

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ**  
**ΜΒΑ ΤΩΜ - ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ**  
**ΟΛΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (ΕΜΠΣ.ΔΕ-ΔΟΠ)**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

**Άρτεμις Ανδρεάδη**  
**ΜΔΕ-ΟΠ/0702**

**Πειραιάς**  
**Μάιος 2009**

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΔΙΑ

Στους γονείς μου

## Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη εκπονήθηκε για το Ευρωπαϊκό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων – Ολική Ποιότητα (MBA-TQM) του τμήματος Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους οι οποίοι βοήθησαν με την άμεση ή έμμεση συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Κύριο Σφακιανάκη Μιχαήλ, για την ανάθεση του θέματος, την επιστημονική καθοδήγηση και την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>3</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ .....</b>	<b>5</b>
2.1 Ατμοσφαιρικός κύκλος ρύπανσης .....	5
2.2 Σταθμοί μέτρησης.....	11
2.3 Μετρούμενοι ρύποι .....	12
2.4 Βαθμονόμηση των οργάνων .....	14
2.5 Μονάδες μέτρησης .....	15
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>16</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ-ISO 14001 .....</b>	<b>17</b>
3.1 Ιστορικά Στοιχεία .....	17
3.2 Πρότυπα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης.....	18
3.3 Πρότυπα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης EMAS και ISO 14001 .....	20
α) Το Σύστημα Οικολογικής Διαχείρισης και (EMAS).....	20
β) Το Πρότυπο ISO 14001 .....	22
3.4 Μεθοδολογία Υλοποίησης.....	22
3.5 Κόστος Εφαρμογής ΣΠΔ.....	25
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>27</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ .....</b>	<b>28</b>
4.1 Ανάλυση ρύπων.....	28
4.1.1 Μονοξείδιο του άνθρακα ( CarbonMonoxide – CO).....	28
4.1.2 Οξείδια του θείου (SO <sub>x</sub> ).....	29
4.1.3 Οξείδια του αζώτου .....	30
4.1.4 Όζον (O <sub>3</sub> ) .....	32
4.1.5 Αιωρούμενα σωματίδια (PM <sub>2,5</sub> <sup>2</sup> ,PM <sub>10</sub> <sup>1</sup> ) .....	32
4.2 Επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων στη ρύπανση.....	34
4.3 Νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας.....	35
4.4 Όρια εκτάκτων μέτρων .....	36
4.5 Οριακές τιμές .....	39
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>43</b>

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΘΑ ΑΝΑΛΥΘΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1 ΤΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO) .....</b>	<b>44</b>
5.1.1 Πηγές εκπομπών CO.....	44
5.1.2 Επιπτώσεις στην υγεία.....	45
5.1.3 Όρια ποιότητας αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση .....	49
<b>5.2 ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO<sub>2</sub>) .....</b>	<b>50</b>
5.2.1 Πηγές εκπομπών .....	51
5.2.2 Επιπτώσεις στην υγεία.....	52
5.2.3 Όρια ποιότητας αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση .....	53
<b>5.3 ΤΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO) .....</b>	<b>55</b>
5.3.1 Πηγές εκπομπών .....	55
5.3.2 Επιπτώσεις στην υγεία.....	56
5.3.3 Όρια ποιότητας αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση .....	56
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>59</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ONE-WAY ANOVA (ANALYSIS OF VARIANCE)</b>	
.....	<b>60</b>
6.1 Γενικά.....	60
6.2 Προϋποθέσεις για ανάλυση με ANOVA.....	63
6.3 Πειράματα με χρήση μεθοδολογίας ANOVA .....	64
6.3.1 ΠΕΙΡΑΜΑ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)	66
6.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO <sub>2</sub> ) .....	74
6.3.3 ΠΕΙΡΑΜΑ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO) ..	84
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>94</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....</b>	<b>95</b>
7.1 Συμπεράσματα.....	95
7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	100

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισε να παρουσιάζεται στην Ελλάδα με την αύξηση του πληθυσμού της στα μεγάλα αστικά βιομηχανικά κέντρα. Το αποτέλεσμα της υπερσυγκέντρωσης είχε ως αποτέλεσμα τη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα και την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων που κατοικούν σε αστικά κέντρα. Με το πέρασμα του χρόνου τα προβλήματα παίρνουν μεγαλύτερη έκταση και γίνονται οξύτερα, αφού αυξάνεται ο αριθμός των βιομηχανιών και των υπολοίπων ρυπαντών της ατμόσφαιρας. Η κατάσταση δυσχεραίνεται λόγω των κλιματολογικών χαρακτηριστικών των περιοχών της Ελλάδας και ιδιαίτερα της Αττικής, σε συνδυασμό με δυσμενή, από την άποψη της δυνατότητας διάχυσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τοπογραφία. Έτσι, το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλιοφάνεια και θερμοκρασία, συνθήκες που εννοούν την εμφάνιση της φωτοχημικής ρύπανσης. Παράλληλα, η παρουσία πολλών ορεινών όγκων, σε συνδυασμό με τη γειτνίαση της θάλασσας, οδηγεί σε ανάπτυξη παλινδρομικών συστημάτων κυκλοφορίας του αέρα, που δυσχεραίνει σημαντικά τη δυνατότητα καθαρισμού της ατμόσφαιρας με τους μηχανισμούς της διάχυσης και μεταφοράς. Τα βουνά του λεκανοπεδίου αποτελούν εμπόδιο για την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και διασπορά και σε συνδυασμό με αυξημένες εκπομπές ρύπων από τα αυτοκίνητα και τις βιομηχανίες, δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για την εμφάνιση επεισοδίων ρύπανσης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση δεικτών περιβαλλοντικής ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα της Αττικής κατά τη διάρκεια του 2007. Οι συγκεντρώσεις που μελετώνται είναι του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και του μονοξειδίου του αζώτου (NO), αφού είναι τρεις ατμοσφαιρικοί ρύποι που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού όταν ξεπεράσουν κάποια συγκεκριμένα όρια ποιότητας.

Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 2 γίνεται περιγραφή του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αττικής και περιγραφή του συστήματος καταγραφής των αερίων εκπομπών από το ΠΕΡΠΑ (όργανο του ΥΠΕΧΩΔΕ). Στο

Κεφάλαιο 3 αναλύονται τα Πρότυπα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης που έχουν δημιουργηθεί, σε μια προσπάθεια για έλεγχο των δραστηριοτήτων, των προϊόντων και των διεργασιών που προξενούν ή θα μπορούσαν να προξενήσουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις και για ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των λειτουργιών τους. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και τα όρια ποιότητας που έχουν θεσπιστεί για τον καθένα από τη νομοθεσία. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι τρεις ατμοσφαιρικοί ρύποι που μελετώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία (μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, μονοξείδιο του αζώτου), ενώ στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το πείραμα με χρήση μεθόδου ANOVA (Analysis of Variance) για τους τρεις ατμοσφαιρικούς ρύπους που μελετώνται. Το Κεφάλαιο 7 περιέχει συμπεράσματα των πειραμάτων καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων ή και κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα. Γενικά, μπορούν να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε τέτοια επίπεδα, ώστε να δημιουργηθούν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Σε αυτή την περίπτωση έχει επικρατήσει να λέγεται ότι έχουμε «νέφος». Το νέφος παρουσιάζεται με δύο μορφές:

- ◆ Νέφος Καπνομίχλης

Σχηματίζεται όταν έχουμε μεγάλη συγκέντρωση ρύπων, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.

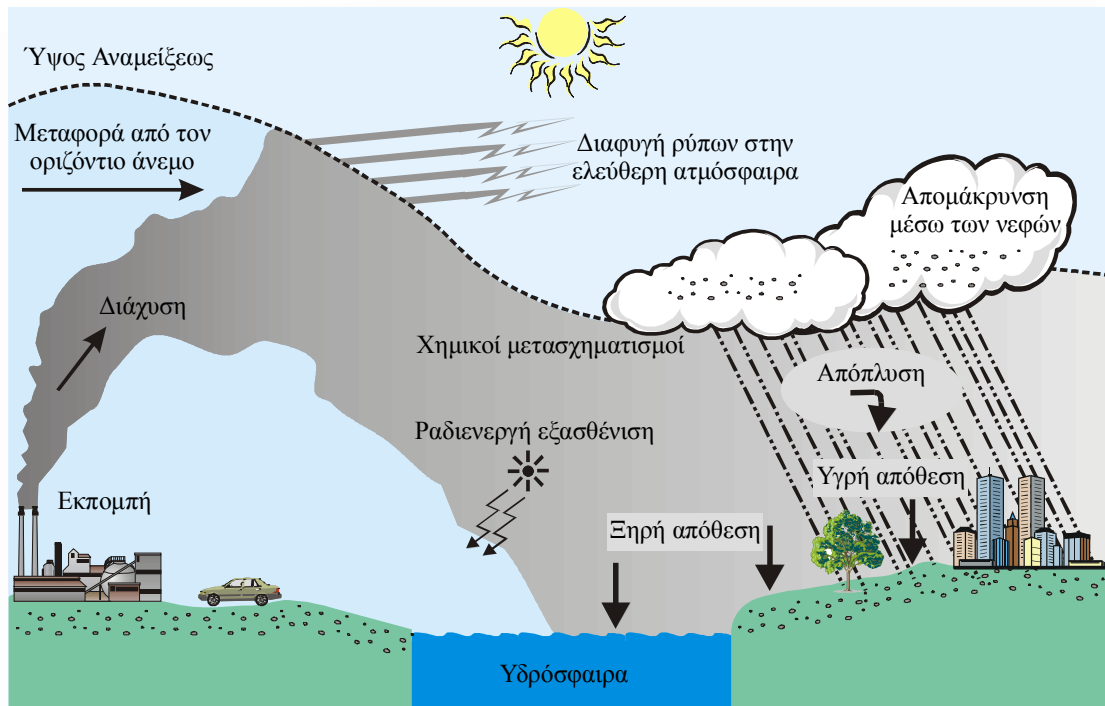
- ◆ Φωτοχημικό Νέφος

Παρουσιάζεται όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση ρύπων. (1)

### 2.1 Ατμοσφαιρικός κύκλος ρύπανσης

Μια ποικιλία ατμοσφαιρικών μηχανισμών είναι υπεύθυνη για την μεταφορά και τον μετασχηματισμό των αέριων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Το Σχήμα 2.1 που ακολουθεί δείχνει σχηματικά τις διαδικασίες οι οποίες συντελούν στην διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από μία καμινάδα.





Σχήμα 2.1: Διαδικασίες οι οποίες συντελούν στην διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από μία καμινάδα (2)

- 1) Οι αέριοι ρύποι όταν αφήνουν την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα αέρα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αρχική ορμή που έχουν τα καυσαέρια όταν φθάνουν στην κορυφή της καμινάδας έχει σαν αποτέλεσμα ο θύσανος να ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αρχική ανύψωση του θυσάνου έχει πολύ μεγάλη σημασία στην ποιότητα του αέρα της περιοχής γιατί μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας με ένα παράγοντα 2 έως 10 φορές το κατασκευαστικό ύψος της καμινάδας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη συγκέντρωση εδάφους είναι χονδρικά αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του ενεργού ύψους εκπομπής, είναι φανερό ότι η ανύψωση του θυσάνου μπορεί, στη ακραία περίπτωση, να μειώσει τις συγκεντρώσεις εδάφους με ένα παράγοντα της τάξης του 100.
- 2) Ο καπνός μεταφέρεται μακριά από την πηγή από τον μέσο οριζόντιο άνεμο. Η οριζόντια μεταφορά αποτελεί τον πλέον σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραιώσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (άπνοια) οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και

υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου ρύπανσης σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα εκπομπών.

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

4) Η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ονομάζεται απόθεση.

Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης:

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

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

III. Υγρή απόθεση λαμβάνει χώρα σε περίπτωση υετού οπότε μπορούν να συμβεί κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ρύπων οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από την βροχή ή το χιόνι (απόπλυση) είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής.

5) Κατά τον χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς λόγω αντιδράσεων είτε μεταξύ τους είτε με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα είναι ένα

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

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

Σε κάθε περίπτωση είναι πολύ σημαντικό όταν μελετάμε τους αέριους ρύπους και τις επιπτώσεις τους να ξεχωρίσουμε από την μία την αέρια ρύπανση και τις επιπτώσεις της και από την άλλη την αποτιθέμενη ρύπανση με τις αντίστοιχες επιπτώσεις. Ο λόγος για τον οποίο είναι τόσο σημαντικός αυτός ο διαχωρισμός είναι ότι η κλίμακα των δύο φαινομένων είναι πολύ διαφορετική. Οι απευθείας επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι περισσότερο τοπικό πρόβλημα και οι επιδράσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες στις περιοχές κοντά στην πηγή της ρύπανσης. Από την άλλη πλευρά, η επίδραση της απόθεσης εξαπλώνεται σε πολλές εκατοντάδες ή χιλιάδες χιλιόμετρα. (2)

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα και σε άλλες ελληνικές μεγαλουπόλεις διαφέρει ποσοτικά και ποιοτικά από αντίστοιχα προβλήματα στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες και αυτό οφείλεται σε πολύ συγκεκριμένους λόγους:

- ◆ Στον τρόπο με τον οποίο αναπτύχθηκε η Αθήνα και άλλες ελληνικές μεγαλουπόλεις και συγκεκριμένα στην ιδιαίτερα μεγάλη πυκνότητα σε ό,τι αφορά στη δόμησή τους. Οι ελεύθεροι χώροι και χώροι πρασίνου ανά κάτοικο είναι πολύ λιγότεροι από τους αντίστοιχους στις ευρωπαϊκές πόλεις.
- ◆ Στη μεγάλη καθυστέρηση που υπήρξε στην ανάπτυξη σοβαρών και αξιόπιστων μέσων μαζικής μεταφοράς, κυρίως σταθερής τροχιάς αλλά και των υπολοίπων.
- ◆ Σε συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες που δεν επιτρέπουν ουσιαστικά την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον μορφών θέρμανσης στις ελληνικές μεγαλουπόλεις, αντίθετα με ότι συμβαίνει στις ευρωπαϊκές.
- ◆ Στη συγκεκριμένη υστέρηση στα έργα βασικών υποδομών που υπάρχει στις ελληνικές μεγαλουπόλεις έναντι των ευρωπαϊκών, γεγονός που συντελεί στην παραγωγή του ρύπου της αιωρούμενης σκόνης, ως αποτέλεσμα έργων που είναι εν εξελίξει ή ημιτελή.

Συνοπτικά τα προβλήματα που προκαλεί η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι:

- ◆ Ο κατακερματισμός του τοπίου
- ◆ Η κατάληψη των ελεύθερων χώρων
- ◆ Η εμφάνιση διάφορων προβλημάτων υγείας
- ◆ Η σπατάλη της ενέργειας

Τα μέτρα που έχουν εφαρμοστεί στο παρελθόν για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα και έχουν αποδώσει σε σημαντικό βαθμό είναι:

- ◆ Η απόσυρση των συμβατικών Ι.Χ. επιβατικών αυτοκινήτων
- ◆ Η σταδιακή και συνεχής βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων, όπως η μείωση της περιεκτικότητας το θείου στο ντίζελ
- ◆ Η απαγόρευση λειτουργίας νέων βιομηχανικών μονάδων στο νομό Αττικής

- ◆ Η εφαρμογή του θεσμού της Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων και του ελέγχου των αυτοκινήτων από τα ΚΤΕΟ
- ◆ Η απαγόρευση χρήσης μαζούτ σε ορισμένες κατηγορίες καύσεων καθώς και η χρήση μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο στο Νομό Αττικής για ορισμένες δραστηριότητες.

Οι αρμόδιες υπηρεσίες του ΥΠΕΧΩΔΕ εφαρμόζουν Πρόγραμμα μέτρων για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας, το οποίο εφαρμόζεται από διετίας. Τα μέτρα που είναι σε εφαρμογή αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

1. Για τις βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις  
Η θέσπιση ορίων αερίων εκπομπών, η διενέργεια ελέγχου αερίων εκπομπών, η χρήση καυσίμων φιλικών προς το περιβάλλον και η μείωση αερίων εκπομπών μέσω εφαρμογής συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης
2. Για τις κεντρικές θερμάνσεις και τις εγκαταστάσεις καύσης  
Ο έλεγχος εκπομπών, η χρήση φυσικού αερίου στον οικιακό τομέα και η αντικατάσταση παλαιών καυστήρων
3. Για τα αυτοκίνητα  
Η ανανέωση του στόλου των Μέσων Μεταφοράς, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και οχημάτων και ο έλεγχος εκπομπών αυτοκινήτων **(3)**

## 2.2 Σταθμοί μέτρησης

Το 2007 η Διεύθυνση ΕΑΡΘ (Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου) λειτούργησε δεκαέξι σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή Αττικής ( Σχήμα 2.2 ).



Σχήμα 2.2: Χάρτης της περιοχής Αττικής που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης



Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιοχής Αττικής

ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ							
		NO <sub>2</sub>	NO	O <sub>3</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	Benz
Αγία Παρασκευή	Περιαστικός-Υποβάθρου	X	X	X	-	-	X	X	-
Αθηνάς	Αστικός-Κυκλοφορίας	X	X	X	X	X	-	-	-
Αριστοτέλους	Αστικός-Κυκλοφορίας	X	X	-	-	-	-	X	-
Γεωπονική	Περιαστικός-Βιομηχανικός	X	X	X	X	X	-	-	-
Γουδί	Αστικός-Κυκλοφορίας	X	X	-	-	-	X	X	-
Ελευσίνα	Περιαστικός-Βιομηχανικός	X	X	X	-	X	-	-	-
Ζωγράφου	Περιαστικός-Υποβάθρου	X	X	X	-	-	-	X	-
Θρακομακεδόνες	Περιαστικός-Υποβάθρου	X	X	X	-	-	-	X	-
Λιόσια	Περιαστικός-Υποβάθρου	X	X	X	-	X	-	-	-
Λυκόβρυση	Περιαστικός	X	X	X	-	-	X	X	-
Μαρούσι	Αστικός-Κυκλοφορίας	X	X	X	X	-	-	X	-
Ν. Σμύρνη	Αστικός-Υποβάθρου	X	X	X	X	X	-	-	-
Πατησίων	Αστικός-Κυκλοφορίας	X	X	X	X	X	-	-	X
Πειραιάς 1	Αστικός-Κυκλοφορίας	X	X	X	X	X	X	X	-
Πειραιάς 2	Αστικός-Υποβάθρου	X	X	X	X	X	-	-	-
Περιστέρι	Αστικός-Υποβάθρου	X	X	X	X	X	-	-	-

Στον Πίνακα 2.1 φαίνεται ο χαρακτηρισμός του κάθε σταθμού, καθώς και οι ρύποι που μετρούνται στον καθένα.

### 2.3 Μετρούμενοι ρύποι

Οι μετρούμενοι ρύποι παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2:

Πίνακας 2.2: Μετρούμενοι ρύποι στο λεκανοπέδιο Αττικής

<b>CO</b>	Μονοξείδιο του άνθρακα
<b>SO<sub>2</sub></b>	Διοξείδιο του άνθρακα
<b>NO</b>	Μονοξείδιο του αζώτου
<b>NO<sub>2</sub></b>	Διοξείδιο του αζώτου
<b>O<sub>3</sub></b>	Όζον
<b>PM<sub>2,5</sub><sup>2</sup></b>	Αιωρούμενα σωματίδια (διάμετρος μέχρι 2,5 μm)
<b>PM<sub>10</sub><sup>1</sup></b>	Αιωρούμενα σωματίδια (διάμετρος μέχρι 10 μm)
<b>Benz</b>	Βενζόλιο

Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων 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 μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό το τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής.

Στον Πίνακα 2.3 φαίνεται η χρονική βάση των μετρήσεων για κάθε ρύπο, καθώς και οι διαφορετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρησή τους.



Πίνακας 2.3: Χρονική βάση μέτρησης ρύπων και μέθοδοι μέτρησής τους

<b>ΡΥΠΟΙ</b>	<b>ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ</b>
<b>CO</b>	1 ώρα	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
<b>SO<sub>2</sub></b>	1 ώρα	Φθορισμομετρία
<b>NO</b>	1 ώρα	Χημειοφωταύγεια
<b>NO<sub>2</sub></b>	1 ώρα	Χημειοφωταύγεια
<b>O<sub>3</sub></b>	1 ώρα	Απορρόφηση στο υπεριώδες
<b>PM<sub>2,5</sub><sup>2</sup></b>	1 ώρα	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
<b>PM<sub>10</sub><sup>1</sup></b>	1 ώρα	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
<b>Benz</b>	1 ώρα	Αέρια χρωματογραφία (GC)

#### 2.4 Βαθμονόμηση των οργάνων

Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των οργάνων και τη ρύθμισή τους. Η βαθμονόμηση βασίζεται στη διαβίβαση μέσω του οργάνου αερίου, με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου. Η παρασκευή αυτή του πρότυπου αερίου, γίνεται με διάταξη δυναμικής αραιώσης, που συνδέεται αφενός με μία πηγή "καθαρού" αέρα και αφετέρου με έναν κύλινδρο που περιέχει μίγμα του εν λόγω αερίου με άζωτο σε γνωστή πρότυπη συγκέντρωση. Ο "καθαρός αέρας", δηλαδή αέρας απαλλαγμένος από τους κύριους ρύπους, παράγεται διαβιβάζοντας αέρα μέσα από ειδικά φίλτρα συγκράτησης των ρύπων. Μεταβάλλοντας την παροχή του "καθαρού" αέρα και του αερίου της φιάλης είναι δυνατή η επίτευξη μιγμάτων αερίων που περιέχουν τον αντίστοιχο ρύπο σε γνωστές συγκεντρώσεις. Η διαδικασία αυτή της βαθμονόμησης γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα ή μετά τη συντήρηση ή επισκευή ενός αναλυτή. (4)

## 2.5 Μονάδες μέτρησης

Για τον έλεγχο της ρύπανσης του αέρα και για τη σύγκριση των μετρήσεων με διάφορα περιβαλλοντικά πρότυπα που έχουν τεθεί, είναι ανάγκη να υπάρχουν κοινώς αποδεκτές μονάδες μέτρησης. Έτσι, για ομοιογένεια έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μονάδες για τα σωματίδια και τους αέριους ρυπαντές.

Οι μετρήσεις για *αιωρούμενα σωματίδια* ( $PM_{2.5}^2, PM_{10}^1$ ) δίδονται σε μάζα ανά μονάδα όγκου τέτοια, όπως μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Πριν, οι συγκεντρώσεις ρυπαντών δίδονταν συνήθως σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή σε μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) κατ' όγκον. Έτσι, οι μετρήσεις σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο μπορεί να ακολουθούνται από ισοδύναμη συγκέντρωση σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm), π.χ. 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0, 03 ppm) διοξειδίου του θείου. Για αέρια, τα μέρη στο εκατομμύριο (ppm) μπορούν να μετατρέπονται σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) με τη χρήση διάφορων τύπων. (5)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- (1) Ιστοσελίδα του Κέντρου Προστασίας Καταναλωτών (ΚΕΠΚΑ), [http://www.kepka.org/Grk/info/Inveroment/inv007\\_001.htm](http://www.kepka.org/Grk/info/Inveroment/inv007_001.htm)
- (2) «Ατμοσφαιρική Ρύπανση», Δημήτρης Μελάς, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1997
- (3) Ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Commission), [www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu)
- (4) «Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα - Έκθεση 2007», Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας ΥΠΕΧΩΔΕ Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος Διεύθυνση ΕΑΡΘ-ΑΠΡΙΑΙΟΣ 2008, [www.minenv.gr](http://www.minenv.gr)
- (5) «Διαχείριση του περιβάλλοντος, Επιχειρήσεις και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Σωτήρης Καρβούνης-Δημήτρης Γεωργακέλλος, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, 2003

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ-ISO 14001

### 3.1 Ιστορικά Στοιχεία

Οι κινητοποιήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος έχουν ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1960. Με την πάροδο του χρόνου οι προβληματισμοί για τη διαρκή υποβάθμιση του περιβάλλοντος έγιναν πιο έντονοι, με αποκορύφωμα τη δεκαετία του 1990. Η νομοθεσία κανονιστικού τύπου που κυριαρχούσε σε εθνικό επίπεδο στις δεκαετίες του 1970 και του 1980 με την πάροδο των χρόνων απέδειξε ότι δεν είναι ικανή από μόνη της να εκτιμήσει και να ρυθμίσει την κατάσταση του περιβάλλοντος, προασπίζοντας τις ανάγκες για άμεση προστασία του περιβάλλοντος και διατήρηση της ποιότητας ζωής. Αναγκαία όμως κρίθηκε η νομοθεσία σε αρκετά ζητήματα όπως της προστασίας των βιοτόπων, της βιολογικής ποικιλομορφίας με συμβάσεις (βλ. EEC 177 της 6.7.1988) και πλαίσια τα οποία επέβαλαν αρχές και τεχνικές που προάσπιζαν σημαντικά ζητήματα περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή της περιβαλλοντικής πολιτικής που υιοθετήθηκε είτε σε εθνικό είτε σε κοινοτικό επίπεδο δέχτηκε πολλές κριτικές στη δεκαετία του 1990 και για πολλά χρόνια αργότερα η νομοθεσία παρέμεινε ανεφάρμοστη.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία αλλαγή προσανατολισμού των ανθρώπων προς νέα Πρότυπα συμπεριφοράς τα οποία εφιστούν την προσοχή για την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο. Το φαινόμενο αυτό αρχίζει να γίνεται πιο γενικευμένο γιατί τα σημάδια της διατάραξης του πλανήτη είναι πλέον ορατά και στον πιο απλό πολίτη.

### 3.2 Πρότυπα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης

Η Περιβαλλοντική Διαχείριση (Environmental Management) είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν τον κόσμο των επιχειρήσεων στο τέλος του 20ού αιώνα. Η συμμόρφωση με τις ισχύουσες νομοθετικές απαιτήσεις, η ανταπόκριση στις πιέσεις της αγοράς για προϊόντα και διαδικασίες που σέβονται τους φυσικούς πόρους και το περιβάλλον και τα πλεονεκτήματα που παρέχει στην επιχείρηση η λειτουργία ενός Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (μείωση του κόστους ενέργειας, αποβλήτων και εκπομπών) είναι μερικοί από τους λόγους που οδηγούν τις επιχειρήσεις να επενδύουν στην ανάπτυξη Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης, είτε σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 14001 σε διεθνές επίπεδο, είτε σύμφωνα με το σχήμα-πλαίσιο EMAS στην Ευρώπη.

Στόχοι της πολιτικής και των προγραμμάτων δράσης για την προστασία του περιβάλλοντος των οργανισμών και κυβερνήσεων είναι η πρόληψη, η μείωση, η ανάκτηση πρώτων υλών και ενέργειας και η δυνατή ελαχιστοποίηση της ρύπανσης. Στο υφιστάμενο επιχειρηματικό περιβάλλον, που χαρακτηρίζεται από διαρκείς μεταβολές και εξάπλωση των νέων τεχνολογιών, διαμορφώνεται η αντίληψη της επιχειρηματικής δράσης με κύριο άξονα την ισχυροποίηση της ανταγωνιστικής θέσης για την κάθε επιχείρηση. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, ένα από τα αποτελεσματικά εργαλεία είναι η ικανοποίηση συγκεκριμένων προδιαγραφών με την εφαρμογή μιας σειράς προτύπων και κανονισμών.

Τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης αποτελούν μια μεθοδολογία συστηματοποίησης των διεργασιών μιας επιχείρησης, με σκοπό τη βελτίωση των περιβαλλοντικών και οικονομικών της επιδόσεων. Περιλαμβάνει, σε γενικές γραμμές τα εξής:

- ◆ Αρχική περιβαλλοντική ανάλυση
- ◆ Καθορισμό της περιβαλλοντικής πολιτικής και των αντικειμενικών σκοπών και στόχων και δημιουργία προγράμματος υλοποίησής του
- ◆ Οργάνωση, επικοινωνία, εκπαίδευση και τεκμηρίωση
- ◆ Έλεγχο δραστηριοτήτων της επιχείρησης που έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον

- ◆ Διαδικασίες παρακολούθησης και μέτρησης
- ◆ Διαρθρωτικές και προληπτικές ενέργειες, αρχεία και εσωτερικές επιθεωρήσεις
- ◆ Αναθεώρηση στόχων σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα του ελέγχου για συνεχή βελτίωση

Τα δύο παγκοσμίως Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης είναι το πρότυπο **ISO 14001** (International Organization for Standardization) και ο κανονισμός **EMAS** (Eco-Management and Audit Scheme). Οι διαφορές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1:

Πίνακας 3.1: Σύγκριση μεταξύ ISO 14001 και EMAS

<b>ISO 14001</b>	<b>EMAS</b>
Παγκόσμια αναγνώριση	Αναγνώριση μόνο στην Ε.Ε.
Δεν απαιτεί καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των σχετικών με την επιχείρηση νομοθετημάτων	Απαιτεί καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και σχετικών με την επιχείρηση νομοθετημάτων
Ετήσιος έλεγχος συμμόρφωσης του Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης	Καθορισμός της περιόδου επανελέγχου από τους επιθεωρητές περιβάλλοντος το ελάχιστο κάθε τρία χρόνια
Δεν απαιτεί περιβαλλοντική δήλωση	Δεν απαιτεί περιβαλλοντική δήλωση
Η περιβαλλοντική πολιτική του οργανισμού είναι ανακοινώσιμη στο κοινό	Η περιβαλλοντική πολιτική πρέπει να δημοσιεύεται μεταξύ άλλων και στα πλαίσια της περιβαλλοντικής δήλωσης
Λιγότερες απαιτήσεις	Περισσότερες απαιτήσεις, πληρέστερο

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.1, το πρότυπο EMAS είναι αυστηρότερο από το πρότυπο ISO 14001. **(1)**

### 3.3 Πρότυπα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης EMAS και ISO 14001

#### α) Το Σύστημα Οικολογικής Διαχείρισης και (EMAS)

Σκοπός του συστήματος EMAS είναι η προώθηση της συνεχούς βελτίωσης των περιβαλλοντικών επιδόσεων. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της κατάρτισης και της εφαρμογής περιβαλλοντικών πολιτικών από τις επιχειρήσεις, της συστηματικής αξιολόγησης των επιδόσεων της ενημέρωσης του κοινού ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την ενεργό συμμετοχή των εργαζομένων στον οργανισμό, καθώς και την κατάλληλη εκπαίδευση και διαρκή επιμόρφωση (Κανονισμός 761/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου). Η Ευρωπαϊκή Ένωση ως κίνητρο για την συμμετοχή στο EMAS, προσφέρει επιχορηγήσεις (που είναι πιθανό να φτάνουν έως και το 60% του προϋπολογισμού) για την εφαρμογή του συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης σε μεταποιητικές επιχειρήσεις. Επίσης, χρηματοδοτεί πιλοτικά προγράμματα προώθησης της συμμετοχής μικρομεσαίων επιχειρήσεων στο EMAS. Τα **βασικά βήματα**, από άποψη μεθοδολογικής προσέγγισης, που μπορεί μια επιχείρηση να ακολουθήσει ώστε να εφαρμόσει κάποιο πρότυπο ή κανονισμό, με δεδομένη την απόφαση και δέσμευση της διοίκησης προς αυτή την κατεύθυνση, είναι:

- ◆ Καθορισμός της περιβαλλοντικής πολιτικής της επιχείρησης. Η πολιτική αυτή είναι αναγκαίο να γίνεται γραπτώς, να υιοθετείται από το ανώτατο διοικητικό επίπεδο, να επανεξετάζεται περιοδικά και να αναθεωρείται και να είναι διαθέσιμη στο κοινό.
- ◆ Καθορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του οργανισμού. Η ανάλυση πρέπει να παρέχει μια εποπτική εικόνα της κατανάλωσης των πόρων του οργανισμού, των απορρίψεων του στα ύδατα και εκπομπών στην ατμόσφαιρα, και της παραγωγής αποβλήτων. Ο κανονισμός EMAS απαιτεί η ανάλυση να παράγει δύο αποτελέσματα:
  - Καθορισμός και καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων



- Καθορισμός και καταγραφή των νομοθετικών, ρυθμιστικών και άλλων απαιτήσεων που περιλαμβάνονται στην πολιτική.
- ◆ Το τμήμα αυτό αποτελεί τον καθορισμό με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης του προγράμματος το οποίο να καθορίζει τι πρέπει να περιλαμβάνει η περιβαλλοντική πολιτική της επιχείρησης.
- ◆ Το Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ΣΠΔ) κατανέμει ευθύνες και αρμοδιότητες και περιγράφει τα καθημερινά περιβαλλοντικά καθήκοντα. Με βάση το ΣΠΔ όλο το προσωπικό γνωρίζει τις καθημερινές του ατομικές υποχρεώσεις.
- ◆ Ο περιβαλλοντικός έλεγχος ελέγχει αν το σύστημα διαχείρισης που εφαρμόζεται λειτουργεί στο σύνολο του. Η διαδικασία ελέγχου εφαρμόζεται με ελέγχους αρχείων, γραπτών διαδικασιών, με επιθεωρήσεις των συνθηκών εργασίας και του εξοπλισμού και με συζητήσεις με το προσωπικό που ασχολείται με το συγκεκριμένο χώρο δραστηριοτήτων.
- ◆ Η απαίτηση αυτή αφορά την προετοιμασία από μέρους της επιχείρησης μιας δημόσιας περιβαλλοντικής δήλωσης που να αφορά την περιβαλλοντική εργασία τους, συμπεριλαμβανομένων της πολιτικής, των αντικειμενικών σκοπών και του συστήματος διαχείρισης. Η δήλωση αυτή μπορεί να διανεμηθεί στους πελάτες και σε κάθε άλλο ενδιαφερόμενο.
- ◆ Επικύρωση του συστήματος από ένα διαπιστευμένο περιβαλλοντικό επιθεωρητή. Ο επιθεωρητής εξετάζει και εγκρίνει τη συμμόρφωση του χώρου δραστηριοτήτων της επιχείρησης με τις απαιτήσεις του προτύπου, την επάρκεια και την αξιοπιστία των δεδομένων και των πληροφοριών που περιλαμβάνει η περιβαλλοντική δήλωση.



## **β) Το Πρότυπο ISO 14001**

Η σειρά προτύπων ISO 1400 εκδόθηκε το 1996 από Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης διαβλέποντας τις ανάγκες της αγοράς για θέματα διασφάλισης ποιότητας του περιβάλλοντος.

Από αυτά, το πρότυπο ISO 14001 αποτελεί μοντέλο για ένα Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης που μπορεί να αξιολογηθεί και να πιστοποιηθεί από διαπιστευμένους φορείς πιστοποίησης.

Σύμφωνα με το πρότυπο εντοπίζονται οι διαδικασίες της εταιρείας που επιβαρύνουν το περιβάλλον, καθορίζονται οι στόχοι που οδηγούν στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ποσοτικοποιούνται και ορίζονται οι απαραίτητες διαδικασίες των οποίων η διαρκής εφαρμογή εξασφαλίζει την επίτευξη τους. Ελέγχονται, ώστε να επιτυγχάνεται η ικανοποιητική εφαρμογή τους και, αν χρειαστεί, γίνονται οι κατάλληλες διορθωτικές κινήσεις. Παράλληλα καταγράφονται οι αρμοδιότητες του προσωπικού που εκτελεί αυτές τις διαδικασίες, το οποίο και εκπαιδεύεται κατάλληλα.

### **3.4 Μεθοδολογία Υλοποίησης**

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε μια ενδεικτική μεθοδολογία υλοποίησης ενός ΣΠΔ με βάση το πρότυπο 14001, το οποίο περιλαμβάνει και την ταυτόχρονη ανάπτυξη του προτύπου ISO 9001:2000. Οι επιμέρους φάσεις για την υλοποίηση του ΣΠΔ είναι οι εξής:

#### **Φάση 1: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Η φάση της σχεδίασης του διαχειριστικού συστήματος περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές ενέργειες:

- ◆ Διάγνωση υφιστάμενης κατάστασης
- ◆ Καθορισμός διαχειριστικού συστήματος

## Φάση 2: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η φάση της ανάπτυξης του διαχειριστικού συστήματος περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές ενέργειες:

- ◆ Καθορισμός στόχων και διεργασιών
- ◆ Αρχική έκδοση εγχειριδίου διαδικασιών

Οι διαδικασίες περιβαλλοντικής διαχείρισης μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- Διαδικασίες Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Παραμέτρων, οι οποίες θα αφορούν:
  - Στον εντοπισμό και στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών πλευρών και επιπτώσεων
  - Στην κατάρτιση των Προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης και Εκτάκτου Ανάγκης
  - Στη διαχείριση της επικοινωνίας με τρίτα μέρη
- Διαδικασίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, που θα αφορούν συγκεκριμένες κατηγορίες περιβαλλοντικής επίπτωσης: διαχείριση στερεών αποβλήτων, υγρών αποβλήτων, αερίων ρύπων, διαχείριση ενέργειας, θορύβου και διαχείριση εκτάκτων περιστατικών.
- ◆ Διαμόρφωση Εγχειριδίων Οδηγιών Εργασίας και Ελέγχου: Εντοπισμός των αναγκών συγγραφής των Οδηγιών Εργασίας και Ελέγχου, που προκύπτουν στα πλαίσια της εφαρμογής του Διαχειριστικού Συστήματος
- ◆ Ανάπτυξη Προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης: Τα Προγράμματα περιβαλλοντικής Διαχείρισης θα εκδοθούν στα πλαίσια της ελεγχόμενης υλοποίησης της διαδικασίας βελτίωσης των περιβαλλοντικών επιδόσεων, αναφορικά με υπάρχουσες αλλά και μελλοντικές δραστηριότητες, αναφέροντας:

- τους περιβαλλοντικούς σκοπούς ανά δραστηριότητα
  - τους περιβαλλοντικούς στόχους για την επίτευξη των περιβαλλοντικών σκοπών
  - τη σειρά και τη λεπτομερή περιγραφή των απαιτούμενων ενεργειών για την επίτευξή τους
  - το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης / επίτευξης των περιβαλλοντικών σκοπών και στόχων
  - τα απαραίτητα στοιχεία και προδιαγραφές καθώς και τα σχετικά μέρη της υπάρχουσας τεκμηρίωσης
  - τους τρόπους - μεθόδους - μηχανισμούς και εργαλεία
  - το αρμόδιο προσωπικό (ανά ιεραρχική βαθμίδα)
  - τις διορθωτικές ενέργειες σε περίπτωση αποκλίσεων, οι οποίες έχουν τη μορφή επέμβασης :
    - o είτε στον τρόπο λειτουργίας (χειρισμός)
    - o είτε στη ροή πληροφόρησης (ενημέρωση)
- ◆ Ανάπτυξη Προγραμμάτων Εκτάκτου Ανάγκης (Contingency Plans): Τα Προγράμματα Εκτάκτου Ανάγκης καθορίζουν τα πλαίσια της προληπτικής αντιμετώπισης δυνητικών περιστατικών, τα οποία θα προκαλέσουν σημαντικές ή μη περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και περιβαλλοντική επιβάρυνση σε ειδικούς τομείς και οικοσυστήματα, αναφέροντας κατά κύριο λόγο:
- τις σχετικές Διαδικασίες και Οδηγίες Εργασίας και Ελέγχου
  - τις σχετικές αρμοδιότητες του εμπλεκόμενου προσωπικού
  - το πλάνο επικοινωνίας εξωτερικά και εσωτερικά της εταιρείας
  - τα σχέδια δράσης, τα οποία αναφέρουν τις ενέργειες ανά περίπτωση έκτακτης ανάγκης
  - πληροφορίες αναφορικά με τη χρήση επικίνδυνων υλικών.

- ◆ Διεύθυνση Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας: Περιλαμβάνει τη συλλογή και ταξινόμηση της σχετικής με τις δραστηριότητες της εταιρίας νομοθεσίας:
  - σε επίπεδο ελληνικής νομοθεσίας
  - σε ευρωπαϊκό επίπεδο
  - σε διεθνές επίπεδο

### **Φάση 3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

- Τελική έκδοση εγχειριδίων Διαδικασιών / Οδηγιών Εργασίας και Ελέγχου
- Έκδοση εγχειριδίου διαχειριστικού συστήματος
- Εσωτερικοί έλεγχοι διαχειριστικού συστήματος
- Ανασκόπηση διαχειριστικού συστήματος
- Ενημέρωση και εκπαίδευση του προσωπικού

### **3.5 Κόστος Εφαρμογής ΣΠΔ**

Τα πιθανά κόστη εφαρμογής ενός ΣΠΔ από μια επιχείρηση είναι:

- ◆ Κόστος επένδυσης και υποδομών
- ◆ Κόστος εξωτερικών συμβούλων – πρόσληψη εξειδικευμένου προσωπικού που θα κάνει την προετοιμασία για την εφαρμογή
- ◆ Κόστος εκπαίδευσης προσωπικού
- ◆ Κόστος υπεύθυνου περιβαλλοντικής διαχείρισης επιχείρησης (εσωτερικός επιθεωρητής)
- ◆ Κόστος μελέτης
- ◆ Μικρό κόστος δημοσιοποίησης
- ◆ Μεγαλύτερο φορτίο εργασίας- επιπλέον εργατοώρες

Είναι προφανές ότι το συνολικό κόστος δεν είναι το ίδιο για κάθε επιχείρηση. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος της επιχείρησης (εργαζόμενοι-υποδομές), καθώς και από την προϋπάρχουσα εμπειρία που υπάρχει πάνω στην εφαρμογή ΣΠΔ. (2)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- (1) «Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ISO14001 - EMAS σαν μέσα σχεδιασμού, διαχείρισης και αξιολόγησης περιβαλλοντικών προγραμμάτων επιχειρήσεων», Κ. Αραβώσης, Δρ. Επιχειρησιακής Έρευνας, Εντεταλμένου Καθηγητή Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΔΙΚΑΙΟ, Τεύχος 4, σελ. 718 - 731, 2002
  
- (2) «Τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ISO 14001 & EMAS», Γιάννης Ρομπογιαννάκης, Αναπτυξιακή Κρήτης, Υπεύθυνος Δράσεων Τουρισμού και Υπεύθυνος Διασφάλισης Ποιότητας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

### 4.1 Ανάλυση ρύπων

#### 4.1.1 Μονοξείδιο του άνθρακα ( CarbonMonoxide – CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άγευστο και άοσμο. Είναι χημικώς αδρανές σε κανονικές συνθήκες ενώ έχει ατμοσφαιρική μέση διάρκεια ζωής γύρω στους 2,5 μήνες. Η συνολική του εκπομπή υπολογίζεται πάνω από το μισό όλων των ανθρωπογενών ρυπαντών του αέρα.

Στα σημερινά επίπεδα το μονοξείδιο του άνθρακα έχει μικρή αν όχι μηδαμινή επίδραση στα αντικείμενα, τα φυτά ή τα διάφορα υλικά. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον ανθρώπινο αερόβιο μεταβολισμό λόγω της υψηλής του έλξης με την αιμογλοβίνη, το συστατικό του αίματος που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά του οξυγόνου. Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αιμογλοβίνη του αίματος και παράγει καρβοξυαιμογλοβίνη, μειώνοντας έτσι την ικανότητα του αίματος για μεταφορά οξυγόνου. Τα αποτελέσματα στην υγεία προσώπων που εκτίθενται σε CO, ανάλογα με τα επίπεδα της καρβοξυαιμογλοβίνης, μπορεί να είναι: επίδραση στο κεντρικό νευρικό σύστημα, καρδιακές λειτουργικές αλλαγές, πονοκέφαλοι, ίλιγγοι, ζαλάδες, κώμα, θάνατος.

Η απορρόφηση του CO από το σώμα αυξάνεται με τη συγκέντρωση του CO στον αέρα, τη διάρκεια έκθεσής του σε αυτό και τη δραστηριότητα που εκτελείται. Οι συγκεντρώσεις του CO είναι ιδιαίτερα υψηλές σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου η κυκλοφορία οχημάτων είναι πυκνή και η κίνηση αργή.

Οι πηγές του CO είναι φυσικές και ανθρωπογενείς. Η εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα από τις μεταφορές αποτελεί στις βιομηχανικές χώρες ποσοστό κοντά στο 18% του συνόλου του CO που εκπέμπεται από όλες τις πηγές μαζί (καύση καυσίμων σε στατικές πηγές, καύσεις στερεών αποβλήτων, βιομηχανικές δραστηριότητες και άλλες αιτίες που περιλαμβάνουν πυρκαγιές δασών, πυρκαγιές οικοδομών, καύση αγροτικών υπολειμμάτων, κλπ.)

Η εκπομπή CO από αυτές τις πηγές άρχισε τελευταία να μειώνεται λόγω της λήψης διαφόρων μέτρων και της εφαρμογής διαφόρων συσκευών.

Ο έλεγχος του CO στην ατμόσφαιρα γίνεται με βάση ορισμένα θεσπισμένα κριτήρια. Βασισμένα λοιπόν σε αυτά τα κριτήρια και στα παρεχόμενα περιθώρια ασφαλείας, τα πρότυπα της ποιότητας του αέρα για το CO έθεσαν ως όριο τα **10 mg/m<sup>3</sup>** ως μέγιστη ποσότητα για ένα οκτάωρο κατά μέσο όρο και τα **40 mg/m<sup>3</sup>** ως τη μέγιστη ποσότητα κατά μέσο όρο για μία ώρα. Επίσης, η μέγιστη ποσότητα δεν πρέπει να ξεπερνιέται περισσότερες από μία φορά το χρόνο (NAPCA των ΗΠΑ και WHO).

Καταστάσεις συναγερμού δημιουργούνται όταν τα επίπεδα του CO φτάσουν σε θανατηφόρα όρια για μικρή χρονική περίοδο. Για την πρόληψη του κινδύνου έχουν αναπτυχθεί στάδια ελέγχου: το πρώτο στάδιο ελέγχου αρχίζει αν η συγκέντρωση του CO φτάσει τα 34 mg/m<sup>3</sup> σε μέσο όρο οκταώρου. Αν τα επίπεδα του CO φτάσουν τα 46 mg/m<sup>3</sup> σε μέσο οκταώρου, εφαρμόζεται αυστηρότερη δράση ελέγχου, περιλαμβανομένου και του κλεισίματος των εργοστασίων και της απαγόρευσης της κυκλοφορίας στις περιοχές που παρουσιάστηκε το επεισόδιο.

Η απορρόφηση, η προσρόφηση, η συμπύκνωση και η καύση είναι τέσσερις βασικές τεχνικές ελέγχου που χρησιμοποιούνται για το CO. Ο έλεγχος του CO στην πηγή είναι πολύ πιο επιθυμητός από τον έλεγχο με αραίωση στον αέρα.

#### 4.1.2 Οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>)

Τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) είναι πιθανώς οι πιο ευρέως και οι περισσότερο μελετημένοι από όλους τους ανθρωπογενείς ρυπαντές του αέρα. Περιλαμβάνουν έξι διαφορετικές αέριες ενώσεις (SO, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>) είναι τα δύο οξείδια του θείου που ενδιαφέρουν περισσότερο τις μελέτες της ρύπανσης του αέρα.

Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο, άφλεκτο και μη εκρηκτικό αέριο με θειώδη οσμή. Είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και είναι περίπου δύο φορές βαρύτερο του αέρα. Υπολογίζεται ότι το SO<sub>2</sub> παραμένει στον αέρα από 2 ως 4 μέρες κατά τη διάρκεια των οποίων μπορεί να μεταφέρεται ακόμα και πέραν των 1000 km. Έτσι, το πρόβλημα της ρύπανσης από SO<sub>2</sub> γίνεται διεθνές.



Σε σκονισμένη ατμόσφαιρα το SO<sub>2</sub> είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο επειδή παραλύει τα τριχίδια των πνευμόνων που εξυπηρετούν την αναπνοή. Χωρίς την κανονική δράση αυτών των τριχιδίων, τα αιωρούμενα σωματίδια της σκόνης μπορεί να διατρήσουν τους πνεύμονες και να εγκατασταθούν εκεί. Τα σωματίδια αυτά όμως συνήθως φέρουν μαζί τους και συμπυκνωμένα ποσά SO<sub>2</sub> και έτσι αυτό το ερεθιστικό μέσο έρχεται σε απευθείας επαφή με τους ευαίσθητους ιστούς των πνευμόνων. Ο συνδυασμός σκόνης και SO<sub>2</sub> έχει αναφερθεί ως αιτία θανάτου σε μερικά επεισόδια ρύπανσης του αέρα. Εξάλλου, τα οξείδια του θείου συμμετέχουν στη δημιουργία της λεγόμενης όξινης βροχής.

Τα φυτά είναι ευαίσθητα στο SO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια περιόδων έντονης ηλιοφάνειας, υψηλής σχετικής υγρασίας και μετρίων θερμοκρασιών, κυρίως κατά τη διάρκεια ανάπτυξής τους.

Παρατεταμένη έκθεση σε SO<sub>2</sub> επιταχύνει τη διάβρωση πολλών μετάλλων όπως του χάλυβα, του ψευδαργύρου, του χαλκού και του νικελίου, ειδικά σε σχετικές υγρασίες πάνω από 70%.

Η καύση στερεών ορυκτών καυσίμων συμμετέχει πάνω από 80% στις ανθρωπογενείς εκπομπές SO<sub>2</sub>. Η καύση σε στατικές πηγές (κυρίως σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού) και οι βιομηχανικές διεργασίες είναι οι βασικοί συντελεστές παραγωγής SO<sub>2</sub> από ανθρώπινες πηγές.

Για τον έλεγχο του SO<sub>2</sub> έχουν τεθεί διάφορα πρότυπα.

Οι ευρύτερα διαδεδομένοι μέθοδοι ελέγχου των εκπομπών των οξειδίων του θείου περιλαμβάνουν καύση καυσίμων με λιγότερο θείο, απομάκρυνση θείου από τα καύσιμα, μετατροπή του άνθρακα με υδροποίηση ή αεριοποίηση, υποκατάσταση με άλλη πηγή ενέργειας, κάθαρση των προϊόντων της καύσεως ή διασπορά τους με υψηλές καμινάδες.

#### **4.1.3 Οξείδια του αζώτου**

Τα οξείδια του αζώτου περιλαμβάνουν έξι γνωστές αέριες ενώσεις: το νιτρικό οξείδιο (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), το νιτρώδες οξείδιο (N<sub>2</sub>O), το τριοξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), το τετροξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) και το πεντοξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Σχηματίζονται στις αναπτυγμένες χώρες από την καύση

καυσίμων των αυτοκινήτων (περίπου 50%), από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας (στατικές) σε ποσοστό 30% περίπου και κατά 20% από βιομηχανικές, εμπορικές και οικονομικές δραστηριότητες, όταν συμβαίνουν αυτές σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα δύο από τα οξείδια του αζώτου που πρωτογενώς αφορούν τη ρύπανση του αέρα είναι το νιτρικό οξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>).

Το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) είναι διαλυτό στο νερό και σχηματίζει νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>), νιτρικό οξύ (HNO<sub>2</sub>) ή νιτρικό οξείδιο (NO). Το νιτρικό οξύ και το νιτρώδες οξύ απομακρύνονται με τη βροχή ή συνδυάζονται με αμμωνία στην ατμόσφαιρα (NH<sub>3</sub>) και σχηματίζουν νιτρικό αμμώνιο (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Σε αυτή την περίπτωση το NO<sub>2</sub> δίνει θρεπτικά συστατικά για φυτά (λίπασμα).

Το NO<sub>2</sub> είναι καλός απορροφητής της ενέργειας του υπεριώδους φωτός και κατά συνέπεια παίζει σπουδαίο ρόλο στην παραγωγή δευτερογενών ρυπαντών του αέρα, τέτοιων όπως το όζον (O<sub>3</sub>).

Το NO<sub>2</sub> επίσης ερεθίζει τους πνεύμονες, με όλα τα επακόλουθα. Σπουδαίο ρόλο στην τοξικότητα του αερίου παίζουν οι συγκεντρώσεις, η διάρκεια έκθεσης, η ύπαρξη και άλλων αερίων ρυπαντών. Επίσης το NO<sub>2</sub> αποτελεί σοβαρή αιτία δημιουργίας της όξινης βροχής που καταστρέφει δάση, φυτά, νερά, μνημεία, υλικά και την υγεία ζώων και ανθρώπων.

Τα τυπικά επίπεδα το υ NO<sub>2</sub> είναι περίπου 7,5-9,4μg/m<sup>3</sup>. όμως οι συγκεντρώσεις σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορεί να είναι και 1.000 φορές μεγαλύτερες από εκείνες που παρατηρούνται στην ύπαιθρο. Οι διακυμάνσεις του αερίου εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, τα μετεωρολογικά φαινόμενα και τον όγκο της κυκλοφορίας οχημάτων. Πριν από το φως της ημέρας το NO<sub>2</sub> παραμένει σε σχετικά χαμηλές και σταθερές συγκεντρώσεις. Με τις αυξημένες πρωινές δραστηριότητες, ειδικά από τη χρησιμοποίηση των αυτοκινήτων, οι συγκεντρώσεις αυξάνονται γρήγορα.

Έχουν τεθεί κανονισμοί για επεισόδια NO<sub>2</sub> που σχεδιάστηκαν για να προλαβαίνουν τις συγκεντρώσεις ρυπαντών στον αέρα ώστε να μη φτάνουν σε επίπεδα που θα μπορούσαν να προξενήσουν μεγάλη βλάβη στην υγεία. Γενικά, τα περισσότερα μέτρα ελέγχου για εκπομπές NO<sub>2</sub> κατευθύνονται στην τροποποίηση των συνθηκών καύσης για μείωση της παραγωγής NO<sub>x</sub> και τη χρησιμοποίηση διαφόρων συσκευών για την απομάκρυνση των NO<sub>x</sub> από τα καυσαέρια.

#### 4.1.4 Όζον (O<sub>3</sub>)

Το όζον (O<sub>3</sub>) είναι ένα τριατομικό μόριο, που αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου. Είναι ασταθές αέριο, ισχυρά οξειδωτικό, ισχυρό τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Είναι λίγο διαλυτό στο νερό και δεν αφήνει υπολείμματα, αφού είναι ασταθές και εύκολα διασπάται. Το όζον που βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας θεωρείται μολυσματικό στοιχείο για τον αέρα αυτού του επιπέδου από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και έχει ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα των μελών του ζωικού βασιλείου. Από την άλλη, το όζον είναι χρήσιμο όταν βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, γιατί προλαμβάνει την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία από το να φτάσει στην επιφάνεια της γης. Εμφανίζεται σε χαμηλή συγκέντρωση στο σύνολο της γήινης ατμόσφαιρας.

#### 4.1.5 Αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>2,5</sub><sup>2</sup>, PM<sub>10</sub><sup>1</sup>)

Ως αιωρούμενο σωματίδιο (Suspended Particulate Matter, SPM) χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα, ώστε καθίστανται ορατά σαν καπνός, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που μπορούν να ανιχνευθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ορισμένα σωματίδια διαφεύγουν απευθείας από τις πηγές τους, όπως οι καπνοδόχοι και τα αυτοκίνητα. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, αέρια όπως CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, και VOC αντιδρούν με διάφορες ενώσεις του αέρα και δημιουργούν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Η φύση τους και η χημική σύστασή τους ποικίλλει, και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε καθαρή ατμόσφαιρα είναι της τάξεως των 10 μg/m<sup>3</sup>.

Τα αιωρούμενα σωματίδια δεν είναι ένας ενιαίος ρύπος, αλλά μάλλον είναι ένα μίγμα πολλών ρύπων. Μέτρο της προσροφητικής ικανότητας των σωματιδίων

αποτελεί η ειδική επιφάνειά τους, η οποία αυξάνει όσο μειώνεται η διάμετρος των σωματιδίων. Αυτό συγκλίνει και με τις τελευταία δημοσιευμένες έρευνες σύμφωνα με τις οποίες τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία σωματίδια είναι αυτά με την μικρότερη διάμετρο.

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

Το πρωταρχικό μέτρο TSP αντικαταστάθηκε με το  $PM_{10}$ , το οποίο αναφέρεται μόνο σε αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου 10  $\mu m$  ή και μικρότερης (<10  $\mu m$ ). Μελέτες που αφορούν στην μεταφορά και τον μετασχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων προτείνουν τον ακόλουθο διαχωρισμό:

Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2.5 - 10.0  $\mu m$ , χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα σωματίδια,  $PM_{2,5-10}$  (coarseparticles). Τα χονδρόκοκκα σωματίδια έχουν διάφορες πηγές προέλευσης, όπως από τη σκόνη μεταφερόμενη με τον άνεμο, από οχήματα τα οποία κινούνται σε άστρωτους δρόμους, από μηχανήματα βιομηχανιών συμπίεσης, λωσίματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, αλέσματος, κ.ά. Σχηματίζονται υπό την επίδραση, κυρίως, μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Σωματίδια σκόνης ή χώματος προέρχονται από την κίνηση του ανέμου, ή από άλλες μηχανικές δράσεις της περιοχής. Γύρη και σπόρια απαντώνται ως μέρη των χονδρόκοκκων σωματιδίων, και κυριαρχούν ιδιαίτερος υλικά γεωλογικής προελεύσεως.

Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2,5  $\mu m$  (<2,5 $\mu m$ ) αναφέρονται ως λεπτόκοκκα σωματίδια,  $PM_{2,5}$  (fine particles). Αποδίδονται στα σχηματιζόμενα από την αέρια φάση σωματίδια, με διαδοχικές συσσωρεύσεις, συμπύκνωση, μεταφορά ή καύση, και αρχικά έχουν διάμετρο περίπου 0,05  $\mu m$ . Αναφέρονται ως πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια (ultra fine) ή πυρήνες σωματιδίων (nuclei mode ή very fine nuclei). Τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να συσσωρεύονται περαιτέρω, σχηματίζοντας τα χαρακτηριζόμενα ως συσσωρευμένα σωματίδια (accumulation mode), διαμέτρου γύρω στα 0,5  $\mu m$  και τα οποία είναι σχετικά σταθερά στον αέρα.. Τα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια τα οποία συνενώνονται, υπό φυσιολογικές βεβαίως ατμοσφαιρικές συνθήκες, προς συσσωρευμένα, δεν μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος χονδρόκοκκων σωματιδίων.

Τα  $PM_{2.5}$  προκύπτουν από πολλές, διαφορετικές πηγές, όπως από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, από διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και από οικιακές εστίες φωτιάς, τζάκια, φούρνοι κ.ά., κι έτσι η σύστασή τους ποικίλλει. Δημιουργούνται επίσης από αέρια πυρανάφλεξης, τα οποία μετατρέπονται με χημικό τρόπο σε σωματίδια.

Οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σημαντικές και ποικιλόμορφες σε όλους τους τομείς του περιβάλλοντος, ενώ ειδικότερα στην υγεία εξαρτώνται από τη διάμετρό το  $\mu$ , τη χημική το  $\mu$  σύσταση καθώς και από την ύπαρξη άλλων ρύπων, με τους οποίους δρουν συνεργιστικά. (1)

#### 4.2 Επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων στη ρύπανση

Οι παράμετροι της μετεωρολογίας που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι: η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου, η ευστάθεια της ατμόσφαιρας και ειδικά για τους φωτοχημικούς ρύπους η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η διάρκεια της ηλιοφάνειας. Άλλες παράμετροι που συντελούν σημαντικά στη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι: η βροχόπτωση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και έμμεσα η θερμοκρασία.

Γενικότερα η κλειστή τοπογραφία του λεκανοπέδιου της Αθήνας δυσχεραίνει τον αερισμό και τη διάχυση των ρύπων λόγω της ύπαρξης ορεινών όγκων, ενώ έχει ως αποτέλεσμα, η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου να είναι είτε Βορειοανατολική είτε Νοτιοδυτική. Οι Βορειοανατολικοί άνεμοι είναι συνοπτικοί και έχουν συνήθως μεγάλη μέση ταχύτητα σε σχέση με τους Νοτιοδυτικούς ανέμους, συντελώντας έτσι καθοριστικά στη διάχυση των ρύπων. Η υψηλή ένταση που παρατηρείται στους ΝΝΑ ανέμους αποδίδεται σε διέλευση βαρομετρικών συστημάτων χαμηλής πίεσης.

Σε περίπτωση ασθενούς ή απουσίας συνοπτικής ροής, οι άνεμοι του νότιου τομέα είναι αποτέλεσμα τοπικού συστήματος κυκλοφορίας (θαλάσσια αύρα), γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη υψηλών συγκεντρώσεων δευτερογενών (φωτοχημικών) ρύπων στην περιφέρεια του λεκανοπεδίου.

### 4.3 Νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας

Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια για τους ρύπους: διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του αζώτου, μόλυβδο, όζον, μονοξειδίου του άνθρακα, βενζόλιο, σύμφωνα με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με μία σειρά από νέες οδηγίες σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση, θεσπίστηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση, πέραν των άλλων, νέα όρια για τους διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων.

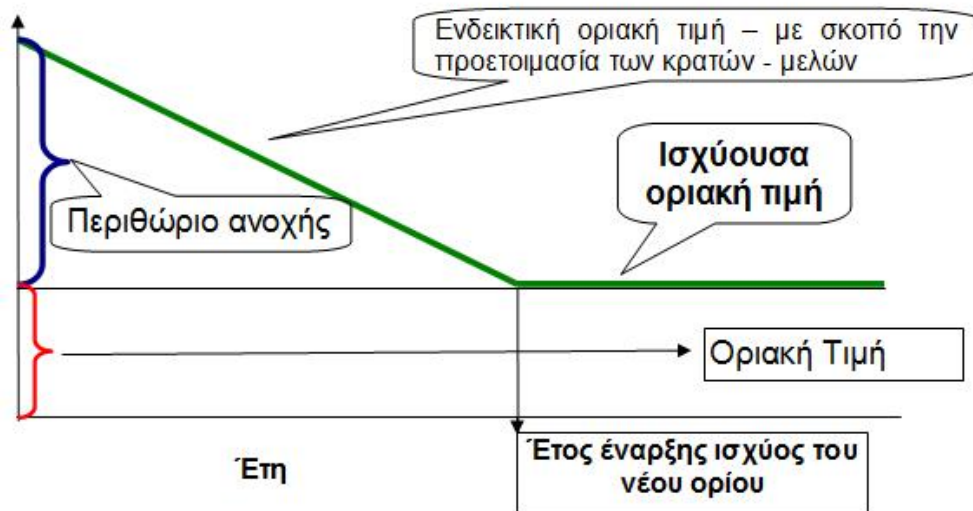
Οι οδηγίες που έχουν εκδοθεί μέχρι τέλος του 2004 και αφορούν στα νέα όρια είναι:

- Οδηγία 1996/62/ΕΚ για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000).
- Οδηγία 1999/30/ΕΚ για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος (ΠΥΣ 34/30.5.2002, ΦΕΚ 125/Α/ 5-6-02).
- Οδηγία 2000/69/ΕΚ για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 9238/332, ΦΕΚ 405Β/27.2.05).
- Οδηγία 2002/3/ΕΚ σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05).
- Οδηγία 2004/107/ΕΚ σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).

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

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

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται διαγραμματικά οι οριακές τιμές και τα περιθώρια ανοχής, όπως ορίζονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.



Σχήμα 4.1 Επεξηγηματική απεικόνιση των οριακών τιμών και των περιθωρίων ανοχής σύμφωνα με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

#### 4.4 Όρια εκτάκτων μέτρων

Με την Κ.Υ.Α 11824/1993 θεσμοθετείται σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τίθενται «όρια εκτάκτων μέτρων», για τον περιορισμό της ρύπανσης σε περιπτώσεις που κυρίως λόγω εξαιρετικά δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, αναμένεται αύξηση των τιμών ρύπανσης.

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

Παράλληλα ορίζονται και κάποια «όρια ενημέρωσης κοινού», χαμηλότερα από τα όρια εκτάκτων μέτρων (συναγερμού). Με τα όρια ενημέρωσης κοινού το ΥΠΕΧΩΔΕ συμβουλεύει άτομα με αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις και γενικότερα άτομα ευπαθή στην ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως ηλικιωμένους και παιδιά, να παραμένουν σε εσωτερικούς χώρους, καθώς επίσης να αποφεύγουν την έντονη σωματική άσκηση.

Τα αρχικά όρια για τη λήψη εκτάκτων μέτρων, που αναφέρονται στην παραπάνω ΚΥΑ, τροποποιήθηκαν για τους ρύπους NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub> με την εφαρμογή των Οδηγιών 1999/30/ΕΚ (ενσωμάτωση στο Εθνικό Δίκαιο με την Π.Υ.Σ. 34/30.5.2002) και 2002/3/ΕΚ (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05).

Για το CO, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/69/ΕΚ (ενσωμάτωση στο Εθνικό Δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 9238/332/2004) δεν προβλέπεται όριο συναγερμού. Με το άρθρο 13 της ΚΥΑ 9238/332/2004, οι διατάξεις της ΚΥΑ 11824/1993 για τη λήψη εκτάκτων μέτρων που αναφέρονται στο CO καταργούνται.

Για τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10) δεν προβλέπεται από την κείμενη νομοθεσία τόσο την ευρωπαϊκή όσο και την ελληνική όριο συναγερμού.

Τα επικαιροποιημένα όρια ενημέρωσης κοινού καθώς και τα όρια συναγερμού - λήψης εκτάκτων μέτρων που ισχύουν σήμερα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.



Πίνακας 4.1: Όρια ενημέρωσης κοινού και όρια συναγερμού

ΡΥΠΟΙ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΟΡΙΑ	
		Ενημέρωσης κοινού	Συναγερμού
SO <sub>2</sub>	1 ώρα	-	500 µg/m <sup>3</sup> υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
NO <sub>2</sub>	1 ώρα	-	400 µg/m <sup>3</sup> υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
O <sub>3</sub>	1 ώρα	180 µg/m <sup>3</sup> υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες	240 µg/m <sup>3</sup> υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες

## 4.5 Οριακές τιμές

### ☀ Οριακές τιμές για το μονοξείδιο του άνθρακα

ΟΔΗΓΙΑ 2000/69/EC

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Αριθμός υπερβάσεων	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
Μέση τιμή 8ώρου για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	8 ώρες	10mg/m <sup>3</sup>	Καμία	1η Ιανουαρίου 2005

1 ppm=1,16 mg/m<sup>3</sup> στους 20°C

### ☀ Οριακές τιμές για το διοξείδιο του αζώτου

ΟΔΗΓΙΑ 1999/30/EK

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Αριθμός υπερβάσεων	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
Ωριαία οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	1 ώρα	200 μg/m <sup>3</sup>	<18	1η Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 μg/m <sup>3</sup>	Καμία	1η Ιανουαρίου 2010

1 ppb=1,91 μg/m<sup>3</sup> στους 20°C

❁ **Οριακές τιμές για το όζον**

ΟΔΗΓΙΑ COM(2000)613final

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Αριθμός υπερβάσεων	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
Μέση τιμή 8ώρου για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Όχι περισσότερες από 26 ανά ημερολογιακό έτος	2010

1 ppb=2,00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στους 20°C

❁ **Οριακές τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub>**

ΟΔΗΓΙΑ 1999/30/EK

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Αριθμός υπερβάσεων	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Όχι περισσότερες από 35 ανά ημερολογιακό έτος	1η Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Καμία	1η Ιανουαρίου 2005

ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, 1987

Περίοδος αναφοράς	Τιμή ορίου για τα αιωρούμενα σωματίδια
ΕΤΟΣ	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Αριθμητικός μέσος 24ωρων μετρήσεων για ένα έτος)
Μέση ημερήσια τιμή	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

❁ Οριακές τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια  $\text{PM}_{2,5}$

ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, 1987

Περίοδος αναφοράς	Τιμή ορίου για τα αιωρούμενα σωματίδια
Μέση ετήσια τιμή	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέση ημερήσια τιμή	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

❁ Οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου

ΟΔΗΓΙΑ 1999/30/ΕΚ

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Αριθμός υπερβάσεων	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
Ωριαία οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	1 ώρα	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Όχι περισσότερες από 24 ανά ημερολογιακό έτος	1η Ιανουαρίου 2005

24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Όχι περισσότερες από 3 ανά ημερολογιακό έτος	1η Ιανουαρίου 2005
--	---------	------------------------------	--	--------------------------

1 ppb=2,66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στους 20°C (2)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- (1) Ιστοσελίδα του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Περιβαλλοντικής Φυσικής Ε.Α.Ρ-ΠΕ.ΦΥ, <http://airlab.edu.gr/htm/pm.htm>
- (2) «Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα - Έκθεση 2007», Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας ΥΠΕΧΩΔΕ Γεν. Διεύθυνση Περιβάλλοντος Διεύθυνση ΕΑΡΘ-ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2008, [www.minenv.gr](http://www.minenv.gr)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΘΑ ΑΝΑΛΥΘΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### 5.1 ΤΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το μονοξείδιο του άνθρακα αποτελεί έναν από τους πιο συνηθισμένους ρύπους. Σε απόλυτες συγκεντρώσεις είναι ένας από τους τοξικότερους ρύπους. Ως μονάδα μέτρησης της συγκέντρωσής του θεωρείται το  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Μπορεί επίσης να εκφραστεί σε μονάδες ppm, των οποίων η σχέση με τις μονάδες  $\text{mg}/\text{m}^3$  σε θερμοκρασία 293K και πίεση 101.3Kpa είναι:

$$1 \text{ ppm} = 1.165 \text{ mg}/\text{m}^3 \text{ και } 1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0.858 \text{ ppm}$$

#### 5.1.1 Πηγές εκπομπών CO

Σε μια προσπάθεια κατηγοριοποίησης των πηγών εκπομπών των ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα (πρωτογενείς ρύποι) και συγκεκριμένα για το μονοξείδιο του άνθρακα προέκυψαν τα στοιχεία του Πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1: Πηγές εκπομπών CO

ΠΗΓΗ	CO (εκατομμύρια τόνοι/έτος)
<b>Μεταφορές:</b>	
Αυτοκίνητο	67.3
Άλλα	3.9
Σύνολο	71.2
<b>Καύσεις:</b>	
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	0.1
Βιομηχανία	0.3
Οικιακή Θέρμανση	1.3
Άλλα	0.2
Σύνολο	1.9
<b>Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων:</b>	4.5

<b>Διάφορες Κατεργασίες:</b>	<b>7.8</b>
<b>Διάφορα:</b>	<b>1.2</b>
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>	<b>86.6</b>

Τα παραπάνω αποτελούν τμήμα έρευνας του πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (1)

Όπως προκύπτει και από τον Πίνακα 5.1 που προηγήθηκε, μεγαλύτερη ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Υψηλές συγκεντρώσεις του μπορούν να βρεθούν σε κλειστά μέρη, όπως χώροι στάθμευσης, ελλιπώς αεριζόμενες υπόγειες διαβάσεις, ή κατά μήκος των δρόμων σε περιόδους κυκλοφοριακής αιχμής.

### 5.1.2 Επιπτώσεις στην υγεία

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι επικίνδυνο επειδή εμποδίζει τη δυνατότητα του αίματος να μεταφέρει το οξυγόνο στα όργανα ζωτικής σημασίας, όπως η καρδιά και ο εγκέφαλος. Το εισπνεόμενο μονοξείδιο ενώνεται με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και παράγει ανθρακυλοαιμοσφαιρίνη (carboxyhemoglobin COHb) στο αίμα, η οποία έχει δυσμενείς επιπτώσεις στον οργανισμό.

Στον Πίνακα 5.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία που προκαλεί η έκθεση σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στον περιβαλλοντικό αέρα.



Πίνακας 5.2: Επιπτώσεις της έκθεσης σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα

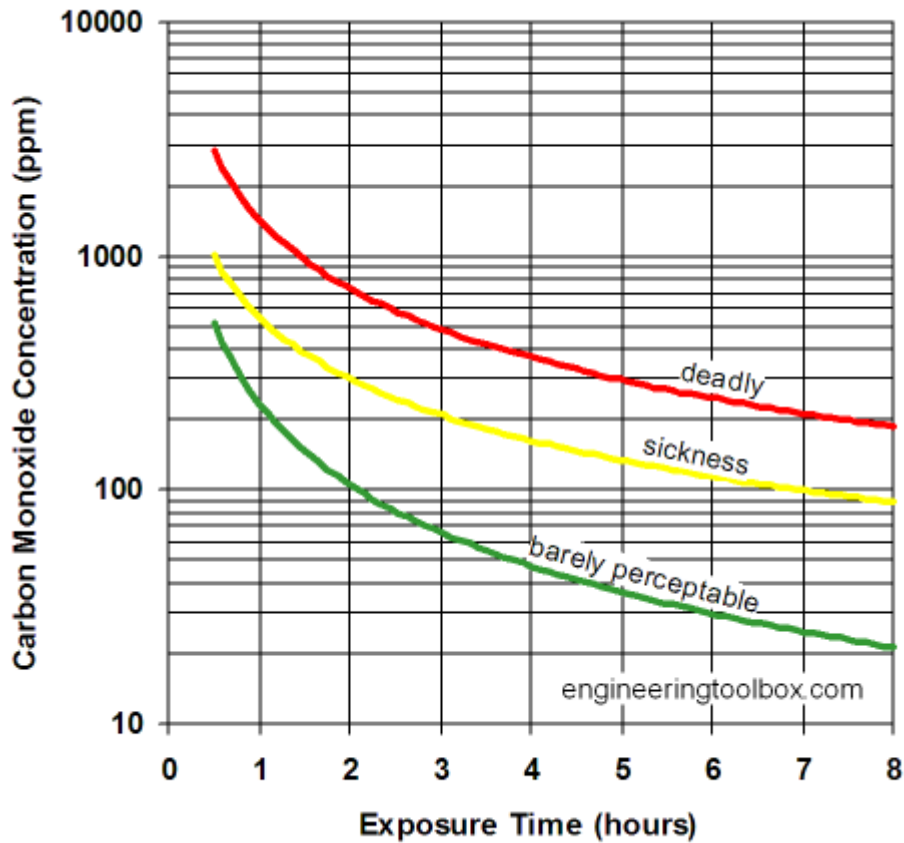
Έκθεση σε CO (ώρες)	Συγκέντρωση CO (ppm)		
	Εκδηλώσεις στον οργανισμό	Ο οργανισμός νοσεί <sup>(2)</sup>	Θανατηφόρα επεισόδια <sup>(3)</sup>
0.5	600	1000	2000
1	200	600	1600
2	100	300	1000
4	50	150	400
6	25	120	200
8	25 <sup>(1)</sup>	110	150

<sup>(1)</sup> Η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα κατά το οκτάωρο ενός εργαζομένου σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία OSHA (Occupational Safety and Health Administration) είναι 35 ppm.

<sup>(2)</sup> Τυπικά συμπτώματα που φανερώνουν ότι ο οργανισμός νοσεί είναι οι πονοκέφαλοι, η κόπωση, η ναυτία και οι ζαλάδες.

<sup>(3)</sup> Συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα της τάξης των 12,000 – 13,000 ppm προκαλεί θάνατο σε χρονικό διάστημα 1 ως 3 λεπτών. Συγκέντρωση της τάξης των 1,600 ppm προκαλεί θάνατο περίπου σε μία ώρα.

Στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί απεικονίζεται γραφικά η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα σε ppm σε συσχέτιση με το χρόνο έκθεσης σε ώρες.



Σχήμα 5.1: Γραφική απεικόνιση της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα σε ppm σε συσχέτιση με το χρόνο έκθεσης σε ώρες

Στον Πίνακα 5.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα συμπτώματα που προκαλεί στον ανθρώπινο οργανισμό η έκθεση του σε μονοξείδιο του άνθρακα, ανάλογα με τη συγκέντρωσή του στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Πίνακας 5.3: Συμπτώματα στον ανθρώπινο οργανισμό από έκθεση σε CO

Συγκέντρωση CO στον ατμοσφαιρικό αέρα (ppm)	Χρόνος εισπνοής	Τοξικά συμπτώματα
9	Μικρής διάρκειας έκθεση	Μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο έκθεσης σύμφωνα με ASHAE <sup>(1)</sup>
35	8 ώρες	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα κατά το οκτάωρο ενός εργαζομένου κατά OSHA
200	2 – 3 ώρες	Μικροί πονοκέφαλοι, κούραση, κούραση, ναυτία και ίλιγγος
400	1 – 2 ώρες	Σοβαροί πονοκέφαλοι-άλλα συμπτώματα εντείνονται, απειλή για ζωή μετά από 3 ώρες
800	45 λεπτά	Ίλιγγος, ναυτία και σπασμοί, απώλεια αισθήσεων μέσα σε 2 ώρες, θάνατος μετά από 2-3 ώρες
1,600	20 λεπτά	Πονοκέφαλοι, ίλιγγος και ναυτία, θάνατος μέσα σε 1 ώρα
3,200	5 – 10 λεπτά	Πονοκέφαλος, ίλιγγος και ναυτία, θάνατος μέσα σε 1 ώρα
6,400	1 – 2 λεπτά	Πονοκέφαλος, ίλιγγος, ναυτία, θάνατος μέσα σε 25-30 λεπτά
12,800	1 – 3 λεπτά	Θάνατος μέσα σε 1-3 λεπτά

<sup>(1)</sup>Τεχνική Επιτροπή για την προώθηση των τεχνών και των επιστημών της θέρμανσης, του εξαερισμού, του κλιματισμού και της ψύξης (American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers) (2)

### 5.1.3 Όρια ποιότητας αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση

Η ΕΕ σύμφωνα με την Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη καθορίζει τα ακόλουθα ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης για τον καθορισμό των απαιτήσεων για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα (Πίνακας 5.4).

Πίνακας 5.4: Οδηγία της ΕΕ για την οριακή τιμή του CO

CO	Μέσος όρος 8 ωρών
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70 % της οριακής τιμής (7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50 % της οριακής τιμής (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Στον Πίνακα 5.5 φαίνονται οι στόχοι της ΕΕ για την ποιότητα των δεδομένων όσο αφορά στην εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε μονοξείδιο του άνθρακα.

Πίνακας 5.5: Στόχοι της ΕΕ για εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε CO

	CO
<b>Σταθερές μετρήσεις:</b>	
Αβεβαιότητα	15 %
Ελάχιστη συλλογή δεδομένων	90 %

Ελάχιστη χρονική κάλυψη: — μη εκτεθειμένες αστικές τοποθεσίες και κυκλοφορία — βιομηχανικοί τόποι	— —
<b>Ενδεικτικές μετρήσεις:</b> Αβεβαιότητα Ελάχιστη συλλογή δεδομένων Ελάχιστη χρονική κάλυψη	25 % 90 % 14 %(1)
<b>Αβεβαιότητα μοντελοποίησης:</b> Ωριαία Μέσοι όροι οκτώ ωρών Ημερήσιοι μέσοι όροι Ετήσιοι μέσοι όροι	50 % 50 % 50 % 50 %
<b>Αντικειμενικός υπολογισμός:</b> Αβεβαιότητα	75 %

(1) Μια τυχαία μέτρηση εβδομαδιαίως, με ομαλή κατανομή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ή σε οκτώ εβδομάδες ομαλά κατανεμημένες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. **(3)**

## 5.2 ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) είναι αέριο, με καφέ χρώμα και ιδιάζουσα οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, είναι υπεύθυνο για την άσχημη καφέ όψη του ουρανού των πόλεων. Τα τυπικά επίπεδα του NO<sub>2</sub> είναι περίπου 7,5-9,4μg/m<sup>3</sup>. όμως οι συγκεντρώσεις σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορεί να είναι και 1.000 φορές μεγαλύτερες από εκείνες που παρατηρούνται στην ύπαιθρο.

### 5.2.1 Πηγές εκπομπών

Για το διοξείδιο του αζώτου έγινε η ακόλουθη κατηγοριοποίηση σε πηγές εκπομπών του (Πίνακας 5.6) :

Πίνακας 5.6: Πηγές εκπομπών NO<sub>2</sub>

<b>ΠΗΓΗ</b>	<b>NO<sub>2</sub> (εκατομμύρια τόνοι/έτος)</b>
<b>Μεταφορές:</b>	
Αυτοκίνητο	<b>0.3</b>
Άλλα	<b>0.1</b>
Σύνολο	<b>0.4</b>
<b>Καύσεις:</b>	
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	<b>14.0</b>
Βιομηχανία	<b>5.5</b>
Οικιακή Θέρμανση	<b>1.8</b>
Άλλα	<b>0.7</b>
Σύνολο	<b>22.0</b>
<b>Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων:</b>	<b>0.1</b>
<b>Διάφορες Κατεργασίες:</b>	<b>7.2</b>
<b>Διάφορα:</b>	<b>0.6</b>
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>	<b>30.3</b>

Τα παραπάνω αποτελούν τμήμα έρευνας του πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (1)

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.6 που προηγήθηκε, κυριότερος ρυπαντής με NO<sub>2</sub> είναι η καύση των καυσίμων που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Γενικότερα το διοξείδιο του αζώτου παράγεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες από πηγές καύσης, οι οποίες μπορεί να οφείλονται και στις μεταφορές (οδικές, αεροπορικές, θαλάσσιες).

### 5.2.2 Επιπτώσεις στην υγεία

Έκθεση μικρής διάρκειας (π.χ. για λιγότερο από 3 ώρες) σε τρέχοντα επίπεδα  $\text{NO}_2$ , πιθανόν να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες της αναπνευστικής ανταπόκρισης και αύξηση των ποσοστών εμφάνισης αναπνευστικών νόσων, όπως το παιδικό άσθμα (5-12 ετών). Παρατεταμένη έκθεση προκαλεί ευαισθησία του αναπνευστικού συστήματος και δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές, μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων.

Ακόμη και μικρού χρόνου έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε κρίση βρογχικού άσθματος. Παρατεταμένη παραμονή ή παραμονή σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση  $\text{NO}_2$  μπορεί να προκαλέσει ευαισθησία του αναπνευστικού συστήματος και δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές, μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, αυξάνει τις αερογενείς αλλεργίες, τον αριθμό κρουσμάτων που χρήζουν νοσοκομειακής νοσηλείας και τα ποσοστά θνησιμότητας.

Έκθεση σε  $\text{NO}_2$  ερεθίζει τους πνεύμονες και πρώτιστα το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Τα άτομα με άσθμα, αναπνευστικές αναταραχές και ασθένειες πνευμόνων είναι πιο ευαίσθητα στην έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου. Υγιή άτομα που εκτίθενται σε συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2$  από 0,7 ως 5,0 ppm για 10 ως 15 λεπτά παρουσιάζουν διαταραχές στην αντίσταση των αεροφόρων οδών. Σε περιβάλλον με φυσιολογικές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2$ , δεν έχει αποδειχθεί άμεση συσχέτιση του αερίου με πνευμονικές παθήσεις. Υψηλότερες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2$  είναι πιθανό να προκαλέσουν ερεθισμό των πνευμόνων, βρογχίτιδα, πνευμονία και γενικότερα μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος. Συνεχής ή συχνή έκθεση σε υψηλά επίπεδα  $\text{NO}_2$  μπορεί να οδηγήσει σε πνευμονικό οίδημα. Μετά από 5 έως 72 ώρες συνεχούς έκθεσης σε αυξημένα επίπεδα  $\text{NO}_2$  προκαλείται ερεθισμός των πνευμόνων.

Η ύπαρξη διοξειδίου του αζώτου στον ατμοσφαιρικό αέρα συντελεί σε διάφορα περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως σε όξινη βροχή και ευτροφισμό. Ο ευτροφισμός εμφανίζεται όταν στο περιβάλλον ενός σώματος που βρίσκεται στο νερό υπάρχει



αύξηση στις θρεπτικές ουσίες και κατά συνέπεια μείωση του ποσοστού οξυγόνου στο νερό, γεγονός το οποίο μπορεί να καταστρέψει τη χλωρίδα και την πανίδα των υδάτων. (4)

### 5.2.3 Όρια ποιότητας αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση

Σύμφωνα με την Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη καθορίζονται τα ακόλουθα ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης για τον καθορισμό των απαιτήσεων για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου (Πίνακας 5.7).

Πίνακας 5.7: Οδηγία της ΕΕ για την οριακή τιμή του NO<sub>2</sub>

<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Ωριαία οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου</b>	<b>Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου</b>
<b>Ανώτερο όριο εκτίμησης</b>	<b>70% της οριακής τιμής (140 μg/m<sup>3</sup>, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)</b>	<b>80% της οριακής τιμής (32 μg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Κατώτερο όριο εκτίμησης</b>	<b>50% της οριακής τιμής (100 μg/m<sup>3</sup>, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)</b>	<b>65% της οριακής τιμής (26 μg/m<sup>3</sup>)</b>

Στον Πίνακα 5.8 φαίνονται οι στόχοι της ΕΕ για την ποιότητα των δεδομένων όσο αφορά στην εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε διοξείδιο του αζώτου.



Πίνακας 5.8: Στόχοι της ΕΕ για εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε NO<sub>2</sub>

	NO <sub>2</sub>
<b>Σταθερές μετρήσεις:</b>	
Αβεβαιότητα	15 %
Ελάχιστη συλλογή δεδομένων	90 %
Ελάχιστη χρονική κάλυψη:	
— μη εκτεθειμένες αστικές τοποθεσίες και κυκλοφορία	—
— βιομηχανικοί τόποι	—
<b>Ενδεικτικές μετρήσεις:</b>	
Αβεβαιότητα	25 %
Ελάχιστη συλλογή δεδομένων	90 %
Ελάχιστη χρονική κάλυψη	14 % (1)
<b>Αβεβαιότητα μοντελοποίησης:</b>	
Ωριαία	50 %
Μέσοι όροι οκτώ ωρών	50 %
Ημερήσιοι μέσοι όροι	50 %
Ετήσιοι μέσοι όροι	50 %
<b>Αντικειμενικός υπολογισμός:</b>	
Αβεβαιότητα	75

(1) Μια τυχαία μέτρηση εβδομαδιαίως, με ομαλή κατανομή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ή σε οκτώ εβδομάδες ομαλά κατανεμημένες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. **(3)**

### 5.3 ΤΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO)

#### 5.3.1 Πηγές εκπομπών

Για το μονοξείδιο του αζώτου έγινε η ακόλουθη κατηγοριοποίηση σε πηγές εκπομπών του (Πίνακας 5.9)

Πίνακας 5.9: Πηγές εκπομπών NO

<b>ΠΗΓΗ</b>	<b>NO (εκατομμύρια τόνοι/έτος)</b>
<b>Μεταφορές:</b>	
Αυτοκίνητο	<b>0.3</b>
Άλλα	<b>0.1</b>
Σύνολο	<b>0.4</b>
<b>Καύσεις:</b>	
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	<b>14.0</b>
Βιομηχανία	<b>5.5</b>
Οικιακή Θέρμανση	<b>1.8</b>
Άλλα	<b>0.7</b>
Σύνολο	<b>22.0</b>
<b>Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων:</b>	<b>0.1</b>
<b>Διάφορες Κατεργασίες:</b>	<b>7.2</b>
<b>Διάφορα:</b>	<b>0.6</b>
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>	<b>30.3</b>

Τα παραπάνω αποτελούν τμήμα έρευνας του πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (1)

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.9 που προηγήθηκε, κυριότερος ρυπαντής με NO είναι, όπως και για το NO<sub>2</sub>, η καύση των καυσίμων που παράγουν ηλεκτρική

ενέργεια. Γενικότερα πηγές έκλυσης οξειδίων του αζώτου είναι κυρίως τα αυτοκίνητα, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οι βιομηχανίες.

### **5.3.2 Επιπτώσεις στην υγεία**

Στο σώμα το μονοξείδιο του αζώτου παράγεται από αργινίνη και οξυγόνου μέσω του ενζύμου της νιτρικής συνθετάσης. Τα κύτταρα του ενδοθηλίου των αιμοφόρων αγγείων χρησιμοποιούν μονοξείδιο του αζώτου για να δώσουν σήμα στους μύες να χαλαρώσουν, αυξάνοντας τη ροή του αίματος. Τα μακροφάγα, τα οποία ανήκουν στο ανοσοποιητικό σύστημα, παράγουν μονοξείδιο του αζώτου για να σκοτώσουν τα βακτήρια που εισβάλλουν στον οργανισμό. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, αυτό μπορεί να προκαλέσει θανατηφόρο μόλυνση (σήψη), κατά την οποία τα μακροφάγα παράγουν τόσο μεγάλη ποσότητα μονοξειδίου που προκαλείται διαστολή των αιμοφόρων αγγείων και κατά συνέπεια πέφτει η αρτηριακή πίεση.

Το μονοξείδιο του αζώτου χορηγείται για θεραπευτικούς σκοπούς και έχει άσχημη επίδραση σε περίπτωση υπερβολικής περιεκτικότητας. Εισπνοή μονοξειδίου του αζώτου είναι επικίνδυνη και μπορεί να αποβεί μοιραία. Είναι ερεθιστικό για το δέρμα και μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό και στα μάτια.

### **5.3.3 Όρια ποιότητας αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση**

Σύμφωνα με την Οδηγία 2008/50/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη καθορίζονται τα ακόλουθα ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης για τον καθορισμό των απαιτήσεων για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του αζώτου (Πίνακας 5.10).

Πίνακας 5.10: Οδηγία της ΕΕ για την οριακή τιμή του ΝΟ

<b>NO</b>	<b>Ετήσιο κρίσιμο επίπεδο για την προστασία της βλάστησης και των φυσικών οικοσυστημάτων (NO)</b>
<b>Ανώτερο όριο εκτίμησης</b>	<b>80 % του κρίσιμου επιπέδου (24 µg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Κατώτερο όριο εκτίμησης</b>	<b>65% του κρίσιμου επιπέδου (19,5 µg/m<sup>3</sup>)</b>

Στον Πίνακα 5.10 φαίνονται οι στόχοι της ΕΕ για την ποιότητα των δεδομένων όσο αφορά στην εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε μονοξείδιο του αζώτου.

Πίνακας 5.11: Στόχοι της ΕΕ για εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε ΝΟ

	<b>NO</b>
<b>Σταθερές μετρήσεις:</b>	
Αβεβαιότητα	15 %
Ελάχιστη συλλογή δεδομένων	90 %
Ελάχιστη χρονική κάλυψη:	
— μη εκτεθειμένες αστικές τοποθεσίες και κυκλοφορία	—
— βιομηχανικοί τόποι	—

<b>Ενδεικτικές μετρήσεις:</b>	
Αβεβαιότητα	25 %
Ελάχιστη συλλογή δεδομένων	90 %
Ελάχιστη χρονική κάλυψη	14 % <sup>(1)</sup>
<b>Αβεβαιότητα μοντελοποίησης:</b>	
Ωριαία	50 %
Μέσοι όροι οκτώ ωρών	50 %
Ημερήσιοι μέσοι όροι	50 %
Ετήσιοι μέσοι όροι	50 %
<b>Αντικειμενικός υπολογισμός:</b>	
Αβεβαιότητα	76

(2) Μια τυχαία μέτρηση εβδομαδιαίως, με ομαλή κατανομή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ή σε οκτώ εβδομάδες ομαλά κατανεμημένες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. **(3)**

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- (1) Έρευνα του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας,  
[http://www.uowm.gr/enman/dep/marnellos/Kef1\\_diafaneies\\_ETP.pdf](http://www.uowm.gr/enman/dep/marnellos/Kef1_diafaneies_ETP.pdf)
- (2) Έρευνα, Εργαλεία και βασικές Πληροφορίες για το Σχεδιασμό και Λειτουργία Τεχνικών Εφαρμογών,  
[http://www.engineeringtoolbox.com/carbon-monoxide-d\\_893.html](http://www.engineeringtoolbox.com/carbon-monoxide-d_893.html)
- (3) «Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Οδηγία 2008/50/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και για καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη», 11.6.2008, <http://www.europa.eu>
- (4) Ιστοσελίδα του Τμήματος Περιβαλλοντικής Ποιότητας της Οκλαχόμα (Department of Environmental Quality – DEQ),  
<http://www.deq.state.ok.us/factsheets/air/no2.pdf>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ONE-WAY ANOVA (ANALYSIS OF VARIANCE)

### 6.1 Γενικά

Η ANOVA (Analysis of Variance) μιας διαδρομής ή ανάλυση της διακύμανσης μιας διαδρομής είναι μία προέκταση του t-test με δύο δείγματα. Όταν συγκρίνονται οι μέσες τιμές δύο πληθυσμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε το t-test με δύο δείγματα είτε η ανάλυση ANOVA μιας διαδρομής. Επίσης, η ανάλυση ANOVA μιας διαδρομής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των μέσων τιμών τριών ή περισσότερων πληθυσμών. Οι βασικές έννοιες της ανάλυσης ANOVA μιας διαδρομής είναι οι εξής:

- **Ο παράγοντας (Factor):** Κατηγοριοποιημένη μεταβλητή, η οποία καθορίζει πώς θα ταξινομηθούν τα δεδομένα. Στην ανάλυση ANOVA μιας διαδρομής, υπάρχει μόνο ένας παράγοντας.
- **Τα επίπεδα (Levels):** Οι ομάδες των διαφόρων κατηγοριών που δημιουργεί ένας παράγοντας λέγονται επίπεδα.
- **Η απόκριση (Response):** Η συνεχής μεταβλητή που εξετάζεται στο πείραμα.

Στην ANOVA διακρίνονται δυο είδη διακύμανσης:

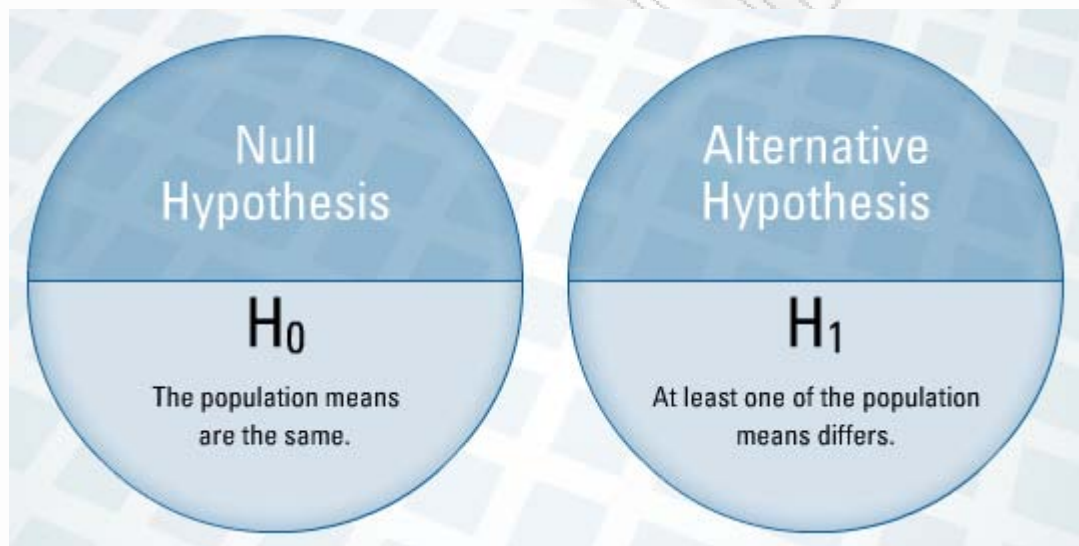
- **Within-group variation (Διακύμανση μέσα στην ομάδα):** Η διακύμανση σε μετρήσεις μέσα σε μία μεμονωμένη ομάδα δεδομένων που εξετάζεται. Στην ανάλυση ANOVA θεωρείται ότι η διακύμανση μέσα στην ομάδα δεδομένων οφείλεται αποκλειστικά σε τυχαίο λάθος.
- **Between-group variation (Διακύμανση μεταξύ των ομάδων):** Η διακύμανση μεταξύ των δεδομένων των διαφορετικών ομάδων.

Στην ανάλυση ANOVA μιας διαδρομής συγκρίνεται η διακύμανση μεταξύ των ομάδων (between-group variation) με τη διακύμανση μέσα στην ομάδα (within-group variation) για να αποφασιστεί αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διαφορετικές ομάδες. Αν η διακύμανση μεταξύ των ομάδων είναι μικρή σε σύγκριση με τη διακύμανση μέσα στην ομάδα, υπάρχει μικρή ένδειξη ότι οι διαφορετικοί πληθυσμοί μπορεί να διαφέρουν. Αν η διακύμανση μεταξύ των

ομάδων είναι μικρή σε σύγκριση με τη διακύμανση μέσα στην ομάδα, τότε υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα ότι οι μέσες τιμές των πληθυσμών διαφέρουν.

Για να αποφασιστεί αν η διακύμανση μεταξύ των ομάδων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη διακύμανση μέσα στην ομάδα, πρέπει να εφαρμοστεί κατάλληλο τεστ, το οποίο θα αποδείξει αν οι διαφορές που παρατηρούνται στις μέσες τιμές των ομάδων οφείλονται σε αληθινές διαφορές ή σε τυχαίο λάθος.

Αρχικά πρέπει να οριστεί η μηδενική υπόθεση  $H_0$  και η εναλλακτική υπόθεση  $H_a$ . Η μηδενική υπόθεση  $H_0$  για τη μέθοδο ANOVA μιας διαδρομής θεωρεί ότι οι μέσες τιμές των πληθυσμών είναι ίσες. Η εναλλακτική υπόθεση  $H_a$  θεωρεί ότι τουλάχιστον μία από τις μέσες τιμές των πληθυσμών είναι διαφορετική από τις άλλες.



Η ανάλυση ANOVA συγκρίνει διαφορετικές πιθανές αιτίες διακύμανσης για να αποδείξει ποιες ομάδες έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις μέσες τους τιμές. Η σύγκριση της διακύμανσης μεταξύ των ομάδων (between-group variation) και της διακύμανσης μέσα στην ομάδα (within-group variation) μπορεί να γίνει με χρήση του κλάσματος F-statistic. Όταν το κλάσμα F (F-Ratio) παίρνει μεγάλη τιμή, η διακύμανση μεταξύ των ομάδων είναι μεγάλη, γεγονός το οποίο αποδεικνύει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των διαφορετικών ομάδων. Αντίθετα, όταν το κλάσμα F παίρνει μικρές τιμές, η διακύμανση μεταξύ των ομάδων έχει τιμές κοντινές με τη διακύμανση μέσα στην ομάδα, οπότε υπάρχει ένδειξη για μικρή ή μηδενική στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές των ομάδων.



$$F = \frac{\textit{Between-group variation}}{\textit{Within-group variation}}$$

Για να αποφασιστεί αν θα απορριφθεί ή όχι η μηδενική υπόθεση ότι οι μέσες τιμές των διαφορετικών ομάδων είναι ίσες γίνεται χρήση της πιθανότητας p-value. Ως p-value ορίζεται η πιθανότητα να παρατηρηθεί μια τιμή τόσο ακραία όσο αυτή του τεστ, δεδομένου ότι η μηδενική υπόθεση ισχύει. Αν η πιθανότητα p-value είναι μεγαλύτερη από  $\alpha$ , δε μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση  $H_0$ . Αν η πιθανότητα p-value είναι μικρότερη ή ίση του  $\alpha$ , τότε η μηδενική υπόθεση μπορεί να απορριφθεί.

Για να διαπιστωθεί αν οι ομάδες είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικές μεταξύ τους γίνονται πολλαπλές συγκρίσεις. Οι πολλαπλές συγκρίσεις προσαρμόζουν την τιμή  $\alpha$ , έτσι ώστε να λαμβάνονται λιγότερες λανθασμένες αποφάσεις σχετικά με το ποιες ομάδες διαφέρουν μεταξύ τους. Με τη χρήση της μεθόδου “Tukey’s Test” ελέγχονται οι διαφορές ανάμεσα σε ζεύγη από μέσες τιμές διαφόρων ομάδων.

Όσο διενεργούνται περισσότεροι έλεγχοι, αυξάνονται οι πιθανότητες να βρεθεί στατιστικά σημαντική διαφορά τυχαία. Για να υπάρχει περισσότερη βεβαιότητα για την ορθότητα του στατικού ελέγχου, για κάθε ανεξάρτητο έλεγχο επιλέγεται μικρότερη τιμή για το  $\alpha$ .

Για κάθε σύγκριση εξετάζεται το διάστημα εμπιστοσύνης για να αποφασιστεί εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις μέσες τιμές των διαφορετικών πληθυσμών. Κάθε διάστημα εμπιστοσύνης περιλαμβάνει ένα εύρος πιθανών τιμών για τη διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των πληθυσμών. Εάν το διάστημα εμπιστοσύνης δεν περιέχει το μηδέν, τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι δυο διαφορετικές ομάδες είναι διαφορετικές μεταξύ τους. Αντίθετα, αν το μηδέν περιλαμβάνεται στο διάστημα εμπιστοσύνης, η μηδενική υπόθεση δε μπορεί να απορριφθεί και δε μπορεί να αποφασιστεί αν οι δυο διαφορετικές ομάδες πληθυσμών είναι διαφορετικές μεταξύ τους. Το επίπεδο εμπιστοσύνης για κάθε διάστημα εμπιστοσύνης μπορεί να προσαρμοστεί με τη χρήση της μεθόδου “Tukey’s Test”, έτσι ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή τιμή για το  $\alpha$  στο 0,05.

Ως *κατάλοιπα* (residuals) ορίζονται οι διαφορές μεταξύ της παρατηρούμενης (observed) και της εκτιμώμενης (fitted) τιμής. Αν το δείγμα έχει ίδιο μέγεθος για κάθε ομάδα, η εκτιμώμενη τιμή είναι η μέση τιμή του δείγματος. Τα κατάλοιπα αποτελούν έναν τρόπο για την εκτίμηση του λάθους κατά την εφαρμογή της μεθόδου ANOVA.

## 6.2 Προϋποθέσεις για ανάλυση με ANOVA

Όλοι οι έλεγχοι υποθέσεων βασίζονται σε μία ή περισσότερες προϋποθέσεις για τα δεδομένα. Αν κάποιο μοντέλο παραβιάζει αυτές τις προϋποθέσεις, τότε τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τη μέθοδο ANOVA μπορεί να είναι παραπλανητικά. Για τη μέθοδο ανάλυσης ANOVA πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις για τα πιθανά λάθη:

- Τα δεδομένα να είναι τυχαία και ανεξάρτητα μεταξύ τους.
- Τα δεδομένα να ακολουθούν κανονική κατανομή.
- Η διακύμανση των δεδομένων να είναι σταθερή για τον κάθε παράγοντα.

**1<sup>η</sup> προϋπόθεση:** Τα δεδομένα να είναι τυχαία και ανεξάρτητα μεταξύ τους. Για να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα είναι τυχαία, η συλλογή τους πρέπει να γίνεται βάσει τυχαίων τεχνικών μεθόδων επιλογής. Ακόμα και αν υπάρχει η πιθανότητα τα δεδομένα να μην είναι τυχαία, με την κατάλληλη δειγματοληπτική μέθοδο μπορούν να αντιμετωπιστούν σαν τυχαία δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα να επιλεγεί κάποιο δείγμα το οποίο δεν είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού που εξετάζεται. Η προϋπόθεση για ανεξάρτητα δεδομένα αποδεικνύει ότι τα δεδομένα δεν επηρεάζονται από τη σειρά με την οποία έγινε η συλλογή τους. Για να εξασφαλιστεί ότι πληρείται αυτή η προϋπόθεση, πρέπει να παρασταθούν γραφικά τα κατάλοιπα με την ίδια σειρά με την οποία έγινε η συλλογή των δεδομένων, έτσι ώστε να αποκαλυφθεί η οποιαδήποτε περίπτωση να σχηματίζεται κάποιο σχέδιο (pattern). Η σειρά καθορίζεται με τον τρόπο που εισάγονται τα δεδομένα στο φύλλο εργασίας.

**2<sup>η</sup> προϋπόθεση:** Τα δεδομένα να ακολουθούν κανονική κατανομή. Για να ελεγχθεί ότι τα δεδομένα ακολουθούν κανονική κατανομή σχεδιάζεται το διάγραμμα πιθανοτήτων κανονικής κατανομής (normal probability plot). Αν τα κατάλοιπα ακολουθούν κανονική κατανομή, ακολουθούν ευθεία γραμμή στο διάγραμμα.

**3<sup>η</sup> προϋπόθεση:** Η διακύμανση των δεδομένων να είναι σταθερή για τον κάθε παράγοντα. Για να διαπιστωθεί εάν η διακύμανση των δεδομένων είναι σταθερή, σχεδιάζεται διάγραμμα καταλοίπων σε σύγκριση με τις εκτιμώμενες τιμές. **(1)**

### 6.3 Πειράματα με χρήση μεθοδολογίας ANOVA

Προκειμένου να γίνει σύγκριση των εκπομπών αερίων μεταξύ των σταθμών εφαρμόστηκε η μεθοδολογία ANOVA στο σετ των δεδομένων για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO#), διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και μονοξειδίου του αζώτου (NO#). Η εφαρμογή της μεθοδολογίας έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου Statgraphics 5.1. Με τη σύγκριση των εκπομπών αερίων προκύπτουν οι σταθμοί με τις μεγαλύτερες εκπομπές για κάθε αέριο, καθώς και το πόσο διαφέρουν οι εκπομπές μεταξύ των διαφορετικών σταθμών μέτρησης. Το F-Test στον πίνακα ANOVA βοηθά στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των εκπομπών για κάθε σταθμό.

#### Συλλογή-Προεπεξεργασία δεδομένων

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων συλλέχθηκαν δεδομένα από τους δεκαέξι σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της Διεύθυνσης ΕΑΡΘ (Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου) στην περιοχή Αττικής. Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση σε κάθε σταθμό. Η περίοδος δειγματοληψίας είναι δηλαδή **1 ώρα** (1 hour) και το χρονικό διάστημα δειγματοληψίας **1 έτος** (από 1/1/2007 έως 31/12/2007).

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, για τη μέτρηση του μονοξειδίου του άνθρακα γίνεται **απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)**, η οποία σχετίζεται με την επιλεκτική απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το μονοξείδιο του άνθρακα. Για τη μέτρηση του διοξειδίου και του μονοξειδίου του αζώτου χρησιμοποιείται η μέθοδος της **χημειοφωταυγείας**, η οποία βασίζονται στην εκπομπή φωτός από τη χημική αντίδραση του όζοντος και του αιθυλενίου.

Για την εισαγωγή των δεδομένων στο στατιστικό πακέτο Statgraphics 5.1 υπολογίστηκε ο μέσος όρος των εκπομπών για κάθε εικοσιτετράωρο του έτους 2007. Σε περίπτωση που εμφανίζεται -9999, έχει γίνει κάποιο λάθος στη μέτρηση, πιθανότατα λόγω σφάλματος/βλάβης του καταγραφικού οργάνου. Για αυτό το λόγο, οι τιμές -9999 αντικαταστάθηκαν με κενούς χαρακτήρες και οι λανθασμένες μετρήσεις στην ουσία αντιμετωπίστηκαν σα μετρήσεις χωρίς τιμές. Επίσης τα δεδομένα ελέγχθηκαν ώστε να μην υπάρχουν «κολλημένες» τιμές, δηλαδή τιμές που να επαναλαμβάνονται επακριβώς και θα φανέρωναν βλάβη στο καταγραφικό όργανο κάποιου σταθμού ή μεγάλα «άλλατα» μεταξύ των τιμών των εκπομπών. Οι μετρήσεις του έτους 2007 κάθε αέριου τοποθετήθηκαν σε τρία διαφορετικά φύλλα εργασίας (αρχεία .xls), ξεχωριστά για κάθε αέριο.

### 6.3.1 ΠΕΙΡΑΜΑ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Σύμφωνα με την Περίληψη της Ανάλυσης που εξάγεται από το στατιστικό πακέτο Statgraphics 5.1, στο συγκεκριμένο πείραμα ως *εξαρτημένη μεταβλητή (Dependent variable)* θεωρήθηκαν οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO). *Παράγοντες (factors)* είναι οι διαφορετικοί σταθμοί μέτρησης των εκπομπών (Stations), οι οποίοι για το συγκεκριμένο πείραμα είναι οι εξής σταθμοί: Αθηνάς, Γεωπονική, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη, Πατησίων, Πειραιάς 1 και Περιστερί. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε για τα διαγράμματα για τους παραπάνω σταθμούς είναι η ακόλουθη:

Αθηνάς = 1

Γεωπονική = 2

Μαρούσι = 3

Νέα Σμύρνη = 4

Πατησίων = 5

Πειραιάς 1 = 6

Περιστερί = 7

Ο αριθμός των παρατηρήσεων (*Number of Observations*) είναι 2201 και ο αριθμός των επιπέδων (*Number of levels*) που δημιουργούνται από τον παράγοντα: σταθμοί μέτρησης είναι 7.

Στον Πίνακα 6.3.1.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η Περίληψη της Ανάλυσης (*Analysis Summary*), όπως εξάγεται από το στατιστικό πρόγραμμα.

Πίνακας 6.3.1.1: Περίληψη της Ανάλυσης (*Analysis Summary*)

Analysis Summary

Dependent variable: CO# emissions

Factor: Stations

Number of observations: 2201

Number of levels: 7

Ο Πίνακας 6.3.1.2 που παρουσιάζεται στη συνέχεια περιλαμβάνει μία Περίληψη Στατιστικών Μεγεθών (Summary Statistics). Τα στατιστικά μεγέθη προκύπτουν από τα δείγματα των επτά σταθμών μέτρησης εκπομπών. Ιδιαίτερη σπουδαιότητα έχουν οι τιμές για τα μεγέθη τυπική κύρτωση (standardized kurtosis) και τυπική ασυμμετρία (standardized skewness), τα οποία αποτελούν ένδειξη για το αν τα δεδομένα προέρχονται από κανονική κατανομή. Για να μπορούν τα δεδομένα να θεωρηθούν ότι ακολουθούν κανονική κατανομή πρέπει οι τιμές για την τυπική κύρτωση και την τυπική ασυμμετρία να βρίσκονται μεταξύ του διαστήματος -2 μέχρι 2. Σε αντίθετη περίπτωση τα δείγματα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή και πρέπει η ανάλυση να συνεχιστεί με τη μέθοδο Kruskal-Wallis. Στα συγκεκριμένα δείγματα οι τιμές για την τυπική κύρτωση και την τυπική ασυμμετρία είναι τις περισσότερες φορές πολύ εκτός των επιθυμητών ορίων. Συνεπώς τα δείγματα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή και πρέπει να συνεχιστεί η ανάλυση με τη μέθοδο Kruskal-Wallis, έτσι ώστε να συγκρίνονται οι διάμεσοι των δειγμάτων και όχι οι μέσες τιμές τους.

Πίνακας 6.3.1.2: Περίληψη Στατιστικών Μεγεθών (Summary Statistics) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Summary Statistics for CO# emissions

Stations	Count	Average	Variance
Standard deviation	Minimum	Maximum	
Athinas	337	1,68812	0,575965
0,758924	0,41	4,8125	
Geoponiki	306	0,916892	0,329952
0,574414	0,233333	3,51304	
Maroussi	363	0,704985	0,249366
0,499366	0,1875	2,9625	
N. Smirni	341	0,739163	0,273404
0,522881	0,116667	3,22083	
Patission	366	2,36239	1,12843
1,06227	0,670833	5,30833	
Peiraias 1	193	1,09572	0,199433
0,44658	0,420833	2,81739	
Peristeri	295	0,701836	0,185747
0,430984	0,208333	2,4625	
Total	2201	1,19972	0,826446

Stations	Range	Std. skewness	Std. kurtosis
Athinas	4,4025	10,9321	9,29674
Geoponiki	3,27971	10,725	7,60305
Maroussi	2,775	13,9198	12,8744
N. Smirni	3,10417	16,1843	21,8197
Patission	4,6375	4,62353	-1,00141
Peiraias 1	2,39656	7,37339	5,27357
Peristeri	2,25417	12,0796	10,0622
Total	5,19167	29,8719	24,369

Στον Πίνακα των Μέσων Τιμών (Table of Means) (Πίνακας 6.3.1.3) φαίνονται οι μέσες τιμές των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα για κάθε σταθμό μέτρησης, από πόσες παρατηρήσεις αποτελείται η κάθε ομάδα, το τυπικό σφάλμα για κάθε μέση τιμή και το διάστημα στο οποίο κυμαίνεται η μέση τιμή του κάθε δείγματος. Για την εύρεση των διαστημάτων των πιθανών μέσων τιμών χρησιμοποιείται ξανά η «Μέθοδος Fisher με τις μικρότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές» (Fisher's least significant difference (LSD) procedure). Τα διαστήματα κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε αν οι μέσες τιμές είναι ίδιες για δύο δείγματα, τα διαστήματά τους να αλληλοκαλύπτονται σε ποσοστό 95% των περιπτώσεων.

Πίνακας 6.3.1.3: Πίνακας των Μέσων Τιμών (Table of Means) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Table of Means for CO# emissions by Stations with 95,0 percent LSD intervals

Stations	Count	Mean	Std. error (pooled s)	Lower limit	Upper limit
Athinas	337	1,68812	0,0364467	1,6376	1,73863
Geoponiki	306	0,916892	0,0382484	0,863884	0,969901
Maroussi	363	0,704985	0,0351172	0,656316	0,753654
N. Smirni	341	0,739163	0,0362324	0,688948	0,789378
Patission	366	2,36239	0,034973	2,31392	2,41086
Peiraias 1	193	1,09572	0,048161	1,02897	1,16246
Peristeri	295	0,701836	0,038955	0,647848	0,755824
Total	2201	1,19972			

Στη συνέχεια εκτελείται περαιτέρω ανάλυση για να εντοπιστεί ποιων ομάδων οι μέσες τιμές διαφοροποιούνται από τις υπόλοιπες. Συγκρίνονται δηλαδή οι μέσες τιμές όλων των δειγμάτων ανά ζεύγη και στον Πίνακα 6.3.1.4 που ακολουθεί φαίνονται τα ζεύγη που έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές τους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Πίνακας 6.3.1.4: Τεστ «Πολλαπλού εύρους» (Multiple Range Tests) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Multiple Range Tests for CO# emissions by Stations

Method: 95,0 percent LSD

Stations	Count	Mean	Homogeneous Groups
Peristeri	295	0,701836	X
Maroussi	363	0,704985	X
N. Smirni	341	0,739163	X
Geponiki	306	0,916892	X
Peiraias 1	193	1,09572	X
Athinas	337	1,68812	X
Patission	366	2,36239	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Athinas - Geponiki	*0,771224	0,103551
Athinas - Maroussi	*0,983131	0,0991981
Athinas - N. Smirni	*0,948953	0,100727
Athinas - Patission	*-0,674276	0,0990022
Athinas - Peiraias 1	*0,5924	0,118377
Athinas - Peristeri	*0,98628	0,104558
Geponiki - Maroussi	*0,211907	0,10177
Geponiki - N. Smirni	*0,177729	0,103261
Geponiki - Patission	*-1,4455	0,101579
Geponiki - Peiraias 1	*-0,178823	0,120541
Geponiki - Peristeri	*0,215056	0,107001
Maroussi - N. Smirni	-0,0341778	0,0988959
Maroussi - Patission	*-1,65741	0,0971388
Maroussi - Peiraias 1	*-0,39073	0,116823
Maroussi - Peristeri	0,00314898	0,102795
N. Smirni - Patission	*-1,62323	0,0986994
N. Smirni - Peiraias 1	*-0,356553	0,118124
N. Smirni - Peristeri	0,0373268	0,104271
Patission - Peiraias 1	*1,26668	0,116657
Patission - Peristeri	*1,66056	0,102606
Peiraias 1 - Peristeri	*0,393879	0,121407

\* denotes a statistically significant difference.



Σύμφωνα με το κατώτερο τμήμα του παραπάνω Πίνακα, όσα ζευγάρια σημειώνονται με αστερίσκο (\*) έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Στο συγκεκριμένο πείραμα 17 ζευγάρια έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές τους. Στο ανώτερο τμήμα του Πίνακα φαίνονται τέσσερις ομογενείς ομάδες που συμβολίζονται με το γράμμα X. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει τις ομάδες ανάλογα με τις μέσες τιμές τους ονομάζεται «Μέθοδος Tukey με τις ακριβείς στατιστικά σημαντικές διαφορές» (Tukey 's honestly significant difference (HSD) procedure) και έχει 5% κίνδυνο να εκτιμήσει ότι ένα ζεύγος έχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση τιμή του ενώ η πραγματική διαφορά να είναι μηδενική.

Στον Πίνακα των Μέσων Τιμών (Table of Means) (Πίνακας 6.3.1.5) φαίνονται οι μέσες τιμές των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα για κάθε σταθμό μέτρησης, από πόσες παρατηρήσεις αποτελείται η κάθε ομάδα, το τυπικό σφάλμα για κάθε μέση τιμή και το διάστημα στο οπο ό κυμαίνεται η μέση τιμή το υ κάθε δείγματος. Για την εύρεση των διαστημάτων των πιθανών μέσων τιμών χρησιμοποιείται η «Μέθοδος Fisher με τις μικρότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές» (Fisher's least significant difference (LSD) procedure). Τα διαστήματα κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε αν ο ι μέσες τιμές είναι ίδιες για δύο δείγματα, τα διαστήματά το φ να αλληλοκαλύπτονται σε ποσοστό 95% των περιπτώσεων.

Πίνακας 6.3.1.5: Πίνακας των Μέσων Τιμών (Table of Means) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Table of Means for CO# emissions by Stations  
with 95,0 percent LSD intervals

Stations	Count	Mean	Stnd. error (pooled s)	Lower limit	Upper limit
Athinas	337	1,68812	0,0364467	1,6376	1,73863
Geponiki	306	0,916892	0,0382484	0,863884	0,969901
Maroussi	363	0,704985	0,0351172	0,656316	0,753654
N. Smirni	341	0,739163	0,0362324	0,688948	0,789378
Patission	366	2,36239	0,034973	2,31392	2,41086
Peiraias 1	193	1,09572	0,048161	1,02897	1,16246
Peristeri	295	0,701836	0,038955	0,647848	0,755824
Total	2201	1,19972			

Στη συνέχεια έγινε Έλεγχος της Διακύμανσης (Variance Check) για τις εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα. Τα αποτελέσματα, όπως προκύπτουν από το στατιστικό πρόγραμμα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.1.6.

Πίνακας 6.3.1.6: Έλεγχος της Διακύμανσης (Variance Check) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα

Variance Check

Cochran's C test: 0,383519 P-Value = 0,0

Bartlett's test: 1,23564 P-Value = 0,0

Hartley's test: 6,07507

Levene's test: 63,3721 P-Value = 0,0

Η μηδενική υπόθεση  $H_0$  που εξετάζεται είναι ότι οι τυπικές αποκλίσεις των εκπομπών για όλους τους σταθμούς μέτρησης είναι ίσες. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στις τιμές των τριών p-values, οι οποίες έχουν και οι τρεις την τιμή 0 ( $<0,05$ ). Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων των σταθμών μέτρησης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αυτό το συμπέρασμα έρχεται σε αντίθεση με μία από τις σημαντικές υποθέσεις – παραδοχές που γίνονται κατά την εφαρμογή ανάλυσης ANOVA.

Στον Πίνακα 6.3.1.7 γίνεται έλεγχος με το Τεστ Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Test) για τους διάμεσους των τιμών εκπομπών για κάθε σταθμό.

Πίνακας 6.3.1.7: Τεστ Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Test) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα

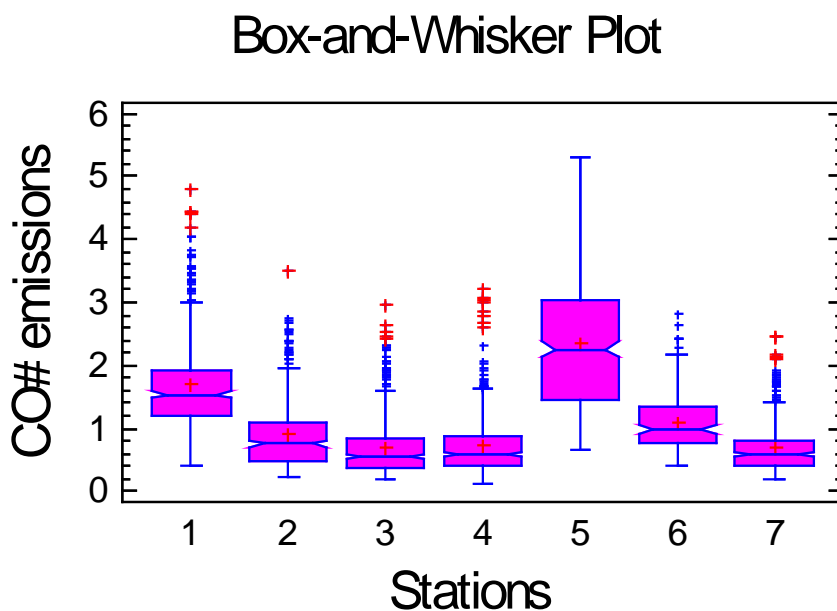
Kruskal-Wallis Test for CO# emissions by Stations

Stations	Sample Size	Average Rank
Athinas	337	1582,55
Geoponiki	306	939,371
Maroussi	363	687,627
N. Smirni	341	734,094
Patission	366	1808,03
Peiraias 1	193	1200,55
Peristeri	295	708,988

Test statistic = 1050,52 P-Value = 0,0

Στο Τεστ Kruskal-Wallis η μηδενική υπόθεση  $H_0$  είναι ότι οι διάμεσοι των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα και για τους επτά σταθμούς είναι ίσες. Τα δεδομένα από τον κάθε σταθμό συνδυάζονται και ταξινομούνται από τις μικρότερες μέχρι τις μεγαλύτερες τιμές. Αφού η p-value είναι μηδενική ( $<0,05$ ), υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαμέσων του κάθε δείγματος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Για να εξακριβωθεί ποιοι διάμεσοι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με τους άλλους σχεδιάζεται το διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot), το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.3.1.1.

Σχήμα 6.3.1.1: Διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO)



Το Διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) αποτελεί ένα διαφορετικό τρόπο απεικόνισης των δεδομένων για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα. Από το διάγραμμα μπορούν να βγουν συμπεράσματα για τη διασπορά, την κύρτωση και για την ύπαρξη ακραίων τιμών (outliers) στα δεδομένα. Η μέση τιμή για κάθε δείγμα συμβολίζεται με σταυρό. Επίσης απεικονίζονται οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες παρατηρήσεις για κάθε σταθμό, καθώς και τα τεταρτημόρια στα οποία κυμαίνονται οι τιμές. Όπως προκύπτει και από το Σχήμα 6.3.1.1, οι ομάδες είναι μη ομοιογενείς. Μεγαλύτερες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζουν οι σταθμοί με τους κωδικούς 5 (Πατησίων) και 1 (Αθηνάς), ενώ μικρότερες εκπομπές ο σταθμός με τον κωδικό 6 (Πειραιάς 1).

### 6.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO<sub>2</sub>)

Στο συγκεκριμένο πείραμα ως εξαρτημένη μεταβλητή (Dependent variable) θεωρήθηκαν οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Ως παράγοντες (factors) θεωρούνται οι διαφορετικοί σταθμοί μέτρησης των εκπομπών (Stations), οι οποίοι για το συγκεκριμένο πείραμα είναι οι εξής σταθμοί: Αγία Παρασκευή, Αριστοτέλους, Αθηνάς, Ελευσίνα, Γεωπονική, Γουδί, Λυκόβρυση, Λιόσια, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη, Πατησίων, Πειραιάς 1, Πειραιάς 2, Περιστερί, Θρακομακεδόνες και Ζωγράφου. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε για τα διαγράμματα για τους παραπάνω σταθμούς είναι η ακόλουθη:

Αγία Παρασκευή = 1

Αριστοτέλους = 2

Αθηνάς = 3

Ελευσίνα = 4

Γεωπονική = 5

Γουδί = 6

Λυκόβρυση = 7

Λιόσια = 8

Μαρούσι = 9

Νέα Σμύρνη = 10

Πατησίων = 11

Πειραιάς 1 = 12

Πειραιάς 2 = 13

Περιστερί = 14

Θρακομακεδόνες = 15

Ζωγράφου = 16

Ο αριθμός των παρατηρήσεων (Number of Observations) είναι 4928 και ο αριθμός των επιπέδων (Number of levels) που δημιουργούνται από τον παράγοντα: σταθμοί μέτρησης είναι 16.

Στον Πίνακα 6.3.2.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η Περίληψη της Ανάλυσης (Analysis Summary) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>).

### Πίνακας 6.3.2.1: Περίληψη της Ανάλυσης (Analysis Summary)

#### Analysis Summary

Dependent variable: NO2 emissions

Factor: Stations

Number of observations: 4928

Number of levels: 16

Στον Πίνακα 6.3.2.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η Περίληψη Στατιστικών Μεγεθών (Summary Statistics) για τις εκπομπές του διοξειδίου του αζώτου. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, υπάρχει διαφορά μεγαλύτερη από το λόγο 3:1 μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής της τυπικής απόκλισης. Αυτή η διαφορά είναι πιθανό να δημιουργήσει προβλήματα κατά την εφαρμογή της μεθόδου ANOVA, αφού έχει γίνει αρχικά η παραδοχή ότι οι τυπικές αποκλίσεις για όλους τους πληθυσμούς είναι ίσες. Τα μεγέθη της τυπικής ασυμμετρίας (standardized skewness) και της τυπικής κύρτωσης (standardized kurtosis) είναι εκτός των τιμών -2 μέχρι +2 για 14 σταθμούς μέτρησης εκπομπών. Οι τιμές για την τυπική ασυμμετρία και την τυπική κύρτωση είναι εντός των επιθυμητών τιμών μόνο για τους σταθμούς με κωδικούς 8 (Λιόσια) και 13 (Πειραιάς 2). Αυτό μπορεί να αποτελεί ένδειξη μη κανονικότητας και για αυτό το λόγο η ανάλυση πρέπει να συνεχιστεί με τη μέθοδο Kruskal-Wallis, με την οποία θα συγκριθούν οι διάμεσοι των ομάδων αντί για τις μέσες τιμές τους.

### Πίνακας 6.3.2.2: Περίληψη Στατιστικών Μεγεθών (Summary Statistics) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO2)

#### Summary Statistics for NO2 emissions

Stations	Count	Average	Variance
Standard deviation	Minimum	Maximum	
Ag. Paraskeui	365	1,89584	1,92
1,38564	1,0	8,70833	
Aristotelous	331	64,4009	318,921
17,8584	28,0	134,583	
Athinas	320	67,7869	318,413
17,8441	20,0417	138,25	
Elefsina	338	35,8159	188,488
13,7291	4,58333	100,917	
Geponiki	294	42,7731	442,89
			21,045

7,375	119,583		
Goudi	364	41,6952	237,587
15,4139	12,8333	86,0417	
Likovrissi	315	34,1127	258,289
16,0714	5,16667	82,5417	
Liosia	295	34,5319	246,779
15,7092	5,75	77,875	
Maroussi	305	29,0974	295,679
17,1953	2,25	92,875	
N. Smirni	334	42,9887	330,675
18,1845	9,25	92,4583	
Patission	361	100,111	1144,37
33,8285	29,125	218,708	
Peiraias 1	193	74,0833	399,341
19,9835	28,7143	161,318	
Peiraias 2	212	50,3737	233,459
15,2794	15,125	103,042	
Peristeri	294	41,5907	355,525
18,8554	6,875	108,875	
Thrakomakedones	318	13,2511	66,8606
8,17683	3,29167	46,4583	
Zografou	289	17,2732	68,9588
8,30414	2,66667	48,0417	
-----			
Total	4928	42,6694	905,219
30,0869	1,0	218,708	
Stations	Range	Std. skewness	Std. kurtosis
-----			
Ag. Paraskeui	7,70833	20,4838	28,9445
Aristotelous	106,583	4,38017	1,98609
Athinas	118,208	2,41353	2,69402
Elefsina	96,3333	4,08564	4,27208
Geponiki	112,208	4,78588	1,99157
Goudi	73,2083	3,08165	-1,79504
Likovrissi	77,375	3,79233	-1,45528
Liosia	72,125	1,99595	-1,76723
Maroussi	90,625	4,26739	-0,22434
N. Smirni	83,2083	1,87034	-2,77776
Patission	189,583	2,5995	-0,645523
Peiraias 1	132,604	2,47219	4,37203
Peiraias 2	87,9167	1,43858	-0,258071
Peristeri	102,0	3,5806	0,209291
Thrakomakedones	43,1667	8,01366	3,90709
Zografou	45,375	4,35577	0,645505
-----			
Total	217,708	29,7103	24,4319

Στον Πίνακα 6.3.2.3 φαίνεται ο Πίνακας των Μέσων Τιμών (Table of Means), ο οποίος περιλαμβάνει μέσες τιμές εκπομπών διοξειδίου του αζώτου για τον κάθε σταθμό μέτρησης, τον αριθμό των παρατηρήσεων της κάθε ομάδας, τα τυπικά σφάλματα για κάθε μέση τιμή και τα διαστήματα στα οποία κυμαίνονται οι μέσες τιμές για όλα τα δείγματα. Η «Μέθοδος Fisher με τις μικρότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές» (Fisher's least significant difference (LSD) procedure) χρησιμοποιείται ξανά για την εύρεση των διαστημάτων των πιθανών μέσων τιμών των εκπομπών. Αν οι μέσες τιμές για δύο δείγματα είναι ίσες μεταξύ τους, τα διαστήματα αλληλοκαλύπτονται σε ποσοστό 95% των περιπτώσεων.

Πίνακας 6.3.2.3: Πίνακας των Μέσων Τιμών (Table of Means) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>)

Table of Means for NO<sub>2</sub> emissions by Stations  
with 95,0 percent LSD intervals

Stations	Count	Mean	Std. error (pooled s)	Lower limit	Upper limit
Ag. Paraskeui	365	1,89584	0,92192	0,61815	3,17354
Aristotelous	331	64,4009	0,968112	63,0592	65,7426
Athinas	320	67,7869	0,984611	66,4223	69,1515
Elefsina	338	35,8159	0,958035	34,4881	37,1436
Geoponiki	294	42,7731	1,02723	41,3494	44,1967
Goudi	364	41,6952	0,923185	40,4157	42,9746
Likovrissi	315	34,1127	0,992395	32,7374	35,4881
Liosia	295	34,5319	1,02548	33,1106	35,9531
Maroussi	305	29,0974	1,00853	27,6997	30,4951
N. Smirni	334	42,9887	0,963755	41,653	44,3244
Patission	361	100,111	0,927013	98,8266	101,396
Peiraias 1	193	74,0833	1,26783	72,3262	75,8403
Peiraias 2	212	50,3737	1,20968	48,6972	52,0502
Peristeri	294	41,5907	1,02723	40,167	43,0143
Thrakomakedones	318	13,2511	0,987702	11,8822	14,6199
Zografou	289	17,2732	1,03607	15,8373	18,7091
Total	4928	42,6694			



Στο Τεστ «Πολλαπλού Εύρους» (Multiple Range Test) (Πίνακας 6.3.2.4) συγκρίνονται οι μέσες τιμές όλων των δειγμάτων ανά ζεύγη και φαίνονται τα ζεύγη που έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Πίνακας 6.3.2.4: Τεστ «Πολλαπλού εύρους» (Multiple Range Tests) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>)

Multiple Range Tests for NO<sub>2</sub> emissions by Stations

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Stations	Count	Mean	Homogeneous Groups
Ag. Paraskeui	365	1,89584	X
Thrakomakedones	318	13,2511	X
Zografou	289	17,2732	X
Maroussi	305	29,0974	X
Likovrissi	315	34,1127	X
Liosia	295	34,5319	X
Elefsina	338	35,8159	X
Peristeri	294	41,5907	X
Goudi	364	41,6952	X
Geoponiki	294	42,7731	X
N. Smirni	334	42,9887	X
Peiraias 2	212	50,3737	X
Aristotelous	331	64,4009	X
Athinas	320	67,7869	X
Peiraias 1	193	74,0833	X
Patission	361	100,111	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Ag. Paraskeui - Aristotelous	*-62,505	4,58439
Ag. Paraskeui - Athinas	*-65,891	4,62553
Ag. Paraskeui - Elefsina	*-33,92	4,55943
Ag. Paraskeui - Geoponiki	*-40,8772	4,73325
Ag. Paraskeui - Goudi	*-39,7993	4,47408
Ag. Paraskeui - Likovrissi	*-32,2169	4,64505
Ag. Paraskeui - Liosia	*-32,636	4,72881
Ag. Paraskeui - Maroussi	*-27,2016	4,68574
Ag. Paraskeui - N. Smirni	*-41,0929	4,57358
Ag. Paraskeui - Patission	*-98,2155	4,48338
Ag. Paraskeui - Peiraias 1	*-72,1874	5,37563
Ag. Paraskeui - Peiraias 2	*-48,4778	5,21568
Ag. Paraskeui - Peristeri	*-39,6948	4,73325
Ag. Paraskeui - Thrakomakedones	*-11,3552	4,63327

Ag. Paraskeui - Zografou	*-15,3774	4,75588
Aristotelous - Athinas	-3,38603	4,73521
Aristotelous - Elefsina	*28,585	4,67066
Aristotelous - Geoponiki	*21,6278	4,84049
Aristotelous - Goudi	*22,7057	4,58738
Aristotelous - Likovrissi	*30,2881	4,75427
Aristotelous - Liosia	*29,869	4,83615
Aristotelous - Maroussi	*35,3035	4,79404
Aristotelous - N. Smirni	*21,4122	4,68447
Aristotelous - Patission	*-35,7105	4,59645
Aristotelous - Peiraias 1	*-9,68239	5,47029
Aristotelous - Peiraias 2	*14,0272	5,31319
Aristotelous - Peristeri	*22,8102	4,84049
Aristotelous - Thrakomakedones	*51,1498	4,74277
Aristotelous - Zografou	*47,1277	4,86262
Athinas - Elefsina	*31,971	4,71104
Athinas - Geoponiki	*25,0138	4,87947
Athinas - Goudi	*26,0917	4,62849
Athinas - Likovrissi	*33,6742	4,79395
Athinas - Liosia	*33,255	4,87516
Athinas - Maroussi	*38,6895	4,8334
Athinas - N. Smirni	*24,7982	4,72474
Athinas - Patission	*-32,3244	4,63748
Athinas - Peiraias 1	*-6,29636	5,50481
Athinas - Peiraias 2	*17,4132	5,34872
Athinas - Peristeri	*26,1962	4,87947
Athinas - Thrakomakedones	*54,5358	4,78255
Athinas - Zografou	*50,5137	4,90142
Elefsina - Geoponiki	*-6,95721	4,81686
Elefsina - Goudi	*-5,87931	4,56244
Elefsina - Likovrissi	1,70314	4,73021
Elefsina - Liosia	1,284	4,81249
Elefsina - Maroussi	*6,71846	4,77018
Elefsina - N. Smirni	*-7,17284	4,66005
Elefsina - Patission	*-64,2955	4,57155
Elefsina - Peiraias 1	*-38,2674	5,44939
Elefsina - Peiraias 2	*-14,5578	5,29167
Elefsina - Peristeri	*-5,7748	4,81686
Elefsina - Thrakomakedones	*22,5648	4,71864
Elefsina - Zografou	*18,5427	4,83909
Geoponiki - Goudi	1,07789	4,73615
Geoponiki - Likovrissi	*8,66035	4,89798
Geoponiki - Liosia	*8,24121	4,97749
Geoponiki - Maroussi	*13,6757	4,93659
Geoponiki - N. Smirni	-0,215629	4,83026
Geoponiki - Patission	*-57,3383	4,74494
Geoponiki - Peiraias 1	*-31,3102	5,59564
Geoponiki - Peiraias 2	*-7,60061	5,44216
Geoponiki - Peristeri	1,18241	4,98171
Geoponiki - Thrakomakedones	*29,522	4,88681
Geoponiki - Zografou	*25,4999	5,00321

Goudi - Likovrissi	*7,58245	4,648
Goudi - Liosia	*7,16332	4,73171
Goudi - Maroussi	*12,5978	4,68867
Goudi - N. Smirni	-1,29352	4,57658
Goudi - Patission	*-58,4161	4,48644
Goudi - Peiraias 1	*-32,3881	5,37818
Goudi - Peiraias 2	*-8,67851	5,21831
Goudi - Peristeri	0,104518	4,73615
Goudi - Thrakomakedones	*28,4441	4,63623
Goudi - Zografou	*24,422	4,75877
Likovrissi - Liosia	-0,419136	4,89368
Likovrissi - Maroussi	*5,01533	4,85208
Likovrissi - N. Smirni	*-8,87598	4,74385
Likovrissi - Patission	*-65,9986	4,65695
Likovrissi - Peiraias 1	*-39,9705	5,52122
Likovrissi - Peiraias 2	*-16,261	5,36561
Likovrissi - Peristeri	*-7,47793	4,89798
Likovrissi - Thrakomakedones	*20,8617	4,80143
Likovrissi - Zografou	*16,8395	4,91985
Liosia - Maroussi	*5,43446	4,93233
Liosia - N. Smirni	*-8,45684	4,8259
Liosia - Patission	*-65,5795	4,7405
Liosia - Peiraias 1	*-39,5514	5,59188
Liosia - Peiraias 2	*-15,8418	5,43829
Liosia - Peristeri	*-7,0588	4,97749
Liosia - Thrakomakedones	*21,2808	4,88251
Liosia - Zografou	*17,2587	4,99901
Maroussi - N. Smirni	*-13,8913	4,78371
Maroussi - Patission	*-71,0139	4,69754
Maroussi - Peiraias 1	*-44,9858	5,5555
Maroussi - Peiraias 2	*-21,2763	5,40088
Maroussi - Peristeri	*-12,4933	4,93659
Maroussi - Thrakomakedones	*15,8463	4,84081
Maroussi - Zografou	*11,8242	4,95829
N. Smirni - Patission	*-57,1226	4,58567
N. Smirni - Peiraias 1	*-31,0945	5,46123
N. Smirni - Peiraias 2	*-7,38498	5,30386
N. Smirni - Peristeri	1,39804	4,83026
N. Smirni - Thrakomakedones	*29,7376	4,73232
N. Smirni - Zografou	*25,7155	4,85243
Patission - Peiraias 1	*26,0281	5,38592
Patission - Peiraias 2	*49,7376	5,22628
Patission - Peristeri	*58,5207	4,74494
Patission - Thrakomakedones	*86,8603	4,64521
Patission - Zografou	*82,8381	4,76751
Peiraias 1 - Peiraias 2	*23,7096	6,00922
Peiraias 1 - Peristeri	*32,4926	5,59564
Peiraias 1 - Thrakomakedones	*60,8322	5,51132
Peiraias 1 - Zografou	*56,81	5,61479
Peiraias 2 - Peristeri	*8,78302	5,44216
Peiraias 2 - Thrakomakedones	*37,1226	5,35542

Peiraias 2 - Zografou	*33,1005	5,46184
Peristeri - Thrakomakedones	*28,3396	4,88681
Peristeri - Zografou	*24,3175	5,00321
Thrakomakedones - Zografou	-4,02213	4,90873

-----  
 \* denotes a statistically significant difference.

Το τεστ αυτό εφαρμόζει πολλαπλές συγκρίσεις για να αποφασιστεί ποιες μέσες τιμές εκπομπών διαφέρουν στατιστικά σημαντικά από τις άλλες. Το δεύτερο μισό τμήμα του Πίνακα παρουσιάζει την εκτιμώμενη διαφορά για κάθε ζευγάρι από μέσες τιμές. Με αστερίσκο (\*) έχουν σημειωθεί 109 ζευγάρια, τα οποία δηλαδή έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Στο ανώτερο τμήμα του Πίνακα φαίνονται οι ομογενείς ομάδες (X). Οι σταθμοί που σημειώνονται με X σε κάθε στήλη αποτελούν τις ομάδες μέσα στις οποίες δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Για να διαχωριστούν οι ομάδες ανάλογα με τις μέσες τιμές τους χρησιμοποιείται η «Μέθοδος Tukey με τις ακριβείς στατιστικά σημαντικές διαφορές» (Tukey's honestly significant difference (HSD) procedure) και έχει 5% κίνδυνο να εκτιμήσει ότι ένα ζεύγος έχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση τιμή του ενώ η πραγματική διαφορά να είναι μηδενική.

Με τον Έλεγχο της Διακύμανσης (Variance Check) του Πίνακα 6.3.2.4 εξετάστηκε η μηδενική περίπτωση  $H_0$  ότι οι τυπικές αποκλίσεις των εκπομπών για όλους τους σταθμούς μέτρησης είναι ίσες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 6.3.2.5 που ακολουθεί.

Πίνακας 6.3.2.5: Έλεγχος της Διακύμανσης (Variance Check) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>)

Variance Check

Cochran's C test: 0,233156 P-Value = 0,0

Bartlett's test: 1,67489 P-Value = 0,0

Hartley's test: 596,023

Levene's test: 100,47 P-Value = 0,0

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 6.3.2.5, οι τρεις p-value έχουν μηδενική τιμή ( $p\text{-value}=0 < \alpha=0,05$ ). Συνεπώς υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων των σταθμών μέτρησης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Οι τιμές για την τυπική απόκλιση έχουν διαφορά μεγαλύτερη από το λόγο 3:1 και τα μεγέθη των δειγμάτων είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Το συμπέρασμα που εξάγεται από τα παραπάνω είναι ότι οι τιμές p-value και τα επίπεδα εμπιστοσύνης υπάρχει μεγάλη περίπτωση να έχουν λανθασμένες τιμές.

Στο Τεστ Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Test) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (Πίνακας 6.3.2.6) γίνεται έλεγχος για τους διαμέσους των εκπομπών για κάθε σταθμό μέτρησης.

Πίνακας 6.3.2.6: Τεστ Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Test) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>)

Kruskal-Wallis Test for NO<sub>2</sub> emissions by Stations

Stations	Sample Size	Average Rank
Ag. Paraskeui	365	191,219
Aristotelous	331	3734,57
Athinas	320	3875,0
Elefsina	338	2243,43
Geoponiki	294	2595,61
Goudi	364	2592,12
Likovrissi	315	2130,06
Liosia	295	2163,35
Maroussi	305	1825,09
N. Smirni	334	2649,37
Patission	361	4438,71
Peiraias 1	193	4065,32
Peiraias 2	212	3093,98
Peristeri	294	2556,24
Thrakomakedones	318	859,681
Zografou	289	1092,31

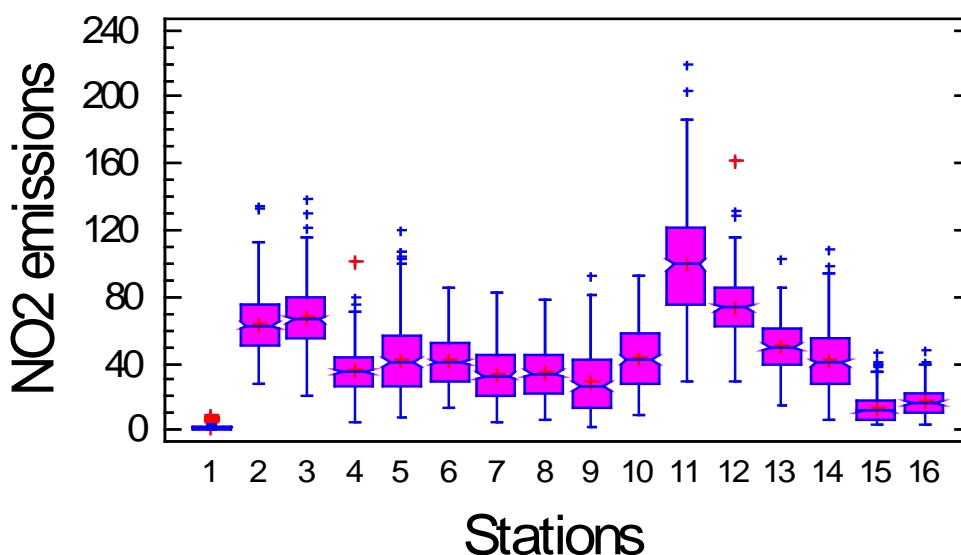
Test statistic = 3277,22 P-Value = 0,0

Η μηδενική υπόθεση που εξετάζεται είναι ότι οι διάμεσοι των εκπομπών διοξειδίου του αζώτου για τους 16 σταθμούς μέτρησης είναι ίσες. Τα δεδομένα από τον κάθε σταθμό συνδυάζονται και ταξινομούνται από τις μικρότερες μέχρι τις μεγαλύτερες τιμές. Η p-value είναι μηδενική και μικρότερη από την τιμή  $\alpha=0,05$ , άρα

υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαμέσων του κάθε δείγματος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Για να βρεθεί ποιοι διάμεσοι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά από τους άλλους σχεδιάστηκε το διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot), το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.3.2.1.

Σχήμα 6.3.2.1: Διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and Whisker Plot) για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>)

### Box-and-Whisker Plot



Το Διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and Whisker Plot) απεικονίζει τα δεδομένα για τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η μέση τιμή συμβολίζεται με σταυρό, ενώ επίσης απεικονίζονται οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες τιμές για κάθε σταθμό, οι ακραίες τιμές και τα τεταρτημόρια στα οποία κυμαίνονται οι τιμές. Οι ομάδες, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.3.2.1, είναι ανομοιογενείς. Μεγαλύτερες εκπομπές διοξειδίου του αζώτου παρουσιάζονται στο σταθμό με τον κωδικό 11 (Πατησίων), ενώ μικρότερες στο σταθμό με τον κωδικό 1 (Αγία Παρασκευή).

### 6.3.3 ΠΕΙΡΑΜΑ ΓΙΑ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO)

Στο επόμενο πείραμα ως *εξαρτημένη μεταβλητή (Dependent variable)* θεωρήθηκαν οι εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO). Ως *παράγοντες (factors)* θεωρήθηκαν οι δεκαέξι σταθμοί μέτρησης των εκπομπών (Stations), δηλαδή οι εξής σταθμοί: Αγία Παρασκευή, Αριστοτέλους, Αθηνάς, Ελευσίνα, Γεωπονική, Γουδί, Λυκόβρυση, Λιόσια, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη, Πατησίων, Πειραιάς 1, Πειραιάς 2, Περιστέρι, Θρακομακεδόνες και Ζωγράφου. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε για τα διαγράμματα για τους παραπάνω σταθμούς είναι η ακόλουθη:

Αγία Παρασκευή = 1

Αριστοτέλους = 2

Αθηνάς = 3

Ελευσίνα = 4

Γεωπονική = 5

Γουδί = 6

Λυκόβρυση = 7

Λιόσια = 8

Μαρούσι = 9

Νέα Σμύρνη = 10

Πατησίων = 11

Πειραιάς 1 = 12

Πειραιάς 2 = 13

Περιστέρι = 14

Θρακομακεδόνες = 15

Ζωγράφου = 16

Ο αριθμός των παρατηρήσεων (*Number of Observations*) είναι 5017 και ο αριθμός των επιπέδων (*Number of levels*) που δημιουργούνται από τον παράγοντα: σταθμοί μέτρησης είναι 16.

Η Περίληψη της Ανάλυσης (*Analysis Summary*) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO), όπως προκύπτει από το στατιστικό πρόγραμμα, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.3.3.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 6.3.3.1: Περίληψη της Ανάλυσης (Analysis Summary) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO)

Analysis Summary

Dependent variable: NO# emissions

Factor: Stations

Number of observations: 5017

Number of levels: 16

Η Περίληψη Στατιστικών Μεγεθών (Summary Statistics) για τις εκπομπές του μονοξειδίου του αζώτου παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.3.3.2. Η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής της τυπικής απόκλισης είναι, όπως και προηγουμένως, μεγαλύτερη από το λόγο 3:1. Αυτή η διαφορά είναι πιθανό να δημιουργήσει προβλήματα κατά την εφαρμογή της μεθόδου ANOVA, αφού έχει γίνει αρχικά η παραδοχή ότι οι τυπικές αποκλίσεις για όλους τους πληθυσμούς είναι ίσες. Τα μεγέθη της τυπικής ασυμμετρίας (standardized skewness) και της τυπικής κύρτωσης (standardized kurtosis) είναι εκτός των τιμών -2 μέχρι +2 για το σύνολο των σταθμών μέτρησης εκπομπών. Αυτό αποτελεί ένδειξη μη κανονικότητας στα δεδομένα. Η ανάλυση πρέπει να συνεχιστεί με τη μέθοδο Kruskal-Wallis, με την οποία θα συγκριθούν οι διάμεσοι των ομάδων αντί για τις μέσες τιμές τους.

Πίνακας 6.3.3.2: Περίληψη Στατιστικών Μεγεθών (Summary Statistics) για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (NO)

Summary Statistics for NO# emissions

Stations	Count	Average	Variance
Standard deviation	Minimum	Maximum	
Agia Paraskevi	365	1,89584	1,92
1,38564	1,0	8,70833	
Aristotelous	331	50,7428	2143,24
46,2951	4,45833	262,0	
Athinas	320	55,3801	2433,75
1,79167	276,958		49,333
Elefsina	339	19,5752	267,846
1,66667	97,5833		16,366
Geoponiki	294	30,4967	1541,81



39,2659	1,0	190,348		
Goudi	364	22,413	607,211	
24,6417	1,34783	134,333		
Likovrissi	315	16,0667	396,461	
19,9113	1,04167	116,083		
Liossia	219	17,599	534,726	
23,1242	1,45833	149,667		
Maroussi	305	12,8831	416,942	
20,4192	1,0	130,292		
N. Smirni	334	20,1453	904,725	
30,0787	1,0	237,176		
Patission	361	125,216	5475,93	
73,9996	14,8889	352,375		
Peiraias 1	325	53,0857	1000,47	
31,6302	6,04167	169,667		
Peiraias 2	244	20,3251	572,359	23,924
1,33333	118,25			
Peristeri	294	15,3419	500,794	
22,3784	1,0	125,231		
Thrakomakedones	318	5,09889	3,73748	
1,93326	3,0	20,3333		
Zografou	289	2,38912	3,1618	
1,77815	1,0	17,5		

---



---

Total	5017	30,4526	2065,28	
45,4453	1,0	352,375		

---

Stations	Range	Stnd. skewness	Stnd. kurtosis
----------	-------	----------------	----------------

---

Agia Paraskevi	7,70833	20,4838	28,9445
Aristotelous	257,542	14,4439	13,4826
Athinas	275,167	14,1193	13,5409
Elefsina	95,9167	12,4353	11,9525
Geponiki	189,348	12,738	9,58008
Goudi	132,986	15,0399	14,3744
Likovrissi	115,042	17,3413	21,2406
Liossia	148,208	17,9276	30,8812
Maroussi	129,292	23,9182	44,7571
N. Smirni	236,176	28,035	65,8552
Patission	337,486	5,78421	0,644507
Peiraias 1	163,625	9,55491	6,3444
Peiraias 2	116,917	12,5826	11,2568
Peristeri	124,231	17,1774	21,9334
Thrakomakedones	17,3333	19,3871	48,1659
Zografou	16,5	25,2684	72,9076

---



---

Total	351,375	80,2315	136,08
-------	---------	---------	--------

Στον Πίνακα 6.3.3.3 που ακολουθεί φαίνεται ο Πίνακας των Μέσων Τιμών (Table of Means) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου.

Πίνακας 6.3.3.3: Πίνακας των Μέσων Τιμών (Table of Means) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO)

Table of Means for NO# emissions by Stations  
with 95,0 percent LSD intervals

Stations	Count	Mean	Stnd. error (pooled s)	Lower limit	Upper limit
Agia Paraskevi	365	1,89584	1,73575	-0,509743	4,30143
Aristotelous	331	50,7428	1,82272	48,2167	53,2689
Athinas	320	55,3801	1,85378	52,8109	57,9493
Elefsina	339	19,5752	1,80108	17,0791	22,0713
Geoponiki	294	30,4967	1,93402	27,8163	33,177
Goudi	364	22,413	1,73813	20,0041	24,8219
Likovrissi	315	16,0667	1,86844	13,4772	18,6562
Liossia	219	17,599	2,24084	14,4934	20,7046
Maroussi	305	12,8831	1,89882	10,2515	15,5147
N. Smirni	334	20,1453	1,81452	17,6305	22,66
Patission	361	125,216	1,74534	122,797	127,635
Peiraias 1	325	53,0857	1,83947	50,5364	55,635
Peiraias 2	244	20,3251	2,12295	17,3829	23,2673
Peristeri	294	15,3419	1,93402	12,6615	18,0223
Thrakomakedones	318	5,09889	1,8596	2,52165	7,67612
Zografou	289	2,38912	1,95067	-0,314333	5,09257
Total	5017	30,4526			

Ο Πίνακας των Μέσων Τιμών (Table of Means) περιλαμβάνει μέσες τιμές εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου για τον κάθε σταθμό μέτρησης, τον αριθμό των παρατηρήσεων της κάθε ομάδας, τα τυπικά σφάλματα για κάθε μέση τιμή και τα διαστήματα στα οποία κυμαίνονται οι μέσες τιμές για όλα τα δείγματα. Η «Μέθοδος Fisher με τις μικρότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές» (Fisher's least significant difference (LSD) procedure) χρησιμοποιείται για την εύρεση των διαστημάτων των πιθανών μέσων τιμών των εκπομπών. Σε περίπτωση που οι μέσες τιμές για δύο δείγματα είναι ίσες μεταξύ τους, τα διαστήματα αλληλοκαλύπτονται σε ποσοστό 95% των περιπτώσεων.

Στον Πίνακα 6.3.3.4 παρουσιάζεται το Τεστ «Πολλαπλού Εύρους» (Multiple Range Test), στον οποίο συγκρίνονται οι μέσες τιμές όλων των δειγμάτων ανά ζεύγη και φαίνονται τα ζεύγη που έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Πίνακας 6.3.3.4: Τεστ «Πολλαπλού εύρους» (Multiple Range Tests) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO)

Multiple Range Tests for NO# emissions by Stations

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Stations	Count	Mean	Homogeneous Groups
Agia Paraskevi	365	1,89584	X
Zografou	289	2,38912	X
Thrakomakedones	318	5,09889	XX
Maroussi	305	12,8831	XX
Peristeri	294	15,3419	XX
Likovrissi	315	16,0667	XX
Liossia	219	17,599	XX
Elefsina	339	19,5752	XX
N. Smirni	334	20,1453	XX
Peiraias 2	244	20,3251	XX
Goudi	364	22,413	XX
Geoponiki	294	30,4967	X
Aristotelous	331	50,7428	X
Peiraias 1	325	53,0857	X
Athinas	320	55,3801	X
Patission	361	125,216	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Agia Paraskevi - Aristotelous	*-48,8469	8,63121
Agia Paraskevi - Athinas	*-53,4843	8,70866
Agia Paraskevi - Elefsina	*-17,6794	8,57764
Agia Paraskevi - Geoponiki	*-28,6008	8,91149
Agia Paraskevi - Goudi	*-20,5171	8,42353
Agia Paraskevi - Likovrissi	*-14,1708	8,74542
Agia Paraskevi - Liossia	*-15,7032	9,71999
Agia Paraskevi - Maroussi	*-10,9872	8,82203
Agia Paraskevi - N. Smirni	*-18,2494	8,61086
Agia Paraskevi - Patission	*-123,32	8,44104
Agia Paraskevi - Peiraias 1	*-51,1899	8,6729
Agia Paraskevi - Peiraias 2	*-18,4292	9,40362
Agia Paraskevi - Peristeri	*-13,446	8,91149
Agia Paraskevi - Thrakomakedones	-3,20304	8,72324
Agia Paraskevi - Zografou	-0,493275	8,95409

Aristotelous - Athinas	-4,63732	8,91516
Aristotelous - Elefsina	*31,1676	8,78722
Aristotelous - Geoponiki	*20,2461	9,11339
Aristotelous - Goudi	*28,3298	8,63685
Aristotelous - Likovrissi	*34,6761	8,95106
Aristotelous - Liossia	*33,1438	9,90542
Aristotelous - Maroussi	*37,8597	9,02594
Aristotelous - N. Smirni	*30,5975	8,81965
Aristotelous - Patission	*-74,4735	8,65393
Aristotelous - Peiraias 1	-2,34292	8,88022
Aristotelous - Peiraias 2	*30,4177	9,59517
Aristotelous - Peristeri	*35,4009	9,11339
Aristotelous - Thrakomakedones	*45,6439	8,9294
Aristotelous - Zografou	*48,3537	9,15505
Athinas - Elefsina	*35,8049	8,8633
Athinas - Geoponiki	*24,8834	9,18678
Athinas - Goudi	*32,9671	8,71425
Athinas - Likovrissi	*39,3134	9,02577
Athinas - Liossia	*37,7811	9,97298
Athinas - Maroussi	*42,497	9,10003
Athinas - N. Smirni	*35,2349	8,89546
Athinas - Patission	*-69,8362	8,73117
Athinas - Peiraias 1	2,2944	8,95552
Athinas - Peiraias 2	*35,055	9,6649
Athinas - Peristeri	*40,0382	9,18678
Athinas - Thrakomakedones	*50,2812	9,00429
Athinas - Zografou	*52,991	9,2281
Elefsina - Geoponiki	*-10,9215	9,06267
Elefsina - Goudi	-2,83777	8,58331
Elefsina - Likovrissi	3,50851	8,89941
Elefsina - Liossia	1,97617	9,85877
Elefsina - Maroussi	6,69211	8,97472
Elefsina - N. Smirni	-0,570059	8,76723
Elefsina - Patission	*-105,641	8,60049
Elefsina - Peiraias 1	*-33,5105	8,82816
Elefsina - Peiraias 2	-0,749887	9,54701
Elefsina - Peristeri	4,2333	9,06267
Elefsina - Thrakomakedones	*14,4763	8,87763
Elefsina - Zografou	*17,1861	9,10456
Geoponiki - Goudi	8,08371	8,91695
Geoponiki - Likovrissi	*14,43	9,22162
Geoponiki - Liossia	*12,8977	10,1506
Geoponiki - Maroussi	*17,6136	9,29432
Geoponiki - N. Smirni	*10,3514	9,09412
Geoponiki - Patission	*-94,7197	8,93349
Geoponiki - Peiraias 1	*-22,589	9,15288
Geoponiki - Peiraias 2	*10,1716	9,84805
Geoponiki - Peristeri	*15,1548	9,37927
Geoponiki - Thrakomakedones	*25,3978	9,2006
Geoponiki - Zografou	*28,1076	9,41975

Goudi - Likovrissi	6,34629	8,75098
Goudi - Liossia	4,81395	9,72499
Goudi - Maroussi	*9,52988	8,82755
Goudi - N. Smirni	2,26771	8,61651
Goudi - Patission	*-102,803	8,4468
Goudi - Peiraias 1	*-30,6727	8,67851
Goudi - Peiraias 2	2,08789	9,40879
Goudi - Peristeri	7,07108	8,91695
Goudi - Thrakomakedones	*17,3141	8,72882
Goudi - Zografou	*20,0238	8,95952
Likovrissi - Liossia	-1,53234	10,0051
Likovrissi - Maroussi	3,1836	9,13521
Likovrissi - N. Smirni	-4,07857	8,93144
Likovrissi - Patission	*-109,15	8,76783
Likovrissi - Peiraias 1	*-37,019	8,99126
Likovrissi - Peiraias 2	-4,2584	9,69803
Likovrissi - Peristeri	0,724791	9,22162
Likovrissi - Thrakomakedones	*10,9678	9,03984
Likovrissi - Zografou	*13,6776	9,26279
Liossia - Maroussi	4,71594	10,0721
Liossia - N. Smirni	-2,54623	9,88769
Liossia - Patission	*-107,617	9,74016
Liossia - Peiraias 1	*-35,4867	9,94176
Liossia - Peiraias 2	-2,72606	10,5853
Liossia - Peristeri	2,25713	10,1506
Liossia - Thrakomakedones	*12,5001	9,98572
Liossia - Zografou	*15,2099	10,188
Maroussi - N. Smirni	-7,26217	9,00648
Maroussi - Patission	*-112,333	8,84426
Maroussi - Peiraias 1	*-40,2026	9,06581
Maroussi - Peiraias 2	-7,442	9,76718
Maroussi - Peristeri	-2,45881	9,29432
Maroussi - Thrakomakedones	7,7842	9,11398
Maroussi - Zografou	*10,494	9,33517
N. Smirni - Patission	*-105,071	8,63363
N. Smirni - Peiraias 1	*-32,9405	8,86044
N. Smirni - Peiraias 2	-0,179828	9,57687
N. Smirni - Peristeri	4,80336	9,09412
N. Smirni - Thrakomakedones	*15,0464	8,90973
N. Smirni - Zografou	*17,7561	9,13586
Patission - Peiraias 1	*72,1306	8,6955
Patission - Peiraias 2	*104,891	9,42447
Patission - Peristeri	*109,874	8,93349
Patission - Thrakomakedones	*120,117	8,74572
Patission - Zografou	*122,827	8,97598
Peiraias 1 - Peiraias 2	*32,7606	9,63268
Peiraias 1 - Peristeri	*37,7438	9,15288
Peiraias 1 - Thrakomakedones	*47,9868	8,9697
Peiraias 1 - Zografou	*50,6966	9,19436
Peiraias 2 - Peristeri	4,98319	9,84805
Peiraias 2 - Thrakomakedones	*15,2262	9,67804

Peiraias 2 - Zografou	*17,936	9,88661
Peristeri - Thrakomakedones	*10,243	9,2006
Peristeri - Zografou	*12,9528	9,41975
Thrakomakedones - Zografou	2,70977	9,24186

-----  
 \* denotes a statistically significant difference.

Όπως και στην προηγούμενη ανάλυση του Τεστ «Πολλαπλού Εύρους», το δεύτερο μισό του Πίνακα παρουσιάζει την εκτιμώμενη διαφορά για το κάθε ζεύγος μέσων τιμών. Τα 85 ζεύγη που έχουν σημειωθεί με αστερίσκο (\*) έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Στο πρώτο μισό του Πίνακα φαίνονται οι ομογενείς ομάδες (X). Οι σταθμοί που σημειώνονται με X σε κάθε στήλη αποτελούν τις ομάδες μέσα στις οποίες δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Για να διαχωριστούν οι ομάδες ανάλογα με τις μέσες τιμές τους χρησιμοποιείται η «Μέθοδος Tukey με τις ακριβείς στατιστικά σημαντικές διαφορές» (Tukey's honestly significant difference (HSD) procedure) και έχει 5% κίνδυνο να εκτιμήσει ότι ένα ζεύγος έχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση τιμή του ενώ η πραγματική διαφορά να είναι μηδενική.

Στη συνέχεια έγινε Έλεγχος της Διακύμανσης (Variance Check) για τις εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα. Τα αποτελέσματα, όπως προκύπτουν από το στατιστικό πρόγραμμα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.3.5.

Πίνακας 6.3.3.5: Έλεγχος της Διακύμανσης (Variance Check) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO)

Variance Check

Cochran's C test: 0,32585 P-Value = 0,0

Bartlett's test: 3,74117 P-Value = 0,0

Hartley's test: 2852,04

Levene's test: 108,603 P-Value = 0,0

Στο συγκεκριμένο πείραμα η μηδενική υπόθεση  $H_0$  που εξετάζεται είναι ότι οι τυπικές αποκλίσεις των εκπομπών για όλους τους σταθμούς μέτρησης είναι ίσες. Οι τιμές των τριών p-values έχουν την τιμή 0 ( $\alpha=0,05$ ). Το συμπέρασμα που εξάγεται

είναι ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων των σταθμών μέτρησης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αυτό το συμπέρασμα έρχεται σε αντίθεση με μία από τις σημαντικές υποθέσεις – παραδοχές που γίνονται κατά την εφαρμογή ανάλυσης ANOVA.

Στον Πίνακα 6.3.3.6 γίνεται έλεγχος με το Τεστ Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Test) για τους διαμέσους των τιμών εκπομπών για κάθε σταθμό.

Πίνακας 6.3.3.6: Τεστ Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Test) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO)

Kruskal-Wallis Test for NO# emissions by Stations

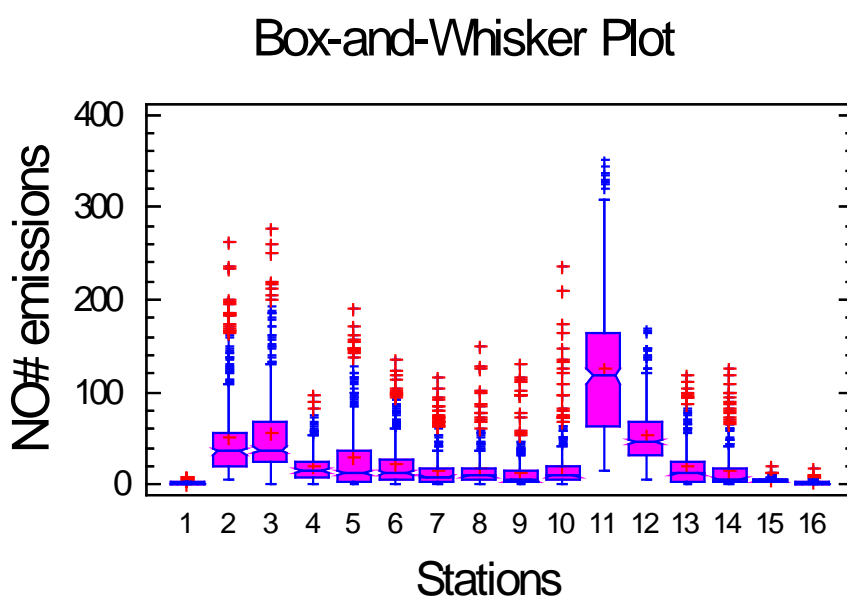
Stations	Sample Size	Average Rank
Agia Paraskevi	365	495,467
Aristotelous	331	3674,87
Athinas	320	3765,72
Elefsina	339	2700,41
Geoponiki	294	2577,44
Goudi	364	2627,41
Likovrissi	315	2251,48
Liossia	219	2368,88
Maroussi	305	1824,56
N. Smirni	334	2436,69
Patission	361	4529,33
Peiraias 1	325	3912,03
Peiraias 2	244	2443,23
Peristeri	294	1906,76
Thrakomakedones	318	1555,11
Zografou	289	691,019

Test statistic = 2902,59 P-Value = 0,0

Στο Τεστ Kruskal-Wallis η μηδενική υπόθεση  $H_0$  είναι ότι οι διάμεσοι των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα για όλους τους σταθμούς είναι ίσες. Τα δεδομένα από τον κάθε σταθμό συνδυάζονται και ταξινομούνται από τις μικρότερες μέχρι τις μεγαλύτερες τιμές. Αφού η p-value είναι μηδενική ( $\leq \alpha=0,05$ ), υπάρχει στατιστικά

σημαντικά διαφορά μεταξύ των διαμέσων του κάθε δείγματος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Για να διαπιστωθεί ποιοι διάμεσοι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με τους άλλους σχεδιάζεται το διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) (Σχήμα 6.3.3.1).

Σχήμα 6.3.3.1: Διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου (NO)



Το Διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and Whisker Plot) απεικονίζει τα δεδομένα για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου. Ο σταυρός απεικονίζει τη μέση τιμή, ενώ επίσης απεικονίζονται οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες τιμές για κάθε σταθμό, καθώς και οι ακραίες τιμές και τα τεταρτημόρια στα οποία κυμαίνονται οι τιμές. Οι ομάδες του Σχήματος 6.3.3.1 είναι ανομοιογενείς. Μεγαλύτερες εκπομπές διοξειδίου του αζώτου παρουσιάζονται στο σταθμό με τον κωδικό 11 (Πατησίων), ενώ μικρότερες στους σταθμούς με κωδικούς 1 (Αγία Παρασκευή), 15 (Θρακομακεδόνες) και 16 (Ζωγράφου).



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- (1) Ιστοσελίδα του Στατιστικού Εργαλείου MINITAB (Statistical and Process Management Software for Six Sigma and Quality Improvement), [www.minitab.co.uk](http://www.minitab.co.uk)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

### 7.1 Συμπεράσματα

Για την ανάλυση των εκπομπών αερίων ρύπων Αττικής και τη σύγκριση των μέσων τιμών τους έγινε χρήση της ανάλυσης ANOVA κατά τη διάρκεια του έτους 2007 για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και το μονοξείδιο του αζώτου (NO). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τους δεκαέξι σταθμούς του δικτύου του ΠΕΡΠΑ σε ημερήσια βάση.

Αρχικά εξετάστηκαν οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα. Οι σταθμοί του ΠΕΡΠΑ που καταγράφουν εκπομπές CO είναι οι εξής: Αθηνάς, Γεωπονική, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη, Πατησίων, Πειραιάς 1 και Περιστέρη. Μετά την εφαρμογή της ανάλυσης προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ♦ Τα δείγματα για τις εκπομπές CO δεν ακολουθούν κανονική κατανομή. Τα μεγέθη της τυπικής κύρτωσης και της τυπικής ασυμμετρίας είναι εκτός του επιθυμητού διαστήματος -2 μέχρι 2. Συνεπώς για την περαιτέρω ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η Μέθοδος Kruskal Wallis, έτσι ώστε να συγκρίνονται οι διάμεσοι των δειγμάτων και όχι οι μέσες τιμές τους. Επίσης ο διαχωρισμός των ομάδων έγινε με τη Μέθοδο «Tukey», η οποία ελέγχει όλα τα πιθανά ζεύγη των μέσων τιμών των ομάδων.
- ♦ Η μη κανονικότητα των δεδομένων διαφαίνεται και από τον έλεγχο της διακύμανσης (Variance Check), αφού οι μηδενικές τιμές του p-value φανερώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων των σταθμών μέτρησης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

- ◆ Από τη μελέτη του Διαγράμματος Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) για το μονοξείδιο του άνθρακα, μεγαλύτερη διασπορά στις εκπομπές παρουσιάζεται στους σταθμούς με τους κωδικούς αριθμούς 5 (Πατησίων) και 1 (Αθηνάς). Μικρότερη διασπορά στις εκπομπές υπάρχει στα δεδομένα από το σταθμό με τον κωδικό αριθμό 6 (Πειραιάς 1).
- ◆ Από το Διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα και για την πιθανή ύπαρξη ακραίων τιμών (outliers) στα δεδομένα. Περισσότερες ακραίες τιμές εμφανίζονται στους σταθμούς με κωδικούς αριθμούς 1, 3, 4 και 7 (Αθηνάς, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη και Περιστερί αντίστοιχα).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των εκπομπών του έτους 2007 για το μονοξείδιο του άνθρακα φανερώνουν μη κανονικότητα και μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές τους, και κατά συνέπεια μη ομοιογενείς ομάδες κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας ANOVA. Οι μεγάλες διακυμάνσεις στα δεδομένα πιθανότατα οφείλονται στην εποχικότητα που παρουσιάζουν οι εκπομπές του αερίου, όσο και στην ημερήσια διακύμανση. Επίσης σε σταθμούς που βρίσκονται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές της Αττικής (για παράδειγμα στο σταθμό Πατησίων) λόγω των υψηλών κτιρίων αυξάνεται και διατηρείται η συγκέντρωση του CO σε υψηλά επίπεδα. Τα επίπεδα του μονοξειδίου του άνθρακα είναι συνήθως μεγαλύτερα τη χειμερινή περίοδο, λόγω των κρύων μηχανών των οχημάτων, οι οποίες εκπέμπουν μεγαλύτερη ποσότητα CO μέχρι να φτάσουν στην επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας. Η παραγωγή CO συνδέεται επίσης και με τη σωστή λειτουργία του τριοδικού καταλύτη, ο οποίος πρέπει να φτάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο θερμοκρασίας, έτσι ώστε να δεσμευθούν όλοι οι παραγόμενοι ρύποι.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου. Οι σταθμοί του ΠΕΡΠΙΑ που καταγράφουν εκπομπές NO<sub>2</sub> είναι οι εξής: Αγία Παρασκευή, Αριστοτέλους, Αθηνάς, Ελευσίνα, Γεωπονική, Γουδί, Λυκόβρυση, Λιόσια, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη, Πατησίων, Πειραιάς 1, Πειραιάς 2, Περιστερί, Θρακομακεδόνες και Ζωγράφου. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- ◆ Όπως παρατηρήθηκε και στο προηγούμενο πείραμα, οι εκπομπές του διοξειδίου του αζώτου έχουν μεγάλες διαφορές στις τυπικές αποκλίσεις τους. Αυτή η διαφορά δημιουργεί προβλήματα κατά την εφαρμογή της μεθόδου ANOVA, αφού μία από τις αρχικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της ήταν η ισότητα των τυπικών αποκλίσεων μεταξύ των 14 σταθμών εκπομπής διοξειδίου του αζώτου.
- ◆ Επίσης από την ανάλυση προκύπτουν μεγάλες τιμές για τα μεγέθη της τυπικής κύρτωσης και της τυπικής ασυμμετρίας. Τα δύο αυτά μεγέθη ξεπερνούν τις επιθυμητές τιμές -2 μέχρι +2 για όλους τους σταθμούς, εκτός από τους σταθμούς με κωδικούς αριθμούς 8 (Λιόσια) και 13 (Πειραιάς 2). Αυτό αποτελεί ένδειξη μη κανονικότητας και κατά συνέπεια γίνεται χρήση της μεθόδου Kruskal-Wallis για τη συνέχεια της ανάλυσης.
- ◆ Χαμηλές τιμές στις εκπομπές παρουσιάζονται στο σταθμό της Αγίας Παρασκευής (κωδικός αριθμός 1), με μέση τιμή εκπομπών για το 2007 1,89584  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και υψηλότερες τιμές εκπομπών στο σταθμό Πατησίων (κωδικός αριθμός 11), με μέση ετήσια τιμή εκπομπών 100,111  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- ◆ Για την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε πάλι η μέθοδος Fisher, η οποία συγκρίνει ανά ζεύγη τις μέσες τιμές των ομάδων και βρίσκει τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.
- ◆ Από τον Έλεγχο της Διακύμανσης εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι τιμές του p-value καθώς και τα επίπεδα εμπιστοσύνης υπάρχει περίπτωση να έχουν λανθασμένες τιμές, αφού οι τιμές της τυπικής απόκλισης για τους διαφορετικούς σταθμούς μέτρησης έχουν διαφορά μεταξύ τους μεγαλύτερη από το λόγο 3:1.
- ◆ Ο έλεγχος των διαμέσων με το τεστ Kruskal-Wallis έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαμέσων του κάθε δείγματος.

- ◆ Από το διάγραμμα Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) φαίνεται μεγάλη ανομοιογένεια μεταξύ των εκπομπών διοξειδίου του αζώτου για τον κάθε σταθμό. Μεγαλύτερη διασπορά παρουσιάζεται στις εκπομπές του σταθμού με κωδικό αριθμό 11 (Πατησίων), ενώ μικρότερη διασπορά παρουσιάζεται στους σταθμούς της Αγίας Παρασκευής (κωδικός αριθμός 1), των Θρακομακεδόνων (κωδικός αριθμός 15) και του Ζωγράφου (κωδικός αριθμός 16).
- ◆ Όσο αφορά στις ακραίες τιμές (outliers), από το ίδιο διάγραμμα φαίνονται ακραίες τιμές στους σταθμούς της Αγίας Παρασκευής (κωδικός αριθμός 1), της Ελευσίνας (κωδικός αριθμός 4) και του Πειραιά 1 (κωδικός αριθμός 12).

Οι εκπομπές του διοξειδίου του αζώτου για το έτος 2007 παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια και οι ομάδες που δημιουργούνται με την εφαρμογή της μεθοδολογίας ANOVA έχουν μεγάλη πιθανότητα λάθους, αφού τα δεδομένα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή. Η συγκέντρωση του NO<sub>2</sub> μεταβάλλεται ανάλογα με την ύπαρξη κτιριακών εγκαταστάσεων, αφού με αυτόν τον τρόπο επηρεάζεται ο αερισμός και η διάχυση του ρύπου. Άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν τη συγκέντρωση του NO<sub>2</sub> είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η διάρκεια της ηλιοφάνειας, οι πιθανές βροχοπτώσεις, η σχετική υγρασία της περιοχής που εδρεύει ο κάθε σταθμός και η θερμοκρασία.

Στο πείραμα για τις εκπομπές του μονοξειδίου του αζώτου υπήρχαν μετρήσεις από τους εξής δεκαέξι σταθμούς μέτρησης του ΠΕΡΠΙΑ: Αγία Παρασκευή, Αριστοτέλους, Αθηνάς, Ελευσίνα, Γεωπονική, Γουδί, Λυκόβρυση, Λιόσια, Μαρούσι, Νέα Σμύρνη, Πατησίων, Πειραιάς 1, Πειραιάς 2, Περιστερί, Θρακομακεδόνες και Ζωγράφου. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των συμπερασμάτων είναι τα εξής:

- ◆ Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου ANOVA δε μπορούν να θεωρηθούν αρκετά αξιόπιστα αφού υπάρχουν ενδείξεις μη κανονικότητας:



τα μεγέθη της τυπικής κύρτωσης και της τυπικής ασυμμετρίας είναι εκτός των επιθυμητών τιμών -2 μέχρι +2 . Επίσης η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και μικρότερης τιμής της τυπικής απόκλισης είναι μεγαλύτερη από το λόγο 3:1. Για τους παραπάνω λόγους προχωρούμε σε σύγκριση των διαμέσων αντί των μέσων τιμών στη συνέχεια του πειράματος.

- ◆ Ο σταθμός της Αγίας Παρασκευής έχει πάλι τη μικρότερη μέση τιμή από τους υπόλοιπους σταθμούς μέτρησης εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου, με μέση τιμή 1,89584  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , καθώς και τη μικρότερη διακύμανση (1,92  $\mu\text{g}/\text{m}^3^2$ ). Υψηλότερη μέση τιμή στις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου έχει ο σταθμός των Πατησίων (125,216  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), καθώς και υψηλότερη τιμή διακύμανσης (5475,93  $\mu\text{g}/\text{m}^3^2$ ).
- ◆ Για την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε πάλι η μέθοδος Fisher, η οποία συγκρίνει ανά ζεύγη τις μέσες τιμές των ομάδων και βρίσκει τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.
- ◆ Μετά τον Έλεγχο της Διακύμανσης για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου εξάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων των σταθμών μέτρησης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αυτό το συμπέρασμα έρχεται σε αντίθεση με μία από τις σημαντικές υποθέσεις – παραδοχές που γίνονται κατά την εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA.
- ◆ Το τεστ Kruskal-Wallis φανερώνει πάλι στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαμέσων του κάθε δείγματος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- ◆ Από τη μελέτη του διαγράμματος Πλαισίου και Απολήξεων (Box-and-Whisker Plot) φαίνεται ότι ο σταθμός της Αγίας Παρασκευής (κωδικός αριθμός 1) έχει τις μικρότερες τιμές εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου για το έτος 2007. Μεγαλύτερες εκπομπές παρουσιάζει ο σταθμός με κωδικό αριθμό 11 (Πατησίων). Ακραίες τιμές (outliers) εμφανίζονται σχεδόν σε

όλους τους σταθμούς με εξαίρεση τους σταθμούς με κωδικούς αριθμούς 11 (Πατησίων) και 12 (Πειραιάς 1).

Η ανομοιογένεια που συναντάται στις εκπομπές του μονοξειδίου του αζώτου για το έτος 2007 επηρεάζει τις ομάδες που προτείνει το στατιστικό πρόγραμμα κατά την εφαρμογή της μεθόδου ANOVA και αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα λάθους. Το μονοξείδιο του αζώτου παράγεται δευτερογενώς από το διοξείδιο του αζώτου, οπότε η συγκέντρωση του μονοξειδίου του αζώτου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη διοξειδίου στην ατμόσφαιρα, συνεπώς εξαρτάται από την ύπαρξη κτιριακών εγκαταστάσεων, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, τις πιθανές βροχοπτώσεις, τη σχετική υγρασία της περιοχής που εδρεύει ο κάθε σταθμός και τη θερμοκρασία.

## 7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Τα στατιστικά εργαλεία διαχείρισης των επιπέδων ατμοσφαιρικών ρύπανσης που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να έχουν διάφορες επεκτάσεις, δεδομένου ότι υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων από κατάλληλους σταθμούς καταγραφής των εκπομπών των αερίων.

Κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα είναι οι εξής:

- ♦ Εφαρμογή του πειράματος και για άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως το όζον (O<sub>3</sub>), τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), τα αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub>

- ◆ Εφαρμογή του πειράματος σε άλλα αστικά – βιομηχανικά κέντρα της Ελλάδας και σύγκριση με τις τιμές της Αττικής
- ◆ Εφαρμογή του πειράματος σε άλλα αστικά – βιομηχανικά κέντρα της Ευρώπης και σύγκριση με τις τιμές της Αττικής - Ελλάδας
- ◆ Μελέτη στερεών αποβλήτων – ρύπων
- ◆ Μελέτη υδάτινων ρύπων
- ◆ Πρόβλεψη για τις αέριες εκπομπές για τα επόμενα χρονικά διαστήματα με την εφαρμογή χρονοσειρών
- ◆ Εύρεση εναλλακτικών τρόπων απογραφής ρύπων
- ◆ Μελέτη Πρωτοκόλλου του Κιότο (Kyoto Protocol) – αρχές εμπορικών συναλλαγών