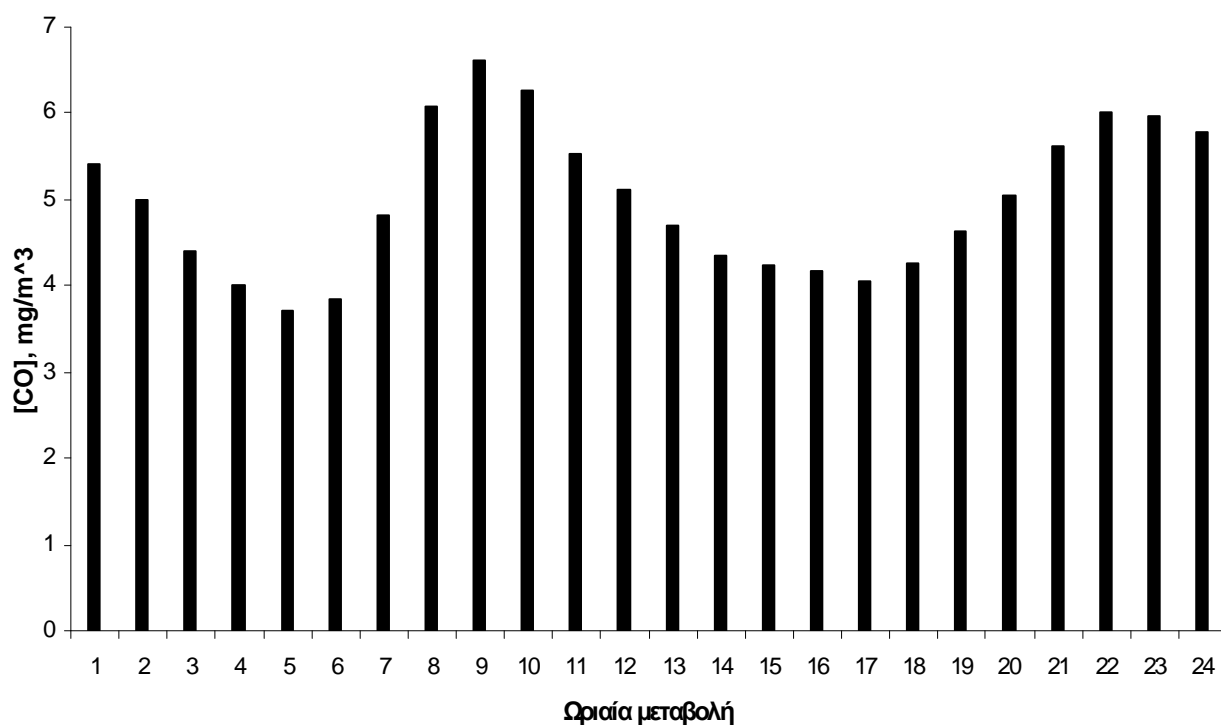
Στο σχήμα 1-8 των μηνιαίων μεταβολών για το CO είναι φανερό ότι παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές τους μήνες του χειμώνα. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες, στις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή) και στις διαφορετικές επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (συχνές χαμηλές αναστροφές).

Σχήμα 1-9: Εβδομαδιαίος κύκλος συγκεντρώσεων CO στο σταθμό Πατησίων για το έτος 1999.



Όσον αφορά την εβδομαδιαία μεταβολή οι τιμές του CO δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη διακύμανση.

Σχήμα 1-10: Ωριαίος κύκλος συγκεντρώσεων CO στο σταθμό Πατησίων για το έτος 1999.



Από το σχήμα 1-10 προκύπτει ότι οι μεγαλύτερες τιμές του CO παρουσιάζονται το πρωί (8-10) και το βράδυ (9-11). Αυτό οφείλεται στο ότι αφ'ενός μεν τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των συγκεντρώσεων του CO μετεωρολογικές συνθήκες, αφ' ετέρου δε συμπίπτουν χρονικά οι ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης και οι αιχμές κυκλοφορίας.

1.7.2. Όρια έκτακτων μέτρων

Στην περιοχή της Αθήνας χρησιμοποιούνται οι στόχοι της ΠΟΥ ($10\text{mg}/\text{m}^3$ σε οκτάωρη βάση). Το ΥΠΕΧΩΔΕ άτυπα χρησιμοποιεί τις τιμές του επόμενου πίνακα 1-13, για τον χαρακτηρισμό των επιπέδων ρύπανσης σε καθημερινή βάση.

Πίνακας 1-13: Τιμές για τον χαρακτηρισμό των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε σχέση με τις συγκεντρώσεις του CO.

Χαρακτηρισμός επιπέδων ρύπανσης	CO (οκτάωρες τιμές, σε mg/m^3)
Χαμηλά	≤ 15
Μέτρια	>15 ≤ 20
Υψηλά	>20 ≤ 25
Πολύ υψηλά	>25

Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ (τμήμα ποιότητας ατμόσφαιρας, έκθεση 1998)

Για τον περιορισμό της ρύπανσης σε περιπτώσεις που, κυρίως λόγω εξαιρετικά δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, αναμένεται σημαντική αύξηση των τιμών ρύπανσης χρησιμοποιούνται τα «όρια έκτακτων μέτρων». Τα όρια αυτά που ισχύουν στην περιοχή της Αθήνας παρουσιάζονται στον πίνακα 1-14.

Πίνακας 1-14: Όρια έκτακτων μέτρων στην περιοχή της Αθήνας.

Ρύπος	Χρονική βάση	Στάδιο προειδοποίησης	Στάδιο λήψης μέτρων A! βαθμίδας	Στάδιο λήψης μέτρων B! βαθμίδας
CO (mg/m^3)	8 ώρες	20	25	35

Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ (τμήμα ποιότητας ατμόσφαιρας, έκθεση 1998)

Τα διάφορα στάδια κηρύσσονται όταν οι μετρούμενες τιμές υπερβούν η προσεγγίσουν τις τιμές του πίνακα και ταυτόχρονα υπάρχει πρόβλεψη για τις συνθήκες που ευνοούν τη διατήρηση ή αύξηση των τιμών ρύπανσης για τις επόμενες η την επόμενη ημέρα.

1.7.3. Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στη ρύπανση

Οι παράμετροι της μετεωρολογίας που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι:

- § Η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου
- § Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας
- § Ειδικά για τους φωτοχημικούς ρύπους η ηλιοφάνεια

Άλλοι παράμετροι που συντελούν σημαντικά στη διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι: η βροχόπτωση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και έμμεσα η θερμοκρασία.

Ο αερισμός σε πυκνοκατοικημένες πόλεις μειώνεται λόγω των υψηλών κτιρίων κάτι που συντελεί στην αύξηση και διατήρηση της συγκέντρωσης του CO στις περιοχές αυτές. Ακόμα, τα επίπεδα του CO είναι συνήθως μεγαλύτερα τον χειμώνα, εξαιτίας των κρύων μηχανών - ώσπου αυτές να φτάσουν στην επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας - των οχημάτων εκπέμποντας μεγαλύτερες ποσότητες CO, κάτι που συνδέεται και με την καλή λειτουργία του τριοδικού καταλύτη, ο οποίος πρέπει να φτάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο θερμοκρασίας ώστε να δεσμεύσει όλους τους δημιουργούμενους ρύπους. Τέλος, η σταθερότητα των μετεωρολογικών συνθηκών είναι μεγαλύτερη τον χειμώνα κάτι που συνεπάγεται και μεγαλύτερη σταθερότητα των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Το σχήμα 1-11 μας δίνει τις συχνότητες εμφάνισης, επί τοις εκατό (%) των διευθύνσεων του ανέμου στο σταθμό Πατησίων, ενώ στο σχήμα 1-12 αποτυπώνεται η μέση ταχύτητα του ανέμου (σε m/s) στον ίδιο σταθμό για το έτος 1999. Στο σχήμα 1-13 δίνεται η μέση τιμή ρύπανσης ανά διεύθυνση ανέμου (τριαντάφυλλο ρύπανσης) στο σταθμό Πατησίων για το έτος 1999, από το οποίο προκύπτει ότι οι μικρότερες τιμές ρύπανσης παρατηρούνται με βορειοανατολικούς ανέμους που αποδίδεται:

- Ø Στην τοπογραφία της περιοχής που δυσχεραίνει τη διάχυση των αερίων μαζών λόγω της ύπαρξης ορεινών όγκων εκτός από την περίπτωση των βόρειων – βορειοανατολικών ανέμων
- Ø Στο ότι οι άνεμοι του βόρειου τομέα έχουν μεγαλύτερη μέση ταχύτητα
- Ø Στο ότι οι άνεμοι του νότιου τομέα ευνοούν σε πολλές περιπτώσεις την ανάπτυξη αναστροφών λόγω μεταφοράς θερμών αερίων μαζών από την Αφρική

Σχήμα 1-11: Συχνότητες, επί τοις εκατό (%) των διευθύνσεων του ανέμου στο σταθμό Πατησίων για το έτος 1999.

Σχήμα 1-12: Μέση ταχύτητα ανά διεύθυνση ανέμου, στο σταθμό Πατησίων για το έτος 1999.

Σχήμα 1-13: Μέσες τιμές CO για το έτος 1999 στο σταθμό Πατησίων για κάθε διεύθυνση ανέμου.

2. Μεθοδολογία παρακολούθησης (monitoring) συγκεντρώσεων CO

2.1. Μέτρηση επιπέδων CO

Οι μέθοδοι μετρήσεων του CO ακολουθούν τα εξής τρία στάδια:

- Η μέθοδος δειγματοληψίας
- Η μέθοδος μέτρησης και ανάλυσης
- Η βαθμονόμηση αυτόματων οργάνων

Οι μέθοδοι δειγματοληψίας φαίνονται στον πίνακα 2-1:

Πίνακας 2-1: Μέθοδοι δειγματοληψίας.

Μέθοδος	Περιγραφή μεθόδου	Πλεονεκτήματα
Μέθοδος στρωτής ροής	Ροή: 150 l/min, κυλινδρικός σωλήνας 15cm Αδρανή υλικά: Γυαλί, ανοξείδωτος χάλυβας, τεφλόν	Ισοκινητική δειγματοληψία. Ανεπηρέαστο δείγμα
Μέθοδος πολλαπλής τυρβώδους ροής	Αδρανή υλικά: Γυαλί, ανοξείδωτος χάλυβας, τεφλόν	Χαμηλό κόστος
Δειγματοληψία χωρίς πολλαπλή ροή	Άμεση επαφή του εισαγόμενου δείγματος με τον αναλυτή του σταθμού	Χαμηλό κόστος. Επαρκής δειγματοληψία

Στον επόμενο πίνακα 2-2 δίνονται οι μέθοδοι μέτρησης.

Πίνακας 2-2 : Μέθοδοι μετρήσεων CO.

Μέθοδος	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα
Χειροκίνητη μέθοδος		Αποτελεσματική από πλευράς κόστους. Ασυνεχείς και χρονοβόρες διαδικασίες μετρήσεων.
Μέθοδος αέριου χρωματογράφου	Το CO διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα συστατικά του αέριου δείγματος, καταλυτική μείωση του CO, μέτρηση του CH ₄	Χωρίς παρεμβολές
Μέθοδος διαχυόμενου δείγματος	Το δείγμα διαχύεται πάνω σε απορροφητή και στη συνέχεια φωτοχημική ή ηλεκτροχημική ανίχνευση.	Αποτελεσματική από πλευρά κόστους. Πιθανές παρεμβολές. Ολοκλήρωση μετρήσεων μετά από πολλές μέρες.
Αυτοματοποιημένες μέθοδοι		Συνεχείς, πραγματικού χρόνου μετρήσεις. Απαιτεί συχνή βαθμονόμηση και συντήρηση οργάνων.
Μέθοδος υπέρυθρης φασματομετρίας χωρίς διασπορά (NDIR)	Μετρήσεις με υπέρυθρη απορρόφηση	Ευαίσθητη. Σταθερή. Ακριβής.
Μέθοδος HgO	Αντίδραση του CO με ζεστό HgO και ακολουθεί φωτομετρικός προσδιορισμός των ατμών του Hg	Χρήση υδραργύρου. Πιθανές παρεμβολές.

Τέλος, ο πίνακας 2-3 παρουσιάζει τις υπάρχουσες μεθόδους βαθμονόμησης των αυτόματων οργάνων. Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των οργάνων και την ρύθμισή τους. Η βαθμονόμηση βασίζεται στην διαβίβαση μέσω του οργάνου, αερίου με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου. Η παρασκευή αυτή του πρότυπου αερίου γίνεται με ειδική συσκευή που συνδέεται αφενός με μια πηγή «καθαρού» αέρα και αφετέρου με έναν κύλινδρο που περιέχει το ανάλογο αέριο σε άζωτο ή άλλου μίγματος αερίου σε γνωστή συγκέντρωση.

Ο «καθαρός» αέρας, δηλαδή ο αέρας απαλλαγμένος από τους κύριους ρύπους, παράγεται διαβιβάζοντας αέρα μέσα από ειδικά φίλτρα συγκράτησης των ρύπων. Μεταβάλλοντας την παροχή του «καθαρού» αέρα και του αερίου της φιάλης είναι δυνατή η επίτευξη μιγμάτων αερίων που περιέχουν τον αντίστοιχο ρύπο σε γνωστές συγκεντρώσεις. Η διαδικασία αυτή της βαθμονόμησης γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα ή μετά την συντήρηση ή επισκευή ενός αναλυτή.

Πίνακας 2-3: Μέθοδοι βαθμονόμησης αυτόματων οργάνων.

Μέθοδος	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα
Στατική ογκομετρική μέθοδος	Γνωστός όγκος CO προστίθεται σε γνωστό όγκο συμπληρωματικού αερίου, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας	Ικανοποιητική ακρίβεια βαθμονόμησης. Ικανοποιητική από πλευράς κόστους (μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους ρύπους). Δύσκολος χειρισμός. Απαιτείται έλεγχος της καθαρότητας του CO.
Σταθμική μέθοδος	Ζύγιση βάρους θαλάμου πριν και μετά την εισαγωγή συγκεκριμένης ποσότητας CO και έπειτα συμπλήρωση με αέρα ή N ₂ και αύξηση της πίεσης	Εύκολος χειρισμός. Ικανοποιητική ακρίβεια για μεγάλης συγκέντρωσης μείγματα. Κύλινδροι αερίων εύκολα προσβάσιμοι στο εμπόριο.
Δυναμική ογκομετρική μέθοδος	Εισαγωγή αερίου γνωστής παροχής σε συμπληρωματικό αέριο σταθερής παροχής. Το αέριο είναι συνήθως μίγμα υψηλής συγκέντρωσης, που έχει ληφθεί από την στατική μέθοδο.	Εύκολος χειρισμός. Ικανοποιητική ακρίβεια.

2.2. Σταθμοί μέτρησης ποιότητας αέρα

2.2.1. Χωροθέτηση σταθμών μέτρησης CO

Ο σχεδιασμός για την χωροθέτηση ενός δικτύου σταθμών μέτρησης πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Καθορισμός στόχων παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας.
2. Εξειδίκευση κριτηρίων για τον καθορισμό της θέσης και της πυκνότητας των σταθμών σε μια ευρεία αστική περιοχή.
3. Ακριβής προσδιορισμός του τύπου σταθμών (σταθμοί κατοικίας, εμπορικού και διοικητικού κέντρου, κυκλοφορίας, αστικού υποβάθρου κλπ.).
4. Προσδιορισμός θέσης σταθμών μέτρησης CO σε επίπεδο μικροκλίμακας.

2.2.2. Στόχοι παρακολούθησης ποιότητας αέρα

Οι στόχοι παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι οι ακόλουθοι:

- Τήρηση ορίων ποιότητας αέρα. Το όριο ποιότητας για το CO που καθορίζεται από τις οδηγίες της ΕΕ είναι 10 mg/cm^3 (μέγιστη ημερήσια οκτάωρη μέση τιμή) και ορίζεται ως «οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου».
- Εκτίμηση της έκθεσης πληθυσμού, τόσο ως προς τον χρόνο αλλά και ως προς την συγκέντρωση σε διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους.
- Παρακολούθηση τάσεων ρύπανσης μέσω αναλυτικών πινάκων με τις διαχρονικές μεταβολές των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης απ' όλους τους ρύπους και όλους τους σταθμούς μέτρησης, οι οποίοι παρ' όλες τις διάφορες αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών από χρόνο σε χρόνο, η διαχρονική τάση μπορεί να είναι πτωτική ή ανοδική. Ωστόσο, οι διαχρονικές μεταβολές μπορεί να μην περιλαμβάνουν μόνο μέσες ετήσιες τιμές ρύπανσης αλλά και εποχιακές, μηνιαίες και ωριαίες για την εξαγωγή των τάσεων ρύπανσης για κάθε περίπτωση.
- Πρόβλεψη επεισοδίων ρύπανσης.
- Εκτίμηση της ρύπανσης υποβάθρου σε περιφερειακή κλίμακα.
- Υποστήριξη μέτρων αντιρύπανσης.
- Προστασία οικοσυστημάτων, μνημείων, γεωργίας και των οικονομικών δραστηριοτήτων.

2.2.3. Κριτήρια σχεδιασμού χωροθέτησης σταθμών μέτρησης

Υπάρχουν 3 βασικά κριτήρια σχεδιασμού χωροθέτησης σταθμών μέτρησης που ισχύουν για όλους τους ρύπους και είναι:

Το **κριτήριο της αντιπροσωπευτικότητας** είναι πολύ σημαντικό για παρόμοιες μικρής κλίμακας περιπτώσεις ρύπανσης, όπως είναι δρόμοι ή μικρές βιομηχανίες των οποίων οι ρύποι δεν μπορούν να εκτιμηθούν από ανεξάρτητα δίκτυα μέτρησης και επεξεργασίας δεδομένων. Φυσικά το κριτήριο αυτό εξαρτάται από το είδος του μετρούμενου ρύπου:

- Ρύποι με συγκέντρωση μικρής χωρικής διαφοροποίησης όπου ένας σταθμός μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ευρεία περιοχή (10-20 ή και 50 km^2).
- Ρύποι με συγκέντρωση σημαντικής χωρικής διαφοροποίησης όπως για παράδειγμα το CO, όπου ένας σταθμός αντιπροσωπεύει περιοχές με παρόμοιο δυναμικό υπέρβασης των προτύπων ποιότητας αέρα.

Μέσα από το κριτήριο της αντιπροσωπευτικότητας εξάγονται συμπεράσματα για την πυκνότητα των σταθμών μέτρησης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Μετρούμενες συγκεντρώσεις κοντά σε οδική αρτηρία μεγάλης κυκλοφορίας μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές και για άλλες οδικές αρτηρίες παρόμοιου τύπου.

Σύμφωνα με το **κριτήριο έκθεσης**, οι θέσεις υψηλής συγκέντρωσης και ελάχιστης διάρκειας έκθεσης πρέπει να εντοπισθούν. Οι σταθμοί μέτρησης σε επίπεδο μικροκλίμακας δεν πρέπει να τοποθετηθούν σε θέσεις καταγραφής μέγιστων συγκεντρώσεων. Εξ'άλλου, πρέπει να τοποθετηθούν νέοι τύποι σταθμών κοντά σε εμπορικά κέντρα, οικισμούς, πεζόδρομους, πάρκα.

Το **κριτήριο χρόνου αναφοράς** οριακών τιμών απαιτεί την τοποθέτηση των σταθμών μέτρησης, όταν αναφέρονται ρύποι για οριακές τιμές με βραχύ χρόνο αναφοράς (10'-15' για το SO₂), κοντά σε ισχυρές σημειακές πηγές.

Για ωριαίες οριακές τιμές, οι σταθμοί πρέπει να βρίσκονται σε άμεση γειτονιά με σημαντικές πηγές (π.χ. πεζοδρόμιο μεγάλης οδικής αρτηρίας), ενώ για 24ωρες οριακές τιμές οι σταθμοί θεωρούνται αντιπροσωπευτικοί μιας ευρύτερης περιοχής όπως για παράδειγμα κεντρικές και προαστιακές περιοχές κατοικιών.

Τα **άλλα κριτήρια σχεδιασμού** πρέπει να αφορούν το είδος των πηγών εκπομπής (κινητές, σημειακές), αλλά και την σύγχρονη παρακολούθηση των ρύπων και την εναρμόνιση των μετρήσεων σταθμών αστικού υποβάθρου, αγροτικών περιοχών και πεζοδρομίων αρτηριών μεγάλης κυκλοφορίας. (Σημειώσεις μαθήματος «Ασφάλεια εργασίας», Α.Χαλουλάκου, 2001-2002)

2.2.4. Κριτήρια προσδιορισμού πυκνότητας σταθμών μέτρησης CO

Σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ, ο ελάχιστος αριθμός σταθμών μέτρησης CO σε σταθερά σημεία για την εκτίμηση της συμμόρφωσης με τις οριακές τιμές για την προστασία της υγείας του ανθρώπου σε ζώνες και οικισμούς από εκπομπές *διάχυτων πηγών* φαίνεται στον πίνακα 2-4.

Πίνακας 2-4: Πυκνότητα σταθμών μέτρησης *διάχυτων πηγών* εκπομπής CO.

Πληθυσμός οικισμού ή ζώνης (σε χιλιάδες)	Εάν οι συγκεντρώσεις υπερβαίνουν το άνω όριο εκτίμησης ⁽¹⁾	Εάν οι μέγιστες συγκεντρώσεις περικλείονται μεταξύ άνω και κάτω ορίου εκτίμησης
0-249	1	1
250-499	2	1
500-749	2	1
750-999	3	1
1000-1499	4	2
1500-1999	5	2
2000-2749	6	3
2750-3749	7	3
3750-4749	8	4
4750-5999	9	4
≥ 6000	10	5

⁽¹⁾ Να περιλαμβάνεται τουλάχιστον ένας σταθμός μέτρησης της αστικής ρύπανσης και ένας σταθμός μέτρησης της κυκλοφοριακής ρύπανσης, εφόσον δεν αυξάνεται ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας

Για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων του CO κοντά σε **σημειακές πηγές**, ο αριθμός των σταθμών μέτρησης θα πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα των εκπομπών, τα πιθανά σχήματα κατανομής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την πιθανή έκθεση του πληθυσμού.

2.2.5. Καθορισμός τύπου σταθμών μέτρησης CO

Ο τύπος ενός σταθμού μέτρησης ποικίλει ανάλογα με τον μετρούμενο ρύπο την θέση του, τους στόχους μέτρησης, το είδος της περιοχής αλλά και τις πηγές ρύπων. Ο τύπος των σταθμών για την μέτρηση του CO φαίνεται στον πίνακα 2-5.

Πίνακας 2-5: Καθορισμός τύπου σταθμών μέτρησης.

ΤΥΠΟΣ ΘΕΣΗΣ	ΣΤΟΧΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΩΝ
Α. Αστικό υπόβαθρο Εμπορικό/Διοικητικό Κέντρο	<ul style="list-style-type: none"> • Εκτίμηση έκθεσης μεγάλου τμήματος πληθυσμού • Εκτίμηση τάσεων 	Ζώνη στο Εμπορικό/ Διοικητικό κέντρο	<ul style="list-style-type: none"> • Κεντρική θέρμανση • Δρόμοι μικρής κυκλοφορίας • Εμπορική δραστηριότητα
Β. Δρόμοι τύπου Canyon	<ul style="list-style-type: none"> • Εκτίμηση συγκέντρωσης • Έλεγχος τήρησης προτύπων ποιότητας αέρα • Μέτρα αντιρύπανσης 	Δρόμοι υψηλής κυκλοφορίας	Τοπική κυκλοφορία

2.2.6. Καθορισμός απαιτήσεων για τοποθέτηση σε επίπεδο μικροκλίμακας

Ο σκοπός των κριτηρίων σε επίπεδο μικροκλίμακας είναι η τοποθέτηση των σταθμών μέτρησης με τέτοιο τρόπο ώστε οι μετρούμενες συγκεντρώσεις να πλησιάζουν όσο το δυνατόν το τοπικό επίπεδο που πρέπει να εκτιμηθεί. Η κύρια απαίτηση είναι η ακριβής θέση του σταθμού μέσα στην περιοχή, όπως αυτή προσδιορίστηκε από τα κριτήρια μικροκλίμακας παραπάνω και η οποία καθορίζεται από τα ακόλουθα:

- Ø Ο δειγματοληπτικός αισθητήρας εισόδου δεν θα πρέπει να τοποθετείται σε άμεση γειτνίαση με πηγές, για να αποφεύγεται η απευθείας είσοδος εκπομπών πριν αναμειχθούν με τον αέρα περιβάλλοντος.
- Ø Η έξοδος αερίων του δειγματολήπτη θα πρέπει να τοποθετείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η ανακυκλοφορία του εξερχόμενου αέρα στο στόμιο εισόδου των δειγμάτων.
- Ø Τα ρεύματα γύρω από τον δειγματοληπτικό αισθητήρα εισόδου θα πρέπει να είναι ελεύθερα χωρίς εμπόδια που να επηρεάζουν τη ροή του αέρα γύρω από το δειγματολήπτη (μερικά μέτρα από κτίρια, εξώστες, δένδρα και άλλα εμπόδια και 0.5 μέτρα τουλάχιστον από το πλησιέστερο κτίριο στην περίπτωση των σημείων δειγματοληψίας που αντιπροσωπεύουν την ποιότητα του αέρα στην οικοδομική γραμμή).
- Ø Το ύψος δειγματοληψίας (σημείο εισόδου του δείγματος) πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε 1,5 και 4 μέτρα από το έδαφος (ζώνη αναπνοής). Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρειάζονται και υψηλότερες θέσεις (8 μέτρα). Η οριζόντια θέση πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο, ώστε οι μετρήσεις να περιλαμβάνουν της μικρής

κλίμακας εξάρσεις της συγκέντρωσης του μετρούμενου ρύπου, οι οποίες θα εκτιμηθούν σε σχέση με την οριακή τιμή.

- Ø Για οδικές αρτηρίες μεγάλης κυκλοφορίας τα σημεία δειγματοληψίας πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 25 μέτρων από την άκρη μεγάλων οδικών κόμβων και σε απόσταση τουλάχιστον 4 μέτρα όσον αφορά το κέντρο της πλησιέστερης λωρίδας κυκλοφορίας.
- Ø Τα στόμια εισόδου των δειγματοληπτών δεν θα πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 5 μέτρων από το κράσπεδο.

Εκτός αυτών υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όπως είναι: η προσβασιμότητα στο σταθμό, η διαθεσιμότητα σε ηλεκτρική ενέργεια αλλά και σε τηλεφωνικές γραμμές, πηγές παρεμβολής, ορατότητα του τόπου σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, ασφάλεια του κοινού και των χειριστών, χωροταξικές απαιτήσεις.

Στην περίπτωση της **μακροχωροθέτησης** οι σταθμοί μέτρησης θα πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε:

1. να παρέχουν στοιχεία για τις περιοχές μέσα σε ζώνες και οικισμούς, όπου απαντώνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στις οποίες είναι ενδεχόμενο να εκτεθεί, άμεσα ή έμμεσα, ο πληθυσμός για χρονικό διάστημα που είναι σημαντικό σε σχέση με την περίοδο αναφοράς ή/και των οριακών τιμών.
2. να παρέχουν στοιχεία για τα επίπεδα σε άλλες περιοχές μέσα στις ζώνες και στους οικισμούς, που είναι αντιπροσωπευτικά της έκθεσης ολοκλήρου του πληθυσμού.

Τα σημεία δειγματοληψίας θα πρέπει γενικά να βρίσκονται σε τέτοια θέση, ώστε να αποφεύγεται η μέτρηση σε μικροπεριβάλλον πολύ μικρής έκτασης που γειτνιάζει άμεσα με αυτά. Κατά γενικό κανόνα, τα σημεία δειγματοληψίας θα πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια θέση ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά της ποιότητας του αέρα εντός περιοχής τουλάχιστον 200 m², στην περίπτωση των σημείων που καλύπτουν την οδική κυκλοφορία και αρκετών τετραγωνικών χιλιομέτρων, στην περίπτωση των σημείων που καλύπτουν έναν αστικό χώρο. (*Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 13/12/2000*)

2.3. Παρακολούθηση (monitoring) στην περιοχή της Αθήνας

2.3.1. Το δίκτυο του ΥΠΕΧΩΔΕ

Το 1998 λειτούργησαν 10 αυτόματοι σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Εκτός από το CO, μετρήθηκαν και οι ρύποι: NO₂, NO, SO₂, PM₁₀, O₃, Pb. Οι θέσεις και ο χαρακτηρισμός των σταθμών μέτρησης παρουσιάζονται στο σχήμα 2-1 και στον πίνακα 2-6 αντίστοιχα:

Σχήμα 2-1: Χάρτης της περιοχής Αθηνών που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. (Ο σταθμός ΡΕΝΤΗ έχει τεθεί εκτός λειτουργίας από 15/12/95, ως προς τα αυτόματα όργανα). Ο σταθμός ΛΙΟΣΙΩΝ λειτουργεί σε νέα θέση (3km βορειότερα) από το Σεπτέμβριο του 1997.

Πίνακας 2-6: Θέσεις και χαρακτηρισμός θέσεων σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

α/α	Όνομα θέσης	Χαρακτηρισμός θέσης
1	Πατησίων	Τύπου Canyon (υψηλής κυκλοφορίας)
2	Αθηνάς	Εμπορικός
3	Πειραιάς	Εμπορικός – Αστικός
4	Γεωπονική	Βιοτεχνικός
5	Ν.Σμύρνη	Κατοικίας
6	Περιστερι	Εμπορικός – Κατοικίας
7	Λιόσια	Αγροτικός – Κατοικίας
8	Μαρούσι	Κατοικίας
9	Αριστοτέλους	Εμπορικός – Αστικός
10	Λυκόβρυση	Κατοικίας

2.3.2 Μέθοδος και όργανα μέτρησης CO

Η μέθοδος μέτρησης που χρησιμοποιείται στους σταθμούς μέτρησης του CO στην Αθήνα είναι αυτή της υπέρυθρης φασματομετρίας χωρίς διασπορά (NDIR).

Η μέτρηση του CO γίνεται σε συνεχή βάση σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτόματων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλαδή ο κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής γνώση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής.

Στις μετρήσεις χρησιμοποιείται ο αναλυτής Dasibi 3008 υπέρυθρης απορρόφησης χωρίς διασπορά. Η λειτουργία του αναλυτή βασίζεται στην ικανότητα του CO να απορροφά υπέρυθρη ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, εξετάζοντας το σύνολο του υπέρυθρου φάσματος (2.5 – 1.4 μm). Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του αναλυτή παρουσιάζονται στον πίνακα 2-7.

Πίνακας 2-7: Λειτουργικά χαρακτηριστικά του αναλυτή Dasibi 3008.

Τυπικό εύρος	0-50 ppm
Ακρίβεια	± 0.1 ppm
Γραμμικότητα	± 1%
Χαμηλότερο όριο ανίχνευσης	0.1 ppm
Χρόνος καθυστέρησης	2 sec
Παροχή	1 l/ppm

2.3.3. Δεδομένα μετρήσεων

Το Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης για το CO της περιοχής Αθηνών. Τα δεδομένα των συγκεντρώσεων CO αντιστοιχούν στην περίοδο 1983-1999, από τα οποία εξήχθησαν 121 ετήσιες χρονοσειρές από 10 σταθμούς μέτρησης στην περιοχή Αθηνών.

Οι συγκεντρώσεις του CO μετρώνται συνεχώς σε όλη την διάρκεια του 24ώρου και τελικά με την βοήθεια υπολογιστή υπολογίζονται οι μέσες ωριαίες τιμές CO.

Επειδή οι χρονοσειρές είναι ελλιπείς κυρίως λόγω προβλημάτων που παρουσιάζουν τα όργανα μέτρησης, για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων εφαρμόστηκαν κάποιοι περιορισμοί οι οποίοι είναι:

- Ø Ένα **24ωρο** ωριαίων συγκεντρώσεων του CO θεωρείται έγκυρο όταν περιέχει τουλάχιστον 16 από τις 24 ωριαίες μετρήσεις, δηλαδή περίπου το 65%.
- Ø Κάθε **έτος** πρέπει να περιέχει τουλάχιστον το 65% των ημερησίων (24ώρων) συγκεντρώσεων.

Μετά την χρήση των περιορισμών των δεδομένων οι ετήσιες χρονοσειρές μειώθηκαν από 121 σε 75 με αφητηρία το έτος 1989 έως 1999. Επίσης εκτός αξιολόγησης τέθηκαν οι σταθμοί: Λιοσίων, Λυκόβρυσης και Αριστοτέλους. Οι σταθμοί αυτοί παρουσιάζουν 4, 6 και 4 έγκυρα έτη μετρήσεων αντίστοιχα. Εκτός του ότι τα λίγα έτη μετρήσεων μπορούν να "αλλοιώσουν" τα στατιστικά αποτελέσματα της συνολικής περιοχής των Αθηνών, παρουσιάζουν και πολλές ασυνέχειες που καθιστούν τα δεδομένα των σταθμών αναξιόπιστα για περαιτέρω στατιστική ανάλυση.

Από τις τιμές των ωριαίων συγκεντρώσεων υπολογίζονται οι μέσες τιμές των κυλιόμενων 8ώρων. Κάθε τέτοια 8ωρη μέση τιμή αντιστοιχεί στην ημέρα κατά την οποία λήγει, δηλαδή η πρώτη περίοδος υπολογισμού για μία ημέρα θα είναι η περίοδος από τις 17:00 της προηγούμενης ημέρας μέχρι τις 01:00 εκείνης της ημέρας. Η τελευταία περίοδος υπολογισμού οποιαδήποτε ημέρας θα είναι η περίοδος από τις 16:00 έως τις 24:00 της ημέρας αυτής. Σύμφωνα με τα παραπάνω υπολογίστηκαν τα κυλιόμενα 8ωρα για όλα τα έτη και για όλους τους σταθμούς.

2.3.4. Βασικές στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης

Συντελεστής συσχέτισης

Πολύ συχνά στην πράξη παρουσιάζονται προβλήματα όπου εμφανίζονται δύο ή περισσότερες τυχαίες μεταβλητές. Επίσης συχνά παρουσιάζεται η ανάγκη προσδιορισμού τυχόν αλληλεξαρτήσεων μεταξύ τους έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη ορισμένων χαρακτηριστικών όταν είναι γνωστά τα υπόλοιπα.

Δύο μεγέθη που δίνουν το βαθμό συσχέτισης μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών είναι η **συνδιακύμανση** και ο **συντελεστής συσχέτισης**, τα οποία υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$Cov(X, Y) = \sum_{i=1}^k (x_i - E(X)) \cdot (y_i - E(Y)) \cdot P(x_i, y_i)$$

$$Corr(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{S_X \cdot S_Y}$$

όπου με $P(x_i, y_i)$ συμβολίζεται η πιθανότητα οι μεταβλητές X και Y να έχουν τιμές x_i και y_i αντίστοιχα και ονομάζεται από κοινού πιθανότητα.

Αν και υπολογίζονται διαφορετικά, η ερμηνεία των μεγεθών αυτών είναι ίδια με αυτή των αντίστοιχων μεγεθών που υπολογίζονται από μετρήσεις μεταβλητών. Ο συντελεστής συσχέτισης μπορεί να πάρει τιμές μεταξύ -1 και 1. Τιμές κοντά στα άκρα αυτά, υποδηλώνουν ισχυρή γραμμική εξάρτηση των δύο τυχαίων μεταβλητών. Θετικές τιμές υποδηλώνουν θετική εξάρτηση (αύξηση της μιας μεταβλητής προκαλεί

αύξηση της άλλης), ενώ το αντίθετο συμβαίνει για αρνητικές τιμές (Αραμπατζής 2000).

Τυπική απόκλιση

Στην αναζήτηση ενός μέτρου για το πόσο οι δυνατές τιμές μιας τυχαίας μεταβλητής x είναι διασπαρμένες γύρω από τη μέση της τιμή χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$STDEV = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

Συγκέντρωση υποβάθρου

Η συγκέντρωση υποβάθρου υπολογίζεται επιλέγοντας την ελάχιστη από τις ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις των χρονοσειρών οι οποίες βασίζονται στην ελάχιστη ημερήσια συγκέντρωση που παρατηρήθηκε σε κάθε σταθμό μέτρησης.

Η συγκέντρωση υποβάθρου για το CO και το NO₂ ήταν 0,16mg/m³ και 29μg/m³ αντίστοιχα.

3. Αποτελέσματα και συζήτηση αποτελεσμάτων

3.1. Χρονικές διακυμάνσεις της μέσης ημερήσιας τιμής των ωριαίων συγκεντρώσεων CO στην ατμόσφαιρα

Οι γραφικές παραστάσεις των διαχρονικών μεταβολών των ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης του CO και ο αριθμός των υπερβάσεων για κάθε ένα από τους 7 σταθμούς μέτρησης, δίνονται στα σχήματα 3-1 έως 3-7 που ακολουθούν. Από τα σχήματα αυτά διαπιστώνουμε ότι παρ' όλες τις αυξομειώσεις που παρατηρούνται από χρόνο σε χρόνο η διαχρονική τάση εξέλιξης είναι γενικά πτωτική. Στα επόμενα σχήματα απεικονίζεται για όλους τους σταθμούς μέτρησης η γραμμική τάση εξέλιξης των συγκεντρώσεων CO. Ως όριο ποιότητας ωριαίας συγκέντρωσης έχει επιλεγεί το όριο των 23 mg/m³ που ισχύει στην πολιτεία της Καλιφόρνιας των Η.Π.Α.

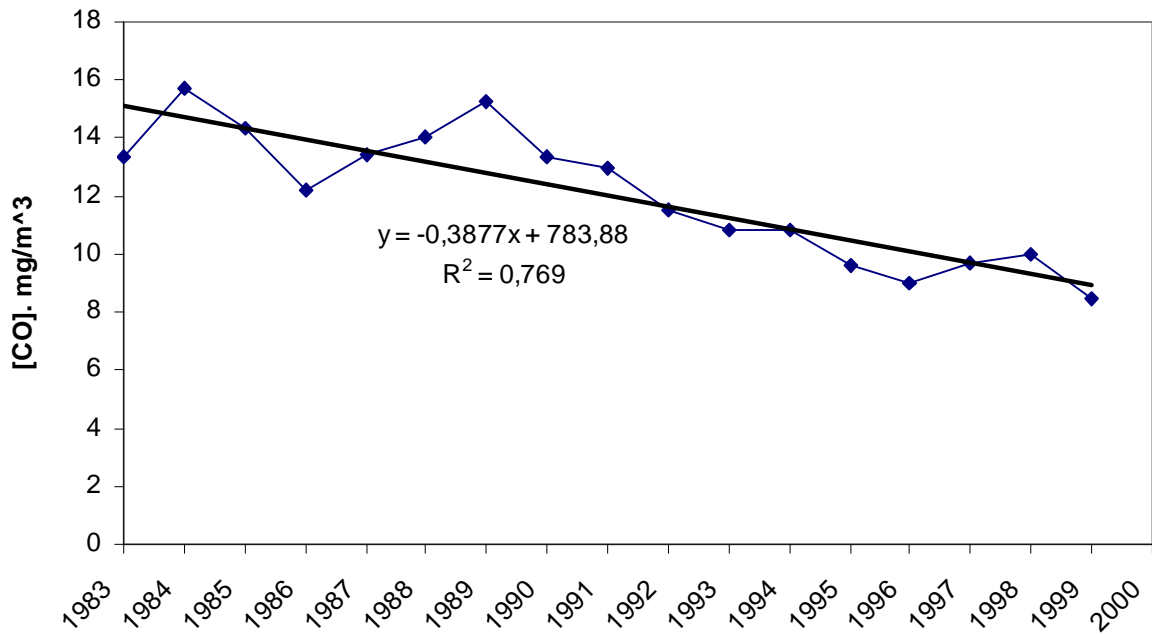
Από τους 10 σταθμούς μέτρησης οι τέσσερις – Ν.Σμύρνη, Λυκόβρυση, Γεωπονική, Λιοσίων – παρουσιάζουν γραμμική τάση αύξησης πολύ μικρής κλίσης. Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι τα δεδομένα των σταθμών μέτρησης της Λυκόβρυσης της Αριστοτέλους και των Λιοσίων αντιπροσωπεύουν χρονοσειρές που αναφέρονται σε λίγα έτη μετρήσεων, και κατά συνέπεια δεν μπορούν να δώσουν μια ξεκάθαρη εικόνα γραμμικής τάσης για τις περιοχές στις οποίες αναφέρονται και για αυτό απαλείφθηκαν από την στατιστική επεξεργασία.

Η πτωτική ή σταθεροποιητική τάση που αναφέρεται παραπάνω πρέπει να αποδοθεί στους εξής λόγους:

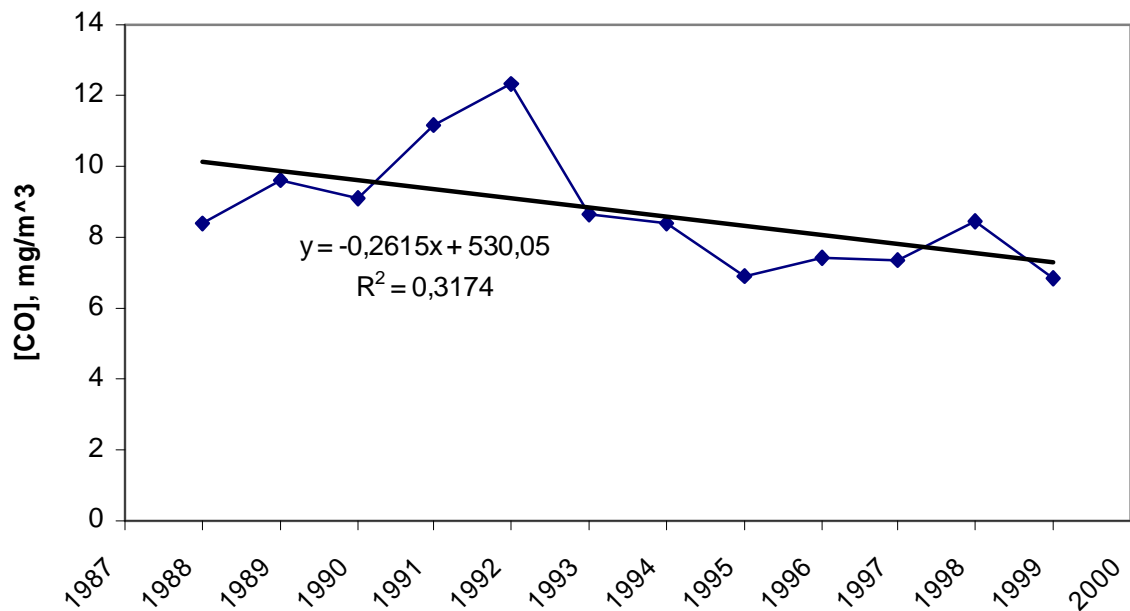
- Ø Αντικατάσταση του στόλου των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων με νέα, καινούργιας τεχνολογίας. (τριοδικός καταλύτης)
- Ø Εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (ΚΕΚ).
- Ø Μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές.
- Ø Χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές.

Η γενικά πτωτική τάση ή τάση σταθεροποίησης των τιμών του CO έχει ιδιαίτερη σημασία δεδομένου ότι διαχρονικά υπάρχει αύξηση των ρυπογόνων δραστηριοτήτων της πόλης.

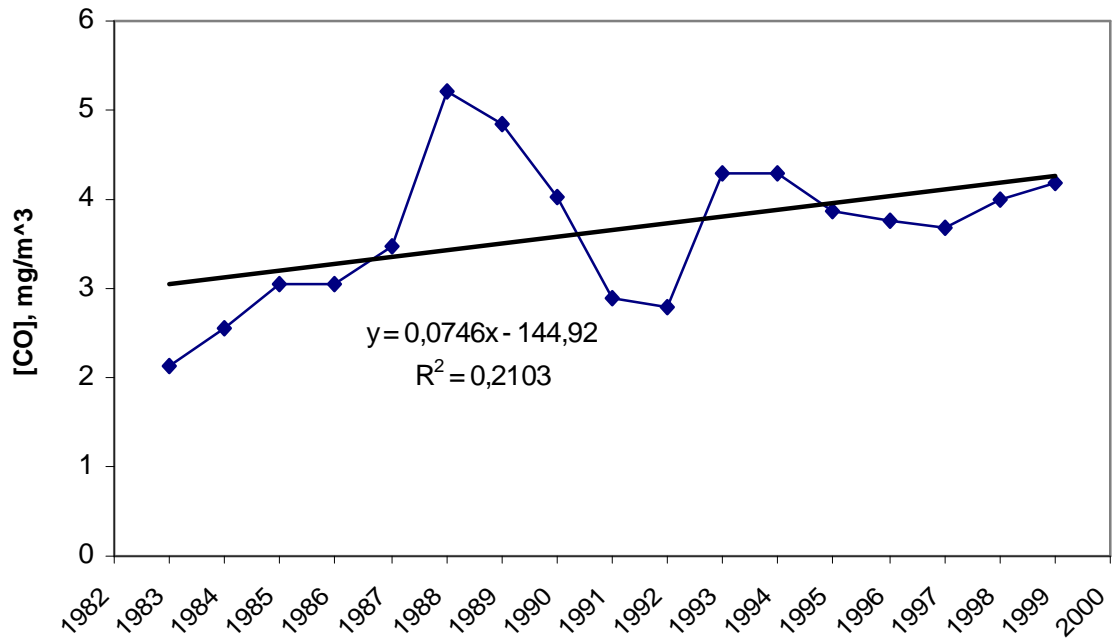
Σχήμα 3-1: Διαχρονική μεταβολή και γραμμική τάση των μέσων ημερήσιων τιμών στο σταθμό Πατησίων, σε ετήσια βάση.



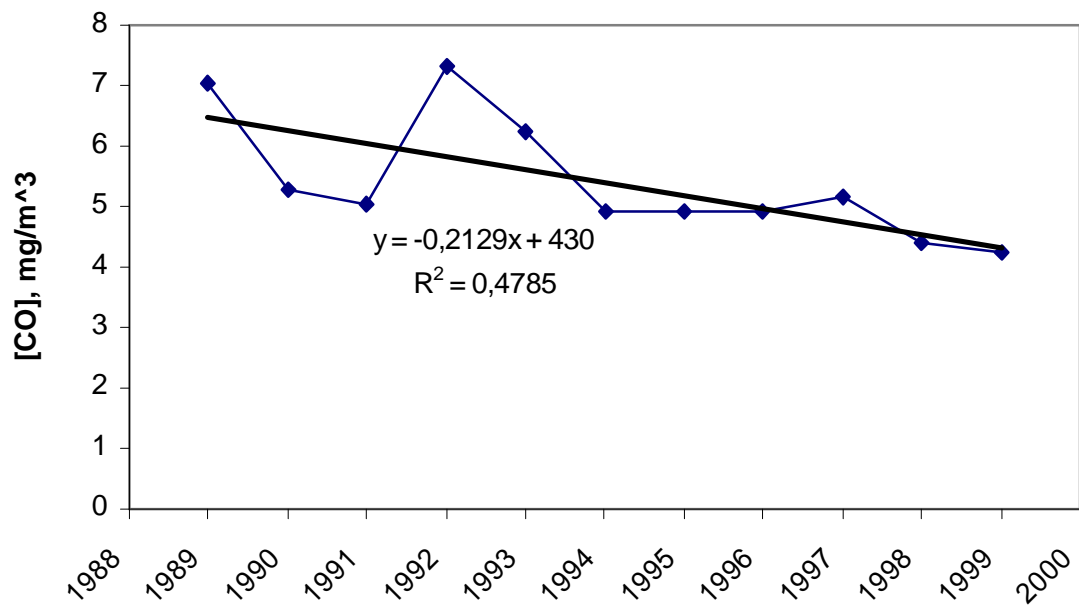
Σχήμα 3-2: Διαχρονική μεταβολή και γραμμική τάση των μέσων ημερήσιων τιμών στο σταθμό Αθηνάς, σε ετήσια βάση.



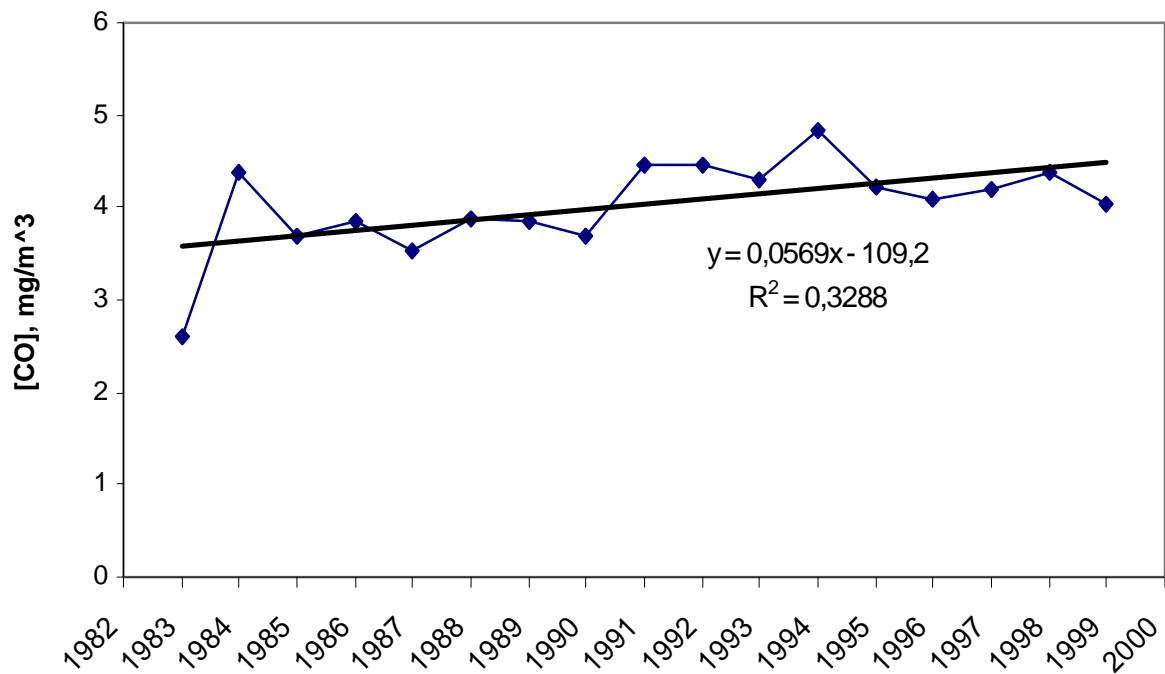
Σχήμα 3-3: Διαχρονική μεταβολή και γραμμική τάση των μέσων ημερήσιων τιμών στο σταθμό Γεωπονικής, σε ετήσια βάση.



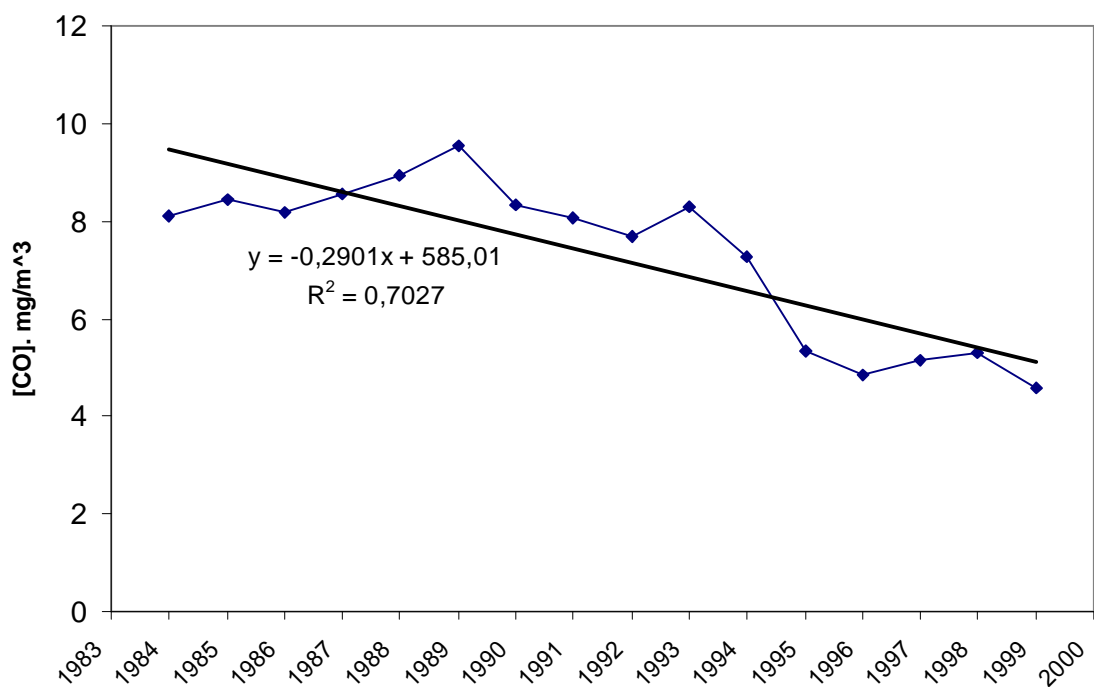
Σχήμα 3-4: Διαχρονική μεταβολή και γραμμική τάση των μέσων ημερήσιων τιμών στο σταθμό Αμαρουσίου, σε ετήσια βάση.



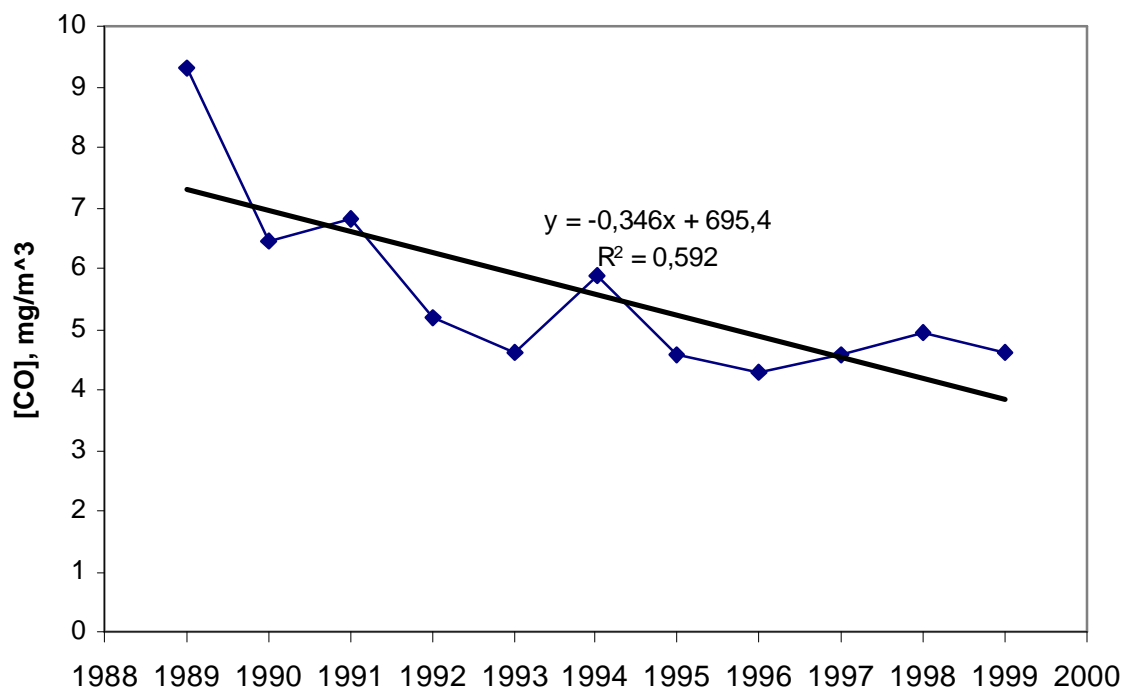
Σχήμα 3-5: Διαχρονική μεταβολή και γραμμική τάση των μέσων ημερήσιων τιμών στο σταθμό Ν.Σμύρνης, σε ετήσια βάση.



Σχήμα 3-6: Διαχρονική μεταβολή και γραμμική τάση των μέσων ημερήσιων τιμών στο σταθμό Πειραιά, σε ετήσια βάση.



Σχήμα 3-7: Διαχρονική μεταβολή και γραμμική τάση των μέσων ημερήσιων τιμών στο σταθμό Περιστερίου, σε ετήσια βάση.



Από τα παραπάνω σχήματα διαφαίνονται τα εξής για κάθε έναν από τους σταθμούς μέτρησης:

- Ø Ο σταθμός *Πατησίων* παρουσιάζει καθαρή πτωτική τάση, ενώ οι τιμές των συγκεντρώσεων δείχνουν να σταθεροποιούνται μετά το έτος 1995.
- Ø Ο σταθμός *Αθηνάς* παρουσιάζει ελαφρά πτωτική τάση και είναι φανερό η μείωση των συγκεντρώσεων CO μετά το έτος 1992, όπου άρχισε και η σταδιακή αντικατάσταση του παλαιού στόλου των οχημάτων με εκείνα που χρησιμοποιούν τριοδικό καταλύτη.
- Ø Ο σταθμός *Ν.Σμύρνης* παρουσιάζει καθαρή ανοδική τάση που απαιτεί παρακολούθηση.
- Ø Ο σταθμός *Πειραιά* εμφανίζει σημαντική πτωτική τάση και οι τιμές των συγκεντρώσεων CO στην περιοχή παρουσιάζουν σημαντική μείωση από το έτος 1993.
- Ø Στον σταθμό *Γεωπονικής* απεικονίζεται μια ελαφρά ανοδική τάση, ενώ το έτος 1988 παρουσιάζεται με πολύ μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων CO απ' ό,τι τα υπόλοιπα έτη, γεγονός που είναι δυνατόν να οφείλεται σε επεισόδια ρύπανσης που παρατηρήθηκαν και στους υπόλοιπους σταθμούς αλλά με μικρότερη ένταση .
- Ø Ο σταθμός *Αμαρουσίου* παρουσιάζει μια σημαντική πτωτική τάση, ενώ οι τιμές των συγκεντρώσεων παρουσιάζουν και εδώ μείωση μετά το έτος 1992 (Αξίζει να μελετηθούν οι συγκεντρώσεις CO μετά το 2001: Κατασκευή Αττικής οδού).
- Ø Τέλος, ο σταθμός *Περιστερίου* παρουσιάζει και αυτός σημαντική πτωτική τάση καθόλη την διάρκεια της λειτουργίας του εκτός από κάποιες μικροαυξομειώσεις.

3.2. Ημερήσιες μέσες τιμές όλης της περιοχής, σε ετήσια βάση (ωριαίες συγκεντρώσεις)

Ο πίνακας 3-2 παρουσιάζει τις μέσες ημερήσιες τιμές των ωριαίων συγκεντρώσεων για όλους τους σταθμούς μέτρησης του λεκανοπεδίου με πληρότητα μεγαλύτερη από 65 % και για τα έτη μέτρησης 1984 έως 1999. Στον πίνακα τα κενά διαστήματα αντιπροσωπεύουν τα απορριπτέα έτη για κάθε σταθμό μέτρησης. Αν για κάθε έτος υπολογιστεί η μέση τιμή όλων των σταθμών μέτρησης, τότε προκύπτει η ημερήσια μέση τιμή όλης της περιοχής που αφορά ωριαίες συγκεντρώσεις μέτρησης που απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα 3-1.

Πίνακας 3-1: Ημερήσιες μέσες τιμές των ωριαίων συγκεντρώσεων CO στην περιοχή της Αθήνας, σε ετήσια βάση.

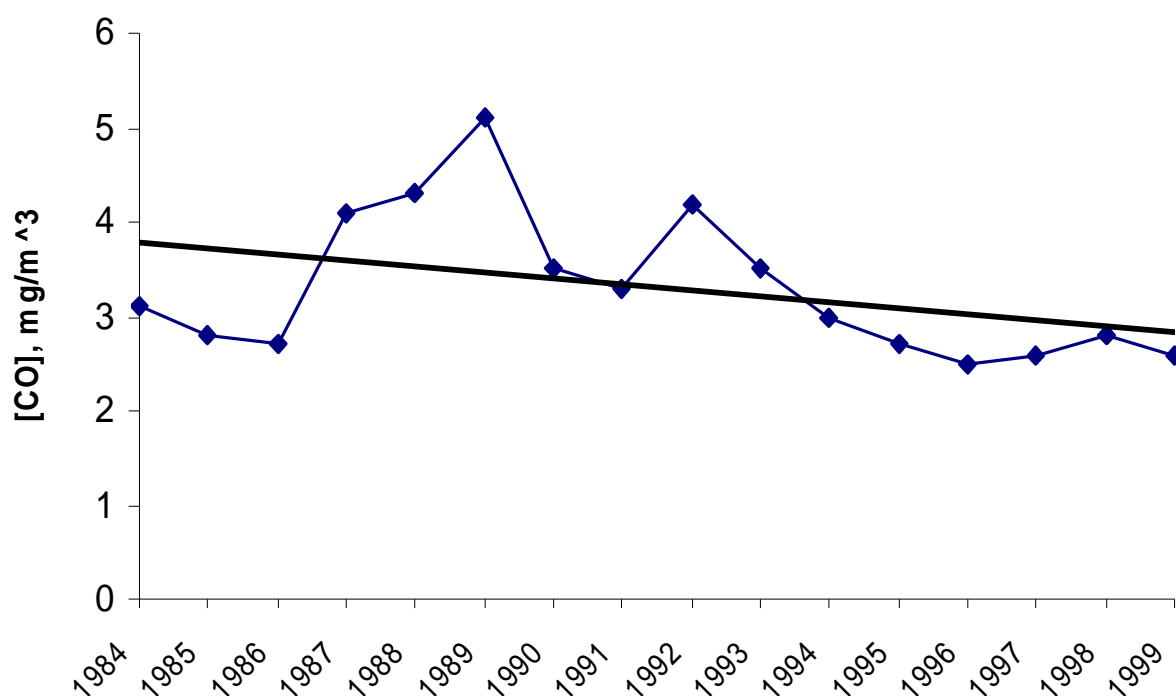
Ημερήσιες μέσες τιμές στην Αθήνα (mg/m³)	
1984	3,1
1985	2,8
1986	2,7
1987	4,1
1988	4,3
1989	5,4
1990	3,5
1991	3,3
1992	4,2
1993	3,5
1994	3,0
1995	2,7
1996	2,5
1997	2,6
1998	2,8
1999	2,6

Πίνακας 3-2: Μέσες τιμές ωριαίων συγκεντρώσεων για όλους τους σταθμούς μέτρησης με πληρότητα μεγαλύτερη από 65 %.

Μέση τιμή των ωριαίων συγκεντρώσεων										
	Πατησίων	Αριστοτέλους	Αθηνάς	Γεωπονική	Λιοσίων	Λυκόβρυση	Μαρούσι	Πειραιάς	Περιστέρι	Ν.Σμύρνη
1984	8,8			1,2	1,3		1,7			
1985	7,6			1,3	1,1		1,2			
1986	5,0			1,1	1,1		0,9	4,4		
1987	6,7			1,3				4,3		
1988	7,4		5,9	1,9				4,7		1,7
1989	8,4		6,7					4,5		1,9
1990	6,9		5,0	1,5			1,7	4,0	2,8	1,7
1991	6,7			1,4			1,7	4,0	3,8	1,9
1992	5,5		8,8				3,4	3,3	2,6	2,0
1993	5,2		5,6				2,4	4,4	1,7	1,9
1994	5,4	3,8	5,4	1,9		1,1	1,6	3,5	2,7	2,0
1995	5,1	3,6	4,5	1,6		1,3	1,6	2,5	2,0	2,1
1996	4,8	2,6	5,1	1,6		1,1	1,5	2,3	1,7	1,8
1997	5,4	2,1	4,9	1,5		1,1		2,3	2,0	1,7
1998	5,6	2,3	5,8	1,7		1,3	2,0	2,4		1,8
1999	4,0	2,4	4,7	1,7		1,5	1,8	2,3	2,0	1,7

Από τον πίνακα 3-1 προκύπτει το σχήμα 3-8 της διαχρονικής εξέλιξης των μέσων ημερήσιων τιμών όλης της περιοχής. Επίσης παρουσιάζεται γραφικά η τάση εξέλιξης των τιμών και η οποία είναι ελαφρώς καθοδική. Έτσι αυτά που παρουσιάστηκαν ξεχωριστά για κάθε έναν σταθμό στην προηγούμενη παράγραφο ισχύουν και για όλη την περιοχή της Αθήνας. Σαν συμπέρασμα θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων του CO στην Αθήνα παρουσιάζουν πτωτικές τάσεις ή τάσεις σταθεροποίησης.

Σχήμα 3-8: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των ωριαίων συγκεντρώσεων CO, για όλη την περιοχή της Αθήνας, σε ετήσια βάση.

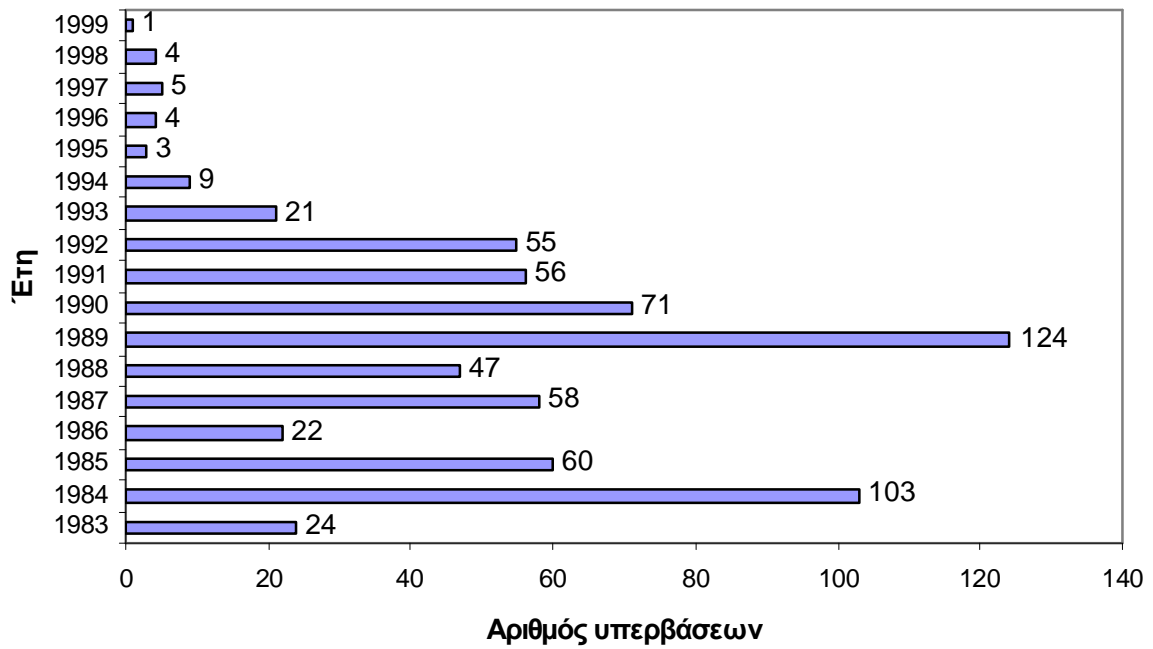


3.3. Υπερβάσεις του ωριαίου προτύπου του CO

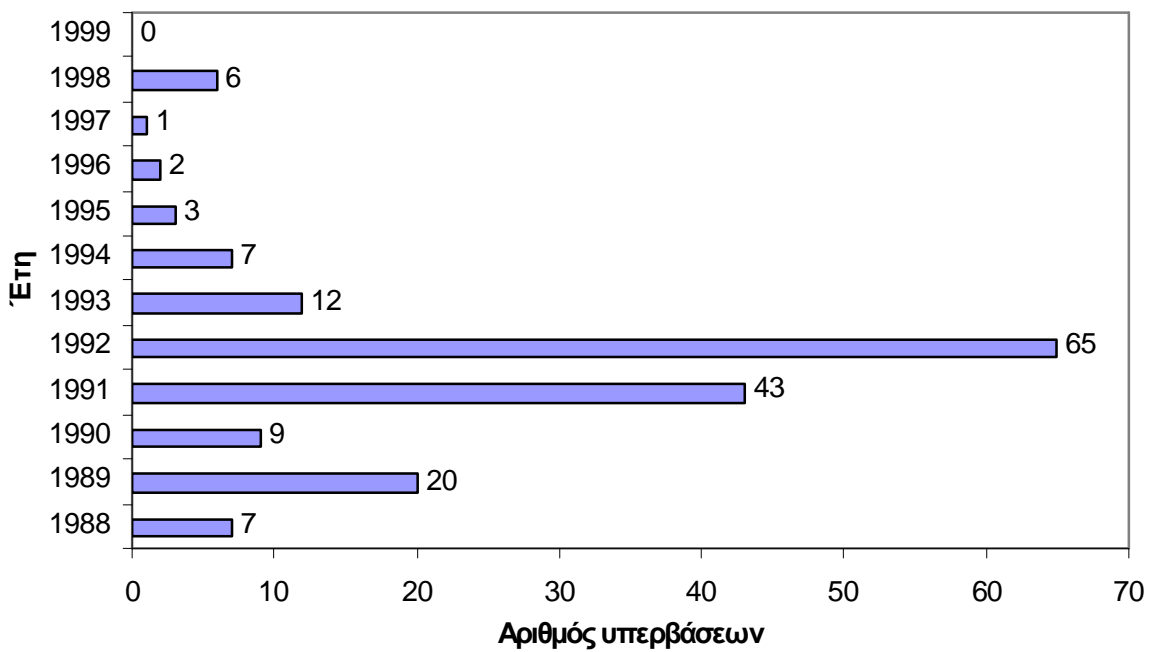
Το όριο ποιότητας για τις ωριαίες συγκεντρώσεις του CO επιλέχθηκε να είναι η τιμή των 23 mg/m³, το οποίο ισχύει στην πολιτεία της Καλιφόρνια των Η.Π.Α. και αποτελεί ένα από τα αυστηρότερα διεθνώς.

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται ο αριθμός των υπερβάσεων για κάθε έναν από τους 7 σταθμούς μέτρησης. (Τα σχήματα έχουν διαφορετική κλίμακα αναφοράς για να είναι πιο ευδιάκριτος ο αριθμός των υπερβάσεων)

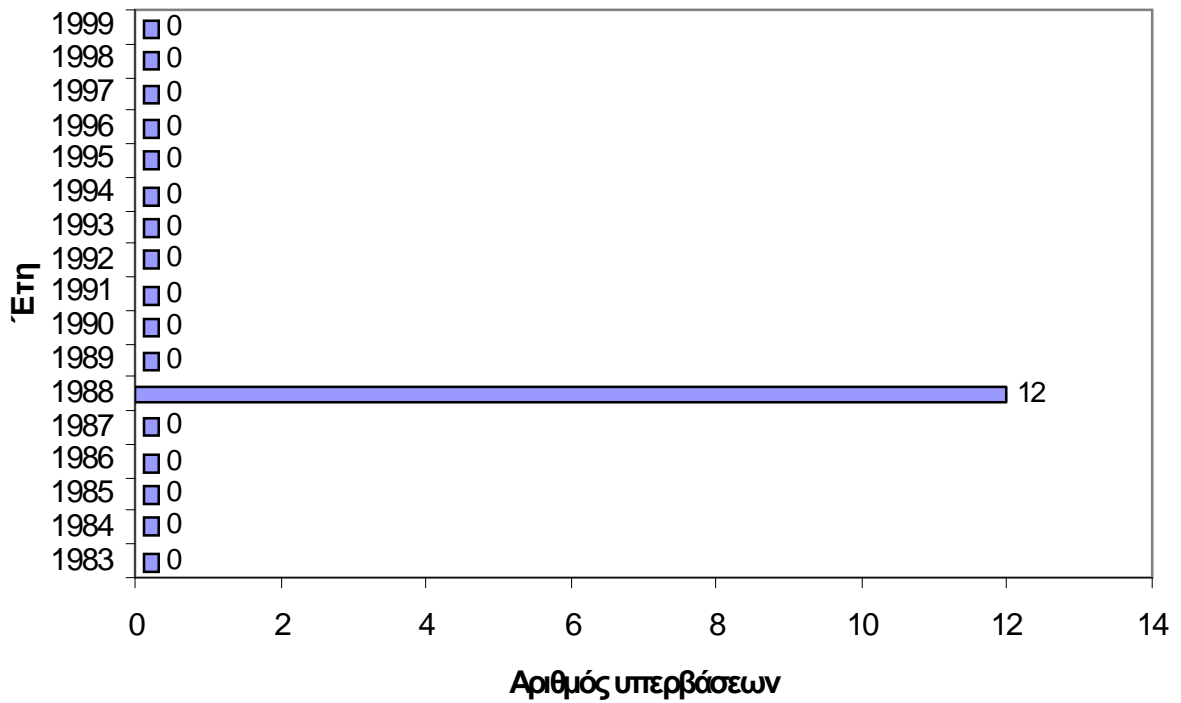
Σχήμα 3-9: Αριθμός υπερβάσεων των μέσων ετήσιων τιμών στο σταθμό Πατησίων.



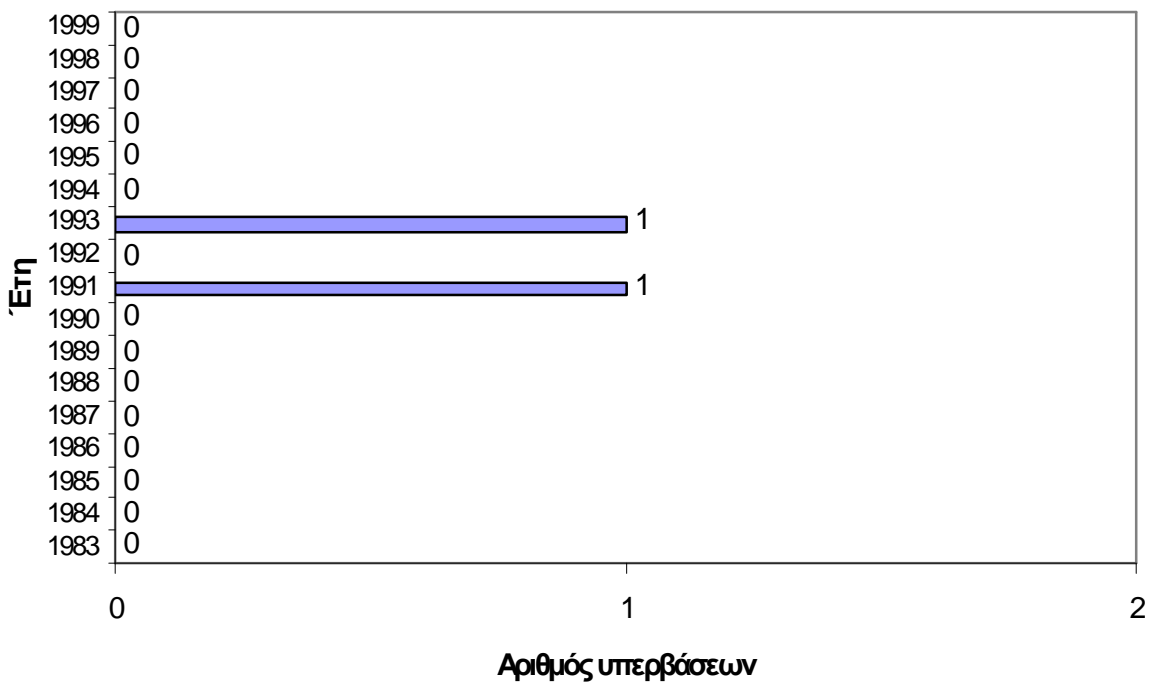
Σχήμα 3-10: Αριθμός υπερβάσεων των μέσων ετήσιων τιμών στο σταθμό Αθηνάς.



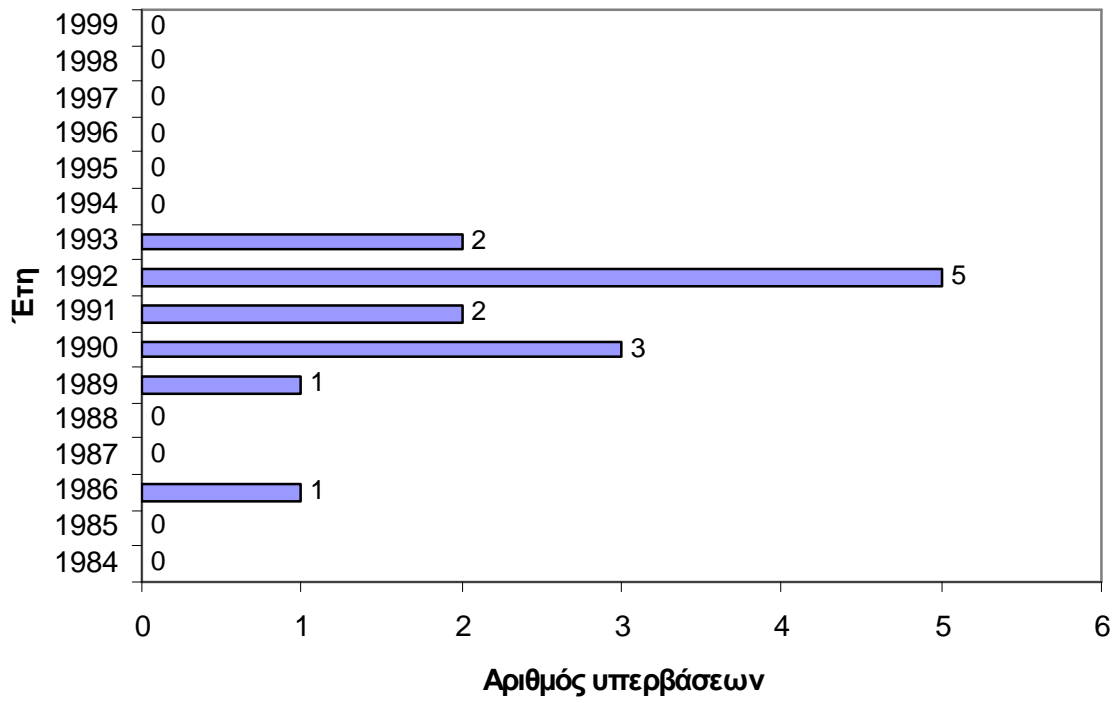
Σχήμα 3-11: Αριθμός υπερβάσεων των μέσων ετήσιων τιμών στο σταθμό Γεωπονικής.



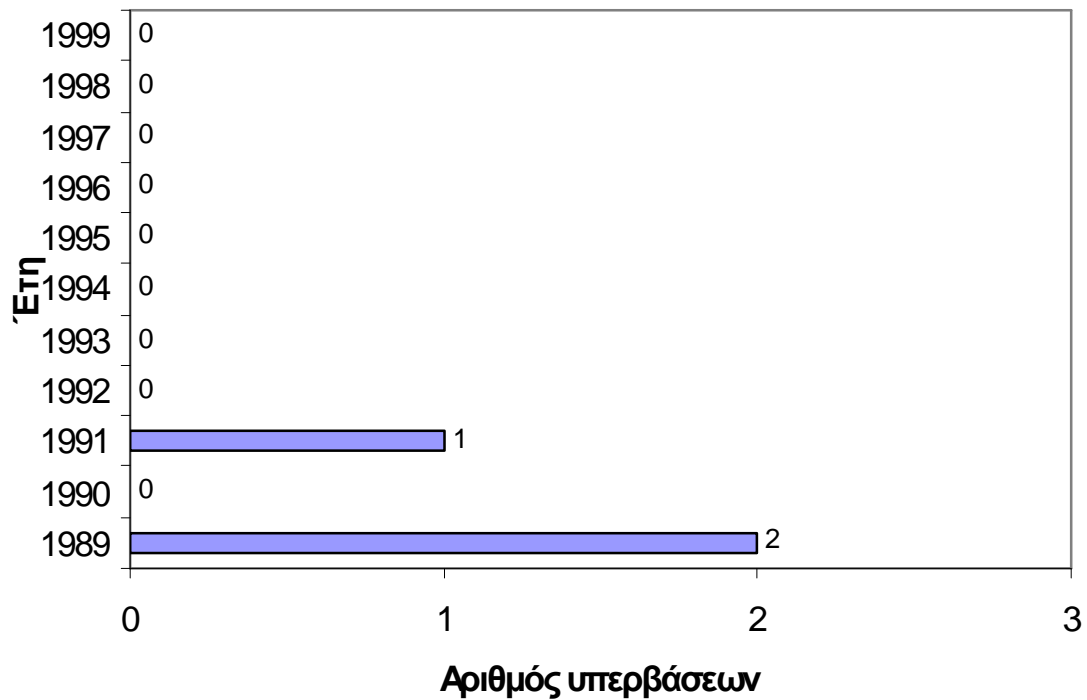
Σχήμα 3-12: Αριθμός υπερβάσεων των μέσων ετήσιων τιμών στο σταθμό Ν.Σμύρνης.



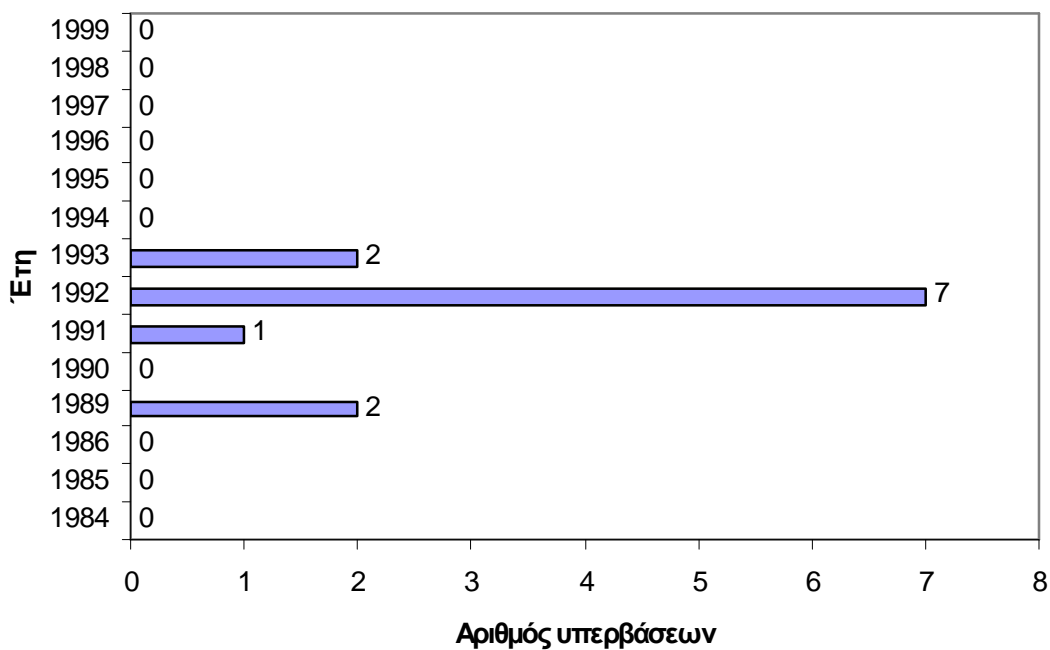
Σχήμα 3-13: Αριθμός υπερβάσεων των μέσων ετήσιων τιμών στο σταθμό Πειραιά.



Σχήμα 3-14: Αριθμός υπερβάσεων των μέσων ετήσιων τιμών στο σταθμό Περιστερίου.



Σχήμα 3-15: Αριθμός υπερβάσεων των μέσων ετήσιων τιμών στο σταθμό Αμαρουσίου.

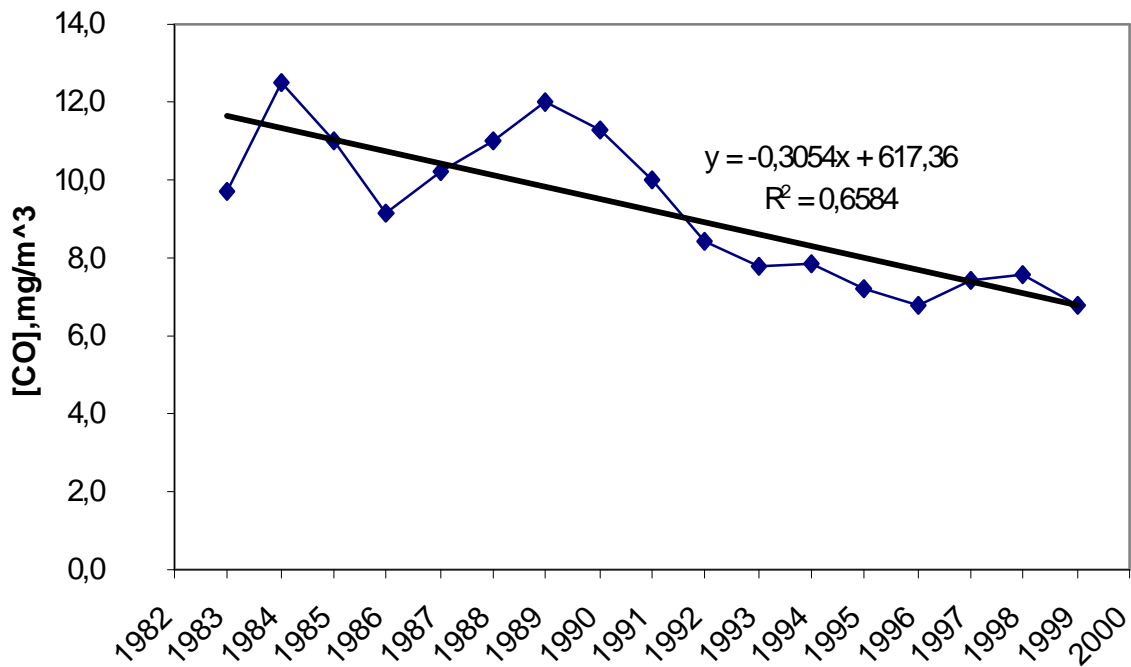


Από το σύνολο των παραπάνω σχημάτων είναι εμφανές ότι οι σταθμοί δεν παρουσιάζουν μεγάλο αριθμό υπερβάσεων, εκτός από τους σταθμούς Πατησίων και Αθηνάς οι οποίοι-λόγω της ισχυρής εξάρτησης των εκπομπών του CO με τον κυκλοφοριακό φόρτο-παρουσιάζουν αυξημένες υπερβάσεις.

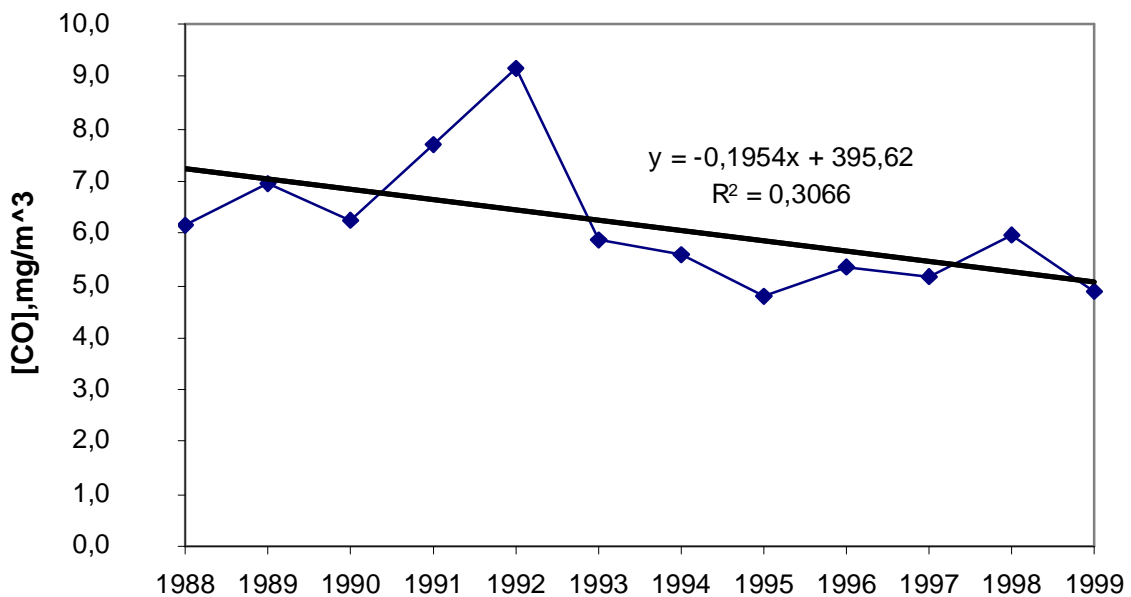
3.4. Χρονικές διακυμάνσεις της μέσης τιμής των μέγιστων κυλιόμενων οκταώρων του CO στην ατμόσφαιρα

Τα διαγράμματα 3-16 έως 3-22 παριστάνουν τις διαχρονικές μεταβολές της μέσης τιμής των μέγιστων κυλιόμενων οκταώρων του CO, για όλους τους σταθμούς μέτρησης. Η έκφραση των κυλιόμενων οκταώρων σαν μέσες τιμές των μέγιστων τιμών τους επιλέχθηκε για να πληροί την οδηγία της ΕΕ (2000/96/ΕΚ).

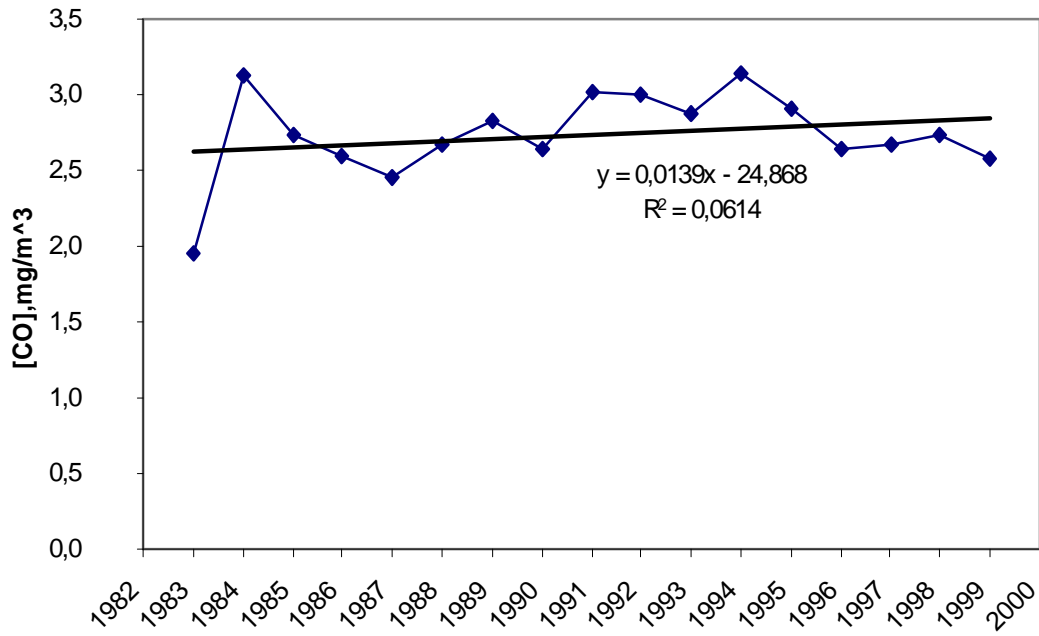
Σχήμα 3-16: Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής των μέγιστων ημερήσιων κυλιόμενων δόρων στο σταθμό Πατησίων, σε ετήσια βάση.



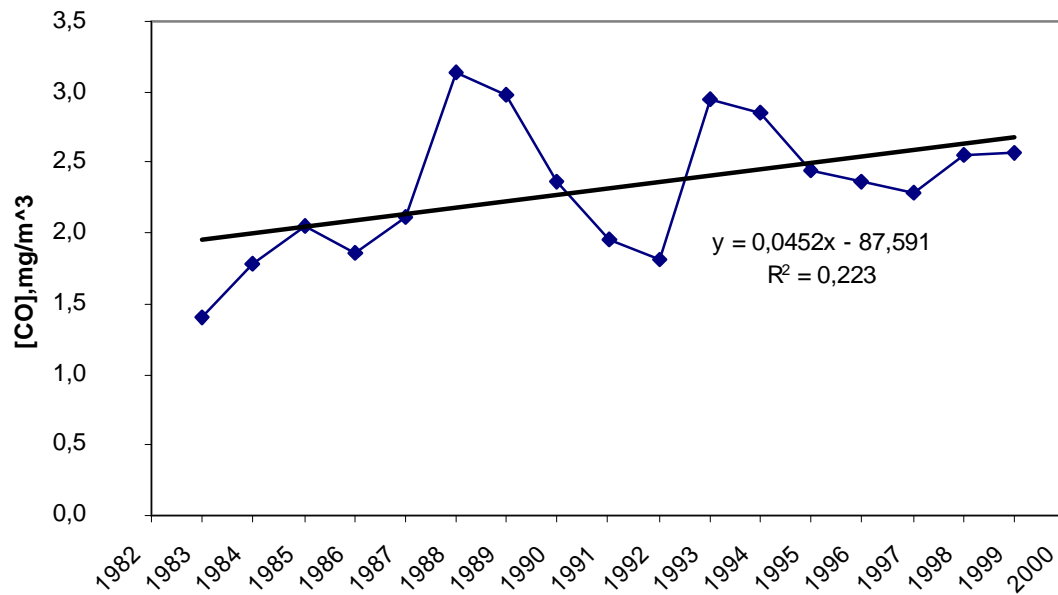
Σχήμα 3-17: Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής των μέγιστων ημερήσιων κυλιόμενων δόρων στο σταθμό Αθηνάς, σε ετήσια βάση.



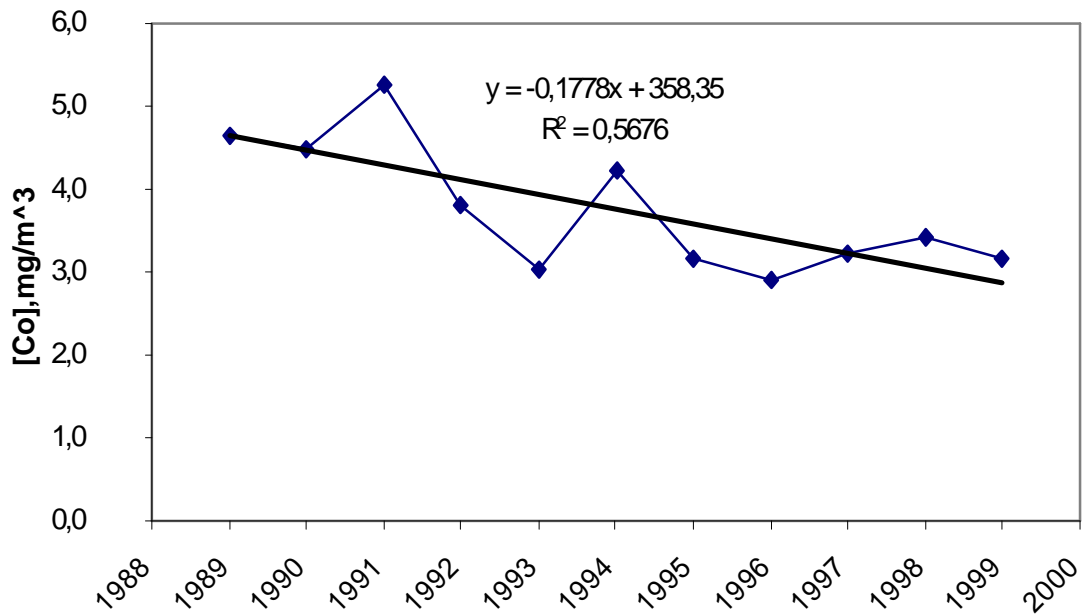
Σχήμα 3-18: Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής των μέγιστων ημερήσιων κυλιόμενων δώρων στο σταθμό Ν.Σμύρνης, σε ετήσια βάση.



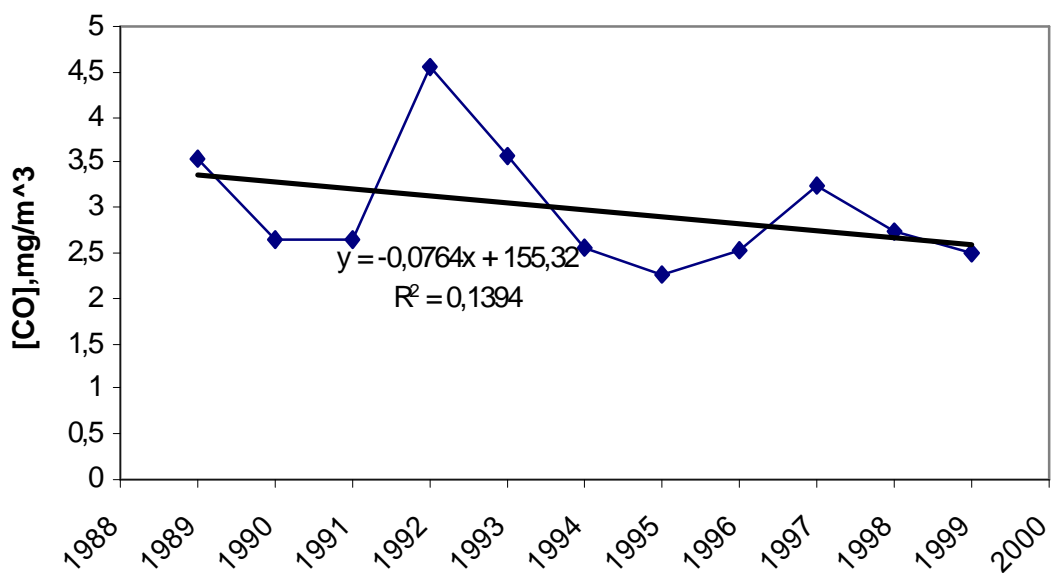
Σχήμα 3-19: Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής των μέγιστων ημερήσιων κυλιόμενων δώρων στο σταθμό Γεωπονικής, σε ετήσια βάση.



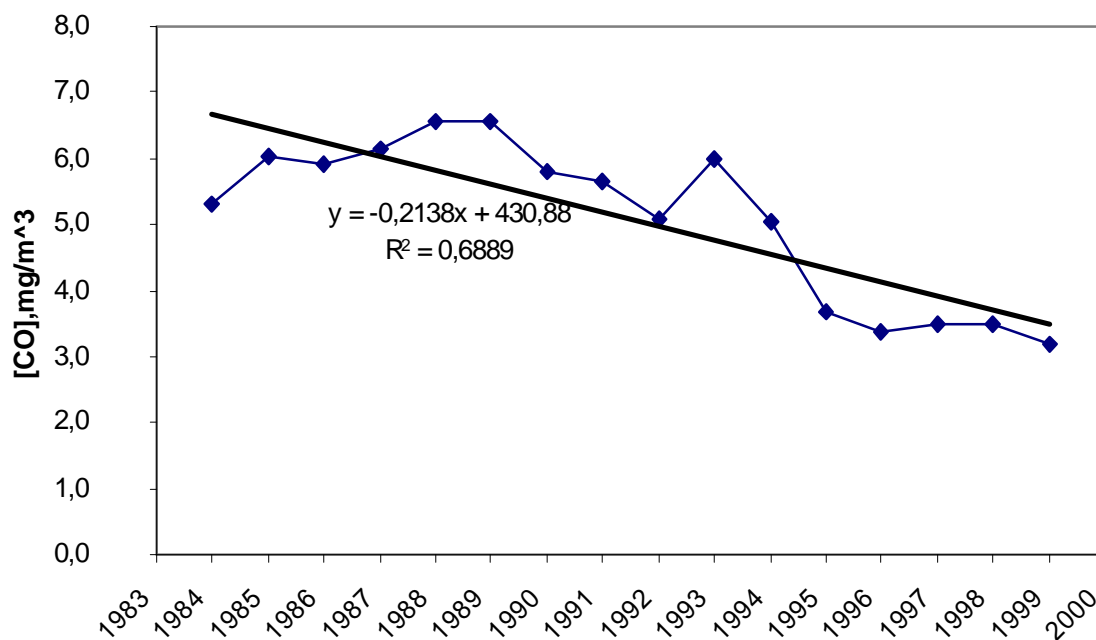
Σχήμα 3-20: Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής των μέγιστων ημερήσιων κυλιόμενων δόρων στο σταθμό Περιστερί, σε ετήσια βάση.



Σχήμα 3-21: Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής των μέγιστων ημερήσιων κυλιόμενων δόρων στο σταθμό Μαρούσι, σε ετήσια βάση.



Σχήμα 3-22: Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής των μέγιστων ημερήσιων κυλιόμενων δώρων στο σταθμό Πειραιά, σε ετήσια βάση.



Σε γενικές γραμμές ισχύουν τα ίδια συμπεράσματα με αυτά της παραγράφου 3-1, διότι και σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται πτωτικές τάσεις και τάσεις σταθεροποίησης των τιμών. Μόνο ο σταθμός μέτρησης στην Γεωπονική παρουσιάζει μια ανοδική τάση αλλά με μικρή κλίση. Οι σταθμοί Πατησίων και Πειραιά παρουσιάζουν σημαντική πτωτική τάση, ενώ οι τιμές των συγκεντρώσεων CO είναι συνεχώς πτωτικές από τα έτη 1989 και 1993 αντίστοιχα.

3.5. Ημερήσιες μέσες τιμές των κυλιόμενων οκταώρων για όλη την περιοχή της Αθήνας, σε ετήσια βάση.

Όπως υπολογίστηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές της παραγράφου για τις ωριαίες συγκεντρώσεις, ομοίως υπολογίζονται και για τα κυλιόμενα οκτάωρα όλης της περιοχής με πληρότητα μεγαλύτερη από 65% όπως φαίνεται στους πίνακες 3-3 και 3-4 , αλλά και στο σχήμα 3-23.

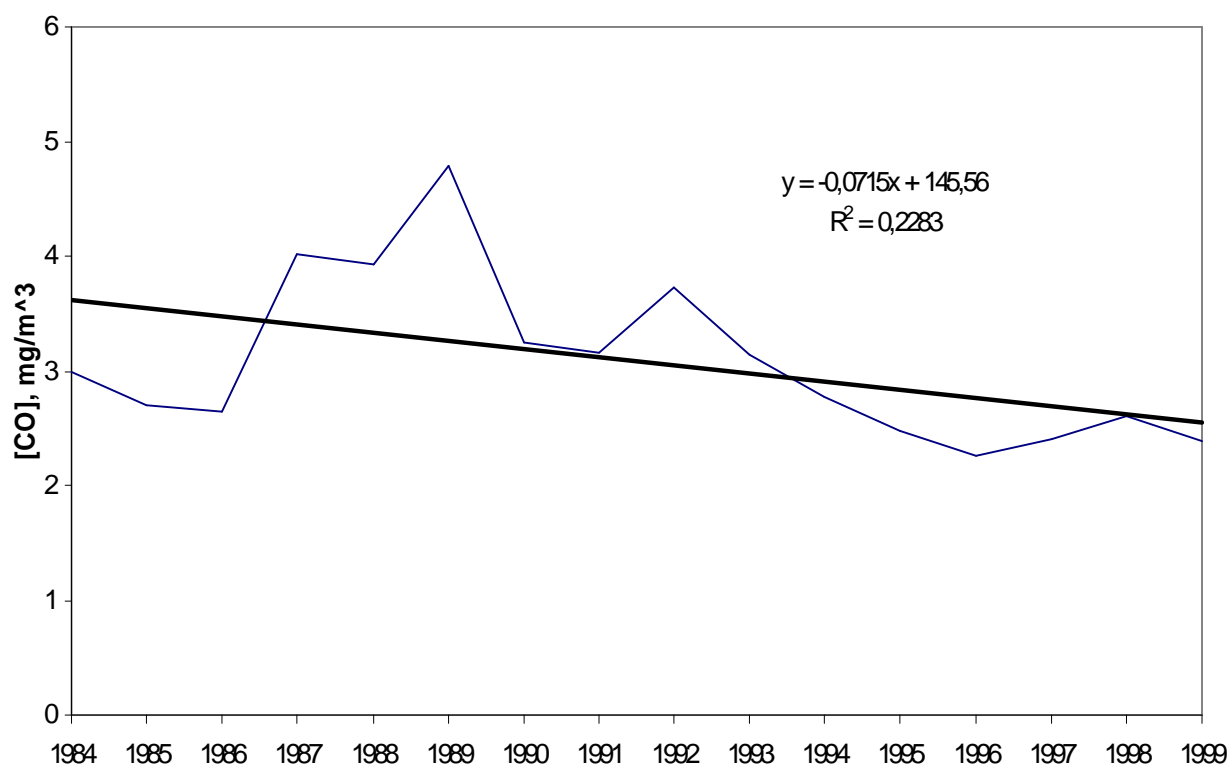
Πίνακας 3-3 : Μέση ημερήσια τιμή των κυλιόμενων δώρων CO όλης της περιοχής της Αθηνάς, σε ετήσια βάση.

Μέση ημερήσια τιμή των κυλιόμενων δώρων με πληρότητα μεγαλύτερη από 65%	
1984	2,9
1985	2,7
1986	2,6
1987	4,0
1988	3,9
1989	4,8
1990	3,2
1991	3,1
1992	3,7
1993	3,0
1994	2,8
1995	2,5
1996	2,3
1997	2,4
1998	2,6
1999	2,4

Πίνακας 3-4 : Μέσες ημερήσιες τιμές κυλιόμενων οκταώρων για όλους τους σταθμούς μέτρησης για τα έτη 1984-1999, με πληρότητα μεγαλύτερη από 65 %.

Μέση Τιμή ανά έτος των κυλιόμενων 8ώρων										
	Πατησίων	Αριστοτέλους	Αθηνάς	Γεωπονική	Λιοσίων	Λυκόβρυση	Μαρούσι	Πειραιάς	Περιστέρι	Ν.Σμύρνη
1984	8,5			1,2	1,3		1,0			
1985	7,3			1,3	1,1		1,1			
1986	5,8			1,1	1,1		0,8	4,4		
1987	6,4			1,2				4,4		
1988	7,1		4,3	1,8				4,8		1,7
1989	7,9		5,0					4,5		1,8
1990	7,1		4,2	1,4			1,5	4,1	2,7	1,7
1991	6,5			1,4			1,5	4,0	3,8	1,8
1992	5,2		6,7				3,2	2,8	2,6	1,9
1993	5,0		3,6				2,2	4,4	1,6	1,9
1994	5,2	3,7	3,5	1,9		1,0	1,4	3,6	2,6	1,9
1995	5,0	3,6	3,2	1,6		1,2	1,3	2,5	1,9	2,0
1996	4,7	2,4	3,7	1,6		1,0	1,3	2,3	1,6	1,7
1997	5,2	2,1	3,4	1,5		1,1		2,3	1,9	1,6
1998	5,5	2,3	4,2	1,7		1,2	1,8	2,4		1,7

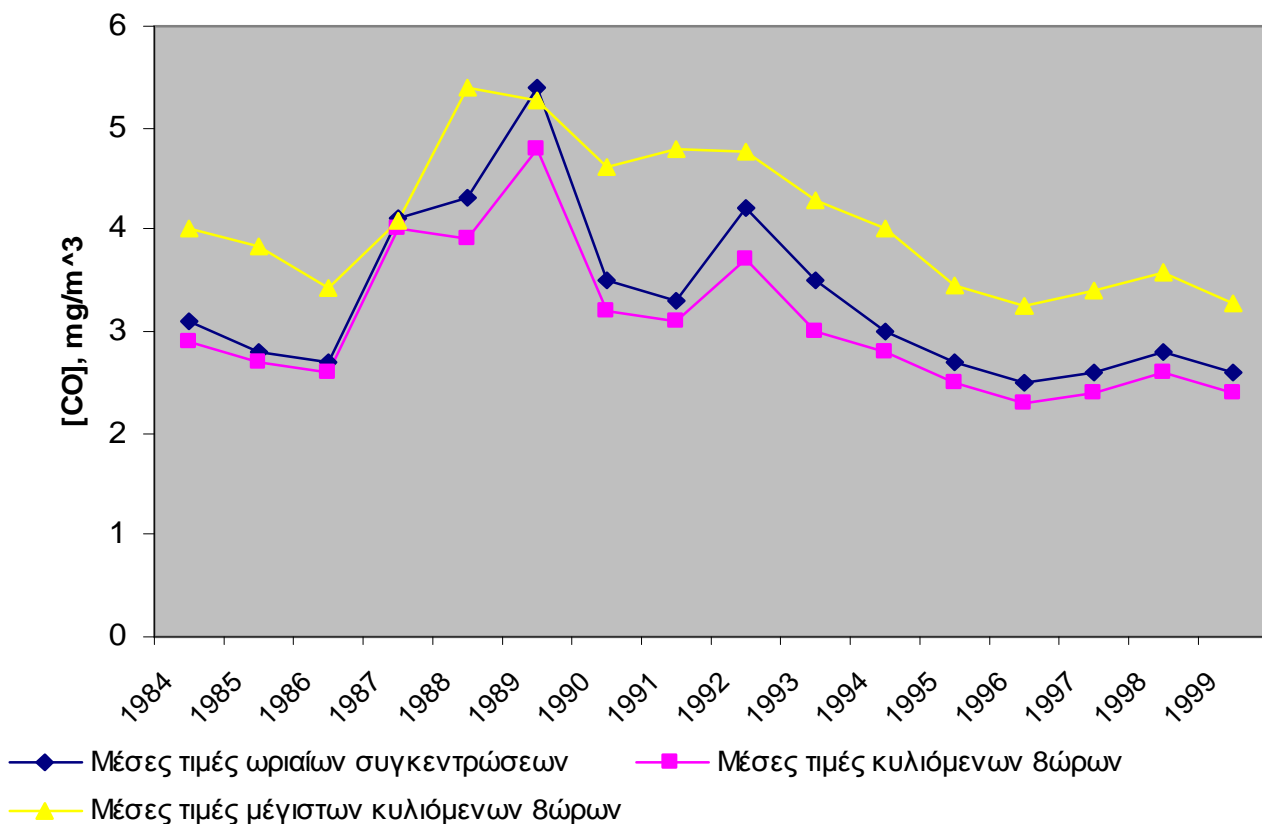
Σχήμα 3-23: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των κυλιόμενων δώρων όλης της περιοχής της Αθήνας, σε ετήσια βάση.



Το παραπάνω σχήμα παρουσιάζει μια εμφανή καθοδική τάση που υποδηλώνει και την μείωση των συγκεντρώσεων του CO στην περιοχή της Αθήνας από το έτος 1992 και έπειτα. Το γράφημα παίρνει την μεγαλύτερη τιμή του το έτος 1989 ενώ δείχνει να σταθεροποιείται μετά το έτος 1988.

Ομοίως με τα παραπάνω υπολογίζονται και οι μέσες ημερήσιες τιμές των μέγιστων κυλιόμενων δώρων για όλη την περιοχή της Αθήνας, και οι οποίες απεικονίζονται στο σχήμα 3-24. Επίσης σε αυτό το σχήμα παρουσιάζονται τόσο οι μέσες ημερήσιες τιμές των κυλιόμενων δώρων (όχι μέγιστων) αλλά και των ωριαίων συγκεντρώσεων για όλη την περιοχή αντίστοιχα.

Σχήμα 3-24: Σύγκριση ημερήσιων μέσων τιμών, ωριαίων, κυλιόμενων δώρων και μέγιστων κυλιόμενων δώρων για όλη την περιοχή της Αθήνας.



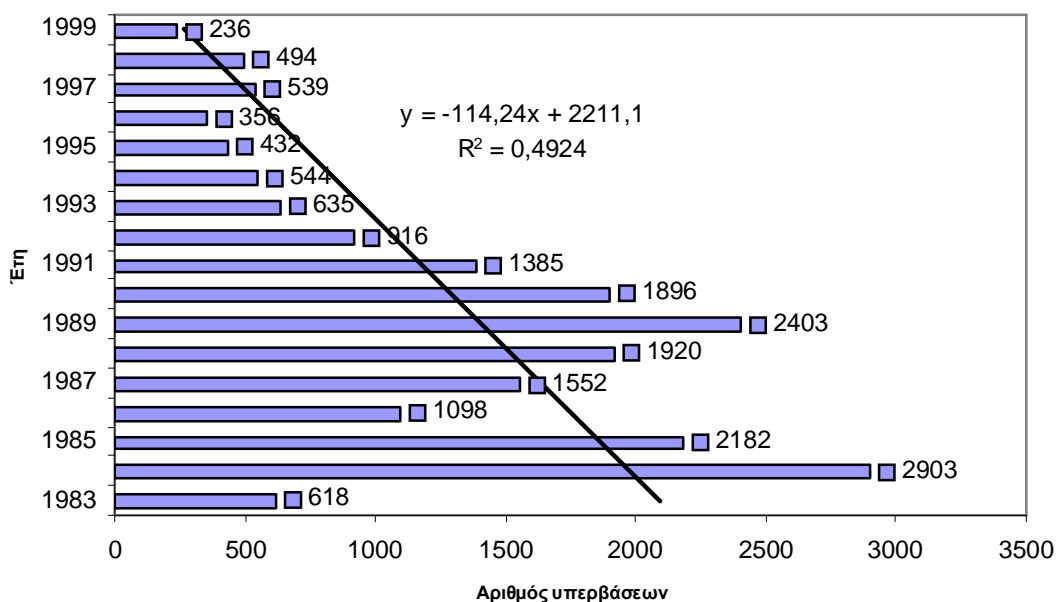
Όπως είναι φανερό υπάρχει σχεδόν πανομοιότυπη διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των ωριαίων συγκεντρώσεων και των συγκεντρώσεων των κυλιόμενων δώρων, λόγω της ισχυρής εξάρτησης του βαθμού συσχέτισης (0,98) που παρουσιάζουν. Ακόμα όπως ήταν αναμενόμενο οι τιμές των μέγιστων κυλιόμενων δώρων είναι πάντα μεγαλύτερες από αυτές των μέσων κυλιόμενων δώρων.

Και στις τρεις περιπτώσεις υπάρχει εμφανής μείωση των τιμών από το έτος 1992 λόγω της ελάττωσης των εκπομπών από τις οδικές μεταφορές. Μετά το έτος 1998 παρουσιάζεται μια σταθεροποίηση των τιμών που οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στην αύξηση των επιβατικών οχημάτων αλλά και των διανυόμενων χιλιομέτρων.

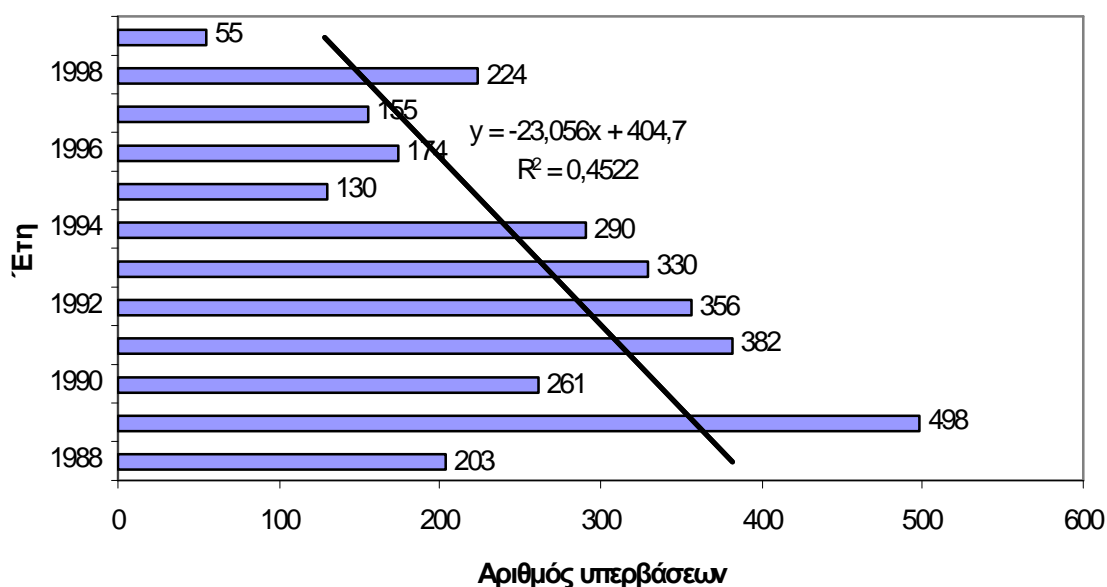
3.6. Υπερβάσεις του οκτάωρου προτύπου του CO

Το όριο ποιότητας σύμφωνα με το οποίο υπολογίστηκαν οι υπερβάσεις είναι η τιμή των $10\text{mg}/\text{m}^3$ που καθορίζει η πρόσφατη οδηγία της ΕΕ. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται ο αριθμός των υπερβάσεων για κάθε έναν από τους 7 σταθμούς μέτρησης και για τα έτη 1983-1999. (Τα σχήματα έχουν διαφορετική κλίμακα αναφοράς για να είναι πιο ευδιάκριτος ο αριθμός των υπερβάσεων)

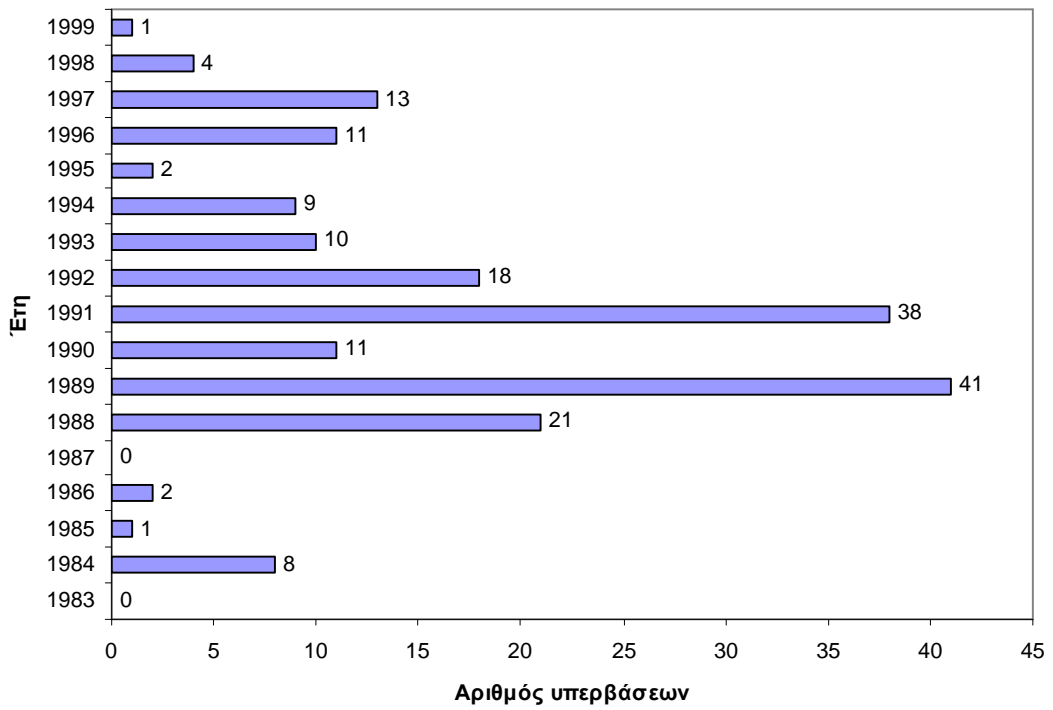
Σχήμα 3-25: Αριθμός υπερβάσεων των κυλιόμενων δώρων στο σταθμό Πατησίων.



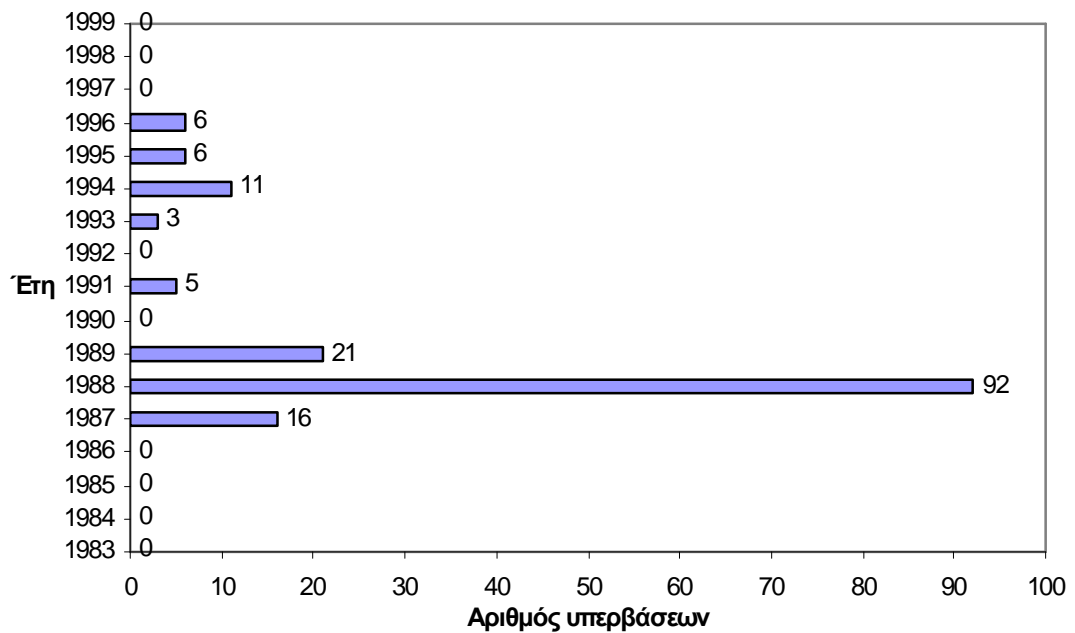
Σχήμα 3-26: Αριθμός υπερβάσεων των κυλιόμενων δώρων στο σταθμό Αθηνάς.



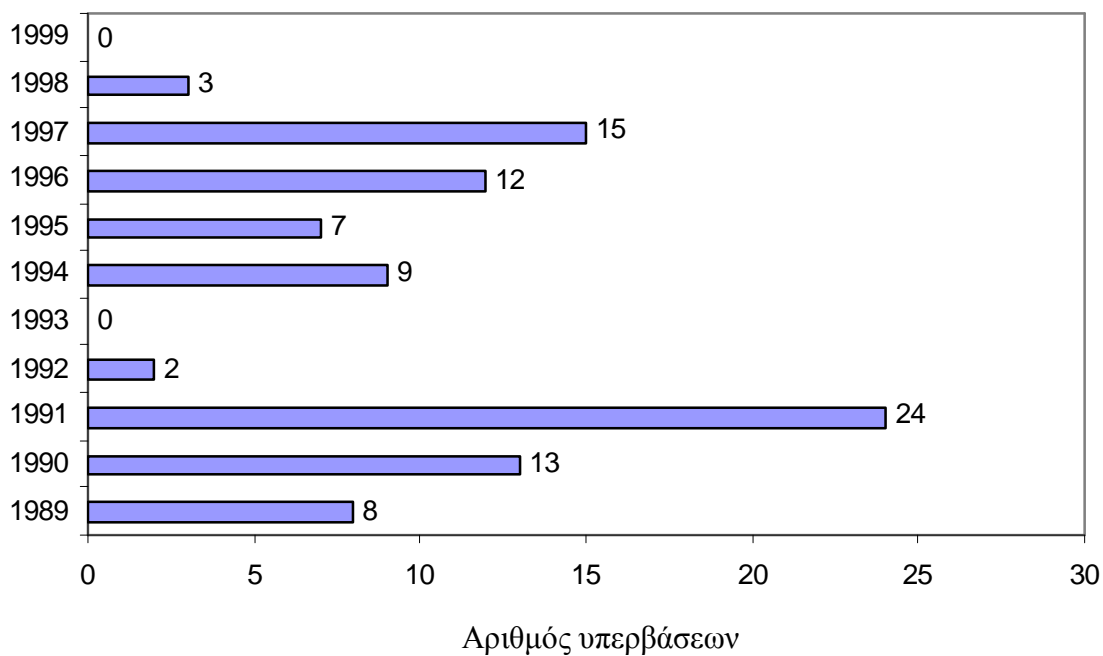
Σχήμα 3-27: Αριθμός υπερβάσεων των κυλιόμενων δώρων στο σταθμό Ν.Σμόρνης.



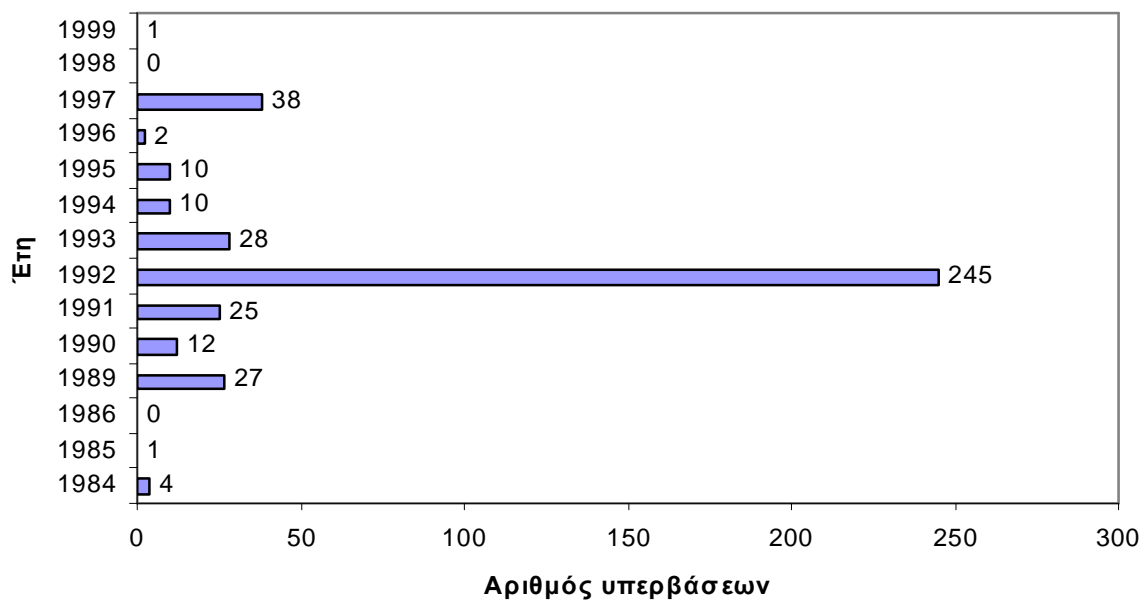
Σχήμα 3-28: Αριθμός υπερβάσεων των κυλιόμενων δώρων στο σταθμό Γεωπονικής.



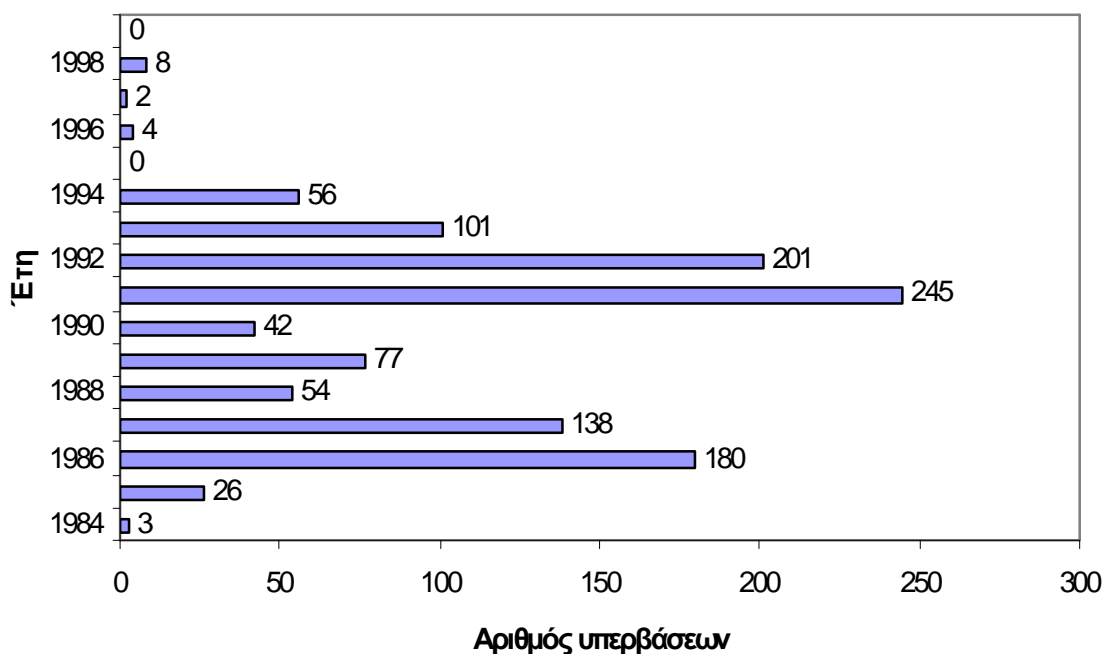
Σχήμα 3-29: Αριθμός υπερβάσεων των κλιόμενων δώρων στο σταθμό Περιστερίου.



Σχήμα 3-30: Αριθμός υπερβάσεων των κλιόμενων δώρων στο σταθμό Αμαρουσίου.



Σχήμα 3-31: Αριθμός υπερβάσεων των κλιόμενων δώρων στο σταθμό Πειραιά.



Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει ότι οι μεγαλύτεροι αριθμοί υπερβάσεων παρουσιάζονται στους σταθμούς Πατησίων και Αθηνάς. Η διαχρονική τάση εξέλιξης του αριθμού των υπερβάσεων στους δύο αυτούς σταθμούς είναι καθαρά πτωτική όπως φαίνεται και στα σχήματα 3-25 και 3-26. Με δεδομένο το γεγονός ότι και στους δύο σταθμούς οι μετρούμενες συγκεντρώσεις έχουν άμεση εξάρτηση από τις εκπομπές των οχημάτων, είναι αναμενόμενη η καθοδική τάση που παρουσιάζουν λόγω της μείωσης των εκπομπών των επιβατικών οχημάτων που οφείλεται στην αντικατάστασή τους από καινούργια με χρήση τριοδικού καταλύτη κυρίως μετά το έτος 1992, αλλά και των μέτρων αντιρύπανσης που εφαρμόζονται.

Στους υπόλοιπους σταθμούς μέτρησης εμφανίζεται μια σταδιακή μείωση του αριθμού των υπερβάσεων με διάφορες αυξομειώσεις κατά την διαχρονική εξέλιξη τους.

3.7. Εποχιακές διακυμάνσεις (θερινού και χειμερινού τριμήνου) των μέσων ημερήσιων τιμών του CO, σε ετήσια βάση.

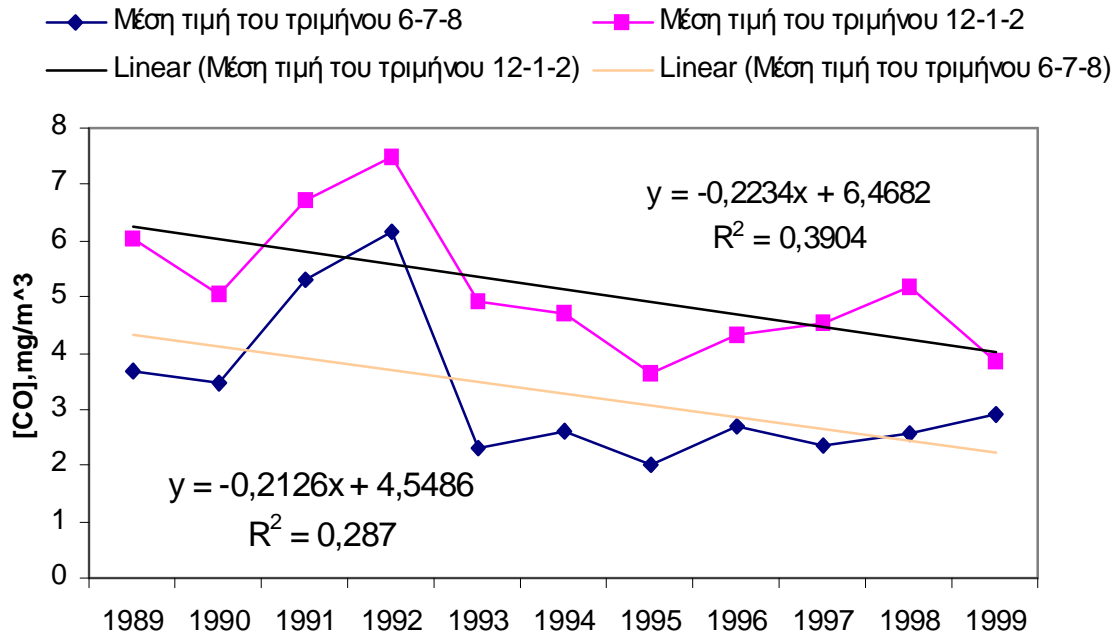
Από τον υπολογισμό των μέσων τιμών των ωριαίων συγκεντρώσεων των σταθμών μέτρησης με πληρότητα μεγαλύτερη από 65 %, μπορεί να προκύψει η μέση τιμή του χειμερινού (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) και του θερινού τριμήνου (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) για κάθε έναν από τους 7 σταθμούς. Στην συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο αυτών τριμήνων για όλους τους σταθμούς και για όλα τα έτη μέτρησης (1989 – 1999). Οι μέσες τιμές του θερινού και του χειμερινού τριμήνου φαίνονται στον πίνακα 3-5 που ακολουθεί.

Πίνακας 3-5: Μέση τιμή των ωριαίων συγκεντρώσεων του θερινού και χειμερινού τριμήνου για όλους τους σταθμούς για όλα τα έτη με πληρότητα μεγαλύτερη από 65 %.

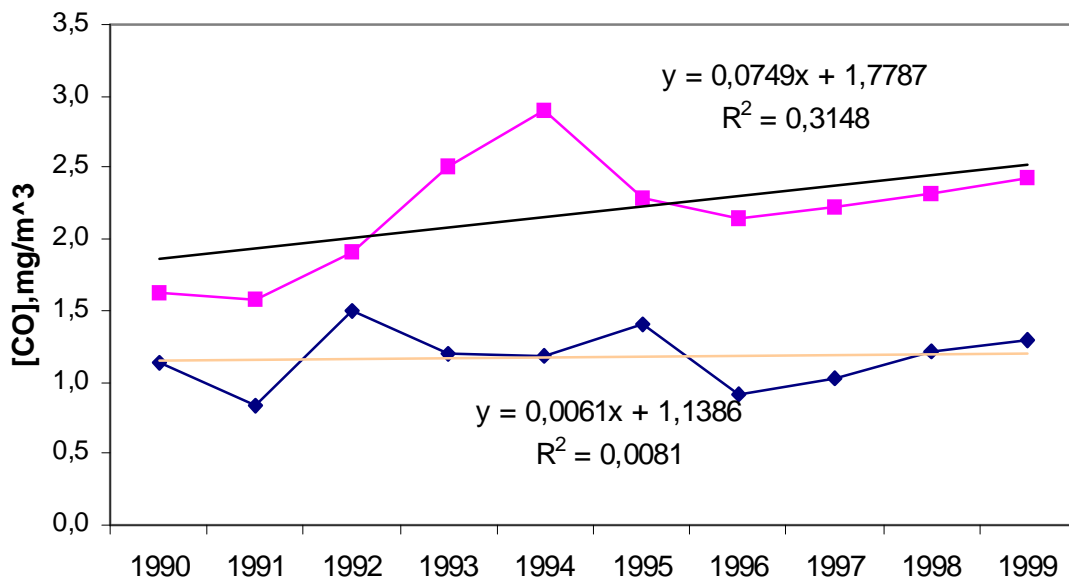
	Μέση ετήσια τιμή			Μέση ετήσια τιμή	
	1989	4,0		1989	5,8
Ιούνιος - Ιούλιος - Αύγουστος	1990	2,4	Δεκέμβριος - Ιανουάριος - Φεβρουάριος	1990	3,8
	1991	2,4		1991	4,0
	1992	2,9		1992	4,7
	1993	2,3		1993	4,0
	1994	2,2		1994	3,7
	1995	2,0		1995	3,4
	1996	1,8		1996	3,1
	1997	2,1		1997	3,7
	1998	2,1		1998	3,6
	1999	1,9		1999	3,2

Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται σύγκριση μεταξύ των μέσων τιμών του θερινού και του χειμερινού τριμήνου για τους 7 σταθμούς μέτρησης και για τα έτη 1989-1999. Επίσης παρουσιάζονται οι τάσεις των χειμερινών και θερινών εξαμήνων για κάθε σταθμό καθώς και οι εξισώσεις τους.

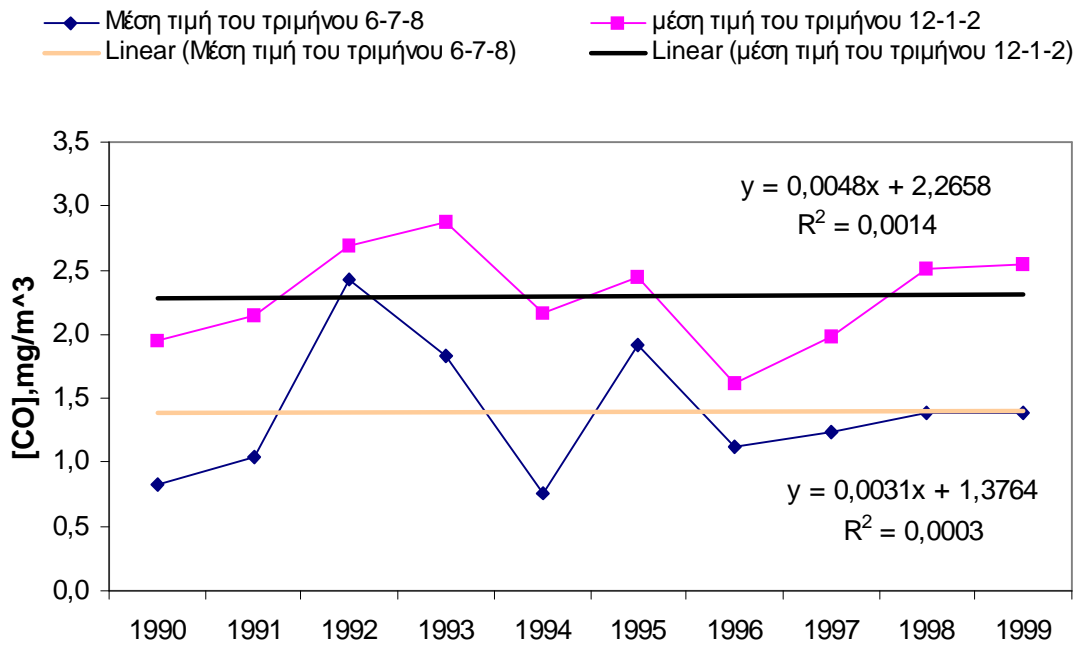
Σχήμα 3-32: Εποχιακή εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων σε ετήσια βάση στο σταθμό Αθηνάς.



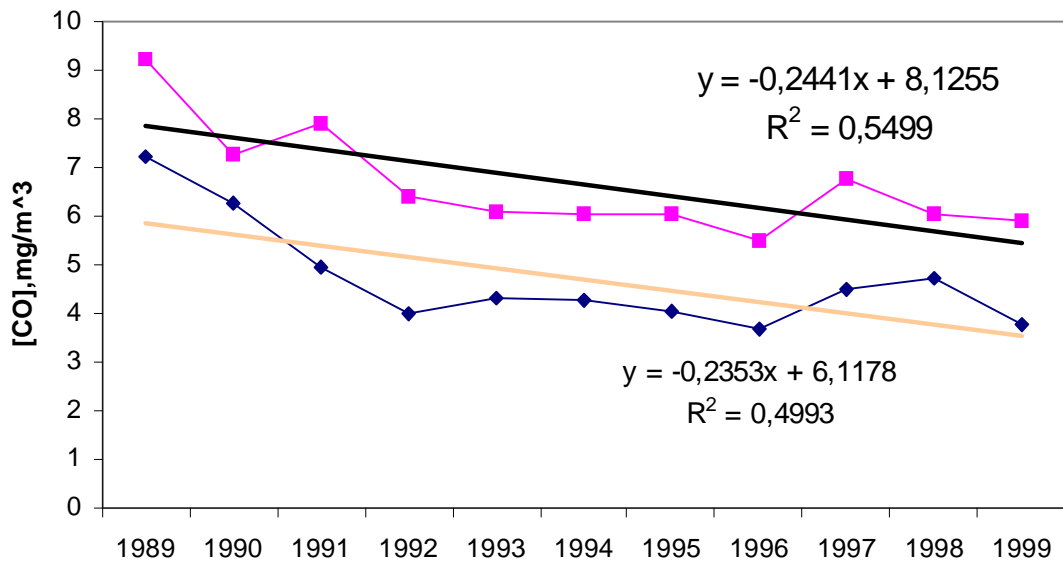
Σχήμα 3-33: Εποχιακή εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων σε ετήσια βάση στο σταθμό Γεωπονικής.



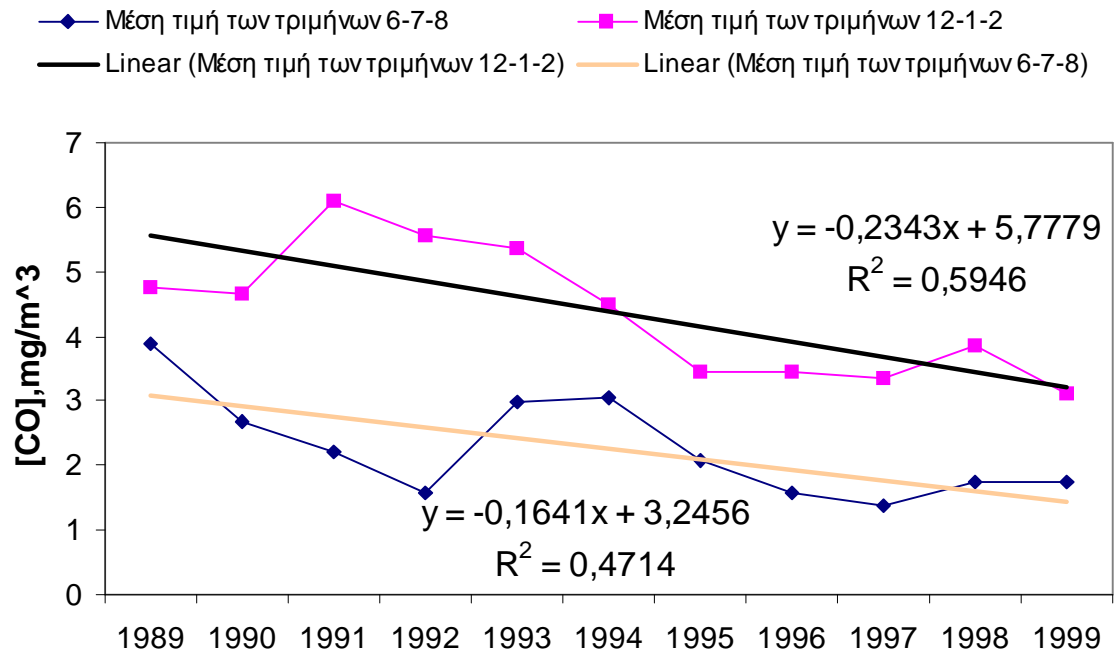
Σχήμα 3-34: Εποχιακή εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων σε ετήσια βάση στο σταθμό Μαρούσι.



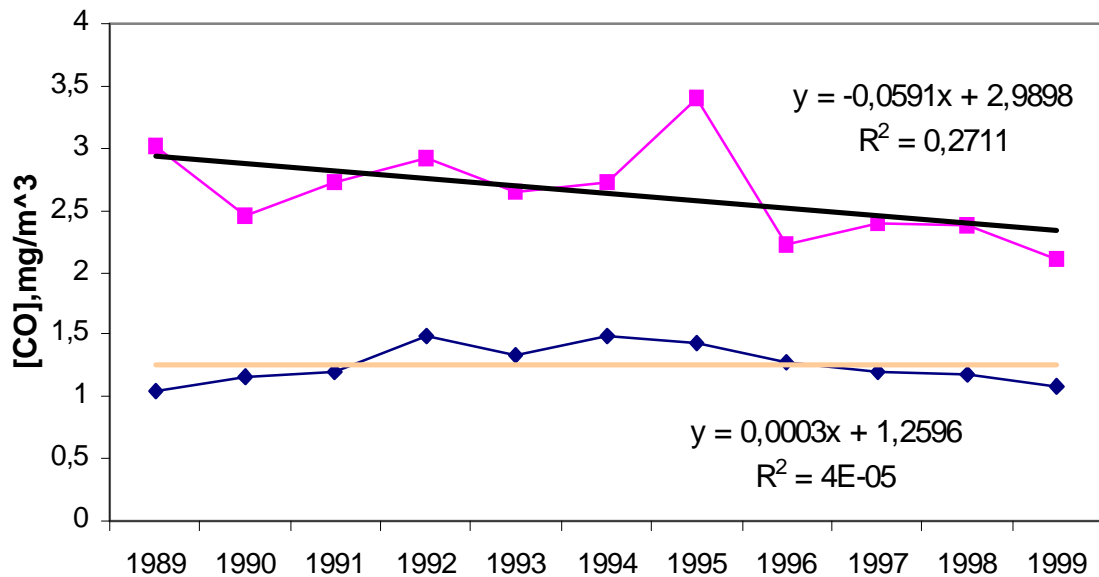
Σχήμα 3-35: Εποχιακή εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων σε ετήσια βάση στο σταθμό Πατησίων.



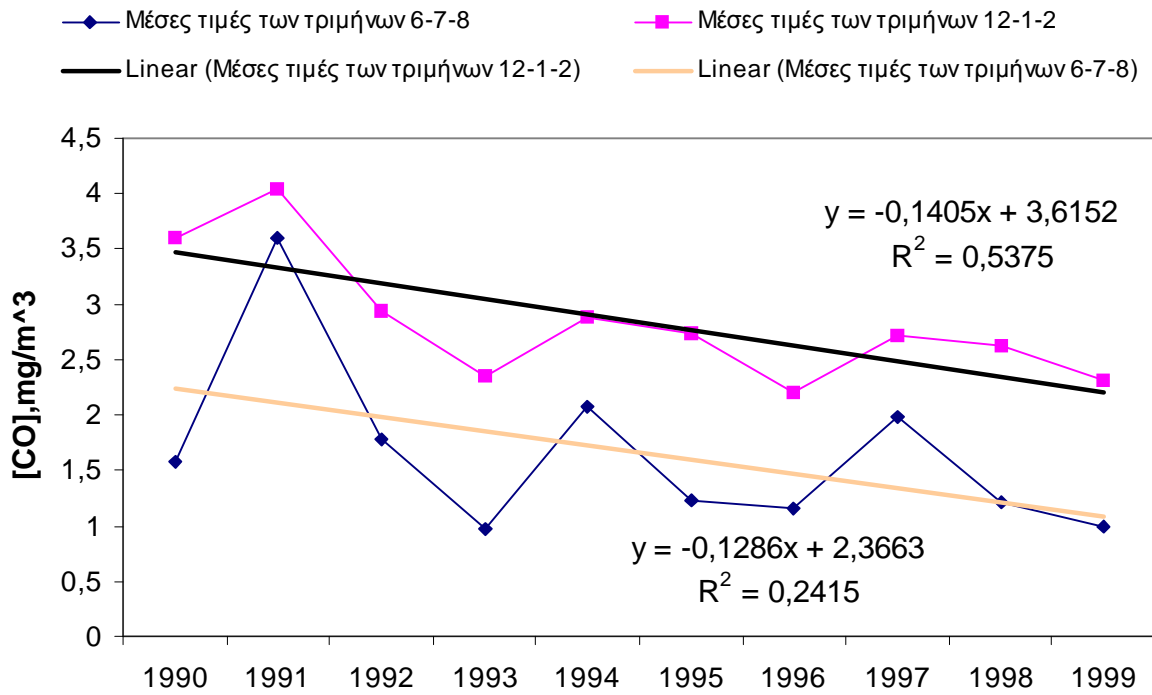
Σχήμα 3-36: Εποχιακή εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων σε ετήσια βάση στο σταθμό Πειραιά.



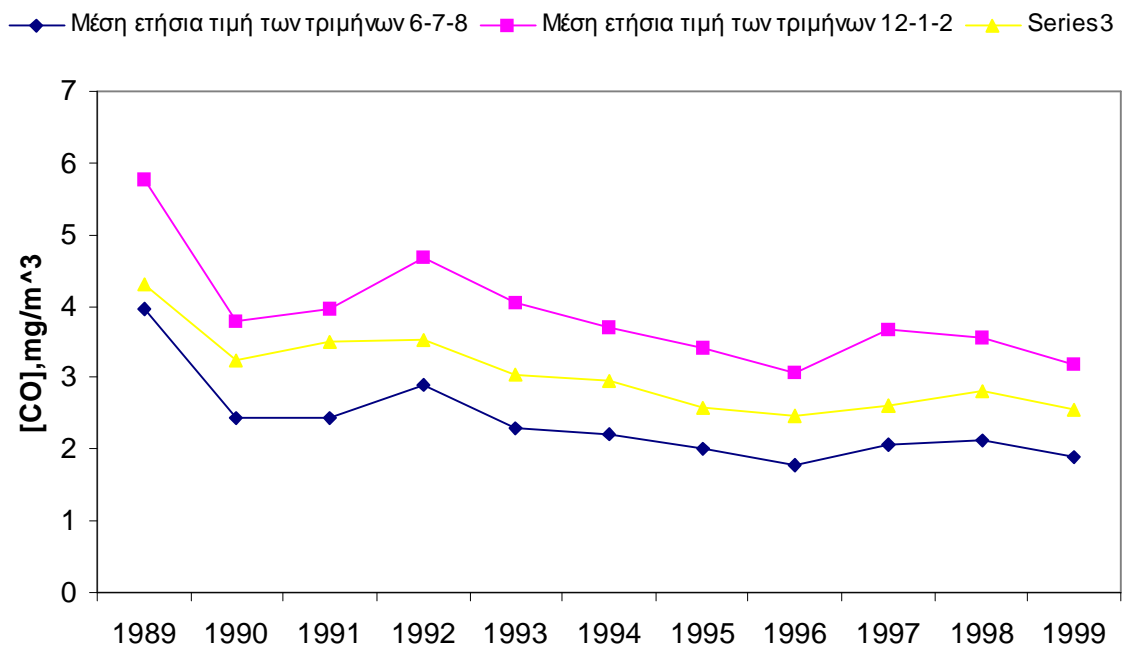
Σχήμα 3-37: Εποχιακή εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων σε ετήσια βάση στο σταθμό Ν.Σμόρνης.



Σχήμα 3-38: Εποχιακή εξέλιξη των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων σε ετήσια βάση στο σταθμό Περιστερίου.



Σχήμα 3-39: Σύγκριση των μέσων ημερήσιων τιμών των τριμήνων με την 24ωρη μέση ημερήσια τιμή και για τους 7 σταθμούς μέτρησης, σε ετήσια βάση.



Η χρονοσειρά "Series 3" αναφέρεται στην ημερήσια μέση τιμή όλης της περιοχής της Αθήνας.

Στο σύνολο τους οι σταθμοί μέτρησης παρουσιάζουν καθοδική τάση εκτός από τις τιμές του χειμερινού τριμήνου στο σταθμό Γεωπονικής. Επίσης οι τάσεις των τριμήνων στο σταθμό στο Μαρούσι είναι σχεδόν σταθερές, παρά τις σημαντικές αυξομειώσεις που παρατηρούνται.

Από το σχήμα 3-39 είναι φανερό ότι παρόλες τις αυξομειώσεις που παρατηρούνται η τάση των μέσων τιμών σε επίπεδο λεκανοπεδίου τόσο για το θερινό όσο και για το χειμερινό τρίμηνο είναι καθοδικές. Μετά το έτος 1989 όπου και παρατηρείται η μεγαλύτερη τιμή, έχουμε ένα ποσοστό μείωσης 49% όσον αφορά την μέση ετήσια τιμή όλης της περιοχής, ενώ 45% και 51% είναι τα ποσοστά μείωσης για το θερινό και χειμερινό τρίμηνο αντίστοιχα.

3.8. Επίδραση μετεωρολογικών συνθηκών και εκπομπών CO (υπολογισμός συντελεστή K)

Η διαχρονική εξέλιξη των εποχιακών μέσων τιμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των επιπτώσεων των μετεωρολογικών συνθηκών οι οποίες επηρεάζουν τις προαναφερθείσες καθοδικές τάσεις.

Με την παραδοχή ότι οι εποχιακές μέσες τιμές του CO, M_w και M_s είναι εξαρτημένες γραμμικά από τις αντίστοιχες εκπομπές E_w και E_s ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$M_w = K_w \times E_w \quad (1) \quad E_w = \text{Εκπομπές CO κατά την χειμερινή περίοδο}$$

$$E_s = \text{Εκπομπές CO κατά την θερινή περίοδο}$$

$$M_s = K_s \times E_s \quad (2) \quad M_w = \text{Μέση χειμερινή συγκέντρωση CO}$$

$$M_s = \text{Μέση θερινή συγκέντρωση CO}$$

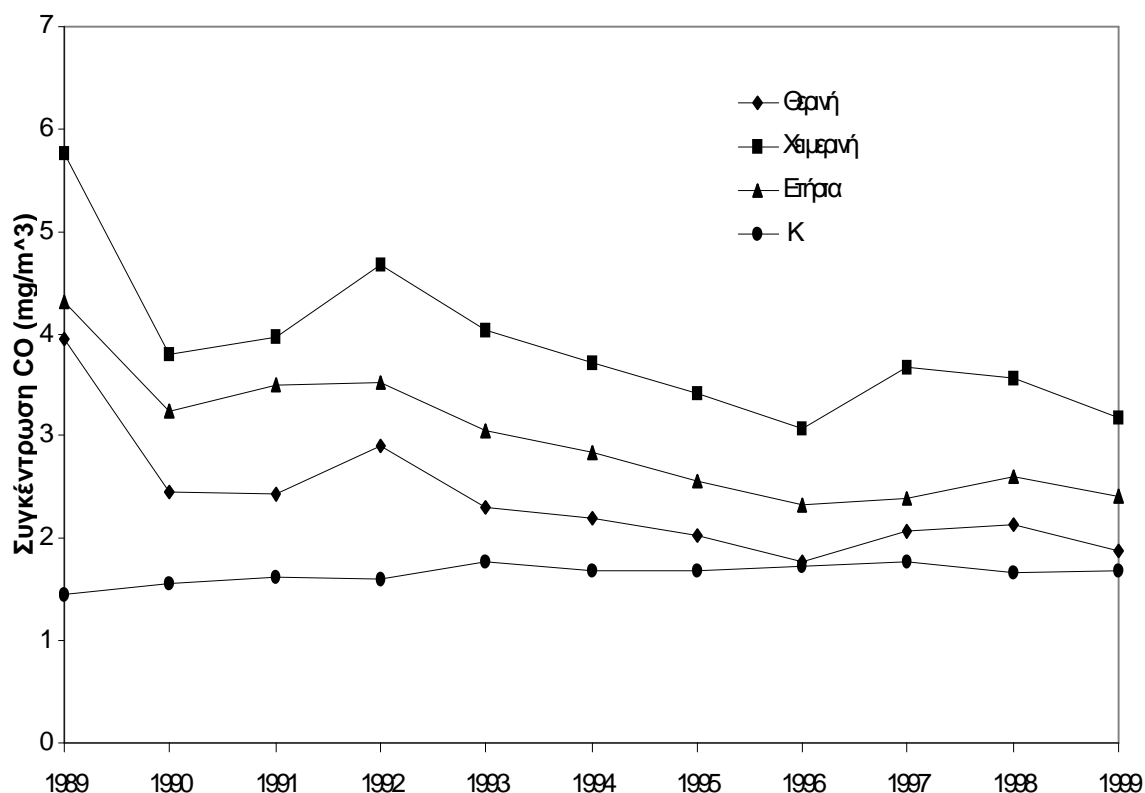
Οι αναλογικοί συντελεστές K_w και K_s αναφέρονται κυρίως στα μετεωρολογικά δεδομένα και λιγότερο στις συγκεντρώσεις του CO της συγκεκριμένης περιοχής. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το CO χαρακτηρίζεται από έναν σχεδόν ομαλό βαθμό εκπομπής κατά την διάρκεια ενός έτους λόγω μίας πηγής που οφείλεται στις οδικές μεταφορές, τότε και οι ποσότητες E_w και E_s μπορούν να χαρακτηριστούν με τον ίδιο τρόπο (σχέσεις 1,2). Επομένως ο μετεωρολογικός συντελεστής K μπορεί να ορισθεί ως ακολούθως:

$$K = \frac{M_w}{M_s} = \frac{K_w}{K_s} \quad (3)$$

Με βάση την σχέση (3) και σε συνδυασμό με την χαμηλή αντιδραστικότητα του CO στην ατμόσφαιρα, ο συντελεστής K μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας δείκτης των επιπτώσεων διάχυσης του CO κατά την διάρκεια των εποχών στα διάφορα έτη.

Οι τιμές του συντελεστή K που υπολογίστηκαν για κάθε έτος φαίνονται στο διάγραμμα 3-40. Οι τιμές του K παραμένουν σχεδόν σταθερές, και υποδεικνύουν παρόμοιες συνθήκες διάχυσης κατά την διάρκεια των ετών.

Σχήμα 3-40: Ετήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων του CO και διαχρονική εξέλιξη της τιμής του συντελεστή K (έτη 1989-1999)



Από το προηγούμενο σχήμα φαίνεται ότι οι τιμές του συντελεστή K είναι σταθερές, (μέση τιμή = 1.65, τυπική απόκλιση = 0.09) και επομένως η μετεωρολογία φαίνεται να παίζει μικρό ρόλο στις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του CO.

Από τις τιμές του συντελεστή K έμμεσα εξάγεται το συμπέρασμα μιας ισχυρής ομοιογένειας μεταξύ των εκπομπών στην Αθήνα. Επομένως οι παρατηρούμενες μειώσεις στις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του CO πρέπει να αποδοθούν αποκλειστικά στην αποτελεσματική μείωση των εκπομπών του. Αυτή η υπόθεση επιβεβαιώνεται και από τις ετήσιες τάσεις των συγκεντρώσεων του CO κυρίως στους σταθμούς οδικής κυκλοφορίας και που οφείλονται κατά κύριο λόγο στην αντικατάσταση του στόλου των παλαιών οχημάτων με άλλα που χρησιμοποιούν τριοδικό καταλύτη, αλλά και στην υλοποίηση των προγραμμάτων συντήρησης και επίβλεψης μη καταλυτικών οχημάτων.

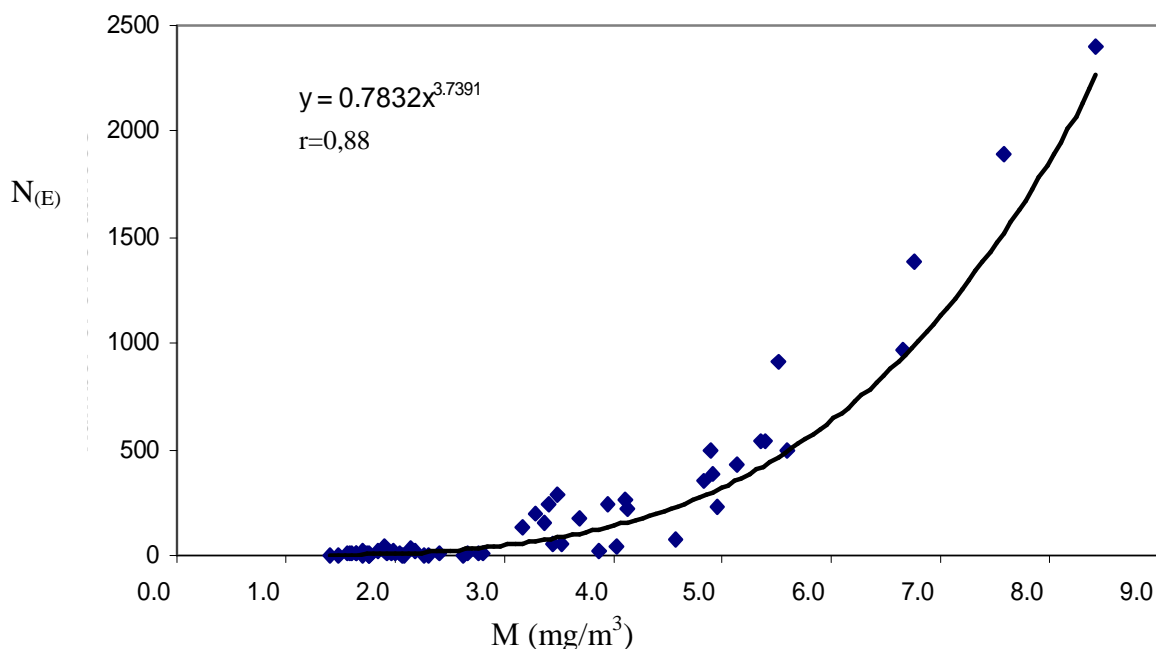
3.9. Εμπειρικό μοντέλο υπολογισμού δώρων υπερβάσεων

Με τιμή αναφοράς την οριακή τιμή 10 mg/m^3 ως μέγιστη ημερήσια δώρη μέση τιμή που πρόκειται να ισχύει και στην Ελλάδα από το 2005, υπολογίστηκε ο αριθμός των υπερβάσεων που παρατηρήθηκαν στις 67 από τις 75 ετήσιες χρονοσειρές στο Λεκανοπέδιο. Με βασικό σκοπό την εξαγωγή ικανών συσχετίσεων για την αξιολόγηση των επιπτώσεων από ενδεχόμενες μειώσεις των συγκεντρώσεων του CO στην ποιότητα του αέρα, εξετάστηκε η δυνατότητα αξιοποίησης του αριθμού των δώρων υπερβάσεων των ετήσιων χρονοσειρών. Η ανάλυση αυτή προσανατολίστηκε κυρίως στην ανάπτυξη μιας σχέσης μεταξύ του αριθμού των ετήσιων υπερβάσεων N_E σε κάθε σταθμό για κάθε ετήσια χρονοσειρά και της αντίστοιχης ετήσιας μέσης τιμής M .

Στο επόμενο σχήμα 3-41 εμφανίζεται γραφικά η σχέση με την αντίστοιχη μαθηματική εξίσωση που την εκφράζει. Η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πράξη ως ένα εμπειρικό μοντέλο εκτίμησης δώρων ετήσιων υπερβάσεων με χρήση της μέσης ετήσιας τιμής του CO.

Οι ικανότητες εκτίμησης του εμπειρικού μοντέλου είναι πολύ καλές με συντελεστή συσχέτισης 0.88 μεταξύ μετρούμενων και εκτιμώμενων χρονοσειρών. Το μοντέλο αξιολογήθηκε με βάση τα δεδομένα της χρονοσειράς του 1993, η οποία δεν χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των αριθμητικών παραμέτρων της εξίσωσης (4) και ο συντελεστής συσχέτισης ήταν 0.87.

Σχήμα 3-41: Εμπειρικό μοντέλο πρόβλεψης δώρων υπερβάσεων.



* Το έτος 1993 χρησιμοποιήθηκε μόνο για αξιολόγηση του μοντέλου

Όπως φαίνεται στο σχήμα η εξίσωση για την πρόβλεψη των N_E με βάση την μέση τιμή M είναι η ακόλουθη:

$$N_{(E)} = 0.78 C^{3.74} \quad (4)$$

Για να υπολογιστεί το σύνολο των προβλεπόμενων δωρων ετήσιων υπερβάσεων βάση του προηγούμενου μοντέλου, αντικαθίσταται η μέση ετήσια τιμή της εξίσωσης (4) με την μέση τιμή για κάθε έτος και για κάθε σταθμό. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται το N για τις 67 συνολικά από όλους τους σταθμούς χρονοσειρές που εξετάστηκαν.

3.10. Εφαρμογή μοντέλου ποσόστωσης για την αξιολόγηση μείωσης των εκπομπών του CO

Το μοντέλο που εφαρμόζεται χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των επιπτώσεων από μειώσεις των εκπομπών του CO στην ποιότητα του αέρα. Οι αναμενόμενες επιπτώσεις του ποσοστού μείωσης R των εκπομπών του CO στις μετρούμενες συγκεντρώσεις του, για κάθε σταθμό μέτρησης, μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$R = \frac{M_A - M_R}{M_A - B} \quad (5)$$

όπου το M_A και το M_R αντιπροσωπεύουν την μέση τιμή συγκέντρωσης του CO που μετρήθηκε στον συγκεκριμένο σταθμό και την τιμή που αντιστοιχεί στο επίπεδο μείωσης που υιοθετείται κάθε φορά, αντίστοιχα. Η τιμή B εκφράζει την συγκέντρωση υποβάθρου. Η συγκέντρωση υποβάθρου, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 2.3.4, υπολογίζεται σαν το ελάχιστο της μέσης τιμής των ετήσιων συγκεντρώσεων του CO που βασίζονται στις ελάχιστες ημερήσιες συγκεντρώσεις για κάθε σταθμό. Στην περιοχή των Αθηνών η συγκέντρωση υποβάθρου βρέθηκε 0.16 mg/m^3 .

Οι τιμές του M_R που υπολογίζονται για κάθε σενάριο μείωσης των εκπομπών μπορούν να εισαχθούν στο εμπειρικό μοντέλο (4) και να υπολογιστεί έτσι ο αριθμός των υπερβάσεων της οριακής τιμής 10 mg/m^3 για κάθε σταθμό μέτρησης.

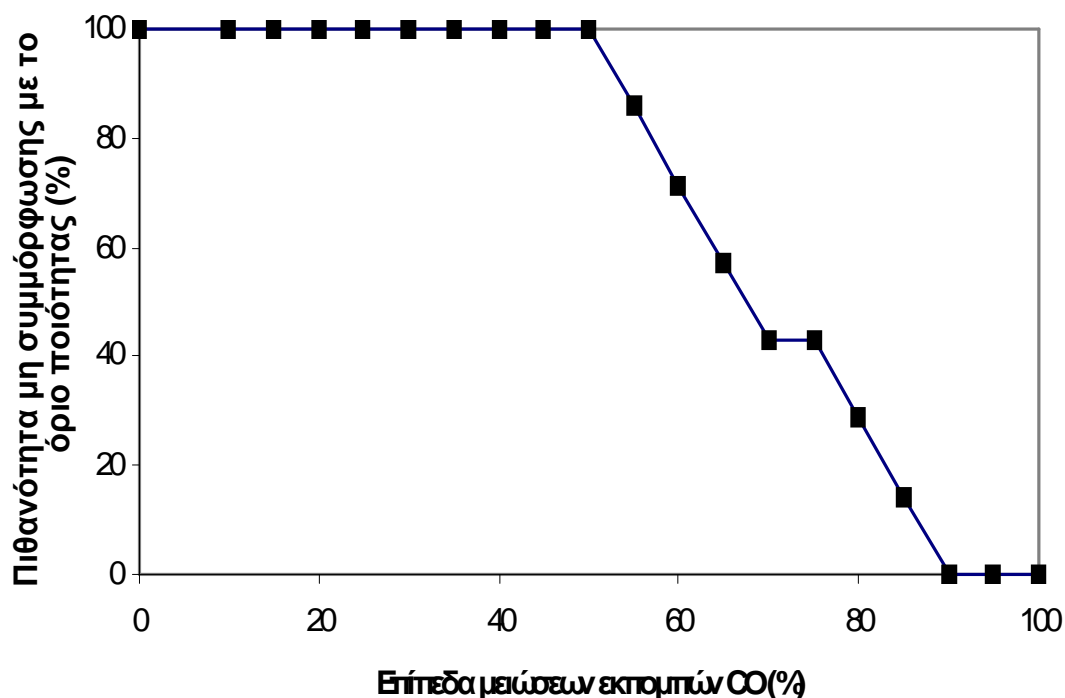
Λόγω της ομοιογένειας της περιοχής των Αθηνών όπου γίνονται οι μετρήσεις, το ποσοστό (%) των σταθμών μέτρησης-για ένα δεδομένο επίπεδο μείωσης του CO-στους οποίους εξακολουθούν να υπάρχουν υπερβάσεις του ορίου ποιότητας των 10 mg/m^3 , μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης για την πιθανότητα της μη συμμόρφωσης για όλη την περιοχή.

Αρχίζοντας με την κατάσταση που υπήρχε στο τέλος του 1993, όταν το 100% των σταθμών μέτρησης δεν ήταν συμμορφωμένο με το όριο ποιότητας των 10 mg/m^3 , οι τιμές του M_R που υπολογίστηκαν από την εξίσωση (5) για διάφορα επίπεδα μείωσης των εκπομπών CO χρησιμοποιούνται ως δεδομένα στο μοντέλο (4) για τον υπολογισμό των υπερβάσεων που αναμένονται σε κάθε σταθμό, για την εκτίμηση της συμμόρφωσης ή μη της περιοχής με το όριο ποιότητας. Είναι δυνατόν να υπολογιστεί η μείωση των εκπομπών που απαιτείται για κάθε επίπεδο συμμόρφωσης.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 3-42. Για την συμμόρφωση και των 7 σταθμών μέτρησης (0% πιθανότητα μη συμμόρφωσης) με το όριο των 10 mg/m^3 απαιτούνται επίπεδα μείωσης των εκπομπών του CO της τάξης του 90%, ενώ για

ποσοστά μείωσης κάτω από 50% δεν υπάρχει καμιά βελτίωση. Ακόμα και για ποσοστό μείωσης 70% των εκπομπών υπάρχει πιθανότητα 40% μη συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας (3 σταθμοί με υπέρβαση του ορίου).

Σχήμα 3-42: Πιθανότητα μη συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης των εκπομπών του CO.



Πρέπει να επισημανθεί ότι ο βαθμός συμμόρφωσης όλης της περιοχής μπορεί να επηρεαστεί από μεμονωμένα τυχαία περιστατικά, που κυρίως οφείλονται στις μετεωρολογικές συνθήκες, και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά επεισόδια ρύπανσης. Εξάλλου τέτοια περιστατικά είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν από απλά μακροχρόνια μοντέλα πρόβλεψης που βασίζονται στις μέσες συγκεντρώσεις των σταθμών μέτρησης.

Ως μια ένδειξη για τον χρόνο που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί μια συγκεκριμένη μείωση εκπομπών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αξιολόγηση από την αναμενόμενη τάση των εκλυόμενων εκπομπών του CO λόγω κυκλοφορίας του στόλου των επιβατικών οχημάτων, που οφείλεται κυρίως στην εισαγωγή του τριτοδικού καταλύτη.

Από την εξίσωση του εμπειρικού μοντέλου (4) υπολογίζεται μια τιμή 1.05 mg/m^3 της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης, η οποία να αντιστοιχεί σε όλη την περιοχή των Αθηνών και να αναφέρεται σε κατάσταση πλήρους συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας ($N_E = 0$, κυλιόμενων δώρων).

4. Μελέτη για το NO₂

4.1. Συγκεντρώσεις NO₂ στην ατμόσφαιρα

Οι αστικές συγκεντρώσεις σε NO₂ είναι συνήθως μεγαλύτερες από άλλες περιοχές και κοντά σε πηγές εκπομπών. Στο αστικό υπόβαθρο εμφανίζεται μια απότομη αυξητική τάση των συγκεντρώσεων του NO₂ και οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στον μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο των οδικών αρτηριών. Αυτή η τάση μπορεί να είναι περισσότερο έντονη κοντά σε βαριά ρυπασμένες περιοχές και κατά την διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης.

Υπάρχουν τέσσερις μεγάλες έρευνες οι οποίες και συνοψίζουν την συγκέντρωση των αέριων ρύπων σε μεγάλες Ευρωπαϊκές πόλεις: Η έρευνα της ΠΟΥ "Concern for Europe's Tomorrow" (CET), έρευνα των ορίων ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη (Dorbis), το πρόγραμμα "Auto-Oil" που εφαρμόστηκε σε 7 πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τέλος το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα με την ονομασία MA2-4 "European air Quality, 1993".

Στην έρευνα CET της ΠΟΥ υπολογίστηκε ο αριθμός του αστικού πληθυσμού έκθεσης σε NO₂. Συγκεντρώσεις NO₂ από 144 πόλεις σε 18 χώρες της Ευρώπης ήταν διαθέσιμες. Οι πόλεις αντιπροσώπευαν 91 εκατομμύρια κατοίκους δηλαδή το 29% του Ευρωπαϊκού πληθυσμού αστικού υποβάθρου την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η μέση ημερήσια τιμή των συγκεντρώσεων του NO₂ σε ετήσια βάση ξεπέρασε την τιμή των 60 μg/m³ για το 19% των κατοίκων σε αυτές τις πόλεις και την τιμή των 100 μg/m³ σε μια πόλη περίπου ενός εκατομμυρίου κατοίκων. Σε 25 από τις πόλεις που αναφέρονται στην μελέτη της ΠΟΥ με πληθυσμό 21 εκατομμύρια κατοίκους, η μέση ημερήσια τιμή της συγκέντρωσης του NO₂ υπερέβη την τιμή των 150 μg/m³. Στις περισσότερες πόλεις οι υπερβάσεις έγιναν λιγότερο από 10 φορές για κάθε έτος και ήταν συχνότερες στην Δυτική παρά στην Ανατολική Ευρώπη.

Οι συγκεντρώσεις αστικού υποβάθρου συνοψίζονται στο πρόγραμμα "Dorbis" για μεγάλες Ευρωπαϊκές πόλεις άνω των 500.000 κατοίκων (1985-1990), και σε αντίθεση με το πρόγραμμα "CET" υπάρχουν στοιχεία και για μικρότερες πόλεις. Οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις NO₂ σε ετήσια βάση ήταν παρόμοιες σε πολλές πόλεις της Δυτικής Ευρώπης. Κατά την διάρκεια του έτους 1990 η μέση ετήσια συγκέντρωση σε 22 πόλεις ήταν 46 μg/m³ με τυπική απόκλιση μόνο 6 μg/m³.

Το πρόγραμμα "Auto-Oil" περιέχει δεδομένα μετρήσεων NO₂ από 90 πόλεις (194 σταθμούς μέτρησης συνολικά από τους οποίους οι 80 στην Γερμανία). Οι περισσότερες πόλεις χαρακτηρίζονται σαν σταθμοί αστικού υποβάθρου, αλλά στα δεδομένα περιέχουν και σταθμούς οδικής κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα του προγράμματος φαίνονται στον πίνακα 4-1 που ακολουθεί:

Πίνακας 4-1: Αριθμός υπερβάσεων από δεδομένα του προγράμματος "Auto-Oil", 1995

		Αριθμός σταθμών που υπάρχουν υπερβάσεις	Συνολικός αριθμός σταθμών μέτρησης
Τιμές οδηγίων Ευρωπαϊκής Ένωσης	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
50 ^ο εκατοστημόριο	50	34	163
98 ^ο εκατοστημόριο	135	13	163
Τιμές οδηγίων της ΠΟΥ	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή	150	5	109
Μέγιστη ωριαία μέση τιμή	400	3	97

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 4-1 φαίνεται ότι στην ατμόσφαιρα αστικού υποβάθρου στις πόλεις της Ευρώπης υπάρχουν συχνά υπερβάσεις του 50^ο εκατοστημορίου, με μεγαλύτερη τιμή αυτή των 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το όριο του 98^ο εκατοστημορίου και η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση έχουν πολύ λιγότερες υπερβάσεις.

Το πρόγραμμα "Auto-Oil" εφαρμόστηκε στις πόλεις: Αθήνα, Κολονία, Λονδίνο, Λιόν, Μαδρίτη, Μιλάνο και Χάγη.

4.2. Πηγές εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x)

Οι εκπομπές των NO_x προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και κυρίως από αυτή της καύσης, όπου το NO σχηματίζεται από αντίδραση μεταξύ του αζώτου (N) και του οξυγόνου (O₂) στο περιβάλλον της καύσης. Η ποσότητα σχηματισμού οφείλεται στις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας της διαδικασίας της καύσης. Μικρές ποσότητες NO₂ (συνήθως <10%) εκπέμπονται κατευθείαν από την καύση. Τα NO_x εκπέμπονται και από φυσικά φαινόμενα όπως τα ηφαίστεια, οι κεραυνοί, από τις χημικές αντιδράσεις στο έδαφος και αποτελούν σημαντικό ποσοστό σε παγκόσμια κλίμακα, αλλά αποτελούν μικρό ποσοστό (<10%) των συνολικών εκπομπών στις χώρες της Ευρώπης.

Οι κύριες ανθρωπογενείς δραστηριότητες εκπομπής NO_x προέρχονται από πηγές καύσης, που οφείλονται στις μεταφορές (οδικές, αεροπορικές, θαλάσσιες) και από σημειακές πηγές καύσης (συμπεριλαμβανομένων και των βιομηχανικών). Αυτές οι κύριες κατηγορίες εκπομπών NO_x αντιστοιχούσαν στο 57 και 39 % των συνολικών εκπομπών NO_x το έτος 1994 (CORINAIR, 1995). Τα οξείδια του αζώτου από βιομηχανικές διαδικασίες εκπέμπονται κυρίως με την μορφή NO₂, ενώ οι βιομηχανικές πηγές καύσης κυρίως εκπέμπουν NO. Η απευθείας εκπομπή NO₂ μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στις συνολικές συγκεντρώσεις ορισμένων περιοχών.

Από την στιγμή που οι ποσότητες των NO_x εξαρτώνται από τις συνθήκες καύσης και τα φορτία των βιομηχανικών διαδικασιών, εκτιμήσεις από διαφορετικούς τύπους πηγών και περιοχών μπορεί ορισμένες φορές να εμπεριέχουν αβεβαιότητα. Σε μερικές περιπτώσεις ο βαθμός αβεβαιότητας μπορεί να είναι μεγάλος.

4.3. Επιπτώσεις στην υγεία

Τόσο η μακροχρόνια όσο και η βραχυχρόνια έκθεση σε NO₂ μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, οι οποίες και διαφέρουν ανάλογα με τον χρόνο έκθεσης.

Έτσι βραχυχρόνια έκθεση σε πολύ μεγάλη συγκέντρωση NO₂ μπορεί να προκαλέσει πνευμονικές βλάβες σε υγιείς ανθρώπινους οργανισμούς. Έκθεση ανθρώπων με χρόνιες ασθένειες των πνευμόνων, όπως άσθμα, έχει σαν συνέπεια δυσλειτουργίες στο "φιλτράρισμα" του αέρα. Χρόνια έκθεση (μακροχρόνια) σε NO₂ έχει συνδεθεί με αυξημένα αναπνευστικά συμπτώματα, κυρίως όταν πρόκειται για έκθεση σε εσωτερικούς χώρους.

Επανελημμένες εκθέσεις παιδιών χρονικά παρατεταμένες σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις τυπικές ορισμένων ρυπασμένων περιοχών, συσχετίζονται με επιδεινούμενα συμπτώματα βρογχίτιδας. Σε πολλές περιπτώσεις, η εισπνοή NO₂ αυξάνει την επιδεκτικότητα των πνευμόνων για εμφάνιση βακτηριακών λοιμώξεων. Άτομα που κατοικούν σε χώρους με θερμάστρες αερίου και πετρελαίου, εκτίθενται σε υψηλές συγκεντρώσεις NO₂, σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές των εξωτερικών χώρων.

Οι μεθοδολογίες για την έρευνα μεγάλης έντασης αναστρέψιμων συνθηκών και χρόνιων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, είναι διαφορετικές. Συνεπώς τα προβλήματα υγείας που σχετίζονται με έκθεση σε NO₂ πρέπει να διαχωρίζονται, όταν προέρχονται από βραχυχρόνια ή μακροχρόνια έκθεση, αν και αυτό σε πολλές περιπτώσεις είναι πολύ δύσκολο να παρατηρηθεί.

Ορισμένες έρευνες έχουν καταλήξει σε πιθανές συνεργητικές επιπτώσεις NO₂ και του O₃. Οι δύο αυτοί ρύποι σε συνδυασμό, είναι ύποπτοι για επιδείνωση αλλεργικών αντιδράσεων κατά την εισπνοή αλλεργιογόνων. Στην μεγάλη Πανευρωπαϊκή έρευνα (APHEA) όπου μελετήθηκε η βραχυχρόνια έκθεση σε αέριους ρύπους στην ανθρώπινη υγεία χρησιμοποιώντας επιδημιολογικές χρονοσειρές δεδομένων (1996), βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ επιπέδων ρύπανσης και επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, αλλά ο ρόλος του NO₂ δεν ήταν ξεκάθαρος.

4.4. Στόχοι της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ)

Παρόλο που δεν υπάρχει συγκεκριμένη έρευνα ή σειρά ερευνών που να υποστηρίζουν μια αριθμητική τιμή των συγκεντρώσεων NO₂ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, η ΠΟΥ έχει σκοπό την προστασία από χρόνιες εκθέσεις και έχει προτείνει τις ακόλουθες τιμές:

- Ø 200 µg/m³, για μέση ωριαία τιμή
- Ø 40 µg/m³, για μέση ετήσια τιμή

4.5. Όρια ποιότητας αέρα της ΕΕ για το NO₂.

Η ΕΕ με την οδηγία 99/ΕΚ (Βρυξέλλες, 24 Μαρτίου 1999), καθορίζει την οριακή τιμή για το NO₂ όπως αυτή παρουσιάζεται από τα στοιχεία του πίνακα 4-2:

Πίνακας 4-2: Οδηγία της ΕΕ για την οριακή τιμή το NO₂.

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία μέχρι την οποία πρέπει να επιτευχθεί η οριακή τιμή
Οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	1 ώρα	200 µg/m ³ NO ₂ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 18 φορές ανά ημερολογιακό έτος.	50% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, μειούμενο από 1 ^η Ιανουαρίου* και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φθάσει το 0% την 1 ^η Ιανουαρίου 2010.	1 ^η Ιανουαρίου 2010

* Η ημερομηνία θα είναι 1 ή 2 Ιανουαρίου μετά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας.

Πηγή: Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων

4.6. Δεδομένα και τάσεις εκπομπών

Τα δεδομένα των εκπομπών NO₂ των Ευρωπαϊκών χωρών προέρχονται από το πρόγραμμα (CORINAIR). Δεδομένα του έτους 1995 από κύριες κατηγορίες πηγών εκπομπής σε διαφορετικές χώρες παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα 4-3.

Πίνακας 4-3 : Εκπομπές NO₂ στις χώρες της Ευρωπαϊκής για το έτος 1995 για διαφορετικές κατηγορίες πηγών (CORINAIR, Ιούλιος 1996).

Μονάδα μέτρησης : 1000 τόνοι NO₂.

- Κατηγορίες πηγών
1. Καύσεις στις βιομηχανίες ενέργειας και μεταποίησης
 2. Μη βιομηχανικές καύσεις
 3. Καύσεις σε βιομηχανίες παραγωγής
 4. Διαδικασίες παραγωγής
 5. Εξόρυξη και διανομή ορυκτών καυσίμων/Γεωθερμική ενέργεια
 6. Βιομηχανία διαλυτών και άλλων προϊόντων
 7. Οδικές μεταφορές
 8. Άλλες πηγές οχημάτων και μηχανημάτων
 9. Διαχείριση και απόρριψη αποβλήτων
 10. Γεωργικές και δασικές εκμεταλλεύσεις
 11. Φυσικές διαδικασίες

Πηγή εκπομπών	Ενέργεια	Διαδικασίες	Καύσιμα, Διαλύτες	Οχήματα	Άλλες ανθρωπογενείς διαδικασίες	Φυσικές διαδικασίες	Σύνολο
Κατηγορίες	1,2,3	4	5,6	7,8	9,10	11	
Χώρα							
Αυστρία	49	12	0	99	0	0	160
Βέλγιο	148	4	0	218	4	0	374
Δανία	146	1	4	151	0	0	302
Φιλανδία	90	20	0	178	0	0	288
Γαλλία	304	29	0	1132	29	6	1500
Γερμανία	904	23	0	1455	0	0	2382
Ελλάδα	133	36	0	206	5	1	381
Ισλανδία	1	0	0	22	0	0	22
Ιρλανδία	63	0	0	54	0	0	117
Ιταλία	751	11	0	1365	31	0	2157
Λιχτεστάιν	0	0	0	0	0	0	0
Λουξεμβούργο	11	0	0	10	0	0	21
Ολλανδία	176	12	1	317	27	10	543
Νορβηγία	44	8	0	170	0	0	222
Πορτογαλία	82	5	0	166	0	2	254
Ισπανία	443	10	0	753	17	4	1228
Σουηδία	-	-	-	-	-	-	392
Ελβετία	27	0	0	104	9	3	143
Ηνωμένο Βασίλειο	852	5	109	1245	4	0	2216
Σύνολο	4224	177	114	7643	126	26	12310
%	34	1	1	62	1	0	100

Επίσημα δεδομένα εθνικών εκπομπών NO₂ της Ευρώπης προέρχονται από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα μέτρησης και αξιολόγησης (EMEP). Τα δεδομένα αναφέρονται από το 1980 και οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των ετών 1980 και 1993 έχουν μελετηθεί. Οι σχέσεις μεταξύ των εκπομπών αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα ().

Από τον πίνακα 4-4 φαίνεται μια μικρή τάση μείωσης 2% στο σύνολο των εκπομπών NO₂ στην Ευρώπη. Εκπομπές NO₂ από σημειακούς σταθμούς μέτρησης έχουν μειωθεί σε πολλές περιοχές, ενώ οι εκπομπές από τις οδικές μεταφορές παρουσιάζουν αύξηση που οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των οχημάτων και της διανυόμενης απόστασης. Ως το έτος 1993 που υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία είχε αρχίσει η

αντικατάσταση του παλαιού στόλου των οχημάτων με καινούργια νέας τεχνολογίας (χρήση τριοδικού καταλύτη), αλλά σε μικρή κλίμακα.

Πίνακας 4-4: Εκπομπές διοξειδίου του αζώτου σε Ευρωπαϊκές πόλεις το 1992 ανά μονάδα περιοχής $g\ NO_2/m^2/\acute{\epsilon}τος$. Οι εκπομπές ανά κάτοικο δίνονται σε $Kg\ NO_2/\acute{\alpha}τομο$.

Χώρα	Εκπομπές ανά μονάδα περιοχής	Εκπομπές ανά άτομο	Σχέση στις συνολικές εκπομπές 1980-1993
Αλβανία	0,3	3	0
Αυστρία	2,6	30	-26
Λευκορωσία	1,3	26	-12
Βέλγιο	10,8	33	-21
Βουλγαρία	2,3	30	-43
Πρώην Τσεχοσλοβακία	6,9	56	-33
Δανία	6,6	56	-4
Εσθονία	1,0	30	0
Φιλανδία	1,0	69	-4
Γαλλία	3,3	33	-17
Γερμανία	12,8	43	-17
Ελλάδα	5,6	76	0
Ουγγαρία	2,6	23	-33
Ισλανδία	<0,2	49	-8
Ιρλανδία	2,0	36	67
Ιταλία	5,9	30	39
Λετονία	0,7	16	0
Λιθουανία	1,0	20	0
Λουξεμβούργο	7,2	53	-17
Μολδαβία	1,6	13	0
Ολλανδία	16,1	36	-4
Νορβηγία	0,7	56	21
Πολωνία	3,9	33	-24
Πορτογαλία	1,3	13	48
Ρουμανία	1,6	16	20
Ρωσία	<0,2	20	31
Ισπανία	1,6	23	32
Σουηδία	1,0	49	-6
Ελβετία	4,3	26	-23
Τουρκία	0,3	3	0
Ουκρανία	1,6	20	-4
Ηνωμένο Βασίλειο	11,2	49	-2
Πρώην Γιουγκοσλαβία	1,6	16	15

4.7. Το άζωτο στην ατμόσφαιρα

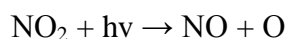
Το άζωτο υπάρχει στην ατμόσφαιρα με τις εξής μορφές: αμμωνία (NH₃), αμμώνιο (NH₄), υποξείδιο του αζώτου (N₂O), μονοξείδιο του αζώτου (NO), διοξείδιο του αζώτου (NO₂), νιτρώδες οξύ (HNO₂), νιτρικό οξύ (HNO₃), και ελεύθερες ρίζες (NO₃⁻).

Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) σχηματίζεται από την αναερόβια διαδικασία μικροβιακής απονιτριοποίησης και νιτριοποίησης, η οποία είναι εντονότερη στις αγροτικές περιοχές όπου προστίθεται άζωτο στο έδαφος ως λίπασμα. Το N₂O δρα σαν αέριο του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παρόλα αυτά δεν συνδέεται με την χημεία του NO₂ στην ατμόσφαιρα και επομένως δεν είναι τόσο σημαντική η εκτίμηση του για την ποιότητα του αέρα. Τα NO_x εκπέμπονται κυρίως σαν NO (>90%). Το NO σχηματίζεται σχεδόν ακαριαία μετά από αντίδραση με το όζον (O₃) ή άλλες δραστικές ενώσεις (HO₂, RO₂).

Μέσω ενός αριθμού από διαφορετικές ατμοσφαιρικές αντιδράσεις μερικές ποσότητες NO_x τελικά θα δημιουργήσουν HNO₃/NO₃⁻, τα οποία με το NO₂ θα μεταφερθούν από την ατμόσφαιρα μέσω της υγρασίας και της διαδικασίας της ξηρής απόθεσης. Παρόλο που το NO₂ δεν αποτελεί το κύριο οξείδιο των NO_x είναι ο κύριος ρύπος στις αστικές περιοχές λόγω της επικινδυνότητας του στην ανθρώπινη υγεία. Το NO₂ παίζει σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό των οξειδίων του φωτοχημικού νέφους.

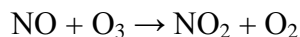
4.8. Χημικές αντιδράσεις σχηματισμού NO₂.

Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας η μόνη σημαντική παραγωγή ατόμων οξυγόνου είναι από τη φωτόλυση του NO₂:



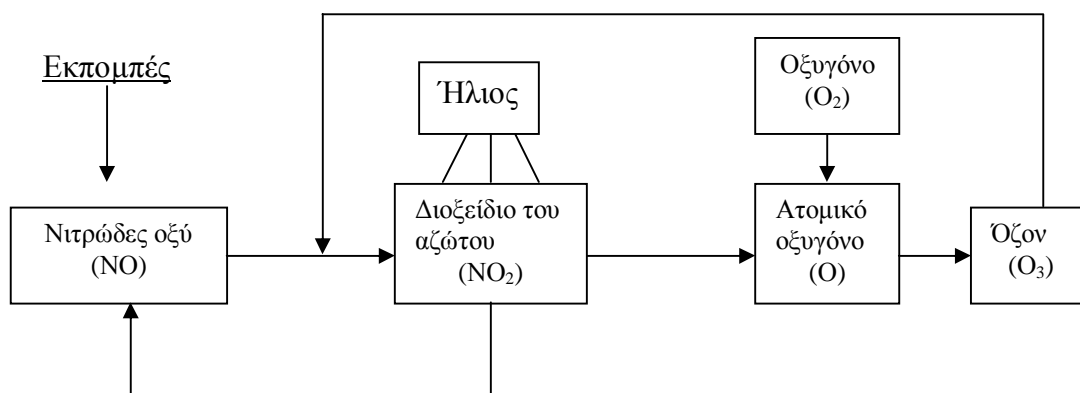
όπου το φωτόνιο $h\nu$ έχει μήκος κύματος μεταξύ 280-430 nm.

Το NO που δημιουργείται, αντιδρά γρήγορα με το O₃ και αναπαράγει NO₂:



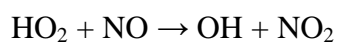
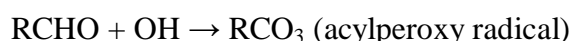
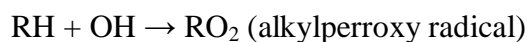
Το σύνολο αυτών των αντιδράσεων δημιουργεί ένα κύκλο που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 4-1.

Σχήμα 4-1: Απλουστευμένος κύκλος των οξειδίων του αζώτου.



Η φωτόλυση και οξείδωση ενεργών οργανικών ενώσεων είναι που παρέχει ένα άλλο αποδοτικό τρόπο για την τελική οξείδωση του NO χωρίς την καταστροφή του όζοντος. Στις χημικά ενεργές οργανικές ενώσεις περιλαμβάνονται αλδεύδες (RCHO, φορμαλδεΐδη, κ.ά.) και υδρογονάνθρακες όπως αιθένιο, διάφορα αλκένια, αλκάνια και αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Υδρογονάνθρακες όπως το μεθάνιο που αφθονεί στην ατμόσφαιρα της γης και αιθάνιο, δεν οξειδώνονται εύκολα και θεωρούνται σημαντικοί μόνον σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές. Έτσι, οι ενεργές οργανικές ενώσεις συχνά αναφέρονται ως NMOC (non methane organic compounds).

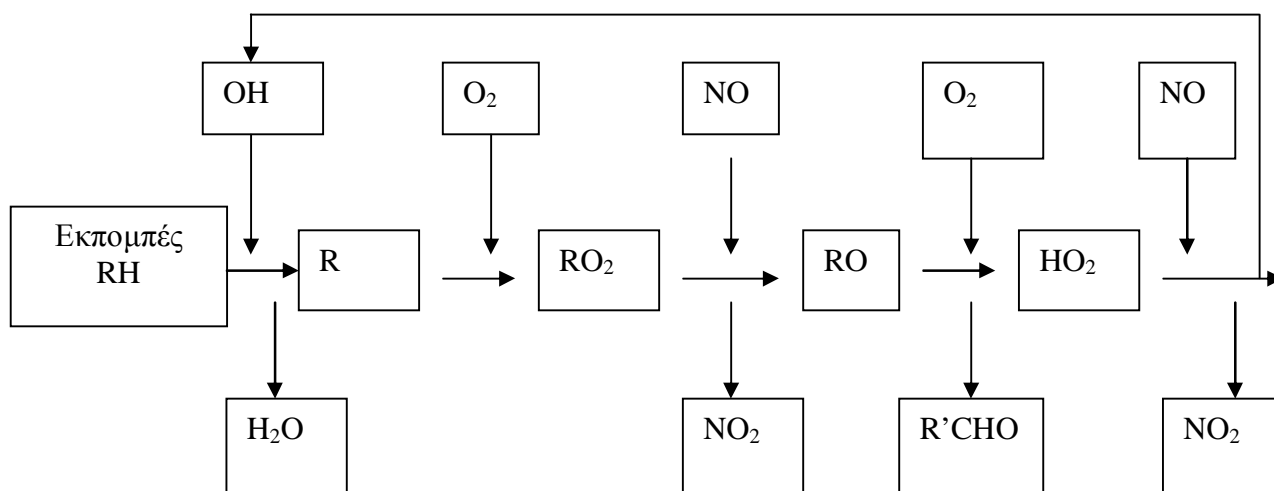
Οι κυριότεροι τρόποι για τη δημιουργία υπεροξειδίων ριζών και την εν συνεχεία οξείδωση του NO σε NO₂ είναι:



Οι ρίζες υδροξυλίου OH είναι τα κύρια οξειδωτικά μέσα για τους NMOC. Είναι πανταχού παρούσες στην ατμόσφαιρα και αναγεννώνται με διάφορους τρόπους, όπως: οξείδωση του NO με HO₂ (προηγούμενες αντιδράσεις) κ.ά.

Στο επόμενο σχήμα 4-2 εμφανίζεται ένας ολοκληρωμένος τρόπος μετατροπής/οξείδωσης NO σε NO₂ από τους υδρογονάνθρακες. Η μείωση του NO επιβραδύνει την απομάκρυνση- καταστροφή του O₃, ενώ συγχρόνως η αύξηση του NO₂ αυξάνει τη δημιουργία του O₃.

Σχήμα 4-2: Μετατροπή NO σε NO₂ από τους υδρογονάνθρακες.



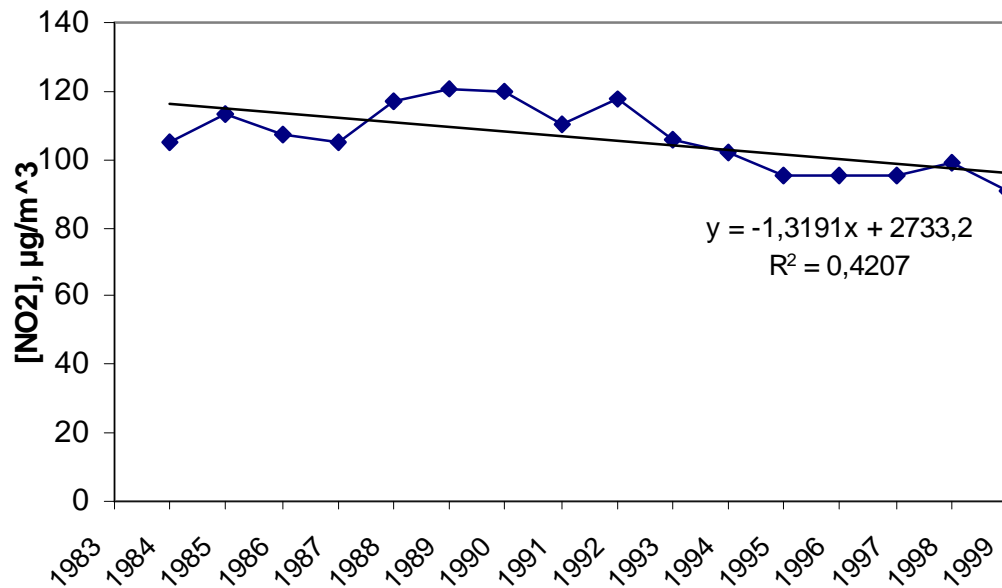
4.9. Χρονικές διακυμάνσεις των τιμών NO₂

4.9.1. Διαχρονική μεταβολή (Εύρεση γραμμικής τάσης)

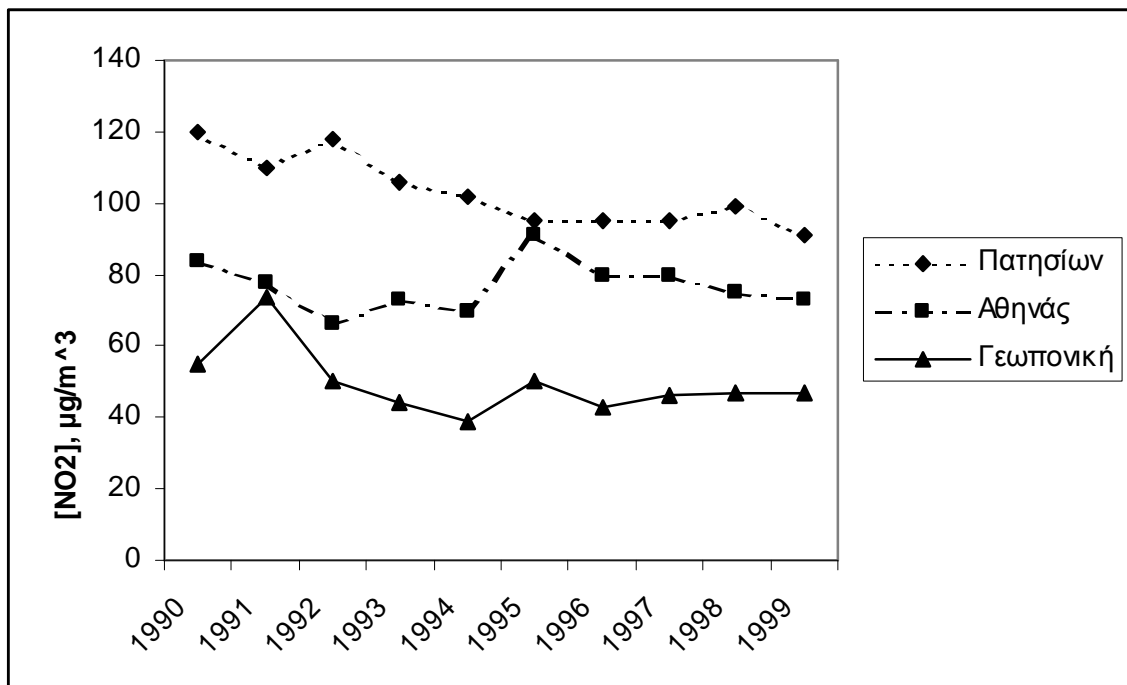
Οι μετρήσεις του NO₂ γίνονται με την μέθοδο της χημιφωταύγειας. Στα παρακάτω σχήματα (4-3,4-4,4-5) δίνονται οι διαχρονικές μεταβολές των σταθμών Αθηνάς, Γεωπονικής, Περιστερίου, Πειραιά, Ν.Σμύρνης για τα έτη 1990-1999 ενώ για το σταθμό Πατησίων δίνεται η διαχρονική μεταβολή για τα έτη 1984-1999 καθώς και η γραμμική τάση που παρουσιάζει.

Από τα επόμενα σχήματα φαίνεται να υπάρχει μια γενική τάση σταθεροποίησης των τιμών τα τελευταία χρόνια. Ιδιαίτερα για το σταθμό Πατησίων, θέση που επηρεάζεται άμεσα από τις εκπομπές των αυτοκινήτων, είναι σημαντικό ότι από το 1992 υπάρχει μια συνεχής μείωση των τιμών NO₂ και αυτό κυρίως οφείλεται στην αντικατάσταση του παλαιού στόλου των αυτοκινήτων με καινούργια που χρησιμοποιούν τριοδικό καταλύτη.

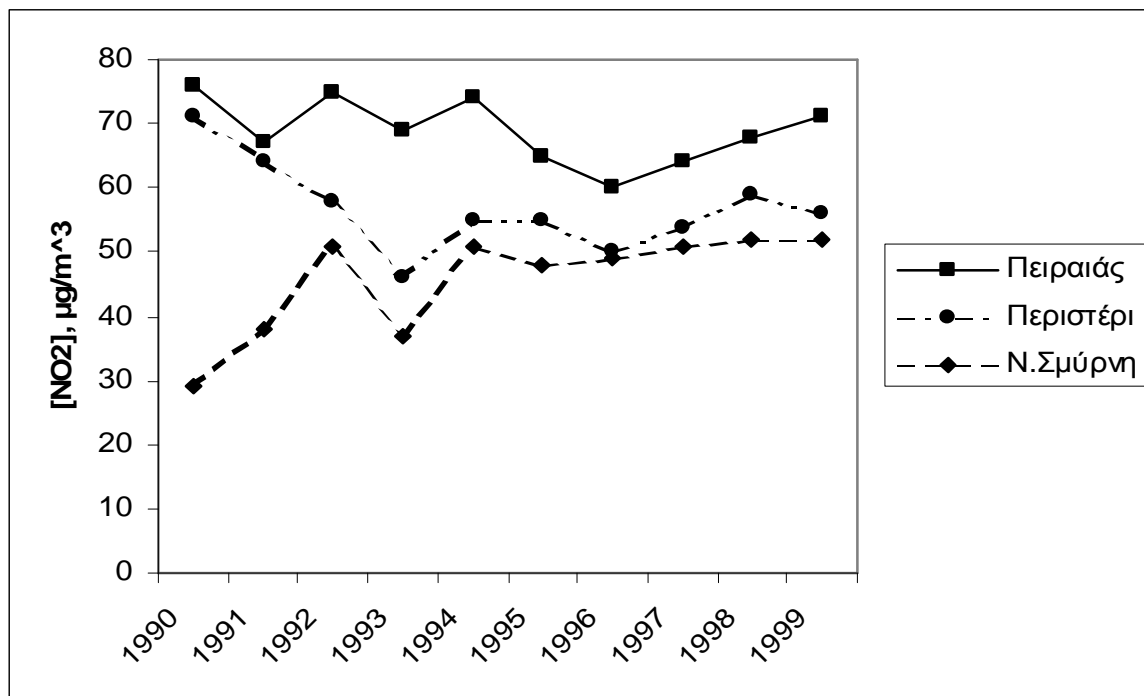
Σχήμα 4-3: Διαχρονική μεταβολή μέσων ημερήσιων τιμών NO₂, για τον σταθμό Πατησίων (1984-1999) σε μg/m³, σε ετήσια βάση.



Σχήμα 4-4: Διαχρονική μεταβολή μέσων ημερήσιων τιμών NO₂, για τους σταθμούς Πατησίων, Αθηνάς, Γεωπονικής (1990-1999) σε μg/m³, σε ετήσια βάση.



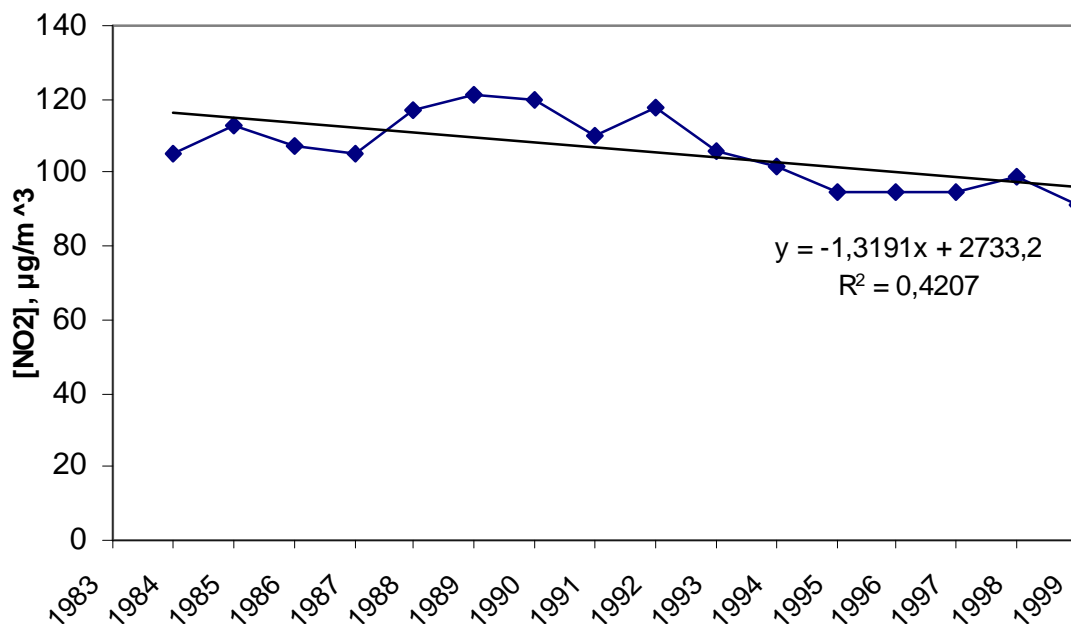
Σχήμα 4-5: Διαχρονική μεταβολή μέσω ημερήσιων τιμών NO_2 , για τους σταθμούς Πειραιάς, Περιστερίου, Ν.Σμύρνης (1990-1999) σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$, σε ετήσια βάση.



4.9.2. Χρονική διακύμανση των μέσω ημερήσιων τιμών NO_2 για όλη την περιοχή της Αθήνας, σε ετήσια βάση

Στο σχήμα 4-6 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη της μέσης ημερήσιας τιμής για τα διάφορα έτη που αφορά όλους τους σταθμούς μέτρησης με πληρότητα μεγαλύτερη από 65%.

Σχήμα 4-6: Διαχρονική εξέλιξη της μέσης τιμής όλης της περιοχής.



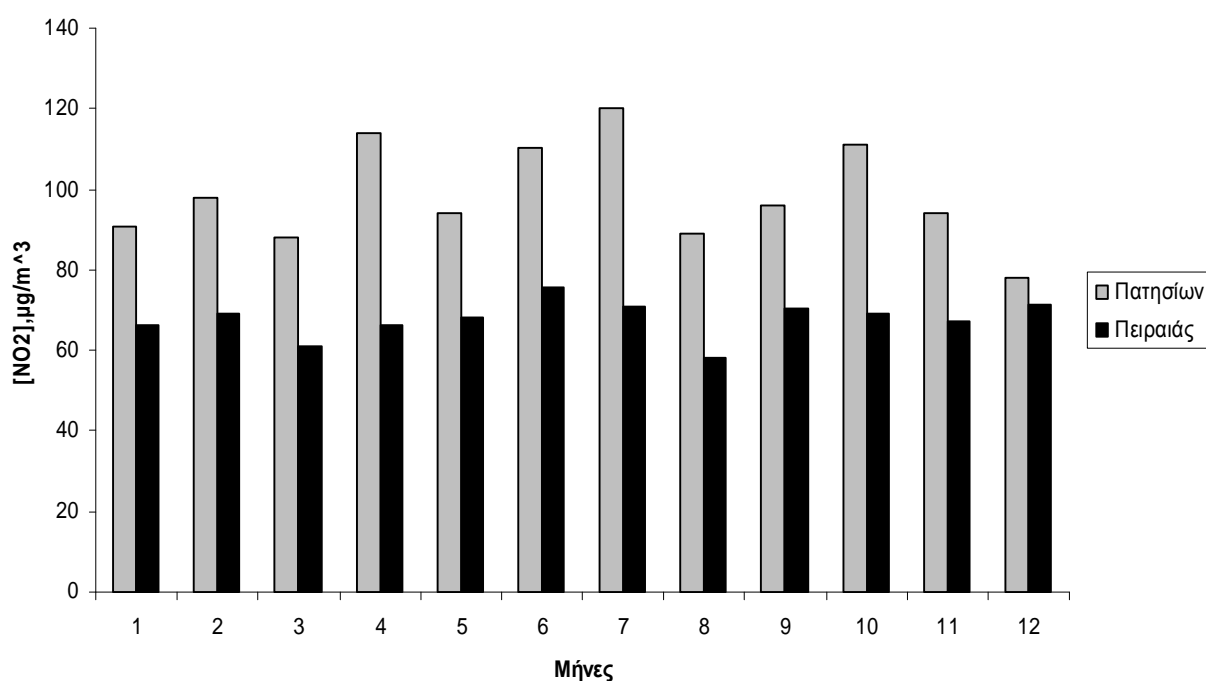
Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται η σχεδόν οριζόντια μορφή της τάσης, κάτι που σημαίνει ότι παρόλες τις αυξομειώσεις των τιμών των συγκεντρώσεων του NO₂ η εξέλιξη τους είναι διαχρονικά σταθερή. Το έτος 1989 παρουσιάζονται και οι μεγαλύτερες τιμές ενώ από το έτος 1990 και έπειτα οι τιμές περιορίζονται μόνο μεταξύ του διαστήματος τιμών 55-64 μg/m³.

4.10. Κύκλοι ρύπανσης NO₂ στην περιοχή της Αθήνας

4.10.1. Μηνιαίος κύκλος ρύπανσης

Στο επόμενο σχήμα 4-7 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μέσες μηνιαίες τιμές NO₂ στους σταθμούς Πατησίων και Πειραιά για το έτος 1998. Τόσο οι τιμές της Πατησίων όσο και του Πειραιά δεν παρουσιάζουν σαφή μηνιαία μεταβολή

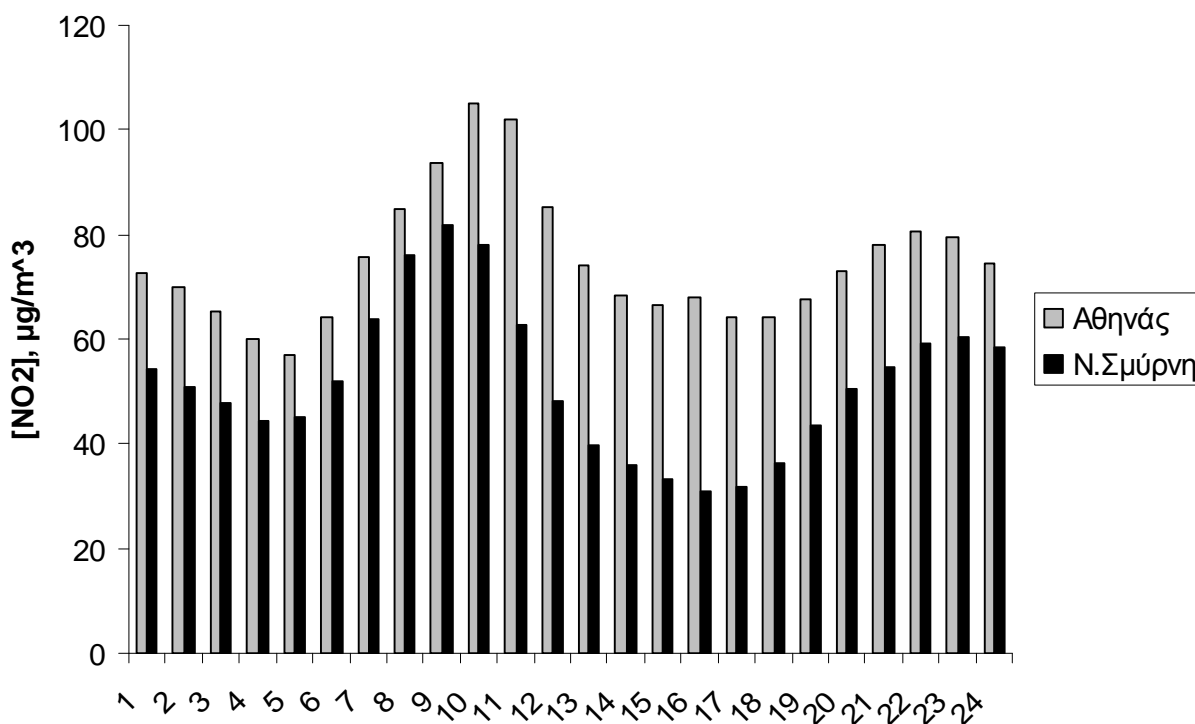
Σχήμα 4-7: Μηνιαίος κύκλος ρύπανσης NO₂ για τους σταθμούς Πατησίων και Πειραιά, το έτος 1998.



4.10.2. Ωριαίος κύκλος ρύπανσης

Από το σχήμα 4-8 προκύπτει ότι για το NO₂ οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται τις πρωινές ώρες 10-12, δηλαδή παρουσιάζουν κάποια χρονική υστέρηση σε σχέση με το NO το οποίο παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές του το πρωί 8-10 και το βράδυ 21-23 (Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, ΠΕΡΠΙΑ, Ιούνιος 1999). Η χρονική υστέρηση είναι απαραίτητη για το σχηματισμό του NO₂ από τον πρωτογενή ρύπο NO.

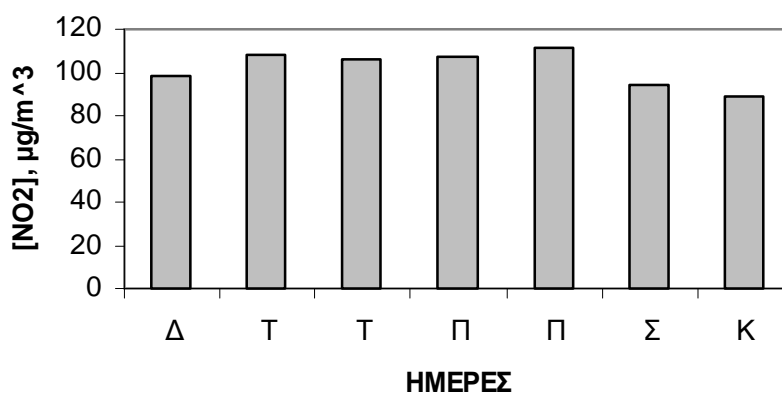
Σχήμα 4-8: Ωριαίος κύκλος ρύπανσης NO₂ για τους σταθμούς Αθηνάς και Ν.Σμύρνης, για το έτος 1998.



4.10.3. Εβδομαδιαίος κύκλος ρύπανσης

Στο σχήμα 4-9 παρουσιάζεται η ημερήσια μεταβολή NO₂ το έτος 1998 για το σταθμό Πατησίων. Είναι φανερό ότι οι τιμές του NO₂ εμφανίζουν μια μικρή μείωση στη διάρκεια του Σαββατοκύριακου. Η μείωση οφείλεται στον μικρότερο κυκλοφοριακό φόρτο τις ημέρες αυτές κοντά στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας (δεδομένου ότι το NO₂ στον σταθμό Πατησίων σχετίζεται κυρίως με τις εκπομπές των οχημάτων).

Σχήμα 4-9: Εβδομαδιαίος κύκλος ρύπανσης NO₂ στο σταθμό Πατησίων για το έτος 1998.



4.11. Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στη ρύπανση

Κατ'αντιστοιχία με την παράγραφο για την επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στις τιμές των συγκεντρώσεων του CO, τα ίδια ισχύουν και για το NO₂. Στο επόμενο σχήμα 4-10 παρουσιάζεται ένα τριαντάφυλλο ρύπανσης για τον σταθμό Πατησίων. Η μέση τιμή NO₂ μg/m³, για ώρες άπνοιας ήταν 117 μg/m³.

Σχήμα 4-10: Μέσες τιμές NO₂ για το έτος 1999 στο σταθμό Πατησίων για κάθε διεύθυνση ανέμου.

4.12. Όρια ποιότητας πριν την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην περιοχή της Αθήνας.

Ο πίνακας 4-5 δείχνει την οριακή τιμή του διοξειδίου του αζώτου για την περιοχή της Αθήνας πριν την οδηγία Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Πίνακας 4-5: Πρώην οριακή τιμή NO₂ για την περιοχή της Αθήνας.

Περίοδος αναφοράς (1)	Οριακή τιμή για το διοξείδιο του αζώτου
	200 μg/m ³
	98 ⁰ εκατοστημόριο υπολογιζόμενο βάσει των μέσων τιμών ανά ώρα ή για μικρότερα χρονικά διαστήματα οι οποίες λαμβάνονται καθ'όλη την διάρκεια του έτους (2)

- (1) Η ετήσια περίοδος αναφοράς αρχίζει την 1^η Ιανουαρίου του ημερολογιακού έτους και λήγει την 31^η Δεκεμβρίου.
- (2) Προκειμένου να αναγνωριστεί η εγκυρότητα του υπολογισμού του 98⁰ εκατοστημορίου πρέπει να υπάρχει το 75% των δυνατών τιμών κατανομημένων κατά το δυνατόν ομοιόμορφα καθ'όλο το έτος, για τον τόπο διεξαγωγής των μετρήσεων που έχει ληφθεί υπόψη. Σε περίπτωση που, για ορισμένους τόπους η περίοδος για την οποία δεν υπάρχουν μετρήσεις υπερβαίνει τις 10 ημέρες, αυτό πρέπει να αναφέρεται στο υπολογιζόμενο εκατοστημόριο.

Ο υπολογισμός του 98⁰⁰ εκατοστημορίου βάσει των ετήσιων τιμών πραγματοποιείται ως εξής: Το 98⁰ εκατοστημόριο πρέπει να υπολογίζεται βάσει των τιμών που μετρούνται πραγματικά. Οι μετρούμενες τιμές στρογγυλεύονται στο πλησιέστερο μg/m³. Όλες οι τιμές καταγράφονται σε πίνακα κατά αύξουσα σειρά τάξη μεγέθους και για κάθε τόπο μετρήσεων :

X₁ X₂ X₃ X_{N-1} X_N

Το 98⁰ εκατοστημόριο είναι η τιμή της k τάξεως, όπου το k υπολογίζεται με τη βοήθεια του ακόλουθου τύπου:

$$k = (qxN)$$

Το q ισούται με 0.98 για το 98⁰ εκατοστημόριο και με 0.50 για το 50⁰ εκατοστημόριο, ενώ το N είναι ο αριθμός των τιμών που έχουν πραγματικά μετρηθεί.

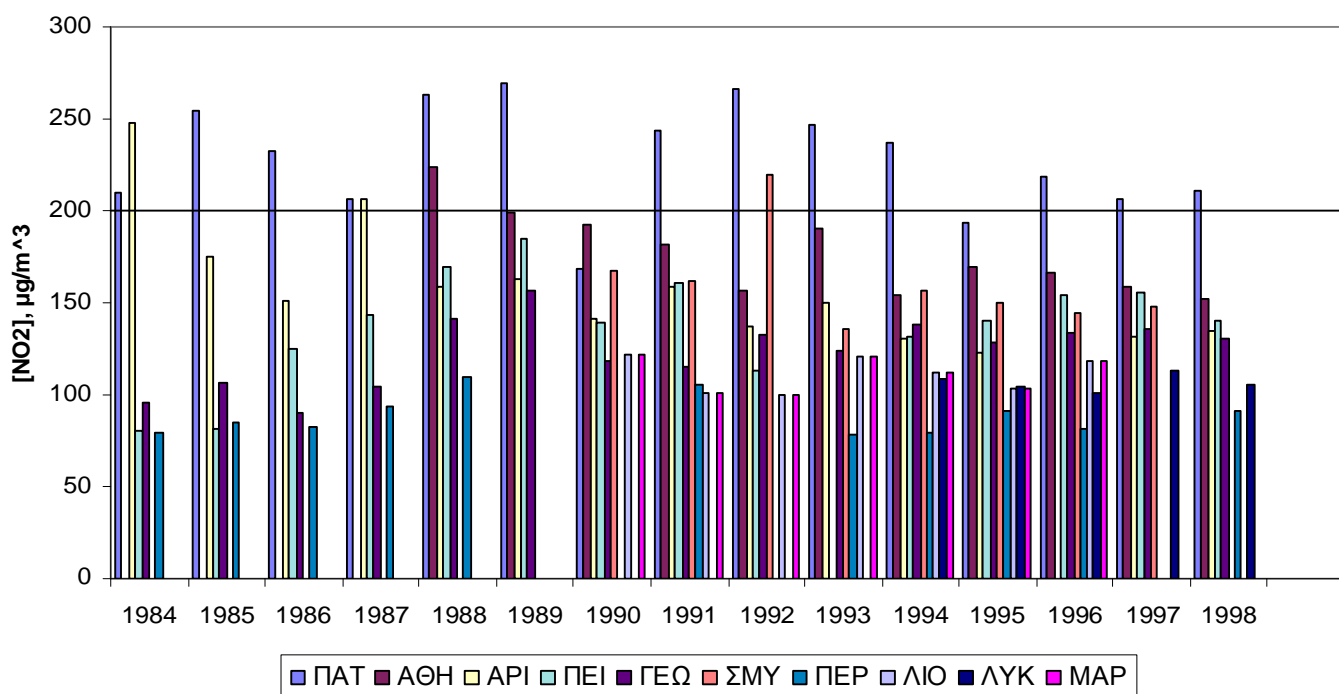
Η τιμή (qxN) εκφράζεται με προσέγγιση ακεραίου.

4.13. Υπερβάσεις των τιμών NO₂ στην περιοχή της Αθήνας.

4.13.1. Υπερβάσεις με σχέση με τα πρώην όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Οι τιμές του NO₂ τα τέσσερα τελευταία χρόνια είναι κάτω από το όριο των 200 μg/m³ σε όλους τους σταθμούς εκτός από τον σταθμό Πατησίων. Το σχήμα 4-11 παρουσιάζει την σύγκριση των τιμών NO₂ για την περίοδο 1984-1998.

Σχήμα 4-11: Σύγκριση τιμών NO₂ (τιμή 98% έτους) για όλους τους σταθμούς μέτρησης και για την περίοδο 1984-1998 με το αντίστοιχο πρώην Εθνικό όριο ποιότητας ατμόσφαιρας 200 μg/m³.



Οι τιμές για τους σταθμούς Λιοσίων, Λυκόβρυσης και Αριστοτέλους έχουν υπολογιστεί με πληρότητα <65%, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, για να προκύψει μια καλύτερη εικόνα των υπερβάσεων στην περιοχή της Αθήνας.

Όπως και στην περίπτωση του CO έτσι και στο NO₂ ισχύουν άτυπα οι τιμές του επόμενου πίνακα 4-6, για τον χαρακτηρισμό των επιπέδων ρύπανσης σε καθημερινή βάση.

Πίνακας 4-6: Τιμές για τον χαρακτηρισμό των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε σχέση με τις συγκεντρώσεις NO₂.

Χαρακτηρισμός επιπέδων ρύπανσης	NO ₂ (ωριαίες τιμές, μg/m ³)
Χαμηλά	≤ 200
Μέτρια	>200 ≤ 350
Υψηλά	>350 ≤ 500
Πολύ υψηλά	>500

Για τον περιορισμό της ρύπανσης σε περιπτώσεις που, κυρίως λόγω εξαιρετικά δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, αναμένεται σημαντική αύξηση των τιμών ρύπανσης χρησιμοποιούνται τα «όρια εκτάκτων μέτρων». Τα όρια αυτά που ισχύουν στην περιοχή της Αθηνάς παρουσιάζονται στον πίνακα 4-7.

Πίνακας 4-7: Όρια εκτάκτων μέτρων.

Ρύπος	Χρονική βάση	Στάδιο προειδοποίησης	Στάδιο λήψης A! βαθμίδας	Στάδιο λήψης μέτρων B! βαθμίδας
NO ₂ (μg/m ³)	1 ώρα	400	500	700

4.13.2. Υπερβάσεις NO₂ σε σχέση το όριο ποιότητας της πρόσφατης οδηγίας Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ο πίνακας 4-8 παρουσιάζει τον αριθμό των υπερβάσεων που προκύπτουν από την μέση τιμή των μεγίστων ημερήσιων τιμών για κάθε έτος και για καθέναν από τους 6 σταθμούς μέτρησης. Όπως είναι φανερό ο αριθμός των υπερβάσεων παρουσιάζεται μειωμένος τα τελευταία έτη αν και η τάση τους δεν είναι απολύτως καθορισμένη, ενώ όπως αναμενόταν ο σταθμός Πατησίων έχει τις περισσότερες υπερβάσεις. Οι σταθμοί Πατησίων, Αθηνάς και Γεωπονικής παρουσιάζουν υπερβάσεις (>18 για κάθε έτος) σχεδόν για όλα τα έτη. Οι τιμές της Ν.Σμύρνης δεν υπερβαίνουν το όριο των 18 για κανένα έτος, ενώ για τους σταθμούς Πειραιά και Περιστερίου υπάρχουν υπερβάσεις του ορίου μόνο για τα έτη 1990 & 1992.

Πίνακας 4-8: Υπερβάσεις των σταθμών μέτρησης σε σχέση με την οδηγία της ΕΕ.

	<i>Πατησίων</i>	<i>Αθηνάς</i>	<i>Γεωπονική</i>	<i>Πειραιάς</i>	<i>Περιστερί</i>	<i>Ν.Σμύρνη</i>
1990	165	75	90	35	26	11
1991	109	30	27	6	16	13
1992	146	31	19	24	53	6
1993	104	55	9	10	9	12
1994	104	40	21	9	10	14
1995	49	35	25	2	17	12
1996	68	39	29	3	15	12
1997	68	35	23	5	6	12
1998	52	28	17	10	8	15

4.13.3. Πληρότητα των μετρήσεων

Τα δεδομένα του ΠΕΡΠΑ αντιστοιχούν σε 10 σταθμούς μέτρησης και η πληρότητα τους, όπως υπολογίστηκε και για το CO, παρουσιάζεται στον πίνακα 4-9. Θέλοντας να επιλεγούν οι περισσότερες δυνατές χρονοσειρές με την μεγαλύτερη δυνατή πληρότητα για την περαιτέρω στατιστική ανάλυση τους, επιλέχθηκε το διάστημα των ετών 1990-1999 εκτός των σταθμών Λιοσίων, Αριστοτέλους, Λυκόβρυσης, Πειραιά και Αμαρουσίου. Οι τέσσερις πρώτοι παρουσιάζουν μεγάλες ασυνέχειες κατά την διάρκεια των μετρήσεων, ενώ ο σταθμός Λυκόβρυσης παρόλο που παρουσιάζει πολύ ικανοποιητική πληρότητα άρχισε να λειτουργεί το έτος 1994.

Συνολικά έγινε επεξεργασία 60 χρονοσειρών για 5 σταθμούς μέτρησης (Πατησίων, Αθηνάς, Γεωπονικής, Περιστερι και Ν.Σμύρνης).

Πίνακας 4-9: Πληρότητα των σταθμών μέτρησης (%) για κάθε έτος.

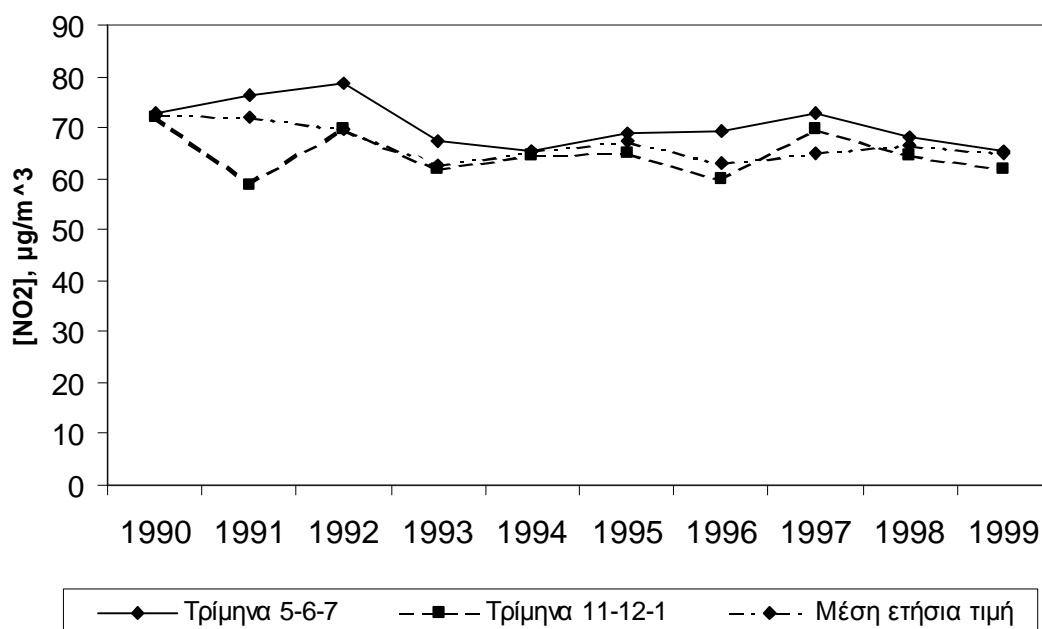
	ΠΑΤ	ΑΡΙ	ΑΘΗ	ΓΕΩ	ΛΙΟ	ΛΥΚ	ΜΑΡ	ΠΕΙ	ΠΕΡ	ΣΜΥ
1983	0,0	0,0	0,0	12,6	45,2	0,0	0,0	0,0	0,0	40,5
1984	0,0	0,0	0,0	49,2	88,8	0,0	53,6	68,3	0,0	83,6
1985	0,0	0,0	0,0	63,0	84,1	0,0	0,0	60,0	0,0	87,4
1986	0,0	0,0	0,0	89,6	90,7	0,0	0,8	88,2	0,0	66,3
1987	0,0	0,0	11,0	94,2	89,0	0,0	0,0	84,4	0,0	83,6
1988	0,0	0,0	80,6	92,1	81,7	0,0	0,0	77,9	0,0	97,3
1989	23,3	0,0	98,6	58,9	18,6	0,0	18,4	89,6	23,3	92,6
1990	88,2	0,0	98,6	76,4	40,0	0,0	90,1	93,4	88,2	86,3
1991	84,1	0,0	51,2	86,8	89,6	0,0	90,7	92,9	84,1	95,1
1992	75,1	0,0	95,6	74,0	5,7	0,0	68,0	88,3	75,1	55,2
1993	94,0	0,0	97,0	37,8	96,4	0,0	71,5	92,9	94,0	97,3
1994	66,3	93,4	97,8	83,0	95,3	76,7	89,0	90,7	66,3	86,8
1995	89,0	100,0	98,4	95,9	76,4	90,7	84,4	81,1	89,0	92,3
1996	74,3	96,4	98,9	86,1	83,3	92,6	88,0	86,3	74,3	88,8
1997	77,0	48,8	96,4	75,6	33,2	96,2	42,5	97,5	77,0	97,3
1998	51,0	45,5	89,6	75,1	67,7	96,4	44,7	92,1	51,0	92,3
1999	92,3	82,2	95,9	67,4	10,7	98,1	64,9	77,8	92,3	86,6

4.14. Μέσες τιμές τριμήνων για όλη την περιοχή της Αθήνας

Κατ'αντιστοιχία με τους υπολογισμούς για το CO, βρέθηκε η μέση ετήσια τιμή των τριμήνων (Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος) και (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος) για κάθε έναν από τους 5 σταθμούς μέτρησης και για κάθε έτος (1990-1999), και στην συνέχεια υπολογίστηκε η μέση ημερήσια τιμή των τριμήνων για όλη την περιοχή της Αθήνας, σε ετήσια βάση.

Στο σχήμα 4-12 συγκρίνεται η μέση τιμή των τριμήνων με την μέση ημερήσια τιμή για την Αθήνα των ετών 1990-1999. Όπως ήταν αναμενόμενο οι τιμές του χειμερινού τριμήνου είναι μεγαλύτερες από αυτές του θερινού, λόγω των υψηλών απαιτήσεων για κεντρική θέρμανση και του μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου.

Σχήμα 4-12: Σύγκριση μέσης ημερήσιας τιμής και μέσης τιμής τριμήνων για όλη την περιοχή της Αθήνας (1990-1999), σε ετήσια βάση.



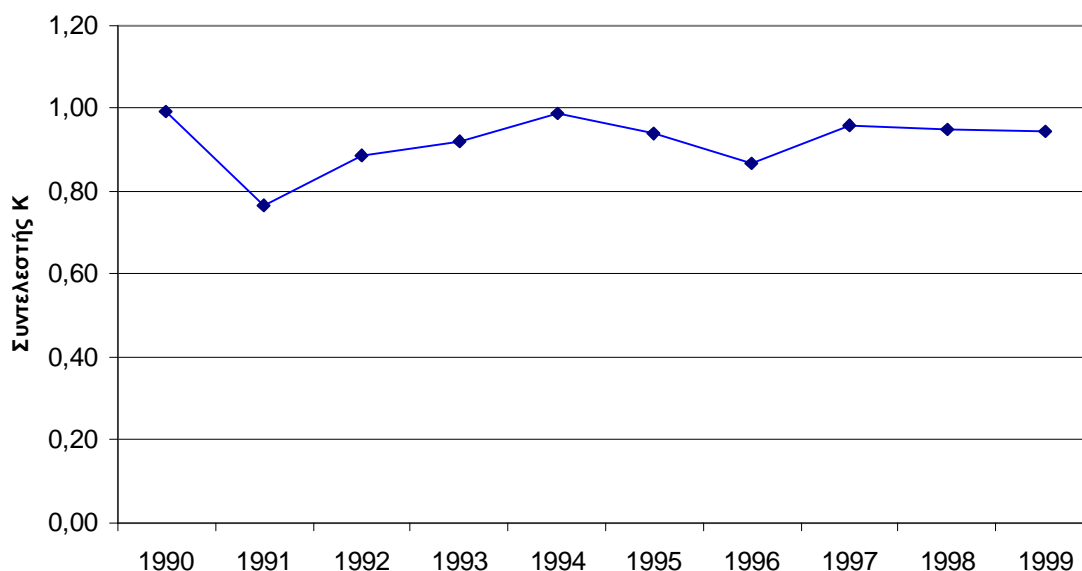
4.15. Υπολογισμός συντελεστή Κ.

Σε αντιστοιχία με τον υπολογισμό του συντελεστή Κ για το CO, υπολογίζεται ο συντελεστής Κ για το NO₂:

$$K = \frac{M_w}{M_s} = \frac{K_w}{K_s}$$

Στο σχήμα 4-13 παρουσιάζεται η μορφή του συντελεστή Κ και όπως είναι φανερό ακολουθεί μια σταθερή πορεία κατά την πάροδο των ετών. Επομένως λόγω του ότι ο συντελεστής Κ εξαρτάται κυρίως από την μετεωρολογία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τότε μεταβολές των καιρικών συνθηκών δεν φαίνεται να μεταβάλλουν τις συγκεντρώσεις του NO₂ όταν πρόκειται για μεγάλες χρονοσειρές όπως οι συγκεκριμένες. Τα παραπάνω μπορούν να δικαιολογήσουν μια ομοιογένεια των χρονοσειρών τόσο ως προς την θέση των σταθμών αλλά και ως προς τα έτη των μετρήσεων.

Σχήμα 4-13: Διαχρονική εξέλιξη του συντελεστή K για το NO₂.



4.16. Εμπειρικό μοντέλο υπολογισμού υπερβάσεων NO₂

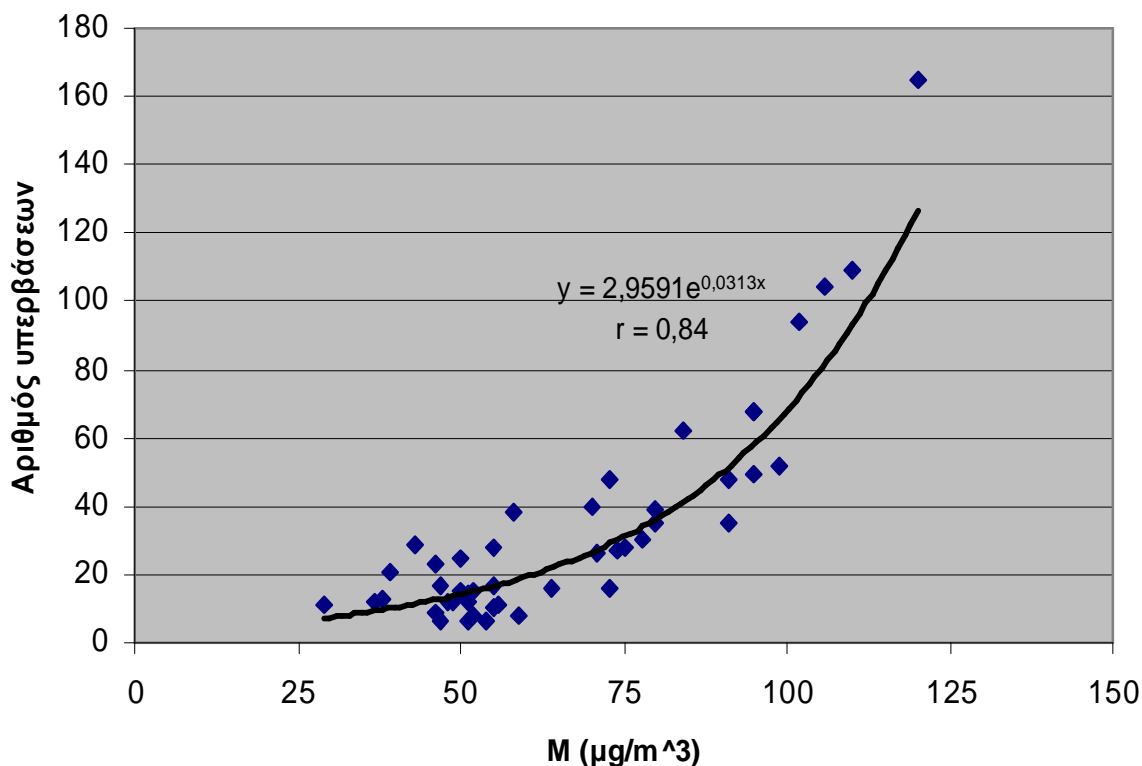
Με τιμή αναφοράς την οριακή τιμή των 200 μg/m³ των ωριαίων συγκεντρώσεων υπολογίστηκαν οι υπερβάσεις για τις μελετούμενες χρονοσειρές. Ο αριθμός των υπερβάσεων δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 18 για κάθε ημερολογιακό έτος. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν για το εμπειρικό μοντέλο του CO ισχύουν αντίστοιχα και για το NO₂. Έτσι στο επόμενο σχήμα που παρουσιάζεται εμφανίζεται γραφικά η σχέση του αριθμού των υπερβάσεων με την μέση τιμή όλης της περιοχής της Αθήνας, καθώς και η μαθηματική εξίσωση που την εκφράζει. Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα εμπειρικό μοντέλο πρόβλεψης των υπερβάσεων του NO₂ με δεδομένες τιμές για την μέση τιμή.

Το μοντέλο παρουσιάζει πού καλές δυνατότητες πρόβλεψης με συντελεστή συσχέτισης 0,84. Όπως φαίνεται από το σχήμα 4-14, η εξίσωση του μοντέλου είναι:

$$N_E = 2,9591e^{0,0313M} \quad (1)$$

όπου M εκφράζει την μέση συγκέντρωση και N_E τον αριθμό των υπερβάσεων αντίστοιχα. Η αξιολόγηση του μοντέλου έγινε με την βοήθεια της χρονοσειράς 1992 η οποία και δεν λήφθηκε υπόψιν στους υπολογισμούς. Ο συντελεστής συσχέτισης που προέκυψε 0,93 εκφράζει την πολύ καλή πρόβλεψη του μοντέλου.

Σχήμα 4-14: Εμπειρικό μοντέλο πρόβλεψης των υπερβάσεων NO₂



4.17. Εφαρμογή μοντέλου ποσόστωσης για την αξιολόγηση μείωσης των εκπομπών του NO₂.

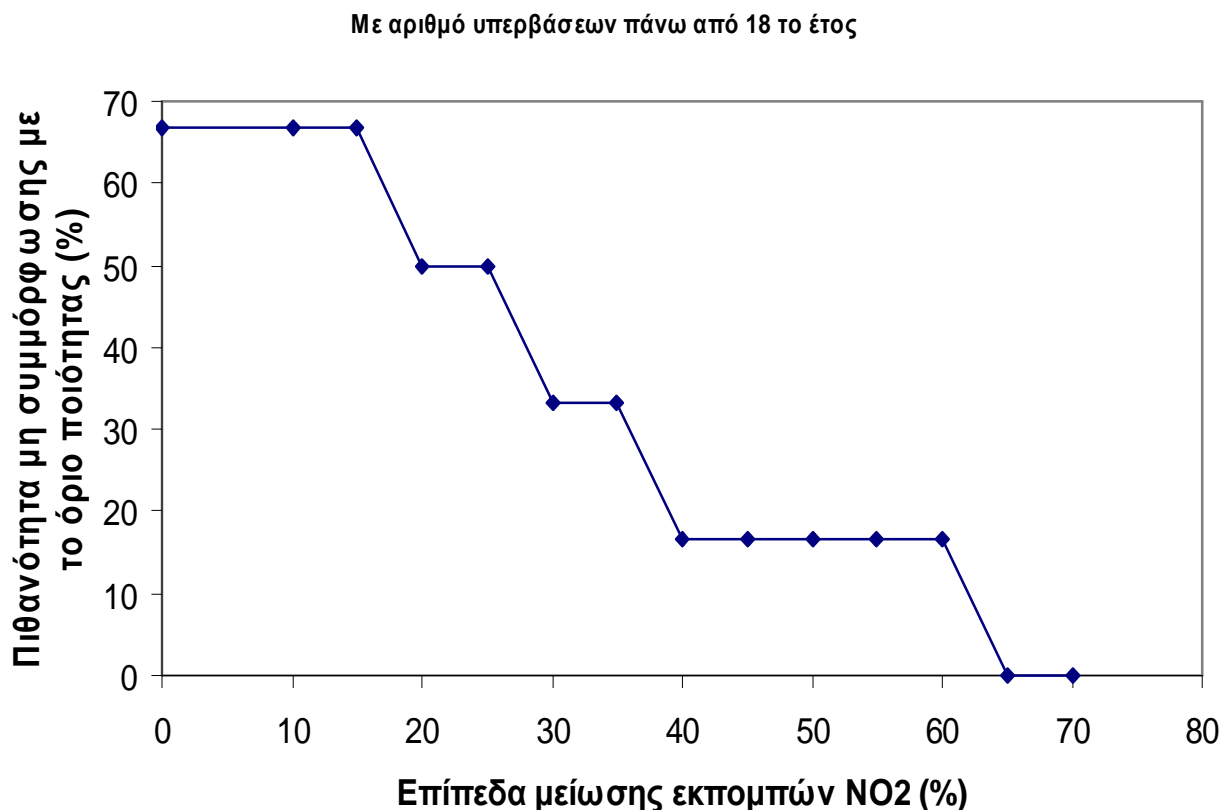
Κατ'αντιστοιχία με την διαδικασία υπολογισμού του μοντέλου ποσόστωσης για το CO υπολογίζεται και για το NO₂ με βάση την σχέση:

$$R = \frac{M_A - M_R}{M_A - B} \quad (2)$$

όπου το M_A και το M_R αντιπροσωπεύουν την μέση τιμή συγκέντρωσης του NO₂ που μετρήθηκε στον συγκεκριμένο σταθμό και την τιμή που αντιστοιχεί στο επίπεδο μείωσης που υιοθετείται κάθε φορά, αντίστοιχα. Η τιμή της συγκέντρωσης υποβάθρου σε αυτήν την περίπτωση είναι 29 µg/m³.

Αρχίζοντας από την κατάσταση του 1990 όπου 4 από τους 5 σταθμούς δεν ήταν συμμορφωμένοι με το όριο ποιότητας, για διάφορα επίπεδα μείωσης των εκπομπών του NO₂ υπολογίζονται οι τιμές του M_R και οι προβλεπόμενες τιμές του αριθμού των υπερβάσεων. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο σχήμα 4-15.

Σχήμα 4-15: Πιθανότητα μη συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης των εκπομπών του CO.



Από το σχήμα 4-15 είναι φανερό ότι για ποσοστά μείωσης των εκπομπών κάτω από 17% δεν υπάρχει καμιά πιθανότητα βελτίωσης ενώ για ποσοστό μείωσης 40% υπάρχει πιθανότητα συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας 16%. Τέλος για ποσοστό μείωσης των εκπομπών 65% υπάρχει μηδενική πιθανότητα μη συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας σταθμός μέτρησης θεωρείται συμμορφωμένος με το όριο ποιότητας όταν έχει αριθμό υπερβάσεων μικρότερο από 18.

Από την εξίσωση του εμπειρικού μοντέλου (1) υπολογίζεται μια τιμή $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης, η οποία να αντιστοιχεί σε όλη την περιοχή των Αθηνών και να αναφέρεται σε κατάσταση πλήρους συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας ($N_E \rightarrow 18$).

5. Συμπεράσματα

Για τον καθορισμό μιας μεθοδολογίας παρέμβασης και αντιμετώπισης των προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας, χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές δεδομένων CO και NO₂ κατά την διάρκεια 11 ετών από 7 σταθμούς του δικτύου του ΠΕΡΠΙΑ.

Καταρχήν εξετάστηκε η διαχρονική μεταβολή των επιπέδων συγκέντρωσης των δύο ρύπων στους σταθμούς που μελετήθηκαν. Σε ένα δεύτερο στάδιο υπολογίστηκαν οι υπερβάσεις ορίων ποιότητας και η διαχρονική μεταβολή για τους δύο ρύπους και για διαφορετικούς χρόνους αναφοράς.

Συγκεκριμένα για το CO χρησιμοποιήθηκε το όριο των 23 mg/m³ ως μέγιστη οριακή τιμή και υπολογίστηκαν οι υπερβάσεις στους 7 σταθμούς σε ετήσια βάση. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το όριο των 10 mg/m³ ως μέγιστη επιτρεπτή τιμή δώρου σύμφωνα με την πρόσφατη οδηγία της ΕΕ, για την προστασία του πληθυσμού. Για το NO₂ χρησιμοποιήθηκε το όριο των 200 μg/m³ ως ανώτατη επιτρεπτή τιμή για ωριαίες συγκεντρώσεις. Η συμμόρφωση η μη ενός σταθμού μέτρησης με αυτό το πρόσφατο πρότυπο της ΕΕ για το NO₂, κρίθηκε με βάση τις 18 υπερβάσεις ως μέγιστο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων.

Από την ανάλυση που προηγήθηκε διαπιστώθηκε ότι οι παρατηρούμενες πτωτικές διαχρονικές μεταβολές των συγκεντρώσεων των ρύπων οφείλονται κυρίως στην μείωση των εκπομπών ενώ η επίδραση της μετεωρολογίας κρίνεται αμελητέα. Η κύρια αιτία για την παρατηρούμενη μείωση των εκπομπών οφείλεται κυρίως στην ανανέωση του στόλου των οχημάτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας κατά το διάστημα (1992-1993), γεγονός που καταγράφεται επίσης στα επίπεδα των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων.

Η στατιστική ομοιογένεια των δεδομένων που αφορούν τους δύο ρύπους έδωσε την δυνατότητα για την ανάπτυξη ειδικών εμπειρικών μοντέλων που συσχετίζουν τον αριθμό υπερβάσεων (επεισοδίων) με την μέση ετήσια καταγραφόμενη τιμή, ένα στατιστικό μέγεθος εύκολα προσβάσιμο από διαθέσιμες χρονοσειρές ή υπολογισίμο από ειδικά μοντέλα πρόγνωσης. Τα δύο μοντέλα που αναπτύχθηκαν αξιολογήθηκαν με βάση τα δεδομένα ενός έτους που δεν χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου και η σύγκριση των πραγματικών με τις προβλέψιμες τιμές έδωσε πολύ υψηλές τιμές του συντελεστή συσχέτισης για το CO και το NO₂ (0,87 και 0,75 αντίστοιχα).

Τα μοντέλα πρόβλεψης που αναπτύχθηκαν για τους δύο ρύπους χρησιμοποιήθηκαν τελικά σε συνδυασμό με μοντέλο ποσόστωσης (Roll-Back model) για τον υπολογισμό του απαιτούμενου ποσοστού μείωσης των εκπομπών στην περιοχή για συμμόρφωση με τα ισχύοντα πρότυπα ποιότητας του αέρα.

Τα αποτελέσματα σχετικά με τη διαχείριση των επιπέδων των συγκεντρώσεων του CO στο λεκανοπέδιο διαπιστώνουν την ανάγκη μείωσης των εκπομπών (περίπου 90%) για πλήρη συμμόρφωση με τα ισχύοντα πρότυπα. Παρέχουν επίσης την δυνατότητα προσδιορισμού της πιθανότητας συμμόρφωσης της περιοχής για διάφορα σενάρια παρέμβασης/μείωσης των εκπομπών. Είναι χαρακτηριστικό ότι για ποσοστό μείωσης των εκπομπών λιγότερο από 50% η πιθανότητα συμμόρφωσης είναι

μηδενική. Επίσης για μείωση των εκπομπών κατά 70% η πιθανότητα συμμόρφωσης αγγίζει το 60% (4 από τους 7 σταθμούς μέτρησης θα παρουσιάσουν μηδενικές υπερβάσεις). Από την εξίσωση του εμπειρικού μοντέλου υπολογίζεται μια τιμή 1.05 mg/m³ της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης, η οποία να αντιστοιχεί σε όλη την περιοχή των Αθηνών και να αναφέρεται σε κατάσταση πλήρους συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας ($N_E = 0$, κυλιόμενων 8ώρων).

Αντίστοιχα για το NO₂ τα αποτελέσματα με τη διαχείριση των επιπέδων των συγκεντρώσεων δείχνουν ότι υπάρχει ανάγκη μείωσης των εκπομπών (περίπου 65%) για την πλήρη συμμόρφωση με τα όρια ποιότητας. Αξίζει να αναφερθεί ότι για ποσοστό μείωσης των εκπομπών κάτω από 17% δεν υπάρχει καμία πιθανότητα συμμόρφωσης, ενώ για ποσοστό μείωσης 30% η πιθανότητα συμμόρφωσης είναι περίπου 65% (3 από τους 5 σταθμούς θα παρουσιάσουν μηδενικές υπερβάσεις). Από την εξίσωση του εμπειρικού μοντέλου υπολογίζεται μια τιμή 87 μg/m³ της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης, η οποία να αντιστοιχεί σε όλη την περιοχή των Αθηνών και να αναφέρεται σε κατάσταση πλήρους συμμόρφωσης με το όριο ποιότητας ($N_E \rightarrow 18$).

6. Προτάσεις για μελλοντική εφαρμογή

Τα στατιστικά εργαλεία διαχείρισης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να εφαρμοσθούν και για άλλους ρύπους όπως είναι το SO₂, αλλά και σε άλλα αστικό-βιομηχανικά κέντρα της Ελλάδας, με βασική προϋπόθεση την ύπαρξη ικανοποιητικού αριθμού σταθμών μέτρησης και ετήσιων χρονοσειρών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. European Commission, 17 March 1999. Ambient Air Pollution, Carbon Monoxide, Position paper.
2. A.Chaloulakou, I.Mavroidis. Comparison of indoor and outdoor concentrations of CO at a public school. Evaluation of an indoor air quality model. Atmospheric Environment 36(2002) 1769-1781.
3. European Commission, November 1997. Air Quality: nitrogen dioxide, Position paper.
4. A.Chaloulakou, I.Mavroidis and A.Duci. Indoor and outdoor Carbon Monoxide concentrations. Relationships at different Microenvironments in the Athens area.
5. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 13/12/2000. Οδηγία 2000/69/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Νοεμβρίου 2000, για οριακές τιμές Βενζολίου και Μονοξειδίου του Άνθρακα στον αέρα Περιβάλλοντος.
6. Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οδηγία 99/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με τις οριακές τιμές Διοξειδίου του Θείου, Διοξειδίου του Αζώτου και Οξειδίων του Αζώτου, Σωματιδίων και Μολύβδου, στον αέρα Περιβάλλοντος. Βρυξέλλες, 24 Μαρτίου 1999.
7. Stefano Cernushi, Michele Giugliano, Giovanni Lonati, Francesco Marzolo. Development and application of statistical models for CO concentrations and duration events in the Milan urban area. The Science of the Total Environment 220 (1998) 147-156.
8. <http://www.airinfnow.org/pdf/CARBON%20MONOXID2.PDF>
9. http://www.emep.int/areas/sectortab/GR_CO.html
10. Α.Χαλουλάκου. Προβλήματα Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, Σημειώσεις παραδόσεων. Ε.Μ.Π. Αθήνα 1994.
11. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ Γεν Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας- Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση στην Αθήνα. Ιούνιος 1999.
12. Γ.Αραμπατζής, 2000. Δ.Π.Μ.Σ στην Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων. Σημειώσεις μαθήματος "Λύσεις προβλημάτων με την χρήση Η/Υ".